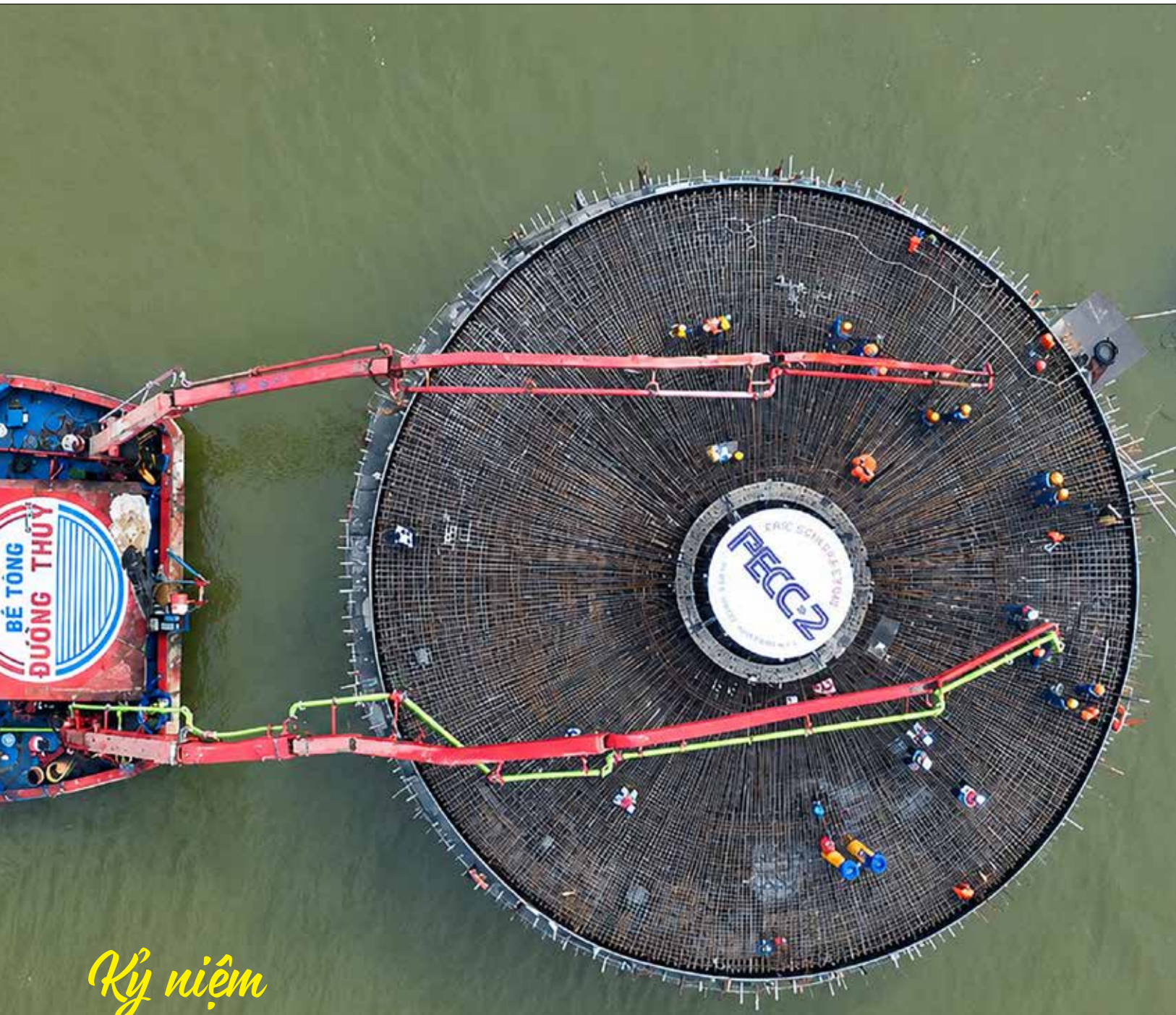
06-2026 | ISSN 2734-9888 | tapchixaydung.vn

XÂY DỰNG

TẠP CHÍ CỦA BỘ XÂY DỰNG

JOURNAL OF CONSTRUCTION



Kỷ niệm

101 NĂM NGÀY BÁO CHÍ CÁCH MẠNG VIỆT NAM
(21/6/1925 - 21/6/2026)

TRUNG CHINH

"Chất lượng tạo dựng thương hiệu"

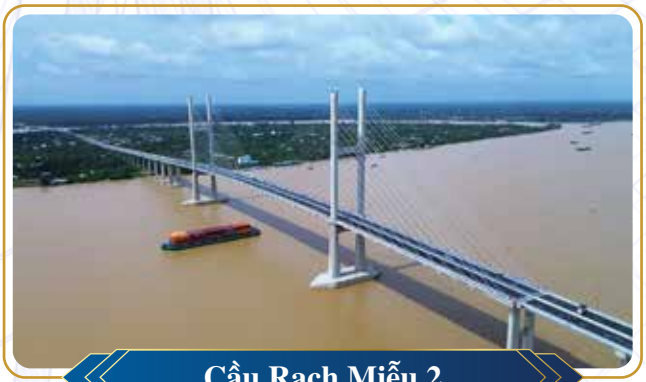
CÔNG TY TNHH THƯƠNG MẠI VÀ XÂY DỰNG TRUNG CHÍNH

TRUNG CHINH TRADING AND CONSTRUCTION COMPANY LIMITED

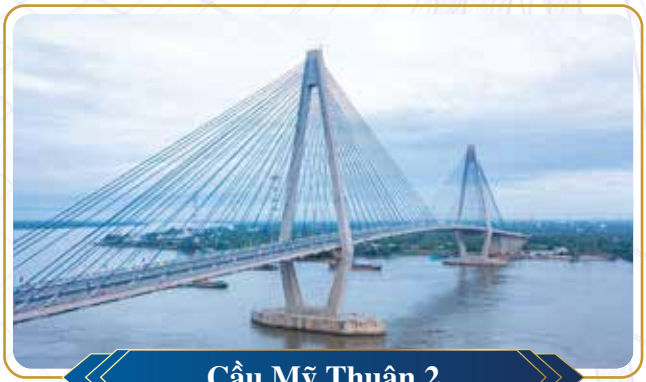
Chúc mừng **101** *năm*

Ngày Báo chí Cách mạng Việt Nam

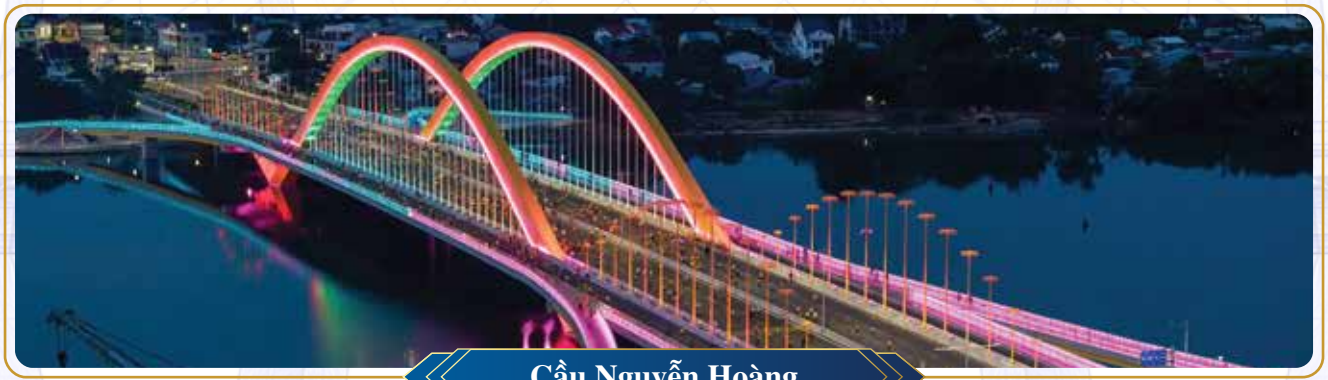
(21/6/1925 - 21/6/2026)



Cầu Rạch Miễu 2



Cầu Mỹ Thuận 2



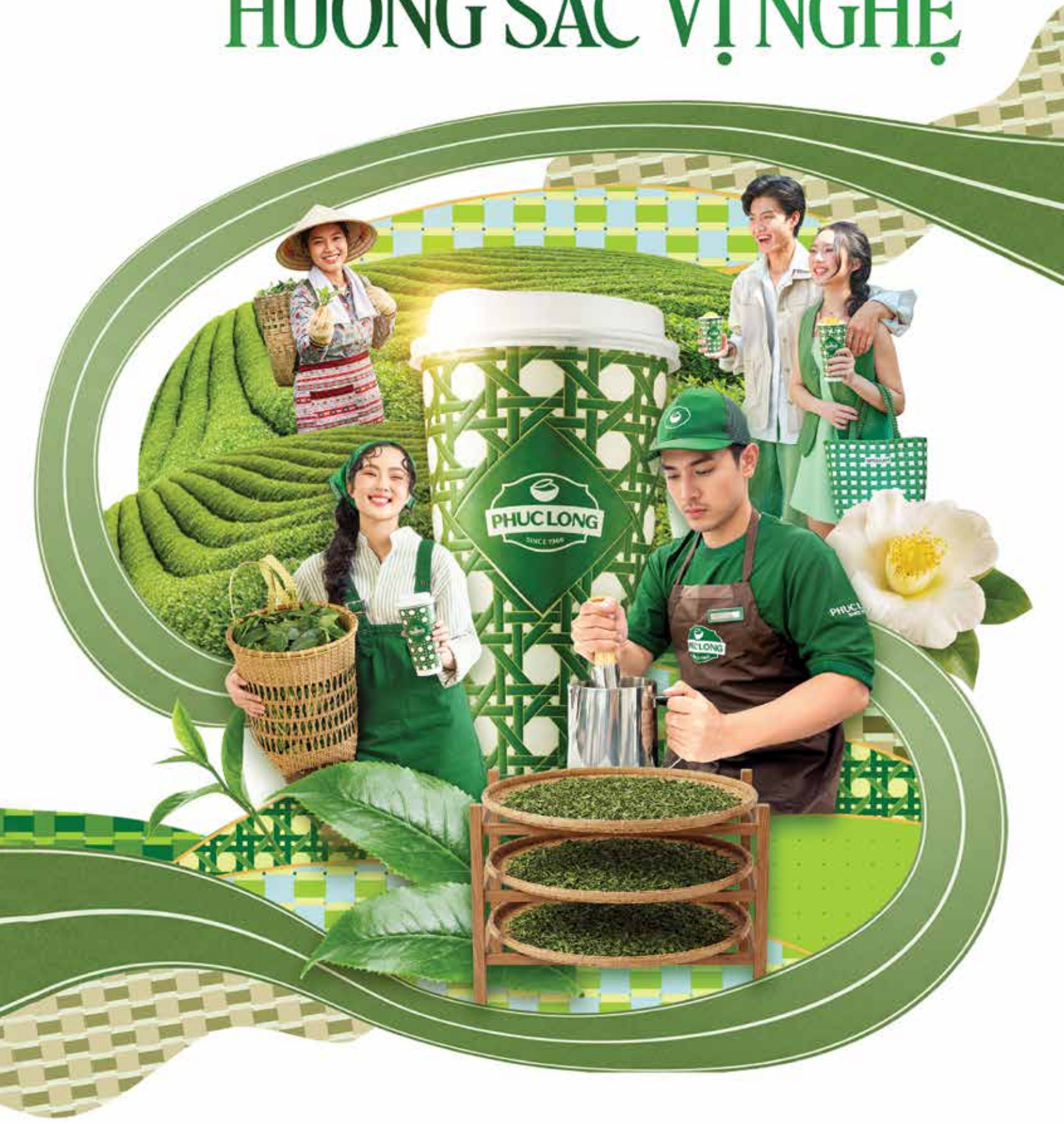
Cầu Nguyễn Hoàng

Tầng 3, nhà A1+A2 KVP Vinaconex 1,
289A Khuất Duy Tiến, phường Đại Mỗ, TP. Hà Nội, Việt Nam

024 3556 9840

PHUC LONG 58 YEARS ANNIVERSARY

Hành Trình
HƯƠNG SẮC VỊ NGHỆ



PETROVIETNAM
PVCFC

PHÂN BÓN CÀ MAU®
HẠT NGỌC MÙA VÀNG

Chúc mừng
101 năm

Báo chí Cách mạng Việt Nam

(21/06/1925-21/06/2026)

PVCFC trân trọng tri ân
đội ngũ báo chí
đã chung tay kết nối
và lan tỏa giá trị
nông nghiệp Việt



TRUNGNAM E&C

CÔNG TY CỔ PHẦN
XÂY DỰNG VÀ LẮP MÁY TRUNG NAM
TRUNG NAM CONSTRUCTION AND ENGINEERING CORPORATION

Trụ sở: Thôn 2, xã Đinh Trang Thượng, tỉnh Lâm Đồng, Việt Nam
Văn phòng giao dịch: Tòa nhà An Cư Đức Phú, 7/1 Thành Thái, phường Diên Hồng, TP Hồ Chí Minh
Di động: 0834707579 **Email:** vanthutnec@trungnamgroup.com.vn
www.trungnamec.com.vn



Cầu Rạch Miễu 2





Cầu Phước An

Chúc mừng
NGÀY BÁO CHÍ CÁCH MẠNG VIỆT NAM 21/6

TƯ VẤN TRƯỜNG SƠN

CÔNG TY CỔ PHẦN TƯ VẤN TRƯỜNG SƠN

TRUONG SON ADVISORY JOINT STOCK COMPANY

Chúc mừng

101 *năm*

NGÀY BÁO CHÍ CÁCH MẠNG VIỆT NAM

(21/6/1925 - 21/6/2026)



CAO TỐC BẮC GIANG - LẠNG SƠN



CAO TỐC HẬU GIANG - CÀ MAU



CAO TỐC LA SƠN - TÚY LOAN

TRỤ SỞ

Số 25, ngõ 66, đường Kim Giang,
phường Định Công, TP Hà Nội

Điện thoại: 024.38584391 - 0243.8582143

Fax: 024.38551390

Email: tuvantruongson@gmail.com

CHI NHÁNH TP HỒ CHÍ MINH

Số 28D đường Phan Văn Trị,
phường Hạnh Thông, TP Hồ Chí Minh

Điện thoại: 028.3894.1226

Fax: 028.39897911

Email: tvtruongsonhcm@gmail.com

www.tuvantruongson.vn

TỔNG CÔNG TY PHÁT TRIỂN HẠ TẦNG VÀ ĐẦU TƯ TÀI CHÍNH VIỆT NAM

VIETNAM INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT AND FINANCE INVESTMENT JOINT STOCK COMPANY

Chúc mừng

NGÀY BÁO CHÍ CÁCH MẠNG VIỆT NAM 21/6







Địa chỉ: Tầng 8,9,10 – Toà nhà LILAMA 10, Phố Tố Hữu, Phường Đại Mỗ, TP Hà Nội

Điện thoại: (84-024) 377 11 668 Fax: (84-024) 377 11 669 Website http://vidifi.vn

MỤC LỤC CONTENT

06.2026 tapchixaydung.vn

HỘI ĐỒNG KHOA HỌC:
PGS.TS Phạm Minh Hà - Chủ tịch Hội đồng
PGS.TS Lê Trung Thành - Thường trực Hội đồng
PGS.TS Vũ Ngọc Anh - Ủy viên
GS.TS Nguyễn Việt Anh - Ủy viên
PGS.TS Phạm Xuân Dương - Ủy viên
PGS.TS Hoàng Hà - Ủy viên
TS Nguyễn Hồng Hải - Ủy viên
TS Lê Quang Hùng - Ủy viên
PGS.TS Nguyễn Văn Hùng - Ủy viên
TS Khuất Việt Hùng - Ủy viên
PGS.TS.KTS Hoàng Vĩnh Hưng - Ủy viên
GS.TS Phạm Huy Khang - Ủy viên
GS.TS.KTS Doãn Minh Khôi - Ủy viên
GS.TS.KTS Nguyễn Tố Lăng - Ủy viên
PGS.TS Nguyễn Ngọc Long - Ủy viên
GS.TS Phan Quang Minh - Ủy viên
TS Phan Hữu Duy Quốc - Ủy viên
PGS.TS Nguyễn Thanh Sang - Ủy viên
GS.TS Phạm Cao Thăng - Ủy viên
GS.TS Trịnh Minh Thụ - Ủy viên
PGS.TS Nguyễn Hồng Tiến - Ủy viên
PGS.TS Nguyễn Thị Tuyết Trinh - Ủy viên
PGS.TS Hoàng Tùng - Ủy viên
PGS.TS Tống Trần Tùng - Ủy viên

TỔNG BIÊN TẬP:
Nguyễn Thái Bình
PHÓ TỔNG BIÊN TẬP:
Nguyễn Văn Hường
Phạm Văn Dùng
Nguyễn Thanh Hoa
Lý Ngọc Thanh

TÒA SOẠN:
Tầng 3, Số 308E Minh Khai, phường Tương Mai, TP Hà Nội
Phòng Thư ký - Biên tập (tiếp nhận bài): 024.39740744
Email: banbientap@tapchixaydung.vn
Văn phòng đại diện phía Nam:
17A Hồng Hà, phường Tân Sơn Hoà, TP.HCM.
Giấy phép xuất bản:
Số 14/GP-BVHTTDL, ngày 11/4/2025.
ISSN: 2734-9888
Tài khoản: 113000001172
Ngân hàng Thương mại Cổ phần Công thương Việt Nam Chi nhánh Hai Bà Trưng, Hà Nội
Thiết kế: Thạc Cường
In tại: Công ty TNHH In Quang Minh
Địa chỉ: Số 27, Ngõ 785 Trương Định, P. Hoàng Mai, TP Hà Nội.

Ảnh bìa 1: Thi công bệ móng tuabin điện gió ngoài khơi. Doanh nghiệp KHCN - Công ty Bê tông Đường Thủy khẳng định năng lực thi công và cung cấp bê tông cho các công trình ngoài khơi.

QUẢN LÝ NGÀNH

THANH NGA, NGỌC HÀ 12 Tăng tốc thực hiện các nhiệm vụ chiến lược của ngành Xây dựng
NGUYỄN MINH VÂN 14 Đi tìm sự đột phá trong nhà ở cho thuê

TỪ CHÍNH SÁCH ĐẾN CUỘC SỐNG

TS NGÔ ANH TUẤN 16 Khơi thông các điểm nghẽn trong hoạt động logistics ở Việt Nam
ĐÀO XUÂN HOẠCH 20 Kết nối hạ tầng hàng không trong hệ sinh thái vận tải đa phương thức
NGUYỄN NGỌC ÁNH 22 Kiến tạo hệ sinh thái logistics hàng hải hiện đại
PGS.TS NGUYỄN HỒNG TIẾN 25 Thoát nước đô thị vùng ĐBSCL thích ứng với biến đổi khí hậu
TS.KTS NGUYỄN TẤT THẮNG 28 Quy hoạch và thiết kế các công trình kiến trúc ứng phó với thiên tai tại Việt Nam: Chuyển từ "phòng thủ bị động" sang "thích ứng chủ động"
THS LÊ TÙNG LÂM 34 Quy hoạch không gian nước
KTS PHẠM THANH TÙNG 36 Kiến trúc - nền tảng phát triển công nghiệp văn hóa
TS.KTS TRỊNH HỒNG VIỆT, THS.KTS PHẠM HOÀNG PHƯƠNG 38 Ứng dụng nền tảng hồ sơ số hóa trong quản lý, bảo tồn công trình kiến trúc có giá trị

TRÒ CHUYỆN VỚI CHUYÊN GIA

TS KHƯƠNG KIM TẠO 42 Kiểm định khí thải xe cơ giới: Bài toán về năng lực quản trị và hạ tầng kiểm định

DIỄN ĐÀN KHOA HỌC

THS TRẦN PHÚC MINH QUANG 48 BIM, GIS hay Digital Twins chỉ phát huy giá trị khi nền dữ liệu hiện trạng đủ tin cậy
TS PHAN HỮU DUY QUỐC, THS DƯƠNG XUÂN SANG 50 Vì sao nhà thầu phát hiện hơn 1.000 xung đột thiết kế trước khi khởi công?
GREYSON WONG 52 Phần lớn giá trị của BIM chỉ xuất hiện sau khi công trình hoàn thành
THANH NGA 54 Digital Twins hạ tầng giao thông: Từ bài toán công nghệ đến bài toán quản trị dữ liệu quốc gia
TS NGUYỄN HUY HOẠCH 56 Đường sắt tốc độ cao Bắc - Nam và sự nghiệp hiện đại hóa ngành điện

GÓC NHÌN TỪ THỰC TIỄN

NGUYỄN HOÀNG LINH 60 Tính cá biệt và tính phổ biến trong tiêu chuẩn!

DOANH NGHIỆP 4.0

KIM THƯƠNG 62 Hành trình đến với những "ngọn hải đăng sống" giữa Trường Sa
MINH THÀNH 64 Tổng công ty Quản lý bay Việt Nam: Tối ưu hóa điều hành bay, đồng hành cùng các hãng hàng không trong bối cảnh khủng hoảng nhiên liệu
ĐÌNH QUANG 66 Dấu ấn 64 năm TEDI: Cánh chim đầu đàn ngành tư vấn thiết kế hạ tầng giao thông vận tải
PV 68 Ban QLDA Mỹ Thuận: Giữ nhịp những công trình chiến lược, mở không gian phát triển mới cho Đồng bằng sông Cửu Long
PV 69 Ban QLDA 7 sẵn sàng cho những nhiệm vụ trọng điểm quốc gia giai đoạn mới
HỒNG XIÊM 70 NVICC: Đơn vị nòng cốt trong công tác kiểm định phương tiện giao thông đường bộ, đường sắt
PV 72 Tăng hơn 2.000 chỉ tiêu, Học viện Hàng không Việt Nam đón cơ hội từ sân bay Long Thành, Gia Bình
BẢO CHÂU 74 Dấu ấn Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong chuỗi hoạt động Việt Nam - Hà Lan
NGỌC HÀ 76 CONINCO: Chiến lược chuyển đổi số và chủ động đón đầu các dự án hạ tầng trọng điểm quốc gia
YẾN THƯ 78 Dấu ấn Phúc Đạt Group từ dự án hơn 2.300 tỷ đồng tại Hà Tĩnh
THÙY DƯƠNG 80 Hiệu trưởng VINUNI: "Làng Đại học sẽ giúp Hạ Long sản sinh những 'kỳ lân' công nghệ"
PV 82 Bài toán xử lý bao bì sau tiêu dùng: Kinh nghiệm từ Vinamilk
KHẢI LINH 84 Ford Everest nâng cấp dải sản phẩm, đáp ứng đa dạng nhu cầu khách hàng
PHẠM KHẢI 86 Xe hybrid tự sạc có ưu thế vượt trội khi kết hợp xăng sinh học E10

GIỚI THIỆU SÁCH MỚI

AN NHIÊN 87 Hướng dẫn thực hành xây dựng mô hình BIM 3D trong thiết kế cầu đường: Từ mô hình 3D đến bản sao số công trình giao thông

NGHIÊN CỨU KHOA HỌC

THS.NCS VŨ QUANG ANH 117 Khung pháp lý điều chỉnh quy hoạch có tích hợp nội dung quy hoạch đường sắt đô thị tại Hà Nội: Thực trạng và định hướng hoàn thiện
NCS.KTS LÊ THỊ MINH HẰNG, TS.KTS NGUYỄN THỊ LAN PHƯƠNG 120 Tổ chức không gian xanh trong đô thị sinh thái: Nghiên cứu trường hợp phường Chương Mỹ, Hà Nội, Việt Nam
PGS.TS.KTS TRẦN TRỌNG HANH 126 Góp phần xây dựng tầm nhìn về đô thị hóa và phát triển đô thị Việt Nam trong kỷ nguyên đô thị
TS.KTS LÊ MINH KHUÊ, BÙI KHÁNH HUYỀN, DƯƠNG MAI HƯƠNG, PHAN MỸ TRINH, KTS BÙI PHƯƠNG THẢO 130 Mô hình phát triển không gian bền vững cho các khu vực xung quanh ga đường sắt đô thị tại Hà Nội
TS BÙI VIỆT THI 136 Nghiên cứu hiệu quả kinh tế của các dự án du lịch tâm linh có khai thác giá trị kiến trúc chùa truyền thống điển hình tại Việt Nam và hàm ý chính sách cho TP Hồ Chí Minh
TS.KTS LÊ KIM THƯ, THS.KTS LÊ BÁ THÁI QUYỀN 140 Phát triển đô thị và các tổ chức xã hội trong giải pháp quy hoạch - xây dựng tại Việt Nam
TS.KTS NGUYỄN VĂN TUYÊN 144 Điều chỉnh quy hoạch Công viên Phú Thượng theo mô hình hành lang xanh đa tầng
TS NGUYỄN HOÀI THU, TS VŨ THỊ HƯƠNG LAN, TS NGUYỄN THU HƯƠNG 150 Nhận diện giá trị kiến trúc nhà ở truyền thống dân tộc Tày tỉnh Tuyên Quang
NGUYỄN SONG HOÀN NGUYÊN, TÔN THẤT HIẾU KHOA, NGUYỄN NGỌC TÙNG 154 Nhận diện đặc điểm và giá trị kiến trúc của nhà vườn truyền thống Huế bằng khung tham chiếu

Giá 75.000 đồng





INDUSTRY MANAGEMENT

THANH NGA, NGOC HA 12 Accelerate the implementation of strategic tasks in the construction industry

NGUYEN MINH VAN 14 Seeking breakthroughs in rental housing

FROM POLICY TO LIFE

NGO ANH TUAN 16 Removing bottlenecks in logistics operations in Vietnam

DAO XUAN HOACH 20 Connecting aviation infrastructure within a multimodal transport ecosystem

NGUYEN NGOC ANH 22 Creating a modern maritime logistics ecosystem

NGUYEN HONG TIEN 25 Urban drainage in the Mekong Delta adapting to climate change

NGUYEN TAT THANG 28 Planning and designing architectural structures to respond to natural disasters in Vietnam: Shifting from "passive defense" to "active adaptation"

LE TUNG LAM 34 Water space planning

PHAM THANH TUNG 36 Architecture - The foundation for the development of the cultural industry.

TRINH HONG VIET, PHAM HOANG PHUONG 38 Applying digital record platforms in the management and preservation of valuable architectural works.

TALK WITH EXPERTS

KHUONG KIM TAO 42 Vehicle emissions testing: A challenge regarding management capacity and testing infrastructure

SCIENCE FORUM

TRAN PHUC MINH QUANG 48 BIM, GIS or Digital Twins only prove valuable when the existing data is sufficiently reliable

PHAN HUU DUY QUOC, DUONG XUAN SANG 50 Why did the contractor discover over 1,000 design conflicts before construction began?

GREYSON WONG 52 The majority of BIM's value only becomes apparent after the project is completed

THANH NGA 54 Digital Twins in transportation infrastructure: From technological challenges to national data management problems

NGUYEN HUY HOACH 56 The North-South high-speed railway and the modernization of the electricity sector

PERSPECTIVE TO PRACTICAL

NGUYEN HOANG LINH 60 Particularity and universality in standards!

ENTERPRISE 4.0

KIM THUONG 62 A journey to the "living lighthouses" in the Truong Sa archipelago

MINH THANH 64 Vietnam Air Traffic Management Corporation: Optimizing flight operations and supporting airlines amidst the fuel crisis

DINH QUANG 66 TEDI's 64-Year Milestone: A Leading force in the transportation infrastructure design and consulting industry

PV 68 PMU My Thuan: Maintaining the pace of strategic projects and opening up new development opportunities for the Mekong Delta

PV 69 PMU7 is ready for key national tasks in the new phase

HONG XIEM 70 NVICC: The core unit in the inspection of road and rail transport vehicles

PV 72 With an increase of over 2,000 enrollment slots, the Vietnam Aviation Academy seizes opportunities from Long Thanh and Gia Binh airports

BAO CHAU 74 Vietnam Maritime University's mark on the Vietnam-Netherlands activities

NGOC HA 76 CONINCO: Digital transformation strategy and proactively anticipating key national infrastructure projects

YEN THU 78 Phuc Dat Group's mark from a project worth over 2.3 trillion VND in Ha Tinh

THUY DUONG 80 VinUni's President: "The University Village will help Ha Long produce technology 'unicorns' "

PV 82 The problem of post-consumer packaging disposal: Lessons from Vinamilk

KHAI LINH 84 Ford Everest upgrades its product range to meet diverse customer needs

PHAM KHAI 86 Self-charging hybrid vehicles have a significant advantage when combined with E10 biofuel

ABOUT NEW BOOK

AN NHIEN 87 A practical guide to building 3D BIM models in bridge and road design: From 3D models to digital replicas of transportation projects

SCIENTIFIC RESEARCH

VU QUANG ANH 117 The legal framework governing planning with integrated urban railway planning content in Hanoi: Current situation and directions for improvement

LE THI MINH HANG, NGUYEN THI LAN PHUONG 120 Green space organization in Eco-Cities: A case study of Chuong My district, Hanoi, Vietnam

TRAN TRONG HANH 126 Contribution to the construction of the vision on urbanization and urban development in Vietnam during urban era

LE MINH KHUE, BUI KHANH HUYEN, DUONG MAI HUONG, PHAN MY TRINH, BUI PHUONG THAO 130 Sustainable spatial development model for areas surrounding urban railway stations in Hanoi

BUI VIET THI 136 Research on the economic effectiveness of spiritual tourism projects that exploit the architectural value of typical traditional temples in Vietnam and policy implications for Ho Chi Minh City

LE KIM THU, LE BA THAI QUYEN 140 Urban development and social organizations in planning and construction solutions in Vietnam

NGUYEN VAN TUYEN 144 Planning Adjustment of Phu Thuong Park Based on the Multi-layered Green Corridor Model

NGUYEN HOAI THU, VU THI HUONG LAN, NGUYEN THU HUONG 150 Identifying the architectural values of traditional tay vernacular houses in Tuyên Quang Province

NGUYEN SONG HOAN NGUYEN, TON THAT HIEU KHOA, NGUYEN NGOC TUNG 154 Identifying architectural values of traditional garden houses in Hue using a value-based framework

SCIENTIFIC COMMISSION:

Ass.Prof Pham Minh Ha, Ph.D
(Chairman of the Scientific Council)
Ass.Prof Le Trung Thanh, Ph.D
(Permanent Council)
Ass.Prof Vu Ngoc Anh, Ph.D
Prof. Nguyen Viet Anh, Ph.D
Ass.Prof Pham Xuan Duong, Ph.D
Ass.Prof Hoang Ha, Ph.D
Dr. Nguyen Hong Hai
Dr. Le Quang Hung
Ass.Prof Nguyen Van Hung, Ph.D
Dr. Khuat Viet Hung
Ass.Prof, Architect Hoang Vinh Hung
Prof. Pham Huy Khang, Ph.D
Prof, Dr, Architect Doan Minh Khoi
Prof, Dr, Architect Nguyen To Lang
Ass.Prof Nguyen Ngoc Long, Ph.D
Prof. Phan Quang Minh, Ph.D
Dr. Phan Huu Duy Quoc
Ass.Prof Nguyen Thanh Sang, Ph.D
Prof. Pham Cao Thang, Ph.D
Prof. Trinh Minh Thu, Ph.D
Ass.Prof Nguyen Hong Tien, Ph.D
Ass.Prof Nguyen Thi Tuyet Trinh, Ph.D
Ass.Prof Hoang Tung, Ph.D
Ass.Prof Tong Tran Tung, Ph.D

EDITOR-IN-CHIEF:
Nguyen Thai Binh
DEPUTY-EDITOR-IN-CHIEF:
Nguyen Van Huong
Pham Van Dung
Nguyen Thanh Hoa
Ly Ngoc Thanh

OFFICE:
3rd Floor, 308E Minh Khai Street, Tuong Mai Ward, Hanoi, Vietnam
Editorial Board: 024.39740744
Email: banbientap@tapchixaydung.vn
Representative Office in Ho Chi Minh City: 17A Hong Ha, Tan Son Hoa, HCM City.
Publication:
No: 14/GP-BVHTTDL dated April 11, 2025.
ISSN: 2734-9888
Account: 113000001172
Joint Stock Commercial Bank of Vietnam Industrial and Commercial Branch, Hai Ba Trung, Hanoi
Designed by: Thac Cuong
Printed at Quang Minh Company Limited
Address: No. 27, Alley 785, Truong Dinh Street, Hoang Mai, Hanoi City, Vietnam.

MỤC LỤC CONTENT

06.2026 tapchixaydung.vn

HỘI ĐỒNG KHOA HỌC:
PGS.TS Phạm Minh Hà - Chủ tịch Hội đồng
PGS.TS Lê Trung Thành - Thường trực Hội đồng
PGS.TS Vũ Ngọc Anh - Ủy viên
GS.TS Nguyễn Việt Anh - Ủy viên
PGS.TS Phạm Xuân Dương - Ủy viên
PGS.TS Hoàng Hà - Ủy viên
TS Nguyễn Hồng Hải - Ủy viên
TS Lê Quang Hùng - Ủy viên
PGS.TS Nguyễn Văn Hùng - Ủy viên
TS Khuất Việt Hùng - Ủy viên
PGS.TS.KTS Hoàng Vĩnh Hưng - Ủy viên
GS.TS Phạm Huy Khang - Ủy viên
GS.TS.KTS Doãn Minh Khôi - Ủy viên
GS.TS.KTS Nguyễn Tố Lăng - Ủy viên
PGS.TS Nguyễn Ngọc Long - Ủy viên
GS.TS Phan Quang Minh - Ủy viên
TS Phan Hữu Duy Quốc - Ủy viên
PGS.TS Nguyễn Thanh Sang - Ủy viên
GS.TS Phạm Cao Thăng - Ủy viên
GS.TS Trịnh Minh Thụ - Ủy viên
PGS.TS Nguyễn Hồng Tiến - Ủy viên
PGS.TS Nguyễn Thị Tuyết Trinh - Ủy viên
PGS.TS Hoàng Tùng - Ủy viên
PGS.TS Tống Trần Tùng - Ủy viên

TỔNG BIÊN TẬP:
Nguyễn Thái Bình
PHÓ TỔNG BIÊN TẬP:
Nguyễn Văn Hường
Phạm Văn Dùng
Nguyễn Thanh Hoa
Lý Ngọc Thanh

THS.KTS NGUYỄN VĂN MINH	160	Giải pháp kiến trúc cho không gian sinh hoạt cộng đồng thân thiện với người cao tuổi trong các khu chung cư cao tầng
KTS NGUYỄN HUỲNH THANH TÂN, TS.KTS VŨ THỊ HỒNG HẠNH	164	Tính địa điểm trong một số công trình công cộng tại Sài Gòn giai đoạn 1954 - 1975
THS.KTS VÕ TUẤN ANH	170	Chiến lược chuyển đổi và thích ứng không gian kiến trúc cảnh quan đình làng Huế trong tiến trình xây dựng đô thị di sản bền vững
TS NGÔ HOÀNG NGỌC DŨNG, TS TỐNG NGỌC TÚ	175	Thiết kế không gian tuyến phố nhằm cải thiện vi khí hậu và tiện nghi nhiệt đô thị nhiệt đới
GS.TS.KTS NGUYỄN QUỐC THÔNG, KTS CAO THÀNH NGHIỆP	180	Hoàng thành Thăng Long dưới góc nhìn thiết kế đô thị, cấu trúc không gian và định hướng bảo tồn
LÊ TRUNG THÀNH, NGUYỄN VIẾT CƯỜNG	185	Thực trạng công tác quản lý tiến độ xây dựng công trình kè khu vực TP Hồ Chí Minh và giải pháp đề xuất
THS LÊ THU THỦY, GS.TS NGUYỄN VIỆT ANH, NGUYỄN VĂN QUỐC	190	Kiểm toán khí nhà kính trong hệ thống thoát nước đô thị: Nghiên cứu điển hình lưu vực Lê Chân và Nhà máy xử lý nước thải Vĩnh Niệm, Hải Phòng
THS NGUYỄN PHƯƠNG TÚ, PGS.TS ĐOÀN THU HÀ	196	Quản lý chất lượng nguồn nước cấp theo hướng đảm bảo cấp nước an toàn: Kinh nghiệm thế giới
THS PHẠM NGỌC TRÁNG, THS PHẠM TÙNG DƯƠNG, PGS.TS ĐỖ THẮNG	200	Đánh giá sự sai khác giữa dự báo độ lún theo tính toán thiết kế và kết quả quan trắc nền đường đắp trên đất yếu khu vực Đồng bằng sông Cửu Long
PGS.TS NGUYỄN HỒNG TIẾN	204	Đốt rác phát điện góp phần bảo vệ môi trường và phát triển bền vững
THS BÙI NAM PHƯƠNG, NGUYỄN DUY TÂN, NGUYỄN HOÀNG THỊNH	208	Khung thiết kế tích hợp tối ưu nhà ga hành khách Việt Nam: Cân bằng chuẩn quốc gia và thông lệ quốc tế
THS LÊ PHI VŨ, PGS.TS DƯƠNG HỮU TUYẾN	212	Thu hút đầu tư phát triển hạ tầng đường thủy nội địa theo hướng chống biến đổi khí hậu - nghiên cứu tại tỉnh Đồng Tháp
THS NGUYỄN HẢI HÀ, THS LÊ THỊ HỒNG VÂN, TS NGUYỄN THÁI LINH, TRẦN QUANG HUY, NGUYỄN SỸ PHI DƯƠNG, PHAN HỒNG ĐĂNG	216	Phân tích hiệu ứng vòm của hệ nền cọc CFG cho công trình đường sắt tốc độ cao bằng mô hình số
THS HUỲNH TẤT MINH, TS NGUYỄN MINH ĐỨC	220	Tổng quan phương pháp nghiên cứu về năng lực phục hồi của cảng biển
THS TRẦN ĐỒNG, TS NGÔ VIỆT ĐỨC, THS NGUYỄN THU HUYỀN, THS TRẦN HÙNG ANH	224	Nghiên cứu đánh giá sức kháng cắt của cọc cát trong giải pháp cọc cát xử lý nền đất yếu với một số chỉ tiêu cơ lý thông qua các thí nghiệm trong phòng thí nghiệm
THS NGUYỄN ĐÌNH QUYẾT, TS NGUYỄN VĂN HIẾU, GS.TS PHẠM CAO THĂNG, THS.NCS VÕ TIẾN DŨNG	228	Đánh giá ảnh hưởng của vị trí đặt tải trọng đến ứng suất, độ võng của tấm bê tông xi măng mặt đường sân bay
TS LÊ XUÂN TRƯỜNG, THS NGUYỄN NHƯ MINH	234	Nghiên cứu để xuất các chỉ tiêu đánh giá cảng biển theo định hướng phát triển xanh
PGS.TS NGUYỄN TRỌNG TƯ	237	Quản lý chất lượng công trình đất đắp khu vực Tây Nguyên
THS VŨ ANH TUẤN, THS VŨ BÁCH TUẤN, PGS.TS PHẠM THÁI BÌNH, PGS.TS NGUYỄN ĐỨC MẠNH	240	Nghiên cứu tổng quan phương pháp dự báo lún nền đường ô tô đắp trên đất yếu
HOÀNG XUÂN HÒA, NGUYỄN ĐỨC LƯỢNG, BÙI THỊ HIẾU, NGUYỄN HOÀNG HIỆP, ỨNG QUỐC TRÁNG	245	Tổng quan kinh nghiệm quốc tế về thực hiện vùng phát thải thấp và một số khuyến nghị đối với chính sách có liên quan ở Việt Nam
THS NGUYỄN TRỌNG NHÂN, TS VĂN NGỌC TRÚC PHƯƠNG, THS LÊ THIÊN BÁO	250	Ứng dụng dữ liệu địa không gian phân vùng hình thái đô thị theo vùng khí hậu địa phương - Thí điểm tại khu vực mật độ đô thị cao tại phường Long An
THS.NCS ĐỒNG MINH KHÁNH, PGS.TS TRẦN THỊ KIM ĐĂNG, TS LÊ THANH HẢI	256	Định hướng ứng dụng các phương pháp tính toán kết cấu áo đường mềm có sẵn để thiết kế kết cấu áo đường có lớp móng bằng vật liệu rời gia cố ô địa kỹ thuật
THS MAI PHÚ GIANG	262	Đánh giá khả năng cộng hưởng địa chấn giữa nền đất và công trình trên cơ sở dữ liệu về đặc trưng dao động nền đất ở Hà Nội
TS TRẦN VIỆT TÂM	266	Nghiên cứu tính toán cột mảnh bê tông cốt thép chịu nén lệch tâm phẳng theo tiêu chuẩn TCVN 5574:2018, EC2:2004 và ACI 318:2019
TRẦN THĂNG LONG, NGUYỄN THẾ GIỚI	271	Nghiên cứu của khối lượng di động đến đặc điểm dao động của tấm làm bằng vật liệu cơ tính biến thiên trên nền đàn hồi
NGUYỄN TUẤN NINH, NGUYỄN KIM QUẢNG, ĐẶNG VIỆT HƯNG, NGUYỄN TRƯỜNG THẮNG	274	Thiết kế kết cấu bê tông cốt thép đảm bảo khả năng chịu lửa theo quy chuẩn và tiêu chuẩn kỹ thuật quốc gia
TS NGUYỄN THANH SANG, PGS.TS HOÀNG QUỐC LONG	278	Một số vấn đề đối với tiếng ồn dòng xe trên đường ô tô cao tốc
TRẦN MAI PHƯƠNG	282	Một số đánh giá về thực hiện mô hình thông tin công trình (BIM) ở TP Hồ Chí Minh theo Nghị định 175/2024/NĐ-CP và Quyết định số 258/QĐ-TTg
THS NGUYỄN TỐNG	286	Đối chiếu dự báo sức chịu tải móng băng trên đá phong hóa bằng FEM với Eurocode 7 trong không gian độ tin cậy hai chiều
NGUYỄN TRUNG HIẾU	292	Nghiên cứu ảnh hưởng của khoảng cách trục đến tính năng động lực học giá chuyển hướng toa xe khách
THS TRẦN TUẤN KIỆT, THS TRẦN MINH LONG, TS ĐẶNG NGỌC CHÂU, THS NGUYỄN KHẮC QUÂN	296	Ứng dụng trí tuệ nhân tạo và dữ liệu hình ảnh trong xử lý phiếu chấm công công trình xây dựng: Khung thiết kế phục vụ quản lý nhân công và thanh toán lương
NGUYỄN THANH PHONG, PHAN ĐÌNH PHÚC, TRƯƠNG ĐÌNH NHẬT	302	Ứng dụng trí thông minh nhân tạo trong xây dựng: Trường hợp giám sát năng lượng công trình xây dựng
THS PHẠM VĂN TÂN, TS NGUYỄN DUY THANH	308	Đánh giá tác động của ứng dụng công nghệ số đối với hiệu quả kiểm soát chi phí trong hệ thống kế toán quản trị tại Việt Nam
THS NGUYỄN THANH TÙNG, THS NGUYỄN THANH DIỆU, THS QUÁCH THANH CHUNG	312	Nghiên cứu sử dụng tế bào tự động và thuật toán cửa sổ trượt để phát hiện hoạt động bất thường của tàu thuyền
TS NGUYỄN THỊ HỒNG HẠNH	316	Ứng dụng mô hình thông tin công trình (BIM) trong công trình bến cảng: Tổng quan thế giới và thực trạng tại Việt Nam





NGUYEN VAN MINH	160	Architectural design solution for age - friendly community spaces in apartment complexes
NGUYEN HUYNH THANH TAN, VU THI HONG HANH	164	The sense of place in selected public buildings in Saigon during the period 1954 - 1975
VO TUAN ANH	170	Strategy for the transformation and adaptation of Hue's village communal house landscape architecture in the process of sustainable heritage urban development
NGO HOANG NGOC DUNG, TONG NGOC TU	175	Street canyon design for improving urban microclimate and outdoor thermal comfort in tropical cities
NGUYEN QUOC THONG, CAO THANH NGHIEP	180	The Thang Long Imperial citadel from an urban design perspective: spatial structure and conservation directions
LE TRUNG THANH, NGUYEN VIET CUONG	185	Current state of construction progress management in embankment projects in Ho Chi Minh City and propose solutions
LE THU THUY, NGUYEN VIET ANH, NGUYEN VAN QUOC	190	Greenhouse gas audit for urban drainage systems: A case study of Le Chan catchment and Vinh Niem wastewater treatment plant, Hai Phong
NGUYEN PHUONG TU, DOAN THU HA	196	Water source quality management towards water safety plan: Experiences from selected countries
PHAM NGOC TRANG, PHAM TUNG DUONG, DO THANG	200	Evaluation of discrepancies between settlement predictions from design calculations and monitoring results of embankments on soft soils in the Mekong Delta
NGUYEN HONG TIEN	204	Waste-to-Energy incineration: Contributing to environmental protection and sustainable development
BUI NAM PHUONG, NGUYEN DUY TAN, NGUYEN HOANG THINH	208	Proposing an integrated design framework for the functional optimization of passenger terminals in Vietnam: Towards a balance between National standards and International practices
LE PHI VU, DUONG HUU TUYEN	212	Investment attraction for the development of inland waterway infrastructure toward climate change adaptation: A case study in Dong Thap province
NGUYEN HAI HA, LE THI HONG VAN, NGUYEN THAI LINH, TRAN QUANG HUY, NGUYEN SY PHI DUONG, PHAN HONG DANG	216	Nummerical analysis of soil arching effect of CFG pile foundation for high speed railway
HUYNH TAT MINH, NGUYEN MINH DUC	220	Port resilience a research methods review
TRAN DONG, NGO VIET DUC, NGUYEN THU HUYEN, TRAN HUNG ANH	224	The study evaluates the shear resistance of sand columns used in the sand column ground improvement method for soft soil stabilization, based on selected physical and mechanical properties obtained from laboratory
NGUYEN DINH QUYET, NGUYEN VAN HIEU, PHAM CAO THANG, VO TIEN DUNG	228	Effect of load position on stress and deflection of airport cement concrete pavement slabs
LE XUAN TRUONG, NGUYEN NHU MINH	234	Research proposing evaluation criteria for seaports oriented towards green development
NGUYEN TRONG TU	237	Quality management of earthworks in the Central Highlands region Vietnam
VU ANH TUAN, VU BACH TUAN, PHAM THAI BINH, NGUYEN DUC MANH	240	An overview of methods for predicting settlement of highway embankments on soft ground
HOANG XUAN HOA, NGUYEN DUC LUONG, BUI THI HIEU, NGUYEN HOANG HIEP, UNG QUOC TRANG	245	Overview of international experience on low-emission zones and recommendations for relevant policy for Vietnam
NGUYEN TRONG NHAN, VAN NGOC TRUC PHUONG, LE THIEN BAO	250	Application of geospatial data in classifying urban morphology by local climate zones: A pilot study in a high-density urban area in Long An ward
DONG MINH KHANH, TRAN THI KIM DANG, LE THANH HAI	256	Orientations for the application of existing flexible pavement design methods to geocell-reinforced unbound aggregate bases
MAI PHU GIANG	262	Assessing the potential for seismic resonance between ground and structures based on data of ground vibration characteristics in Hanoi
TRAN VIET TAM	266	Research and calculation of slender reinforced concrete columns subjected to uniaxial eccentric compression in accordance with TCVN 5574:2018, EC2:2004 and ACI 318:2019
TRAN THANG LONG, NGUYEN THE GIOI	271	Influence of moving mass on the oscillation characteristics of functionally graded plate resting on elastic medium
NGUYEN TUAN NINH, NGUYEN KIM QUANG, DANG VIET HUNG, NGUYEN TRUONG THANG	274	Fire-resistant design of reinforced concrete structures to national technical regulations and design standards
NGUYEN THANH SANG, HOANG QUOC LONG	278	Some issues related to traffic noise on expressways
TRAN MAI PHUONG	282	Some assessments on the implementation of building information modeling (BIM) in Ho Chi Minh City under Decree No. 175/2024/ND-CP and Decision No. 258/QD-TTg
NGUYEN TONG	286	Benchmarking FEM-based bearing capacity predictions of strip footings on weathered rock against Eurocode 7 in 2D reliability space
NGUYEN TRUNG HIEU	292	Study on the influence of wheelbase on the dynamic performance of passenger coach bogies
TRAN TUAN KIET, TRAN MINH LONG, DANG NGOC CHAU, NGUYEN KHAC QUAN	296	AI-assisted processing of construction site attendance sheets from image data: A design framework for labor management and payroll payment control
NGUYEN THANH PHONG, PHAN DINH PHUC, TRUONG DINH NHAT	302	Artificial intelligence applications in construction: A case study of building energy monitoring
PHAM VAN TAN, NGUYEN DUY THANH	308	Assessing the impact of digital technology adoption on the effectiveness of cost control in the management accounting system in Vietnam
NGUYEN THANH TUNG, NGUYEN THANH DIEU, QUACH THANH CHUNG	312	Study on the application of cellular automata and sliding window algorithm for detecting anomalous ship behavior

SCIENTIFIC COMMISSION:

Ass.Prof Pham Minh Ha, Ph.D
(Chairman of the Scientific Council)
Ass.Prof Le Trung Thanh, Ph.D
(Permanent Council)
Ass.Prof Vu Ngoc Anh, Ph.D
Prof. Nguyen Viet Anh, Ph.D
Ass.Prof Pham Xuan Duong, Ph.D
Ass.Prof Hoang Ha, Ph.D
Dr. Nguyen Hong Hai
Dr. Le Quang Hung
Ass.Prof Nguyen Van Hung, Ph.D
Dr. Khuat Viet Hung
Ass.Prof, Architect Hoang Vinh Hung
Prof. Pham Huy Khang, Ph.D
Prof, Dr, Architect Doan Minh Khoi
Prof, Dr, Architect Nguyen To Lang
Ass.Prof Nguyen Ngoc Long, Ph.D
Prof. Phan Quang Minh, Ph.D
Dr. Phan Huu Duy Quoc
Ass.Prof Nguyen Thanh Sang, Ph.D
Prof. Pham Cao Thang, Ph.D
Prof. Trinh Minh Thu, Ph.D
Ass.Prof Nguyen Hong Tien, Ph.D
Ass.Prof Nguyen Thi Tuyet Trinh, Ph.D
Ass.Prof Hoang Tung, Ph.D
Ass.Prof Tong Tran Tung, Ph.D

EDITOR-IN-CHIEF:
Nguyen Thai Binh
DEPUTY-EDITOR-IN-CHIEF:
Nguyen Van Huong
Pham Van Dung
Nguyen Thanh Hoa
Ly Ngoc Thanh

MỤC LỤC CONTENT

06.2026 tapchixaydung.vn

HỘI ĐỒNG KHOA HỌC:
PGS.TS Phạm Minh Hà - Chủ tịch Hội đồng
PGS.TS Lê Trung Thành - Thường trực Hội đồng
PGS.TS Vũ Ngọc Anh - Ủy viên
GS.TS Nguyễn Việt Anh - Ủy viên
PGS.TS Phạm Xuân Dương - Ủy viên
PGS.TS Hoàng Hà - Ủy viên
TS Nguyễn Hồng Hải - Ủy viên
TS Lê Quang Hùng - Ủy viên
PGS.TS Nguyễn Văn Hùng - Ủy viên
TS Khuất Việt Hùng - Ủy viên
PGS.TS.KTS Hoàng Vĩnh Hưng - Ủy viên
GS.TS Phạm Huy Khang - Ủy viên
GS.TS.KTS Doãn Minh Khôi - Ủy viên
GS.TS.KTS Nguyễn Tố Lăng - Ủy viên
PGS.TS Nguyễn Ngọc Long - Ủy viên
GS.TS Phan Quang Minh - Ủy viên
TS Phan Hữu Duy Quốc - Ủy viên
PGS.TS Nguyễn Thanh Sang - Ủy viên
GS.TS Phạm Cao Thăng - Ủy viên
GS.TS Trịnh Minh Thụ - Ủy viên
PGS.TS Nguyễn Hồng Tiến - Ủy viên
PGS.TS Nguyễn Thị Tuyết Trinh - Ủy viên
PGS.TS Hoàng Tùng - Ủy viên
PGS.TS Tống Trần Tùng - Ủy viên

TỔNG BIÊN TẬP:
Nguyễn Thái Bình
PHÓ TỔNG BIÊN TẬP:
Nguyễn Văn Hường
Phạm Văn Dùng
Nguyễn Thanh Hoa
Lý Ngọc Thanh

TS PHẠM VĂN TÙNG, TS PHẠM VĂN TUYÊN	320	Ứng dụng công nghệ viễn thám và GIS đánh giá biến động đất xây dựng tại Hóc Môn, TP Hồ Chí Minh giai đoạn 1994 - 2024 bằng thuật toán học máy
THS NGUYỄN QUANG HUY, TS NGUYỄN XUÂN THỊNH	324	Nghiên cứu ứng dụng công nghệ GIS trong hiệu chỉnh và nâng cao độ chính xác biên tập dữ liệu địa hình đáy biển từ ảnh vệ tinh Landsat kết hợp số liệu đo sâu thực địa
TS LƯƠNG TÚ NAM, THS PHẠM QUANG THỦY, PGS.TS TRẦN VĂN LƯỢNG	328	Nghiên cứu phát triển thuật toán lập tuyến đường cho tàu tự hành trong vùng nước hạn chế
THS NGUYỄN VĂN THỊNH, PGS.TS NGUYỄN VĂN SƯỚNG, THS PHẠM QUANG THỦY	332	Thuật toán điều khiển học lặp cho hệ thống lái tàu thủy tự động
PGS.TS TRẦN HỒNG HÀ, TS PHAN TRUNG KIÊN, THS ĐỖ THỊ HIỀN	335	Áp dụng thiết bị đo lưu lượng khối lượng Corilois trên tàu biển để phục vụ công tác chuyển đổi số cho ngành Hàng hải
PGS.TS NGUYỄN THÁI DƯƠNG, THS NGUYỄN ĐÌNH HẢI, THS NGUYỄN ANH TUẤN	340	Nghiên cứu xây dựng chương trình xác định vị trí tàu bằng phương pháp thiên văn đáp ứng tiêu chuẩn STCW 78/2010
TS ĐOÀN TÙNG	343	Phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu quả vận hành TBM qua tuyến ĐSĐT Nhổn - Ga Hà Nội
NGUYỄN ĐỨC TOÀN, TRẦN VĂN HƯNG	348	Cơ chế Handover trong mạng 5G cho đường sắt tốc độ cao Bắc - Nam: Mô phỏng và đánh giá hiệu năng
PHẠM QUỐC NHẬT, TRẦN VĂN MIỀN	353	Đánh giá dưỡng hộ CO_2 ở tuổi muộn cho bê tông chứa phụ gia khoáng hoạt tính
PGS.TS LÊ VĂN PHÚC, PHẠM HỒNG PHONG, TS TRẦN HỮU BẰNG	358	Thiết lập tương quan giữa thí nghiệm vệt bánh xe và tuổi thọ lún dự báo của lớp bê tông nhựa làm mặt đường trong điều kiện TP Hồ Chí Minh
PGS.TS NGUYỄN THỊ TUYẾT TRINH, THS TRẦN MINH LONG	362	Đánh giá sức kháng trượt và mỏi của liên kết bu-lông cường độ cao trong cầu thép đường sắt tốc độ cao
TS PHẠM ĐỨC THIỆN, THS BÙI VĂN HIỀN	366	Nghiên cứu đặc tính cơ học của bê tông geopolymer cốt liệu tái chế
TS NGUYỄN THỊ NGUYỆT HẰNG, TS TRẦN VIỆT HÙNG	371	Khả năng chịu uốn của dầm bê tông cường độ cao trong điều kiện cháy: Ảnh hưởng của các tham số theo phương pháp đường đẳng nhiệt 500°C
TS BÙI THỊ QUỲNH ANH	376	Mô hình hóa cường độ chịu nén không nở hông của đất yếu gia cố bằng xi măng, tro bay và vôi theo phương pháp bề mặt đáp ứng
THS.NCS LÊ VĂN HIỆP, PGS.TS NGUYỄN ĐỨC MẠNH, PGS.TS PHẠM THÁI BÌNH	381	Tối ưu hóa cường độ nén nở hông của đất bề mặt ở Cần Thơ cải tạo bằng xi măng kết hợp phụ gia theo phương pháp bề mặt đáp ứng
CN LÂM KIM CHI, PGS.TS HỒ THỊ THU HÒA, TS NGUYỄN THẮNG LỢI	386	Nghiên cứu phát triển bộ tiêu chí đánh giá và lựa chọn đối tác cung cấp dịch vụ vận chuyển: Trường hợp của Công ty TNHH GFS Global Freight Services (Việt Nam)
NGUYỄN VĂN SƠN, ĐÀO VŨ XUÂN NAM, BÙI ĐỨC ĐẠI, NGUYỄN ĐÌNH CHỨC, MAI DUY THANH	391	Cạnh tranh, hiệu quả và rủi ro trong lựa chọn nhà thầu xây lắp tại Việt Nam: Bằng chứng từ các gói thầu giai đoạn 2023 - 2026
TS NGUYỄN VĂN TRUNG, THS NGUYỄN THÁI SƠN	396	Nâng cao hiệu quả đầu tư xây dựng hệ thống trường học theo Chương trình mục tiêu quốc gia về giáo dục giai đoạn 2026 - 2035
TS LƯU QUANG HIỆU	400	Ứng dụng mô hình kết hợp Lean và Agile để tối ưu hóa sản xuất tại doanh nghiệp cơ khí chính xác
TS ĐỖ VĂN THUẬN	404	Phát triển giao thông xanh trong kỷ nguyên mới theo định hướng của Văn kiện Đại hội XIV của Đảng
THS TRẦN MINH ĐỨC, PGS.TS NGUYỄN LƯƠNG HẢI	408	Nghiên cứu các yếu tố rủi ro liên quan đến chủ đầu tư trong các dự án xây dựng công trình giao thông sử dụng vốn đầu tư công ở Việt Nam
TS NGUYỄN THỊ HẠNH, THS TRẦN THỊ KIM PHƯỢNG	412	Các yếu tố ảnh hưởng đến kết quả học tập của sinh viên ngành Quản trị kinh doanh, Khoa Quản trị, Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải
ĐỖ TRỌNG LUẬT, TS NGUYỄN XUÂN THỊNH	416	Nghiên cứu đề xuất giải pháp nâng cao công tác quản lý tiến độ xây dựng tại dự án khu đô thị dịch vụ - thương mại và nhà ở công nhân Tràng Duệ, Hải Phòng
TS VŨ VĂN MỪNG, THS MAI THẾ TRỌNG, THS VŨ ANH TUẤN	420	Đánh giá và so sánh các phương pháp hoạch định tồn kho cho doanh nghiệp sản xuất điện tử trong điều kiện nhu cầu rời rạc
TS NGÔ ĐỨC PHƯỚC	424	Thực trạng quản lý nhà nước đối với chuỗi dịch vụ logistics vận tải hàng hóa hàng không ở Việt Nam
THS NGÔ TOÀN THẮNG, PGS.TS NGUYỄN LƯƠNG HẢI, TS ĐỖ THỊ HUYỀN	428	Nghiên cứu các chiến lược xây dựng kế hoạch khai thác cơ sở vật chất tại các cơ sở giáo dục đại học công lập Việt Nam
LÊ THANH TOÀN	432	Giải pháp hoàn thiện các công trình xây dựng dang dở tại Việt Nam: Thực trạng và khuyến nghị chính sách
LÊ TRUNG THÀNH, PHẠM THANH TRÀO, LÊ XUÂN BẢO	437	Công tác thẩm định hồ sơ thiết kế xây dựng dự án nâng cấp Phân hiệu Trường Đại học Thủy lợi: Tiếp cận theo mô hình SWOT-AHP
ĐINH TRỌNG HÙNG, PHẠM THÀNH NGHIỆP, ĐINH TRUNG HIẾU	442	Nghiên cứu sơ bộ và đề xuất các giải pháp hoàn thiện công tác quản lý thiết kế công trình kết cấu thép tại Việt Nam
THS NGUYỄN THỊ THANH BÌNH, TS VƯƠNG THU GIANG	447	Đánh giá các yếu tố kinh tế thành phố cảng Hải Phòng ảnh hưởng đến sản lượng thông qua cảng biển Hải Phòng
DƯƠNG DIỆP THÚY, PHẠM VĂN HOÀN, NGUYỄN VIẾT MINH	450	Các đường cong τ–z chuẩn hóa cho phân tích lún móng bè cọc dựa trên phương pháp SDF cho đất sét tại Hà Nội
TS NGUYỄN THANH TÂM, THS KỲ MINH HƯNG	454	Đánh giá các đặc tính vật lý và hóa học của tro đáy từ quá trình đốt chất thải rắn đô thị và tác động của chúng đến hiệu suất của bê tông
THS TRẦN TIẾN HUỲNH, THS NGUYỄN THÀNH LEN	460	Vai trò của hợp đồng trong quản lý tiến độ dự án xây dựng công trình giáo dục tại Hà Nội





NGUYEN THI HANG HANH	316	Application of Building Information Modeling (BIM) in port infrastructure: Global overview and current status in Vietnam
PHAM VAN TUNG, PHAM VAN TUYEN	320	Application of remote sensing and GIS in assessing built-up land changes in Hoc Mon, Ho Chi Minh City (1994 - 2024) using machine learning algorithms
NGUYEN QUANG HUY, NGUYEN XUAN THINH	324	Research on the application of GIS technology in correcting and enhancing the accuracy of seafloor topographic data from Landsat imagery combined with bathymetric data
LUONG TU NAM, PHAM QUANG THUY, TRAN VAN LUONG	328	Research on developing path planning algorithms for autonomous ships in restricted waters
NGUYEN VAN THINH, NGUYEN VAN SUONG, PHAM QUANG THUY	332	A study on an iterative learning controller for the ship course keeping control system
TRAN HONG HA, PHAN TRUNG KIEN, DO THI HIEN	335	Applying mass flowmeter Corilois technology in Vietnam's ship to support digital transformation in Maritime services
NGUYEN THAI DUONG, NGUYEN DINH HAI, NGUYEN ANH TUAN	340	Study on developing a ship positioning program astronomical methods meeting STCW 78/2010 standards
DOAN TUNG	343	Analysis of factors affecting the operational efficiency of TBM on the Nhon - Hanoi Station metro line
NGUYEN DUC TOAN, TRAN VAN HUNG	348	5G Handover mechanisms for North - South high-speed railways: Simulation and performance evaluation
PHAM QUOC NHAT, TRAN VAN MIEN	353	Evaluation of late-age CO_2 curing on hardened concrete incorporating supplementary cementitious materials
LE VAN PHUC, PHAM HONG PHONG, TRAN HUU BANG	358	Establishing a correlation between wheel tracking test results and predicted rutting life of asphalt concrete pavements under Ho Chi Ninh City conditions
NGUYEN THI TUYET TRINH, TRAN MINH LONG	362	Evaluation of the slip resistance and fatigue of high-strength bolted connections in steel bridges for high-speed railways
PHAM DUC THIEN, BUI VAN HIEN	366	Study on mechanical properties of recycled aggregates geopolymer concrete
NGUYEN THI NGUYET HANG, TRAN VIET HUNG	371	Flexural resistance of high-strength concrete beams in fire: Influence of key parameters based on the 500°C isotherm method
BUI THI QUYNH ANH	376	Response surface modeling of unconfined compressive strength of soft soil stabilized with cement, fly ash and lime
LE VAN HIEP, NGUYEN DUC MANH, PHAM THAI BINH	381	Optimization of unconfined compressive strength of surface soil in Can Tho City improved with cement and additive using response surface methodology
LAM KIM CHI, HO THI THU HOA, NGUYEN THANG LOI	386	Research on developing criteria for evaluating and selecting transportation service providers: A case study of GFS Global Freight Services (Vietnam) Co., Ltd.
NGUYEN VAN SON, DAO VU XUAN NAM, BUI DUC DAI, NGUYEN DINH CHUC, MAI DUY THANH	391	Competition, efficiency, and risk in construction contractor selection in vietnam: evidence from procurement packages during 2023 - 2026
NGUYEN VAN TRUNG, NGUYEN THAI SON	396	Improving the efficiency of construction investment in the school system under The national target program on education for the 2026 - 2035 period
LUU QUANG HIEU	400	Application of an integrated Lean and Agile model to optimize production in a precision mechanical enterprise
DO VAN THUAN	404	Developing green transportation in the new era in accordance with the orientation of the documents of the 14th National Congress of the Communist Party of Vietnam
TRAN MINH DUC, NGUYEN LUONG HAI	408	A study on risk factors associated with project owners in public investment-funded transport construction projects in Vietnam
NGUYEN THI HANH, TRAN THI KIM PHUONG	412	Factors affecting the academic performance of business administration students, Faculty of Management, University of Transport Technology
DO TRONG LUAT, NGUYEN XUAN THINH	416	Research on solutions to improve construction schedule management in Trang Due survice - commercial urban area and workers' housing project, Haiphong City, Vietnam
VU VAN MUNG, MAI THẾ TRỌNG, VU ANH TUAN	420	Evaluating and comparing inventory planning methods for electronics manufacturing businesses under conditions of discrete demand
NGO DUC PHUOC	424	State of state management of logistics service chain in air cargo transport in Vietnam
NGO TOAN THANG, NGUYEN LUONG HAI, DO THI HUYEN	428	A study on strategies for developing plans for the utilization of physical facilities at public higher education institutions in Vietnam
LE THANH TOAN	432	Solutions for completing unfinished construction projects in Vietnam: Current situation and policy recommendations
LE TRUNG THANH, PHAM THANH TRAO, LE XUAN BAO	437	Appraisal of construction design documents for the upgrade project of the Southern Branch of Thuyloi University: A SWOT-AHP approach
DINH TRONG HUNG, PHAM THANH NGHIEP, DINH TRUNG HIEU	442	A preliminary research and proposed solutions for improving the design management of steel structure projects in Vietnam
NGUYEN THI THANH BINH, VUONG THU GIANG	447	An evaluation of economic factors Influencing cargo throughput at Hai Phong seaport
DUONG DIEP THUY, PHAM VAN HOAN, NGUYEN VIET MINH	450	Local normalized τ–z curves for SDF-based settlement analysis of pile raft foundations in Hanoi clay soils
NGUYEN THANH TAM, KY MINH HUNG	454	Evaluation of physical and chemical properties of municipal solid waste incineration bottom ash and its impact on concrete performance
TRAN TIEN HUYNH, NGUYEN THANH LEN	460	The role of contracts in schedule management for educational facility construction projects in Ha Noi

SCIENTIFIC COMMISSION:

Ass.Prof Pham Minh Ha, Ph.D
(Chairman of the Scientific Council)
Ass.Prof Le Trung Thanh, Ph.D
(Permanent Council)
Ass.Prof Vu Ngoc Anh, Ph.D
Prof. Nguyen Viet Anh, Ph.D
Ass.Prof Pham Xuan Duong, Ph.D
Ass.Prof Hoang Ha, Ph.D
Dr. Nguyen Hong Hai
Dr. Le Quang Hung
Ass.Prof Nguyen Van Hung, Ph.D
Dr. Khuat Viet Hung
Ass.Prof, Architect Hoang Vinh Hung
Prof. Pham Huy Khang, Ph.D
Prof, Dr, Architect Doan Minh Khoi
Prof, Dr, Architect Nguyen To Lang
Ass.Prof Nguyen Ngoc Long, Ph.D
Prof. Phan Quang Minh, Ph.D
Dr. Phan Huu Duy Quoc
Ass.Prof Nguyen Thanh Sang, Ph.D
Prof. Pham Cao Thang, Ph.D
Prof. Trinh Minh Thu, Ph.D
Ass.Prof Nguyen Hong Tien, Ph.D
Ass.Prof Nguyen Thi Tuyet Trinh, Ph.D
Ass.Prof Hoang Tung, Ph.D
Ass.Prof Tong Tran Tung, Ph.D

EDITOR-IN-CHIEF:
Nguyen Thai Binh
DEPUTY-EDITOR-IN-CHIEF:
Nguyen Van Huong
Pham Van Dung
Nguyen Thanh Hoa
Ly Ngoc Thanh

Tăng tốc thực hiện các nhiệm vụ chiến lược của ngành Xây dựng



THANH NGA



NGỌC HÀ

Hoàn thiện toàn bộ chỉ tiêu cải cách thủ tục hành chính, đưa vào khai thác thêm 34 km cao tốc, đẩy mạnh phát triển nhà ở xã hội và chuyển đổi số là những kết quả nổi bật của Bộ Xây dựng trong tháng 5/2026. Bộ trưởng Bộ Xây dựng Trần Hồng Minh yêu cầu toàn Ngành tiếp tục tăng tốc hoàn thiện thể chế, nâng cao hiệu quả đầu tư và tạo động lực tăng trưởng cho giai đoạn mới.

NHIỀU CHUYỂN ĐỘNG TÍCH CỰC CỦA NGÀNH XÂY DỰNG

Tháng 5/2026 đánh dấu nhiều chuyển động tích cực của ngành Xây dựng trên nhiều lĩnh vực quản lý nhà nước, phát triển kết cấu hạ tầng, nhà ở, VLXD, khoa học công nghệ và chuyển đổi số.

Trong tháng 5, Bộ đã hoàn thành 100% kế hoạch xây dựng các Luật, Nghị định, Thông tư đảm bảo theo yêu cầu. Bộ Xây dựng đã hoàn thành, trình Chính phủ dự án Bộ luật Hàng hải và Đường thủy Việt Nam và hồ sơ chính sách Luật Kinh doanh BĐS (sửa đổi), Luật Nhà ở (sửa đổi); 5 dự thảo Nghị định quan trọng; hoàn thành 8/10 cơ sở dữ liệu của Ngành kết nối, chia sẻ dữ liệu với các cơ sở dữ liệu quốc gia và các hệ thống thông tin của Chính phủ; đồng thời đẩy nhanh xây dựng các văn bản hướng dẫn thi hành các luật mới thuộc phạm vi quản lý.

Đặc biệt, Bộ đã hoàn thành toàn bộ 5 chỉ tiêu cải cách thủ tục hành chính theo yêu cầu của Trung ương. Kết quả cho thấy chi phí tuân thủ thủ tục hành chính giảm hơn 54%, thời gian giải quyết thủ tục giảm gần 54%; hàng chục thủ tục hành chính được phân cấp, phân quyền mạnh mẽ, góp phần tạo môi trường đầu tư thông thoáng và nâng cao hiệu lực quản lý nhà nước.

Cùng với đó, công tác tổ chức bộ máy tiếp tục được rà soát, kiện toàn theo hướng tinh gọn, hiệu quả. Bộ Xây dựng cũng là bộ đầu tiên tổ chức sơ kết 1 năm vận hành mô hình chính quyền địa phương 2 cấp và hệ thống chính trị sau sắp xếp.

Trong lĩnh vực đầu tư xây dựng, nhiều công trình, dự án trọng điểm tiếp tục được triển khai theo đúng định hướng đề ra. Tháng 5/2026, cả nước đưa vào khai thác thêm 34 km đường bộ cao tốc, góp phần hoàn thành thông xe toàn tuyến cao tốc Bắc - Nam phía Đông. Tính chung 5 tháng đầu năm, đã có 286 km đường cao tốc được đưa vào vận hành, nâng cao năng lực kết nối vùng, giảm chi phí logistics và tạo động lực cho phát triển kinh tế - xã hội.

Song song với đó, các dự án chiến lược như đường sắt tốc độ cao trên trục Bắc - Nam, tuyến đường sắt Lào Cai - Hà Nội - Hải Phòng, Cảng hàng không quốc tế Long Thành giai đoạn 1, đường Vành đai 5 vùng Thủ đô Hà Nội và các tuyến cao tốc mới tiếp tục được đẩy mạnh công tác chuẩn bị đầu tư hoặc thi công. Công tác kiểm soát chất lượng công trình tiếp tục được thực hiện nghiêm túc với nhiều đợt kiểm tra hoàn thành và kiểm tra định kỳ tại các dự án trọng điểm.

Bên cạnh đó, hoạt động vận tải tiếp tục sôi động, đáp ứng tốt nhu cầu đi lại của nhân dân, phục vụ sản xuất và xuất nhập khẩu hàng hóa, bảo đảm trật tự, an toàn giao thông. So với cùng kỳ năm trước, vận tải hành khách tháng 5/2026 tăng 17,8% về vận chuyển và tăng 13,9% về luân chuyển; vận tải hàng hóa tăng 13,8% về vận chuyển và tăng 15,7% về luân chuyển..

Đối với lĩnh vực nhà ở, Bộ Xây dựng tiếp tục triển khai Đề án đầu tư xây dựng ít nhất 1 triệu căn hộ nhà ở xã hội (NƠXH) giai đoạn 2021 - 2030. Đến hết tháng 5/2026, cả nước đã khởi công thêm 34 dự án NƠXH với quy mô gần 29.900 căn hộ; lũy kế đạt 234 dự án với hơn 233.800 căn hộ; khả năng hoàn thành so với chỉ tiêu năm 2026 là 91.293/158.723 căn, đạt 58%.

Bộ đang rà soát, sửa đổi, bổ sung các chính sách theo hướng chuyển đổi mạnh tư duy về nhà ở, trong đó nhà ở cho thuê được xác định là phân khúc chiến lược; phát triển nhà ở theo cơ chế thị trường có sự định hướng, quản lý hiệu quả của Nhà nước; huy động đa dạng nguồn lực, không chỉ ngân sách nhà nước; tập trung khơi thông dòng vốn tư nhân...

Ngoài ra, Bộ đã triển khai thí điểm hệ thống mã định danh BĐS và tiếp tục đôn đốc các địa phương cập nhật dữ liệu về nhà ở và thị trường BĐS lên hệ thống thông tin quốc gia.

Công tác quản lý quy hoạch, phát triển đô thị, phát triển hạ tầng kỹ thuật ghi nhận một số điểm sáng như: Bộ đã hoàn thành phê duyệt điều chỉnh Quy hoạch tổng thể hệ thống đô thị và nông thôn thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050;



tích cực hướng dẫn, đôn đốc các địa phương triển khai thực hiện các nhiệm vụ về phân loại đô thị và tham gia các Hội đồng thẩm định điều chỉnh quy hoạch tỉnh…

Một điểm sáng khác của ngành Xây dựng trong tháng 5 là việc đẩy mạnh ứng dụng khoa học công nghệ, chuyển đổi số và phát triển VLXD theo hướng xanh, bền vững.

Trong lĩnh vực khoa học công nghệ, Bộ đã gửi đề nghị Bộ Khoa học và Công nghệ công bố 6 tiêu chuẩn quốc gia lĩnh vực đường sắt, đồng thời trình thẩm định 60 tiêu chuẩn quốc gia thuộc các lĩnh vực xây dựng, VLXD, hàng hải và công nghệ xây dựng.

Trong lĩnh vực VLXD, Bộ đã ban hành kế hoạch triển khai Chỉ thị của Ban Bí thư về tăng cường công tác quản lý, phát triển VLXD trong giai đoạn mới… Ngoài ra, các công tác khác như quản lý doanh nghiệp; tổ chức cán bộ, hợp tác quốc tế tiếp tục được chú trọng, đẩy mạnh.

ĐẨY NHANH ĐẦU TƯ HẠ TẦNG NHƯNG KHÔNG ĐÁNH ĐỔI CHẤT LƯỢNG

Mặc dù đạt được nhiều kết quả tích cực, tuy nhiên theo Bộ trưởng Trần Hồng Minh, khối lượng công việc phía trước còn rất lớn. Mục tiêu tăng trưởng của khu vực xây dựng giai đoạn 2026 - 2030 đạt bình quân 14,5%/năm đòi hỏi toàn Ngành phải tiếp tục đổi mới tư duy quản lý, nâng cao hiệu quả điều hành và phát huy vai trò của thể chế trong tạo lập môi trường phát triển.

Vì vậy, Bộ trưởng yêu cầu các cơ quan, đơn vị tiếp tục tập trung hoàn thiện các Luật, Nghị định, Thông tư; chủ động chuẩn bị hồ sơ trình Quốc hội, Chính phủ bảo đảm chất lượng và tiến độ; đồng thời khẩn trương rà soát, cập nhật các kịch bản tăng trưởng của ngành Xây dựng năm 2026. Cùng với hoàn thiện thể chế, phát triển kết cấu hạ tầng tiếp tục là một trong những nhiệm vụ trọng tâm của Bộ Xây dựng.

Bên cạnh đó, Bộ trưởng cũng thẳng thắn chỉ rõ những hạn chế cần sớm khắc phục, đặc biệt là tiến độ giải ngân vốn đầu tư công chưa đáp ứng yêu cầu và một số dự án còn chậm tiến độ.

Người đứng đầu ngành Xây dựng yêu cầu các chủ đầu tư, BQLDA phải thường xuyên bám sát công trường, theo dõi sát tình hình thi công và giải ngân theo tuần, theo tháng; kịp thời tháo gỡ các khó khăn, vướng mắc phát sinh.

Đối với tuyến cao tốc Bắc - Nam phía Đông đã đưa vào khai thác toàn tuyến, Bộ trưởng yêu cầu đẩy nhanh tiến độ hoàn thiện các hạng mục còn lại và hoàn thành thủ tục bàn giao để tổ chức thu phí theo quy định.

Theo chỉ đạo của Bộ trưởng, toàn bộ hệ thống giao thông thông minh (ITS), thu phí điện tử không dừng, hệ thống kiểm soát tải trọng phương tiện và các trạm dừng nghỉ trên tuyến phải hoàn thành trước ngày 15/7/2026 (ngoại trừ một số dự án hoàn thành sau vì một số lý do khách quan).

Đặc biệt, Bộ trưởng nhấn mạnh yêu cầu xuyên suốt trong quá trình triển khai các dự án là phải bảo đảm chất lượng công trình. Không vì áp lực tiến độ hay mục tiêu giải ngân mà xem nhẹ các yêu cầu kỹ thuật, chất lượng và an toàn công trình. Đây được xác định là nguyên tắc cốt lõi trong quản lý đầu tư xây dựng đối với các dự án trọng điểm quốc gia.

Bộ trưởng yêu cầu các đơn vị khẩn trương triển khai các chỉ đạo của Tổng Bí thư, Chủ tịch nước và Thủ tướng Chính phủ về phát triển NƠXH và nhà ở cho thuê; đồng thời nghiên cứu, đề xuất các cơ chế huy động, phân bổ và sử dụng hiệu quả nguồn lực cho lĩnh vực này.

Các nhiệm vụ khác cũng được Bộ trưởng chỉ đạo các đơn vị đẩy nhanh tiến độ như: rà soát kỹ lộ trình đầu tư mở rộng, hoàn chỉnh các tuyến cao tốc Bắc - Nam, sớm hoàn thiện phương án nghiên cứu đầu tư đường Vành đai 5 vùng Thủ đô Hà Nội; nhanh chóng hoàn thiện hồ sơ quyết toán ngay khi xong dự án cao tốc…❖



Đi tìm sự đột phá trong nhà ở cho thuê

> NGUYỄN MINH VÂN

Không phải ngẫu nhiên chỉ trong chưa đầy một tuần, tại TP.HCM đã diễn ra 2 cuộc họp ở cấp cao nhất bàn về một giao dịch truyền thống trong đời sống người dân và tưởng như rất "vụn vặt" trong một thị trường BĐS khổng lồ, đó là nhà ở cho thuê.

Ngày 09/6/2026, Sở Xây dựng TP.HCM phối hợp Hội Khoa học - kỹ thuật xây dựng thành phố tổ chức Hội nghị triển khai và xúc tiến đầu tư phát triển nhà ở cho thuê trên địa bàn. Tham dự hội nghị có Thứ trưởng Bộ Xây dựng Nguyễn Văn Sinh; Chủ tịch UBND Thành phố Nguyễn Văn Được.

Ngày 13/6/2026, tại buổi làm việc với Ban Thường vụ Thành ủy TP.HCM, Thủ tướng Lê Minh Hưng khẳng định một trong những mục tiêu ưu tiên thời gian tới là tập trung phát triển nhà ở cho thuê. Đây là định hướng chiến lược và sẽ được cụ thể hóa trong các quy định pháp luật.

CHIẾN LƯỢC "KHÔNG BỎ AI Ở LẠI PHÍA SAU" TRONG LĨNH VỰC NHÀ Ở

Có thể nhận xét "phát súng lệnh" của Tổng Bí thư, Chủ tịch nước Tô Lâm đã được khởi phát từ buổi làm việc với Đảng ủy Chính phủ và các bộ, ngành liên quan về tình hình triển khai thực hiện Chỉ thị số 34-CT/TW ngày 24/5/2024 của Ban Bí thư về tăng cường sự lãnh đạo của Đảng đối với công tác phát triển nhà ở xã hội (NƠXH) trong tình hình mới.

Tại đây, ông nhấn mạnh, trong thời kỳ phát triển mới, tiếp cận nhà ở an toàn phù hợp với khả năng chi trả phải được coi là quyền cơ bản của người dân và thước đo của tiến bộ xã hội. Nhà ở phải là một bộ phận ổn định của cấu trúc đô thị, nông thôn, an sinh xã hội, an ninh đô thị, năng suất lao động và sự lành mạnh của thị trường bất động sản.

Từ đó, Tổng Bí thư, Chủ tịch nước Tô Lâm xác định, từ nay đến 2030, nhà ở để bán vẫn cần thiết, nhưng nhà ở cho thuê phải được xác định là trụ cột chiến lược, nhất là tại các đô thị lớn, khu công nghiệp, vùng nhập cư lao động và các địa bàn có giá nhà vượt xa mặt bằng thu nhập của người dân.

Một câu hỏi được đặt ra, theo Bộ Xây dựng, nhờ tiến độ nhanh ở một số địa phương, mục tiêu xây dựng 1 triệu căn NƠXH giai đoạn 2021 - 2030 nhiều khả năng về đích sớm 2 năm, vậy tại sao trong thời gian tới, mục tiêu ưu tiên là phải tập trung phát triển nhà ở cho thuê?

Ta hãy theo dõi những con số thống kê sau đây. Theo Tổng Liên đoàn Lao động Việt Nam, hiện cả nước có khoảng 4,5 - 5 triệu công nhân đang làm việc tại các khu công nghiệp và đô thị. Phần lớn trong số này phải thuê trọ trong các khu nhà dân tự phát do cá nhân xây dựng tại các khu vực ven đô hoặc quanh khu công nghiệp. Vì thế, kể cả khi chương trình xây dựng 1 triệu căn NƠXH giai đoạn 2021 - 2030 dự kiến về đích sớm 2 năm thì vẫn còn xa mới đáp ứng được nhu cầu.

Liên đoàn Lao động TP.HCM cho biết, với mức thu nhập trung bình khoảng 10 triệu đồng mỗi tháng, sau khi trang trải chi phí sinh hoạt, người lao động chỉ có thể tiết kiệm 4 - 6 triệu đồng. Trong khi đó, giá một căn NƠXH hiện phổ biến từ 1,2 tỷ đồng trở lên. Cho dù được nằm trong diện đối tượng được mua NƠXH thì khả năng tài chính rất thấp, bởi nếu tích lũy để có tiền mua nhà trong tương lai thì không còn để tiền thuê nhà trong hiện tại và ngược lại.

Số liệu từ Viện Nghiên cứu và Đánh giá thị trường bất động sản Việt Nam (VARS IRE) cho thấy, hơn 60% người trẻ dưới 35 tuổi tại đô thị lớn đang chọn thuê nhà ở vì không đủ tài chính sở hữu bất động sản. Khảo sát của chuyên

trang Batdongsan cũng ghi nhận 55% nhóm dưới 35 tuổi vẫn đang chọn giải pháp thuê trọ và chỉ 14% mua được nhà trong bối cảnh giá leo thang…

Lược qua những con số thống kê như vậy để thấy rằng, những đối tượng nêu trên hoàn toàn có thể "bị bỏ lại phía sau" trong lĩnh vực nhà ở nếu không có sự trợ giúp của Nhà nước và xã hội.

QUYẾT TÂM CAO TỪ TRUNG ƯƠNG ĐẾN ĐỊA PHƯƠNG

Ngày 13/6/2026, tại buổi làm việc với Ban Thường vụ Thành ủy TP.HCM, Thủ tướng Lê Minh Hưng xác định đối với nhà ở cho thuê, quan điểm là nhà thuộc sở hữu của Nhà nước, không bán mà cho thuê dài hạn, có thể lên tới 30 năm, với tiêu chuẩn, quy chuẩn phù hợp và chi phí thuê hợp lý.

Để có nguồn nhà này, trước hết Nhà nước phải đầu tư, phải bố trí nguồn ngân sách đầu tư. Ông nói: "Vấn đề đặt ra là cách làm. Với các đô thị lớn, như TP.HCM, chúng tôi đề nghị khi phát triển các khu đô thị mới, tới đây cần phải dành quỹ đất để phát triển nhà ở cho thuê thuộc sở hữu Nhà nước, có thể tận dụng hạ tầng của các khu đô thị này. Trường hợp không bố trí được quỹ đất thì phải có cơ chế tài chính để đưa vào quỹ phát triển nhà ở của địa phương".

Để thực hiện mục tiêu chiến lược này, Chính phủ đã chỉ đạo NHNN và Bộ Tài chính nghiên cứu các phương án, như phát hành trái phiếu Chính phủ để Ngân hàng Chính sách xã hội vay lại, hoặc Ngân hàng Chính sách xã hội phát hành trái phiếu có bảo lãnh của Chính phủ. NHNN cũng có thể xem xét tái cấp vốn dài hạn, để tạo nguồn lực cho các nhà đầu tư tiếp cận vốn trung và dài hạn với lãi suất phù hợp, yên tâm phát triển NƠXH và nhà ở cho thuê. Đồng thời, các địa phương có thể đề xuất thực hiện những giải pháp mạnh mẽ hơn, như nghiên cứu cơ chế mua lại các dự án NƠXH chưa bán được, để chuyển đổi sang nhà ở cho thuê.

Cũng dễ hiểu khi Chính phủ chọn TP.HCM là một trong những địa phương đột phá trong triển khai chiến lược này bởi lẽ đang có hẳn trong tay Nghị quyết số 98/2023/QH15 ngày 24/6/2023 của Quốc hội về thí điểm một số cơ chế, chính sách đặc thù phát triển TP.HCM, trong đó có lĩnh vực nhà ở. Từ chính sách đặc thù này mà thành phố đã mạnh mẽ quy định nhiều chính sách ưu đãi cụ thể, thí dụ như hỗ trợ lãi suất cho các dự án, trong đó có NƠXH với mức 200 tỷ đồng/dự án, thời hạn hỗ trợ lên đến 7 năm.

Nay để tạo đột phá trong phát triển NƠXH, nhà ở cho thuê và nhà lưu trú công nhân, Chủ tịch UBND Thành phố Nguyễn Văn Được kiến nghị Chính phủ và Thủ tướng 3 nhóm cơ chế, chính sách.

Thứ nhất về đất đai, TP.HCM kiến nghị được quyết định giao chủ đầu tư trực tiếp đối với quỹ đất do Nhà nước quản lý, quỹ đất công hoặc quỹ đất phù hợp quy hoạch. Đồng thời không thực hiện đấu giá, đấu thầu đối với các dự án NƠXH, nhà ở cho thuê và nhà lưu trú công nhân.

Thứ hai, về tài chính, tín dụng, Chính phủ sớm ban hành chính sách miễn, giảm tiền sử dụng đất, thuế và hỗ trợ lãi suất vay đối với các dự án NƠXH, nhà ở cho thuê và nhà lưu trú công nhân.

Thứ ba, cho phép linh hoạt chuyển đổi giữa các loại hình nhà ở thương mại, NƠXH, tái định cư, cho thuê trong cùng dự án, khi đáp ứng các điều kiện theo quy định. Việc này nhằm tối ưu hóa việc sử dụng quỹ nhà và cân đối cung - cầu, hạn chế lãng phí nguồn lực.

HUY ĐỘNG NGUỒN LỰC TỪ XÃ HỘI

Trước hết, cần phải thừa nhận một thực tiễn là hiện nay, thị trường nhà ở cho thuê chủ yếu đang được đáp ứng từ nguồn lực xã hội và được hình thành tự phát, nhỏ lẻ, thất thường… theo quy luật cung - cầu của thị trường. Nhưng để đạt được mục tiêu "nhà ở phải là một bộ phận ổn định của cấu trúc đô thị, nông thôn, an sinh xã hội, an ninh đô thị, năng suất lao động và sự lành mạnh của thị trường bất động sản" như Tổng Bí thư, Chủ tịch nước Tô Lâm đặt ra thì dứt khoát phải có sự dẫn dắt của Nhà nước.

Vì vậy, khi làm việc với TP.HCM, Thủ tướng Lê Minh Hưng yêu cầu, để phát triển nhà cho thuê, trước mắt, thành phố phải bố trí ngân sách. Về lâu dài, muốn phát triển bền vững loại hình nhà này, phải huy động nguồn lực tư nhân!

Tại Hội Khoa học - kỹ thuật Xây dựng Thành phố tổ chức Hội nghị triển khai và xúc tiến đầu tư phát triển nhà ở cho thuê trên địa bàn do Sở Xây dựng TP.HCM tổ chức, đã có nhiều ý kiến đáng quan tâm, đặc biệt từ khối tư nhân.

Thứ nhất, để thu hút các doanh nghiệp tư nhân tham gia nhà ở cho thuê, Nhà nước cần ban hành chính sách trước mới thu hút được doanh nghiệp. Lý do rất thực tế, đó là nhà đầu tư bỏ tiền ra trước nhưng thu hồi rất chậm, gần như không có lợi nhuận luôn chứ không phải đạt được lợi nhuận 10% như khi đầu tư NƠXH. Chính vì vậy rất khó thu hút nhà đầu tư.

Thứ hai, hiện nay chưa có một gói nào hỗ trợ cho doanh nghiệp xây dựng nhà ở cho thuê. Giả định, nếu đầu tư 1 căn hộ 45 - 50 m2 cần 1 tỷ đồng. Họ vay tiền để xây lãi suất 10%, 1 năm tiền lãi 100 triệu đồng. Vậy căn hộ cho thuê là 8 triệu đồng thì chỉ đủ trả lãi. Nếu với dự án làm 1.000 căn hộ vay 1.000 tỷ đồng với mức cho thuê đó sẽ không bao giờ trả được phần gốc vay này.

Để khả thi, Nhà nước cần tái cấp bù ngân sách, chỉ cho vay tối đa 3 - 4%/năm, phần còn lại sẽ được Nhà nước cấp bù ngân sách, khi đó phần lãi từ 100 triệu xuống còn 30 - 40 triệu đồng/tháng thì lúc đó giá thuê nhà mới giảm và chủ đầu tư mới cân đối được tài chính…

Tuy nhiên, từ những bài học quý giá đã và đang thu được thành công trong thực hiện Chương trình xây dựng 1 triệu căn NƠXH giai đoạn 2021 - 2030 của Chính phủ, nay bước sang thực hiện mục tiêu chiến lược ưu tiên phát triển nhà ở cho thuê, chắc chắn sẽ có thêm những nền tảng vững chắc hơn trong tư duy hình thành hệ thống pháp lý ở tầng vĩ mô và kinh nghiệm triển khai trong quá trình tổ chức thực hiện tại các địa phương.❖

Khơi thông các điểm nghẽn trong hoạt động logistics ở Việt Nam



TS NGÔ ANH TUẤN*

Trong điều kiện chi phí logistics của Việt Nam năm 2025 đang ở mức 16 - 17% so với GDP, cao hơn mức trung bình toàn cầu là 8 - 10%, việc nâng cao hiệu quả khai thác, giảm chi phí vận tải và kho bãi mang ý nghĩa sống còn đối với tăng trưởng kinh tế, thúc đẩy thị trường nội địa và nâng tầm cạnh tranh quốc gia.

Phát triển vận tải đa phương thức là yêu cầu then chốt để nâng cao hiệu quả khai thác hệ thống giao thông vận tải, giảm chi phí lưu thông hàng hóa và tăng năng lực cạnh tranh của nền kinh tế. Trong bối cảnh nhu cầu vận chuyển tiếp tục tăng nhanh, vấn đề đặt ra hiện nay không chỉ là mở rộng kết cấu hạ tầng, mà quan trọng hơn là tổ chức lại vận tải theo hướng hợp lý giữa các phương thức, ứng dụng công nghệ thông minh, tăng cường kết nối chặng đầu, chặng cuối nhằm giảm thiểu chi phí toàn chuỗi.

Trong điều kiện chi phí logistics của Việt Nam năm 2025 đang ở mức 16 - 17% so với GDP, cao hơn mức trung bình toàn cầu là 8 - 10%, bài viết tập trung vào việc nâng cao hiệu quả khai thác, giảm chi phí vận tải và kho bãi mang ý nghĩa sống còn đối với tăng trưởng kinh tế, thúc đẩy thị trường nội địa và nâng tầm cạnh tranh quốc gia.

1. TỔNG QUAN HỆ THỐNG GIAO THÔNG VẬN TẢI VÀ LOGISTICS VIỆT NAM

1.1. Kết cấu hạ tầng giao thông

Đến năm 2025, kết cấu hạ tầng giao thông Việt Nam đã có bước tiến vượt bậc, tạo nền tảng cho kết nối giao thông vận tải liên vùng, cửa khẩu và đầu mối vận tải.

Về đường bộ, tính đến hết năm 2025, Việt Nam đã hoàn thành vượt kế hoạch với 3.345 km tuyến chính đường bộ cao tốc được đưa vào khai thác. Mạng lưới quốc lộ đạt 25.755 km. Việc mở rộng mạng lưới cao tốc Bắc - Nam phía Đông đã góp phần rút ngắn đáng kể thời gian vận chuyển trên các trục hành lang chiến lược.

Về đường sắt, mạng lưới đường sắt quốc gia có tổng chiều dài 3.143 km, với 2.703 km đường chính tuyến và 297 nhà ga. Hệ thống tồn tại 3 loại khổ đường, trong đó khổ 1.000 mm chiếm tới 85%. Năng lực khai thác trên các tuyến chính chỉ đạt 17 - 25 đôi tàu mỗi ngày/đêm với tốc độ trung bình 50 - 70 km/h, đồng thời kết nối trực tiếp đến các cảng biển lớn chưa được hình thành trọn vẹn.

Về đường thủy nội địa, cả nước hiện có 17.026 km đường thủy đang được quản lý khai thác, trong đó có 7.180 km tuyến quốc gia do Cục Đường thủy nội địa (nay là Cục Hàng hải và Đường thủy Việt Nam) quản lý. Đây là phương thức vận tải có tiềm năng rất lớn nhưng vẫn gặp rào cản do các nút thắt cổ chai về tĩnh không cầu và luồng lạch.

Về đường biển, hệ thống cảng biển Việt Nam bao gồm 296 bến cảng, tổng chiều dài cầu cảng đạt trên 107 km. Năng lực thông qua của hệ thống đáp ứng lượng hàng hơn 864 triệu tấn và tiến sát mốc 900 triệu tấn mỗi năm khi đưa vào khai thác các bến mới tại Lạch Huyện. Các bến cảng nước sâu tại Lạch Huyện và Cái Mép - Thị Vải đã có khả năng tiếp nhận tàu container siêu lớn lên đến 132.000 DWT và 214.000 DWT.

Về hàng không, cả nước hiện có 22 cảng hàng không đang khai thác, trong đó có 10 cảng quốc tế và 12 cảng quốc nội. Dự án trọng điểm Cảng hàng không quốc tế Long Thành giai đoạn 1 với công suất 25 triệu hành khách mỗi năm và 1,2 triệu tấn hàng hóa mỗi năm đang được đẩy mạnh hoàn thiện.

1.2. Hoạt động vận tải, kho bãi

- Về vận tải: Năm 2025, tổng khối lượng vận chuyển hàng hóa đạt khoảng 3,6 tỷ tấn, tăng 16,13% so với 2024. Tăng trưởng cả giai đoạn 2014 - 2025 đạt 9,82%. Trong đó:

+ Khối lượng vận chuyển: Vận tải đường bộ đạt khoảng 2,2 tỷ tấn, tăng 12,09% so với 2024. Vận tải đường thủy nội địa đạt khoảng 598 triệu tấn (tăng 31,56%). Vận tải đường biển đạt khoảng 733 triệu tấn (tăng 10,27%). Vận tải đường sắt đạt khoảng 5,4 triệu tấn (tăng 4,64%). Vận tải đường hàng không đạt khoảng 1,5 triệu tấn (tăng 19,56%).

+ Thị phần vận tải: Vận tải đường bộ vẫn chiếm tỷ lệ cao nhất khoảng 63% nhưng đã giảm khoảng 2,2% so với 2024 (65,2%); vận tải đường thủy nội địa tăng mạnh nhất đạt 16,55%, cao hơn gần 3,4% so với 2024; vận tải biển giảm nhẹ khoảng 1%, ở mức 20,3% và vận tải hàng không đạt 0,04%,

(*) *Giám đốc Học viện Chiến lược, bồi dưỡng cán bộ xây dựng (Bộ Xây dựng)*



không thay đổi so với 2024; chỉ có thị phần đường sắt tiếp tục giảm xuống còn 0,15% so với 0,17% của năm trước.

- Về lĩnh vực kho bãi: Đến năm 2025, cả nước có khoảng 1.200 - 1.300 kho bãi logistics hiện đại, tổng diện tích đạt 5,8 - 6 triệu m2, tỷ lệ lấp đầy ở mức rất cao từ 85 - 90%. Cơ cấu kho bãi chuyển dịch mạnh mẽ với kho thông thường chiếm 60%, kho lạnh chiếm 15%, kho thương mại điện tử chiếm 15% và kho ngoại quan 10% tổng diện tích khai thác.

1.3. Kết nối các phương thức vận tải

Sự kết nối giữa các phương thức vận tải đang là một điểm nghẽn lớn làm tăng chi phí logistics và giảm năng lực cạnh tranh của nền kinh tế. Kết nối giữa các phương thức vận tải được thể hiện rõ trên các hành lang vận tải chính và các đầu mối vận tải lớn, trọng tâm là vấn đề kết nối đường bộ với đường sắt, đường thủy nội địa, đường biển; đường sắt và đường thủy nội địa với cảng biển.

Đối với kết nối giữa đường bộ và đường sắt hiện nay đang bộc lộ nhiều bất cập. Phần lớn các ga đường sắt chính đều gắn liền với các tuyến quốc lộ, tuy nhiên quá trình đô thị hóa diễn ra mạnh mẽ nhưng không đi kèm với việc di dời các ga dẫn đến nhiều tuyến quốc lộ thành đường đô thị. Hiện tại, hàng loạt các ga lớn như: Giáp Bát, Đà Nẵng, Quy Nhơn, Phan Thiết, Đồng Nai, TP.HCM, Long Biên, Gia Lâm, Yên Viên hay Hải Dương… đều nằm kẹt sâu trong lõi đô thị. Vị trí này gây ra những hạn chế rất lớn cho xe tải ra vào tác nghiệp vận chuyển hàng hóa, vừa làm giảm hiệu suất của ga, vừa gây ùn tắc giao thông nghiêm trọng cho khu vực xung quanh.

Đối với kết nối giữa đường bộ và đường thủy nội địa, mạng lưới đường bộ hiện cơ bản đã vươn tới tất cả các tuyến vận tải và cảng bến thủy nội địa. Một số cảng thủy nội địa lớn đã được đầu tư đường kết nối tốt nhưng phần lớn các bến cảng nhỏ lẻ lại không được chú trọng về hạ tầng tiếp cận. Thực trạng phổ biến là các tuyến kết nối chủ yếu là đường giao thông nông thôn hoàn toàn không thể đáp ứng được tải trọng của các loại xe tải lớn chuyên chở hàng hóa ra vào khu vực bến, cảng.

Đối với việc kết nối hạ tầng đường bộ tới các cảng biển thực trạng phân hóa rất rõ rệt theo từng vùng kinh tế. Tại khu vực phía Bắc hệ thống đường bộ kết nối với nhóm cảng biển loại I từ Quảng Ninh đến Ninh Bình cơ bản đáp ứng tốt nhu cầu vận tải. Tuy nhiên, tuyến đường Tân Vũ đi Lạch Huyện đang dần mãn tải đòi hỏi phải khẩn trương xây dựng thêm cầu Tân Vũ 2 đi Lạch Huyện. Tại khu vực Bắc Trung Bộ, Duyên hải Nam Trung Bộ và Tây Nguyên chất lượng các tuyến quốc lộ kết nối cơ bản tốt, nhưng còn nhiều bến cảng thiếu kết nối hoặc đường tiếp cận quá hạn chế như: bến Mỹ Thủy (Quảng Trị), Liên Chiểu, bến Dung Quất II, bến Nhơn Hội, Quy Nhơn, Vũng Rô và Kỳ Hà… Đối với vùng Đông Nam Bộ, việc nhiều cảng biển nằm sâu trong đất liền tạo áp lực giao thông rất lớn khiến khu vực xung quanh các cảng này thường xuyên bị ách tắc bởi lưu lượng xe trọng tải lớn. Vùng ĐBSCL dù sở hữu mạng lưới sông ngòi dày đặc nhưng hạ tầng đường bộ kết nối vào hệ thống cảng biển còn nhiều hạn chế cần thiết phải được xem xét nâng cấp.

Đối với kết nối giữa đường sắt và cảng biển đây là một trong những mắt xích yếu nhất của chuỗi vận tải đa phương thức hiện nay. Trong quá khứ mạng lưới đường sắt từng vươn đến nhiều cảng biển lớn như Cửa Lò, Quy Nhơn và Sài Gòn nhưng sau đó các nhánh này đã bị dỡ bỏ. Hiện nay trên toàn quốc chỉ còn hai cảng biển có nhánh đường sắt kết nối trực tiếp là khu bến Hoàng Diệu tại Hải Phòng và cảng Cái Lân tại Quảng Ninh.

Đối với kết nối giữa đường thủy nội địa và cảng biển các tuyến đường thủy kết nối cơ bản đã được hình thành nhưng cấp kỹ thuật luồng tuyến chưa đạt yêu cầu làm ảnh hưởng đến cỡ tàu khai thác và lượng hàng hóa thông qua. Sự liên kết giữa kết cấu hạ tầng cảng biển với đường thủy bộc lộ bất cập lớn khi chưa xây dựng đầy đủ các bến thủy nội địa ngay trong vùng nước cảng biển để phục vụ việc gom và rút hàng. Đặc biệt điểm nghẽn nghiêm trọng nhất cản trở năng lực vận tải trên các tuyến đường thủy nội địa kết nối với cảng

biển chính là tĩnh không của các cây cầu vượt sông ví dụ như cầu Đuống, cầu Đồng Nai, cầu Măng Thít... Tĩnh không thấp đã làm khả năng chuyên chở container nhiều lớp của các phương tiện thủy nội địa tước đi lợi thế cạnh tranh của phương thức vận tải này.

1.4. Về nguồn nhân lực và môi trường trong hoạt động vận tải

Bên cạnh điểm nghẽn về hạ tầng, sự phát triển của ngành logistics Việt Nam đang chịu tác động kép từ sự thiếu hụt nhân lực và sức ép sinh thái. Về nguồn nhân lực, sự thiếu vắng các chuyên gia chất lượng cao đang trực tiếp kìm hãm tiến trình hiện đại hóa chuỗi cung ứng, đặc biệt là trong các lĩnh vực cốt lõi như quản trị số, điều hành đa phương thức và logistics xanh.

Về môi trường, theo các báo cáo thống kê, ngành giao thông vận tải đang đóng góp từ 11 - 18% tổng lượng phát thải carbon toàn quốc. Trong đó, riêng vận tải đường bộ chiếm tỷ trọng lớn từ 84 - 85% tổng lượng khí thải của toàn ngành. Các kịch bản dự báo từ Ngân hàng Thế giới cho thấy nếu không có sự can thiệp quyết liệt, lượng phát thải khí nhà kính từ giao thông vận tải có thể tăng gấp ba lần, chạm ngưỡng gần 90 triệu tấn CO2 vào năm 2030.

2. THỰC TRẠNG CHI PHÍ VẬN TẢI

Trong cơ cấu chi phí logistics quốc gia, chi phí vận tải luôn là bộ phận chiếm tỷ trọng lớn nhất. Đến năm 2025, sự mất cân đối về thị phần khi vận tải đường bộ phải đảm nhận tới 63% khối lượng hàng hóa là nguyên nhân trực tiếp làm tăng chi phí logistics toàn chuỗi.

2.1. Đường bộ

Vận tải đường bộ là phương thức có tính cơ động cao nhất, giao nhận trực tiếp từ cửa đến cửa nhưng tạo áp lực chi phí lớn nhất cho nền kinh tế. Trên tuyến Bắc - Nam, giá cước vận chuyển dao động ở mức 28 - 35 triệu đồng cho một chuyến container. Về cơ cấu giá thành vận tải, chi phí nhiên liệu hiện chiếm tỷ trọng rất cao từ 35 - 40%, trong khi phí BOT trên các tuyến cao tốc chiếm từ 12 - 15% tổng chi phí. Tính toán thực chứng cho thấy chi phí vận chuyển container 40 feet bằng đường bộ cao gấp khoảng 2,5 - 2,8 lần so với đường biển, và cao gấp khoảng 1,5 - 1,6 lần so với đường sắt.

2.2. Đường sắt

Vận tải đường sắt có cước vận chuyển chặng chính từ ga đến ga trên trục Bắc - Nam hiện duy trì ở mức 18 - 22 triệu đ/container. Tuy nhiên, phương thức này đang gặp bất lợi lớn do chi phí bốc xếp và trung chuyển hai đầu ga ở mức trung bình đến cao, bởi phần lớn các ga đường sắt hiện hữu thường nằm xa khu công nghiệp. Bất cập này khiến tổng chi phí bị đội lên, làm suy giảm sức cạnh tranh so với đường bộ.

2.3. Đường thủy nội địa

Vận tải đường thủy nội địa có lợi thế chi phí vận chuyển chỉ bằng 30 - 40% so với vận tải đường bộ, đặc biệt ở các khu vực Đồng bằng sông Hồng, Đông Nam Bộ và ĐBSCL. Cụ thể: Trên tuyến Hà Nội - Hải Phòng chi phí dao động 2,5 - 3,2 triệu đ/TEU, tuyến TP.HCM - Vũng Tàu chi phí chỉ 1,5 - 2 triệu đ/TEU. Dù vậy, phương thức này vẫn chịu tác động tiêu cực từ điểm nghẽn tĩnh không cầu thấp và chi phí xếp dỡ hai đầu. Tổng chi phí vận tải trọn gói của đường thủy tăng lên đáng kể từ 35 - 40%.

2.4. Đường biển

Vận tải đường biển nội địa trên trục Bắc - Nam từ cảng đến cảng là rẻ nhất hệ thống, chỉ dao động từ 10 - 14 triệu đ/container. Đối với mảng vận tải quốc tế, năm 2025 ghi nhận sự biến động cực kỳ mạnh về cước phí. Giai đoạn từ tháng 3 đến tháng 6, cước trên các tuyến xuyên Thái Bình Dương tăng tới 73% do hiện tượng dồn hàng tránh thuế quan, nhưng đến tháng 7/2025, chỉ số giá cước container toàn cầu WCI đã giảm 57%, lùi về ngưỡng khoảng 2.517 USD/FEU. Sự biến động này tạo rủi ro lớn trong lập kế hoạch chi phí logistics của các doanh nghiệp.

3. HẠN CHẾ VÀ NGUYÊN NHÂN

Mạng lưới giao thông vận tải và logistics hiện nay vẫn bộc lộ nhiều điểm nghẽn mang tính cấu trúc, làm suy giảm hiệu quả chuỗi cung ứng và năng lực cạnh tranh quốc gia. Các hạn chế và nguyên nhân cụ thể:

3.1. Hạn chế

Về kết cấu hạ tầng và năng lực kết nối, mạng lưới giao thông thiếu tính đồng bộ trong kết nối đa phương thức. Đường sắt quốc gia lạc hậu với phần lớn là khổ đường 1.000 mm, tốc độ khai thác thấp, đặc biệt thiếu hoàn toàn các tuyến nhánh kết nối trực tiếp đến cụm cảng cửa ngõ Lạch Huyện và Cái Mép - Thị Vải. Đường thủy nội địa bị cản trở bởi các điểm nghẽn tĩnh không cầu thấp như cầu Đuống, cầu Đồng Nai, cầu Măng Thít. Hệ thống trung tâm logistics và cảng cạn phân bố bất đối xứng, tập trung quá mức tại khu vực Đồng bằng sông Hồng và Đông Nam Bộ, trong khi các vùng nguyên liệu trọng điểm như Tây Nguyên, ĐBSCL lại thiếu hụt hạ tầng kho bãi đạt chuẩn.

Về cấu trúc thị phần vận tải, xảy ra tình trạng mất cân đối nghiêm trọng khi đường bộ phải đảm nhận khoảng 63% khối lượng hàng hóa vận chuyển. Các phương thức vận tải khối lượng lớn, chi phí thấp như đường thủy nội địa và đường sắt chưa phát huy được lợi thế. Tỷ lệ phương tiện chạy rỗng một chiều trong vận tải đường bộ còn cao do hệ sinh thái doanh nghiệp chủ yếu là nhỏ lẻ, gây lãng phí nguồn lực và gia tăng áp lực lên hạ tầng.

Về cấu trúc chi phí, tỷ lệ chi phí logistics trên GDP của Việt Nam vẫn neo ở mức cao từ 16 - 17%. Sự chênh lệch cước phí giữa các phương thức là rất lớn, đơn cử cước vận chuyển container trục Bắc Nam bằng đường bộ cao gấp khoảng 2,5 - 2,8 lần so với đường biển. Ngược lại, vận tải đường sắt và đường thủy nội địa dù có giá cước chặng chính thấp nhưng lại bị đội chi phí từ cửa đến cửa, nguyên nhân do chi phí bốc xếp, trung chuyển hai đầu bến chiếm tới 35 - 40% tổng chi phí.

3.2. Nguyên nhân

Nguồn lực đầu tư: Nguồn vốn đầu tư công trong các giai đoạn trước chủ yếu tập trung cho phát triển mạng lưới đường bộ, trong khi nguồn lực dành cho đường sắt và đường thủy nội địa chưa được cấp vốn tương xứng. Hệ quả là hạ tầng các phương thức vận tải chi phí thấp bị tụt hậu, không đủ sức chia sẻ gánh nặng lưu lượng hàng hóa.

Quy hoạch và liên kết vùng: Việc phát triển hệ thống cảng biển, khu công nghiệp tại nhiều thời điểm bị tách rời khỏi quy hoạch mạng lưới đường sắt, đường thủy và trung tâm logistics hậu cảng. Sự thiếu đồng bộ này dẫn đến tình trạng đứt gãy chuỗi cung ứng liên vùng, tăng chi phí gom hàng và gây quá tải cục bộ tại các cửa ngõ đô thị.

Năng lực doanh nghiệp: Doanh nghiệp logistics có tới 95% là quy mô vừa và nhỏ, tiềm lực tài chính yếu. Mức độ chuyển đổi số còn thấp, phần lớn mới dừng ở mức tin học hóa cơ bản, thiếu các nền tảng quản trị chuỗi cung ứng tích hợp để tối ưu hóa lộ trình và năng lực khai thác.

Thể chế và nguồn nhân lực: Khung pháp lý cho vận tải đa phương thức chưa tạo được động lực mạnh mẽ để chuyển đổi phương thức vận tải. Đồng thời, sự thiếu hụt trầm trọng nguồn nhân lực logistics chất lượng cao đang là rào cản lớn kìm hãm tiến trình hiện đại hóa toàn ngành.

4. CÁC GIẢI PHÁP CHIẾN LƯỢC NÂNG CAO HIỆU QUẢ, GIẢM CHI PHÍ VẬN TẢI VÀ KHO BÃI

Để hiện thực hóa mục tiêu của Chiến lược phát triển dịch vụ logistics Việt Nam thời kỳ 2025 - 2035, tầm nhìn đến 2050, giảm tỷ lệ chi phí logistics xuống còn 12 - 15% GDP, cần chuyển đổi từ tư duy phát triển đơn lẻ sang quản trị chuỗi cung ứng tích hợp, với các nhóm giải pháp cụ thể như sau:

4.1. Nhóm giải pháp hoàn thiện cơ chế, chính sách

Nghiên cứu ban hành chính sách miễn, giảm phí sử dụng công trình kết cấu hạ tầng cảng biển đối với tàu, sà lan vận chuyển container bằng đường thủy nội địa.

Áp dụng thống nhất một mã hải quan chung cho các cụm cảng biển liền kề và sớm triển khai mô hình thủ tục hải quan tập trung trên phạm vi toàn quốc.

4.2. Tái cơ cấu thị phần và phát triển vận tải đa phương thức

Ưu tiên phân bổ nguồn vốn đầu tư công và thúc đẩy mô hình đối tác công tư để triển khai ngay các tuyến đường sắt kết nối trực tiếp vào cảng cửa ngõ quốc tế Lạch Huyện và Cái Mép - Thị Vải.

Tập trung nguồn lực xử lý dứt điểm tĩnh không của các cầu vượt sông trên các hành lang đường thủy nội địa chính của vùng Đồng bằng Sông Hồng, vùng Đông Nam Bộ, vùng ĐBSCL. Đồng thời, nghiên cứu rà soát, điều chỉnh, quy hoạch mới hệ thống cảng cạn kết nối trực tiếp với đường sắt và đường thủy nội địa.

Cơ cấu thị phần vận tải hàng hóa theo đặc điểm từng hành lang. Trên hành lang Bắc - Nam, đẩy mạnh chuyển dịch hàng hóa cự ly dài, khối lượng lớn từ đường bộ sang đường sắt và vận tải ven biển để giảm chi phí vận tải trục chính. Đối với các hành lang khác, cần ưu tiên chuyển dịch từ đường bộ sang đường sắt và đường thủy nội địa, nhất là trên các tuyến có nguồn hàng tập trung, điều kiện luồng tuyến thuận lợi và nhu cầu vận chuyển ổn định.

Tập trung phát triển các trung tâm logistics gắn liền với cảng biển nước sâu và cảng hàng không quốc tế. Các trung tâm này phải bảo đảm chức năng gom hàng, phân phối, lưu kho, làm thủ tục và kết nối các phương thức vận tải.

4.3. Nhóm giải pháp ứng dụng khoa học công nghệ và chuyển đổi số

Đẩy mạnh số hóa toàn diện hệ thống kết cấu hạ tầng giao thông, trong đó ưu tiên số hóa hệ thống bến cảng, luồng hàng hải, đường thủy nội địa, cảng cạn và các đầu mối logistics quan trọng.

Xây dựng và đưa vào vận hành nền tảng dữ liệu logistics quốc gia nhằm liên thông dữ liệu giữa hải quan, các đầu mối vận tải như ga đường sắt, cảng thủy nội địa, cảng biển, cảng hàng không và các sàn giao dịch vận tải. Nền tảng này sẽ giúp giảm phân mảnh dữ liệu, tăng khả năng phối hợp giữa các chủ thể và giảm chi phí giao dịch trong chuỗi logistics.

Khuyến khích các doanh nghiệp đẩy mạnh ứng dụng Trí tuệ nhân tạo, Dữ liệu lớn và các hệ thống TMS, WMS để tối ưu lộ trình và quản lý kho bãi. Mục tiêu là tối ưu lộ trình vận chuyển, nâng cao hệ số sử dụng phương tiện, giảm tỷ lệ chạy rỗng, giảm chi phí lưu kho và tăng độ chính xác trong điều hành.

Triển khai sớm nền tảng Hệ thống Cửa khẩu số quốc gia để rút ngắn thời gian thông quan, kiểm tra và luân chuyển chứng từ giữa các lực lượng chức năng và doanh nghiệp.

4.4. Nhóm giải pháp chuyển đổi xanh và phát triển nguồn nhân lực

Khuyến khích sử dụng phương tiện chạy điện, năng lượng sạch và các giải pháp tiết kiệm năng lượng trong vận tải và kho bãi để đáp ứng các tiêu chuẩn môi trường, hướng tới cam kết Net Zero vào năm 2050.

Nghiên cứu thành lập Học viện Logistics quốc gia, đồng thời xây dựng các chương trình đào tạo gắn với thực tiễn khai thác vận tải, kho bãi, cảng, ICD và chuỗi cung ứng. Việc chuẩn hóa và nâng cao chất lượng đào tạo sẽ góp phần giải quyết tình trạng thiếu hụt nhân lực logistics chất lượng cao, đặc biệt trong các lĩnh vực quản trị số, điều hành đa phương thức và logistics xanh.

Khuyến khích các doanh nghiệp logistics trong nước tăng cường liên doanh, liên kết để mở rộng quy mô hoạt động, tích tụ nguồn lực và nâng cao năng lực cạnh tranh. Trên cơ sở đó, từng bước hình thành các doanh nghiệp có khả năng cung cấp dịch vụ logistics tích hợp theo mô hình 3PL, 4PL, đủ sức tổ chức chuỗi dịch vụ trọn gói.

5. KẾT LUẬN

Bài toán giảm chi phí vận tải và kho bãi không chỉ đơn thuần là cắt giảm cước phí của một phương tiện, mà đòi hỏi tư duy tối ưu hóa toàn diện từ thể chế, quy hoạch hạ tầng, ứng dụng công nghệ thông minh đến phát triển nguồn nhân lực chất lượng cao.

Bằng việc thực thi quyết liệt, đồng bộ các giải pháp chiến lược tái cơ cấu thị phần trên cơ sở chuyển đổi số và chuyển đổi xanh, chúng ta hoàn toàn có thể khơi thông các điểm nghẽn, đưa hoạt động vận tải, kho bãi nói riêng và hoạt động logistics Việt Nam nói chung gia tăng năng lực cạnh tranh toàn cầu và trở thành động lực phát triển bền vững của quốc gia.❖



Kết nối hạ tầng hàng không trong hệ sinh thái vận tải đa phương thức

ĐÀO XUÂN HOẠCH*

Khi hàng không được định vị đúng vai trò trong chuỗi vận tải đa phương thức, Việt Nam không chỉ vận chuyển hàng hóa hiệu quả hơn, mà còn từng bước trở thành trung tâm logistics quan trọng của khu vực và thế giới.

Trong bối cảnh toàn cầu hóa sâu rộng và tái cấu trúc chuỗi cung ứng toàn cầu, vận tải đa phương thức đã trở thành một cấu phần thiết yếu, quyết định hiệu quả logistics và năng lực cạnh tranh quốc gia. Đối với Việt Nam - quốc gia có vị trí chiến lược tại trung tâm khu vực Đông Nam Á và nằm trên các hành lang thương mại quốc tế quan trọng - việc phát triển hệ sinh thái vận tải đa phương thức hiện đại, trong đó hàng không phát huy vai trò về tốc độ và giá trị gia tăng, là yêu cầu cấp thiết.

Thực tiễn cho thấy hạ tầng hàng không hiện nay chưa phát huy đầy đủ vai trò là mắt xích trung tâm trong chuỗi vận tải. Nguyên nhân cốt lõi không nằm ở năng lực khai thác đơn lẻ của từng cảng hàng không, mà ở mức độ kết nối liên phương thức còn hạn chế, dẫn đến chi phí logistics cao, thời gian vận chuyển kéo dài và giảm hiệu quả chuỗi cung ứng.

THỰC TRẠNG VÀ CÁC ĐIỂM NGHẼN CHỦ YẾU

Hiện nay, hệ thống kết cấu hạ tầng hàng không của Việt Nam có 22 cảng hàng không (CHK) đang khai thác và 01 CHK đang trong quá trình hoàn thiện để được đưa vào khai thác (CHKQT Long Thành), các CHK được bố trí dọc theo trục Bắc Nam, vận hành theo mô hình trục - nan. Toàn bộ 22 CHK đều đạt tiêu chuẩn của Tổ chức hàng không dân dụng quốc tế (ICAO), trong đó: 19/22 CHK đạt cấp 4C, 4D, 4E và 03/22 CHK đạt cấp 3C (Cà Mau, Côn Đảo, Rạch Giá).

Hệ thống kết cấu hạ tầng CHK trong những năm qua đã được tập trung đầu tư theo hướng đồng bộ, hiện đại, có trọng tâm, trọng điểm, sử dụng tiết kiệm nguồn lực để nâng cao hiệu quả đầu tư với nhiều công trình trọng điểm; qua đó tạo ra hiệu ứng lan tỏa, góp phần đáp ứng tốc độ tăng trưởng và thúc đẩy liên kết địa phương, vùng, miền và quốc tế. Bên cạnh đó, nhằm mục tiêu định hướng phát triển hệ thống cảng hàng không theo hướng hiện đại, đáp ứng nhu cầu vận tải, Cục Hàng không Việt Nam (Cục HKVN) đã hoàn thành việc xây dựng và trình cấp có thẩm quyền phê duyệt các quy hoạch, điều chỉnh quy hoạch CHK trên phạm vi toàn quốc, theo đó thời kỳ 2021 - 2030 có 31 CHK (15 quốc tế, 16 nội địa); tầm nhìn đến năm 2050 có 34 CHK (15 quốc tế, 19 nội địa).

Về sản lượng vận tải hành khách và hàng hóa: Giai đoạn 2015 - 2019, thị trường vận tải hàng không đạt mức tăng trưởng trung bình cao, với 19,2% về hành khách và 10,4% về hàng hóa, đạt đỉnh 79,1 triệu khách và gần 1,3 triệu tấn hàng hóa vào năm 2019. Giai đoạn bị ảnh hưởng do đại dịch Covid-19 (2020 - 2023), sản lượng hành khách vận chuyển bị sụt giảm mạnh, trong đó, có thời điểm hành khách vận chuyển chỉ bằng ½ so với cùng kỳ năm trước (năm 2020 - 2021). Sau khi đại dịch được kiểm soát và các hoạt động kinh tế trở lại bình thường, thị trường hàng không đã phục hồi mạnh mẽ (bắt đầu từ giữa năm 2022). Lũy kế 9 tháng đầu năm 2025, tổng sản lượng hành khách toàn thị trường ước đạt 62,6 triệu khách và 1,1 triệu tấn hàng hoá, tăng 10,3% về hành khách và tăng 17,8% về hàng hóa so với cùng kỳ năm trước (9 tháng năm 2024); trong đó, vận chuyển quốc tế vẫn tiếp tục là động lực tăng trưởng chính và vận chuyển nội địa đã trở lại nhịp tăng trưởng với sự duy trì ổn định và tiếp tục được mở rộng của đội tàu bay và hệ thống đường bay khai thác của các hãng hàng không.

Để thúc đẩy vận tải đa phương thức, chúng ta không thể chỉ tập trung mở rộng, nâng cấp khu bay hay nhà ga, mà phải tập trung vào khả năng kết nối. Hiện nay, ngành hàng không đang đối mặt với các thực trạng sau:

Sự quá tải cục bộ và mất cân đối: Một số CHK cửa ngõ như Nội Bài, Tân Sơn Nhất đang chịu áp lực khai thác vượt công suất thiết kế, trong khi nhiều cảng địa phương chưa được khai thác hiệu quả. Hạ tầng kết nối tại các CHK chưa đồng bộ, dẫn đến chi phí logistics cao và thiếu tính liên kết đa phương thức. Phần lớn

(*) *Phó cục trưởng Cục Hàng không Việt Nam*

các CHK hiện nay được quy hoạch tập trung vào vận tải hành khách, thiếu hụt quy hoạch nhà ga hàng hóa, bãi đỗ chuyên dụng cho tàu bay vận tải hàng hóa (freighters) và không gian logistics hậu cần, chưa đáp ứng được yêu cầu của chuỗi cung ứng toàn cầu. Các CHK cửa ngõ quốc tế như Nội Bài và Tân Sơn Nhất thường xuyên đối mặt với áp lực giao thông đô thị gây ùn tắc, ảnh hưởng trực tiếp đến thời gian luân chuyển hàng hóa.

Tiêu chuẩn hạ tầng, thông tin đang chuyển đổi: Hệ thống quản lý thông tin giữa hàng không và các phương thức vận tải khác chưa đồng bộ. Chưa hình thành hệ thống trao đổi dữ liệu liên thông theo thời gian thực giữa các phương thức vận tải. Điều này gây chậm trễ trong thủ tục chuyển tải và phối hợp đa phương thức.

Thiếu trung tâm logistics tích hợp: CHK chưa thực sự đóng vai trò là hạt nhân logistics vùng. Chúng ta vẫn thiếu các trung tâm logistics quy mô lớn tích hợp kho vận, phân loại hàng hóa, kiểm định, hải quan nằm sát khu vực CHK để tối ưu quy trình đóng gói, kiểm định.

Mô hình vận tải chưa tối ưu: Chưa hình thành các hành lang vận tải đa phương thức hiệu quả giữa CHK với cảng biển, khu công nghiệp, trung tâm logistics nội địa; hiện vận tải đường bộ là phương thức kết nối chủ yếu đến các CHK.

ĐỊNH HƯỚNG VÀ GIẢI PHÁP PHÁT TRIỂN

Phát triển hạ tầng hàng không cần chuyển từ tư duy "điểm nút vận tải" sang "trung tâm kết nối logistics đa phương thức", với các định hướng chính: Hàng không là trục vận tải tốc độ cao và giá trị cao; Các phương thức khác đóng vai trò kết nối, gom hàng và phân phối; Hình thành hệ sinh thái logistics tích hợp, vận hành trên nền tảng số.

Để giải quyết các vấn đề trên, 5 nhóm giải pháp trọng tâm được đề xuất bao gồm:

Hoàn thiện hệ thống cơ chế chính sách và quy hoạch hệ thống CHK:

Thời gian vừa qua, ngành hàng không đã tập trung xây dựng Luật Hàng không dân dụng 2025 (có hiệu lực từ 01/7/2026), tạo hành lang pháp lý cho việc thu hút đầu tư vào hạ tầng kết nối. Quy hoạch hệ thống CHK toàn quốc thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050 đã định hướng phát triển mạng lưới cảng hàng không toàn quốc đồng bộ với quy hoạch tổng thể quốc gia, hình thành hai cụm cảng cửa ngõ quốc tế lớn tại khu vực Hà Nội và TP.HCM. Trong thời gian tới, các quy hoạch chuyên ngành hàng không sẽ tiếp tục được rà soát, điều chỉnh để đảm bảo đồng bộ với quy hoạch ngành giao thông vận tải, logistics, đô thị và khu công nghiệp; tương thích với các quy định mới về quản lý khai thác cảng, tạo cơ chế thông thoáng cho tư nhân đầu tư vào hạ tầng logistics hàng không. Tích hợp quy hoạch hạ tầng viễn thông, trung tâm dữ liệu ngay trong quy hoạch cảng để sẵn sàng cho hệ thống làm thủ tục điện tử và quản lý hàng hóa thông minh. Dành tỷ lệ quỹ đất thỏa đáng trong quy hoạch chi tiết các CHK lớn cho trung tâm logistics, kho bãi tập kết hàng hóa và khu phân loại ngay sát khu bay để tối ưu quy trình vận chuyển.

Thiết lập quy trình thông quan một cửa liên thông giữa các phương thức vận tải. Cụ thể hóa các quy định về kết nối liên thông và chính sách ưu đãi thuế, phí cho các doanh nghiệp vận tải triển khai mô hình kết nối để tạo hành lang pháp lý thông thoáng cho vận tải đa phương thức.

Phát triển hạ tầng kết nối đa phương thức:

Phát triển đồng thời hạ tầng hàng không cùng hạ tầng giao thông tiếp cận (đường sắt, đường bộ đường cao tốc, đường thuỷ) đến các CHK chính để biến các CHK thành các trung tâm kết nối vùng thay vì chỉ là điểm trung chuyển đơn thuần. Xây dựng các tuyến đường sắt nhẹ hoặc đường sắt tốc độ cao kết nối trực tiếp vào ga hàng hóa. Hình thành các tuyến đường kết nối CHK với các cảng biển lớn và khu công nghiệp. Đây là chiến lược trọng tâm để giảm tải cho các CHK hiện hữu và tạo động lực phát triển vùng.

Tập trung nguồn lực quốc gia để hoàn thành dứt điểm các dự án hạ tầng quan trọng (Long Thành, Gia Bình) theo mô hình đô thị sân bay tích hợp logistics. Đây là các dự án chiến lược phục vụ kết nối liên vùng, tập trung vào kết nối hạ tầng giao thông đồng bộ để hình thành hệ sinh thái logistics toàn diện.

Phát triển mô hình logistics hàng không chuyên biệt:

Nghiên cứu quy hoạch và phát triển các CHK có lợi thế về vị trí (gần các khu công nghiệp, cảng biển lớn) trở thành các trung tâm chuyên về vận tải hàng hóa để giảm tải cho các CHK dân dụng cửa ngõ.

Quy hoạch các điểm gom hàng (ICD) tại vùng lân cận kết nối trực tiếp với CHK, cho phép kiểm tra an ninh và hải quan từ xa. Đưa các thủ tục hải quan, kiểm định và đóng gói từ sân bay về các ICD nằm gần các khu sản xuất. Điều này giúp sân bay tập trung vào vai trò là "điểm cất hạ cánh", giảm áp lực lưu kho và giải phóng không gian cho các dịch vụ giá trị gia tăng khác.

Chuyển đổi số và xây dựng hệ sinh thái dữ liệu dùng chung:

Xây dựng hệ sinh thái dữ liệu logistics quốc gia để cập nhật thông tin vận đơn và lộ trình theo thời gian thực, kết nối dữ liệu giữa các phương thức vận tải. Ứng dụng công nghệ số để dự báo lưu lượng hàng hóa, giám sát hàng hóa, blockchain trong truy xuất nguồn gốc, từ đó điều tiết hạ tầng kho bãi tại CHK một cách chủ động.

Tăng cường hợp tác quốc tế:

Tiếp tục tích cực tham gia các sáng kiến kết nối khu vực và toàn cầu, đẩy mạnh hợp tác trong chia sẻ dữ liệu, xây dựng tiêu chuẩn kỹ thuật và phát triển logistics bền vững; đẩy mạnh trao đổi dữ liệu trong các dự án bền vững như Dự án Kết nối Bền vững EU-ASEAN.

KẾT LUẬN

Việc tăng cường kết nối hạ tầng hàng không trong hệ sinh thái vận tải đa phương thức không chỉ là yêu cầu phát triển ngành hàng không, mà còn là đòn bẩy chiến lược để nâng cao năng lực cạnh tranh quốc gia. Việc chuyển đổi từ mô hình vận hành phân tán sang kết nối tích hợp sẽ mang lại các lợi ích cốt lõi: giảm chi phí logistics; rút ngắn thời gian vận chuyển; nâng cao độ tin cậy chuỗi cung ứng, thu hút đầu tư quốc tế. Khi hàng không được định vị đúng vai trò trong chuỗi vận tải đa phương thức, Việt Nam không chỉ vận chuyển hàng hóa hiệu quả hơn, mà còn từng bước trở thành trung tâm logistics quan trọng của khu vực và thế giới.❖

Kiến tạo hệ sinh thái logistics hàng hải hiện đại



NGUYỄN NGỌC ÁNH*

Là quốc gia có hơn 3.260 km bờ biển, Việt Nam nằm trên tuyến hàng hải quốc tế quan trọng bậc nhất thế giới và có độ mở nền kinh tế thuộc nhóm cao nhất khu vực, việc phát triển kinh tế biển gắn với logistics và vận tải biển không chỉ là yêu cầu kinh tế, mà còn là yêu cầu chiến lược về không gian phát triển quốc gia.

VIMC VÀ VAI TRÒ DẪN DẮT TRONG VIỆC PHÁT TRIỂN HẠ TẦNG LOGISTICS

Trong bối cảnh kinh tế thế giới đang chuyển dịch mạnh mẽ theo hướng số hóa, xanh hóa và tái cấu trúc chuỗi cung ứng toàn cầu, ngành logistics và vận tải biển trở thành một trong những lĩnh vực quyết định năng lực cạnh tranh quốc gia. Đối với Việt Nam - nền kinh tế có độ mở thuộc nhóm cao nhất thế giới và hơn 90% hàng hóa xuất nhập khẩu được vận chuyển bằng đường biển - việc xây dựng một hệ thống logistics hiện đại, hiệu quả và bền vững không chỉ là yêu cầu phát triển mà còn là điều kiện để nâng cao vị thế quốc gia trong chuỗi giá trị toàn cầu.

Trong tiến trình đó, Tổng công ty Hàng hải Việt Nam (VIMC) giữ vai trò doanh nghiệp nòng cốt của kinh tế nhà nước trong lĩnh vực hàng hải. Với hệ sinh thái hoạt động trải rộng trên 3 lĩnh vực cốt lõi gồm: khai thác cảng biển, vận tải biển và dịch vụ logistics hàng hải, VIMC đang từng bước hiện thực hóa chiến lược phát triển vận tải đa phương thức, chuyển đổi số và chuyển đổi xanh nhằm tạo lập nền tảng cho tăng trưởng dài hạn.

Hiện nay, VIMC quản lý hệ thống 89 cầu cảng với tổng chiều dài hơn 16.500 mét, chiếm trên 15% tổng chiều dài cầu cảng cả nước, có công suất thiết kế khoảng 80 triệu tấn hàng rời và hơn 6,5 triệu TEU container mỗi năm. Trong lĩnh vực vận tải biển, VIMC sở hữu và quản lý đội tàu gồm 53 chiếc với tổng trọng tải hơn 1,3 triệu tấn, chiếm gần 11% tổng trọng tải đội tàu quốc gia. Bên cạnh đó là mạng lưới dịch vụ logistics, giao nhận, kho bãi, đại lý tàu biển, lai dắt và cứu hộ trải dài trên cả nước.

Triển khai Nghị quyết số 79-NQ/TW của Bộ Chính trị về phát triển kinh tế nhà nước, VIMC xác định rõ vai trò dẫn dắt trong việc phát triển hạ tầng logistics, tăng cường kết nối các phương thức vận tải, thúc đẩy chuyển đổi số và chuyển đổi xanh, góp phần giảm chi phí logistics và nâng cao năng lực cạnh tranh của nền kinh tế.

VẬN TẢI ĐA PHƯƠNG THỨC - XU THẾ TẤT YẾU CỦA LOGISTICS HIỆN ĐẠI

Sự phát triển của logistics toàn cầu trong hai thập niên qua cho thấy một xu hướng rõ rệt: chuyển từ các dịch vụ vận tải đơn lẻ sang các chuỗi cung ứng tích hợp, trong đó vận tải đa phương thức đóng vai trò trung tâm.

Tại các nền kinh tế phát triển, hàng hóa được vận chuyển liên tục bằng nhiều phương thức khác nhau - đường biển, đường sắt, đường thủy nội địa và đường bộ - trên cùng một hành trình. Mô hình này giúp tối ưu chi phí, giảm phát thải và nâng cao tính linh hoạt của chuỗi cung ứng.

Trong khi đó, cơ cấu vận tải của Việt Nam vẫn phụ thuộc lớn vào đường bộ. Hiện khoảng 70 - 75% khối lượng hàng hóa được vận chuyển bằng đường bộ, trong khi vận tải đường sắt và đường thủy nội địa vẫn chưa phát huy hết tiềm năng. Sự mất cân đối này khiến chi phí logistics của

(*) *Phó Tổng giám đốc Tổng công ty Hàng hải Việt Nam (VIMC)*



Việt Nam duy trì ở mức cao so với nhiều quốc gia trong khu vực.

Việc phát triển vận tải đa phương thức, vì thế, không chỉ là xu hướng mà còn là yêu cầu cấp thiết. Đây là giải pháp quan trọng để khai thác hiệu quả hệ thống cảng biển, đường thủy nội địa, đường sắt và mạng lưới logistics hiện có, đồng thời giảm áp lực lên hạ tầng đường bộ.

Với mạng lưới cảng biển trải dài từ Hải Phòng, Đà Nẵng, Quy Nhơn đến TP.HCM và Cái Mép - Thị Vải, cùng đội tàu hoạt động trên các tuyến nội địa và quốc tế, VIMC sở hữu những điều kiện thuận lợi để phát triển các hành lang logistics quốc gia và các mô hình vận tải tích hợp.

ĐỘNG LỰC MỚI TỪ CHUYỂN ĐỔI SỐ

Nếu vận tải đa phương thức là nền tảng vật chất của logistics hiện đại thì chuyển đổi số chính là động lực giúp tối ưu hóa toàn bộ chuỗi vận hành.

Trên thế giới, các công nghệ như trí tuệ nhân tạo (AI), Internet vạn vật (IoT), dữ liệu lớn (Big Data) và blockchain đang làm thay đổi căn bản cách thức quản lý logistics. Việc số hóa cho phép doanh nghiệp theo dõi hàng hóa theo thời gian thực, tối ưu tuyến vận chuyển, quản lý kho bãi hiệu quả và nâng cao trải nghiệm khách hàng.

Nhận thức rõ điều này, VIMC đã xác định chuyển đổi số là một trong những trụ cột chiến lược phát triển. Điểm đặc biệt trong cách tiếp cận của VIMC là bắt đầu từ đổi mới tư duy quản trị thay vì chỉ đầu tư công nghệ.

Nguyên tắc "Chuẩn hóa trước - Số hóa sau" được áp dụng trên toàn hệ thống. Hàng chục quy trình vận hành cốt lõi đã được rà soát, chuẩn hóa theo thông lệ quốc tế nhằm tạo nền tảng cho việc triển khai các giải pháp số.

Kết quả đến nay cho thấy những chuyển biến rõ nét. Toàn bộ các cảng thành viên đã áp dụng hệ thống quản lý khai thác cảng (TOS); hơn 80% cảng triển khai nền tảng ePort; các giải pháp SmartGate, AutoGate và thanh toán điện tử giúp loại bỏ phần lớn chứng từ giấy trong quy trình khai thác.

Trong lĩnh vực vận tải biển, 100% doanh nghiệp thành viên đã áp dụng lệnh giao hàng điện tử (eDO), số hóa phần lớn quy trình tương tác với khách hàng. Các nền tảng quản trị khách hàng (CRM), báo cáo điều hành thông minh (BI) và hệ thống dữ liệu tập trung đang từng bước được triển khai trên toàn hệ thống.

Đặc biệt, dự án Big Data và trục tích hợp dữ liệu của VIMC được kỳ vọng sẽ hình thành một nền tảng dữ liệu dùng chung cho ba lĩnh vực cảng biển, vận tải biển và logistics. Đây sẽ là cơ sở để phát triển các dịch vụ logistics tích hợp, nâng cao khả năng phân tích và ra quyết định theo thời gian thực.

CHUYỂN ĐỔI XANH - YÊU CẦU BẮT BUỘC CỦA NGÀNH HÀNG HẢI

Bên cạnh chuyển đổi số, chuyển đổi xanh đang trở thành thách thức lớn nhất đối với ngành hàng hải toàn cầu.

Theo Tổ chức Hàng hải Quốc tế (IMO), vận tải biển hiện chiếm khoảng 3% tổng lượng phát thải khí nhà kính toàn cầu. Để đạt mục tiêu phát thải ròng bằng "0" vào năm 2050, IMO đã ban hành hàng loạt quy định mới về hiệu quả năng lượng, cường độ phát thải carbon và sử dụng nhiên liệu sạch.

Song song với đó, Liên minh châu Âu triển khai Hệ

thống thương mại phát thải EU ETS và chương trình FuelEU Maritime, tạo áp lực rất lớn đối với các đội tàu hoạt động trên tuyến quốc tế.

Đối với Việt Nam, cam kết Net Zero vào năm 2050 đặt ra yêu cầu cấp bách phải chuyển đổi mô hình phát triển của toàn ngành giao thông vận tải, trong đó có hàng hải.

Trong lĩnh vực cảng biển, VIMC hiện đang vận hành hàng trăm thiết bị xếp dỡ, xe đầu kéo và phương tiện khai thác sử dụng nhiên liệu hóa thạch. Mỗi năm, hệ thống cảng tiêu thụ khoảng 4,5 triệu lít dầu diesel.

Để giảm phát thải, VIMC đã xây dựng lộ trình phát triển cảng xanh. Trong giai đoạn đầu, doanh nghiệp tập trung thay thế dần các thiết bị sử dụng nhiên liệu hóa thạch bằng thiết bị chạy điện, triển khai hệ thống cấp điện bờ cho tàu biển, xây dựng bộ tiêu chí cảng xanh và thí điểm áp dụng tại một số cảng trọng điểm.

Mục tiêu dài hạn là đưa tiêu chí cảng xanh trở thành yêu cầu bắt buộc trong toàn hệ thống từ sau năm 2030.

Đối với lĩnh vực vận tải biển, thách thức còn lớn hơn. Đội tàu của VIMC hiện tiêu thụ khoảng 142.000 tấn dầu FO và 20.000 tấn dầu DO mỗi năm. Nhiều tàu được đóng từ các thế hệ trước, tiêu hao nhiên liệu lớn và chịu áp lực từ các quy định mới của IMO.

Để thích ứng, VIMC đang triển khai đồng thời nhiều giải pháp như sử dụng sơn chống hà thế hệ mới, cải tiến chân vịt, tối ưu hành trình khai thác, giảm thời gian chờ tại cảng và tăng cường bảo dưỡng kỹ thuật. Những giải pháp này giúp giảm từ 2 - 5% mức tiêu thụ nhiên liệu trên mỗi chuyến tàu.

Về dài hạn, VIMC định hướng thanh lý các tàu già cỗi, đầu tư đội tàu Eco-ship, tàu sử dụng nhiên liệu kép và nghiên cứu ứng dụng các loại nhiên liệu xanh như LNG, methanol hoặc ammonia.

TỪ DOANH NGHIỆP CẢNG BIỂN ĐẾN TẬP ĐOÀN LOGISTICS - HÀNG HẢI QUỐC GIA

Những chuyển động của thị trường cho thấy cạnh tranh trong tương lai sẽ không diễn ra giữa các cảng biển hay hãng tàu đơn lẻ mà giữa các hệ sinh thái logistics tích hợp.

Do đó, chiến lược phát triển của VIMC không dừng lại ở khai thác cảng hay vận tải biển mà hướng tới hình thành một tập đoàn logistics - hàng hải có khả năng cung cấp dịch vụ trọn gói từ cửa đến cửa.

Theo định hướng này, VIMC sẽ tập trung vào 5 nhóm giải pháp lớn.

Thứ nhất, phát triển các cảng cửa ngõ quốc tế và cảng trung chuyển quy mô lớn nhằm nâng cao khả năng kết nối với các tuyến hàng hải toàn cầu.

Thứ hai, hình thành các trung tâm logistics gắn với cảng biển, cung cấp các dịch vụ kho bãi, phân phối, trung chuyển và logistics giá trị gia tăng.

Thứ ba, phát triển vận tải đa phương thức, kết nối vận tải biển với đường bộ, đường sắt và đường thủy nội địa nhằm hình thành các chuỗi dịch vụ logistics tích hợp.

Thứ tư, đẩy mạnh chuyển đổi số trong toàn bộ hoạt động quản trị và khai thác, xây dựng nền tảng dữ liệu dùng chung và ứng dụng trí tuệ nhân tạo trong điều hành.

Thứ năm, thúc đẩy phát triển logistics xanh, giảm phát thải và sử dụng hiệu quả năng lượng trong toàn chuỗi logistics.

NHỮNG ĐIỀU KIỆN ĐỂ HIỆN THỰC HÓA TẦM NHÌN

Mặc dù đạt được nhiều kết quả tích cực, quá trình phát triển logistics hiện đại và vận tải đa phương thức tại Việt Nam vẫn đối mặt với nhiều thách thức.

Trước hết là sự thiếu đồng bộ của hạ tầng kết nối. Nhiều cảng biển lớn vẫn chưa được kết nối hiệu quả với hệ thống đường sắt hoặc đường thủy nội địa. Các trung tâm logistics quy mô lớn còn thiếu và phân tán.

Thứ hai là năng lực cạnh tranh của doanh nghiệp logistics trong nước còn hạn chế. Phần lớn doanh nghiệp có quy mô nhỏ, cung cấp dịch vụ đơn lẻ và chưa tham gia sâu vào chuỗi cung ứng quốc tế.

Thứ ba là sự thiếu hụt nguồn nhân lực chất lượng cao trong các lĩnh vực quản trị chuỗi cung ứng, dữ liệu lớn, AI và công nghệ logistics.

Cuối cùng là yêu cầu hoàn thiện thể chế, chuẩn hóa dữ liệu và xây dựng cơ chế phối hợp hiệu quả giữa Nhà nước, doanh nghiệp và các cơ sở nghiên cứu - đào tạo.

Đối với VIMC, việc phát triển hệ sinh thái logistics hiện đại cần được hỗ trợ bởi các chính sách thúc đẩy chia sẻ dữ liệu, cơ chế thử nghiệm công nghệ mới (sandbox), ưu đãi đầu tư cho chuyển đổi xanh và các chương trình phát triển nguồn nhân lực chuyên sâu.

KẾT LUẬN

Sự chuyển dịch của kinh tế toàn cầu đang mở ra một giai đoạn phát triển mới cho ngành logistics và hàng hải Việt Nam. Trong bối cảnh đó, vận tải đa phương thức, chuyển đổi số và chuyển đổi xanh không còn là những lựa chọn riêng lẻ mà đã trở thành ba trụ cột gắn kết chặt chẽ với nhau trong chiến lược phát triển dài hạn.

Với lợi thế sở hữu hệ thống cảng biển, đội tàu và mạng lưới dịch vụ logistics rộng khắp, VIMC đang từng bước hiện thực hóa tầm nhìn trở thành tập đoàn logistics - hàng hải quốc gia, đóng vai trò dẫn dắt quá trình hiện đại hóa ngành hàng hải Việt Nam.

Từ việc xây dựng các hành lang logistics quốc gia, phát triển chuỗi vận tải đa phương thức, thúc đẩy chuyển đổi số trong quản trị và khai thác đến triển khai các chương trình chuyển đổi xanh, VIMC đang chuyển hóa các định hướng chiến lược thành những hành động cụ thể.

Với những nền tảng đã được xây dựng trong thời gian qua, VIMC đang đứng trước cơ hội trở thành trung tâm kết nối của hệ sinh thái logistics biển Việt Nam, đóng góp trực tiếp vào mục tiêu giảm chi phí logistics, nâng cao năng lực cạnh tranh xuất nhập khẩu và hiện thực hóa khát vọng đưa Việt Nam trở thành quốc gia mạnh về biển, giàu từ biển trong giai đoạn phát triển mới.❖

Thoát nước đô thị vùng ĐBSCL thích ứng với biến đổi khí hậu



PGS.TS NGUYỄN HỒNG TIẾN*

Các đô thị/phường vùng ĐBSCL đang phải đối mặt với nhiều thách thức ngày càng gia tăng trong công tác thoát nước và kiểm soát ngập úng đô thị. Những thách thức này xuất phát từ sự kết hợp giữa điều kiện tự nhiên đặc thù của vùng đồng bằng với tác động ngày càng rõ của biến đổi khí hậu, quá trình đô thị hóa nhanh và những hạn chế của hệ thống hạ tầng thoát nước hiện hữu.

ĐIỀU KIỆN TỰ NHIÊN VÀ TÁC ĐỘNG CỦA BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU

ĐBSCL là vùng đồng bằng thấp, phần lớn các đô thị có cao độ nền trung bình chỉ khoảng +0,5 m đến +1,5 m so với mực nước biển. Đặc điểm địa hình thấp kết hợp với mạng lưới sông ngòi, kênh rạch dày đặc khiến các đô thị trong vùng chịu ảnh hưởng mạnh của chế độ thủy triều từ hệ thống sông Tiền và sông Hậu. Trong điều kiện mưa lớn xảy ra đồng thời với triều cường, khả năng tiêu thoát nước tự chảy của hệ thống thoát nước đô thị bị hạn chế đáng kể. Nước mưa trong đô thị khó thoát ra sông khi mực nước triều dâng cao, dẫn đến tình trạng ngập úng kéo dài tại nhiều khu vực. Bên cạnh đó, các tác động của biến đổi khí hậu, nước biển dâng và hiện tượng sụt lún đất đang làm gia tăng nguy cơ ngập úng tại các đô thị trong vùng. Tần suất và cường độ của các trận mưa lớn ngày càng gia tăng và bất thường, trong khi đó mực nước triều có xu hướng dâng cao hơn góp phần làm cho các hiện tượng ngập úng đô thị xảy ra thường xuyên và khó kiểm soát hơn so với trước đây.

ÁP LỰC TỪ QUÁ TRÌNH ĐÔ THỊ HÓA

Trong khoảng hai thập kỷ qua, quá trình đô thị hóa tại các đô thị vùng ĐBSCL diễn ra nhanh chóng, kéo theo sự gia tăng mạnh mẽ của các bề mặt không thấm nước như đường giao thông, khu dân cư, khu thương mại - dịch vụ và các công trình xây dựng. Sự gia tăng diện tích bề mặt không thấm nước làm giảm khả năng thấm nước tự nhiên của đất, đồng thời làm tăng nhanh lưu lượng và tốc độ dòng chảy nước mưa trên bề mặt đô thị. Nước mưa không còn được thấm và trữ tự nhiên như trước đây mà nhanh chóng dồn vào hệ thống thoát nước, làm gia tăng áp lực lên các tuyến cống và kênh rạch hiện hữu. Song song với quá trình đô thị hóa, nhiều không gian trữ nước tự nhiên trong đô thị như ao hồ, vùng trũng, kênh rạch nhỏ đã bị lấn chiếm, thu hẹp hoặc san lấp để phục vụ phát triển đô thị, mở rộng các khu dân cư và xây dựng hạ tầng. Việc suy giảm các không gian trữ nước tự nhiên này làm giảm khả năng điều tiết nước mặt của đô thị, khiến tình trạng ngập úng trở nên nghiêm trọng hơn trong các trận mưa lớn.

HẠN CHẾ VÀ HỆ QUẢ CỦA HỆ THỐNG THOÁT NƯỚC ĐÔ THỊ HIỆN HỮU

Tại nhiều đô thị trong vùng ĐBSCL, hệ thống thoát nước được xây dựng qua nhiều giai đoạn khác nhau, thiếu sự đồng bộ và chưa được quy hoạch theo cách tiếp cận tổng hợp theo lưu vực thoát nước. Nhiều tuyến cống được xây dựng từ lâu với khẩu độ nhỏ và tiêu chuẩn thiết kế thấp, không còn đáp ứng được yêu cầu tiêu thoát nước trong điều kiện đô thị hóa hiện nay. Ở nhiều đô thị, hệ thống thoát nước mưa và nước thải vẫn sử dụng chung một hệ thống cống hỗn hợp. Khi xảy ra mưa lớn, lưu lượng nước mưa tăng đột ngột dễ dẫn đến tình trạng quá tải hệ thống, gây ngập cục bộ và làm gia tăng nguy cơ ô nhiễm môi trường do nước thải tràn ra các khu vực xung quanh.

(*) Cán bộ cao cấp Dự án MCRP-GIZ tại Việt Nam; nguyên Cục trưởng Cục Hạ tầng kỹ thuật (Bộ Xây dựng)

Ngoài ra, tình trạng bồi lắng bùn, rác thải trong cống và kênh rạch cũng làm giảm đáng kể khả năng thoát nước của hệ thống. Công tác quản lý, vận hành và bảo trì hệ thống thoát nước tại nhiều địa phương còn gặp khó khăn do hạn chế về nguồn lực và kinh phí.

Những hạn chế nêu trên đã dẫn đến tình trạng ngập úng cục bộ diễn ra phổ biến tại nhiều đô thị trong vùng ĐBSCL. Tại nhiều khu vực, độ sâu ngập thường dao động từ khoảng 0,3 - 0,5 m, thậm chí cao hơn tại một số điểm trũng, với thời gian ngập kéo dài từ vài giờ đến nửa ngày sau các trận mưa lớn. Thực tiễn tại nhiều đô thị cho thấy tại các khu vực trung tâm đô thị, tuyến đường giao thông chính và khu dân cư đông đúc thường xuyên bị ảnh hưởng bởi ngập úng, đặc biệt khi mưa lớn trùng với thời điểm triều cường. Tình trạng này gây ảnh hưởng đáng kể đến sinh hoạt của người dân, hoạt động giao thông, thương mại - dịch vụ và chất lượng môi trường đô thị.

Trong khi đó, các giải pháp chống ngập truyền thống như mở rộng hệ thống cống thoát nước nhằm tiêu thoát nước nhanh ra sông, kênh rạch hoặc nâng cao cao độ nền đường… cách tiếp cận này đang bộc lộ nhiều hạn chế khi diện tích bề mặt không thấm nước trong đô thị ngày càng gia tăng, các không gian trữ nước tự nhiên dần bị thu hẹp. Do đó, các đô thị trong vùng cần những giải pháp quản lý nước mưa theo hướng bền vững và thích ứng tốt hơn với điều kiện biến đổi khí hậu.

Các địa điểm được lựa chọn để áp dụng mô hình thoát nước mưa theo hướng bền vững (SUDs) là các khu vực đô thị thường xuyên xảy ra ngập cục bộ, đồng thời đại diện cho nhiều loại hình không gian đô thị khác nhau như khu thương mại - dịch vụ, tuyến giao thông chính, hè đô thị và không gian công cộng. Việc triển khai các mô hình không chỉ nhằm giải quyết các điểm ngập cụ thể mà còn chứng minh tính khả thi để đánh giá hiệu quả của mô hình SUDs trong điều kiện đô thị vùng ĐBSCL.

Dự án "Thích ứng với biến đổi khí hậu ĐBSCL - MCRP" đã hỗ trợ 5 đô thị trong vùng, bài viết tập trung giới thiệu mô hình SUDs áp dụng tại Vĩnh Long và Trà Vinh đây là 2 khu vực khá điển hình như sau:

HIỆN TRẠNG KHU VỰC ÁP DỤNG MÔ HÌNH SUDS

- Mô hình thí điểm (SUDs) tại Vĩnh Long được xây dựng tại hè đường QL53, đoạn Bệnh viện Mắt đến vòng xoay QL53 - Phó Cơ Điều, phường Phước Hậu, tỉnh Vĩnh Long với tổng diện tích xây dựng là 308,5 m^2. Tại đây hệ thống thoát nước hiện hữu đã xuống cấp nghiêm trọng sau 40 - 50 năm sử dụng, chủ yếu là hệ thống cống chung (nước mưa và nước thải) xả thẳng ra sông Cổ Chiên. Khu vực này thường xảy ra ngập úng cục bộ (0,2 - 0,3 m, kéo dài 90 - 180 phút) do cao độ nền thấp hơn so với đường Phó Cơ Điều và sự kết hợp của triều cường và mưa.

- Mô hình thí điểm (SUDs) tại Trà Vinh được triển khai tại bãi đỗ xe của chợ Bạch Đằng, phường Trà Vinh, tỉnh Vĩnh Long với diện tích xây dựng là 575,6 m^2. Khu vực này đang đối mặt với hệ thống thoát nước chưa hoàn chỉnh và xuống cấp, gây khó khăn trong việc thoát nước mùa mưa. Địa hình thấp trũng về phía kênh rạch, và các hẻm thường có cao độ thấp hơn mặt đường chính khu vực này là điểm hay bị ngập úng cục bộ (sâu trung bình 0,5 m, thời gian ngập trung bình 90 ngày/năm) do nền thấp hơn so với các đường giao thông và bờ kè sông Long Bình (thấp hơn 0,1 - 0,3 m). Vì đây là chợ đầu mối, nên nguy cơ ô nhiễm môi trường cao, do nước mưa ứ đọng và hòa lẫn với nước thải thủy sản từ các tiểu thương trong chợ, gây mất vệ sinh và mỹ quan khu vực. Do đó, mô hình SUDs ở Trà Vinh được thiết kế không chỉ để giải quyết ngập lụt mà còn phải xử lý vấn đề nước thải cục bộ.

Các giải pháp thoát nước bền vững đã được áp dụng:

Các giải pháp kỹ thuật cụ thể của mô hình SUDS được triển khai tại Vĩnh Long và Trà Vinh đều tích hợp các hạng mục quản lý nước mưa tại nguồn và được thiết kế để phù hợp với điều kiện địa hình và môi trường cục bộ của từng địa điểm.

Cả hai địa điểm đều sử dụng các giải pháp cốt lõi về lưu trữ nước và bề mặt thấm. Hạng mục bể chứa nước mưa ngầm đều được thiết kế để lưu trữ nước mưa, sử dụng module chứa nước dạng khối rỗng sản xuất từ nhựa tái chế. Tại Vĩnh Long bể chứa nước mưa có tổng dung tích lưu trữ là 41,03 m^3, trong khi mô hình tại Trà Vinh bể chứa nước có dung tích lớn hơn, đạt 108 m^3. Bề mặt bể chứa được bảo vệ bằng vỉ nhựa thoát nước chịu lực, vải địa kỹ thuật và cát nền đầm chặt nhằm tránh sụt lún bề mặt. Cả hai hệ thống đều tích hợp van một chiều để ngăn chặn tình trạng nước từ hệ thống thoát nước hiện hữu chảy ngược vào bể chứa ngầm và sử dụng các ống (uPVC D168 ở Vĩnh Long, D160 ở Trà Vinh) để dẫn thấm nước từ bể ra môi trường đất xung quanh. (Hình 1,2)

Hạng mục hè đường/nền sân bãi đỗ xe tự thấm cũng là giải pháp chung, sử dụng gạch tự chèn kích thước nhỏ có khe thấm nước lắp đặt phía trên vỉ thoát nước nhựa tái chế dày 30 mm. Lớp vỉ thoát nước này tạo ra một tầng rỗng bên dưới, có khả năng thoát nước ngầm nhanh chóng, được bọc bởi vải địa kỹ thuật HDPE và chèn bằng cốt liệu đá hoặc sỏi đồng kích cỡ để đảm bảo khả năng thấm lọc. Tổng diện tích hè tự thấm tại Vĩnh Long là 118 m^2 và nền sân tự thấm tại Trà Vinh là 483 m^2.

Bên cạnh các giải pháp chung, mỗi mô hình có những hạng mục chuyên biệt để giải quyết các thách thức cục bộ.

+ Tại Vĩnh Long, mô hình tích hợp rãnh thấm lọc sinh học (Bioretention), có chiều rộng 2 m và dài 53 m. Rãnh này sử dụng kết cấu thấm lọc nhiều lớp, thu nước từ QL53 thông qua các ống D60. Nước được thu vào ống HDPE hai vách đục lỗ có bọc vải địa thấm. Lớp trên cùng được trồng các loại cây chịu ngập như cỏ, cây mỏ két và thủy trúc, đồng thời thiết kế sàn gỗ nhựa ngoài trời làm không gian nghỉ ngơi cho người đi bộ.

+ Tại Trà Vinh, do nằm ở khu vực chợ Bạch Đằng với nguy cơ nước thải thủy sản gây ô nhiễm, đã bổ sung Module xử lý nước thải. Đây là hệ thống xử lý khép kín, hợp bộ, với công suất 5 - 10m^3/ngđ. Quá trình xử lý bao gồm



Hình 1. Bể chứa nước mưa tại Vĩnh Long.



Hình 2. Bể chứa nước tại Trà Vinh.



Hình 3. Hè đường tự thấm tại Vĩnh Long.



Hình 4. Module xử lý nước thải tại Trà Vinh.

việc thu gom nước thải tập trung, qua bể tách dầu mỡ, và sử dụng các công nghệ tiên tiến (lọc sinh học/hóa học, màng lọc, và khử trùng bằng clo hoặc UV) nhằm đảm bảo chất lượng nước sau xử lý đạt tiêu chuẩn xả thải. (Hình 3, 4)

Hiệu quả và bài học từ các mô hình thoát nước bền vững (SUDs):

Các mô hình SUDS do Dự án MCRP hỗ trợ tuy có quy mô khác nhau nhưng đều cho thấy những kết quả tích cực trong quản lý nước mưa giảm ngập úng đô thị. Trước hết, các giải pháp SUDS đã giúp giảm lưu lượng nước mưa dồn nhanh vào hệ thống thoát nước hiện có qua đó giảm nguy cơ quá tải của hệ thống thoát nước trong các trận mưa lớn. Bên cạnh đó, việc tăng khả năng trữ nước tạm thời và thấm nước vào đất giúp cải thiện khả năng điều tiết nước mặt trong đô thị và góp phần hạn chế ngập cục bộ tại các khu vực dự án.

Cải thiện chất lượng nước. Hệ thống giúp lọc và xử lý nước mưa chảy tràn trước khi thấm xuống đất hoặc xả ra môi trường, góp phần cải thiện chất lượng nguồn nước ngầm và nước mặt.

Ngoài hiệu quả về thoát nước, các mô hình còn mang lại nhiều lợi ích bổ sung như cải thiện cảnh quan đô thị, tăng diện tích bề mặt thấm nước, tái sử dụng nước, giúp tiết kiệm nguồn nước sạch và nâng cao chất lượng không gian công cộng.

Quan trọng hơn, các mô hình thí điểm đã giúp các địa phương tiếp cận tư duy quản lý nước mưa theo hướng bền vững, tạo cơ sở thực tiễn để từng bước lồng ghép các giải pháp SUDS vào quy hoạch và đầu tư hạ tầng đô thị trong vùng ĐBSCL.

QUY HOẠCH VÀ THIẾT KẾ CÁC CÔNG TRÌNH KIẾN TRÚC ỨNG PHÓ VỚI THIÊN TAI TẠI VIỆT NAM:

Chuyển từ "**phòng thủ bị động**" sang "**thích ứng chủ động**"



TS.KTS NGUYỄN TẤT THẮNG*

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu diễn biến phức tạp với tần suất thiên tai cực đoan ngày càng gia tăng, hệ thống đô thị và nông thôn Việt Nam đang đối mặt với những thách thức chưa từng có về khả năng chống chịu. Vấn đề đặt ra là tại sao các giải pháp truyền thống cũ (đê bao, tường chắn, vật liệu truyền thống…) hoặc các giải pháp mới bao gồm các thiết kế điển hình, thiết kế mẫu, sổ tay hướng dẫn công trình kiến trúc thích ứng với thiên tai… đang dần thất thủ hoặc chưa áp dụng hiệu quả trước các hình thái thiên tai cực đoan mới?

Bài báo đề xuất sự chuyển dịch tư duy cốt yếu, chuyển từ các giải pháp kiến trúc - quy hoạch mang tính "phòng thủ bị động" sang mô hình "thích ứng chủ động". Đây là sự kết hợp linh hoạt giữa hạ tầng kỹ thuật hiện đại, hệ sinh thái tự nhiên và nền tảng dữ liệu số, nhằm thiết lập một hệ sinh thái phòng thủ chủ động.

1. THỰC TRẠNG THIÊN TAI VÀ QUY HOẠCH - KIẾN TRÚC TRONG BỐI CẢNH "BÌNH THƯỜNG MỚI" TẠI VIỆT NAM

1.1. Áp lực từ thực thể thiên tai cực đoan lên hệ thống định cư

Trong những năm gần đây, khái niệm "bình thường mới" không chỉ dùng để mô tả sự thay đổi sau đại dịch Covid-19, mà đã trở thành thuật ngữ để chỉ trạng thái khí hậu cực đoan diễn ra với tần suất dày đặc. Việt Nam, với đường bờ biển dài và địa hình đồi núi chiếm 3/4 diện tích đất tự nhiên, đang đứng trước những áp lực chưa từng có.

Tại khu vực đô thị, quá trình bê tông hóa nhanh qua việc xây dựng các công trình, đặc biệt là các công trình hạ tầng kỹ thuật như đường giao thông, hệ thống giao thông ngầm và nổi, vỉa hè, quảng trường… đã làm suy giảm, thậm chí mất đi nhiều không gian thẩm thấu tự nhiên, biến các trận mưa lớn kéo dài thành thảm họa ngập lụt đô thị tức thời. Trong khi đó, tại khu vực nông thôn, đặc biệt là vùng sâu vùng xa, vùng cao và có địa hình với độ dốc lớn, vùng ven biển - sự biến đổi quy luật của dòng chảy và địa chất đã dẫn đến các vụ sạt lở đất nghiêm trọng, phá hủy nhiều cấu trúc làng xã truyền thống. Khá nhiều địa phương, khu vực bị thất thủ và cô lập khi có mưa bão, buộc phải sử dụng thiết bị drone để cứu trợ, cứu hộ. Hệ thống định cư hiện nay đang bộc lộ những lỗ hổng lớn khi các giải pháp quy hoạch và thiết kế xây dựng truyền thống không còn phù hợp và theo kịp tốc độ biến đổi của thiên nhiên. (Hình 1)

1.2. Nhận diện ngưỡng chịu tải của các đô thị và vùng nông thôn

Thực tế cho thấy, nhiều đô thị hiện hữu, đô thị lịch sử, đặc biệt là các đô thị ven biển, ven sông và các khu vực sườn đồi tại Việt Nam đang dần vượt quá ngưỡng chịu tải do tác động từ thiên tai. Với đô thị ven biển, đang đối mặt với gọng kìm giữa nước biển dâng và bão mạnh tăng cấp nhanh. Việc khai thác quá mức quỹ đất sát biển để phát triển du lịch và bất động sản thương mại đã làm suy yếu hệ thống phòng thủ tự nhiên (như rừng ngập mặn, cồn cát…), khiến các công trình kiến trúc trực diện đối mặt với nhiều rủi ro.

Với vùng sườn đồi dốc và trên cao so với mực nước biển, các hoạt động san gạt mặt bằng để xây dựng hạ tầng và công trình đã làm thay đổi trạng thái cân bằng cơ học của địa hình, địa chất. Khi kết hợp với lượng mưa cực đoan vượt ngưỡng thiết kế của hệ thống thoát nước, hiện tượng lũ quét và sạt lở trở thành hệ quả tất yếu, vượt xa khả năng ứng phó của các

(*) Nghiên cứu viên cao cấp - Viện Kiến trúc Quốc gia (Bộ Xây dựng)



Hình 1. Thiên tai cực đoan đã xảy ra ở cả đô thị và nông thôn trên khắp các vùng, miền của Việt Nam trong những năm qua.

cấu trúc kè chắn thông thường.

Đối với các đô thị hiện hữu, đô thị lịch sử và đô thị nén, thiên tai không chỉ gây thiệt hại về vật chất mà còn đe dọa trực tiếp đến ký ức và bản sắc đô thị. Tác động thường mang tính cộng dồn và gây hệ lụy dây chuyền như: Hiệu ứng "lòng chảo nhiệt" và ngập lụt cục bộ: mật độ xây dựng quá cao dẫn đến thiếu hụt không gian tự thấm; Rủi ro sụt lún địa tầng và nền móng: ngập lụt kéo dài hoặc dòng chảy ngầm thay đổi do bão có thể gây sụt lún, rạn nứt các di sản kiến trúc; Hiệu ứng ống gió và áp lực bão: với đô thị có mật độ nhà cao tầng dày đặc, gió bão sẽ bị nén lại và tăng vận tốc (hiệu ứng Venturi), gây nguy hiểm cho các cấu trúc nhà cũ, nhà ở riêng lẻ hiện hữu xung quanh…; Sự mong manh của hạ tầng kỹ thuật: bão lớn gây đổ gãy cây xanh, cột điện… dẫn đến cháy nổ và mất kết nối trên diện rộng, gây khó khăn cho công tác cứu hộ trong không gian hẹp…

1.3. Khái niệm "Tuyến phòng thủ chủ động" trong kiến trúc hiện đại

Với thực trạng về thiên tai và quy hoạch - kiến trúc như phân tích trên, tư duy chiến lược phát triển thông qua quy hoạch, thiết kế và xây dựng tại Việt Nam cần được thay đổi và nâng cấp. Kiến trúc và quy hoạch không chỉ dừng lại ở việc tạo lập không gian sống đơn thuần mà phải được nhìn nhận như một tuyến phòng thủ chủ động. Cần đòi hỏi đến sự linh hoạt và kết nối trong việc tổ hợp chuỗi các tính năng nhằm tạo ra các giải pháp tương ứng và thích hợp. Hướng đến một hệ sinh thái đồng bộ, chủ động, khoa học để ứng phó với các tác động cực đoan từ thiên tai. Hệ sinh thái đó có thể bao gồm những thành phần cốt lõi sau đây: Sự linh hoạt: công trình có khả năng tự điều chỉnh hoặc biến đổi công năng, tính năng để thích nghi với các tình huống khẩn cấp; Tính bền bỉ: khả năng hấp thụ các cú sốc thiên tai, nhằm giảm thiểu thiệt hại và phục hồi nhanh chóng; Sự cộng sinh: tận dụng tối đa các giải pháp nương tựa vào thiên nhiên để giảm áp lực cho hạ tầng kỹ thuật.

Việc quy hoạch, thiết kế và xây dựng các công trình dựa trên 3 thành phần cốt lõi này, chính là chuyển đổi từ tư duy chống chọi sang thích ứng. Và cũng chính là chìa khóa để bảo vệ sự phát triển bền vững của kiến trúc Việt Nam trong bối cảnh "bình thường mới". (Hình 2)

2. MÔ HÌNH VÀ GIẢI PHÁP QUY HOẠCH TÍCH HỢP ĐA NGÀNH THEO HƯỚNG CHỦ ĐỘNG THÍCH ỨNG VỚI THIÊN TAI TẠI VIỆT NAM

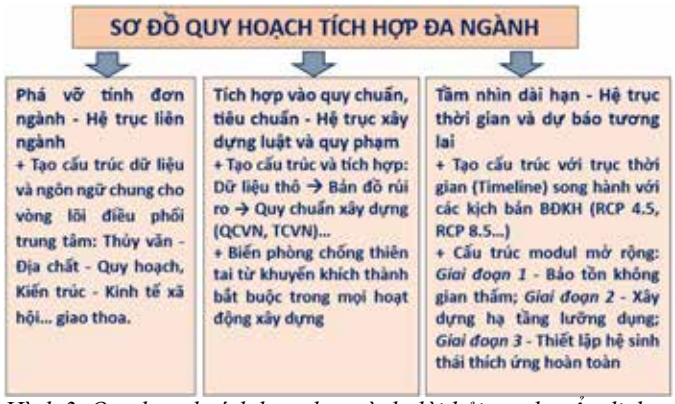
Để vượt qua cách tiếp cận giải pháp cho quy hoạch và công trình kiến trúc đơn lẻ theo tư duy cũ - cần nhìn nhận đô thị và nông thôn như một thực thể sống. Ở đó, các công trình kiến trúc sẽ như các tế bào thành phần, tương hỗ nuôi dưỡng và củng cố sức khỏe của thực thể. Và do đó, rất cần xây dựng một khung lý thuyết tích hợp đa ngành dựa trên trí tuệ số và bản sắc bản địa, với mục tiêu chuyển dịch tư duy từ phòng thủ bị động sang thích ứng chủ động, dựa trên dữ liệu và sinh thái. Khung lý thuyết đó gồm 3 trụ cột sau đây:

2.1. Quy hoạch tích hợp đa ngành, gắn quản lý rủi ro thiên tai vào cấu trúc đô thị và nông thôn

Để đạt được mục tiêu tuyến phòng thủ chủ động một cách thiết thực, khoa học và khả dụng - Quy hoạch tích hợp đa ngành (Integrated Planning) sẽ đặt rủi ro thiên tai làm trọng tâm điều phối. Ở đó, việc tích hợp được xây dựng dựa trên kịch bản của BĐKH với các diễn biến thiên tai đặc thù, có tính thất thường và sức phá hủy lớn. Có thể gồm và cần thực hiện những giải pháp vĩ mô sau đây: Phá vỡ tính đơn ngành:



Hình 2. Phòng thủ chủ động là sự hợp nhất giữa trí tuệ kỹ thuật và sự tôn trọng quy luật tự nhiên.



Hình 3. Quy hoạch tích hợp đa ngành đòi hỏi sự chuyển dịch từ cấu trúc cột trụ - độc lập sang cấu trúc mạng lưới - liên kết.



Hình 4. Mô hình đô thị Sponge (thành phố bọt biển)



Hình 5. Giải pháp lồng ghép hệ sinh thái tự nhiên với tích, trữ, thẩm thấu nước ở các đô thị, nông thôn vùng ven biển, ven sông và vùng miền núi, trung du.

quy hoạch không chỉ là sự sắp xếp tổ chức không gian của kiến trúc, mà phải là sự giao thoa giữa thủy văn học, địa chất học, môi trường, văn hóa và kinh tế đô thị, vùng miền…; Tích hợp vào quy chuẩn: việc quản lý rủi ro cần được luật hóa và tích hợp trực tiếp vào các quy chuẩn và tiêu chuẩn xây dựng, từ khâu lựa chọn địa điểm đến xác định cốt nền và mật độ xây dựng…; Tầm nhìn dài hạn: thay vì chỉ thiết kế cho các kịch bản lặp lại 20 - 50 năm, quy hoạch tích hợp tính toán đến các biến số cực đoan của BĐKH có thể trong 100 năm, nhằm bảo vệ hệ thống hạ tầng trọng yếu. (Hình 3)

2.2. Giải pháp hành lang thoát lũ đa năng và mô hình đô thị Sponge

Mô hình đô thị Sponge (thành phố bọt biển) là việc chuyển đổi tư duy từ ngăn và thoát nhanh, sang thấm, trữ và điều tiết nước. (Hình 4). Các giải pháp có thể đề xuất cho các vị trí như sau:

2.2.1. Với các đô thị và điểm dân cư ven sông, biển hoặc ở vùng miền núi và trung du:

Thiết kế vùng đệm sinh thái: thay vì xây dựng các bờ kè bê tông cứng, nên thiết kế hành lang xanh đa chức năng dọc theo hệ thống sông ngòi, bờ biển... Trong điều kiện bình thường, đây là công viên ven sông, không gian công cộng cho người dân. Khi có lũ, triều cường, chúng đóng vai trò là không gian hấp thụ và dẫn nước; Mô hình thẩm thấu trong thiết kế công trình: sử dụng vật liệu lát sân bãi, vỉa hè và đường nội bộ có tính xuyên thủy để tái tạo chu trình nước tự nhiên. Tăng cường các túi chứa nước ngầm hoặc lộ thiên tại các khu vực trũng, thấp để cắt đỉnh lũ tức thời; Hệ sinh thái tự nhiên làm hạ tầng: bảo tồn và phục hồi hệ thống ao hồ, đất ngập nước, là những bộ phận không thể tách rời của hạ tầng kỹ thuật đô thị. (Hình 5)

2.2.2. Với các đô thị lịch sử, đô thị di sản:

Đối với nhóm đô thị này, chúng ta cần các giải pháp mang tính bảo tồn và khéo léo hơn, gồm: Quy hoạch giải nén để tạo không gian thở: thông qua hình thức tìm kiếm các khu đất trống, các khu vực hạ tầng cũ xuống cấp để chuyển đổi thành các "Công viên túi" (Pocket parks) hoặc bể chứa ngầm đa năng (Hình 6); Thiết kế gia cường và thích ứng: bằng kỹ thuật gia cường, sử dụng các loại vật liệu mới như sợi carbon để gia cố cấu trúc các công trình di sản mà không làm thay đổi diện mạo, giúp công trình chịu được rung chấn và áp lực gió bão; Công nghệ giám sát và cảnh báo sớm: sử dụng thiết bị cảm biến độ nghiêng và lún bằng hệ thống sensor (cảm biến) tại các di tích trọng điểm để giám sát sự biến dạng của



Hình 6. Quy hoạch giải nén tạo không gian thở bằng các công viên túi (Pocket parks), kết hợp trữ nước ngầm.



Hình 8. Xây dựng mô hình 3D thực tế trên cơ sở dữ liệu từ GIS, camera tích hợp AI, kết nối với mạng lưới cảm biến IoT-Internet vạn vật, để cung cấp cảnh báo sớm.



Hình 7. Giải pháp gia cường bằng Flood barriers chống lụt, kết hợp công nghệ cảm biến Sensor và Digital Twin, mô phỏng kịch bản gió bão để bảo vệ sức khỏe cho các di sản trong các đô thị lịch sử.



Hình 9. Kiến trúc không chỉ là vỏ bao che mà là một cơ thể sống, biết thích ứng chủ động và bảo vệ con người trước sự giận dữ của thiên nhiên.

công trình trong và sau thiên tai. (Hình 7)

2.3. Ứng dụng Digital Twin - Bản sao số trong mô phỏng kịch bản ứng phó với thiên tai

Sự khác biệt của kiến trúc được hỗ trợ bởi công nghệ 4.0 sẽ nằm ở khả năng dự báo và vận hành dựa trên dữ liệu thực tế. Ở đó, sự tham gia của công nghệ Digital Twin (Bản sao số) là công cụ then chốt, cụ thể: Xây dựng mô hình 3D thực tế: Digital Twin cho phép tích hợp dữ liệu địa hình (GIS), dữ liệu thủy văn và hiện trạng công trình vào môi trường giả lập động. Trên cơ sở đó, sẽ mô phỏng kịch bản cực đoan giả lập các kịch bản bão mạnh kết hợp triều cường và mưa lớn để xác định các điểm nghẽn của hệ thống thoát nước. Đồng thời, đánh giá tác động đối với khả năng thoát lũ chung của toàn khu vực; Điều hành thời gian thực: thông qua hệ thống camera tích hợp AI, kết nối với mạng lưới cảm biến IoT để cung cấp cảnh báo sớm cho cộng đồng và điều phối hệ thống hạ tầng (trạm bơm, cống ngăn triều) một cách thông minh khi thiên tai xảy ra. (Hình 8)

Tóm lại, quy hoạch tích hợp đa ngành theo hướng chủ động thích ứng không còn là một lựa chọn, mà là một yêu cầu bắt buộc. Sự kết hợp giữa tạo ra các không gian xanh của mô hình đô thị Sponge và trí tuệ của Digital Twin, sẽ hình thành hệ thống phòng thủ đa tầng, giúp các đô thị Việt Nam ở các cấp đô thị và chức năng khác nhau, ở các vùng miền khác nhau, không chỉ tồn tại mà còn phát triển bền vững trước thiên tai.

3. GIẢI PHÁP KIẾN TRÚC LƯỠNG TÍNH VÀ LƯỠNG DỤNG GẮN VỚI CÔNG NGHỆ KỸ THUẬT VÀ VẬT LIỆU XÂY DỰNG MỚI

3.1. Cấu trúc chống chịu thông qua thiết kế công trình kiến trúc đa năng

Trong bối cảnh thiên tai cực đoan, công trình lưỡng tính và lưỡng dụng trở thành giải pháp cốt lõi để tối ưu hóa nguồn lực. Kiến trúc không chỉ phục vụ công năng thuần túy theo các loại hình công trình có chức năng sử dụng khác nhau, mà cần chuyển đổi thành hạ tầng cứu trợ khẩn cấp. Trong những năm qua, nhiều thiết kế mẫu và điển hình do Bộ Xây dựng đã đi theo hướng này. Tuy nhiên, vẫn chưa được áp dụng nhiều, do khó áp dụng nguyên mẫu vào địa điểm cụ thể vì nhiều sự khác biệt như quy mô, địa hình, văn hóa, khả năng kinh tế… Do đó, cần đưa ra các nguyên lý có tính dây chuyền và công nghệ kỹ thuật điển hình khi kết hợp lưỡng tính và lưỡng dụng. Có thể thấy yếu tố "lưỡng" được cụ thể hóa bởi những

sự linh hoạt sau: Công trình công cộng thích ứng: ví dụ các trường học, nhà văn hóa, trụ sở cơ quan hành chính… nên được thiết kế với cốt nền cao hơn mực nước lũ lịch sử, có hệ thống năng lượng tái tạo độc lập và bể chứa nước sạch dự phòng…; Không gian linh hoạt: với việc thiết kế mặt bằng mở, cho phép phân tách không gian để làm nơi tạm trú, trạm y tế dã chiến hoặc kho trung chuyển hàng cứu trợ; Cấu trúc tự vận hành: ưu tiên các giải pháp thông gió, chiếu sáng tự nhiên, trữ nước sạch… để công trình vẫn vận hành tối thiểu ngay cả khi hệ thống lưới điện quốc gia bị ngắt quãng hoặc công trình bị cô lập cục bộ do bão lũ…(Hình 9)

3.2. Thiết kế công trình kiến trúc thích ứng theo đặc thù vùng miền

Việt Nam với địa hình đa dạng, đòi hỏi những giải pháp kiến trúc không những về bản sắc văn hóa mà rất cần phù hợp với khí hậu, địa hình theo hướng thuận thiên, nương tựa vào thiên nhiên, nhất là đối với các khu vực ven biển và vùng núi cao. Ví dụ, miền Bắc (đồi núi), kiến trúc sẽ nương tựa địa hình, tránh can thiệp thô bạo vào địa hình và mái dốc để ngừa sạt lở; miền Trung (ven biển), cấu trúc nhà ở dạng khí động học để giảm tải trọng gió bão; miền Nam (đồng bằng), với mô hình kiến trúc nổi và quy hoạch hạ tầng giao thông thủy - bộ kết hợp…(Hình 10). Vì vậy cần có các giải pháp cụ thể cho các công trình kiến trúc thích ứng theo hướng này như sau:

Với vùng ven biển, cần giải pháp khí động học và giảm áp lực gió bão: Hình khối khí động học của ngôi nhà nên có xu thế là các hình khối bo tròn hoặc vát cạnh để giảm hệ số cản gió và hiện tượng xoáy cục bộ thường gây tốc mái; Hệ mái chịu lực: nên sử dụng hệ mái có độ dốc phù hợp (30° - 45°), kết nối cơ học chặt chẽ giữa xà gồ và hệ khung chịu lực chính thay vì chỉ dựa vào trọng lượng tự thân của vật liệu lợp; Cấu trúc bên ngoài có thể sử dụng thêm "vỏ kép" (Double skin) thông qua sử dụng các hệ lam chắn bão thông minh, có khả năng đóng kín hoặc tự điều chỉnh hướng gió để bảo vệ các lớp cửa bên trong.

Với vùng cao và sườn đồi, cần kỹ thuật móng và kè mềm chống sạt lở: với khu vực có nguy cơ sạt lở cao, việc can thiệp thô bạo vào địa hình cần được thay thế bằng các kỹ thuật nương tựa như: Kỹ thuật kè mềm: sử dụng lưới địa kỹ thuật kết hợp với thảm thực vật có rễ sâu để gia cố bề mặt; Hệ móng thích ứng: ứng dụng móng cọc vi mô (micropile) để xuyên qua lớp đất yếu đến tầng địa chất ổn định, không cần san gạt mặt bằng quy mô lớn; Thoát nước địa hình: thiết kế hệ thống rãnh thu nước mặt và thoát nước ngầm theo phân tầng cốt cao độ địa hình để giảm thiểu hiện tượng bão hòa nước gây trượt lở đất. (Hình 11).

3.3. Vật liệu, công nghệ xây dựng nhanh và bền vững

Việc ứng dụng công nghệ và vật liệu mới sẽ không những giúp nâng cao chất lượng và đẩy nhanh tiến độ phục hồi sau thiên tai, mà còn có thể chủ động xây dựng công trình mới hoặc cải tạo để ứng phó và giảm thiểu thiên tai. Nên chủ động khai thác và sử dụng đồng bộ một số công nghệ chính sau: Công nghệ lắp ghép: bằng việc sử dụng các cấu kiện bê tông đúc sẵn hoặc modul thép tiền chế, giúp giảm thời gian thi công tại hiện trường hoặc phải vận chuyển các loại vật liệu rời lên các địa hình cao và dốc; Vật liệu tái chế và tuần hoàn: ưu tiên vật liệu xây dựng từ nguồn tại chỗ địa phương hoặc phế thải công nghiệp tái chế nhằm giảm dấu chân carbon và hạ giá thành công trình; Vật liệu thông minh: nên ứng dụng bê tông siêu tính năng UHPC có cường độ cao và khả năng chống ăn mòn muối biển cho các công trình ven biển để kéo dài tuổi thọ cấu trúc.

4. TÍCH HỢP QUẢN TRỊ, CHÍNH SÁCH VÀ VAI TRÒ CỦA CỘNG ĐỒNG XÃ HỘI

4.1. Tích hợp tiêu chí "Kiến trúc chủ động thích ứng" vào hệ thống quy chuẩn, tiêu chuẩn xây dựng quốc gia

Để các giải pháp thích ứng không chỉ dừng lại ở mức độ khuyến khích, cần thiết phải luật hóa thông qua việc cập nhật các quy chuẩn và tiêu chuẩn xây dựng (QCVN, TCVN). Có thể bằng các cách thức: Tiêu chuẩn hóa "Sức khỏe công trình": đề xuất nghiên cứu và lựa chọn tích hợp các tiêu chí của bộ tiêu chuẩn WELL Standards, vốn tập trung vào sức khỏe và an sinh của con người vào bối cảnh thiên tai cực đoan tại Việt Nam vào hệ thống QCVN và TCVN; Xây dựng khung tiêu chuẩn "Kiến trúc chủ động thích ứng": bổ sung các quy định về hệ số khí động học cho mái nhà vùng bão, tỷ lệ diện tích thẩm thấu nước mặt tối thiểu cho từng loại hình dự án và yêu cầu tính lưỡng dụng đối với các công trình công cộng dân sinh trọng yếu; Chính sách ưu đãi: có các cơ chế thưởng diện tích sàn hoặc ưu đãi thuế cho các chủ đầu tư và đơn vị tư vấn áp dụng các giải pháp kiến trúc xanh, lưỡng dụng, thích ứng và sử dụng vật liệu tái chế...

4.2. Vai trò điều phối của các cấp chính quyền địa phương

Chính quyền địa phương các cấp sẽ đóng vai trò là nhạc trưởng trong việc kết nối các nguồn lực và thực thi quy hoạch an toàn, vì vậy, cần có chiến lược và cơ chế đồng bộ trong quản lý, quản trị trong đầu tư xây dựng và vận hành các công trình công và tư, bao gồm: Quản trị rủi ro dựa trên dữ liệu: sử dụng nền tảng số và bản đồ rủi ro để đưa ra quyết định cấp phép xây dựng phù hợp với ngưỡng chịu tải của địa hình; Cơ chế phối hợp liên ngành: thiết lập ban quản lý rủi ro thiên tai có sự tham gia của đại diện ngành xây dựng, môi trường, nông nghiệp… đảm bảo tính thống nhất từ khâu quy hoạch đến vận hành hạ tầng thoát lũ; Đầu tư hạ tầng lưỡng dụng: ưu tiên ngân sách cho các công trình hạ tầng kỹ thuật và xã hội có khả năng thích ứng cao.

4.3. Sự chủ động của cộng đồng trong vận hành không gian thích ứng

Cộng đồng là lớp phòng thủ cuối cùng và quan trọng nhất. Một thiết kế thích ứng chỉ thực sự hiệu quả khi người dân biết cách vận hành và tương tác với những rủi ro có thể xảy ra. Vì vậy, cần kết hợp công tác truyền thông và mô hình tổ chức cộng đồng tại chỗ để giám sát và chủ động phòng ngừa thiên tai như: Nâng cao nhận thức và năng lực tự thích ứng: tổ chức các chương trình đào tạo, hướng dẫn cộng đồng về kỹ thuật gia cố nhà ở đơn giản và quy trình ứng phó tại chỗ; Mô hình Kiến trúc cộng đồng: khuyến khích sự tham gia



Hình 10. Một số mẫu thiết kế nhà ở cho người dân các vùng thiên tai tại miền núi phía Bắc, miền Trung, Tây Nam bộ, gắn với văn hóa bản địa do Viện Kiến trúc Quốc gia thực hiện giai đoạn 2018- 2022.



Hình 11. Một số giải pháp nương tựa vào tự nhiên cho kỹ thuật móng, kè mềm và thoát nước mặt.

của người dân ngay từ khâu thiết kế các không gian công cộng thích ứng; Mạng lưới giám sát nhân dân: thiết lập hệ thống thông tin dựa trên cộng đồng, nơi người dân có thể báo cáo nhanh các dấu hiệu bất thường (vết nứt sườn đồi, tắc nghẽn dòng chảy…) thông qua ứng dụng di động, được kết nối trực tiếp với trung tâm điều hành đô thị, nông thôn, khu vực... Quản trị rủi ro không chỉ là trách nhiệm của nhà nước mà là một tiến trình hợp tác đa bên, khi chính sách tạo ra khung hành lang chuẩn mực, chính quyền điều phối hiệu quả và cộng đồng chủ động tham gia.

5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Việc chuyển đổi từ tư duy phòng thủ tĩnh sang thích ứng và chủ động không chỉ là một sự thay đổi về kỹ thuật mà là cuộc cách mạng trong tư duy thiết kế và quy hoạch. Các giải pháp đã trình bày trên sẽ mang lại ba giá trị cốt lõi: Tính linh hoạt và bền bỉ; Tối ưu hóa nguồn lực; Tiệm cận xu hướng toàn cầu. Để đưa các giải pháp này vào thực tiễn, tác giả đề xuất kiến nghị lộ trình triển khai thực hiện cụ thể cho các bên liên quan như sau:

Đối với cơ quan quản lý nhà nước: Cập nhật khung pháp lý: sớm ban hành hướng dẫn kỹ thuật về quy hoạch đô thị thẩm thấu và tích hợp quản lý rủi ro thiên tai vào các đồ án quy hoạch cấp vùng/tỉnh/phường/xã; Xây dựng cơ sở dữ liệu số: đầu tư cho hạ tầng dữ liệu GIS và mô hình mô phỏng ngập lụt tại các đô thị trọng điểm, các khu vực nông thôn… làm căn cứ phê duyệt dự án; Chính sách khuyến khích: áp dụng cơ chế ưu đãi cho các công trình đạt tiêu chuẩn kiến trúc chủ động thích ứng, lưỡng dụng hoặc sử dụng công nghệ vật liệu mới bền vững.

Đối với đơn vị tư vấn thiết kế và cộng đồng kiến trúc sư: Chủ động nâng cao năng lực nghiên cứu và áp dụng các giải pháp khí động học, kết cấu lắp ghép nhanh và kỹ thuật kè mềm vào thiết kế. Có trách nhiệm đóng vai trò phản biện, giúp chủ đầu tư nhận diện rủi ro thiên tai và định hướng giải pháp thiết kế bền vững ngay từ giai đoạn ý tưởng.

Việc hiện thực hóa đồng bộ 4 giải pháp này, bao gồm: Quy hoạch thích ứng đa tầng; Thiết kế kiến trúc lưỡng dụng; Công nghệ, kỹ thuật và vật liệu; Cộng đồng và Quản trị sẽ góp phần quan trọng trong việc hình thành một hệ sinh thái mới, mang tính liên ngành, chủ động thích ứng với tác động cực đoan từ thiên tai trong bối cảnh "bình thường mới" - với việc đưa kiến trúc và quy hoạch trở thành một trong những công cụ chủ động nhất trong chiến lược thích ứng với thiên tai tại Việt Nam.❖

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

1. Nghị quyết 06-NQ/TW của Bộ Chính trị (2022): Về quy hoạch, xây dựng, quản lý và phát triển bền vững đô thị Việt Nam đến năm 2030.

2. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change): Climate Change 2024/2025: Synthesis Report.

3. Yu Kongjian (Turenscape): Sponge Cities: Emerging Heritage in Design.

4. The WELL Building Standard (v2): Resilience and Preparedness Section.

5. UNESCO & ICOMOS: Heritage and Resilience: Issues and Opportunities for Reducing Disaster Risks.

6. Dassault Systemes/Bentley Systems: Whitepapers on Urban Digital Twin for Disaster Management.

7. Nguyễn Tất Thắng "Hệ sinh thái công nghệ số (AI-BIM-GIS-DIGITAL TWIN) - Động lực và công cụ để đổi mới toàn diện công tác quy hoạch, kiến trúc và quản trị đô thị tại Việt Nam". Tạp chí Kiến trúc Việt Nam, số 259-260/2025.

8. Nguyễn Tất Thắng "Tích hợp Tiêu chuẩn WELL với hệ thống QCVN, TCVN Việt Nam theo xu hướng kiến trúc vì an toàn sinh mạng và sức khỏe". Kỷ yếu khoa học và trình bày slider tại hội thảo "Gặp gỡ mùa Thu 2025" với chủ đề "Kiến trúc vì sức khỏe" do Hội KTSVN tổ chức tháng 12/2025.

Quy hoạch không gian nước



THS LÊ TÙNG LÂM*

Nhiều quốc gia trên thế giới đã chuyển từ tư duy "thoát nước nhanh" sang tư duy "sống cùng nước", "quản trị nước" và xa hơn là "quản trị không gian nước". Đây cũng là cơ sở hình thành khái niệm "Quy hoạch không gian nước" - một hướng tiếp cận đang ngày càng được quan tâm trong quy hoạch đô thị hiện đại.

Thế kỷ 21 đang đặt ra những thách thức hoàn toàn mới đối với công tác quy hoạch và quản lý phát triển đô thị. Nếu trong quá khứ, các đô thị chủ yếu phải giải quyết các vấn đề về nhà ở, giao thông, hạ tầng kỹ thuật và tăng trưởng kinh tế, thì ngày nay các đô thị còn phải đối mặt với những rủi ro ngày càng gia tăng từ biến đổi khí hậu, nước biển dâng, mưa cực đoan, ngập lụt, hạn hán và suy giảm tài nguyên nước.

Trong nhiều năm qua, quá trình đô thị hóa nhanh đã làm thay đổi sâu sắc chu trình nước tự nhiên. Hồ ao bị san lấp, vùng trũng bị thu hẹp, diện tích mặt phủ bê tông tăng nhanh, khả năng thấm nước suy giảm nghiêm trọng. Nước mưa không còn được giữ lại trong tự nhiên mà nhanh chóng tập trung thành dòng chảy mặt, gây quá tải hệ thống thoát nước và dẫn đến ngập úng ngày càng thường xuyên hơn. Thực tiễn đó cho thấy một thực tế quan trọng: Ngập lụt đô thị không đơn thuần là bài toán kỹ thuật thoát nước mà là bài toán tổ chức không gian. Nói cách khác: Không phải đô thị thiếu cống thoát nước mà là thiếu không gian dành cho nước. Chính từ nhận thức đó, nhiều quốc gia trên thế giới đã chuyển từ tư duy "thoát nước nhanh" sang tư duy "sống cùng nước", "quản trị nước" và xa hơn là "quản trị không gian nước". Đây cũng là cơ sở hình thành khái niệm "Quy hoạch không gian nước" (Water Space Planning) - một hướng tiếp cận đang ngày càng được quan tâm trong quy hoạch đô thị hiện đại.

Trong tự nhiên, nước không chỉ là một tài nguyên mà còn là một yếu tố cấu trúc không gian. Sự hình thành của các lưu vực sông, hồ, đầm phá, vùng đất ngập nước và tầng chứa nước ngầm đã tạo nên bộ khung tự nhiên cho sự phát triển của các vùng lãnh thổ. Từ hàng nghìn năm trước, các nền văn minh lớn trên thế giới đều hình thành và phát triển dọc theo các dòng sông lớn. Điều đó cho thấy nước không chỉ quyết định sự sống mà còn quyết định cấu trúc phát triển của xã hội loài người. Tuy nhiên, trong quá trình đô thị hóa hiện đại, nước thường bị xem như một yếu tố cản trở phát triển cần được kiểm soát hoặc loại bỏ. Các dòng sông bị nắn chỉnh, hồ ao bị san lấp, vùng trũng bị chuyển đổi thành đất xây dựng. Hệ quả là khả năng điều tiết tự nhiên suy giảm trong khi rủi ro ngập lụt ngày càng gia tăng.

Nhìn từ góc độ khoa học, mọi đô thị đều tồn tại trong một chu trình nước gồm: mưa; thấm; tích trữ; dòng chảy mặt; tiêu thoát; bốc hơi. Khi đô thị hóa làm giảm khả năng thấm nước thì lượng nước lưu giữ và điều tiết phải được gia tăng để duy trì cân bằng thủy văn. Điều đó đồng nghĩa với việc đô thị phải dành một phần không gian nhất định cho nước. Vì vậy, một nguyên lý quan trọng của quy hoạch hiện đại là: Nước luôn cần không gian. Nếu con người không chủ động dành không gian cho nước thì nước sẽ tự tìm không gian của mình thông qua các trận ngập lụt. Trong suốt thế kỷ 20, nhiều quốc gia áp dụng mô hình quản lý nước đô thị theo nguyên tắc: Thu gom nhanh - Dẫn nhanh - Xả nhanh. Tuy nhiên, trước những tác động ngày càng lớn của biến đổi khí hậu, tư duy này dần bộc lộ nhiều hạn chế.

Hà Lan là quốc gia tiên phong thay đổi cách tiếp cận thông qua chương trình "Room for the River". Thay vì tiếp tục nâng cao đê điều để chống lũ, Hà Lan lựa chọn mở rộng hành lang thoát lũ, khôi phục vùng ngập nước và dành nhiều không gian hơn cho nước. Singapore triển khai chương trình ABC Waters với mục tiêu biến nước trở thành một phần của không gian sống đô thị. Các hồ chứa nước, công viên sinh thái và hệ thống kênh rạch được tích hợp vào cấu trúc đô thị như những không gian công cộng chất lượng cao. Trung Quốc phát triển mô hình Sponge City (Thành phố Bọt biển), hướng tới khả năng giữ lại ít nhất 70% lượng nước mưa tại chỗ thông qua hồ điều hòa, công viên ngập nước, mái xanh và các bề mặt thấm nước. Úc phát triển mô hình Water Sensitive City,

(*) *Trưởng Ban Đô thị HĐND TP Đà Nẵng*



còn Đan Mạch triển khai các chương trình quản lý mưa cực đoan thông qua hệ thống quảng trường chứa nước và công viên điều tiết. Mặc dù khác nhau về điều kiện tự nhiên và thể chế, các mô hình này đều thống nhất ở một nguyên lý: muốn chống ngập hiệu quả thì phải dành không gian cho nước.

Tại Việt Nam, Quyết định số 2307/QĐ-TTg phê duyệt Quy hoạch thủy lợi lưu vực sông Cửu Long thời kỳ đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050 đã đưa ra một yêu cầu rất đáng chú ý: Dành từ 7 - 10% diện tích đất làm không gian chứa nước phục vụ chống ngập cho các đô thị. Đây không chỉ là một chỉ tiêu kỹ thuật. Đây là lần đầu tiên một văn bản quy hoạch cấp quốc gia thừa nhận rằng: nước là một nhu cầu sử dụng không gian. Ý nghĩa của quy định này rất lớn vì nó mở ra khả năng hình thành một lớp quy hoạch mới bên cạnh các lớp quy hoạch truyền thống như: quy hoạch sử dụng đất; quy hoạch giao thông; quy hoạch hạ tầng kỹ thuật; quy hoạch không gian xây dựng. Đó chính là quy hoạch không gian nước.

Quy hoạch không gian nước là quá trình tổ chức, phân bổ, bảo vệ và phát triển các không gian liên quan đến nước nhằm bảo đảm: an toàn trước thiên tai; an ninh nguồn nước; bảo vệ hệ sinh thái; thích ứng với biến đổi khí hậu; nâng cao chất lượng sống; hỗ trợ phát triển bền vững.

Khác với quy hoạch thủy lợi truyền thống tập trung vào công trình, quy hoạch không gian nước tập trung vào không gian. Thay vì chỉ đặt câu hỏi: Cần xây hồ hay cống ở đâu? Quy hoạch không gian nước đặt ra những câu hỏi cơ bản hơn: Nước sẽ đi đâu? Nước sẽ được giữ ở đâu? Nước sẽ được trữ ở đâu? Không gian nào thuộc về nước?

Điểm khác biệt lớn nhất của quy hoạch không gian nước nằm ở phương pháp tiếp cận. Trong quy hoạch truyền thống, đất đai được phân bổ trước, sau đó mới tính toán các công trình thoát nước. Trong quy hoạch không gian nước, trình tự này được đảo ngược. Trước tiên phải xác định: lưu vực; địa hình; lượng mưa thiết kế; khả năng thấm; khả năng tiêu thoát; thể tích nước cần lưu giữ. Sau đó mới xác định: diện tích không gian nước; vị trí hồ điều hòa; hành lang nước; khu vực phát triển đô thị. Điều này phản ánh một nguyên tắc mới: dành chỗ cho nước trước khi dành chỗ cho xây dựng.

Để thể chế hóa cách tiếp cận này, cần xây dựng một khung quy hoạch không gian nước gồm 5 hợp phần chính: Thứ nhất, không gian bảo tồn nước gồm sông, hồ, đầm phá, vùng đất ngập nước và các khu vực bổ cập nước ngầm. Thứ hai, không gian trữ nước gồm hồ điều hòa, đồng trữ lũ, công viên ngập nước và các vùng chứa nước khẩn cấp. Thứ ba, không gian thấm nước gồm rừng, công viên, đất nông nghiệp, vườn mưa và các bề mặt thấm nước. Thứ tư, không gian dẫn nước gồm hành lang sông, kênh tiêu, mương sinh thái và hành lang thoát lũ. Thứ năm, không gian thích ứng gồm quảng trường chứa nước, đường ngập có kiểm soát, bể điều tiết ngầm và các hạ tầng linh hoạt khác. Khung này cần được tích hợp vào hệ thống quy hoạch quốc gia, quy hoạch tỉnh, quy hoạch đô thị và quy hoạch nông thôn.

Nếu thế kỷ 20 là thời đại của quy hoạch đất đai và hạ tầng cứng, thì thế kỷ 21 sẽ là thời đại của quy hoạch thích ứng và quản trị tài nguyên tự nhiên. Trong bối cảnh đó, không gian nước cần được xem là trụ cột thứ tư của phát triển lãnh thổ bên cạnh đất đai; hạ tầng; con người. Quy hoạch không gian nước không chỉ là giải pháp chống ngập. Đó là một triết lý phát triển mới, trong đó nước được nhìn nhận như một tài sản chiến lược, một nguồn lực phát triển và một thành phần cấu trúc của đô thị.

Câu hỏi quan trọng nhất của quy hoạch thế kỷ 21 không còn là: Chúng ta sẽ xây gì ở đây? Mà là: Nước sẽ đi đâu? Khi trả lời được câu hỏi đó, chúng ta không chỉ giải quyết được bài toán ngập lụt mà còn đặt nền móng cho các đô thị sinh thái, thông minh, an toàn, thích ứng khí hậu và đáng sống hơn trong tương lai. Dành chỗ cho nước hôm nay chính là bảo vệ tương lai phát triển của đô thị ngày mai.❖

Kiến trúc - nền tảng phát triển công nghiệp văn hóa



KTS PHẠM THANH TÙNG*

Thách thức lớn nhất của kiến trúc Việt Nam hiện nay không phải thiếu tài năng mà là thiếu triết lý phát triển dài hạn.

Kiến trúc là nghệ thuật kiến tạo không gian sống, gắn liền với lịch sử phát triển của nhân loại. Kiến trúc còn là biểu hiện của văn hóa, là tấm gương trung thực nhất phản ánh thời đại.

Trải qua nhiều thập niên, đặc biệt là sau 40 năm đổi mới, vai trò của kiến trúc, của KTS càng được khẳng định trong công cuộc xây dựng, kiến tạo đất nước với diện mạo kiến trúc đô thị - nông thôn ngày càng phát triển theo hướng văn minh, hiện đại và bản sắc. Tuy nhiên, từ trước tới nay, ở nơi này nơi kia, lúc này lúc khác, kiến trúc chỉ được nhìn nhận như hoạt động thiết kế và xây dựng công trình. Nhưng trong bối cảnh toàn cầu hóa, chuyển đổi số và kinh tế sáng tạo… công nghiệp văn hóa phát triển, văn hóa ngày càng trở thành nguồn lực cạnh tranh chiến lược, thì kiến trúc được nhìn nhận như một ngành sáng tạo cốt lõi, một công cụ tổ chức đời sống xã hội, một nền tảng của kinh tế sáng tạo và một phương tiện kiến tạo bản sắc quốc gia. Những quốc gia có bản sắc văn hóa mạnh, có cảnh quan thiên nhiên kỳ thú, có không gian sống hấp dẫn, có kiến trúc đặc sắc tạo ra giá trị văn hóa - tinh thần, người dân thân thiện… thường là những quốc gia có sức hút kinh tế lớn và ảnh hưởng quốc tế sâu rộng.

Tại Hội nghị toàn quốc triển khai thực hiện Nghị quyết 79-NQ/TW của Bộ Chính trị về phát triển kinh tế nhà nước và Nghị quyết 80-NQ/TW của Bộ Chính trị về phát triển văn hóa Việt Nam (sáng 25/02/2026) Tổng Bí thư, Chủ tịch nước Tô Lâm đã chỉ rõ: "Phát triển công nghiệp văn hóa để văn hóa vừa là nền tảng tinh thần, vừa là nguồn lực kinh tế, vừa là sức mạnh mềm của quốc gia". Và như thế, phát triển công nghiệp văn hóa không còn là câu chuyện riêng của nghệ thuật hay giải trí, mà đã trở thành một định hướng phát triển quốc gia, xây dựng đất nước trong "kỷ nguyên phát triển mới" với mô hình tăng trưởng chuyển mạnh từ chiều rộng sang chiều sâu, từ khai thác tài nguyên sang khai thác tri thức, sáng tạo và sức mạnh mềm văn hóa.

KIẾN TRÚC HIỆN DIỆN TRONG MỌI LĨNH VỰC CÔNG NGHIỆP VĂN HÓA

Không một ngành công nghiệp văn hóa nào có thể phát triển nếu thiếu không gian kiến trúc phù hợp. Nếu như xưa kia, đình làng với sân đình, hồ đình là nơi diễn ra hội làng, diễn chèo, múa rối nước… thì thời hiện đại ngành điện ảnh cần đến phim trường và bối cảnh đô thị, các di sản thiên nhiên, di sản kiến trúc hay các công trình kiến trúc hiện đại đặc sắc. Nghệ thuật biểu diễn cần quảng trường, nhà hát, sân vận động thể thao, không gian công cộng. Kinh tế đêm cần phố đi bộ, bến nước, bến sông… Du lịch văn hóa cần các khu phố di sản, công trình biểu tượng và cảnh quan đặc sắc. Thiết kế sáng tạo cần các trung tâm đổi mới, không gian làm việc cộng đồng và hệ sinh thái đô thị sáng tạo. Tất cả những điều đó cho thấy, kiến trúc chính là hạ tầng vật chất của công nghiệp văn hóa.

Nhìn ra thế giới, những đô thị thành công nhất hiện nay đều là các đô thị biết khai thác sức mạnh của kiến trúc và không gian văn hóa. Paris (Pháp) trở thành "kinh đô ánh sáng", biểu tượng toàn cầu không chỉ bởi bề dày văn hóa - lịch sử mà còn nhờ nghệ thuật cấu trúc đô thị và di sản kiến trúc đặc sắc. Bilbao của Tây Ban Nha từng là thành phố công nghiệp suy thoái, nhưng đã hồi sinh mạnh mẽ nhờ chiến lược phát triển kiến trúc văn hóa với bảo tàng Guggenheim của KTS Frank Gehry như một biểu tượng toàn cầu. Singapore xây dựng thương hiệu quốc gia dựa trên đô thị xanh, kiến trúc tương lai và không gian công cộng chất lượng cao. Hàn Quốc, với trung tâm là Seoul đã phát triển công nghiệp sáng tạo bằng tái sinh đô thị, khôi phục dòng suối Cheonggyecheon và biến công nghiệp giải trí (K-pop, K-drama và điện ảnh) như một công cụ truyền thông quyền lực mềm, đưa hình ảnh Hàn Quốc ra toàn thế giới. Thông qua phim ảnh và âm nhạc, Hàn Quốc giới thiệu văn hóa, con người, thời trang và ẩm thực, làm gia tăng sự quan tâm và tôn trọng từ cộng đồng quốc tế, tạo ra xu hướng tiêu dùng, ảnh hưởng đến thời trang và mỹ phẩm thế giới, biến văn hóa Hàn thành một hiện tượng toàn cầu (Hallyu), đưa Hàn Quốc vào nhóm 10 nước xuất khẩu văn hóa hàng đầu thế giới. Công nghiệp văn hóa Hàn Quốc từ một ngành non trẻ thành một "cỗ máy in tiền" cho xứ sở kim chi với doanh thu khoảng 120 tỷ USD/năm, chiếm 2,6% GDP quốc gia. Những ví dụ trên cho thấy, trong thời đại mới, cạnh tranh giữa các quốc gia không chỉ là cạnh tranh về GDP, về năng lực quân sự, mà trên hết là cạnh tranh về chất lượng không gian sống, khả năng truyền cảm hứng và năng lực tạo

(*) *Chánh văn phòng Trung ương Hội KTS Việt Nam*

dựng hình ảnh văn hóa.

Đối với Việt Nam, đây là vấn đề đặc biệt quan trọng. Một đất nước có lịch sử hàng nghìn năm văn hiến, có nền văn hóa đa dạng và điều kiện cảnh quan đặc sắc hoàn toàn có khả năng phát triển công nghiệp văn hóa thành ngành kinh tế mũi nhọn. Nhưng để làm được điều đó, đòi hỏi phải có nền quản trị kiến tạo, có nền kiến trúc mang bản sắc, có không gian văn hóa hấp dẫn và có các đô thị đủ sức cạnh tranh toàn cầu.

Theo cách tiếp cận của UNESCO, kiến trúc nằm trong nhóm các ngành công nghiệp sáng tạo. Giá trị cốt lõi của kiến trúc không chỉ nằm ở vật liệu hay chi phí xây dựng mà nằm ở tư duy sáng tạo, tri thức, bản sắc và khả năng tổ chức không gian sống. Điều này có nghĩa rằng kiến trúc không chỉ tiêu tốn ngân sách mà còn có thể trực tiếp tạo ra giá trị kinh tế lớn. Một đồ án quy hoạch tốt có thể làm gia tăng giá trị đất đai và chất lượng đô thị trong hàng trăm năm. Một công trình biểu tượng có thể tạo ra thương hiệu quốc gia và thu hút hàng triệu du khách. Một khu phố sáng tạo có thể trở thành trung tâm khởi nghiệp và kinh tế tri thức. Một không gian công cộng hấp dẫn có thể thúc đẩy thương mại, du lịch và kinh tế đêm.

Sau Đại hội XIV của Đảng, đất nước bước vào kỷ nguyên phát triển mới, đẩy mạnh chuyển đổi mô hình tăng trưởng theo hướng kinh tế xanh, kinh tế số và kinh tế sáng tạo. Trong bối cảnh ấy, kiến trúc không còn là ngành "phụ trợ cho xây dựng" mà sẽ phải trở thành một ngành kinh tế văn hóa có giá trị gia tăng cao. Điều này cũng đòi hỏi thay đổi căn bản trong nhận thức xã hội đối với KTS. Họ không chỉ là người vẽ nhà mà là người kiến tạo không gian văn hóa, tổ chức đời sống cộng đồng và định hình tương lai đô thị.

KIẾN TRÚC "KIẾN TẠO SỨC MẠNH MỀM QUỐC GIA"

Một quốc gia muốn phát triển công nghiệp văn hóa thành công phải có hình ảnh nhận diện rõ ràng. Bản sắc quốc gia không thể chỉ được truyền tải qua khẩu hiệu mà phải được thể hiện bằng không gian, cảnh quan và kiến trúc. Khi nhắc tới Kyoto, người ta nghĩ ngay tới không gian truyền thống Nhật Bản. Khi nhắc tới Barcelona, người ta nhớ đến kiến trúc của Antoni Gaudi - KTS vĩ đại người Tây Ban Nha, cha đẻ của chủ nghĩa kiến trúc hiện đại xứ Catalan, người có đến 7 tác phẩm kiến trúc kiệt xuất được UNESCO công nhận là di sản văn hóa thế giới. Hay khi nhắc tới Dubai, người ta liên tưởng tới những công trình biểu tượng của thế kỷ 21. Khi nói đến Hà Nội, người ta nhắc đến Hồ Gươm, khu phố cổ, Văn Miếu Quốc Tử Giám hay Hoàng thành Thăng Long…

Đây không chỉ là câu chuyện kiến trúc mà là chiến lược quốc gia.

Một nền kiến trúc mất bản sắc sẽ khiến đô thị trở nên vô danh, nghèo cảm xúc và khó cạnh tranh quốc tế. Ngược lại, một nền kiến trúc biết kết hợp truyền thống với hiện đại sẽ tạo nên sức hút đặc biệt. Việt Nam có lợi thế rất lớn, kiến trúc nhiệt đới; văn hóa làng xã; cấu trúc đô thị ven sông, cảnh quan tự nhiên đa dạng, di sản thiên nhiên, văn hóa - lịch sử phong phú, tri thức bản địa về khí hậu, về vật liệu phong phú.

Trong bối cảnh cạnh tranh toàn cầu hiện nay, sức mạnh mềm văn hóa nhiều khi có ảnh hưởng lâu dài hơn cả sức mạnh kinh tế. Kiến trúc vì vậy sẽ là một công cụ quan trọng để nâng cao vị thế quốc gia.

Một trong những thách thức lớn nhất của Việt Nam hiện nay là nhiều đô thị đang phát triển thiếu bản sắc và thiếu chiều sâu văn hóa. Không ít nơi bị cuốn vào vòng xoáy bất động sản hóa, bê tông hóa và phát triển ngắn hạn. Hệ quả là, không gian công cộng suy giảm, di sản bị xâm lấn, cảnh quan tự nhiên bị phá vỡ, nhiều đô thị trở nên giống nhau, chất lượng sống đô thị giảm sút.

Đại hội XIV của Đảng đã chỉ rõ, nếu muốn phát triển bền vững, Việt Nam phải chuyển từ mô hình "đô thị tăng trưởng nóng" sang "đô thị văn hóa và sáng tạo". Trong mô hình ấy, kiến trúc có vai trò trung tâm: tái thiết các khu công nghiệp cũ thành không gian sáng tạo, phục hồi các dòng sông đô thị, phát triển quảng trường và không gian công cộng, kết nối di sản với đời sống hiện đại, hình thành các hành lang văn hóa, xây dựng các biểu tượng đô thị mới. Không gian quanh hồ Hoàn Kiếm tại Hà Nội là ví dụ tiêu biểu. Đây không chỉ là khu vực cảnh quan văn hóa - lịch sử mà thực chất còn là "trung tâm công nghiệp văn hóa" của Thủ đô, nơi hội tụ: du lịch, nghệ thuật đường phố, ký ức đô thị, không gian đi bộ, thương mại văn hóa, biểu tượng lịch sử quốc gia. Nếu được quy hoạch và quản trị đúng hướng, các không gian như hồ Gươm, hồ Tây, sông Hồng của Hà Nội, hay các đô thị di sản như Huế, Hội An, Đà Lạt… sẽ trở thành những trung tâm công nghiệp văn hóa của Việt Nam có sức cạnh tranh quốc tế và lan tỏa toàn cầu.

Thách thức lớn nhất của kiến trúc Việt Nam hiện nay không phải thiếu tài năng mà là thiếu triết lý phát triển dài hạn. Trong nhiều năm, hoạt động kiến trúc bị chi phối mạnh bởi thị trường bất động sản. Rất nhiều công trình chạy theo hình thức, mật độ và lợi nhuận ngắn hạn mà xem nhẹ giá trị cộng đồng và bản sắc văn hóa. Điều đó dẫn tới tình trạng đô thị ngột ngạt, thiếu không gian xanh, thiếu quảng trường, thiếu không gian đi bộ, kiến trúc xa lạ với khí hậu, con người và văn hóa địa phương. Vì thế, phải thay đổi tận gốc tư duy phát triển: Kiến trúc không chỉ tạo ra công trình mà phải tạo ra chất lượng sống, lấy con người làm trung tâm, lấy văn hóa làm nền tảng, lấy sinh thái làm giới hạn, lấy cộng đồng làm mục tiêu phục vụ. Đây là điều kiện để công nghiệp văn hóa phát triển bền vững thay vì chỉ là hoạt động thương mại hóa giải trí.

THAY LỜI KẾT

Phát triển công nghiệp văn hóa không chỉ là mục tiêu văn hóa mà là chiến lược phát triển quốc gia trong thời đại kinh tế sáng tạo và cạnh tranh bằng sức mạnh mềm. Trong chiến lược ấy, kiến trúc giữ vai trò đặc biệt quan trọng, bởi kiến trúc chính là nơi giao thoa giữa văn hóa và kinh tế, truyền thống và hiện đại, nghệ thuật và công nghệ, bản sắc dân tộc và hội nhập toàn cầu.

Và khi ấy, kiến trúc sẽ không còn chỉ là hoạt động thiết kế - xây dựng công trình, mà phải trở thành nền tảng không gian của công nghiệp văn hóa; là động lực tái sinh đô thị, bảo tồn, tôn tạo di sản; là công cụ nâng cao chất lượng sống, phương tiện xây dựng thương hiệu quốc gia; là nguồn lực của kinh tế sáng tạo, biểu hiện của sức mạnh mềm Việt Nam.

Ứng dụng nền tảng hồ sơ số hóa trong quản lý, bảo tồn công trình kiến trúc có giá trị



TS.KTS TRỊNH HỒNG VIỆT



THS.KTS PHẠM HOÀNG PHƯƠNG

Theo Luật Kiến trúc 2019, hệ thống công trình có giá trị được xác định là vốn tài sản quý và cần được nhanh chóng đẩy mạnh công tác kiểm kê đánh giá, bảo tồn và phát huy hệ thống các giá trị nhằm góp phần phát triển kinh tế - xã hội, bản sắc kiến trúc nâng cao chất lượng cuộc sống cho người dân. Tuy nhiên, cho đến nay, trong quá trình quản lý phát triển đô thị, các kết quả đạt được còn chưa tương xứng với yêu cầu đặt ra từ thực tiễn. Vì nhiều nguyên nhân khách quan và chủ quan đã dẫn đến rất nhiều công trình kiến trúc có giá trị đã bị xâm hại dẫn đến hư hỏng, thậm chí là bị mai một, kéo theo sự đứt gãy về văn hoá cũng như tiềm ẩn nhiều nguy cơ phát triển thiếu bền vững cho các đô thị và nông thôn trong tương lai. Các cơ sở kinh nghiệm ứng dụng nền tảng công nghệ số tại nhiều quốc gia phát triển trên thế giới đã cho thấy những hiệu quả tích cực, có thể xem là những bài học hữu hiệu giúp hỗ trợ thay đổi toàn diện công tác bảo tồn và phát huy giá trị hệ thống công trình kiến trúc có giá trị trong thời gian tới.

MỘT SỐ KHÓ KHĂN TRONG THỰC TIỄN

Theo Luật Kiến trúc 2019, công trình kiến trúc có giá trị là công trình kiến trúc tiêu biểu, có giá trị về kiến trúc, lịch sử, văn hóa, nghệ thuật được cấp có thẩm quyền phê duyệt, trên cơ sở đáp ứng được các yêu cầu trong 2 nhóm tiêu chí đánh giá (gồm nhóm tiêu chí kiến trúc cảnh quan văn hoá lịch sử). Công trình có giá trị có thể là các công trình kiến trúc thuộc nhiều thể loại công trình (nhà ở, công trình dân dụng, công trình tôn giáo tín ngưỡng, công trình công cộng…) ở nhiều dạng quy mô khác nhau (công trình đơn lẻ; nhóm công trình, tổ hợp công trình).

Sau hơn 5 năm triển khai thực hiện Luật Kiến trúc, trên cơ sở khung pháp lý luật định, hệ thống các công trình kiến trúc có giá trị đã từng bước được xây dựng danh mục và hồ sơ để làm cơ sở cho công tác quản lý đồng bộ với cả nhóm các công trình đã được xếp hạng và nhóm các công trình chưa được xếp hạng với những thay đổi tích cực. Cụ thể bao gồm:

Nhiều bộ quy chế quản lý kiến trúc tại các địa phương đã được xây dựng ở cấp độ tỉnh/thành phố và quận/huyện, với danh mục công trình kiến trúc có giá trị được xây dựng là một thành phần quan trọng, trở thành xương sống cho khung quản lý kiến trúc cảnh quan đô thị, mang đến khả năng bảo tồn và phát huy một cách bài bản và tối ưu hệ thống công trình kiến trúc có giá trị phục vụ hiệu quả cho công tác phát triển kinh tế - xã hội, đẩy mạnh phát triển công nghiệp văn hoá hướng tới chiếm tỷ trọng cao trong thu nhập kinh tế quốc dân, cũng như tạo dựng cơ sở cho sự phát triển bản sắc kiến trúc đô thị.

Một số tỉnh/thành phố tại nhiều địa phương tiêu biểu như Hải Phòng, Bình Định (cũ)… đã thành lập Hội đồng tôn tạo và bảo vệ công trình kiến trúc có giá trị, với nhiều quy định phân cấp triển khai thực hiện đồng bộ và bài bản. Cùng với đó, công tác đánh giá, phân loại kiểm kê công trình kiến trúc có giá trị, công tác quản lý hồ sơ quản lý công trình tại một số địa phương cũng đã bước đầu được triển khai và đạt được một số kết quả đáng ghi nhận.

Một số công trình đã nằm trong danh mục kiểm kê đánh giá và có hồ sơ quản lý công trình kiến trúc có giá trị đã được tập hợp và quản lý đồng bộ. Từ đó được quản lý và giám sát đồng bộ, ngăn chặn và hạn chế được tối đa việc bị xuống cấp, hư hỏng và mai một trong quá trình sử dụng.

Tuy nhiên, thực tiễn cũng cho thấy, công tác quản lý công trình kiến trúc có giá trị sau khi lập danh mục và hồ sơ công trình kiến trúc có giá trị tại các địa phương được triển khai, tính từ thời điểm ngày 01/6/2025 trở về trước cũng vẫn còn một số tồn tại như sau:

Do số lượng còn hạn chế và hướng dẫn chưa đầy đủ, nên việc tập hợp tư liệu hồ sơ công trình kiến trúc có giá trị còn đơn giản và phân loại, xếp loại hồ sơ còn thiếu thống nhất.

Xuất hiện tình trạng nhiều địa phương dù đã có danh mục công trình kiến trúc có giá trị đã được thẩm định và phê duyệt, nhưng còn gặp nhiều khó khăn trong việc công

(*) *Viện Kiến trúc Quốc gia (Bộ Xây dựng)*

bố rộng rãi, đặc biệt trên các trang thông tin nền tảng số hoá để các cơ quan quản lý chuyên ngành và người dân cùng nắm bắt, khai thác, bảo tồn và phát huy giá trị.

Các hồ sơ quản lý công trình kiến trúc có giá trị chưa được phân loại cụ thể theo các chủng loại công trình, nhóm tiêu chí, cấp độ đạt được và địa bàn quản lý tại địa phương.

Công tác quản lý và lưu trữ hồ sơ chủ yếu chú trọng vào hồ sơ giấy. Các nền tảng lưu trữ và khai thác thông tin hồ sơ dạng số hóa còn rất nhiều hạn chế trong quá trình triển khai, gây nên các hạn chế nhất định trong quản lý và khai thác dữ liệu phục vụ quản lý nhà nước trên thực địa, cũng như trong chia sẻ thông tin phục vụ công tác quản lý và phát huy giá trị một cách đồng bộ, kịp thời và bài bản.

Việc cập nhật, bổ sung định kỳ thường xuyên tình trạng thực tế các hồ sơ công trình kiến trúc có giá trị theo đúng quy định của văn bản pháp luật trong quá trình quản lý và lưu trữ thực tế còn chưa được chú trọng, gây nên một số cản trở nhất định cho công tác quản lý, giám sát công trình kiến trúc có giá trị.

Đặc biệt, từ ngày 01/7/2025, sau khi thực hiện sáp nhập địa giới hành chính - tinh gọn bộ máy trên phạm vi toàn quốc (trở thành 28 tỉnh và 6 thành phố trực thuộc Trung ương) và áp dụng mô hình chính quyền 2 cấp đã được triển khai đồng bộ và toàn diện trên phạm vi cả nước cũng làm phát sinh thêm một số bất cập trong công tác quản lý công trình kiến trúc có giá trị, có thể được chỉ ra bao gồm:

Việc sáp nhập địa giới hành chính cấp tỉnh/thành phố trực thuộc Trung ương dẫn đến việc địa bàn quản lý có sự thay đổi lớn so với trước đây, trong khi định hướng hoạt động và bộ máy đang trong quá trình tiếp tục tinh gọn, hoàn thiện đồng bộ dẫn đến nhiều khó khăn trong công tác quản lý và phát huy hệ thống các giá trị của các công trình kiến trúc có giá trị nếu không có các biện pháp hỗ trợ thay đổi toàn diện quy trình và nội dung thực hiện trong thực tiễn.

Việc phân quyền cho địa phương cấp phường/xã thay cho cấp quận/huyện cũ trước đây trong công tác quản lý công trình kiến trúc có giá trị đã gây nên một số khoảng trống, tiềm ẩn nguy cơ khoảng trống quản lý trong thời gian chuyển tiếp, nếu không được bổ sung các công cụ số hoá hữu hiệu sẽ có thể dẫn đến sự hư hại thậm chí mai một đối với hệ thống công trình kiến trúc có giá trị, đặc biệt là nhóm các công trình kiến trúc có giá trị chưa được xếp hạng di tích lịch sử văn hoá.

Do một số hạn chế về nguồn nhân lực, quy định về quy trình thực hiện cụ thể đã dẫn đến công tác quản lý công trình kiến trúc có giá trị còn bị thiếu sót, chưa đáp ứng được yêu cầu đặt ra, dẫn đến trong một số trường hợp được triển khai theo cách cũ, vẫn còn công trình kiến trúc có giá trị chưa được bảo tồn và phát huy giá trị bài bản, bị hư hỏng, biến dạng trong quá trình cải tạo phát triển đô thị, đặc biệt là các địa phương có tốc độ đô thị hoá lớn thời gian vừa qua.

NHỮNG BÀI HỌC KINH NGHIỆM QUỐC TẾ TỪ CÁC VÍ DỤ ĐIỂN HÌNH

Tại châu Âu, quá trình trùng tu, phục dựng công trình Nhà thờ Đức Bà Paris (Pháp) sau vụ hỏa hoạn kinh hoàng năm 2019 được giới chuyên môn toàn cầu công nhận là một bước đột phá lớn. Công trình đã được phục dựng thành công chỉ trong vòng 5 năm nhờ áp dụng nền tảng "Bản sao kỹ thuật số" (Digital Twin). Trước khi vụ cháy xảy ra, cố KTS Andrew Tallon đã dùng công nghệ laser quét toàn bộ không gian, tạo ra mô hình 3D chính xác đến từng milimet. Dữ liệu này trở thành bản thiết kế gốc, đóng vai trò sống còn để định hình lại các vòm đá và cấu trúc bị phá hủy. Tiếp đó, trên nền sử dụng Hệ sinh thái dữ liệu mở (Digital Ecosystem), 50 nhóm nghiên cứu khoa học đã đóng góp và truy xuất xử lý dữ liệu để các chuyên gia, kỹ sư và thợ thủ công toàn cầu kết nối, mô phỏng các phương án (như dựng giàn giáo ảo) mà không cần ra hiện trường. Tiếp đó, mô hình hóa thông tin công trình (Scan-to-BIM) đưa dữ liệu đám mây điểm (point cloud) vào phần mềm BIM giúp tái tạo hình học phức tạp của nhà thờ, tính toán tải trọng và định lượng vật liệu chính xác tuyệt đối. Dữ liệu số không chỉ lưu hình dáng mà còn cho phép mô phỏng và phục dựng chính xác các hiệu ứng âm học của vòm trần và sự tán xạ ánh sáng của kính màu trên các vách cửa sổ đúng như nguyên bản trước đây. (Hình 1)

Còn tại CHLB Đức lại cho thấy các hiệu quả từ việc ứng dụng nền tảng công nghệ số GIS trong bảo tồn di sản giúp số hóa, lập bản đồ không gian và phân tích dữ liệu. Nền tảng công nghệ GIS cho phép kết hợp bản đồ với dữ liệu trên cơ sở dùng chồng nhiều lớp thông tin khác nhau lên cùng một bản đồ để phân tích và hiểu rõ hơn về các mối quan hệ không gian, mô hình và xu hướng của các sự vật, hiện tượng trên thực địa. Công nghệ này đóng vai trò thiết yếu trong việc định vị không gian di tích, quản lý quy hoạch đất đai vùng đệm, đánh giá rủi ro từ môi trường và xây dựng mô hình không gian số 3D. Điều này cho phép đạt được một số các tiêu chí và hiệu quả tích cực như: Số hóa và quản lý cơ sở dữ liệu không gian tạo bản đồ số toàn diện, Giám sát và đánh giá tác động môi trường, phân tích rủi ro, Hỗ trợ phát triển du lịch bền vững, bản đồ trực tuyến, Hợp tác và chuyển đổi số trong chia sẻ dữ liệu.

Tại châu Á, Nhật Bản là một quốc gia vừa có tốc độ phát triển công nghệ thuộc hàng top đầu thế giới, vừa sở hữu kho tàng di sản gỗ và kiến trúc cổ kính đồ sộ. Do đặc thù địa lý thường xuyên chịu thiên tai (động đất, hỏa hoạn, sóng thần), Nhật Bản đã coi hồ sơ số hóa là chiếc "phao cứu sinh" cốt lõi để bảo tồn và hồi sinh các di tích lịch sử và công trình kiến trúc có giá trị.

Trong đó, những kinh nghiệm thực tế và bài bản nhất bao gồm: Công nghệ "lưu trữ số để tái sinh" (Digital Archiving for Reconstruction), Số hóa sâu cốt truyện kiến trúc bằng HBIM chuyên biệt cho kết cấu gỗ (dữ liệu không chỉ đề cập đến các thông số kích thước lưu bề mặt (vỏ ngoài) mà bóc tách kỹ thuật số từng thanh rầm, cột gỗ, mối nối mộng, chủng loại gỗ, tuổi thọ vật liệu và kỹ thuật đục đẽo của các nghệ nhân thời xưa. Điều này đảm bảo luôn lưu giữ được các nội dung kỹ thuật cốt lõi vẫn trong cơ sở dữ liệu số giúp đào tạo và truyền thụ kiến thức kỹ năng xây dựng,



Hình 1. Nhà thờ Đức Bà Paris bị hoả hoạn làm thiệt hại nghiêm trọng và sau khi được trùng tu toàn phần trên cơ sở hệ thống hồ sơ dữ liệu số hoá với thời gian trùng tu được các chuyên gia bảo tồn đánh giá là ngắn kỷ lục (5 năm).



Hình 2. Hình ảnh vụ hoả hoạn ngày 31/10/2019 đã thiêu rụi lâu dài Shuri (Okinawwa, Nhật Bản), một di sản văn hoá thế giới 600 năm tuổi được UNESCO công nhận và công trình sau khi được phục dựng hoàn toàn.

phục chế trong tương lai. Bản đồ hóa rủi ro di sản (Hazard Mapping & AI) cho phép tích hợp hồ sơ số hóa của các công trình kiến trúc có giá trị vào hệ thống thông tin địa lý (GIS) và dữ liệu dự báo thiên tai quốc gia để sử dụng AI dự báo trên các mô hình giả lập (động đất, hoả hoạn, thiên tai…) giúp đưa ra các phương án dự phòng như (thiết kế các hệ thống giảm chấn ẩn hoặc hệ thống chữa cháy tự động âm tường/âm đất xung quanh di tích. Bên cạnh đó, Dự án "số hóa di sản văn hóa" cấp quốc gia thành lập nền tảng Japan Search - một cổng thông tin quốc gia tích hợp toàn bộ hồ sơ số hóa thuộc các bảo tàng, thư viện và viện nghiên cứu di sản. Tại đây, hồ sơ số của các di tích lịch sử được kết nối liên ngành (từ bản vẽ kiến trúc, tư liệu văn học cổ, hình ảnh trùng tu qua các thời kỳ). Hệ thống này mở cổng kết nối API cho các nhà nghiên cứu, kiến trúc sư và các nhà phát triển game/phim ảnh truy cập (với các điều khoản bản quyền rõ ràng), biến di sản số thành nguồn tài nguyên thúc đẩy kinh tế sáng tạo. Sau cùng, trên cơ sở ứng dụng AR/VR biến "phế tích" thành điểm tham quan sống động trên cơ sở sử dụng hồ sơ số hóa phục dựng kiến trúc cổ trên không gian ảo, sau đó đưa vào ứng dụng thực tế ảo tăng cường (AR). (Hình 2)

Tại khu vực Đông Nam Á, Singapore là một trong những quốc gia tiên phong trên thế giới về việc ứng dụng công nghệ số vào quản lý đô thị và bảo tồn di sản. Dù có tốc độ đô thị hóa 100%, đảo quốc sư tử vẫn gìn giữ vẹn nguyên bản sắc lịch sử nhờ chiến lược "số hóa để bảo tồn" vô cùng bài bản. Cụ thể bao gồm:

Xây dựng "Bản sao số" (Digital Twin) để quản trị và dự báo với nội dung không chỉ dừng lại ở việc chụp ảnh hay quét 3D tĩnh, mà tạo ra các Digital Twin (Bản sao số) động cho các công trình di sản. Hồ sơ số hóa này tích hợp với các cảm biến IoT để theo dõi các biến đổi về nhiệt độ, độ ẩm và ứng suất cấu trúc của tòa nhà theo thời gian thực, cho phép dự báo chính xác sự xuống cấp của vật liệu, nguy cơ nứt gãy kết cấu trước khi nó thực sự xảy ra để kịp thời trùng tu. Bên cạnh đó, Mô hình thông tin công trình di sản (HBIM - Heritage Building Information Modeling) đã được áp dụng mạnh mẽ cho các công trình cũ/cổ trong đó chứa đựng toàn bộ "DNA" của công trình: từ sơ đồ kiến trúc, kết cấu chịu lực, hệ thống kỹ thuật (điện, nước đã được cải tạo) cho đến các thông tin lịch sử về vật liệu, niên đại, các đợt trùng tu trước đó. Khi có sự cố hỏa hoạn hoặc thiên tai xảy ra, hồ sơ HBIM này sẽ là "kim chỉ nam" chính xác tuyệt đối giúp phục dựng lại nguyên trạng di tích mà không bị sai lệch về mặt kiến trúc. Sau cùng, toàn bộ dữ liệu số hóa của các công trình di tích, shophouse cổ, tòa nhà thuộc địa đều được đồng bộ lên hệ thống bản đồ số này. Sự liên thông dữ liệu giúp Cơ quan tái phát triển đô thị (URA) dễ dàng quản lý và phát huy giá trị. Khi một dự án hạ tầng mới (như tàu điện ngầm hoặc cao tốc) được lên kế hoạch, các kỹ sư có thể giả lập tác động của độ rung chấn từ việc đào hầm đối với phần móng số hóa của các tòa nhà di sản xung quanh nhằm đưa ra phương án bảo vệ tối ưu.

Cùng với đó, trên nền tảng hồ sơ số hoá đồng bộ, Singapore cũng đẩy mạnh ứng dụng "Tái sử dụng thích ứng" (Adaptive Reuse) thông qua hồ sơ số với chiến lược Tái sử dụng thích ứng di sản tức là biến các công trình cổ thành không gian công năng mới (nhà hàng, khách sạn, bảo tàng) nhưng giữ nguyên vỏ bọc kiến trúc lịch sử. Nhờ vào hồ sơ số hóa chi tiết, các nhà đầu tư và kiến trúc sư biết rõ phần nào của tòa nhà là "bất khả xâm phạm" (như mặt tiền, cột chịu lực nguyên bản) và phần nào có thể cải tạo, đưa công nghệ hiện đại vào mà không làm tổn hại đến giá trị cốt lõi của di sản. Đồng thời, hồ sơ số hóa không chỉ nằm trong ổ cứng của các nhà quản lý mà được "bình dân hóa" công bố rộng rãi để phục vụ cộng đồng và phát triển du lịch thông qua nền tảng Roots.sg. Người dân và du khách trên toàn thế giới có thể thực hiện các chuyến tham quan ảo 3D (Virtual Tour), tương tác VR/AR với các công trình kiến trúc cổ ngay tại nhà. Điều này giúp di sản luôn "sống" và liên tục truyền cảm hứng cho thế hệ trẻ. (Hình 3)



Hình 3. Nhà cổ và công trình kiến trúc có giá trị tại khu vực phố cổ Chinatown (Singapore) được quản lý đồng bộ và phát huy giá trị tích cực trên cơ sở sử dụng bộ hồ sơ số hoá (nguồn ảnh: internet)



Hình 4. Triển khai thực hiện áp dụng mô hình hồ sơ số hoá với công trình Nhà hát lớn TP.HCM. (nguồn ảnh: internet)

...VÀ NHỮNG ĐỊNH HƯỚNG ÁP DỤNG VỚI VIỆT NAM

Trên cơ sở đánh giá hiện trạng cũng như kinh nghiệm quốc tế, tham khảo một số trường hợp đã áp dụng triển khai trong nước, đề xuất định hướng việc áp dụng công nghệ số hoá trong bảo tồn và phát huy giá trị công trình kiến trúc có giá trị ở Việt Nam trong thời gian tới có thể bao gồm:

Nhanh chóng thiết lập tiêu chuẩn hóa hệ thống thông tin dữ liệu số hoá công trình kiến trúc có giá trị: Cần sớm nghiên cứu bộ tiêu chuẩn quốc gia về định dạng dữ liệu số hóa công trình kiến trúc có giá trị để có thể thống nhất quá trình tập hợp xây dựng hệ thống dữ liệu, cập nhật định kỳ hệ thống dữ liệu cũng như chia sẻ để khai thác trong quản lý bảo tồn và phát huy giá trị hệ thống công trình kiến trúc có giá trị để các bên (cơ quan quản lý, viện nghiên cứu, cơ sở đào tạo, doanh nghiệp, cộng đồng và người dân) có thể khai thác sử dụng với hiệu quả cao nhất. Về cơ bản, nội dung dữ liệu số hoá công trình kiến trúc có giá trị bao gồm: Hệ thống các bản vẽ hiện trạng công trình (mặt bằng, mặt đứng, mặt cắt, chi tiết kiến trúc…); Hệ thống ảnh chụp số hoá về hiện trạng công trình thực tế ở thời điểm hiện tại; Hệ thống tư liệu số hoá về giá trị công trình kiến trúc có giá trị trong các giai đoạn sử dụng, sửa chữa, bảo tồn… khác nhau (bản đồ, bản vẽ tư liệu cũ, hồ sơ số hóa kiến trúc phải đi kèm với việc số hóa tài liệu ghi chép phương pháp, kỹ thuật thi công thủ công truyền thống của công trình đó…); Hệ thống các bài báo và tư liệu khoa học (dạng số hoá) về công trình kiến trúc có giá trị. (Hình 4)

Đẩy nhanh quá trình tập hợp hệ thống dữ liệu số về công trình kiến trúc có giá trị: Nhanh chóng thông qua một số các chính sách bắt buộc và khuyến khích để nhanh chóng xây dựng bộ hồ sơ dữ liệu số về công trình kiến trúc có giá trị trên phạm vi tất cả các tỉnh/thành phố cả nước. Các dữ liệu số hoá cần được thiết lập ngay từ quá trình đánh giá khảo sát ban đầu của việc lập danh mục và xây dựng quy chế quản lý kiến trúc tại các địa phương theo đúng tinh thần quy định của Luật Kiến trúc. Đồng thời, hệ thống cũng cần được cập nhật bổ sung đột xuất và định kỳ theo đúng yêu cầu thực tiễn công tác quản lý, bảo tồn, phát huy giá trị đặt ra.

Việc số hóa hồ sơ công trình kiến trúc có giá trị phải được thực hiện một cách chủ động khi công trình còn đang trong tình trạng ổn định và nguyên vẹn, chứ không đợi đến khi công trình bị ảnh hưởng, hư hại mới tiến hành.

Thực hiện thiết lập quy trình xã hội hoá dữ liệu số hoá công trình kiến trúc có giá trị hướng tới quản lý phát triển bền vững công trình kiến trúc có giá trị: Đẩy mạnh quá trình cập nhật và chia sẻ hệ thống cơ sở dữ liệu hồ sơ số hoá công trình kiến trúc có giá trị để hướng tới thiết lập một nền tảng xã hội hóa dữ liệu trong việc cập nhật cũng như biến dữ liệu di sản số thành tài nguyên mở để phát triển du lịch thông minh và giáo dục thế hệ tương lai. Số hóa công trình kiến trúc có giá trị không đơn thuần chỉ là để "ngắm" mà phải phục vụ trực tiếp cho công tác bảo trì phòng ngừa rủi ro và phát huy giá trị trong quy hoạch đô thị, theo tinh thần Luật Kiến trúc và Nghị định 85/2020/NĐ-CP quy định chi tiết một số điều của Luật Kiến trúc. Xây dựng các cơ chế để chuyển hoá hệ thống hồ sơ số hóa công trình kiến trúc có giá trị trên phạm vi cả nước thành các sản phẩm du lịch công nghệ (VR/AR) để tạo nguồn thu, tái cấp vốn cho các dự án bảo tồn di sản ngoài đời thực.❖

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

1. TS.KTS Tô Kiên, (2018), Kinh nghiệm bảo tồn Di sản Kiến trúc Đô thị theo hướng bền vững ở Singapore & Nhật Bản, Tạp chí Kiến trúc số 10-2018.

2. Cơ quan tái phát triển đô thị Singapore, (2011), "Hồ sơ hướng dẫn về bảo tồn di sản - URA-b: URA conservation guidelines".

3. Phạm Hoàng Phương, (2026), Chuyên đề khoa học thuộc đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ "Nghiên cứu rà soát bộ tiêu chí đánh giá và đề xuất xây dựng bộ hồ sơ công trình kiến trúc có giá trị", Viện Kiến trúc Quốc gia.

KIỂM ĐỊNH KHÍ THẢI XE CƠ GIỚI:

Bài toán về năng lực quản trị và hạ tầng kiểm định



HUY LỘC (thực hiện)

Kiểm định khí thải xe cơ giới đang trở thành một trong những chính sách môi trường có tác động xã hội sâu rộng tại Việt Nam hiện nay. Đằng sau câu chuyện kỹ thuật về tiêu chuẩn khí thải là hàng loạt vấn đề lớn hơn: sinh kế của người dân, năng lực quản trị đô thị, chuyển đổi giao thông xanh và công bằng xã hội.

TS Khương Kim Tạo - nguyên Giám đốc Trung tâm Thử nghiệm xe cơ giới (Cục Đăng kiểm Việt Nam), chia sẻ góc nhìn chuyên môn về vấn đề này; đồng thời phân tích sâu hơn những tác động xã hội của chính sách kiểm định khí thải trong bối cảnh đô thị Việt Nam.

KHI BẦU KHÔNG KHÍ TRỞ THÀNH VẤN ĐỀ PHÁT TRIỂN

Thưa ông, câu chuyện kiểm định khí thải xe cơ giới thời gian gần đây không còn đơn thuần là vấn đề kỹ thuật ngành giao thông, mà đã trở thành chủ đề của một chính sách lớn liên quan đến đông đảo người dân, đến từng ngóc ngách của đời sống xã hội. Theo ông, vì sao Việt Nam buộc phải bước vào giai đoạn siết kiểm soát khí thải lúc này?

- Bởi vì nó chạm đến 3 nền tảng quan trọng nhất của đời sống đô thị hiện đại, đó là: tăng trưởng kinh tế, quyền đi lại của người dân và chất lượng môi trường sống.

Nói về xe cơ giới thì hơi rộng, nhưng ta hãy thử phân tích trong một phạm vi hẹp hơn, đó là xe máy. Trong hơn 30 năm đổi mới, xe máy đã đóng vai trò cực kỳ đặc biệt trong phát triển kinh tế Việt Nam. Chúng ta cần nhìn nhận công bằng rằng nếu không có xe máy, quá trình đô thị hóa và mở rộng kinh tế phi chính thức ở Việt Nam sẽ không diễn ra nhanh như vậy.

Xe máy tạo ra khả năng di chuyển với chi phí thấp cho hàng chục triệu người dân. Một công nhân ngoại thành có thể đi làm cách nhà 15 - 20 km. Một người bán hàng rong, shipper hay lao động tự do có thể tiếp cận thị trường lao động mà không cần phụ thuộc vào giao thông công cộng.

Nói cách khác, xe máy từng là công cụ thúc đẩy tăng trưởng kinh tế và giảm nghèo. Nhưng khi số lượng phương tiện tăng đến một ngưỡng nhất định, mô hình đó bắt đầu tạo ra chi phí xã hội rất lớn, như ùn tắc giao thông, ô nhiễm không khí, chi phí y tế, suy giảm năng suất lao động, và áp lực hạ tầng đô thị.

Từ đó, chúng ta có thể hiểu rằng câu chuyện kiểm định khí thải xe cơ giới tại Việt Nam đang phản ánh một chuyển đổi lớn hơn nhiều so với phạm vi ngành giao thông. Đó là quá trình Việt Nam bước từ mô hình tăng trưởng dựa trên mở rộng phương tiện cá nhân sang mô hình phát triển đô thị bền vững hơn - nơi môi trường sống, sức khỏe cộng đồng và chất lượng đô thị trở thành ưu tiên trung tâm.

Đây chính là giai đoạn mà nhiều quốc gia châu Á từng trải qua.

Việt Nam đang đứng ở đâu trong câu chuyện này, thưa ông?

- Tôi nghĩ Việt Nam đang đứng đúng ở "điểm giao cắt" mà hầu hết các quốc gia đang phát triển đều phải đi qua, giai đoạn mà tăng trưởng kinh tế bắt đầu va chạm trực diện với giới hạn môi trường đô thị.

Chúng ta đang đi đến một ngưỡng mà nếu không thay đổi cách quản lý giao thông đô thị, chi phí môi trường và sức khỏe cộng đồng sẽ ngày càng lớn hơn tốc độ tăng



Kiểm định khí thải thực chất không phải là một lựa chọn mang tính kỹ thuật, mà là bước chuyển tất yếu trong mô hình quản trị đô thị hiện đại".

TS Khương Kim Tạo

trưởng kinh tế.

Các nghiên cứu quốc tế cho thấy, bụi mịn PM2.5 tại nhiều đô thị châu Á có liên hệ trực tiếp với phát thải giao thông, đặc biệt từ động cơ diesel và xe máy cũ. Việt Nam hiện cũng đang đối diện thực trạng tương tự.

Theo WHO, Việt Nam có khoảng hơn 60 - 70 nghìn ca tử vong mỗi năm liên quan đến ô nhiễm không khí. Đây không còn là câu chuyện môi trường đơn thuần nữa. Nó là vấn đề phát triển quốc gia. Vì vậy, kiểm định khí thải thực chất không phải là một lựa chọn mang tính kỹ thuật, mà là bước chuyển tất yếu trong mô hình quản trị đô thị hiện đại.

Điều đáng chú ý là nhiều quốc gia châu Á đã trải qua giai đoạn giống Việt Nam hiện nay. Bangkok, Jakarta hay Manila đều từng phải đối mặt với câu hỏi: Làm thế nào để vừa duy trì khả năng đi lại của người dân, vừa giảm phát thải đô thị? Điều đáng tiếc là không nước nào có thể giải quyết ngay lập tức. Họ đều phải đi theo lộ trình dài hơi, kết hợp giữa siết tiêu chuẩn khí thải, nâng cấp giao thông công cộng và hỗ trợ chuyển đổi phương tiện.

Việt Nam hiện đang bước vào chính giai đoạn chuyển đổi đó.

Một trong những tranh luận lớn hiện nay là phương pháp kiểm định khí thải mới, đặc biệt với xe động cơ diesel. Vì sao vấn đề này gây nhiều lo ngại như vậy?

- Vì điều kiện xe cơ giới của Việt Nam rất khác châu Âu. Phương pháp thử gia tốc tự do hiện nay vốn được phát triển trong bối cảnh các nước châu Âu có tuổi đời phương tiện tương đối mới, hệ thống bảo dưỡng rất chặt chẽ và chất lượng nhiên liệu ổn định. Trong khi đó, tại Việt Nam, nhiều xe tải và xe khách đã vận hành 15 - 20 năm. Khi thực hiện thao tác tăng tốc động cơ lên mức tối đa trong thời gian ngắn, nguy cơ xảy ra sự cố kỹ thuật với động cơ xuống cấp là điều có thật.

Tôi cho rằng vấn đề không nằm ở mục tiêu kiểm soát khí thải, mà nằm ở cách nội địa hóa quy trình kỹ thuật.

Một chính sách kỹ thuật muốn thành công phải phù hợp với cấu trúc kinh tế - xã hội của quốc gia áp dụng nó. Không thể sao chép nguyên trạng mô hình kỹ thuật từ châu Âu rồi kỳ vọng nó vận hành giống hệt tại Việt Nam. Nhật Bản là ví dụ rất đáng tham khảo. Tại Tokyo, kiểm soát xe diesel không chỉ dựa vào thử tăng tốc động cơ mà còn kết hợp kiểm tra hệ thống lọc khí thải và theo dõi lịch sử bảo dưỡng. Nghĩa là họ quản lý theo vòng đời phương tiện chứ không chỉ theo một phép thử.

Việt Nam cần hướng đến mô hình như vậy thay vì chỉ tập trung vào thao tác kỹ thuật đơn lẻ.

> ***Câu chuyện kiểm định khí thải xe cơ giới tại Việt Nam đang phản ánh một chuyển đổi lớn hơn nhiều so với phạm vi ngành giao thông. Đó là quá trình Việt Nam bước từ mô hình tăng trưởng dựa trên mở rộng phương tiện cá nhân sang mô hình phát triển đô thị bền vững hơn - nơi môi trường sống, sức khỏe cộng đồng và chất lượng đô thị trở thành ưu tiên trung tâm".***
>
> *TS Khương Kim Tạo*

Nhiều ý kiến cho rằng không thể áp tư duy chống xe máy như ở châu Âu vào Việt Nam. Ông nghĩ sao?

- Tôi cho rằng điều đó hoàn toàn đúng. Các nước châu Âu phát triển giao thông công cộng trước khi hạn chế phương tiện cá nhân. Việt Nam thì ngược lại, xe máy phát triển trước vì đó là phương tiện phù hợp nhất với thu nhập và hạ tầng đô thị trong nhiều thập niên.

Hiện nay, Việt Nam có khoảng gần 80 triệu xe máy đang lưu hành. Riêng Hà Nội và TP.HCM đã có hơn 14 triệu xe. Điều đó phản ánh một thực tế, xe máy không chỉ là phương tiện giao thông mà là cấu trúc vận hành của nền kinh tế đô thị Việt Nam. Ta hãy thử hình dung khi hàng triệu shipper dừng hoạt động, giao thương bán lẻ bị gián đoạn, người lao động ngoại ô không có phương tiện đi làm, logistics đô thị tê liệt. Chi phí kinh tế phát sinh sẽ là một con số khổng lồ.

Đó là lý do khiến mọi chính sách về kiểm soát khí thải hay hạn chế phương tiện khi ra đời phải cực kỳ thận trọng. London hay Paris có thể áp dụng vùng phát thải thấp rất mạnh vì họ có metro phủ rộng, xe buýt đúng giờ, hệ thống trung chuyển hiệu quả. Người dân có lựa chọn thay thế.

Nếu một thành phố chưa có lựa chọn thay thế đầy đủ mà hạn chế phương tiện quá nhanh, người chịu tác động đầu tiên sẽ là tầng lớp thu nhập thấp.

CHÍNH SÁCH THIẾU CÔNG BẰNG SẼ RẤT KHÓ THÀNH CÔNG

Nhiều ý kiến cho rằng kiểm định khí thải có thể tạo áp lực lớn lên người lao động thu nhập thấp. Quan điểm của ông thế nào?

- Đây là điểm nhạy cảm nhất của chính sách. Ở các nước phát triển, xe cá nhân chủ yếu là tài sản phục vụ nhu cầu đi lại. Nhưng ở Việt Nam, xe máy còn là công cụ sinh kế. Như tôi vừa nói, hàng triệu người đang kiếm sống trực tiếp từ phương tiện của mình, đó là tài xế công nghệ, là người giao hàng, là tiểu thương, là những người lao động tự do...

Họ hầu hết là những người thu nhập thấp và thường sử dụng xe cũ vì chi phí thấp và dễ sửa chữa. Nếu tiêu chuẩn khí thải mới khiến các phương tiện này không còn đủ điều kiện lưu hành, áp lực kinh tế sẽ xuất hiện ngay lập tức. Đó là lý do tôi cho rằng kiểm định khí thải là một chính sách môi trường nhưng tác động như một chính sách an sinh xã hội.

Ở nhiều nước châu Âu, khi siết tiêu chuẩn khí thải, chính phủ thường đồng thời triển khai quỹ hỗ trợ đổi xe cũ hoặc trợ giá phương tiện sạch. Ví dụ tại Đức và Pháp, các chương trình "scrappage scheme" từng hỗ trợ người dân đổi xe cũ sang xe ít phát thải hơn nhằm giảm cú sốc xã hội.

Nếu Việt Nam chỉ đưa ra quy định mà không có cơ chế hỗ trợ tài chính hoặc hỗ trợ chuyển đổi nghề nghiệp, phản ứng xã hội là điều rất dễ xảy ra.

Ông vừa nhắc tới vấn đề công bằng xã hội. Đây có phải là điểm mấu chốt trong tranh luận hiện nay?

- Đúng như vậy! Ở mọi quốc gia, chính sách môi trường luôn đặt ra câu hỏi:

Ai sẽ trả chi phí cho quá trình chuyển đổi xanh?

Người có thu nhập cao dễ dàng mua xe điện hoặc đổi xe mới. Nhưng người nghèo thường sử dụng xe cũ vì đó là tài sản họ có thể tiếp cận. Nếu tiêu chuẩn khí thải quá cao mà không có hỗ trợ chuyển đổi, chính sách sẽ vô tình tạo ra bất bình đẳng môi trường.

Đây là điều từng xảy ra ở Pháp trong phong trào "áo vàng" năm 2018. Khi chính phủ tăng thuế nhiên liệu nhằm giảm phát thải carbon, người phản đối mạnh nhất chính là tầng lớp lao động sống xa trung tâm đô thị - những người phụ thuộc vào xe cá nhân để đi làm. Từ một chính sách môi trường, nó biến thành khủng hoảng xã hội.

Đó là bài học rất quan trọng. Chính sách môi trường nếu thiếu công bằng xã hội sẽ rất khó thành công. Tại Việt Nam, điều này càng quan trọng vì khu vực lao động phi chính thức còn rất lớn.

Còn về lo ngại của một số người dân rằng kiểm định khí thải sẽ dẫn tới việc hạn chế mạnh xe cá nhân. Ông nghĩ sao?

- Tôi cho rằng cần hiểu đúng bản chất chính sách. Kiểm định khí thải trước hết là công cụ kiểm soát phát thải, không phải công cụ "xóa bỏ phương tiện cá nhân". Nhiều nước phát triển vẫn có tỷ lệ sở hữu ôtô rất cao, nhưng họ kiểm soát rất nghiêm về tiêu chuẩn khí thải, bảo dưỡng định kỳ, nhiên liệu sạch và vòng đời phương tiện.

Ví dụ, Nhật Bản có hệ thống "Shaken" kiểm định kỹ thuật rất nghiêm ngặt. Chi phí duy trì xe cũ tại Nhật cao đến mức nhiều người chọn đổi xe mới thường xuyên. Singapore thì đi theo hướng khác, họ đánh thuế sở hữu xe cực cao để kiểm soát số lượng phương tiện ngay từ đầu. Trong khi đó, châu Âu áp dụng vùng phát thải thấp (Low Emission Zone), nơi xe phát thải cao bị hạn chế vào trung tâm đô thị.

Mỗi quốc gia chọn cách khác nhau, nhưng điểm chung là họ không để phương tiện cũ phát thải cao tồn tại quá lâu trong hệ thống đô thị. Việt Nam cũng đang đi theo xu hướng đó!



Ô NHIỄM KHÔNG KHÍ KHÔNG CHỈ ĐẾN TỪ GIAO THÔNG

Nếu kiểm định ô tô đã gây áp lực lớn, kiểm định khí thải xe máy có lẽ còn phức tạp hơn nhiều, thưa ông?

- Đúng vậy! Hà Nội và TP.HCM hiện có hàng chục triệu xe máy lưu hành. Nếu tất cả cùng phải kiểm định trong thời gian ngắn, hệ thống chắc chắn quá tải. Kinh nghiệm quốc tế cho thấy muốn kiểm soát khí thải xe máy hiệu quả cần 3 điều kiện, đó là mạng lưới kiểm định phân bố rộng, quy trình đơn giản, chi phí thấp và minh bạch.

Đài Loan là trường hợp thành công đáng chú ý. Họ không tập trung toàn bộ việc kiểm định vào các trung tâm nhà nước mà cho phép hàng nghìn cơ sở bảo dưỡng đủ điều kiện tham gia hệ thống. Điều này giúp giảm ùn tắc hành chính và tạo thuận tiện cho người dân.

Nếu Việt Nam chỉ dựa vào hệ thống đăng kiểm hiện hữu, nguy cơ quá tải là rất lớn.

Ngoài ra, còn một vấn đề khác, đó là chi phí xã hội. Nếu người dân phải mất nửa ngày xếp hàng để kiểm định một chiếc xe máy, chi phí thời gian và chi phí cơ hội của xã hội sẽ rất cao. Đây là điều các nhà hoạch định chính sách cần tính tới.

Nhiều chuyên gia cho rằng kiểm định khí thải chỉ là bước khởi đầu cho quá trình chuyển đổi giao thông xanh. Ông đánh giá thế nào?

- Nếu nhìn dài hạn, kiểm định khí thải không phải đích đến cuối cùng. Nó là công cụ để tái cấu trúc mô hình giao thông đô thị. Các đô thị hiện đại đang chuyển từ mô hình "ưu tiên phương tiện cá nhân" sang "ưu tiên chất lượng sống và không gian công cộng".

> ***Khi một thành phố áp dụng vùng phát thải thấp, điều thực sự thay đổi không chỉ là chất lượng không khí mà là hành vi giao thông của người dân. Người dân sẽ dần giảm phụ thuộc vào xe cá nhân cũ, chuyển sang phương tiện sạch hơn, sử dụng giao thông công cộng nhiều hơn. Tuy nhiên, điều này chỉ thành công nếu giao thông công cộng đủ tốt để thay thế".***
>
> *TS Khương Kim Tạo*

Singapore là ví dụ rất điển hình. Nước này không cấm xe cá nhân, nhưng đánh thuế cực cao đối với sở hữu xe, đồng thời đầu tư rất mạnh cho MRT và xe buýt công cộng. Kết quả là, người dân vẫn có quyền di chuyển, nhưng đô thị không bị quá tải bởi xe cá nhân.

Tokyo cũng là trường hợp đáng chú ý. Thành phố này có mật độ dân cư cực lớn, nhưng giao thông vẫn vận hành hiệu



> ***Kiểm định khí thải là một chính sách môi trường nhưng tác động như một chính sách an sinh xã hội”. -*** *TS Khương Kim Tạo*

quả vì người dân phụ thuộc chủ yếu vào hệ thống đường sắt đô thị. Trong khi đó, các thành phố phát triển dựa quá nhiều vào ô tô cá nhân như Jakarta hay Manila lại phải đối mặt với ùn tắc kéo dài, ô nhiễm nặng và chi phí logistics rất cao.

Việt Nam hiện đứng trước ngã rẽ tương tự. Nếu tiếp tục mở rộng đô thị theo mô hình phụ thuộc xe cá nhân, chi phí môi trường và hạ tầng sẽ ngày càng lớn.

Lấy ví dụ, Hà Nội đang chuẩn bị thí điểm vùng phát thải thấp. Theo ông, đây có phải xu hướng tất yếu?

- Đây gần như là xu hướng không thể đảo ngược ở các siêu đô thị. London, Berlin, Paris hay Singapore đều đã triển khai các khu vực hạn chế phương tiện phát thải cao. Mục tiêu không chỉ là giảm ô nhiễm mà còn tái cấu trúc không gian đô thị.

Khi một thành phố áp dụng vùng phát thải thấp, điều thực sự thay đổi không chỉ là chất lượng không khí mà là hành vi giao thông của người dân. Người dân sẽ dần dần giảm phụ thuộc vào xe cá nhân cũ, chuyển sang phương tiện sạch hơn và sử dụng giao thông công cộng nhiều hơn.

Tuy nhiên, điều này chỉ thành công nếu giao thông công cộng đủ tốt để thay thế.

Ở châu Âu, vùng phát thải thấp thường đi kèm mạng lưới metro, xe buýt điện, bãi đỗ trung chuyển và hệ thống vé liên thông. Nếu chỉ cấm phương tiện mà chưa tạo ra lựa chọn thay thế, chính sách sẽ gặp phản ứng mạnh.

Việt Nam hiện đang trong giai đoạn xây dựng hạ tầng thay thế đó. Có lẽ, do chưa có sự chuẩn bị tốt nên Hà Nội mới có việc dời thời gian áp dụng vùng phát thải sang năm tới.

Có ý kiến cho rằng xã hội đang quá tập trung vào xe cơ giới trong khi còn nhiều nguồn gây ô nhiễm khác?

- Đó là nhận định đúng. Giao thông là nguồn phát thải lớn, nhưng không phải duy nhất. Công nghiệp, xây dựng, nhiệt điện và sinh hoạt đô thị cũng đóng góp đáng kể vào ô nhiễm không khí. Nếu chỉ siết xe cơ giới mà không kiểm soát các nguồn phát thải khác thì hiệu quả sẽ hạn chế.

Các nước phát triển thành công trong cải thiện môi trường không khí đều áp dụng chiến lược tổng thể, như nâng chuẩn công nghiệp, phát triển năng lượng sạch, mở rộng giao thông công cộng, quy hoạch đô thị hợp lý, kiểm soát phát thải giao thông...

Nói cách khác, kiểm định khí thải chỉ là một mảnh ghép trong chiến lược chuyển đổi xanh của đô thị.

Hiện nay nhiều địa phương thúc đẩy chuyển sang xe điện. Theo ông, đây có phải giải pháp căn cơ?

- Xe điện là xu hướng tất yếu, nhưng không phải “phép màu”. Nếu chỉ thay xe xăng bằng xe điện mà nguồn điện vẫn phụ thuộc nhiều vào nhiệt điện than thì mức giảm phát thải tổng thể sẽ bị hạn chế. Châu Âu thành công với giao thông điện hóa vì họ đồng thời phát triển năng lượng tái tạo, nâng cấp lưới điện, xây dựng hệ thống tái chế pin và phát triển giao thông công cộng.

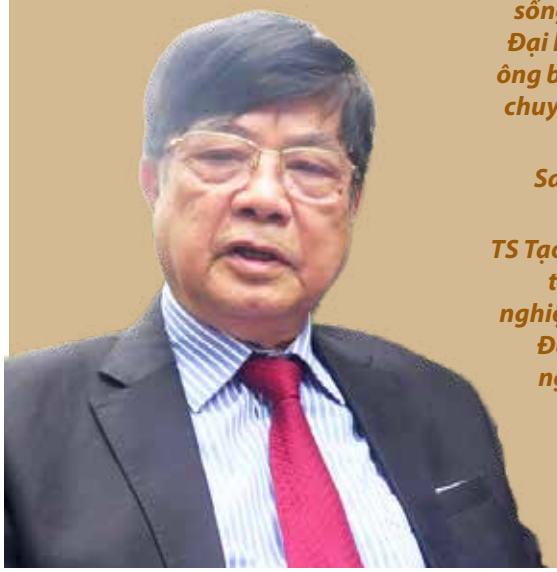
Việt Nam hiện mới ở giai đoạn đầu. Ngoài ra, còn một vấn đề rất quan trọng là hạ tầng sạc pin. Nếu hàng triệu xe điện xuất hiện nhưng bãi đỗ không đủ, hệ thống điện quá tải, nguy cơ cháy nổ không được kiểm soát thì sẽ phát sinh một loạt vấn đề đô thị mới.

Mọi quá trình chuyển đổi xanh đều cần nhìn theo vòng đời toàn hệ thống chứ không thể chỉ nhìn vào phương tiện.

TỪ CHÍNH SÁCH MÔI TRƯỜNG ĐẾN BÀI TOÁN TÁI CẤU TRÚC ĐÔ THỊ VIỆT NAM

Nhìn rộng hơn, chính sách kiểm định khí thải phản ánh điều gì về quá trình phát triển của Việt Nam?

- Đây thực sự là bài toán quản trị đô thị quy mô lớn. Nó



TS Khương Kim Tạo sinh năm 1954, quê xã Trực Ninh, tỉnh Ninh Bình; hiện sinh sống tại Hà Nội. Ông tốt nghiệp đại học chuyên ngành Cơ khí ôtô tại Trường Đại học Giao thông vận tải và ở lại Trường giảng dạy bộ môn này. Năm 1995 ông bảo vệ thành công luận án Tiến sĩ ngành Thiết kế chế tạo máy và thiết bị, chuyên ngành kỹ thuật ôtô tại Đại học Tổng hợp kỹ thuật Liberec (CH Séc) và công tác tại Viên Khoa học CH Séc.

Sau khi về nước năm 1999, ông tiếp tục giảng dạy tại Trường Đại học Giao thông vận tải

TS Tạo trải qua các vị trí, chức vụ: Phó giám đốc Trung tâm Quản lý chất lượng thiết bị và phương tiện cơ giới đường bộ, Quyền Giám đốc Trung tâm thử nghiệm xe cơ giới, Giám đốc Trung tâm kiểm định xe cơ giới 29-06 (thuộc Cục Đăng kiểm Việt Nam), Giám đốc Trung tâm Nghiên cứu và phát triển công nghiệp ôtô Việt Nam (thuộc Tổng công ty Công nghiệp ôtô Việt Nam), Phó chánh Văn phòng Ủy ban An toàn giao thông Quốc gia.

Sau khi nghỉ hưu, ông tích cực tham gia các tổ chức xã hội nghề nghiệp lĩnh vực giao thông vận tải; hiện ông là Chủ tịch Chi hội Đào tạo và sát hạch lái xe (thuộc Hiệp hội Vận tải Ôtô Việt Nam).

phản ánh quá trình Việt Nam chuyển từ mô hình tăng trưởng dựa trên mở rộng sang mô hình phát triển dựa trên chất lượng sống và tính bền vững.

Trong nhiều năm, ưu tiên lớn nhất của các đô thị là tăng trưởng kinh tế và mở rộng hạ tầng. Nhưng đến một giai đoạn nhất định, các thành phố buộc phải đối mặt với câu hỏi: Tăng trưởng để làm gì nếu môi trường sống ngày càng xuống cấp?

Kiểm định khí thải vì thế không đơn thuần là một quy định kỹ thuật. Nó là phép thử về năng lực quản trị với hàng loạt câu hỏi: Liệu chúng ta có thể điều chỉnh hành vi xã hội hay không? Liệu chính sách có đủ công bằng để người dân chấp nhận hay không? Liệu bộ máy quản lý có đủ minh bạch, đủ năng lực triển khai hay không?

Nếu làm tốt, đây có thể là bước khởi đầu cho quá trình tái cấu trúc giao thông đô thị theo hướng xanh và bền vững hơn. Nhưng nếu triển khai nóng vội, thiếu hỗ trợ xã hội hoặc thiếu đồng thuận, chính sách có thể tạo ra áp lực ngược rất lớn.

Vậy, điều khó nhất trong chính sách kiểm định khí thải là gì, thưa ông?

- Tôi cho rằng khó nhất là cân bằng giữa quyền đi lại và mục tiêu môi trường. Ở các nước phát triển, người dân có nhiều lựa chọn: metro, xe buýt nhanh, tàu ngoại ô, xe đạp công cộng… Còn ở Việt Nam, rất nhiều người chỉ có duy nhất một lựa chọn là xe máy.

Một người lao động ở Đông Anh (Hà Nội) hay Hóc Môn (TP.HCM) có thể phải đi 20 - 30 km mỗi ngày để vào trung tâm làm việc. Nếu phương tiện của họ không đạt chuẩn khí thải mà chưa có lựa chọn thay thế phù hợp, họ sẽ gặp khó khăn rất lớn.

Do đó, chính sách môi trường phải đi kèm phát triển giao thông công cộng, hỗ trợ đổi xe, hỗ trợ nhóm thu nhập thấp và với một lộ trình đủ dài. Nếu không, chính sách dễ tạo phản ứng xã hội.

Theo ông, yếu tố nào sẽ quyết định thành công hay thất bại của chính sách kiểm định khí thải tại Việt Nam?

- Tôi nghĩ yếu tố quyết định nằm ở năng lực quản trị chuyển đổi. Công nghệ kiểm định không phải điều quá khó. Nhiều nước đã làm từ hàng chục năm trước.

Cái khó ở đây là xây dựng lộ trình đủ hợp lý, tạo đồng thuận xã hội, và đảm bảo người dân có lựa chọn thay thế. Nếu triển khai quá nhanh hệ thống đăng kiểm sẽ quá tải, chi phí xã hội tăng cao, nguy cơ tiêu cực phát sinh và phản ứng xã hội có thể rất lớn. Đây là điều nhiều nước đang phát triển từng gặp phải. Indonesia từng phải nhiều lần trì hoãn kiểm định khí thải bắt buộc do hệ thống thực thi chưa sẵn sàng.

Trong khi đó, Nhật Bản hay Singapore thành công vì họ quản trị minh bạch, dữ liệu số hóa, kiểm soát kỹ thuật rất chặt và người dân tin vào hệ thống. Nói cách khác, kiểm định khí thải thực chất là phép thử về năng lực quản trị đô thị hiện đại.

Nếu chậm trễ, chi phí môi trường và y tế sẽ tiếp tục tăng. Đây thực chất là bài toán cân bằng giữa tốc độ tăng trưởng, quyền đi lại và quyền được hít thở không khí sạch.

Kinh nghiệm từ châu Âu, Nhật Bản, Singapore hay Trung Quốc cho thấy, không có quá trình chuyển đổi xanh nào thành công nếu thiếu 3 yếu tố: Hạ tầng thay thế đủ tốt, chính sách công bằng xã hội và năng lực quản trị dài hạn.

Bởi cuối cùng, kiểm định khí thải không chỉ là câu chuyện của động cơ hay tiêu chuẩn kỹ thuật. Đó là câu chuyện về cách một quốc gia lựa chọn mô hình phát triển cho tương lai: Tăng trưởng bằng mọi giá hay tăng trưởng đi cùng chất lượng sống và tính bền vững.

Trân trọng cảm ơn ông về cuộc trò chuyện!

BIM, GIS hay Digital Twins chỉ phát huy giá trị khi nền dữ liệu hiện trạng đủ tin cậy



THS TRẦN PHÚC MINH QUANG*

Phần lớn các xung đột kỹ thuật, phát sinh khối lượng và điều chỉnh thiết kế tại các dự án đường sắt đô thị đều có thể truy ngược về một nguyên nhân chung: dữ liệu đầu vào chưa phản ánh đầy đủ công trình và hạ tầng kỹ thuật hiện hữu.

Khi nói về chuyển đổi số trong lĩnh vực giao thông, các cuộc thảo luận thường tập trung vào BIM, GIS, Digital Twins hay trí tuệ nhân tạo (AI). Tuy nhiên, từ kinh nghiệm tham gia các dự án metro, giao thông đô thị và hạ tầng quy mô lớn cho thấy, phần lớn các rủi ro kỹ thuật và quản lý dự án không xuất phát từ công nghệ mà xuất phát từ chất lượng dữ liệu hiện trạng.

Một mô hình BIM có thể được xây dựng rất chi tiết. Một hệ thống GIS có thể tích hợp nhiều lớp dữ liệu. Một Digital Twins có thể mô phỏng nhiều kịch bản vận hành. Nhưng nếu dữ liệu đầu vào không phản ánh đúng thực tế, toàn bộ các lớp công nghệ phía sau sẽ mất đi ý nghĩa. Đó là lý do vì sao nhiều chủ đầu tư trên thế giới đang chuyển trọng tâm từ số hóa hồ sơ sang số hóa hiện trạng.

NHIỀU RỦI RO CỦA DỰ ÁN XUẤT HIỆN TỪ TRƯỚC KHI THIẾT KẾ BẮT ĐẦU

Thực tiễn triển khai các dự án đường sắt đô thị trên thế giới cho thấy, những khó khăn lớn nhất thường tập trung ở 5 nhóm vấn đề: (i) Thiếu hụt dữ liệu hiện trạng, bao gồm: dữ liệu địa hình, địa chất, hạ tầng kỹ thuật ngầm và hồ sơ hoàn công; (ii) Xung đột thiết kế giữa các bộ môn hoặc giữa công trình mới với công trình hiện hữu; (iii) Các vấn đề liên quan đến GPMB, cấp phép và phối hợp giữa nhiều cơ quan quản lý; (iv) Các rủi ro phát sinh trong quá trình thi công do điều kiện thực tế khác với giả thiết thiết kế; (v) Tình trạng mất mát hoặc đứt gãy dữ liệu khi chuyển giao từ giai đoạn đầu tư xây dựng sang giai đoạn vận hành, khai thác.

Điều đáng chú ý, phần lớn các rủi ro kỹ thuật trong dự án hạ tầng giao thông có liên quan trực tiếp đến chất lượng dữ liệu đầu vào. Nhiều dự án đường sắt đô thị lớn trên thế giới như: Sydney Light Rail (Australia), Crossrail - Elizabeth Line (Anh), California High-Speed Rail (Mỹ), Marmaray (Thổ Nhĩ Kỳ), Stuttgart 21 (Đức) hay Delhi Metro (Ấn Độ) đều từng đối mặt với các thách thức liên quan đến dữ liệu hiện trạng, xung đột kỹ thuật hoặc thông tin tài sản trong quá trình bàn giao vận hành.

Nếu xây dựng một tuyến đường trên nền đất trống, dữ liệu hiện trạng chủ yếu liên quan đến địa hình và địa chất. Nhưng đối với metro đô thị, đặc biệt là metro ngầm, mức độ phức tạp hoàn toàn khác. Công trình mới phải tồn tại trong một môi trường đã được xây dựng và khai thác hàng chục năm. Bên dưới mặt đất là hệ thống cấp nước, thoát nước, điện lực, viễn thông, cáp ngầm, móng công trình và nhiều hạ tầng kỹ thuật khác. Bên trên mặt đất là nhà ở, công trình thương mại, giao thông đô thị và các công trình cần bảo tồn.

Một số dự án đường sắt đô thị tại Hà Nội và TP.HCM cho thấy, việc khảo sát và xây dựng mô hình hiện trạng đã trở thành một phần không thể tách rời của quá trình thiết kế. Dữ liệu hiện trạng không chỉ phục vụ việc lựa chọn phương án tuyến mà còn giúp nhận diện sớm các nguy cơ xung đột kỹ thuật.

Trong một số trường hợp, mô hình số giúp nhận diện sớm các nguy cơ xung đột giữa công trình mới với hạ tầng giao thông, công trình hiện hữu hoặc các khu vực cần bảo tồn.

(*) PTGĐ Công ty CP Tư vấn Thiết kế Cảng - Kỹ thuật Biển (PORTCOAST)

TỪ HỒ SƠ HOÀN CÔNG ĐẾN MÔ HÌNH SỐ CỦA ĐÔ THỊ

Một trong những thách thức lớn nhất của các dự án metro là xác định chính xác vị trí của hệ thống hạ tầng kỹ thuật ngầm hiện hữu. Thực tế cho thấy, dữ liệu hiện trạng tại nhiều đô thị được hình thành qua nhiều giai đoạn phát triển khác nhau, dẫn đến những khác biệt về tiêu chuẩn, hệ tọa độ và mức độ cập nhật thông tin. Bên cạnh đó, trong môi trường đô thị đông đúc, sai lệch chỉ vài chục centimet cũng có thể tạo ra những hệ quả đáng kể đối với công trình ngầm.

Để giải quyết bài toán này, các công nghệ Reality Capture (thu thập dữ liệu/ghi hình thực tế) đang được ứng dụng ngày càng rộng rãi. Theo đó, dữ liệu hiện trạng được thu thập bằng UAV, máy quét laser mặt đất, thiết bị quét di động và các hệ thống đo đạc hiện đại. Các dữ liệu này sau đó được xử lý thành mô hình điểm mây (Point Cloud), mô hình địa hình số và mô hình 3D hiện trạng.

Đối với các dự án metro, hệ thống hạ tầng kỹ thuật hiện hữu được số hóa thành mô hình ba chiều từ hồ sơ hoàn công kết hợp dữ liệu khảo sát thực tế. Nhờ đó, các tuyến cáp, đường ống và công trình ngầm không còn tồn tại dưới dạng các bản vẽ rời rạc mà trở thành một phần của môi trường dữ liệu thống nhất.

Khi mô hình hạ tầng hiện hữu được tích hợp với mô hình thiết kế, các xung đột giữa nhà ga, kết cấu ngầm và hạ tầng kỹ thuật có thể được phát hiện ngay từ giai đoạn thiết kế. Đây chính là giá trị lớn nhất của BIM trong các dự án hạ tầng giao thông.

Tuy nhiên, một trong những ngộ nhận phổ biến hiện nay là xem BIM chủ yếu như một công cụ dựng mô hình 3D. Trên thực tế, giá trị lớn nhất của BIM nằm ở khả năng quản lý và kiểm soát thông tin dự án.

Tại các dự án metro, mô hình BIM cho phép tích hợp dữ liệu kiến trúc, kết cấu, hệ thống cơ điện, thông tin vận hành đoàn tàu và các dữ liệu khảo sát hiện trạng trong cùng một môi trường. Nhờ đó, các xung đột có thể được phát hiện sớm.

Các ví dụ điển hình bao gồm: xung đột giữa khổ giới hạn động của đoàn tàu với kết cấu nhà ga, xung đột giữa hệ thống MEPF với kết cấu công trình hoặc xung đột giữa cầu thang, tường và các không gian chức năng. Điều này đặc biệt quan trọng đối với các công trình ngầm, nơi việc sửa đổi thiết kế sau khi thi công thường rất tốn kém.

Không chỉ hỗ trợ kiểm tra xung đột, BIM còn cho phép kiểm soát khối lượng và chi phí dự án. Một trường hợp thực tế cho thấy, mô hình BIM đã phát hiện sự không thống nhất giữa hồ sơ thiết kế và hồ sơ dự toán, qua đó giúp kiểm soát khối lượng và chi phí dự án hiệu quả hơn.

Sai lệch chỉ 2 m có thể được xem là nhỏ trên bản vẽ. Tuy nhiên, đối với kết cấu tường vây sâu hàng chục mét, dày từ 1,2 m đến 1,4 m và kéo dài trên toàn bộ chiều dài ga, sai khác này kéo theo thay đổi đáng kể về khối lượng bê tông, cốt thép và giá trị dự toán.

Đây là ví dụ cho thấy BIM không chỉ là công cụ hỗ trợ thiết kế mà còn là công cụ kiểm soát chi phí và chất lượng dữ liệu.

DỮ LIỆU CẦN ĐƯỢC KẾ THỪA SANG VẬN HÀNH

Kinh nghiệm từ nhiều dự án hạ tầng giao thông cho thấy, phần lớn giá trị của dữ liệu không nằm ở giai đoạn thiết kế hay thi công mà nằm ở giai đoạn vận hành.

Một tuyến metro có thể mất 8-10 năm để chuẩn bị đầu tư, thiết kế và xây dựng, nhưng sẽ được khai thác trong nhiều thập kỷ sau đó. Tuy nhiên, thực tế hiện nay cho thấy dữ liệu thường bị đứt gãy giữa các giai đoạn của dự án.

Dữ liệu khảo sát được tạo ra để phục vụ thiết kế. Dữ liệu thiết kế được tạo ra để phục vụ thi công. Dữ liệu thi công được tạo ra để phục vụ nghiệm thu. Khi công trình đi vào vận hành, phần lớn các dữ liệu này không được kế thừa đầy đủ hoặc không còn được cập nhật thường xuyên.

Điều đó dẫn đến nghịch lý: một lượng lớn dữ liệu được tạo ra trong quá trình đầu tư xây dựng nhưng lại không được sử dụng hiệu quả trong giai đoạn khai thác công trình.

Đối với các hệ thống hạ tầng có tuổi thọ hàng chục năm như: metro, cảng biển hay giao thông đô thị, đây là một tổn thất rất lớn.

Chính vì vậy, xu hướng hiện nay không chỉ dừng lại ở việc ứng dụng BIM trong thiết kế mà hướng tới xây dựng môi trường dữ liệu chung (CDE) xuyên suốt vòng đời dự án. Trong mô hình này, dữ liệu khảo sát, thiết kế, thi công, nghiệm thu và vận hành được quản lý trong cùng một hệ thống thông tin thay vì tồn tại ở các phần mềm hoặc hồ sơ riêng lẻ.

Khi đó, mô hình BIM không còn là công cụ phục vụ thiết kế đơn thuần mà trở thành nền tảng dữ liệu cho quản lý tài sản.

Đối với chủ đầu tư, giá trị lớn nhất không phải là sở hữu một mô hình 3D hoàn chỉnh mà là khả năng truy xuất thông tin công trình trong suốt vòng đời khai thác. Một cấu kiện được lắp đặt ở đâu, sử dụng vật liệu gì, được bảo trì khi nào, cần thay thế vào thời điểm nào hay ảnh hưởng như thế nào đến các hệ thống liên quan đều có thể được quản lý trên cùng một nền tảng dữ liệu.

Nhìn từ góc độ đó, dữ liệu hiện trạng không phải là sản phẩm của công tác khảo sát, cũng không chỉ là đầu vào của thiết kế. Đó là nền tảng của toàn bộ vòng đời công trình.

Nếu dữ liệu ban đầu không chính xác, sai số sẽ tiếp tục được chuyển từ khảo sát sang thiết kế, từ thiết kế sang thi công và từ thi công sang vận hành. Ngược lại, khi dữ liệu được thu thập, kiểm chứng và quản lý đúng cách ngay từ đầu, giá trị của nó sẽ tiếp tục được khai thác trong nhiều thập kỷ sau khi công trình hoàn thành.

Đó cũng là điều kiện để BIM, GIS và xa hơn là Digital Twins thực sự trở thành công cụ quản lý tài sản hạ tầng thay vì chỉ là công cụ hỗ trợ thiết kế.❖

Vì sao nhà thầu phát hiện hơn 1.000 xung đột thiết kế trước khi khởi công?



TS PHAN HỮU DUY QUỐC*



THS DƯƠNG XUÂN SANG**

Kinh nghiệm triển khai BIM tại nhiều dự án quy mô lớn cho thấy, phần lớn rủi ro về thiết kế và tổ chức thi công có thể được nhận diện trước khi đưa máy móc ra công trường. Điều này đang làm thay đổi cách nhà thầu quản lý tiến độ, chất lượng và dữ liệu dự án.

Khi Chính phủ ban hành lộ trình áp dụng BIM bắt buộc đối với các công trình cấp I trở lên từ năm 2025, nhiều doanh nghiệp xây dựng bắt đầu tiếp cận BIM như một yêu cầu kỹ thuật mới. Tuy nhiên, đối với những nhà thầu đang trực tiếp tham gia các dự án hạ tầng quy mô lớn, BIM không đơn thuần là việc chuyển từ bản vẽ 2D sang mô hình 3D.

Từ thực tiễn triển khai hàng loạt dự án như: Vành đai 4 vùng Thủ đô Hà Nội, cầu Cát Lái, cầu Long Hưng (Đồng Nai 2), Nhà ga T2 Đồng Hới, Nhà ga T3 Tân Sơn Nhất và Cảng hàng không quốc tế Long Thành cho thấy, vấn đề lớn nhất của các dự án hiện nay không phải thiếu công nghệ, mà là quản lý thông tin trong môi trường có hàng trăm kỹ sư, nhà thầu phụ, đơn vị thiết kế, tư vấn giám sát và chủ đầu tư cùng tham gia.

QUY MÔ DỰ ÁN BUỘC CÁCH LÀM PHẢI THAY ĐỔI

Các dự án hạ tầng thế hệ mới ngày càng phức tạp hơn. Một dự án cầu hoặc sân bay không còn là câu chuyện của một vài bộ môn thiết kế riêng lẻ. Hàng chục chuyên ngành cùng tham gia, từ kiến trúc, kết cấu, nền móng, giao thông, cấp thoát nước, cơ điện đến tổ chức thi công. Trong môi trường đó, chỉ cần một thay đổi nhỏ ở một bộ môn cũng có thể kéo theo hàng loạt điều chỉnh ở các bộ môn khác.

Theo kinh nghiệm của Tổng công ty Xây dựng số 1 (CC1), BIM chỉ thực sự phát huy hiệu quả khi được triển khai ngay từ giai đoạn đầu của dự án. Điều này bắt đầu từ việc xác lập yêu cầu thông tin (EIR), quy trình phối hợp giữa các bên tham gia và xây dựng môi trường dữ liệu dùng chung (CDE) cho toàn bộ dự án.

Tại các dự án như: cầu Cát Lái, cầu Long Hưng hay Vành đai 4, việc áp dụng BIM từ giai đoạn thiết kế cơ sở giúp các bên cùng làm việc trên một nền tảng dữ liệu thống nhất thay vì trao đổi thông tin thông qua nhiều bộ hồ sơ riêng lẻ như trước đây.

Đây là thay đổi có ý nghĩa rất lớn, bởi trong các dự án truyền thống, nhiều xung đột chỉ được phát hiện khi công trình đã bước vào thi công. Khi đó, việc điều chỉnh thiết kế thường kéo theo phát sinh chi phí, ảnh hưởng tiến độ và làm gia tăng rủi ro. Ngược lại, khi dữ liệu được mô hình hóa và phối hợp ngay từ đầu, các vấn đề có thể được phát hiện sớm hơn rất nhiều.

Một trong những kết quả đáng chú ý nhất mà CC1 ghi nhận trong quá trình triển khai BIM là khả năng phát hiện sớm các xung đột thiết kế. Theo số liệu tổng hợp từ các dự án, việc mô hình hóa và phối hợp thiết kế trên nền tảng BIM giúp phát hiện hơn 1.000 xung đột thiết kế trong mỗi dự án trước khi công trình bước vào giai đoạn thi công. Con số này cho thấy giá trị lớn nhất của BIM không nằm ở mô hình trực quan mà ở khả năng giảm thiểu các rủi ro phát sinh ngoài công trường.

Mỗi xung đột được xử lý ở giai đoạn mô hình có chi phí thấp hơn rất nhiều so với khi lỗi xuất hiện trong quá trình thi công. Nếu một va chạm giữa các hệ thống kỹ thuật chỉ mất vài phút để điều chỉnh trên mô hình, thì việc xử lý ngoài hiện trường có thể kéo theo thay đổi vật liệu, nhân lực, thiết bị và tiến độ thi công.

Đối với các công trình có giá trị đầu tư hàng nghìn tỷ đồng, chênh lệch này có thể rất lớn. Từ thực tế đó, BIM càng được triển khai sớm thì giá trị mang lại càng cao.

TỪ QUẢN LÝ MÔ HÌNH ĐẾN QUẢN LÝ DỮ LIỆU

Con số hơn 1.000 xung đột thiết kế được phát hiện trước khi thi công là một trong những kết quả nổi bật nhất mà CC1 ghi nhận trong quá trình triển khai BIM tại các dự án quy mô lớn. Tuy nhiên, đó mới chỉ là phần nổi của vấn đề. Điều quan trọng hơn nằm ở chỗ các dự án hạ tầng hiện nay đã vượt quá

(*) Chủ tịch HĐQT Tổng Công ty Xây dựng Số 1 - CTCP
(**) Trưởng phòng Kỹ thuật Tổng Công ty Xây dựng Số 1 - CTCP

khả năng quản lý bằng hồ sơ và bản vẽ truyền thống.

Các công trình như: Nhà ga T3 Tân Sơn Nhất, Cảng hàng không quốc tế Long Thành, Vành đai 4 vùng Thủ đô hay cầu Cát Lái đều có điểm chung là quy mô lớn, thời gian thi công kéo dài, nhiều gói thầu thành phần và sự tham gia của hàng trăm kỹ sư, nhà thầu phụ, đơn vị thiết kế, tư vấn giám sát và chủ đầu tư. Trong môi trường đó, chỉ cần một thay đổi nhỏ ở thiết kế cũng có thể tác động đến tiến độ, biện pháp thi công, khối lượng và chi phí của nhiều hạng mục liên quan.

Công trường hiện đại không thiếu dữ liệu mà thiếu dữ liệu thống nhất. Mỗi dự án đều tạo ra khối lượng thông tin rất lớn gồm: hồ sơ khảo sát, hồ sơ thiết kế, bản vẽ shopdrawing, hồ sơ quản lý chất lượng, hồ sơ vật liệu, dữ liệu thiết bị, tiến độ thi công và hồ sơ nghiệm thu. Vấn đề là các dữ liệu này thường nằm ở nhiều bộ phận, nhiều đơn vị và nhiều hệ thống khác nhau. Mỗi lần điều chỉnh thiết kế hoặc thay đổi biện pháp thi công đều kéo theo việc cập nhật hàng loạt hồ sơ liên quan.

Đây cũng là lý do CC1 coi môi trường dữ liệu dùng chung (CDE) là hạ tầng quan trọng không kém mô hình BIM. Mục tiêu không phải là số hóa thêm hồ sơ mà là bảo đảm toàn bộ các bên tham gia dự án cùng làm việc trên một nguồn dữ liệu thống nhất, được kiểm soát phiên bản và có khả năng truy xuất theo thời gian thực.

Từ góc nhìn đó, hơn 1.000 xung đột thiết kế được phát hiện trên mỗi dự án không nên hiểu đơn thuần là 1.000 lỗi kỹ thuật được sửa chữa, đó thực chất là hơn 1.000 rủi ro được loại bỏ trước khi máy móc và nhân lực được huy động ra công trường.

Một va chạm giữa kết cấu và hệ thống cơ điện có thể chỉ mất vài phút để điều chỉnh trên mô hình. Nhưng nếu được phát hiện khi công trình đã thi công, việc xử lý có thể kéo theo tháo dỡ, làm lại, điều chỉnh vật liệu, thay đổi biện pháp thi công và ảnh hưởng dây chuyền đến tiến độ của nhiều hạng mục khác.

Đối với các dự án có giá trị đầu tư hàng nghìn tỷ đồng như Long Thành, T3 Tân Sơn Nhất hay các công trình giao thông trọng điểm, mỗi xung đột được xử lý sớm đồng nghĩa với việc giảm một nguy cơ phát sinh chi phí và chậm tiến độ trong tương lai. Từ thực tiễn đó, BIM đang dần chuyển từ công cụ hỗ trợ thiết kế sang công cụ điều hành dự án.

Nếu trước đây mô hình BIM chủ yếu phục vụ kiểm tra và phối hợp thiết kế thì hiện nay dữ liệu từ BIM đang được sử dụng để mô phỏng trình tự thi công, nhận diện trước các điểm nghẽn về mặt bằng, phát hiện nguy cơ chồng chéo nguồn lực và dự báo các rủi ro có thể ảnh hưởng đến tiến độ tổng thể.

Theo cách tiếp cận này, BIM 4D không còn là công cụ trình diễn tiến độ bằng hình ảnh trực quan, giá trị lớn nhất nằm ở khả năng giúp ban điều hành nhìn thấy các vấn đề trước khi chúng xuất hiện ngoài hiện trường. Tương tự, BIM 5D không chỉ phục vụ bóc tách khối lượng mà trở thành công cụ đối chiếu giữa thiết kế, thi công và chi phí trong suốt quá trình thực hiện dự án.

Từ kinh nghiệm triển khai tại các dự án giao thông và hàng không quy mô lớn cho thấy, điều nhà thầu cần nhất không phải là một mô hình đẹp hơn mà là khả năng ra quyết định nhanh hơn và chính xác hơn. Giá trị của BIM vì vậy không được đo bằng số lượng mô hình được tạo ra mà bằng khả năng giảm rủi ro, kiểm soát tiến độ, kiểm soát chi phí và nâng cao hiệu quả phối hợp giữa các bên tham gia dự án. BIM đang chuyển từ công cụ phối hợp thiết kế sang công cụ điều hành dự án.

NHỮNG RÀO CẢN KHI ĐƯA BIM VÀO CÔNG TRƯỜNG

Tuy nhiên, mặc dù đạt được nhiều kết quả tích cực, quá trình triển khai BIM vẫn gặp không ít khó khăn. Rào cản đầu tiên là yếu tố con người, trong đó nhận thức về BIM tại hiện trường và ở cấp quản lý dự án chưa đồng đều. Tâm lý quen làm việc trên bản vẽ 2D vẫn tồn tại ở nhiều đơn vị. Trong khi đó, thị trường lại thiếu nguồn nhân lực BIM có đủ năng lực kỹ thuật và kinh nghiệm thực tiễn.

Rào cản thứ hai là quy trình. Nhiều dự án vẫn thiếu cơ chế quản lý dữ liệu thống nhất giữa chủ đầu tư, tư vấn và nhà thầu. Việc chia sẻ thông tin chưa thực sự đồng bộ dẫn đến nguy cơ phát sinh nhiều phiên bản dữ liệu khác nhau.

Rào cản thứ ba là hạ tầng số. Trong khi BIM tạo ra lượng dữ liệu rất lớn thì nhiều doanh nghiệp vẫn chưa có hệ thống lưu trữ, quản trị và khai thác dữ liệu phù hợp.

Đây mới là những thách thức lớn nhất của quá trình chuyển đổi số trong xây dựng.

Từ thực tiễn triển khai các dự án giao thông quy mô lớn, CC1 đề xuất một số định hướng phát triển trong giai đoạn tới.

Trước hết là chuẩn hóa dữ liệu BIM thông qua hệ thống thư viện cấu kiện, quy tắc đặt tên, quy trình kiểm soát chất lượng mô hình và áp dụng thống nhất tiêu chuẩn ISO 19650 trong quản lý thông tin.

Tiếp theo là xây dựng công trường số với sự tham gia của drone, UAV, robot và các thiết bị IoT nhằm thu thập dữ liệu theo thời gian thực, phục vụ cảnh báo sớm tiến độ và các nguy cơ phát sinh trên công trường.

Song song với đó là phát triển nguồn nhân lực BIM theo ba cấp độ gồm: (i) lãnh đạo quản lý, (ii) đội ngũ mô hình hóa tại văn phòng và (iii) lực lượng hiện trường trực tiếp khai thác dữ liệu số.

Đáng chú ý, CC1 cũng đặt mục tiêu ứng dụng trí tuệ nhân tạo và phân tích dữ liệu lớn trên cơ sở dữ liệu BIM được tích lũy qua nhiều năm nhằm dự báo rủi ro tiến độ, nhận diện sớm các nguy cơ phát sinh chi phí và hỗ trợ quá trình ra quyết định ở cấp tập đoàn.

Xa hơn, doanh nghiệp định hướng chuyển đổi từ BIM sang AIM (Asset Information Model) - mô hình thông tin tài sản phục vụ quản lý, bảo trì và vận hành công trình trong toàn bộ vòng đời khai thác. Đây cũng là xu hướng đang được nhiều tổ chức hạ tầng trên thế giới theo đuổi.

Từ kinh nghiệm của CC1 có thể thấy, BIM không phải đích đến cuối cùng. Điều quan trọng hơn là hình thành được hệ sinh thái dữ liệu xuyên suốt từ thiết kế, thi công đến vận hành. Khi dữ liệu được quản lý thống nhất và khai thác hiệu quả, công trình không chỉ được xây dựng tốt hơn mà còn có thể được vận hành hiệu quả hơn trong nhiều thập kỷ sau khi hoàn thành.

Phần lớn giá trị của BIM chỉ xuất hiện sau khi công trình hoàn thành



GREYSON WONG*

Nhiều dự án đầu tư hàng nghìn tỷ đồng vẫn phải khảo sát lại, xây dựng lại dữ liệu hoặc xử lý các sai lệch thông tin sau khi đưa vào khai thác. Kinh nghiệm quốc tế cho thấy, giá trị lớn nhất của BIM không nằm ở giai đoạn thiết kế hay thi công mà ở khả năng quản lý dữ liệu phục vụ vận hành và quản lý tài sản.

Một công trình hạ tầng thường chỉ mất từ 3 - 5 năm để xây dựng nhưng có thể được khai thác trong 50 - 100 năm. Trong suốt vòng đời đó, giá trị lớn nhất không nằm ở bản vẽ hay mô hình 3D, mà nằm ở dữ liệu được tạo lập, cập nhật và khai thác liên tục từ khảo sát, thiết kế, thi công đến vận hành và bảo trì.

Đó cũng là thông điệp xuyên suốt trong xu hướng chuyển đổi số hạ tầng đang diễn ra trên thế giới hiện nay. Mô hình thông tin công trình (BIM) không còn được nhìn nhận đơn thuần là công cụ mô hình hóa công trình mà đang trở thành điểm khởi đầu để xây dựng hệ sinh thái dữ liệu phục vụ quản lý tài sản hạ tầng, Digital Twins, GIS và trí tuệ nhân tạo.

CUỘC KHỦNG HOẢNG DỮ LIỆU TRỊ GIÁ 3.000 TỶ USD MỖI NĂM

Trong nhiều thập kỷ, ngành Xây dựng tập trung vào việc tạo ra công trình. Tuy nhiên, khi quy mô đầu tư hạ tầng ngày càng lớn, một vấn đề khác dần bộc lộ rõ hơn: dữ liệu bị chia cắt trong toàn bộ vòng đời công trình.

Theo các nghiên cứu quốc tế được Bentley Systems tổng hợp, sự đứt gãy dữ liệu trong vòng đời tài sản đang gây ra khoảng 3.000 tỷ USD tổn thất mỗi năm trên phạm vi toàn cầu. Chi phí đầu tư có thể tăng thêm khoảng 25% do phải xử lý lại công việc, điều chỉnh thiết kế hoặc khắc phục các sai sót phát sinh. Độ tin cậy của tài sản giảm khoảng 30%, trong khi tuổi thọ khai thác có thể giảm tới 25% nếu thiếu chiến lược quản lý dựa trên dữ liệu.

(*) *Trưởng phòng Kinh doanh khu vực Đông Nam Á, Bentley Systems*

Những con số này không phải do thiếu công nghệ mà do dữ liệu thường bị chia cắt giữa các giai đoạn của dự án.

Trong giai đoạn khảo sát, dự án tạo ra dữ liệu địa hình, địa chất, thủy văn và hiện trạng khu vực xây dựng. Bước sang giai đoạn thiết kế, hàng triệu đối tượng BIM, bản vẽ, thông số kỹ thuật và mô hình phân tích tiếp tục được hình thành.

Khi công trình bước vào thi công, lượng dữ liệu tiếp tục tăng lên với hồ sơ quản lý chất lượng, nhật ký công trường, dữ liệu vật liệu, hồ sơ nghiệm thu, hồ sơ hoàn công và dữ liệu thiết bị. Sau khi công trình đưa vào khai thác, dữ liệu lại tiếp tục phát sinh từ bảo trì, kiểm định, quan trắc, sửa chữa và vận hành.

Vấn đề là, phần lớn các nhóm dữ liệu này tồn tại trên các hệ thống riêng biệt, được quản lý bởi các đơn vị khác nhau và thiếu khả năng kết nối. Khi cần nâng cấp, sửa chữa hoặc mở rộng công trình, nhiều dữ liệu phải được khảo sát lại hoặc xây dựng lại từ đầu.

Đó chính là nguyên nhân sâu xa của sự lãng phí đang diễn ra trong ngành hạ tầng toàn cầu.

Một nghịch lý khác cũng được nghiên cứu của Bentley chỉ ra, một công trình thường chỉ mất vài năm để xây dựng nhưng lại được vận hành trong nhiều thập kỷ. Điều đó đồng nghĩa, phần lớn chi phí vòng đời nằm ở giai đoạn khai thác, vận hành và bảo trì. Tuy nhiên, phần lớn dữ liệu hiện nay lại chỉ được sử dụng trong giai đoạn thiết kế và thi công.

Nói cách khác, ngành hạ tầng đang tạo ra lượng dữ liệu khổng lồ nhưng chưa khai thác được giá trị lớn nhất của dữ liệu đó.

KHI DỮ LIỆU TRỰC TIẾP TẠO RA GIÁ TRỊ KINH TẾ

Một trong những minh chứng rõ nhất cho vai trò của dữ liệu là dự án cao tốc Phnom Penh - Bavet tại Campuchia.

Đây là tuyến cao tốc dài 138 km, kết nối Phnom Penh với Thành phố Bavet nằm ở khu vực biên giới Campuchia - Việt Nam. Dự án đi qua vùng đồng bằng thường xuyên chịu ảnh hưởng của ngập lụt và có nhiều khu dân cư cùng các công trình văn hóa, đền chùa cần được bảo tồn.

Để lựa chọn phương án tuyến tối ưu, dữ liệu khảo sát, dữ liệu địa hình và mô hình số được sử dụng để đánh giá nhiều kịch bản khác nhau.

Kết quả cho thấy, việc ra quyết định dựa trên dữ liệu giúp giảm khoảng 2 triệu m^3 khối lượng đào đắp. Nếu quy đổi theo xe ben 20 m^3, khối lượng này tương đương khoảng 100 nghìn chuyến xe vận chuyển đất đá.

Dự án đồng thời loại bỏ khoảng 142.860 km vận chuyển bằng xe tải, giảm khoảng 50% thời gian dựng mô hình và rút ngắn khoảng 20% chu kỳ thiết kế.

Điều đáng chú ý là, giá trị tạo ra không đến từ việc dựng mô hình đẹp hơn mà từ khả năng sử dụng dữ liệu để lựa chọn phương án tốt hơn ngay từ đầu.

Tại London (Vương quốc Anh), dự án cầu South Dock cho thấy, dữ liệu cũng có thể tạo ra giá trị đáng kể ngay cả ở các dự án không quá lớn.

Thông qua việc xây dựng cơ sở dữ liệu tập trung và kết nối các nguồn dữ liệu khảo sát, địa chất và thiết kế, nhóm dự án ghi nhận mức tăng năng suất thiết kế lên tới 20%. Chi phí liên quan đến dữ liệu giảm khoảng 12%, tương đương khoảng 1.000 giờ làm việc. Đồng thời, phạm vi khảo sát địa chất giảm khoảng 30% nhờ tận dụng tốt hơn dữ liệu hiện có.

Điều đáng nói, kết quả này không đến từ AI hay các công nghệ quá phức tạp. Giá trị chủ yếu đến từ việc toàn bộ các bên tham gia cùng làm việc trên một nguồn dữ liệu thống nhất.

Một ví dụ khác đến từ dự án tuyến metro MRT Jakarta giai đoạn 2A tại Indonesia. Dự án áp dụng các giải pháp số để kết nối dữ liệu thiết kế, địa chất và thi công trên cùng một nền tảng.

Theo số liệu công bố, khối lượng kiểm tra hiện trường giảm khoảng 90%, công tác mô hình hóa địa chất và địa tầng giảm khoảng 95%, khối lượng trao đổi dữ liệu giữa các phần mềm giảm khoảng 70%. Dự án đồng thời cắt giảm khoảng 50 tấn phát thải CO_2 và tiết kiệm khoảng 30.000 USD chi phí thuê, vận hành thiết bị mỗi tháng.

Các dự án này cho thấy dữ liệu không còn là sản phẩm phụ của dự án. Dữ liệu đang trực tiếp tạo ra giá trị kinh tế, rút ngắn thời gian triển khai và nâng cao hiệu quả đầu tư.

BIM CHỈ LÀ ĐIỂM KHỞI ĐẦU CỦA QUẢN LÝ TÀI SẢN DỰA TRÊN DỮ LIỆU

Trong nhiều năm, BIM được hiểu chủ yếu là mô hình hóa 3D, phát hiện xung đột thiết kế, bóc tách khối lượng hoặc hỗ trợ thi công. Tuy nhiên, cách tiếp cận hiện đại đang mở rộng hơn rất nhiều.

Một trong những thay đổi lớn nhất của ngành hạ tầng hiện nay là BIM không còn được xem là đích đến.

Dữ liệu được tạo lập từ BIM chỉ là bước khởi đầu. Sau đó, dữ liệu cần được đưa vào môi trường dữ liệu dùng chung (Common Data Environment - CDE), nơi toàn bộ thông tin được kiểm soát, cập nhật và chia sẻ giữa các bên tham gia dự án.

Tiếp theo là giai đoạn liên kết dữ liệu công trình với dữ liệu không gian địa lý thông qua GIS. Đây là bước đặc biệt quan trọng đối với các công trình tuyến như: đường bộ, đường sắt, sân bay, cảng biển hay mạng lưới hạ tầng kỹ thuật.

Khi dữ liệu BIM và GIS được kết nối với dữ liệu thời gian thực từ cảm biến, các mô hình Digital Twins bắt đầu hình thành. Digital Twins không đơn thuần là mô hình số của công trình mà là bản sao số phản ánh tình trạng thực tế của tài sản trong suốt quá trình vận hành.

Trên nền tảng đó, các hệ thống quản lý tài sản hạ tầng có thể đánh giá tình trạng công trình, theo dõi mức độ xuống cấp, lập kế hoạch bảo trì, dự báo hư hỏng và tối ưu hóa nguồn lực đầu tư.

Bentley mô tả chuỗi giá trị này thông qua hệ sinh thái dữ liệu xuyên suốt vòng đời công trình, từ thiết kế, xây dựng đến vận hành và bảo trì. Trong mô hình đó, ProjectWise hỗ trợ cộng tác và quản lý dữ liệu thiết kế; SYNCHRO hỗ trợ quản lý tiến độ và thi công; AssetWise phục vụ quản lý tài sản, độ tin cậy và hiệu suất vận hành. Toàn bộ dữ liệu được kết nối trong một nền tảng hạ tầng thống nhất.

Tuy nhiên, AI không thể hoạt động hiệu quả nếu thiếu dữ liệu đầu vào được chuẩn hóa và quản lý liên tục. Muốn dự báo hư hỏng cầu, dự báo nhu cầu bảo trì đường sắt hay tối ưu hóa vận hành sân bay, trước hết phải có dữ liệu đầy đủ và đáng tin cậy. Vì vậy, nền tảng của AI trong hạ tầng thực chất không phải là thuật toán mà là dữ liệu.

Việt Nam đang bước vào giai đoạn đầu tư hạ tầng quy mô lớn với hàng loạt dự án trọng điểm như đường sắt tốc độ cao Bắc - Nam, sân bay Long Thành, các tuyến metro tại Hà Nội và TP.HCM cùng mạng lưới cao tốc quốc gia. Các dự án này có tuổi thọ khai thác kéo dài hàng chục năm, thậm chí hàng thế kỷ đối với một số công trình đặc biệt. Khối lượng dữ liệu được tạo ra trong quá trình khảo sát, thiết kế, thi công và vận hành sẽ rất lớn.

Nếu dữ liệu chỉ được sử dụng cho mục đích thiết kế và thi công, phần lớn giá trị của nó sẽ bị bỏ phí sau khi công trình hoàn thành. Ngược lại, nếu dữ liệu được quản lý xuyên suốt vòng đời công trình, đây sẽ là nền tảng để xây dựng các hệ thống quản lý tài sản hiện đại, hình thành Digital Twins quốc gia cho hạ tầng giao thông và từng bước ứng dụng AI vào quản lý vận hành.

Kinh nghiệm quốc tế cho thấy, mô hình 3D chỉ là phần dễ nhìn thấy nhất của BIM. Giá trị thực sự nằm ở hệ thống dữ liệu được tạo lập phía sau mô hình đó. Trong tương lai, dữ liệu sẽ không còn là sản phẩm phụ của dự án mà trở thành một loại tài sản có giá trị không kém chính công trình được xây dựng.❖

DIGITAL TWINS HẠ TẦNG GIAO THÔNG:

Từ bài toán công nghệ đến bài toán quản trị dữ liệu quốc gia



THANH NGA

Việt Nam không thiếu dữ liệu hạ tầng giao thông. Vấn đề nằm ở chỗ dữ liệu đang phân tán, thiếu liên thông và khó khai thác phục vụ quản lý. Đây cũng là rào cản lớn nhất để phát triển Digital Twins trong quản lý tài sản hạ tầng giao thông.

Nhiều quốc gia đã bắt đầu ứng dụng Digital Twins trong quản lý hạ tầng. Tuy nhiên, kinh nghiệm quốc tế cho thấy, Digital Twins không bắt đầu từ mô hình 3D mà bắt đầu từ dữ liệu. Những trao đổi tại Hội thảo "Ứng dụng BIM, GIS trong quản lý hạ tầng giao thông: Thực trạng và giải pháp xây dựng hệ thống dữ liệu", cho thấy rào cản lớn nhất hiện nay của Việt Nam không nằm ở công nghệ mà nằm ở dữ liệu.

VIỆT NAM KHÔNG THIẾU DỮ LIỆU, NHƯNG ĐANG THIẾU DỮ LIỆU DÙNG ĐƯỢC

Trong nhiều năm, khi đề cập đến chuyển đổi số, người ta thường cho rằng ngành giao thông đang thiếu dữ liệu. Tuy nhiên, thực tế cho thấy nhận định này không hoàn toàn chính xác.

Theo ThS Dương Đình Trung - Phó Trưởng phòng Khoa học công nghệ, Môi trường và Hợp tác quốc tế, Cục Đường bộ Việt Nam, hệ thống quản lý tài sản kết cấu hạ tầng giao thông đường bộ hiện đã quản lý hơn 754.000 bản ghi tài sản và toàn bộ dữ liệu đã được di trú sang hệ thống quản lý mới. Đây là khối lượng dữ liệu rất lớn được hình thành trong quá trình đầu tư, khai thác và bảo trì mạng lưới giao thông quốc gia.

Nếu xét về số lượng, ngành giao thông không còn ở giai đoạn thiếu dữ liệu. Vấn đề nằm ở chỗ dữ liệu đang được lưu trữ phân tán trong nhiều hệ thống khác nhau, được hình thành theo các chuẩn khác nhau và phục vụ các mục tiêu quản lý khác nhau. Dữ liệu tài sản đường bộ, dữ liệu quy hoạch, dữ liệu vận tải, dữ liệu đầu tư xây dựng, dữ liệu bảo trì và dữ liệu khai thác hiện vẫn tồn tại dưới dạng những "ốc đảo thông tin". Điều này dẫn tới nghịch lý, dữ liệu ngày càng nhiều nhưng khả năng khai thác dữ liệu để phục vụ ra quyết định vẫn còn hạn chế.

Theo ThS Dương Đình Trung, chuyển đổi số cần được tiếp cận từ tư duy "dữ liệu là tài sản". Công nghệ chỉ là công cụ, còn mục tiêu cuối cùng là nâng cao chất lượng quyết định quản lý. Nhận định này có ý nghĩa rất lớn đối với câu chuyện Digital Twins. Một bản sao số không có giá trị chỉ vì nó phản ánh hình dạng công trình trên môi trường số. Giá trị thực sự của nó nằm ở khả năng giúp cơ quan quản lý trả lời các câu hỏi: (i) Nếu mở rộng một tuyến đường thì lưu lượng sẽ thay đổi như thế nào? (ii) Nếu xuất hiện điểm nghẽn mới thì tác động tới toàn mạng lưới ra sao? (iii) Nếu đầu tư thêm một tuyến kết nối với cảng hoặc trung tâm logistics thì hiệu quả vận tải sẽ thay đổi như thế nào? Đó mới là bản chất của Digital Twins.

Muốn làm được điều đó, dữ liệu không chỉ cần đầy đủ mà còn phải chính xác, liên thông và được cập nhật liên tục. Nếu dữ liệu đầu vào chưa được chuẩn hóa, Digital Twins sẽ chỉ là một mô hình số đẹp mắt nhưng không thể hỗ trợ quản lý.

BIM, GIS, IOT CHỈ LÀ NHỮNG MẢNH GHÉP CỦA DIGITAL TWINS

Một trong những ngộ nhận phổ biến hiện nay là đồng nhất BIM hoặc GIS với Digital Twins. Thực chất, đây chỉ là những thành phần cấu thành nên bản sao số.

Theo TS Tạ Ngọc Bình - Trưởng phòng Nghiên cứu Kinh tế đầu tư và Xây dựng số (Viện Kinh tế xây dựng), Việt Nam đang triển khai xây dựng Nền tảng BIM quốc gia và Kho dữ liệu BIM quốc gia theo các nhiệm vụ được giao tại Quyết định số 258/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ và các quyết định triển khai của Bộ Xây dựng, với mục tiêu không đơn thuần là xây dựng một hệ thống lưu trữ mô hình BIM, mà mục tiêu lớn hơn là hình thành nền tảng dữ liệu thống nhất phục vụ quản lý nhà nước, đầu tư xây dựng và vận hành công trình trong tương lai.

Đây là nền móng quan trọng bởi Digital Twins không

5 ĐIỀU KIỆN ĐỂ VIỆT NAM TIẾN TỚI DIGITAL TWINS HẠ TẦNG GIAO THÔNG

Theo các chuyên gia, Digital Twins không phải là một dự án công nghệ độc lập mà là kết quả của quá trình xây dựng hệ sinh thái dữ liệu hạ tầng. Để tiến tới Digital Twins trong quản lý hạ tầng giao thông, Việt Nam cần tập trung vào 5 điều kiện nền tảng.

Thứ nhất, chuẩn hóa dữ liệu trên toàn bộ vòng đời công trình. Dữ liệu khảo sát, thiết kế, thi công, nghiệm thu, vận hành và bảo trì cần được xây dựng theo các tiêu chuẩn thống nhất, có khả năng trao đổi và liên thông giữa các hệ thống. Đây là điều kiện tiên quyết để dữ liệu có thể được tích hợp và khai thác lâu dài.

Thứ hai, xây dựng và hoàn thiện Kho dữ liệu BIM quốc gia cùng các nền tảng dữ liệu dùng chung. Các nhiệm vụ đang được Bộ Xây dựng triển khai theo Quyết định số 258/QĐ-TTg và các chương trình chuyển đổi số ngành Xây dựng không chỉ phục vụ quản lý nhà nước mà còn tạo nền tảng dữ liệu cho việc hình thành các bản sao số trong tương lai.

Thứ ba, phát triển môi trường dữ liệu chung (Common Data Environment - CDE). Thực tiễn triển khai tại các dự án giao thông quy mô lớn cho thấy giá trị của BIM không nằm ở mô hình 3D mà nằm ở khả năng quản lý toàn bộ dữ liệu dự án trên một nền tảng thống nhất, giúp kiểm soát phiên bản hồ sơ, hạn chế thất thoát dữ liệu và hỗ trợ ra quyết định dựa trên dữ liệu thực.

Thứ tư, phát triển nguồn nhân lực liên ngành. Chuyển đổi số hạ tầng đòi hỏi đội ngũ nhân lực không chỉ hiểu về xây dựng và giao thông mà còn có khả năng quản trị dữ liệu, khai thác BIM, GIS, IoT và các công cụ phân tích số. Đây được xem là một trong những thách thức lớn nhất hiện nay đối với cả cơ quan quản lý và doanh nghiệp.

Thứ năm, hình thành cơ chế chia sẻ dữ liệu liên ngành. Giá trị lớn nhất của Digital Twins không nằm ở việc mô phỏng từng công trình riêng lẻ mà ở khả năng kết nối dữ liệu giữa: giao thông đường bộ, đường sắt, hàng hải, hàng không, logistics, quy hoạch đô thị, đất đai và môi trường để hỗ trợ quản lý và ra quyết định trên quy mô hệ thống.

thể được xây dựng từ những mô hình BIM tồn tại riêng lẻ. Muốn hình thành bản sao số, dữ liệu phải được quản lý xuyên suốt từ khảo sát, thiết kế, thi công đến vận hành và bảo trì.

Kinh nghiệm triển khai tại các dự án giao thông lớn cho thấy điều này rất rõ. ThS Trần Phúc Minh Quang - PTGĐ Công ty CP Tư vấn Thiết kế Cảng - Kỹ thuật Biển (PORTCOAST) cho biết, BIM chỉ phát huy giá trị khi dữ liệu hiện trạng đủ tin cậy.

Theo ThS Trần Văn Tâm - TGĐ Công ty CP IDECO Việt Nam, AI chỉ có thể phát huy hiệu quả khi được nuôi dưỡng bởi dữ liệu BIM, GIS và IoT được chuẩn hóa và cập nhật liên tục. Điều đó cho thấy AI không phải điểm khởi đầu của chuyển đổi số. Muốn ứng dụng AI hiệu quả, trước hết phải hình thành được môi trường dữ liệu chung, nơi dữ liệu được kết nối xuyên suốt từ quy hoạch, thiết kế, thi công đến vận hành.

Nói cách khác, BIM, GIS, IoT hay AI đều không phải đích đến. Chúng là các lớp công nghệ khác nhau cùng phục vụ một mục tiêu lớn hơn là xây dựng hệ sinh thái dữ liệu phục vụ quản lý tài sản hạ tầng.

Theo Bentley Systems, giá trị lớn nhất của BIM hay Digital Twins xuất hiện sau khi công trình đi vào khai thác. Khi BIM, GIS và dữ liệu vận hành được kết nối trên cùng một nền tảng, Digital Twins có thể hỗ trợ quản lý tài sản, dự báo rủi ro và tối ưu hoá chi phí vòng đời công trình.

LIỆU MỌI CÔNG TRÌNH ĐỀU CẦN DIGITAL TWINS?

Trong bối cảnh chuyển đổi số đang được thúc đẩy mạnh mẽ, rất dễ xuất hiện tâm lý cho rằng công trình nào cũng cần BIM, GIS, IoT và cuối cùng là Digital Twins. Tuy nhiên, cách tiếp cận này không thực sự phù hợp nếu xét dưới góc độ hiệu quả đầu tư. Không phải mọi loại tài sản hạ tầng đều có nhu cầu số hóa ở cùng một mức độ.

Một tuyến đường địa phương có quy mô nhỏ, lưu lượng thấp và ít thiết bị kỹ thuật có thể chỉ cần hệ thống quản lý tài sản kết hợp với dữ liệu GIS.

Ngược lại, các hệ thống có mức độ phức tạp cao như: metro, sân bay, cảng biển, cầu lớn, đường sắt tốc độ cao hoặc các trung tâm logistics có vòng đời dài, lượng thiết bị kỹ thuật lớn, chi phí vận hành cao và đòi hỏi sự phối hợp của nhiều hệ thống khác nhau, là những đối tượng phù hợp để phát triển Digital Twins ở mức độ cao.

Nhìn từ góc độ công nghệ, Digital Twins có thể được tạo dựng bằng nhiều nền tảng phần mềm khác nhau. Nhưng nhìn từ góc độ quản lý nhà nước, đây trước hết là bài toán dữ liệu. Điều Việt Nam cần hiện nay không phải là thêm nhiều mô hình số mà là xây dựng được hệ thống tiêu chuẩn dữ liệu thống nhất, môi trường dữ liệu chung, cơ chế chia sẻ thông tin giữa các cơ quan, chủ đầu tư và doanh nghiệp, cùng với đội ngũ nhân lực có khả năng quản trị dữ liệu trong suốt vòng đời công trình.

Những nhiệm vụ đang được triển khai như: xây dựng Nền tảng BIM quốc gia, Kho dữ liệu BIM quốc gia, chuẩn hóa dữ liệu BIM và thúc đẩy liên thông giữa BIM, GIS với các cơ sở dữ liệu chuyên ngành chính là những bước chuẩn bị cần thiết cho giai đoạn phát triển Digital Twins trong tương lai.

Kinh nghiệm quốc tế cho thấy, các quốc gia thành công không bắt đầu bằng việc xây dựng thật nhiều bản sao số. Họ bắt đầu bằng việc chuẩn hóa dữ liệu, kết nối dữ liệu và xây dựng cơ chế quản trị dữ liệu thống nhất.

Đối với Việt Nam, câu hỏi quan trọng hiện nay không phải là khi nào có Digital Twins cho hạ tầng giao thông, mà là làm thế nào để dữ liệu hạ tầng được quản lý thống nhất, liên thông và có thể khai thác hiệu quả phục vụ quản lý. Khi giải quyết được bài toán đó, Digital Twins sẽ không còn là mục tiêu công nghệ mà trở thành một công cụ quản trị hạ tầng dựa trên dữ liệu.❖

Đường sắt tốc độ cao Bắc - Nam và sự nghiệp hiện đại hóa ngành điện



TS NGUYỄN HUY HOẠCH*

Nếu được quy hoạch đồng bộ với năng lượng tái tạo, lưới điện thông minh, lưu trữ điện năng và phát triển đô thị TOD, tuyến đường sắt tốc độ cao Bắc - Nam hoàn toàn có thể trở thành một "hành lang năng lượng mới" của quốc gia trong nhiều thập niên tới.

Việc Quốc hội ban hành Nghị quyết số 172/2024/QH15 về chủ trương đầu tư Dự án đường sắt tốc độ cao trên trục Bắc - Nam đã mở ra một giai đoạn phát triển mới đối với hạ tầng giao thông và không gian kinh tế quốc gia. Tuy nhiên, phía sau hệ thống đường sắt tốc độ cao Bắc - Nam không chỉ là câu chuyện về công nghệ đường sắt, mà còn đặt ra yêu cầu tái cấu trúc toàn diện hệ thống điện quốc gia.

Bài viết này nhằm phân tích vai trò của hạ tầng điện trong vận hành đường sắt tốc độ cao; làm rõ mối quan hệ giữa Báo cáo nghiên cứu khả thi của dự án với quy hoạch nguồn điện, lưới điện và điều độ hệ thống điện quốc gia; đánh giá những thách thức về phụ tải, chất lượng điện năng, an ninh năng lượng và yêu cầu phát triển điện sạch phục vụ vận hành tuyến đường sắt tốc độ cao Bắc - Nam trong tương lai…

Từ kinh nghiệm quốc tế của Nhật Bản, Pháp và đặc biệt là Trung Quốc cho thấy, dự án đường sắt tốc độ cao sẽ không chỉ là dự án giao thông đơn thuần mà còn trở thành động lực thúc đẩy hiện đại hóa ngành điện, phát triển đô thị theo mô hình phát triển đô thị theo định hướng giao thông công cộng (Transit Oriented Development - TOD) và hình thành hành lang năng lượng mới của Việt Nam trong nhiều thập niên tới.

ĐẶT VẤN ĐỀ

Dự án đường sắt tốc độ cao Bắc - Nam được Quốc hội thông qua chủ trương đầu tư với tổng vốn sơ bộ 67 tỷ USD, chiều dài khoảng 1.541 km, tốc độ thiết kế 350 km/h và đi qua 15 tỉnh, thành phố sau sáp nhập. Đây không chỉ là dự án giao thông lớn nhất lịch sử hiện đại của Việt Nam mà còn là công trình hạ tầng có mức độ phức tạp công nghệ đặc biệt cao, tác động sâu rộng đến cấu trúc kinh tế, không gian phát triển và hệ thống hạ tầng quốc gia trong nhiều thập niên tới.

Trong các cuộc thảo luận hiện nay, phần lớn sự chú ý đang tập trung vào công nghệ đoàn tàu, lựa chọn đối tác, nguồn vốn đầu tư, tiến độ triển khai hay mô hình phát triển đô thị quanh các nhà ga. Tuy nhiên, phía sau toàn bộ hệ thống đường sắt tốc độ cao còn một vấn đề nền tảng nhưng chưa được bàn thảo đầy đủ, đó là hạ tầng điện phục vụ vận hành tuyến đường sắt tốc độ cao.

Khác với đường sắt truyền thống sử dụng đầu máy diesel, các hệ thống đường sắt tốc độ cao hiện đại trên thế giới đều được điện khí hóa hoàn toàn. Điều này đồng nghĩa, để vận hành một tuyến đường sắt tốc độ 350 km/h cần có một hệ thống điện quốc gia đủ mạnh, đủ ổn định, có độ tin cậy rất cao và khả năng điều độ theo thời gian thực. Một sự cố điện dù rất ngắn cũng có thể ảnh hưởng trực tiếp đến an toàn vận hành của toàn tuyến.

Như vậy, vấn đề đặt ra trách nhiệm đầu tư hạ tầng hệ thống điện sẽ thuộc về ai, ngành điện cần chuẩn bị như thế nào và đâu sẽ là những thách thức lớn nhất trong tương lai?

HSR LÀ "HỆ SINH THÁI ĐIỆN HÓA" CHỨ KHÔNG CHỈ LÀ ĐƯỜNG SẮT

Đường sắt tốc độ cao (High-speed railway - HSR) hiện

(*) *Hiệp hội Năng lượng Việt Nam*



đại thực chất là một hệ thống điện hóa quy mô rất lớn. Khác với hình dung thông thường về một tuyến đường ray và đoàn tàu, phía sau HSR là một cấu trúc hạ tầng điện - điều khiển -thông tin phức tạp với yêu cầu kỹ thuật đặc biệt cao.

Tại Nhật Bản, Pháp, Hàn Quốc hay Trung Quốc, toàn bộ hệ thống đường sắt tốc độ cao đều sử dụng điện xoay chiều cấp thông qua hệ thống dây tiếp xúc phía trên đoàn tàu. Điện năng được truyền liên tục từ các trạm biến áp kéo bố trí dọc tuyến nhằm duy trì khả năng vận hành ổn định ở tốc độ 300 - 350 km/h.

Theo bài viết "Hạ tầng điện Việt Nam sẽ phải phát triển đồng bộ ra sao khi triển khai tuyến đường sắt tốc độ cao 350 km/h Bắc - Nam" đăng trên Tạp chí Năng lượng Việt Nam, đường sắt tốc độ cao không chỉ tiêu thụ điện rất lớn mà còn đòi hỏi chất lượng điện cực kỳ ổn định. Khi đoàn tàu tăng tốc, phụ tải điện có thể tăng đột biến trong thời gian rất ngắn. Nếu nhiều đoàn tàu vận hành đồng thời, hệ thống điện phải liên tục điều độ theo thời gian thực để bảo đảm điện áp và tần số luôn ổn định.

Điều này khiến HSR khác hoàn toàn với phần lớn phụ tải công nghiệp truyền thống. Một nhà máy công nghiệp thường có phụ tải tương đối ổn định theo chu kỳ sản xuất, trong khi phụ tải của HSR biến động mạnh theo lịch trình tàu, tốc độ vận hành, địa hình và mật độ khai thác.

Chính vì vậy, nhiều chuyên gia quốc tế coi HSR là một "hệ sinh thái điện hóa" hơn là một dự án giao thông đơn thuần.

HẠ TẦNG ĐIỆN CÓ NẰM TRONG F/S CỦA DỰ ÁN HAY KHÔNG?

Đây là một trong những câu hỏi quan trọng nhất hiện nay nhưng chưa được công bố đầy đủ trong quá trình chuẩn bị dự án.

Về nguyên tắc, Báo cáo nghiên cứu khả thi phải bao gồm toàn bộ các cấu phần kỹ thuật cần thiết để hệ thống đường sắt tốc độ cao có thể vận hành an toàn và đồng bộ. Điều đó đồng nghĩa, hạ tầng điện chuyên dụng phục vụ vận hành HSR chắc chắn phải là một hợp phần của Báo cáo nghiên cứu khả thi.

Các nội dung này bao gồm hệ thống cấp điện kéo, trạm biến áp kéo, hệ thống dây tiếp xúc, điện phục vụ tín hiệu - điều khiển, trung tâm điều độ, điện nhà ga và các nguồn điện dự phòng.

Tuy nhiên, một vấn đề lớn hơn nằm ở hệ thống nguồn điện và lưới điện quốc gia phục vụ cấp điện cho HSR. Đây là lĩnh vực thuộc trách nhiệm của ngành điện, đặc biệt là Tập đoàn Điện lực Việt Nam (EVN), Tổng công ty Truyền tải điện Quốc gia (NPT). Nếu tuyến đường sắt tốc độ cao tạo ra một phụ tải điện mới rất lớn dọc hành lang Bắc - Nam, ngành điện buộc phải đầu tư đồng bộ thêm nguồn điện, lưới điện và các trung tâm điều độ.

Điều này cho thấy bài toán hạ tầng điện của HSR thực chất là vấn đề giao thoa giữa hai hệ thống quy hoạch lớn của quốc gia: quy hoạch giao thông và quy hoạch năng lượng.

Nếu không có sự phối hợp ngay từ giai đoạn lập F/S,

nguy cơ xuất hiện tình trạng hạ tầng giao thông hoàn thành nhưng hạ tầng điện chưa đáp ứng yêu cầu vận hành là hoàn toàn có thể xảy ra.

VIỆT NAM SẼ CẦN BAO NHIÊU ĐIỆN CHO HSR?

Hiện nay chưa có số liệu chính thức về tổng nhu cầu điện của tuyến đường sắt tốc độ cao Bắc - Nam vì Bộ Xây dựng vẫn đang trong quá trình lập Báo cáo nghiên cứu khả thi. Tuy nhiên, kinh nghiệm quốc tế cho thấy đây sẽ là một phụ tải điện rất lớn.

Theo các nghiên cứu quốc tế, mức tiêu thụ điện của HSR phụ thuộc vào tốc độ khai thác, mật độ vận hành, tải trọng, công nghệ đoàn tàu và điều kiện địa hình. Trong đó, tốc độ là yếu tố có ảnh hưởng đặc biệt lớn tới điện năng tiêu thụ.

Nhiều nghiên cứu cho thấy khi tốc độ tăng từ 250 km/h lên 300 km/h, điện năng tiêu thụ có thể tăng thêm khoảng 20 - 30%. Nếu tăng lên 350 km/h, mức tiêu thụ điện có thể cao hơn 50 - 70% tùy điều kiện khai thác.

Nguyên nhân chủ yếu nằm ở lực cản khí động học tăng rất nhanh khi đoàn tàu chạy ở tốc độ siêu cao. Điều này khiến việc lựa chọn tốc độ thiết kế 350 km/h của Việt Nam không chỉ làm tăng chi phí đầu tư hạ tầng giao thông mà còn kéo theo áp lực rất lớn đối với hạ tầng điện quốc gia. Nếu tuyến đường sắt Bắc - Nam khai thác hàng chục đôi tàu mỗi ngày trong tương lai, nhu cầu điện chắc chắn sẽ tương đương một phụ tải chiến lược quy mô quốc gia.

Điểm khác biệt lớn nhất của HSR nằm ở đặc tính phụ tải. Khác với phụ tải dân dụng hay công nghiệp thông thường, phụ tải của đường sắt tốc độ cao biến động liên tục theo thời gian thực. Khi đoàn tàu tăng tốc, hệ thống điện phải cung cấp công suất rất lớn trong thời gian ngắn. Khi nhiều đoàn tàu vận hành đồng thời, phụ tải toàn tuyến có thể thay đổi rất nhanh.

Điều đó đòi hỏi hệ thống điện phải có khả năng điều độ cực nhanh, độ ổn định điện áp rất cao, cơ chế dự phòng nhiều lớp và hệ thống tự động hóa hiện đại.

Trong thực tế, chỉ một sự cố mất điện ngắn cũng có thể ảnh hưởng đến an toàn vận hành toàn tuyến HSR. Vì vậy, tiêu chuẩn cấp điện cho đường sắt tốc độ cao thường cao hơn rất nhiều so với các phụ tải thông thường.

Theo các chuyên gia, đây chính là lý do các quốc gia có HSR đều đầu tư rất mạnh cho lưới điện truyền tải, công nghệ điều độ và an ninh hạ tầng năng lượng.

HSR SẼ BUỘC NÂNG CẤP LƯỚI ĐIỆN BẮC - NAM

Một điểm đặc biệt đáng chú ý là tuyến đường sắt tốc độ cao Bắc - Nam gần như sẽ chạy song song với hành lang truyền tải điện quốc gia hiện hữu. Điều này khiến mối liên hệ giữa ngành giao thông và ngành điện trở nên chặt chẽ hơn bao giờ hết.

Theo bài viết phân tích của Tạp chí Năng lượng Việt Nam, để vận hành ổn định hệ thống HSR tốc độ 350 km/h, Việt Nam sẽ phải phát triển đồng bộ các trạm biến áp chuyên dụng, lưới điện 220 - 500 kV dọc tuyến, trung tâm điều độ hiện đại và cơ chế cấp điện dự phòng nhiều lớp.

Điều này đồng nghĩa, HSR không chỉ là dự án giao thông mà còn là động lực thúc đẩy nâng cấp hạ tầng điện quốc gia.

Trong tương lai, áp lực phụ tải từ HSR có thể buộc Việt Nam phải tăng tốc đầu tư các dự án nguồn điện mới, đặc biệt là các nguồn điện linh hoạt, các trung tâm lưu trữ năng lượng và hệ thống truyền tải liên vùng quy mô lớn.

BÀI HỌC TRUNG QUỐC: HSR ĐI CÙNG SIÊU LƯỚI ĐIỆN UHV

Kinh nghiệm của Trung Quốc cho thấy phát triển HSR gần như luôn đi cùng với quá trình hiện đại hóa lưới điện quốc gia.

Sau năm 2008, khi Trung Quốc triển khai mạnh mạng lưới HSR lớn nhất thế giới, nước này cũng đồng thời đầu tư quy mô rất lớn cho hệ thống truyền tải siêu cao áp (Ultra High Voltage - UHV). Các hành lang HSR thường được quy hoạch đồng bộ với hành lang truyền tải điện, khu công nghiệp, trung tâm logistics và các đô thị mới.

Việc đầu tư đồng bộ này giúp Trung Quốc không chỉ giải quyết bài toán cấp điện cho HSR mà còn tối ưu hóa phát triển hạ tầng quốc gia trên quy mô rất lớn.

Bài học lớn nhất từ Trung Quốc là HSR không thể phát triển tách rời chiến lược năng lượng quốc gia.

HSR CÓ THỂ TẠO RA "HÀNH LANG NĂNG LƯỢNG MỚI"

Một trong những mục tiêu lớn nhất của HSR trên thế giới là giảm phát thải carbon và thay thế các phương thức vận tải sử dụng nhiên liệu hóa thạch.

Tuy nhiên, hiệu quả môi trường của HSR phụ thuộc trực tiếp vào cơ cấu nguồn điện quốc gia. Nếu điện phục vụ vận hành chủ yếu đến từ nhiệt điện than, lợi ích giảm phát thải sẽ bị hạn chế đáng kể.

Ngược lại, nếu HSR được cấp điện từ năng lượng tái tạo hoặc các nguồn điện phát thải thấp, hiệu quả môi trường sẽ cao hơn rất nhiều.

Theo Ngân hàng Thế giới (World Bank), giao thông điện hóa chỉ thực sự phát huy hiệu quả khí hậu khi đi kèm với quá trình xanh hóa hệ thống điện quốc gia.

Điều này khiến câu chuyện HSR trong tương lai gắn trực tiếp với chuyển dịch năng lượng, phát triển năng lượng tái tạo, lưu trữ điện năng, lưới điện thông minh và điện khí phát thải thấp.

Ở chiều ngược lại, HSR cũng có thể trở thành động lực thúc đẩy hiện đại hóa ngành điện Việt Nam.

Theo nhiều chuyên gia, hành lang HSR Bắc - Nam trong tương lai có thể đồng thời tích hợp điện gió, điện mặt trời, hệ thống pin lưu trữ, logistics điện hóa, hạ tầng sạc phương tiện điện, các đô thị TOD, trung tâm dữ liệu và hạ tầng số.

Nếu được quy hoạch đồng bộ, tuyến đường sắt tốc độ cao sẽ không chỉ tiêu thụ điện mà còn góp phần tái cấu trúc không gian năng lượng quốc gia.

Điều này đặc biệt quan trọng trong bối cảnh Việt Nam đang hướng tới mục tiêu phát thải ròng bằng "0" vào năm 2050.

PHẢI BẢO ĐẢM TÍNH ĐỒNG BỘ GIỮA QUY HOẠCH GIAO THÔNG VÀ QUY HOẠCH NĂNG LƯỢNG

Trong những năm gần đây, hệ thống điện Việt Nam đã đối

mặt với nhiều áp lực như tốc độ tăng phụ tải nhanh, nguy cơ thiếu điện cục bộ, áp lực truyền tải Bắc - Nam và biến động lớn do tỷ trọng năng lượng tái tạo tăng mạnh.

Ngay cả thời điểm hiện tại, việc bảo đảm cung ứng điện trong mùa nắng nóng vẫn là bài toán khó ở một số thời điểm. Trong khi đó, HSR lại yêu cầu tiêu chuẩn cấp điện cao hơn rất nhiều so với phụ tải thông thường.

Điều này đồng nghĩa, nếu muốn vận hành ổn định tuyến đường sắt tốc độ cao sau năm 2035, Việt Nam phải chuẩn bị hạ tầng điện từ rất sớm.

Không chỉ cần tăng công suất nguồn điện, mà còn phải nâng cấp lưới truyền tải, hiện đại hóa điều độ, tăng cường dự phòng và nâng cao an ninh mạng cho hạ tầng năng lượng giao thông.

Nếu toàn bộ chi phí hạ tầng điện được tính vào tổng mức đầu tư HSR, quy mô vốn của dự án sẽ tăng lên rất lớn. Nhưng nếu phần nguồn điện và lưới điện do ngành điện đầu tư riêng, cần có cơ chế phối hợp và chia sẻ trách nhiệm rất rõ ràng giữa ngành giao thông và ngành điện.

Trong thực tế quốc tế, nhiều quốc gia áp dụng mô hình phối hợp giữa nhà nước, doanh nghiệp hạ tầng điện lực và đơn vị vận hành đường sắt nhằm chia sẻ chi phí đầu tư.

Đối với Việt Nam, vấn đề quan trọng nhất không chỉ là "ai đầu tư", mà là phải bảo đảm tính đồng bộ giữa quy hoạch giao thông và quy hoạch năng lượng ngay từ đầu.

HSR CÓ THỂ TRỞ THÀNH CÚ HÍCH HIỆN ĐẠI HÓA QUỐC GIA

Trong quá trình lập Báo cáo nghiên cứu khả thi, cần đặc biệt lưu ý các nội dung liên quan đến hạ tầng điện.

Trước hết là dự báo chính xác phụ tải điện của toàn tuyến, bao gồm phụ tải kéo tàu, phụ tải nhà ga, trung tâm điều hành và các khu TOD quanh ga.

Tiếp theo là cấu trúc cấp điện cho toàn tuyến, bao gồm tiêu chuẩn điện áp, cơ chế dự phòng, khoảng cách trạm biến áp kéo và phương án vận hành khi xảy ra sự cố.

Một nội dung rất quan trọng khác là tích hợp quy hoạch điện phục vụ HSR với Quy hoạch điện VIII điều chỉnh, đặc biệt là quy hoạch nguồn điện, lưới điện và điều độ hệ thống điện quốc gia.

Ngoài ra, cần làm rõ cơ chế phối hợp giữa Bộ Xây dựng, ngành điện, các địa phương và đơn vị vận hành HSR trong quá trình đầu tư và vận hành.

Lịch sử phát triển hạ tầng thế giới cho thấy các dự án hạ tầng quy mô lớn thường kéo theo bước nhảy công nghệ của quốc gia. HSR Bắc - Nam cũng có thể tạo ra hiệu ứng tương tự đối với Việt Nam.

Nếu được triển khai đồng bộ, dự án không chỉ hiện đại hóa giao thông mà còn thúc đẩy hiện đại hóa ngành điện, phát triển công nghiệp điện khí hóa, tăng tốc chuyển đổi số, phát triển lưu trữ năng lượng, hình thành các đô thị TOD hiện đại và nâng cao năng lực công nghiệp - công nghệ quốc gia.

Ở góc độ này, đường sắt tốc độ cao thực chất là một dự án tái cấu trúc không gian kinh tế - năng lượng - công nghệ của Việt Nam trong thế kỷ 21.

Đường sắt tốc độ cao (High-speed railway - HSR) hiện đại thực chất là một hệ thống điện hóa quy mô rất lớn. Khác với hình dung thông thường về một tuyến đường ray và đoàn tàu, phía sau HSR là một cấu trúc hạ tầng điện - điều khiển -thông tin phức tạp với yêu cầu kỹ thuật đặc biệt cao.

KẾT LUẬN

Việc Việt Nam lựa chọn phát triển tuyến đường sắt tốc độ cao Bắc - Nam với tốc độ thiết kế 350 km/h không chỉ mở ra một giai đoạn mới cho hạ tầng giao thông quốc gia, mà còn đặt ra yêu cầu tái cấu trúc sâu rộng đối với toàn bộ hệ thống điện quốc gia.

Trong tương lai, thách thức lớn nhất sẽ không chỉ là "có đủ điện hay không", mà là hệ thống điện có đủ ổn định, đủ linh hoạt và đủ khả năng điều độ để vận hành an toàn một phụ tải giao thông điện hóa quy mô rất lớn hay không.

Nhưng ở chiều ngược lại, đây cũng có thể là cơ hội lịch sử để Việt Nam hiện đại hóa đồng thời cả ngành giao thông và ngành điện. Nếu được quy hoạch đồng bộ với năng lượng tái tạo, lưới điện thông minh, lưu trữ điện năng và phát triển đô thị TOD, tuyến đường sắt tốc độ cao Bắc - Nam hoàn toàn có thể trở thành một "hành lang năng lượng mới" của quốc gia trong nhiều thập niên tới.

Vì vậy, điều quan trọng nhất không chỉ là xây dựng một tuyến đường sắt nhanh hơn, mà là Việt Nam có tận dụng được cơ hội này để nâng cấp toàn diện năng lực hạ tầng, năng lực công nghệ và nền tảng năng lượng quốc gia hay không.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Quốc hội Việt Nam (2024), Nghị quyết số 172/2024/QH15 về chủ trương đầu tư Dự án đường sắt tốc độ cao trên trục Bắc - Nam.

2. Bộ Giao thông vận tải (2024), Báo cáo nghiên cứu tiền khả thi Dự án đường sắt tốc độ cao trên trục Bắc - Nam.

3. Bộ Xây dựng (2025), Tổng luận về công nghệ và xu hướng phát triển đường sắt tốc độ cao trên thế giới.

4. TS Nguyễn Huy Hoạch. Hạ tầng điện Việt Nam sẽ phải phát triển đồng bộ ra sao khi triển khai tuyến đường sắt tốc độ cao 350 km/h Bắc - Nam, Tạp chí Năng lượng Việt Nam online 06:03 | 25/05/2026.

5. China State Railway Group (2024), China Railway Statistical Bulletin 2024.

6. International Union of Railways (UIC) (2024), High-Speed Rail Global Overview 2024.

7. Ngân hàng Thế giới (World Bank) (2023), High-Speed Rail: Lessons for Policy Makers from Experiences Abroad, World Bank Publications.

8. OECD (2023), The Economics of High-Speed Rail, OECD Transport Publications.

9. Báo Điện tử Chính phủ (2026) 08/02/2026 16:03, "Dự án đường sắt tốc độ cao Bắc - Nam: Hoàn thiện báo cáo lựa chọn công nghệ, đối tác".

Tính cá biệt và tính phổ biến trong tiêu chuẩn!



NGUYỄN HOÀNG LINH

Việc một doanh nghiệp kiến nghị nâng thời gian bảo hành công trình giao thông tối thiểu từ 2 năm lên 10 năm để tiết kiệm hơn 12.500 tỷ đồng mỗi năm cho ngân sách đã khiến không ít bàn cãi xảy ra. Liệu có gì mâu thuẫn giữa tư duy quản trị doanh nghiệp với yêu cầu của quản lý nhà nước?

TỪ TÍNH CÁ BIỆT CỦA MỖI THƯƠNG HIỆU...

Ngày 01/4/2026, Công ty TNHH Tập đoàn Sơn Hải (Công ty Sơn Hải) đã gửi kiến nghị lên Tổng Bí thư, Chủ tịch nước Tô Lâm đề nghị nâng thời gian bảo hành công trình giao thông tối thiểu từ 2 năm lên 10 năm, mà theo tính toán của doanh nghiệp, với 8 năm tăng thêm ấy, Nhà nước sẽ tiết kiệm hơn 100 nghìn tỷ đồng, một con số rất đáng quan tâm.

Trên các phương tiện thông tin đại chúng, ông Nguyễn Việt Hải - Chủ tịch Tập đoàn Sơn Hải đã nhiều lần tâm sự rằng nước mình còn nghèo, tiền bỏ ra làm hạ tầng giao thông rất lớn nhưng có một số công trình vừa làm xong đã hỏng rất lãng phí nguồn lực nhà nước và xã hội.

Thay vì sau 2 năm hết hạn bảo hành nếu đường hư hỏng, Nhà nước phải bỏ tiền ra sửa thì nay, khi các dự án được doanh nghiệp cam kết bảo hành 10 năm, trong thời gian bảo hành mặt đường hư hỏng, doanh nghiệp phải bỏ kinh phí ra sửa. Việc này sẽ tiết kiệm được chi phí duy tu, bảo trì.

Thực tiễn trong hơn một thập kỷ qua, doanh nghiệp Sơn Hải đã khẳng định được chất lượng thi công qua các dự án giao thông đường bộ đảm bảo tiến độ, chất lượng công trình. Từ những năm 2014 - 2015, trong khi quy định bảo hành quốc lộ, cao tốc chỉ 2 năm thì doanh nghiệp này đã chủ động cam kết tăng bảo hành mặt đường lên 5 năm tại các dự án nâng cấp mở rộng QL1 Quảng Bình, QL14 qua Tây Nguyên. Sau này, với các dự án cao tốc như Mai Sơn - QL45, Nghi Sơn - Diễn Châu và Nha Trang - Cam Lâm, doanh nghiệp cũng tự nguyện cam kết tăng thời gian bảo hành mặt đường lên 10 năm.

Cho đến gần đây, tháng 4/2026, khi tuyến đường cao tốc Hoài Nhơn - Quy Nhơn đưa vào hoạt động, Tập đoàn Sơn Hải cũng đã có văn bản đề nghị chính quyền tỉnh Gia Lai cho phép cắm bảng thông báo có thời hạn về việc bảo hành 10 năm cho 27 km mà doanh nghiệp thi công tuyến đường cao tốc này.

Có thể nhận xét, đây là một cam kết đầy bản lĩnh và có trách nhiệm của một thương hiệu trong lĩnh vực hạ tầng giao thông, rất đáng biểu dương.

Tuy nhiên, trong thực tiễn quản trị doanh nghiệp, tư duy về bảo hành sản phẩm thường mang tính cá biệt. Cùng một sản phẩm làm ra, với những mục tiêu khác nhau, mỗi doanh nghiệp có thể đặt ra chế độ và thời hạn bảo hành khác nhau. Chẳng hạn như với máy điều hòa nhiệt độ của Panasonic và Daikin, bảo hành toàn bộ máy 1 năm, riêng máy nén bảo hành 5 năm, nhưng với Samsung lại bảo hành toàn bộ máy 2 năm, máy nén lên đến 10 năm. Các thương hiệu LG, Toshiba, Mitsubishi lại chỉ bảo hành toàn bộ máy 2 năm, máy nén 2 đến 5 năm tùy dòng sản phẩm.

Một câu hỏi được đặt ra, với tính cá biệt như vậy, liệu con số 10 năm kia có thể trở thành một tiêu chuẩn của quốc gia trong bảo hành công trình giao thông?

...ĐẾN YÊU CẦU VỀ TÍNH PHỔ BIẾN TRONG QUẢN LÝ NHÀ NƯỚC

Đương nhiên khi có một kiến nghị có tầm ảnh hưởng lớn như vậy, Bộ Xây dựng với trách nhiệm là cơ quan quản lý nhà nước chuyên ngành cao nhất của quốc gia phải vào cuộc, cần có những kết luận thỏa đáng và thông báo rộng rãi.

Bộ đã cùng các cơ quan, hiệp hội và doanh nghiệp trong lĩnh vực xây dựng, giao thông, trong đó có đại diện Tập đoàn Sơn Hải để đánh giá cẩn trọng và toàn diện về đề xuất này. Có 4 kết luận đáng chú ý.

Thứ nhất, pháp luật không hạn chế việc kéo dài thời gian bảo hành nếu chủ đầu tư và nhà thầu tự thỏa thuận trong hợp đồng.

Thứ hai, cần phân biệt giữa bảo hành và bảo trì công trình. Bảo hành là trách nhiệm của nhà thầu đối với các hư hỏng do lỗi thi công trong thời gian được quy định theo hợp đồng; còn bảo trì là trách nhiệm của đơn vị quản lý khai thác nhằm duy trì khả năng vận hành, an toàn và tuổi thọ công trình trong suốt quá trình sử dụng.



> ***Trong quản lý nhà nước, tính phổ biến là thuộc tính bắt buộc, quy định các quyết định, tiêu chuẩn và pháp luật phải được áp dụng nhiều lần, ở nhiều nơi, đối với mọi đối tượng trên toàn quốc".***

Thứ ba, nếu kéo dài thời gian bảo hành vượt quá chu kỳ sửa chữa định kỳ sẽ khó phân định trách nhiệm giữa lỗi thi công và hao mòn trong khai thác, có thể phát sinh tranh chấp và ảnh hưởng công tác bảo trì.

Thứ tư, trong bối cảnh doanh nghiệp xây dựng đang chịu áp lực lớn từ giá vật liệu, nhiên liệu, lãi vay và chi phí vận tải, nếu áp dụng cứng thời gian bảo hành 10 năm với mọi dự án giao thông, chi phí bảo lãnh, bảo hiểm, dự phòng rủi ro và giá dự thầu sẽ tăng, khiến tổng mức đầu tư dự án tăng cao.

Từ những kết luận trên có thể nhận thấy sự khác biệt giữa tư duy trong quản trị doanh nghiệp với yêu cầu về tính phổ biến của quản lý nhà nước. Trong quản lý nhà nước, tính phổ biến là thuộc tính bắt buộc, quy định các quyết định, tiêu chuẩn và pháp luật phải được áp dụng nhiều lần, ở nhiều nơi, đối với mọi đối tượng trên toàn quốc. Đặc tính này đảm bảo sự công bằng, minh bạch và tính thống nhất của bộ máy hành chính.

Biểu hiện của tính phổ biến là không phân biệt đối tượng, mọi cá nhân, tổ chức khi nằm trong phạm vi quản lý đều phải tuân thủ quy định. Các tiêu chuẩn đặt ra được áp dụng đồng nhất từ trung ương đến địa phương và các vùng miền; hiệu lực không giới hạn về không gian, chúng được quy định chuẩn mực, áp dụng liên tục, lặp đi lặp lại, không mang tính thời điểm…

Chính vì thế, Bộ Xây dựng cho rằng mỗi loại công trình có quy mô, tính chất và đặc điểm kỹ thuật khác nhau nên không thể áp dụng một mức bảo hành cứng cho tất cả dự án. Tại Nhật Bản, thời hạn trách nhiệm hợp đồng với công trình xây dựng thông thường là 2 năm kể từ ngày bàn giao, còn thiết bị, máy móc thường là một năm.

Do có sự khác biệt ấy trong tư duy nên con số "sẽ tiết kiệm hơn 100 nghìn tỷ đồng" kia đã không có căn cứ chứng minh, bởi lẽ khoản kinh phí được ngân sách bố trí hằng năm chủ yếu dành cho quản lý, bảo trì định kỳ, sửa chữa hư hỏng trong quá trình khai thác, khắc phục thiên tai và duy tu hệ thống quốc lộ, không phải toàn bộ là chi phí xử lý lỗi của nhà thầu sau bảo hành.

NÊN KHUYẾN KHÍCH SỰ NÊU GƯƠNG

Trong khoảng 10 năm trở lại đây, nếu đặt ra câu hỏi rằng, những thương hiệu nào có uy tín hàng đầu về xây dựng công trình giao thông tại Việt Nam thì gần như chắc chắn sẽ có Tập đoàn Sơn Hải.

Tuy chưa dám so sánh về tầm vóc doanh nghiệp với những nhà thầu đàn anh khác nhưng Sơn Hải đã để lại không ít ấn tượng tốt cho nhiều chủ đầu tư và ngay cả trong dân chúng khi sử dụng những sản phẩm từ Sơn Hải, đó là những cung đường chất lượng cao, những cam kết bảo hành đầy bản lĩnh, những dự án có tiến độ vượt thời hạn… Có thể nói đây là một tấm gương về quá trình xây dựng và phát triển một thương hiệu bền vững trong một chuyên ngành đòi hỏi có hàm lượng kỹ thuật cao và nguồn vốn không nhỏ.

Chỉ nói riêng việc cam kết bảo hành công trình giao thông tối thiểu từ 2 năm lên 10 năm, Tập đoàn Sơn Hải không chỉ phải nghiêm khắc với chính mình trong suốt quá trình thi công mà còn phải chấp nhận những thiệt hại về tài chính trong tình trạng "tự lấy đá ghè chân mình".

Bởi lẽ theo quy định, mức tiền bảo hành tối thiểu là 3% giá trị hợp đồng đối với công trình xây dựng cấp đặc biệt và cấp I và 5% giá trị hợp đồng đối với công trình xây dựng cấp còn lại. Do Tập đoàn Sơn Hải là nhà đầu tư duy nhất tự nguyện kéo dài thời gian bảo hành từ 2 lên 10 năm nên đã "được giữ lại" hơn 400 tỷ đồng nhằm bảo lãnh cho phần thời gian bảo hành tăng thêm...

Để giảm khó khăn cho nhà đầu tư và khuyến khích các nhà thầu tự nguyện nâng cao thời gian bảo hành, Bộ Xây dựng đã chỉ đạo các chủ đầu tư thuộc các dự án do Bộ là cơ quan chủ quản phối hợp với Tập đoàn Sơn Hải để thống nhất giải pháp liên quan việc giữ tiền hoặc bảo lãnh bảo hành ngoài thời gian bảo hành bắt buộc.

Hành trình đến với những "ngọn hải đăng sống" giữa Trường Sa

> KIM THƯƠNG

Tại các trạm đèn biển (hải đăng) xa đất liền, điều kiện sinh hoạt của cán bộ công nhân viên ngành bảo đảm an toàn hàng hải còn nhiều thiếu thốn; quanh năm đối mặt với sóng lớn, gió mạnh, hơi muối mặn... Dù vậy, những người làm nhiệm vụ tại các trạm hải đăng vẫn luôn giữ vững tinh thần trách nhiệm cao để ngọn đèn biển luôn rực sáng trong mọi điều kiện thời tiết, dẫn đường cho tàu thuyền đi lại an toàn.

GIỮ ĐÈN NƠI ĐẦU SÓNG NGỌN GIÓ

Những ngày cuối tháng 4, đầu tháng 5/2026, Đoàn công tác của Tổng công ty Bảo đảm an toàn hàng hải Việt Nam do ông Đồng Trung Kiên - Tổng giám đốc Tổng công ty dẫn đầu đã có chuyến thăm, làm việc tại các đèn biển thuộc Đặc khu Trường Sa và nhà giàn DK1. Tham gia đoàn còn có đại diện lãnh đạo Công đoàn Xây dựng Việt Nam, Cục Hàng hải và Đường thủy Việt Nam cùng trưởng, phó các phòng, ban chuyên môn của Tổng công ty và lãnh đạo, chuyên viên đơn vị trực tiếp quản lý là Bảo đảm an toàn hàng hải Biển Đông và Hải đảo.

Trong hành trình kéo dài 14 ngày trên tàu Tiên Nữ, Đoàn công tác đã lần lượt đến thăm các trạm đèn biển tại Bãi cạn Cà Mau, Tư Chính, Phúc Nguyên, Phúc Tần, Huyền Trân, Quế Đường, Bãi Dinh, Ba Kè, Đá Lát, Trường Sa Lớn, Đá Tây, Trường Sa Đông, An Bang, Phan Vinh, Tiên Nữ, Sinh Tồn, Nam Yết, Sơn Ca, Song Tử Tây. Mỗi điểm đến là một hành trình vượt sóng gió; có nơi tàu phải neo đậu qua đêm, chờ trời sáng và thời tiết thuận lợi mới có thể tiếp cận trạm.

Tại các trạm đèn biển xa đất liền, điều kiện sinh hoạt còn nhiều thiếu thốn; quanh năm sóng lớn, gió mạnh, hơi muối mặn ăn mòn thiết bị khiến công tác vận hành, bảo dưỡng hệ thống báo hiệu hàng hải, máy móc, trang thiết bị gặp nhiều khó khăn, vất vả.

Không chỉ làm việc trong môi trường khắc nghiệt, nhiều cán bộ, công nhân viên còn phải vượt qua cảm giác cô đơn khi nhiều tháng liền sống giữa biển khơi, xa gia đình, thiếu thốn điều kiện y tế và các hoạt động văn hóa, giải trí. "Chúng tôi ở đây như những hòn đảo nhỏ giữa trùng khơi. Mỗi lần thấy tàu tiếp tế hay đoàn công tác từ đất liền ra thăm, ai cũng xúc động, như được tiếp thêm sức mạnh", một trạm trưởng trạm đèn chia sẻ.

Dù vậy, những người làm nhiệm vụ tại các trạm hải đăng vẫn luôn giữ vững tinh thần trách nhiệm cao. Công việc hằng ngày của họ là kiểm tra thiết bị, theo dõi hoạt động của đèn biển, ghi chép nhật ký vận hành và sẵn sàng xử lý sự cố trong mọi điều kiện thời tiết. Với họ, "không được phép tắt đèn" không chỉ là yêu cầu công việc mà còn là mệnh lệnh từ trái tim.

SÁNG RỰC Ý CHÍ BÁM BIỂN, GIỮ BIỂN

Tại các điểm đến, Tổng giám đốc Đồng Trung Kiên cùng Đoàn công tác đã trực tiếp thăm hỏi điều kiện sinh hoạt, đời sống và công việc của cán bộ, công nhân viên, chiến sĩ đang làm nhiệm vụ trên các đảo, nhà giàn và trạm đèn biển. Những phần quà ý nghĩa mang hơi ấm từ đất liền được trao tận tay người lao động, cán bộ, chiến sĩ đã góp phần động viên tinh thần, tiếp thêm nghị lực cho những người đang ngày đêm bám biển, giữ đèn, góp phần khẳng định vững chắc chủ quyền biển, đảo thiêng liêng của Tổ quốc.

Tham gia đoàn công tác, ông Phạm Hoài Phương - Chủ tịch Công đoàn Xây dựng Việt Nam bày tỏ sự trân trọng trước tinh thần trách nhiệm, ý chí kiên cường và những cống hiến thầm lặng của cán bộ, chiến sĩ và đoàn viên, người lao động thuộc Tổng công ty Bảo đảm an toàn hàng hải Việt Nam đang ngày đêm bám biển, vượt qua nhiều khó khăn, thử thách để hoàn thành tốt nhiệm vụ được giao.

"Những đóng góp bền bỉ của lực lượng lao động trên biển đã góp phần quan trọng trong việc bảo đảm an toàn, thông suốt cho hoạt động hàng hải, phục vụ phát triển kinh tế biển gắn với nhiệm vụ bảo vệ vững chắc chủ quyền biển, đảo thiêng liêng của Tổ quốc", Chủ tịch Công đoàn Xây dựng Việt Nam Phạm Hoài Phương nhấn mạnh.

Năm 2026, Tổng công ty Bảo đảm an toàn hàng hải Việt Nam đặt mục tiêu hoàn thành nhiệm vụ vận hành, bảo trì hệ thống đèn biển, đăng tiêu độc lập và luồng hàng hải công cộng với khối lượng quản lý vận hành dự kiến là 106 đèn biển và 45 luồng hàng hải công cộng theo đúng quy trình, định mức kinh tế kỹ thuật hiện hành.

Hướng tới phát triển ngành bảo đảm hàng hải Việt Nam ngang tầm quốc tế, Tổng công ty đẩy mạnh áp dụng khoa học công nghệ, chuyển đổi số, xây dựng nền quản trị doanh nghiệp khoa học, tiên tiến, hoàn thành nhiệm vụ vận hành, bảo trì hệ thống đèn biển, đăng tiêu độc lập và luồng hàng hải công cộng, không để xảy ra sự cố, tai nạn hàng hải nào do lỗi của hệ thống báo hiệu hàng hải; công tác hoa tiêu dẫn tàu ra vào luồng, đảm bảo an toàn cho người, hàng hóa và các phương tiện hàng hải trong khu vực được giao quản lý góp phần thúc đẩy sự phát triển của ngành kinh tế vận tải biển; đồng thời tích cực tìm kiếm nguồn sản xuất kinh doanh khác để tạo thêm việc làm, nâng cao thu nhập cho người lao động Tổng công ty.



Ảnh: Phạm Hồng Quân

Tổng giám đốc Tổng công ty Bảo đảm an toàn hàng hải Việt Nam Đồng Trung Kiên (thứ 6 từ phải sang) cùng CBCNV trạm đèn biển Trường Sa Đông.



Tổng giám đốc Tổng công ty Bảo đảm an toàn hàng hải Việt Nam Đồng Trung Kiên (giữa, hàng đầu) cùng CBCNV trạm hải đăng Sơn Ca.



Hải đăng trên đảo Tiên Nữ.

Qua chuyến kiểm tra thực tế, Tổng giám đốc Đồng Trung Kiên đã ghi nhận và biểu dương tinh thần trách nhiệm, ý chí vượt khó của đội ngũ cán bộ, người lao động đang ngày đêm bám trạm, bám biển để duy trì hoạt động ổn định của hệ thống báo hiệu hàng hải.

"Chăm lo đời sống vật chất và tinh thần cho người lao động tại các trạm độc lập, xa đất liền luôn là ưu tiên hàng đầu trong chiến lược phát triển bền vững của Tổng công ty", Tổng giám đốc nhấn mạnh và yêu cầu các phòng, ban chuyên môn rà soát toàn bộ hiện trạng các trạm đèn biển, đặc biệt là những công trình bị ảnh hưởng bởi môi trường biển, nhằm xây dựng kế hoạch sửa chữa, cải tạo và nâng cấp kịp thời; bảo đảm đầy đủ nguồn dự phòng lương thực, thực phẩm, thuốc men; tăng cường kết nối thông tin liên lạc cho các trạm biệt lập; phối hợp chặt chẽ với lực lượng Hải quân, Cảnh sát biển trong công tác bảo vệ an toàn các công trình báo hiệu hàng hải trong mọi tình huống.❖



TỔNG CÔNG TY QUẢN LÝ BAY VIỆT NAM:

Tối ưu hóa điều hành bay, đồng hành cùng các hãng hàng không trong bối cảnh khủng hoảng nhiên liệu



MINH THÀNH

Trong cơ cấu chi phí khai thác của hãng hàng không, nhiên liệu hiện chiếm khoảng 35 - 40%. Giữa bối cảnh khủng hoảng nhiên liệu bay do tác động của xung đột tại Trung Đông còn diễn biến phức tạp, Tổng công ty Quản lý bay Việt Nam (VATM) xác định, các giải pháp giúp giảm tiêu hao nhiên liệu trong khai thác thực tế là hướng tiếp cận trúng đích, bền vững và tạo ra giá trị trực tiếp cho doanh nghiệp.

CUNG CẤP CHÍNH XÁC, KỊP THỜI CÁC DỊCH VỤ BẢO ĐẢM HOẠT ĐỘNG BAY

Với ngành hàng không, một trong những vấn đề được nhắc đến nhiều nhất thời gian qua là khủng hoảng nhiên liệu, trong đó có nhiên liệu bay, do tác động sâu rộng từ cuộc xung đột tại Trung Đông, tạo áp lực lớn lên chi phí khai thác của các hãng bay. Cần biết rằng, trong cơ cấu chi phí khai thác của hãng hàng không, nhiên liệu chiếm khoảng 35 - 40% và cứ mỗi đợt tăng giá nhiên liệu đều lập tức gia tăng áp lực tài chính, bào mòn biên lợi nhuận, ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu quả sản xuất kinh doanh của doanh nghiệp vận tải hàng không.

Từ thực tế đó, Tổng công ty Quản lý bay Việt Nam (VATM) nhận định, việc hỗ trợ các hãng hàng không trong giai đoạn hiện nay cần được nhìn từ bản chất chi phí chuyến bay. Nếu chỉ tập trung vào điều chỉnh giá dịch vụ, hiệu quả hỗ trợ sẽ có giới hạn. Ngược lại, các giải pháp giúp giảm tiêu hao nhiên liệu trong khai thác thực tế mới là hướng tiếp cận trúng đích, bền vững và tạo ra giá trị trực tiếp cho doanh nghiệp.

Nói cách khác, mỗi phút bay được rút ngắn, mỗi vòng chờ được cắt giảm hay mỗi quãng lăn được tối ưu đều có thể chuyển hóa trực tiếp thành phần tiết kiệm nhiên liệu đáng kể cho hãng bay. Do đó, bên cạnh các giải pháp chính sách, việc tối ưu hóa phương thức bay, đường hàng không nhằm giảm tiêu hao nhiên liệu, rút ngắn thời gian khai thác và nâng cao hiệu quả vận hành đang trở thành hướng hỗ trợ thiết thực cho các hãng bay.

Với vai trò là đơn vị cung cấp dịch vụ bảo đảm hoạt động bay trong toàn bộ vùng thông báo bay do Việt Nam quản lý, VATM hiện điều hành khối lượng khai thác lớn của hàng không dân dụng. Riêng tháng 5/2026, Tổng công ty đã thực hiện cung cấp đầy đủ, chính xác, kịp thời các dịch vụ bảo đảm hoạt động bay, đặc biệt đã bảo đảm an toàn tuyệt đối cho các chuyến bay trong vùng trời trách nhiệm. Sản lượng điều hành bay trong tháng 5/2026 là 77.509 lần chuyến, bằng 99,77% so với thực hiện tháng 4/2026; tổng sản lượng ước đến hết tháng 5/2026 đạt 40,5% kế hoạch năm 2026.

Trước đó, trong các giai đoạn cao điểm nghỉ lễ Giỗ Tổ Hùng Vương và 30/4 -01/5/2026, VATM đã tổ chức cung cấp dịch vụ bảo đảm hoạt động bay an toàn, điều hòa, liên tục trên toàn bộ vùng trời trách nhiệm, trong điều kiện lưu lượng gia tăng và biến động theo thời điểm. Toàn hệ thống đã điều hành 26.771 lần chuyến, gồm 15.093 chuyến đi/đến và 11.678 chuyến quá cảnh. So với điều kiện khai thác thông thường, lưu lượng trong dịp lễ không chỉ tăng về tổng sản lượng mà còn gia tăng mật độ trong các khung giờ cao điểm. Sự gia tăng theo thời điểm làm tăng cường độ khai thác, đặt ra yêu cầu cao đối với công tác điều hành bay, nhất là trong tổ chức luồng không lưu tại khu vực tiếp cận và sân bay. Dù vậy, hoạt động điều hành bay vẫn diễn ra chính xác, đảm bảo an toàn tuyệt đối cho tất cả các chuyến bay.

Nhìn xa hơn, trong những năm qua, VATM đã chủ động triển khai đồng bộ các giải pháp kỹ thuật, khai thác và điều hành nhằm tối ưu hóa hoạt động bay. Việc áp dụng các phương thức bay hiện đại như PBN, RNAV, RNP tại 23 cảng hàng không trên cả nước cho phép thiết lập đường bay và quy trình tiếp cận chính xác, linh hoạt hơn, qua đó rút ngắn lộ trình và giảm tiêu hao nhiên liệu so với phương thức truyền thống.

Song song với đó, việc đưa vào khai thác các đường bay tối ưu, trong đó có cặp đường hàng không song song trục

Trong tháng 5/2026, Tổng công ty Quản lý bay Việt Nam đã thực hiện các nội dung liên quan đến việc tối ưu hóa vùng trời, phương thức bay các sân bay Đồng Hới, Quảng Trị; hiện đã hoàn thành xây dựng và trình Cục Hàng không Việt Nam phương án cung cấp dịch vụ bảo đảm cho hoạt động bay đánh giá phương thức bay PBN tại sân bay Quảng Trị. Hoàn thành báo cáo Cục Hàng không Việt Nam các nội dung: Đánh giá ảnh hưởng của các công trình đối với các bề mặt chướng ngại vật, phương thức bay, độ cao tối thiểu tại các sân bay Phú Quốc, Cam Ranh, Cát Bi, Vân Đồn, Long Thành, Liên Khương, Tân Sơn Nhất, Biên Hòa, Nội Bài, Gia Bình, Đồng Hới, Vinh; Danh mục và sơ đồ chướng ngại vật sân bay - loại B tại sân bay Cam Ranh".



Kiểm soát viên không lưu điều hành bay tại Trung tâm Kiểm soát không lưu (ATCC) Hồ Chí Minh.

Bắc - Nam, đã mang lại hiệu quả rõ rệt. Theo tính toán, giải pháp này giúp rút ngắn trung bình từ 3 - 7 phút mỗi chuyến bay, tương đương tiết kiệm khoảng 120 - 300kg nhiên liệu/chuyến.

Nhìn ở quy mô từng chuyến bay, mức tiết kiệm này chưa lớn nhưng nếu tính trên toàn đội tàu bay, mạng khai thác và trong suốt chu kỳ vận hành, hiệu quả là rất đáng kể. Đây cũng chính là giá trị thực chất của các giải pháp tối ưu hóa điều hành bay mà VATM đang triển khai.

Thực tế, không chỉ ở giai đoạn hành trình, hiệu quả tối ưu hóa còn được mở rộng ở khu vực tiếp cận và tại mặt đất. Hệ thống quản lý luồng không lưu (ATFM) triển khai trên phạm vi toàn quốc đã góp phần giảm khoảng 20 - 30% thời gian bay chờ trên không, đặc biệt trong các giai đoạn cao điểm hoặc khi điều kiện thời tiết bất lợi. Tại các cảng hàng không trọng điểm, mô hình ra quyết định phối hợp tại cảng hàng không (A-CDM) cũng đang phát huy hiệu quả trong việc giảm thời gian lăn, giúp cắt giảm từ 1 - 3 phút thời gian lăn mỗi chuyến bay, qua đó giảm tiêu hao nhiên liệu, cải thiện chỉ số đúng giờ và hiệu quả khai thác tổng thể.

HỖ TRỢ DOANH NGHIỆP, DUY TRÌ NĂNG LỰC CUNG ỨNG DỊCH VỤ

Từ góc độ khai thác, VATM cho rằng hỗ trợ doanh nghiệp hàng không trong giai đoạn khó khăn cần được nhìn nhận không chỉ ở cấu phần giá dịch vụ mà quan trọng hơn là ở khả năng làm giảm chi phí khai thác thực tế. Thực tế, chi phí dịch vụ điều hành bay hiện chỉ chiếm khoảng 3 - 5% tổng chi phí chuyến bay. Trong khi đó, phần tiết kiệm từ việc rút ngắn đường bay, giảm bay chờ, tối ưu tiếp cận và giảm thời gian lăn có thể mang lại hiệu quả tài chính lớn hơn nhiều khi được nhân lên trên toàn mạng bay. Đây là cơ sở để VATM xác định tối ưu hóa hoạt động bay là một trong những giải pháp hỗ trợ thiết thực nhất đối với các hãng hàng không trong bối cảnh giá Jet A-1 leo thang.

Cách tiếp cận này cho thấy vai trò đồng hành của VATM không chỉ dừng lại ở việc bảo đảm điều hành bay an toàn, thông suốt, mà còn là nỗ lực chia sẻ khó khăn với doanh nghiệp thông qua chính năng lực điều hành và các giải pháp nghiệp vụ. Bên cạnh các giải pháp tối ưu hóa khai thác, việc điều chỉnh giá dịch vụ trong ngắn hạn cũng được đặt ra trong quá trình xem xét các phương án hỗ trợ doanh nghiệp hàng không.

Trong bối cảnh xung đột tại Trung Đông còn tiềm ẩn nguy cơ kéo dài, thị trường nhiên liệu hàng không được dự báo tiếp tục biến động khó lường. Với ngành hàng không, đây không chỉ là thách thức ngắn hạn mà còn là phép thử đối với năng lực thích ứng của toàn hệ thống.

Với VATM, đồng hành cùng hãng hàng không không chỉ là tinh thần chia sẻ, mà còn là hành động cụ thể thông qua việc tiếp tục đẩy mạnh tối ưu hóa hoạt động bay, nâng cao hiệu quả điều hành và tăng cường phối hợp trong toàn hệ thống. Từ vùng trời, đường bay đến mặt đất, mỗi giải pháp giúp giảm thời gian khai thác, cắt giảm tiêu hao nhiên liệu và nâng cao hiệu quả vận hành đều góp phần trực tiếp hỗ trợ doanh nghiệp giảm áp lực chi phí.

Trong thời gian tới, Tổng công ty sẽ tiếp tục theo dõi sát diễn biến thị trường, đánh giá đầy đủ tác động từ biến động giá nhiên liệu để kịp thời báo cáo, đề xuất các giải pháp phù hợp với cơ quan quản lý nhà nước, bảo đảm hài hòa lợi ích giữa các bên và góp phần duy trì sự phát triển ổn định của ngành hàng không Việt Nam.❖

DẤU ẤN 64 NĂM TEDI: CÁNH CHIM ĐẦU ĐÀN NGÀNH TƯ VẤN THIẾT KẾ HẠ TẦNG GIAO THÔNG VẬN TẢI



ĐÌNH QUANG

Tiền thân là Viện Thiết kế được thành lập từ năm 1962, trải qua 64 năm xây dựng và phát triển, Tổng công ty Tư vấn thiết kế Giao thông vận tải - CTCP (TEDI) không chỉ là nhân chứng mà còn là "kiến trúc sư" đứng sau hàng loạt công trình giao thông trọng điểm quốc gia. Vị trí số 1 trong Bảng xếp hạng Top 5 Công ty Tư vấn thiết kế hạ tầng uy tín năm 2026 mới đây một lần nữa khẳng định vị thế hàng đầu và khát vọng vươn tầm quốc tế của cánh chim đầu đàn ngành tư vấn giao thông Việt Nam.

VỊ THẾ DẪN ĐẦU TỪ SỰ CÔNG NHẬN TOÀN DIỆN

Bước vào giai đoạn tăng trưởng mới, ngành Xây dựng Việt Nam đặt ra những yêu cầu ngày càng khắt khe về chất lượng, công nghệ và tính bền vững. Trong bối cảnh đó, vai trò của các doanh nghiệp tư vấn thiết kế là "chìa khóa" quyết định hiệu quả đầu tư của các dự án hạ tầng.

Cuối tháng 4/2026, Công ty Cổ phần Báo cáo Đánh giá Việt Nam (Vietnam Report) phối hợp cùng Báo VietNamNet đã công bố bảng xếp hạng thường niên uy tín hàng đầu cả nước. Vượt qua nhiều tên tuổi lớn, TEDI đã xuất sắc đứng đầu Bảng xếp hạng Top 5 Công ty Tư vấn thiết kế hạ tầng uy tín năm 2026.

Để đạt được ngôi vị dẫn đầu này, TEDI đã đáp ứng xuất sắc một hệ thống tiêu chí đánh giá toàn diện, bao gồm năng lực tài chính vững mạnh, uy tín truyền thông, mức độ nhận diện thương hiệu, cùng kết quả khảo sát từ các chuyên gia hàng đầu và các bên liên quan trong ngành. Tại buổi lễ vinh danh, ông Trần Quốc Bảo - Phó Tổng giám đốc TEDI đã tự hào đại diện cho Ban Lãnh đạo đón nhận giải thưởng danh giá này.

Việc được xướng tên ở vị trí quán quân không chỉ là minh chứng rõ nét cho năng lực chuyên môn vượt trội, mà còn là kết tinh từ kinh nghiệm thực chiến tại các dự án quy mô lớn và uy tín thương hiệu được TEDI bền bỉ bồi đắp qua nhiều thập kỷ.

64 NĂM ĐỒNG HÀNH KIẾN TẠO NHỮNG "CÔNG TRÌNH THẾ KỶ"

Kể từ khi thành lập ngày 27/12/1962, trải qua 64 năm lịch sử xây dựng và phát triển của TEDI luôn gắn liền với nhịp đập của hạ tầng giao thông đất nước. TEDI đã để lại dấu ấn đậm nét (trải rộng từ đường bộ cao tốc, cầu, hầm, cảng biển, hàng không cho đến hạ tầng giao thông đô thị) trên khắp mọi miền Tổ quốc.

Những công trình mang tính biểu tượng của Việt Nam đương đại đều in bóng dáng của những kỹ sư, chuyên gia TEDI. Có thể kể đến sự góp mặt tại siêu dự án Đường sắt tốc độ cao trên trục Bắc - Nam (PreFS) hay cầu Mỹ Thuận 2 bắc qua sông Tiền - công trình tự hào vinh dự đạt giải thưởng quốc tế FIDIC AWARD 2024.

Theo đại diện lãnh đạo Tổng công ty: "Danh hiệu Top 1 là sự ghi nhận cho nỗ lực bền bỉ của toàn thể cán bộ, kỹ sư, chuyên gia trong hệ thống TEDI. Đây đồng thời là động lực để TEDI tiếp tục đổi mới, nâng cao năng lực tư vấn thiết kế, tiên phong ứng dụng công nghệ và đóng góp nhiều hơn nữa cho sự phát triển hạ tầng quốc gia".

TIÊN PHONG CHUYỂN ĐỔI SỐ - KHÁT VỌNG VƯƠN TẦM QUỐC TẾ

Không ngủ quên trên chiến thắng, TEDI đang tiếp tục phát huy vai trò doanh nghiệp đầu ngành thông qua việc tiên phong trong ứng dụng khoa học công nghệ và chuyển đổi số. Doanh nghiệp luôn đi đầu trong việc tiếp cận, làm chủ và chuyển giao các công nghệ tư vấn thiết



Thay mặt Ban Lãnh đạo TEDI, ông Trần Quốc Bảo - Phó Tổng giám đốc TEDI đón nhận giải thưởng Top 5 Công ty uy tín ngành Xây dựng năm 2026.



Cầu Mỹ Thuận 2 bắc qua sông Tiền đạt giải thưởng FIDIC AWARD 2024.



Phối cảnh dự án đường sắt tốc độ cao Bắc - Nam.

kế tiên tiến trên thế giới vào công tác khảo sát, thiết kế và quản lý dự án tại Việt Nam. Điều này không chỉ giúp nâng cao chất lượng tư vấn, tối ưu hóa hiệu quả đầu tư mà còn thúc đẩy hệ thống giao thông quốc gia phát triển bền vững.

Thành quả của ngày hôm nay là trái ngọt từ quá trình kiên trì theo đuổi chiến lược phát triển dài hạn, bền vững của tập thể TEDI. Doanh nghiệp luôn kiên định với tầm nhìn: "Giữ vững vị trí tư vấn hàng đầu tại Việt Nam, vươn tầm khu vực và quốc tế" - coi đây là kim chỉ nam cho mọi hoạt động đổi mới ứng dụng KHCN và phát triển nguồn nhân lực chất lượng cao.

Với bề dày truyền thống 64 năm, nền tảng năng lực vững chắc cùng khát vọng vươn xa, TEDI chắc chắn sẽ tiếp tục khẳng định vai trò kiến tạo, đồng hành cùng các công trình trọng điểm, góp phần vẽ nên một diện mạo hạ tầng giao thông Việt Nam hiện đại, vươn tầm thế giới trong giai đoạn phát triển mới.

BQLDA MỸ THUẬN:

Giữ nhịp những công trình chiến lược, mở không gian phát triển mới cho Đồng bằng sông Cửu Long

Nửa đầu năm 2026 đánh dấu giai đoạn chuyển tiếp quan trọng của hệ thống hạ tầng giao thông vùng Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL). Sau khi hàng loạt công trình trọng điểm hoàn thành và đưa vào khai thác, Ban Quản lý dự án (BQLDA) Mỹ Thuận tiếp tục đảm nhận vai trò nòng cốt trong tổ chức thực hiện các dự án giao thông quy mô lớn, góp phần hiện thực hóa mục tiêu phát triển kết cấu hạ tầng đồng bộ, hiện đại theo định hướng của Chính phủ và Bộ Xây dựng.

Những tháng đầu năm 2026, cao tốc Cần Thơ - Cà Mau chính thức đưa vào khai thác đã tạo nên bước ngoặt lớn đối với giao thông khu vực. Lần đầu tiên, trục cao tốc từ TP.HCM đến cực Nam Tổ quốc được hình thành liên tục, rút ngắn thời gian di chuyển, tăng cường khả năng kết nối logistics, thúc đẩy giao thương và mở ra dư địa phát triển mới cho các địa phương vùng ĐBSCL.

Kết quả này là thành quả của quá trình điều hành quyết liệt, linh hoạt và sáng tạo của BQLDA Mỹ Thuận cùng các đơn vị tham gia dự án. Trong điều kiện địa chất yếu đặc trưng của vùng hạ lưu sông Mê Kông, nguồn vật liệu xây dựng nhiều thời điểm khan hiếm, yêu cầu tiến độ đặc biệt khẩn trương, Ban đã phối hợp chặt chẽ với các bộ, ngành, địa phương và nhà thầu để tháo gỡ khó khăn, bảo đảm tiến độ và chất lượng công trình.

Bên cạnh cao tốc Cần Thơ - Cà Mau, các công trình như cầu Rạch Miễu 2, dự án thành phần 1A đoạn Tân Vạn - Nhơn Trạch, tuyến Cao Lãnh - Lộ Tẻ và Lộ Tẻ - Rạch Sỏi đã và đang phát huy hiệu quả đầu tư rõ nét. Các dự án không chỉ góp phần hoàn thiện mạng lưới giao thông liên vùng mà còn tạo động lực thúc đẩy phát triển kinh tế - xã hội, nâng cao năng lực cạnh tranh của toàn khu vực phía Nam.

Trên nền tảng những kết quả đạt được, BQLDA Mỹ Thuận đang tập trung nguồn lực triển khai các dự án trọng điểm trong giai đoạn mới. Nổi bật là dự án cao tốc Mỹ An - Cao Lãnh giai đoạn 1 sử dụng vốn vay ODA của Chính phủ Hàn Quốc. Đây là một trong những mắt xích quan trọng trên hành lang cao tốc Bắc - Nam phía Tây, góp phần hoàn thiện mạng lưới giao thông chiến lược của vùng Đồng Tháp Mười và ĐBSCL.

Song song với công tác tổ chức thi công, BQLDA Mỹ Thuận cũng tích cực chuẩn bị đầu tư cho nhiều dự án quy mô lớn dự kiến triển khai trong giai đoạn 2026 - 2030 như cầu Cần Thơ 2 và đường dẫn hai đầu cầu, cao tốc Bắc - Nam phía Tây đoạn Đức Hòa - Mỹ An, cao tốc Hà Tiên - Rạch Giá - Bạc Liêu và tuyến đường sắt TP.HCM - Cần Thơ. Đây đều là những công trình có ý nghĩa chiến lược, tạo nền tảng để mở rộng không gian phát triển, nâng cao năng lực kết nối giữa ĐBSCL với vùng Đông Nam Bộ và các trung tâm kinh tế lớn của cả nước.

Cùng với việc triển khai các dự án giao thông trọng điểm,



Ông Trần Văn Thi - Giám đốc BQLDA Mỹ Thuận phát biểu tại lễ khởi công cao tốc Mỹ An - Cao Lãnh.



Cầu Rạch Miễu 2 - Dự án cầu dây văng lớn tại khu vực được hoàn thành tiến độ sớm nhất để phục vụ người dân.



Cao tốc Cần Thơ - Cà Mau một trong những dự án trọng điểm của khu vực ĐBSCL đã hoàn thành.

BQLDA Mỹ Thuận tiếp tục chú trọng đổi mới phương thức quản lý dự án theo hướng hiện đại, nâng cao năng lực quản trị, đẩy mạnh ứng dụng công nghệ số, tăng cường kiểm soát chất lượng, tiến độ và hiệu quả đầu tư. Đội ngũ cán bộ, kỹ sư và người lao động không ngừng được đào tạo, bồi dưỡng nhằm đáp ứng yêu cầu ngày càng cao của các công trình quy mô lớn, kỹ thuật phức tạp.



Cao tốc Vân Phong - Nha Trang được hoàn thành và đưa vào sử dụng.

BQLDA 7 sẵn sàng cho những nhiệm vụ trọng điểm quốc gia giai đoạn mới

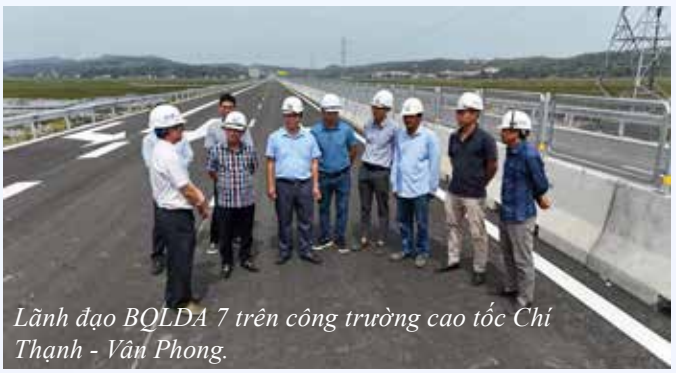
Sau khi hoàn thành và đưa vào khai thác nhiều dự án giao thông trọng điểm quốc gia, đặc biệt là các dự án thành phần thuộc tuyến cao tốc Bắc - Nam phía Đông, Ban Quản lý dự án (BQLDA) 7 đang bước vào giai đoạn chuyển tiếp với những nhiệm vụ mới, quy mô lớn hơn và yêu cầu cao hơn về năng lực quản lý, tổ chức thực hiện.

Năm 2026 được xác định là năm bản lề, đánh dấu bước chuyển từ giai đoạn hoàn thành các dự án cao tốc Bắc - Nam giai đoạn 2021 - 2025 sang công tác chuẩn bị đầu tư các dự án hạ tầng chiến lược của đất nước trong giai đoạn 2026 - 2030. Trên nền tảng kinh nghiệm tích lũy qua quá trình quản lý, điều hành nhiều dự án giao thông trọng điểm, BQLDA 7 đang chủ động chuẩn bị nguồn nhân lực, tổ chức bộ máy và nâng cao năng lực chuyên môn để sẵn sàng đảm nhận các nhiệm vụ mới được Bộ Xây dựng giao.

Trong thời gian tới, Ban tiếp tục hoàn thiện các thủ tục chuẩn bị đầu tư đối với Dự án cải tạo, nâng cấp Quốc lộ 1 đoạn qua các tỉnh Sóc Trăng - Bạc Liêu và Dự án đầu tư nâng cấp, mở rộng Quốc lộ 1 đoạn Bạc Liêu - Cà Mau; đồng thời chủ động tham gia công tác chuẩn bị đầu tư công trung hạn giai đoạn 2026 - 2030 khi được giao nhiệm vụ. Đây được xem là những bước chuẩn bị quan trọng nhằm tạo tiền đề triển khai các dự án giao thông quy mô lớn trong thời gian tới.

Đáng chú ý, trước yêu cầu phát triển hạ tầng giao thông đồng bộ, hiện đại theo định hướng của Đảng và Chính phủ, BQLDA 7 đang tập trung xây dựng đội ngũ cán bộ có trình độ chuyên sâu trong lĩnh vực đường sắt tốc độ cao và đường sắt đô thị. Đây là lĩnh vực hoàn toàn mới, đòi hỏi năng lực quản lý dự án, kỹ thuật và công nghệ ở trình độ cao. BQLDA 7 xác định việc đào tạo, bồi dưỡng nguồn nhân lực ngay từ bây giờ là nhiệm vụ trọng tâm nhằm đáp ứng yêu cầu triển khai các dự án đường sắt quy mô quốc gia trong thời gian tới.

Theo lãnh đạo BQLDA 7, những kinh nghiệm thực tiễn được tích lũy từ quá trình triển khai các dự án cao tốc Bắc - Nam phía



Lãnh đạo BQLDA 7 trên công trường cao tốc Chí Thạnh - Vân Phong.

Đông, cầu Mỹ Thuận 2 và nhiều dự án giao thông quan trọng khác sẽ là nền tảng quan trọng để đơn vị tiếp tục đảm nhận các nhiệm vụ mới. Trong đó, công tác quản lý tiến độ, kiểm soát chất lượng, giải ngân vốn đầu tư công, phối hợp với địa phương và xử lý các vấn đề kỹ thuật phức tạp là những thế mạnh đã được khẳng định qua thực tiễn.

Bên cạnh nhiệm vụ chuẩn bị cho các dự án mới, năm 2026 BQLDA 7 cũng tập trung hoàn thành công tác quyết toán, hoàn thiện các hạng mục còn lại của các dự án đã đưa vào khai thác như Vân Phong - Nha Trang, Chí Thạnh - Vân Phong, Vĩnh Hảo - Phan Thiết và cầu Mỹ Thuận 2; đồng thời phấn đấu giải ngân 100% kế hoạch vốn được giao.

Trong bối cảnh đất nước đang bước vào giai đoạn phát triển mới với hàng loạt công trình hạ tầng chiến lược được triển khai, từ hệ thống đường bộ cao tốc đến đường sắt tốc độ cao Bắc - Nam và các tuyến đường sắt đô thị, BQLDA 7 xác định tiếp tục đổi mới tổ chức, nâng cao chất lượng nguồn nhân lực, phát huy tinh thần chủ động, sáng tạo để sẵn sàng đảm nhận những nhiệm vụ lớn hơn, góp phần hiện thực hóa mục tiêu xây dựng hệ thống kết cấu hạ tầng giao thông hiện đại, đồng bộ và bền vững của đất nước.

NVICC: Đơn vị nòng cốt trong công tác kiểm định phương tiện giao thông đường bộ, đường sắt

> HỒNG XIÊM

Trung tâm Đăng kiểm phương tiện giao thông đường bộ và đường sắt (NVICC) là đơn vị sự nghiệp công lập trực thuộc Cục Đăng kiểm Việt Nam, có chức năng cung cấp đa dạng dịch vụ đăng kiểm và góp phần thúc đẩy phát triển hệ thống đăng kiểm phương tiện giao thông đường bộ, đường sắt.

KẾ THỪA, PHÁT HUY CÁC GIÁ TRỊ, TRUYỀN THỐNG TỐT ĐẸP

Trước yêu cầu đổi mới trong công tác quản lý nhà nước và cung cấp dịch vụ đăng kiểm lĩnh vực giao thông vận tải, ngày 09/12/2025, Bộ trưởng Bộ Xây dựng Trần Hồng Minh ký ban hành Quyết định số 2259/QĐ-BXD quy định chức năng, nhiệm vụ, quyền hạn và cơ cấu tổ chức của Cục Đăng kiểm Việt Nam. Theo đó, cơ cấu, tổ chức bộ máy của Cục Đăng kiểm Việt Nam được tổ chức, sắp xếp lại theo hướng cơ quan Cục thực hiện chức năng quản lý Nhà nước, 04 đơn vị sự nghiệp công lập trực thuộc Cục là thực hiện, cung cấp dịch vụ đăng kiểm. Quyết định trên cũng là dấu mốc ghi dấu sự ra đời của Trung tâm Đăng kiểm phương tiện giao thông đường bộ và đường sắt, trực thuộc Cục Đăng kiểm Việt Nam.

Tiếp đó, ngày 12/12/2025, Bộ trưởng Bộ Xây dựng ban hành Quyết định số 2298/QĐ-BXD quy định chức năng, nhiệm vụ, quyền hạn và cơ cấu tổ chức của Trung tâm Đăng kiểm phương tiện giao thông đường bộ và đường sắt trực thuộc Cục Đăng kiểm Việt Nam, với tên giao dịch chính thức bằng tiếng Anh: National Vehicle Inspection and Certification Center, tên viết tắt và nhận diện thương hiệu: NVICC. Trên cơ sở kế thừa các bộ phận, đơn vị của Cục, NVICC hiện có các phòng chức năng về phương tiện đường bộ, phương tiện đường sắt, chứng nhận hệ thống và 20 chi nhánh đăng kiểm xe cơ giới (kiểm định xe tham gia giao thông) phân bố ở các tỉnh, thành trên toàn quốc.

Ông Đỗ Văn Kha - Giám đốc NVICC cho biết, NVICC là đơn vị mới thành lập song được kế thừa lực lượng kỹ thuật, chuyên gia và hệ thống nghiệp vụ cốt lõi của Cục Đăng kiểm Việt Nam trong các lĩnh vực kiểm tra chất lượng phương tiện sản xuất lắp ráp, nhập khẩu, đánh giá sự phù hợp, giám định kỹ thuật, giám định tư pháp và kiểm định phương tiện giao thông đường bộ, đường sắt. Được sự quan tâm chỉ đạo sát sao của lãnh đạo Bộ Xây dựng, lãnh đạo Cục Đăng kiểm Việt Nam, đến nay NVICC đã đi vào hoạt động ổn định và đang tiếp tục duy trì, phát huy những giá trị, truyền thống tốt đẹp mà các thế hệ Đăng kiểm Việt Nam đã gây dựng trong hơn 60 năm qua. "Bên cạnh hoạt động cung cấp dịch vụ công và dịch vụ sự nghiệp công, NVICC còn tham gia hỗ trợ cơ quan quản lý nhà nước trong công tác xây dựng chính sách, quy chuẩn kỹ thuật, đánh giá sự phù hợp, giám định tư pháp, giám định kỹ thuật và đào tạo nguồn nhân lực đăng kiểm, góp phần xây dựng hệ thống đăng kiểm ngày càng hiện đại, phù hợp với nhu cầu phát triển của lĩnh vực giao thông vận tải, kinh tế - xã hội của đất nước", ông Kha chia sẻ thêm.

Trao đổi với PV Tạp chí Xây dựng, lãnh đạo một số Chi nhánh đăng kiểm trực thuộc NVICC cho biết, sau khi đơn vị được sắp xếp, chuyển về trực thuộc NVICC, hoạt động của các đơn vị tiếp tục ổn định và được đổi mới theo hướng gọn nhẹ, khoa học để nâng hiệu quả hoạt động, phục vụ tốt nhất người dân, doanh nghiệp. Trung tâm đã ban hành quy chế làm việc, với nguyên tắc "rõ người, rõ việc, rõ người chịu trách nhiệm" trong thực hiện nhiệm vụ được giao và phối hợp giải quyết công việc, tạo môi trường làm việc năng động, hiệu quả. Hiện NVICC thực hiện quản lý theo hệ thống quản lý chất lượng theo tiêu chuẩn ISO 9001:2015, hướng tới mục tiêu cao nhất là đảm bảo tính chính xác, chân thực, khách quan trong kiểm định, với mục tiêu cuối cùng là phương tiện giao thông đường bộ, đường sắt "An toàn trong mọi hành trình".

VAI TRÒ NÒNG CỐT TRONG HỆ THỐNG ĐĂNG KIỂM

Theo Quyết định số 2259/QĐ-BXD của Bộ trưởng Bộ Xây dựng, NVICC là đơn vị sự nghiệp công lập trực thuộc Cục Đăng kiểm Việt Nam, có chức năng thực hiện công tác đăng kiểm xe cơ giới, xe máy chuyên dùng, phụ tùng xe cơ giới, linh kiện, thiết bị, phương tiện giao thông đường sắt; kiểm định kỹ thuật an toàn lao động đối với máy, thiết bị, vật tư có yêu cầu nghiêm ngặt về an toàn lao động trên phương tiện giao thông vận tải đường bộ, đường sắt và trong cảng hàng không.

NVICC cũng được giao và đang triển khai các hoạt động



Ông Đỗ Văn Kha - Giám đốc NVICC (ngoài cùng, bên trái) trao quyết định bổ nhiệm một số Giám đốc chi nhánh trực thuộc NVICC.

MỘT SỐ KẾT QUẢ HOẠT ĐỘNG CỦA NVICC TRONG GẦN 6 THÁNG ĐẦU NĂM 2026:

** Cấp gần 2,653 triệu phiếu kiểm tra chất lượng xuất xưởng;*

** Cấp gần 200,4 nghìn giấy chứng nhận xe cơ giới nhập khẩu;*

** Kiểm tra gần 37,8 nghìn xe máy chuyên dùng nhập khẩu;*

** Kiểm định gần 212,4 nghìn lượt phương tiện;*

** Phát hiện và yêu cầu gần 26,5 nghìn phương tiện có khiếm khuyết kỹ thuật phải khắc phục, sửa chữa và kiểm định lại trước khi tham gia giao thông.*

** Kiểm tra 126 đầu máy và hơn 1.700 toa xe đường sắt.*









theo phạm vi nhiệm vụ, quyền hạn được giao, trong đó nổi bật, như: Xây dựng, ban hành và tổ chức thực hiện kế hoạch hàng năm về công tác đăng kiểm và kiểm định kỹ thuật an toàn lao động; Đề xuất và tham gia xây dựng, sửa đổi, bổ sung văn bản quy phạm pháp luật, quy chuẩn kỹ thuật quốc gia, tiêu chuẩn quốc gia và hướng dẫn chuyên môn nghiệp vụ có liên quan đến công tác đăng kiểm, kiểm định an toàn lao động; Thực hiện công tác đăng kiểm (gồm 10 dịch vụ kiểm tra, kiểm định phương tiện, thiết bị, linh kiện trong sản xuất, lắp ráp, nhập khẩu, lưu hành; đánh giá, chứng nhận cơ sở kiểm định, cơ sở bảo hành xe cơ giới…); Tham gia đánh giá cơ sở thử nghiệm, cơ sở chứng nhận, cơ sở đăng kiểm, tổ chức đánh giá sự phù hợp (của cơ sở) theo yêu cầu của Cục Đăng kiểm Việt Nam; Thực hiện công tác giám định tư pháp, giám định kỹ thuật theo quy định của pháp luật… Cùng đó, NVICC triển khai các hoạt động tư vấn, hợp tác, liên doanh, liên kết với các tổ chức, đơn vị trong và ngoài nước để cung cấp các dịch vụ kỹ thuật thuộc lĩnh vực phương tiện giao thông đường bộ, đường sắt và kiểm định máy, thiết bị có yêu cầu nghiêm ngặt về an toàn lao động theo quy định; nghiên cứu khoa học, phát triển, ứng dụng và chuyển giao công nghệ trong công tác đăng kiểm;

Với vai trò, chức năng quan trọng trên, tập thể lãnh đạo, cán bộ, viên chức, người lao động của NVICC luôn đoàn kết, thống nhất để thực hiện tốt nhất các nhiệm vụ được giao. Trong đó, chú trọng giữ vững và nâng cao chất lượng dịch vụ kiểm định nhằm đảm bảo chất lượng an toàn kỹ thuật và bảo vệ môi trường của phương tiện, linh kiện phương tiện giao thông đường bộ, đường sắt xuyên suốt từ nhà máy, nơi sản xuất và trong quá trình lưu hành, tham gia giao thông… góp phần quản lý hiệu quả phương tiện, thiết bị GTVT và tạo thuận lợi, hài lòng cho doanh nghiệp, người dân.

Chia sẻ với PV Tạp chí Xây dựng, một số doanh nghiệp hoạt động trong lĩnh vực sản xuất, lắp ráp ô tô, xe máy và chủ phương tiện khi thực hiện kiểm định tại đơn vị đăng kiểm tại VNICC đều bày tỏ sự hài lòng, đánh giá cao chất lượng dịch vụ đăng kiểm, tiến độ giải quyết công việc của NVICC và bộ phận, chi nhánh trực thuộc.



Tăng hơn 2.000 chỉ tiêu, Học viện Hàng không Việt Nam đón cơ hội từ sân bay Long Thành, Gia Bình

> PV

Trước làn sóng bùng nổ của nền kinh tế số và cột mốc vận hành siêu Sân bay quốc tế Long Thành, Gia Bình, Học viện Hàng không Việt Nam (VAA) vừa chính thức công bố phương án tuyển sinh năm 2026. Không chỉ là đợt mở rộng quy mô lớn mà VAA còn gây sốt khi trình làng những ngành học "thời thượng", cam kết tấm vé vàng cho tương lai của Gen Z.

Trong bức tranh tuyển sinh năm nay, Học viện Hàng không Việt Nam (VAA) gây bất ngờ lớn khi tăng mạnh hơn 2.000 chỉ tiêu so với năm ngoái, nâng tổng số cơ hội chạm tay vào giảng đường lên con số 6.832. Đây không đơn thuần là một con số tăng trưởng cơ học, mà là chiến lược "đón đầu" đầy tham vọng. Khi các đại dự án hạ tầng trọng điểm như sân bay Long Thành, Gia Bình đi vào hoạt động, cùng với tốc độ chuyển đổi số quốc gia thần tốc, thị trường lao động sẽ chứng kiến cơn khát nhân lực chất lượng cao chưa từng có. VAA đang mở rộng cánh cửa để đón những người đi đầu..

1. NHỮNG "THỎI NAM CHÂM" MỚI: HỌC GÌ ĐỂ KHÔNG SỢ BỊ THAY THẾ BỞI AI

Dù mới xuất hiện từ năm 2025 với mức điểm chuẩn cao ngất ngưởng (24,5 điểm thi THPT và 27,16 điểm học bạ), năm nay VAA tiếp tục nâng quy mô lên 540 chỉ tiêu. Đặc biệt, trường mở thêm hai chuyên ngành cực "cuốn": Digital Marketing và Công nghệ Marketing (MarTech) -nơi đào tạo những phù thủy truyền thông làm chủ dữ liệu và AI.. marketing không còn đơn thuần là quảng cáo hay truyền thông, mà đang gắn chặt với dữ liệu, AI, hành vi khách hàng và các nền tảng số. Đây cũng là một trong những nhóm nghề có nhu cầu tuyển dụng tăng nhanh nhất hiện nay. Mã ngành: 7340115.

2. CÔNG NGHỆ TÀI CHÍNH (FINTECH) VÀ KINH TẾ SỐ: LÀM CHỦ DÒNG TIỀN THỜI ĐẠI MỚI

Khi ngân hàng số, ví điện tử, blockchain, dữ liệu lớn và AI đang làm thay đổi cách thế giới vận hành, VAA tiên phong đào tạo những chiến binh am hiểu cả công nghệ lẫn tài chính.

Công nghệ tài chính (Fintech): 300 chỉ tiêu, mã ngành: 7340205. Sinh viên được trang bị kiến thức về tài chính, ngân hàng, công nghệ thông tin, dữ liệu và các giải pháp tài chính thông minh và được săn đón ngay từ ghế nhà trường bởi các ngân hàng số và startup.

Kinh tế số: 180 Chỉ tiêu, mã ngành: 7310109. Ngành học tập trung vào quản trị, phân tích dữ liệu, thương mại điện tử, kinh doanh trên nền tảng số và các mô hình kinh tế mới. Đây là ngành học "vàng" của thập kỷ tới khi mọi doanh nghiệp đều dịch chuyển lên môi trường số.

3. KINH TẾ KHÔNG GIAN: ĐÓN ĐẦU NỀN KINH TẾ TỶ ĐÔ CỦA TƯƠNG LAI

Lần đầu tiên, một chuyên ngành mang tầm vóc tương lai xuất hiện: Kinh tế không gian, thuộc ngành Quản trị kinh doanh, mã xét tuyển: 7340101. Sinh viên không chỉ được học về quản trị kinh doanh mà còn được trang bị kiến thức về kinh tế tầm thấp, hạ tầng hàng không - không gian, quản lý dự án công nghệ cao, chuyển đổi số và đổi mới sáng tạo, sẵn sàng tham gia vào những ngành nghề được dự báo sẽ bùng nổ trong thập niên tới. Đây là nơi đào tạo quản trị các dự án công nghệ cao, thiết bị bay không người lái (UAV) và hạ tầng hàng không thế hệ mới.



4. CÔNG NGHỆ BÁN DẪN VÀ VI MẠCH: NGÀNH HỌC ĐỨNG SAU MỌI CHIẾC SMARTPHONE VÀ AI

AI có thể đang là tâm điểm, nhưng phía sau AI, smartphone, ô tô thông minh hay máy bay thế hệ mới đều là những con chip bán dẫn. Nắm bắt xu hướng công nghệ toàn cầu, năm 2026 VAA tuyển sinh chuyên ngành Công nghệ bán dẫn và vi mạch (chỉ tiêu: 40; mã xét tuyển: 7510302B)

Đây là lĩnh vực được nhiều quốc gia xem là "trái tim" của nền kinh tế công nghệ cao và đang thiếu hụt nhân lực trên phạm vi toàn cầu.

Khi Việt Nam đang trở thành điểm đến của nhiều tập đoàn công nghệ và bán dẫn hàng đầu thế giới, đây được xem là ngành học dành cho những bạn trẻ muốn tham gia vào cuộc đua công nghệ tương lai, với cơ hội nghề nghiệp rộng mở và mức thu nhập đầy triển vọng.

5. NGÔN NGỮ & DỊCH VỤ HẠNG SANG: "HỘ CHIẾU" RA THẾ GIỚI

Không dừng lại ở kỹ thuật và kinh tế, VAA năm 2026 thiết kế những ngành học mang tính ứng dụng cao, giúp sinh viên sở hữu mức thu nhập cạnh tranh vượt trội. Bộ đôi Ngôn ngữ Trung Quốc (480 chỉ tiêu - Mã: 7220204) & Ngôn ngữ Hàn Quốc (180 chỉ tiêu - Mã: 7220210): Không chỉ học vẹt từ vựng, sinh viên được đào tạo chuyên sâu về thương mại quốc tế, du lịch và dịch vụ hàng không để sẵn sàng làm việc tại các tập đoàn đa quốc gia.

Quản trị Ẩm thực (Mã: 7810103F) & Quản trị Du lịch MICE & Tổ chức sự kiện (Mã: 7810103M): Với 120 chỉ tiêu cho mỗi chuyên ngành, đây là tấm vé bước vào ngành công nghiệp trải nghiệm trị giá tỷ đô, khi Việt Nam trở thành điểm đến của các hội nghị, sự kiện siêu lớn mang tầm quốc tế.

6. KIẾN TRÚC CẢNH QUAN: NGÀNH HỌC CỦA ĐÔ THỊ XANH VÀ SÂN BAY THẾ HỆ MỚI

Kiến trúc cảnh quan (123 chỉ tiêu - Mã: 7580102): Ngành học đón đầu xu hướng "đô thị sân bay" (Aerotropolis) và không gian xanh. Sân bay tương lai không còn chỉ là nơi cất hạ cánh mà trở thành trung tâm kinh tế - dịch vụ - đô thị hiện đại, nhu cầu nhân lực trong lĩnh vực này được dự báo sẽ tăng nhanh trong những năm tới.

Không chỉ đào tạo cho hôm nay, VAA đang chuẩn bị nguồn nhân lực cho 10 năm tới

Nếu trước đây người ta chỉ nghĩ đến VAA khi muốn làm phi công, tiếp viên hay kiểm soát viên không lưu, thì năm 2026, Học viện Hàng không Việt Nam đã lột xác thành một đại học ứng dụng đa ngành đại diện cho tương lai.

Với triết lý "đào tạo hôm nay cho công việc ngày mai", VAA không chỉ cho con em bạn một tấm bằng, mà trang bị cho các bạn một bộ kỹ năng sinh tồn, thích ứng và dẫn đầu trong kỷ nguyên số. Giữa lúc thị trường lao động nhiều biến động, việc chọn một ngôi trường tựa lưng vào một ngành kinh tế mũi nhọn (Hàng không - Công nghệ) chính là bước đi thông minh và an toàn nhất của các bậc phụ huynh và thí sinh lúc này.❖

Dấu ấn Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong chuỗi hoạt động Việt Nam - Hà Lan

> BẢO CHÂU

Chuyến thăm của tàu HNLMS De Ruyter thuộc Hải quân Hoàng gia Hà Lan tới Hải Phòng đã mở ra nhiều hoạt động giao lưu, hợp tác ý nghĩa giữa Việt Nam và Hà Lan. Đồng hành cùng chuỗi sự kiện, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam đã để lại dấu ấn thông qua nhiều hoạt động đối ngoại, học thuật và kết nối quốc tế.

SÔI NỔI CÁC HOẠT ĐỘNG GIAO LƯU, ĐỐI NGOẠI VIỆT NAM - HÀ LAN

Trong khuôn khổ chương trình, chiều 29/5/2026, PGS.TS Phạm Xuân Dương - Hiệu trưởng Trường Đại học Hàng hải Việt Nam, Chủ tịch Hội Hữu nghị và Hợp tác Việt Nam - Hà Lan TP Hải Phòng đã tham dự chương trình chào xã giao đoàn Hải quân Hoàng gia Hà Lan cùng lãnh đạo thành phố và đại diện các cơ quan, đơn vị liên quan.

Tiếp nối các hoạt động đối ngoại, sáng 30/5/2026, PGS.TS Phạm Xuân Dương cùng cán bộ, giảng viên và sinh viên Nhà trường tham gia Chương trình Đạp xe Hữu nghị Hà Lan - Hải Phòng 2026. Sự kiện được tổ chức nhằm chào mừng chuyến thăm của tàu HNLMS De Ruyter tới thành phố cảng Hải Phòng, đồng thời lan tỏa thông điệp về lối sống xanh, phát triển bền vững và bảo vệ môi trường.

Hàng trăm người tham gia đã cùng đạp xe qua các tuyến đường trung tâm thành phố, tạo nên hình ảnh sinh động về một Hải Phòng năng động, thân thiện và hội nhập. Đây cũng là dịp để tăng cường giao lưu văn hóa, thúc đẩy sự hiểu biết và tình hữu nghị giữa nhân dân TP Hải Phòng với nhân dân Hà Lan, góp phần làm sâu sắc hơn quan hệ hợp tác giữa hai quốc gia.

Cùng ngày, PGS.TS Nguyễn Minh Đức - Phó Hiệu trưởng Trường Đại học Hàng hải Việt Nam đại diện Nhà trường tham dự chương trình giao lưu được tổ chức trên tàu HNLMS De Ruyter. Tại đây, PGS.TS Nguyễn Minh Đức đã trao tặng quà lưu niệm tới Chuẩn đô đốc Jeanette Morang và Thuyền trưởng Rodger de Wit, thể hiện tình cảm hữu nghị và mong muốn tăng cường quan hệ hợp tác giữa Nhà trường với Hải quân Hoàng gia Hà Lan.

Trong không khí thân mật và cởi mở, đại diện chỉ huy tàu bày tỏ sự ấn tượng trước quy mô đào tạo, năng lực huấn luyện hàng hải của Trường Đại học Hàng hải Việt Nam. Hai bên đã trao đổi về các lĩnh vực cùng quan tâm, đặc biệt là đào tạo nguồn nhân lực chất lượng cao, giao lưu học thuật và các cơ hội hợp tác trong lĩnh vực hàng hải thời gian tới.

THÚC ĐẨY HỢP TÁC HỌC THUẬT VÀ KẾT NỐI QUỐC TẾ

Không chỉ tham gia các hoạt động giao lưu đối ngoại, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam còn là cầu nối thúc đẩy hợp tác học thuật giữa các đối tác Hà Lan với đội ngũ giảng viên, sinh viên Nhà trường.

Chiều 29/5/2026, Nhà trường đã đón tiếp và làm việc với ông Jens Kuitert - Bí thư thứ hai Đại sứ quán Vương quốc Hà Lan tại Việt Nam và GS Mamadou Hébié - Đại học Leiden (Hà Lan), nguyên Trợ lý Chủ tịch Tòa án Công lý Quốc tế của Liên hợp quốc.

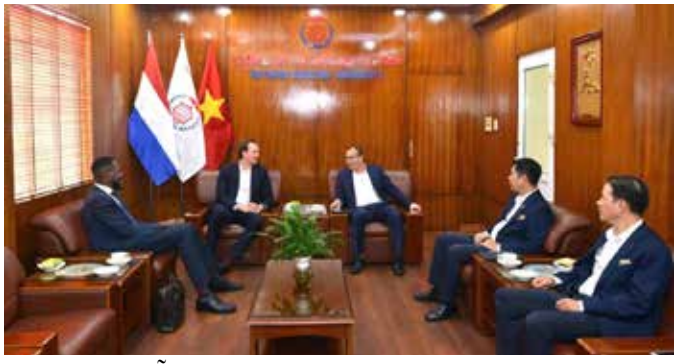
Tại buổi làm việc, PGS.TS Nguyễn Minh Đức đã giới thiệu về quy mô đào tạo, năng lực huấn luyện cùng những thành tựu nổi bật trong nghiên cứu khoa học và hợp tác quốc tế của Nhà trường. Hiện nay, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam đang duy trì nhiều hoạt động hợp tác hiệu quả với các doanh nghiệp, tập đoàn hàng đầu của Hà Lan trong lĩnh vực hàng hải và đóng tàu như Damen Shipyards Group, Công ty TNHH Vanderleun cùng nhiều cơ sở giáo dục, nghiên cứu uy tín, trong đó có Đại học Kỹ thuật Delft.

Đánh giá cao những kết quả hợp tác giữa Nhà trường và các đối tác Hà Lan, ông Jens Kuitert bày tỏ sự trân trọng đối với mối quan hệ hữu nghị truyền thống giữa Việt Nam và Hà Lan, đồng thời ghi nhận vai trò tích cực của Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong việc đồng hành cùng các hoạt động giao lưu nhân dịp tàu HNLMS De Ruyter thăm Hải Phòng.

Cũng trong ngày 29/5/2026, GS Mamadou Hébié đã có buổi trao đổi học thuật với giảng viên và sinh viên Nhà trường về chủ đề "Trọng tài và Luật Hàng hải quốc tế". Những nội dung chuyên sâu liên quan đến Công ước Liên hợp quốc về Luật Biển năm 1982 (UNCLOS 1982), cơ chế giải quyết



PGS.TS Phạm Xuân Dương - Hiệu trưởng Trường Đại học Hàng hải Việt Nam cùng Phó Chủ tịch UBND TP Hải Phòng Trần Văn Quân, Đại sứ Hà Lan và Chuẩn Đô đốc Jeanette Morang cùng cán bộ, giảng viên và sinh viên Nhà trường tham gia Chương trình Đạp xe hữu nghị Hà Lan - Hải Phòng 2026.



PGS.TS Nguyễn Minh Đức - Phó Hiệu trưởng Trường Đại học Hàng hải Việt Nam làm việc với Đoàn công tác Vương quốc Hà Lan.



Buổi chia sẻ của GS Mamadou Hébié với sự tham gia của đông đảo giảng viên và sinh viên Nhà trường.

tranh chấp quốc tế và các vấn đề thực tiễn trong phân định biển giữa các quốc gia đã thu hút sự quan tâm của đông đảo giảng viên, sinh viên tham dự.

Buổi trao đổi không chỉ mang đến nhiều kiến thức bổ ích về pháp luật hàng hải quốc tế mà còn tạo cơ hội để giảng viên, sinh viên tiếp cận những góc nhìn học thuật mới, nâng cao hiểu biết về các vấn đề pháp lý trong bối cảnh ngành Hàng hải toàn cầu đang phát triển mạnh mẽ và ngày càng hội nhập sâu rộng.

Là một trong những cơ sở giáo dục đại học có quan hệ hợp tác sâu rộng với các đối tác Hà Lan trong lĩnh vực hàng hải, đóng tàu và đào tạo nguồn nhân lực, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam luôn tích cực tham gia các hoạt động giao lưu, hợp tác giữa Hải Phòng và Hà Lan. Việc đồng hành cùng chuỗi hoạt động nhân dịp tàu HNLMS De Ruyter thăm TP Hải Phòng tiếp tục khẳng định vị thế, uy tín và vai trò chủ động của Nhà trường trong hội nhập quốc tế, đồng thời góp phần vun đắp quan hệ hữu nghị, hợp tác tốt đẹp giữa Hải Phòng và Vương quốc Hà Lan trong những năm tới.❖



Tàu hộ vệ HNLMS De Ruyter tại cầu cảng Tân Vũ (Hải Phòng).

CONINCO: Chiến lược chuyển đổi số và chủ động đón đầu các dự án hạ tầng trọng điểm quốc gia



NGỌC HÀ

Dưới áp lực đổi mới công nghệ và hội nhập sâu rộng, ngành Xây dựng Việt Nam đang chuyển mình mạnh mẽ, đòi hỏi ngày càng cao về chất lượng, tiến độ và tính bền vững công trình. Trong bối cảnh đó, CONINCO tiếp tục khẳng định vị thế là một trong những đơn vị tư vấn hàng đầu. Gần nửa thế kỷ phát triển, doanh nghiệp đã xây dựng nền tảng vững chắc từ kinh nghiệm thực tiễn tại nhiều dự án trọng điểm quốc gia, kết hợp tầm nhìn chiến lược và sức mạnh tập thể hơn 1.600 cán bộ, nhân viên dưới sự điều hành của HĐQT và Ban Tổng giám đốc.



CONINCO dịp kỷ niệm 47 năm thành lập Công ty.

BỀ DÀY DI SẢN VÀ NHỮNG DẤU ẤN KIẾN TẠO VỊ THẾ

Được thành lập từ năm 1979, hành trình phát triển của CONINCO gắn liền với lịch sử kiến thiết và hiện đại hóa đất nước. Gần nửa thế kỷ qua, từ những công trình nền tảng thuở ban đầu, CONINCO đã vươn mình trở thành một trong những đơn vị tư vấn hàng đầu, tham gia vào hàng loạt dự án trọng điểm mang tầm vóc quốc gia.

Dấu ấn của đội ngũ kỹ sư, chuyên gia CONINCO hiện diện ở khắp mọi miền, trải dài trên nhiều lĩnh vực thiết yếu. Đó là, các công trình chính trị - kinh tế - văn hóa - y tế như: Nhà Quốc hội, Trung tâm Hội nghị Quốc gia, Nhà hát Hồ Gươm, Bảo tàng lịch sử quân sự, Trung tâm vũ trụ Việt Nam, Trung tâm Dữ liệu Quốc gia, Trung tâm Hội nghị APEC, Bệnh viện Quân đội 108…

Bên cạnh đó là các hệ thống hạ tầng giao thông quy mô lớn như hầu hết các sân bay quốc tế, quốc nội tại Việt Nam; hệ thống đường cao tốc Bắc - Nam, hệ thống cầu, đường…; trụ sở các cơ quan ban ngành Bộ Công an, Viện kiểm sát nhân dân tối cao, Toà án nhân dân tối cao; MB Tower; Petrolimex… Bề dày lịch sử với hàng nghìn dự án thành công chính là di sản vô giá, khẳng định năng lực chuyên môn sâu rộng và độ tín nhiệm tuyệt đối từ các chủ đầu tư.

Song hành với đó là hệ thống quản trị của CONINCO không ngừng được kiện toàn để luôn giữ vững nhịp độ phát triển trước những biến động của thị trường. Nhờ bộ máy được tổ chức khoa học và sự linh hoạt trong điều hành, công ty đã vững vàng vượt qua nhiều giai đoạn thử thách, chuẩn bị nguồn lực toàn diện cho chặng đường hội nhập.

KẾ THỪA NỀN TẢNG VỮNG CHẮC, LINH HOẠT BỨT PHÁ TRONG GIAI ĐOẠN MỚI

Bước vào năm 2026, CONINCO đánh dấu một giai đoạn phát triển mới thông qua việc kiện toàn bộ máy lãnh đạo cấp cao. Trong đó, tân Chủ tịch HĐQT - TS Hà Minh với bề dày gần 30 năm gắn bó cùng ngành, hơn 10 năm nghiên cứu và giảng dạy tại Đại học

Tổng hợp Saitama (Nhật Bản), đồng thời sở hữu hơn 50 công trình khoa học quốc tế mang dấu ấn cá nhân, ông nổi bật với tư duy quản trị đề cao tính kỷ luật và các chuẩn mực kỹ thuật khắt khe. Mới đây, TS Hà Minh tiếp tục khẳng định uy tín chuyên môn khi được các chuyên gia tín nhiệm bầu làm Phó Chủ tịch kiêm Tổng thư ký Hội Kết cấu và công nghệ xây dựng Việt Nam (VASECT).

Song hành trong công tác điều hành là tân Tổng giám đốc Nguyễn Đăng Quang - KTS ASEAN, một nhà lãnh đạo mang đậm chất tư vấn thiết kế, trực tiếp đứng sau hàng loạt dự án quy mô lớn như: Cảng HKQT Phú Bài, Petrolimex Tower, Tòa án Nhân dân Tối cao… và nhiều đồ án quy hoạch trọng điểm…

Sự kết hợp chặt chẽ giữa nền tảng học thuật chuyên sâu và kinh nghiệm thực chiến dày dặn của Ban điều hành sẽ giúp công ty linh hoạt thích ứng với các xu hướng xây dựng toàn cầu.

Trên nền tảng sức mạnh đoàn kết và luôn đặt con người là giá trị cốt lõi của CONINCO, chiến lược quản trị năm 2026 tập trung khơi dậy tối đa năng lực của đội ngũ hơn 1.600 cán bộ, kỹ sư và kiến trúc sư. Hoạt động điều hành được triển khai đồng bộ từ định hướng của HĐQT, sự quyết liệt của Ban Tổng giám đốc đến quá trình thực thi chuẩn xác trên từng bản vẽ và công trường.

Bằng việc duy trì môi trường làm việc minh bạch, liên tục đào tạo chuyên môn và đẩy mạnh ứng dụng công nghệ số, CONINCO đảm bảo một hệ sinh thái làm việc thống nhất, sẵn sàng đáp ứng các tiêu chuẩn khắt khe và giải quyết hiệu quả những bài toán kỹ thuật phức tạp từ chủ đầu tư.

CHUYỂN ĐỔI SỐ - NỀN TẢNG TÁI CẤU TRÚC QUẢN TRỊ VÀ TỐI ƯU HÓA NGUỒN NHÂN LỰC

Tại CONINCO, chuyển đổi số được xác định là giải pháp chiến lược trọng tâm nhằm tái cấu trúc năng lực quản trị. Điểm khác biệt trong chiến lược số hóa của CONINCO là lấy con người làm trung tâm. Mục tiêu cao nhất của việc ứng dụng công nghệ là tinh gọn quy trình, giảm tải áp lực hành chính, để đội ngũ trí thức tập trung tối đa vào chuyên môn và sáng tạo, hướng tới xây dựng một môi trường làm việc "Văn minh - Chuyên nghiệp - Hạnh phúc".

Để hiện thực hóa tầm nhìn này, CONINCO đang xây dựng một hệ sinh thái dữ liệu thông minh, thiết kế chuyên biệt cho đặc thù ngành tư vấn xây dựng. Doanh nghiệp tiếp cận với các nền tảng công nghệ toàn cầu thông qua mạng lưới hợp tác sâu rộng với các đơn vị đầu ngành như Trường Đại học Công nghệ (UET) - ĐHQGHN, cũng như phối hợp cùng các tập đoàn công nghệ lớn để đưa Trí tuệ nhân tạo (AI) vào thực tiễn tư vấn.

Năng lực số hóa liên tục được cập nhật thông qua các hoạt động nghiên cứu, trải nghiệm thực tế của Ban lãnh đạo tại các quốc gia có nền tảng hạ tầng kỹ thuật tiên tiến. Chính sự kết hợp giữa tri thức hàn lâm và công nghệ thực tiễn sẽ giúp CONINCO thiết lập hệ thống kiểm soát chất lượng và quản trị rủi ro chặt chẽ cho các công trình trọng điểm quốc gia.

CHỦ ĐỘNG ĐÓN ĐẦU CÁC DỰ ÁN HẠ TẦNG TRỌNG ĐIỂM VÀ HỘI NHẬP QUỐC TẾ SÂU RỘNG

Đứng trước chu kỳ phát triển mới của ngành Xây dựng Việt Nam, CONINCO kiên định với chiến lược mở rộng phân khúc trọng điểm trên cơ sở giữ vững thị trường truyền thống. Bên cạnh việc duy trì vị thế dẫn đầu trong mảng tư vấn công trình dân dụng, công nghiệp, hệ thống cảng hàng không… doanh nghiệp đang bước vào giai đoạn chuyển dịch mang tính chiến lược: chủ động tham gia sâu vào các dự án hạ tầng kỹ thuật quốc gia như đường sắt đô thị, đường sắt tốc độ cao…

Nhằm đón đầu làn sóng đầu tư hạ tầng mới, CONINCO đã tiến hành chuẩn hóa năng lực đội ngũ thông qua các chương trình đào tạo chuyên môn sâu, trực tiếp học hỏi kinh nghiệm quy hoạch và vận hành tại các quốc gia đi đầu về hạ tầng.



Chủ tịch HĐQT TS Hà Minh trao biên bản ghi nhớ cùng đối tác Lào dưới sự chứng kiến của ngài Bộ trưởng Bộ Công chính và Vận tải Lào.



Tổng giám đốc Nguyễn Đăng Quang (thứ 3 từ trái sang) cùng đoàn công tác Bộ Xây dựng làm việc với Viện Quy hoạch và thiết kế đô thị, Viện Thiết kế kiến trúc, Viện Nghiên cứu kiến trúc thuộc Đại học Đồng Tế, Trung Quốc.

Việc hợp tác với các tập đoàn uy tín quốc tế để thiết lập các bộ quy trình đào tạo cấp cao, độc quyền cho kỹ sư của hệ thống minh chứng cho sự chuẩn bị kỹ lưỡng về mặt kỹ thuật. Đồng thời, bên cạnh việc thắt chặt quan hệ với các đối tác truyền thống từ Nhật Bản, Hàn Quốc,và các nước phát triển, chiến lược "xuất khẩu" năng lực tư vấn sang các quốc gia Đông Nam Á thông qua các hợp tác phát triển hạ tầng giao thông liên quốc gia đang từng bước khẳng định tầm vóc và năng lực cạnh tranh của CONINCO trên bản đồ xây dựng khu vực.

Chặng đường gần nửa thế kỷ hình thành và phát triển đã hun đúc nên một CONINCO bản lĩnh, kiên cường và giàu năng lực cống hiến. Bước vào năm 2026, với sự chuyển giao nhịp nhàng của thế hệ lãnh đạo, một chiến lược chuyển đổi số thực chất và sự gắn kết tuyệt đối của một tập thể lớn mạnh, CONINCO đang hội tụ đầy đủ những nguồn lực mạnh mẽ để kiến tạo những bước đột phá mới.

Kiên định với triết lý "Chắc chắn cho tương lai", tập thể CONINCO cam kết tiếp tục là đối tác tận tâm, trí tuệ và đáng tin cậy của các chủ đầu tư. Bằng sức mạnh đoàn kết và tư duy công nghệ nhạy bén, CONINCO sẽ tiếp tục kiến tạo nên những công trình mang dấu ấn thời đại, đóng góp thiết thực vào sự phồn vinh của đất nước và sự phát triển bền vững của ngành Xây dựng Việt Nam.



Dấu ấn Phúc Đạt Group từ dự án hơn 2.300 tỷ đồng tại Hà Tĩnh

> YÊN THƯ

Trong tiến trình thực hiện Đề án xây dựng ít nhất 1 triệu căn NƠXH đến năm 2030, sự tham gia của các doanh nghiệp có năng lực, kinh nghiệm và tầm nhìn dài hạn đang trở thành nhân tố quan trọng. Dự án NƠXH hơn 2.300 tỷ đồng tại Hà Tĩnh do Phúc Đạt Group triển khai là một minh chứng cho vai trò ngày càng nổi bật của doanh nghiệp trong phát triển nhà ở an sinh.

PHÁT TRIỂN NƠXH - NHIỆM VỤ AN SINH TRỌNG TÂM TRONG CHIẾN LƯỢC QUỐC GIA

Phát triển nhà ở cho người thu nhập thấp, công nhân và các đối tượng chính sách luôn được xác định là nhiệm vụ trọng tâm trong chiến lược an sinh xã hội của Việt Nam. Trong bối cảnh quá trình đô thị hóa diễn ra mạnh mẽ, nhu cầu nhà ở ngày càng gia tăng, đặc biệt tại các địa phương phát triển công nghiệp, việc đẩy mạnh đầu tư NƠXH không chỉ góp phần bảo đảm an cư cho người dân mà còn tạo nền tảng cho phát triển kinh tế - xã hội bền vững.

Để hiện thực hóa mục tiêu đó, Chính phủ đã phê duyệt Đề án đầu tư xây dựng ít nhất 1 triệu căn hộ NƠXH giai đoạn 2021-2030. Đây được xem là chương trình có quy mô lớn nhất từ trước đến nay trong lĩnh vực nhà ở dành cho người thu nhập thấp.

Theo Bộ Xây dựng, tính đến hết tháng 5/2026, trên cả nước đang triển khai đầu tư xây dựng 786 dự án NƠXH với tổng quy mô khoảng 725.146 căn, đạt 72,5% so với chỉ tiêu của Đề án đầu tư xây dựng ít nhất 1 triệu căn NƠXH cho đối tượng thu nhập thấp và công nhân khu công nghiệp giai đoạn 2021-2030.

Tuy nhiên, để hoàn thành mục tiêu đề ra vào năm 2030, cần có sự tham gia mạnh mẽ hơn nữa từ khu vực doanh nghiệp nhằm huy động nguồn lực xã hội, đẩy nhanh tiến độ và nâng cao chất lượng các dự án.

Trong bức tranh chung đó, Hà Tĩnh nổi lên là một trong những địa phương đang đẩy mạnh phát triển NƠXH nhằm đáp ứng nhu cầu nhà ở ngày càng tăng của người lao động, cán bộ, công chức và các gia đình trẻ. Dự án NƠXH Hà Tĩnh do Phúc Đạt Group thực hiện đang thu hút sự quan tâm của thị trường bởi quy mô lớn, định hướng phát triển hiện đại và vai trò tiên phong của doanh nghiệp.

DẤU ẤN PHÚC ĐẠT GROUP TỪ DỰ ÁN NƠXH HƠN 2.300 TỶ ĐỒNG TẠI HÀ TĨNH

Năm 2025, UBND tỉnh Hà Tĩnh đã quyết định giao chủ đầu tư Phúc Đạt Group thực hiện Dự án xây dựng NƠXH tại phường Trần Phú (trước đây là phường Thạch Trung, TP Hà Tĩnh). Đây được đánh giá là một trong những dự án NƠXH có quy mô lớn nhất từ trước đến nay trên địa bàn tỉnh.

Dự án được triển khai trên diện tích khoảng 6,2 ha, với tổng vốn đầu tư hơn 2.381 tỷ đồng. Theo quy hoạch, dự án gồm 5 tòa NƠXH cao 15 tầng, với khoảng 1.520 căn hộ và 1 tòa nhà ở thương mại cao 15 tầng với khoảng 273 căn hộ. Khi hoàn thành, dự án dự kiến đáp ứng nhu cầu nhà ở cho khoảng 6.000 - 7.000 người dân, chủ yếu là các đối tượng thu nhập thấp, công nhân, cán bộ, công chức và lực lượng vũ trang trên địa bàn.

Việc được lựa chọn triển khai dự án NƠXH quy mô lớn tại Hà Tĩnh đánh dấu một cột mốc quan trọng đối với Phúc Đạt Group trong dịp doanh nghiệp tròn 20 năm hình thành và phát triển. Theo thông tin từ doanh nghiệp, đây không đơn thuần là một dự án đầu tư mà còn là sự tiếp nối định hướng phát triển các giá trị bền vững cho cộng đồng.

Trải qua hai thập kỷ hoạt động, Phúc Đạt Group đã tham gia phát triển nhiều khu dân cư, khu đô thị và các công trình phục vụ cộng đồng tại nhiều địa phương như: Khu đô thị Phúc Đạt Phú Lợi, khu nhà ở thương mại Phúc Đạt Tân Uyên, khu nhà ở thương mại Phúc Đạt Tân Đông Hiệp, khu nhà ở Nam An Bàu Bàng - Phúc Đạt Gold City, Chung cư Phúc Đạt Connect 1, Chung cư Phúc Đạt Connect 2, Minh Quốc Plaza, Chung cư NƠXH Phúc Đạt Tân Uyên… Doanh nghiệp xác định triết lý lấy con người làm trung tâm trong quá trình đầu tư, hướng tới đáp ứng nhu cầu thực tế về an cư và nâng cao



Lễ động thổ Dự án NƠXH tại Hà Tĩnh.

chất lượng sống cho người dân.

Việc tham gia phát triển NƠXH tại Hà Tĩnh cho thấy xu hướng ngày càng rõ nét của các doanh nghiệp BĐS khi chuyển từ mục tiêu phát triển sản phẩm đơn thuần sang đồng hành cùng các chương trình an sinh xã hội của quốc gia.

Trong bối cảnh đô thị trung tâm của tỉnh Hà Tĩnh đang phát triển nhanh, nhu cầu về nhà ở, nhất là NƠXH cho các đối tượng thu nhập thấp, công nhân, người lao động ngày càng gia tăng. Việc triển khai các NƠXH được quy hoạch bài bản, đồng bộ không chỉ đáp ứng nhu cầu trước mắt mà còn góp phần hình thành các khu dân cư văn minh, hiện đại, bền vững trong dài hạn.

TỪ BÀI TOÁN AN CƯ ĐẾN KIẾN TẠO CỘNG ĐỒNG SỐNG CHẤT LƯỢNG

Thực tế cho thấy, nhu cầu của người dân hiện nay không còn dừng ở việc sở hữu một căn hộ có giá phù hợp. Người mua nhà ngày càng quan tâm đến hạ tầng kỹ thuật, tiện ích xã hội, môi trường sống, khả năng kết nối giao thông và giá trị sử dụng lâu dài của dự án.

Trong bối cảnh đó, vai trò của doanh nghiệp trở nên đặc biệt quan trọng. Nếu trước đây, NƠXH thường được nhìn nhận là lĩnh vực có biên lợi nhuận thấp, ít hấp dẫn nhà đầu tư thì hiện nay nhiều doanh nghiệp đã tiếp cận theo hướng dài hạn hơn, xem đây là cơ hội đóng góp cho cộng đồng đồng thời khẳng định năng lực phát triển dự án.

Một trong những điểm đáng chú ý của dự án NƠXH Hà Tĩnh của Phúc Đạt Group là định hướng phát triển theo mô hình khu dân cư đồng bộ thay vì chỉ tập trung giải quyết nhu cầu chỗ ở.

Theo định hướng của chủ đầu tư, dự án được quy hoạch với không gian xanh, hệ thống tiện ích cộng đồng, khu vui chơi trẻ em, khu thể dục thể thao, các tiện ích thương mại - dịch vụ cùng hệ thống giao thông nội khu được đầu tư đồng bộ. Mục tiêu là tạo nên môi trường sống nơi cư dân không chỉ có chỗ ở mà còn được thụ hưởng các điều kiện sống hiện đại.



Khách đến tham quan dự án NƠXH Tân Uyên trong ngày đầu ra mắt căn hộ mẫu.

Quan điểm này phù hợp với xu hướng phát triển NƠXH thế hệ mới, trong đó chất lượng sống được đặt ngang hàng với mục tiêu bảo đảm khả năng tiếp cận nhà ở cho người thu nhập thấp.

Đối với Phúc Đạt Group, dự án NƠXH tại Hà Tĩnh không đơn thuần là một dự án đầu tư mà còn mang ý nghĩa đặc biệt của hành trình trở về quê hương. Xuất phát từ mong muốn đóng góp cho mảnh đất nơi mình sinh ra và trưởng thành, chủ đầu tư dành nhiều tâm huyết để kiến tạo một không gian sống ổn định, đáp ứng nhu cầu an cư của người lao động, các gia đình trẻ và những người có thu nhập thấp.

Khi hoàn thành, dự án không chỉ góp phần bổ sung nguồn cung nhà ở cho địa phương mà còn tạo điều kiện để nhiều gia đình hiện thực hóa ước mơ sở hữu nơi ở ổn định. Những căn hộ sáng đèn, tiếng cười trẻ thơ và sự an tâm của cư dân sau mỗi ngày lao động chính là những giá trị mà Phúc Đạt Group hướng tới. Qua đó, công trình được kỳ vọng trở thành dấu ấn về trách nhiệm xã hội, tình cảm gắn bó và niềm tự hào dành cho quê hương Hà Tĩnh.

Bước sang tuổi 20, Phúc Đạt Group không chỉ xây dựng những ngôi nhà mới mà đang góp phần hình thành những cộng đồng mới, những chuẩn sống mới và những giá trị bền vững cho hàng nghìn gia đình Việt Nam.

HIỆU TRƯỞNG VINUNI:

"Làng Đại học sẽ giúp Hạ Long sản sinh những 'kỳ lân' công nghệ"

> THÙY DƯƠNG

GS Tan Yap-Peng, người từng có 26 năm làm việc tại Đại học Công nghệ Nanyang, Singapore, hiện đang đảm nhiệm vị trí Hiệu trưởng Trường Đại học VinUni, cho rằng sự hiện diện của Làng Đại học mang lại lợi thế mà "ít nơi nào trên thế giới hội tụ được" cho siêu đô thị Vinhomes Global Gate Hạ Long, khi có sự kết hợp mạnh mẽ giữa vẻ đẹp thiên nhiên, tài năng học thuật, cơ sở hạ tầng và triển vọng phát triển dài hạn.

"THỦ PHỦ TRI THỨC" BÊN KỲ QUAN THIÊN NHIÊN PHI THƯỜNG BẬC NHẤT THẾ GIỚI

Thông tin Vingroup triển khai Làng Đại học tại siêu đô thị Vinhomes Global Gate Hạ Long đang được dư luận rất quan tâm. Đây sẽ là nơi quy tụ 7 trường đại học khoa học - công nghệ hàng đầu, dự kiến thu hút 30.000 sinh viên đến học tập và nghiên cứu. Giáo sư nhìn nhận thế nào về thông tin này?

- Thực sự rất tiềm năng! Bản thân Hạ Long đã sở hữu một lợi thế vô cùng đặc biệt khi được tạo hóa ban tặng di sản thiên nhiên thế giới. Đây là nền tảng vững chắc để địa phương có thể khai thác tối đa tiềm năng du lịch.

Nay, với hạt nhân mới là Làng Đại học, Hạ Long sở hữu sự kết hợp các lợi thế thực sự hiếm có và vô cùng khó sao chép: một vịnh được UNESCO công nhận là Di sản thiên nhiên thế giới, bảy trường đại học khoa học và công nghệ thu hút hơn 30.000 sinh viên, kết nối đường sắt cao tốc và một siêu đô thị ven biển trải rộng hơn 6.200 ha. Ít nơi nào trên thế giới hội tụ được sự kết hợp mạnh mẽ như vậy!

- Từ kinh nghiệm thực tế của Singapore cũng như quốc tế, với sự hiện diện của Làng Đại học, ông kỳ vọng diện mạo của Hạ Long sẽ thay đổi ra sao trong một thập kỷ tới?

- Khi các nền tảng cốt lõi được thiết lập một cách đồng bộ và nhịp nhàng, tôi tin Hạ Long hoàn toàn có thể chứng kiến ba bước chuyển dịch mang tính đột phá trong thập kỷ tới.

Thứ nhất, bứt phá mô hình kinh tế truyền thống. Hạ Long có thể dịch chuyển trọng tâm từ nền kinh tế vốn phụ thuộc nhiều vào du lịch và khai thác tài nguyên thiên nhiên sang mô hình kinh tế tri thức bền vững, sở hữu giá trị gia tăng cao.

Thứ hai, hình thành cộng đồng cư dân cơ hữu cao cấp, gắn bó lâu dài, gồm các giảng viên, nhà nghiên cứu, doanh nhân và chuyên gia tri thức - những người lựa chọn định cư bền vững ngay bên bờ vịnh chứ không chỉ coi đây là một điểm dừng chân tạm thời.

Thứ ba, và có lẽ là quan trọng nhất, trở thành cái nôi của đổi mới sáng tạo. Hạ Long hoàn toàn có thể sản sinh ra các "kỳ lân" công nghệ từ giảng đường đại học. Đây chính là mô hình kinh điển đã và đang diễn ra tại "Thung lũng Silicon" với hệ sinh thái khởi nghiệp xoay quanh Đại học Stanford. Tại đây, các doanh nghiệp do cựu sinh viên và giảng viên sáng lập đã tạo ra khoảng 5,4 triệu việc làm và doanh thu hàng năm lên tới 2.700 tỷ USD. Đó chính là sức mạnh của kinh tế tri thức.

Khi mô hình Làng Đại học được triển khai thành công, Hạ Long trong tương lai sẽ không chỉ được nhìn nhận như một điểm du lịch "đính kèm" trường đại học, mà sẽ trở thành một "thủ phủ tri thức" nằm cạnh một trong những kỳ quan thiên nhiên phi thường nhất thế giới. Đây là sự kết hợp không chỉ hiếm có mà còn không thể tìm thấy ở bất kỳ nơi nào khác trên thế giới.

HẠ LONG SẼ TRỞ THÀNH "VỊNH NHÂN TÀI" CỦA VIỆT NAM

Cụ thể, theo Giáo sư, cộng đồng cư dân tri thức trong nước và quốc tế cùng hội tụ sẽ góp phần thay đổi bộ mặt kinh tế - xã hội của Hạ Long ra sao?

- Tác động kinh tế - xã hội sẽ vừa mang tính cấu trúc vừa bền vững.

Đầu tiên là sự thay đổi trong tiêu chí đánh giá tiềm năng phát triển. Hoạt động đầu tư tại Hạ Long trước đây được xác định theo giá trị du lịch - dịch vụ, thì nay sẽ được đo lường bằng mật độ và chất lượng của hệ sinh thái nhân tài.

Tiếp đến là sự phát triển của nền kinh tế tiêu dùng chất lượng cao. Dòng chảy của lực lượng lao động tri thức có thu nhập cao và ổn định sẽ kích thích thương mại, giải trí, giáo dục, y tế và các dịch vụ quản lý tài sản. Các sản phẩm, dịch vụ sẽ cần phát triển

GS Tan Yap-Peng là nhà khoa học và nhà quản lý giáo dục giàu kinh nghiệm của Singapore, với hơn 26 năm công tác tại Đại học Công nghệ Nanyang (NTU) - Top 12 toàn cầu theo QS World University Rankings (2026). Khi giữ cương vị Chủ nhiệm khoa Kỹ thuật Điện - Điện tử, ông đóng vai trò quan trọng trong việc đưa lĩnh vực điện - điện tử của NTU vươn lên nhóm dẫn đầu thế giới.

Trước khi tham gia giảng dạy và nghiên cứu, ông từng làm việc tại nhiều tập đoàn công nghệ và trung tâm nghiên cứu hàng đầu như IBM, Intel và Sharp... Ông gia nhập VinUni và đảm nhiệm cương vị Hiệu trưởng từ tháng 9/2025.



GS Tan Yap-Peng là người dẫn dắt để lĩnh vực điện - điện tử của Đại học Công nghệ Nanyang (Singapore) vươn lên hàng đầu thế giới.



Toàn cảnh Công viên Tri thức Toàn cầu trong lòng Vinhomes Global Gate Hạ Long với tâm điểm là 7 trường đại học khoa học - công nghệ.

theo chiều sâu để đáp ứng chuẩn mực sống của họ. Đồng thời, giá trị bất động sản ở các khu vực lân cận cũng tăng lên.

Cuối cùng, hoạt động đổi mới sáng tạo được tăng tốc nhờ rút ngắn khoảng cách và tương tác trực tiếp. Các startup sẽ được ươm mầm ngay từ các phòng thí nghiệm, trong khi các viện nghiên cứu liên tục tinh chỉnh định hướng để giải quyết các bài toán thực tiễn của thị trường.

Khu đô thị đổi mới sáng tạo One-North tại Singapore vang danh khắp châu Á nhờ khả năng thu hút giới tri thức. Điều gì đã làm nên sức hấp dẫn của tọa độ này và những gợi mở cho mô hình Làng Đại học tại Hạ Long, thưa Giáo sư?

- One-North không đơn thuần là một khu đô thị khoa học, công nghệ cao hay một trung tâm nghiên cứu phát triển (R&D) trọng điểm. Nơi đây là một hệ sinh thái khổng lồ quy tụ hơn 400 tập đoàn toàn cầu cùng 800 công ty khởi nghiệp, tạo ra môi trường làm việc cho hơn 50.000 lao động tri thức trình độ cao.

Thành công của One-North nằm ở triết lý quy hoạch cốt lõi. Đó là xóa nhòa ranh giới giữa công việc và cuộc sống. Lao động tri thức thế hệ mới cần những khu phố có thể đi bộ, những hành lang xanh mát và các không gian mở - nơi những ý tưởng đột phá liên tục nảy sinh và trao đổi, học hỏi.

Qua các hình mẫu như One-North, Singapore đã tái định vị thành công vị thế của mình - từ một trung tâm sản xuất trong chuỗi cung ứng toàn cầu thành một cường quốc khu vực về tri thức, đổi mới và tăng trưởng dựa trên công nghệ.

Với những bước đi bài bản cùng tư duy quy hoạch quy mô lớn tại siêu đô thị bên vịnh kỳ quan, Hạ Long sở hữu đầy đủ những nền tảng cần thiết để viết nên câu chuyện thành công tương tự cho Việt Nam trong thập kỷ tới.

Xin cảm ơn Giáo sư!

Bài toán xử lý bao bì sau tiêu dùng: **Kinh nghiệm từ Vinamilk**

> PV

Khi các quy định về thu gom và tái chế bao bì đi vào thực thi, lợi thế đang nghiêng về những doanh nghiệp đã sớm chuẩn bị. Câu chuyện tại Vinamilk cho thấy, cách tiếp cận chủ động có thể chuyển hóa áp lực tuân thủ thành hiệu quả kinh tế và lợi thế cạnh tranh bền vững.

XỬ LÝ BAO BÌ SAU TIÊU DÙNG: TỪ KHUYẾN KHÍCH ĐẾN BẮT BUỘC

Ngày 25/5/2026, Nghị định 110/2026/NĐ-CP chính thức có hiệu lực, quy định chi tiết trách nhiệm mở rộng của doanh nghiệp (Extended Producer Responsibility, gọi tắt là EPR). Theo đó, nhà sản xuất, nhập khẩu các sản phẩm, bao bì thuộc danh mục phải thực hiện tái chế theo quy cách và tỷ lệ bắt buộc khi đưa ra thị trường Việt Nam.

Cụ thể, các doanh nghiệp trong danh mục được chọn một trong hai hình thức: tự tổ chức thu gom – tái chế bao bì, hoặc đóng góp tài chính vào Quỹ Bảo vệ Môi trường để hỗ trợ hoạt động tái chế. Đóng quỹ là phương án nhanh nhưng mang tính "chuyển giao trách nhiệm". Trong khi đó, tự tổ chức tái chế đòi hỏi doanh nghiệp phải đầu tư dài hạn: từ thiết kế bao bì, xây dựng mạng lưới thu gom, hợp tác với đơn vị tái chế cho đến kiểm soát toàn bộ chu trình.

"Nhà nước cần có cơ chế ghi nhận và ưu đãi rõ ràng hơn cho những doanh nghiệp chọn con đường tự tổ chức hoặc hợp tác với đơn vị chuyên biệt trong việc thu gom - tái chế bao bì. Vì đây mới là giải pháp tạo ra hệ thống tái chế bền vững cho Việt Nam", ông Lê Trung Thông - CEO và Nhà sáng lập Lagom Việt Nam, một doanh nghiệp hoạt động trong lĩnh vực môi trường – nhận xét.

KHÔNG CHỈ TUÂN THỦ, VINAMILK BIẾN EPR THÀNH LỢI THẾ

Thay vì lựa chọn đóng góp tài chính - giải pháp vốn dễ dàng hơn, Vinamilk chủ động tổ chức thu gom - tái chế với phần lớn danh mục bao bì. Ngay từ năm 2025, doanh nghiệp đã phối hợp với các đơn vị được cấp phép để thu gom và tái chế với hầu hết các nhóm bao bì trong danh mục, với tổng khối lượng hơn 12.800 tấn - vượt tỷ lệ bắt buộc theo quy định.

Bước sang năm 2026, Vinamilk tiếp tục nâng quy mô tái chế lên hơn 13.200 tấn bao bì các loại. Khác với lo ngại rằng việc tổ chức thu gom – tái chế có thể phát sinh nhiều chi phí hơn so với việc đóng quỹ, doanh nghiệp cho biết phương án này giúp tiết kiệm chi phí đến 1/3.

Không đơn thuần về chi phí, theo tính toán của Lagom Việt Nam, cứ khoảng 1.000 tấn vỏ hộp sữa được tái chế sẽ giúp giảm phát thải khoảng 7.500 tấn CO_2e, so với phương án xử lý truyền thống. Điều này giúp doanh nghiệp cắt giảm phát thải khí nhà kính, từ đó tính toán lộ trình trung hòa carbon phù hợp cho mục tiêu đạt phát thải ròng bằng không (Net Zero) vào năm 2050.

Không chỉ tiếp cận EPR như một "bài toán xử lý rác thải", Vinamilk là một trong số ít doanh nghiệp tại Việt Nam chủ động kiểm soát vòng đời của bao bì, từ khâu thiết kế - sử dụng đến tái chế sau tiêu thụ từ rất sớm.

Bộ bàn ghế được tái sinh từ những vỏ hộp sữa được đặt tại một sân trường mầm non ở Hà Nội (Ảnh: Lagom).





Nghị định 110/2026/NĐ-CP quy định chi tiết trách nhiệm mở rộng của doanh nghiệp chính thức có hiệu lực từ 25/5/2026 (Ảnh: VN).

Thay vì loại nắp trơn kèm ống hút nhựa, giải pháp "nắp có tai" để người dùng mở và uống trực tiếp đã giúp Vinamilk tiết giảm hơn 4,5 triệu ống hút, tương đương 1,7 tấn nhựa chỉ riêng trong năm 2025. Song song đó, việc tối ưu thiết kế vỏ chai sữa chua uống Probi và ống hút nhựa tại thị trường nội địa giúp giảm thêm khoảng 48 tấn nhựa nguyên sinh. Cùng với việc hạn chế khai thác tài nguyên thiên nhiên, các sáng kiến này đã giúp doanh nghiệp tiết giảm khoảng 135 tấn CO_2e.

Đến nay, 99% thùng giấy của Vinamilk đã chuyển sang sử dụng mực in gốc nước thay vì mực dầu khó phân hủy. Với dòng sản phẩm chủ lực như sữa chua uống Green Farm, bao bì được thiết kế với gần 40% thành phần từ nguyên liệu tái tạo, góp phần giảm phụ thuộc vào nhựa nguyên sinh và nguyên liệu hóa thạch.

Ở khâu sử dụng, doanh nghiệp dẫn đầu ngành sữa Việt bền bỉ triển khai nhiều hoạt động nhằm nâng cao nhận thức về tiêu dùng bền vững cho cộng đồng. Trong năm 2025, các chiến dịch truyền thông như Chọn giải pháp xanh cho bạn (Find your R), Vỏ xinh được tái sinh… đã thu gom và tái chế hơn 26 tấn vỏ hộp sữa và thu hút hơn 500.000 lượt quan tâm trên các nền tảng truyền thông.

"Không đơn thuần là đơn vị tuân thủ, các 'đầu tàu' ngành hàng tiêu dùng nhanh như Vinamilk đóng vai trò như chất xúc tác cho toàn bộ hệ sinh thái kinh tế tuần hoàn. Với quy mô của mình, Vinamilk đủ sức tạo nên sự chuyển đổi trong toàn chuỗi cung ứng, chung tay xây dựng chính sách cũng như góp phần thay đổi hành vi người tiêu dùng trong lĩnh vực bảo vệ môi trường", ông Huỳnh Thanh Trung - Chủ tịch Công ty Cổ phần Leanwares, đơn vị chuyên hỗ trợ thiết lập nhà máy theo hướng chuyển đổi xanh và bền vững - khẳng định.

Vinamilk chọn giải pháp phối hợp với các đơn vị được cấp phép để thu gom - tái chế bao bì theo quy định từ năm 2025 (Ảnh: VN).



Thiết kế bao bì sản phẩm Vinamilk không ngừng được tối ưu theo hướng thân thiện hơn với môi trường (Ảnh: VN).



Ford Everest
nâng cấp dải sản phẩm, đáp ứng đa dạng nhu cầu khách hàng



> KHẢI LINH

Sẵn sàng cho mọi hành trình khám phá, Ford Everest khẳng định vị thế SUV gia đình toàn diện, giúp khách hàng tự tin dẫn lối, bảo vệ gia đình và chinh phục mọi cung đường với tiện nghi cao cấp. Các phiên bản của Ford Everest được giới thiệu trong lần nâng cấp này bao gồm Active, Sport và Platinum, mang đến dải lựa chọn đa dạng, phù hợp với nhiều nhu cầu sử dụng khác nhau.





NÂNG CẤP DẢI SẢN PHẨM VỚI PHIÊN BẢN PLATINUM+

Động cơ 2.0L kết hợp cùng hộp số tự động 10 cấp, được trang bị trên các phiên bản từ Active đến Platinum, mang đến sự cân bằng vượt trội giữa hiệu quả tiết kiệm nhiên liệu, khả năng vận hành mạnh mẽ và độ êm ái tinh tế.

Bước đi này nhằm hoàn thiện danh mục sản phẩm chiến lược của hãng thông qua việc gia tăng hiệu năng vận hành, đổi mới thiết kế và tích hợp thêm nhiều công nghệ thông minh. Đồng thời, những cải tiến lần này được tinh chỉnh dựa trên phản hồi thực tế từ người dùng, hướng tới việc phục vụ đa dạng các mục đích từ di chuyển gia đình, công việc kinh doanh cho đến các chuyến hành trình khám phá địa hình.

Đặc biệt sự xuất hiện của phiên bản cao cấp Ford Everest Platinum+, một cấu hình hoàn toàn mới dành cho nhóm khách hàng ưu tiên trải nghiệm vận hành mạnh mẽ nhưng vẫn đòi hỏi sự êm ái. Everest Platinum+ được trang bị khối động cơ xăng 2.3L EcoBoost, đạt công suất tối đa lên tới 300 mã lực tại dải vòng tua 5.650 vòng/phút và mô-men xoắn cực đại 446 Nm mang lại khả năng tăng tốc vượt trội và sức kéo lớn trong nhiều điều kiện giao thông khác nhau.

Ford Everest vẫn duy trì ngôn ngữ thiết kế toàn cầu với diện mạo bề thế và cứng cáp. Điểm nhấn nhận diện nằm ở cụm đèn định vị dạng chữ C sử dụng công nghệ Matrix LED kết hợp cùng lưới tản nhiệt cỡ lớn, tạo nên phong cách đặc trưng của các dòng xe Mỹ.

Nền tảng khung gầm rời tiếp tục là lợi thế, giúp Everest phát huy khả năng chịu tải, cách âm và vận hành linh hoạt trên nhiều điều kiện địa hình, từ đô thị đến đường trường và off-road, mang lại cảm giác lái chắc chắn và ổn định.

Bên trong khoang lái, trải nghiệm người dùng tiếp tục được nâng tầm với các trang bị hiện đại như màn hình giải trí 12 inch, hệ thống SYNC 4A và điều hòa tự động hai vùng độc lập, mang đến sự tiện nghi và thoải mái tối đa cho mọi hành khách trên mọi hành trình.

Ford Everest mới cũng tiếp tục nâng cao tiêu chuẩn an toàn với hệ thống hỗ trợ lái Co-pilot 360 và các tính năng như phanh khẩn cấp tự động, hỗ trợ giữ làn, đèn pha tự động và hệ thống cảm biến toàn diện, kết hợp cùng khung gầm thép Boron giúp gia tăng khả năng bảo vệ hành khách.

Tiện ích bên trong xe được nâng tầm với hệ thống âm thanh Bang & Olufsen (B&O) 12 loa, ghế da cao cấp chỉnh điện đa hướng có nhớ vị trí, thông hơi và sưởi, cùng hàng ghế thứ ba gập điện linh hoạt. Các trang bị như camera 360 độ và cửa sổ trời toàn cảnh tiếp tục hoàn thiện một không gian tiện nghi và thư thái, mang đến trải nghiệm di chuyển cao cấp cho người dùng.

LẤY KHÁCH HÀNG LÀM TRỌNG TÂM CỦA TRIẾT LÝ THƯƠNG HIỆU TOÀN CẦU MỚI - READY SET FORD

Những nâng cấp sản phẩm lần này được xây dựng dựa trên triết lý thương hiệu toàn cầu mới của Ford, "Ready Set Ford", thể hiện sự chuyển dịch từ cách tiếp cận tập trung vào sản phẩm sang hệ sinh thái lấy khách hàng làm trung tâm, xoay quanh nhu cầu sử dụng thực tế và phong cách sống. Tại Việt Nam, Ford không chỉ mang đến các dòng xe mạnh mẽ và đa dụng, mà còn phát triển một hệ sinh thái dịch vụ toàn diện nhằm đồng hành cùng khách hàng trong mọi giai đoạn của hành trình sở hữu.

Với mạng lưới đại lý trên toàn quốc, cùng các dịch vụ như giao xe tận nơi, đội ngũ chuyên gia tư vấn sản phẩm, dịch vụ nhận và giao xe, hỗ trợ nhanh trong vòng bốn giờ hoặc miễn phí, cũng như các giải pháp dịch vụ lưu động, Ford đảm bảo khách hàng luôn nhận được sự hỗ trợ kịp thời và thuận tiện trong mọi tình huống.

Đặc biệt, chính sách bảo hành mới được nâng cấp lên 5 năm hoặc 150.000 km (tùy điều kiện nào tới trước) cho toàn bộ các dòng Ranger và Everest mới cũng góp phần mang lại sự an tâm xuyên suốt quá trình sử dụng.

Thông qua những nỗ lực này, Ford không chỉ cung cấp phương tiện, mà còn hướng tới trở thành người bạn đồng hành đáng tin cậy trong toàn bộ hành trình sở hữu, giúp khách hàng tự tin chinh phục những hành trình mới trong cuộc sống hằng ngày.❖

Xe hybrid tự sạc có ưu thế vượt trội khi kết hợp xăng sinh học E10





PHẠM KHẢI

Việc phổ cập xăng sinh học E10 theo xu thế toàn cầu mang lại lợi ích lớn cho môi trường, đồng thời giúp xe hybrid tự sạc tối ưu hóa hiệu suất vận hành và hiệu quả kinh tế.

Việc phổ cập xăng sinh học E10 trên toàn quốc từ ngày 01/6/2026 là bước đi chiến lược trong lộ trình giảm phát thải và hướng tới mục tiêu bền vững về môi trường. Đây là giai đoạn quan trọng để thị trường đánh giá thực tế khả năng tương thích của động cơ cũng như hiệu quả vận hành của phương tiện tại Việt Nam.

XU THẾ DỊCH CHUYỂN NĂNG LƯỢNG TOÀN CẦU

Trên thế giới, nhiên liệu sinh học đã phổ biến nhiều thập kỷ. Cơ quan Bảo vệ Môi trường Mỹ (EPA) xác nhận xăng E10 chiếm hơn 95% lượng tiêu thụ quốc gia, trong khi Liên minh Châu Âu (EU) áp dụng từ lâu. Tại Đông Nam Á, các nước như Thái Lan hay Philippines đều phổ cập loại nhiên liệu này từ cách đây cả chục năm. Bước đi của Việt Nam hiện nay kịp thời bắt nhịp với tiến trình dịch chuyển năng lượng bền vững toàn cầu.

Ưu điểm cốt lõi của xăng sinh học nằm ở khả năng giảm tác động môi trường nhờ tận dụng hạ tầng phân phối sẵn có. Thành phần cồn sinh học trong xăng được chế biến từ nguồn thực vật tái tạo như ngô hoặc sắn. PGS.TS Đàm Hoàng Phúc - Giám đốc chương trình đào tạo kỹ thuật ô tô tại Đại học Bách khoa Hà Nội, giải thích rằng cây trồng hấp thụ khí CO_2 khi sinh trưởng, nên khi đốt cháy trong động cơ sẽ tạo thành vòng tuần hoàn cacbon khép kín, giúp giảm thiểu hiệu ứng nhà kính.

Bên cạnh đó, nhờ thành phần cồn chứa sẵn oxy, xăng E10 giúp nhiên liệu cháy triệt để hơn, giảm rõ rệt các loại khí độc hại gây ô nhiễm đô thị. Quá trình đốt cháy tối ưu này giúp duy trì hiệu suất động cơ, bảo vệ cấu trúc các chi tiết kỹ thuật bên trong và giải tỏa e ngại của người dùng khi chuyển đổi sang xăng sinh học.

ĐỘNG CƠ HYBRID TỐI ƯU HIỆU QUẢ VỚI XĂNG SINH HỌC E10

Khi công nghệ hybrid kết hợp cùng xăng sinh học E10, tác động bảo vệ môi trường đạt hiệu quả cao nhất. Bản chất của xe hybrid là liên tục tắt và khởi động lại động cơ xăng khi di chuyển trong phố để nhường mô-tơ điện hoạt động. Quá trình này đòi hỏi xăng phải bắt lửa nhạy và cháy sạch ngay từ chu kỳ đầu tiên nhằm tránh hiện tượng thừa nhiên liệu. Xăng E10 đáp ứng yêu cầu này nhờ khả năng dễ đốt cháy triệt để.

PGS.TS Đàm Hoàng Phúc cho biết, qua các thực nghiệm đo đạc từ nghiên cứu giữa Đại học Bách khoa Hà Nội và Công ty CP Lọc hóa dầu Bình Sơn (BSR) trên xe Corolla Cross HEV, mức độ giảm thiểu khí độc hại khi dùng xăng E10 rất đáng kể. Kết quả chứng minh việc kết hợp giữa động cơ hybrid và xăng E10 giúp tối ưu hóa hiệu suất buồng đốt, hạ mức phát thải CO_2 xuống ngưỡng thấp hơn so với khi dùng xăng E5 và xăng khoáng.

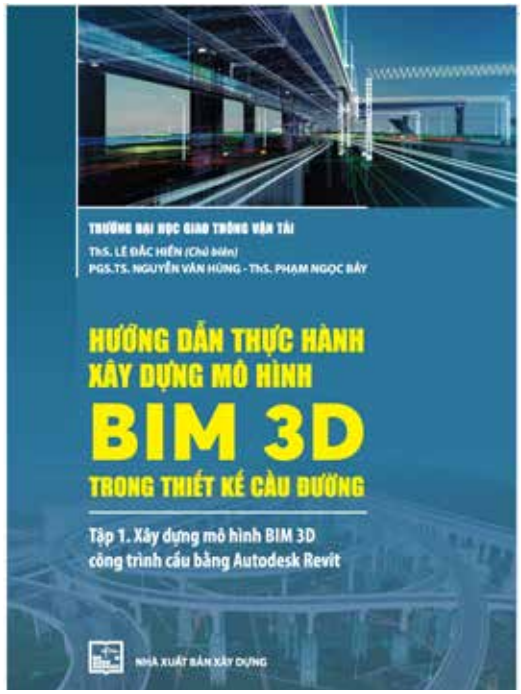
Bên cạnh đó, xe hybrid tự sạc còn tối ưu nhiên liệu hơn nhờ có mô-tơ điện hỗ trợ ở những giai đoạn tiêu hao nhiều năng lượng nhất như khởi hành và tăng tốc. Số liệu của nhóm nghiên cứu cho thấy, trong khi Corolla Cross bản thuần xăng chạy E10 cải thiện nhẹ mức tiêu thụ khoảng 2,3%, thì phiên bản HEV chạy xăng E10 ghi nhận hiệu quả tiết kiệm nhiên liệu vượt trội lên tới 7,8% trong điều kiện đường đô thị đông đúc so với khi chạy xăng khoáng.

Về mặt kỹ thuật, Toyota khẳng định toàn bộ các dòng xe do hãng phân phối từ sau năm 1997 đến nay đều được thiết kế thích ứng hoàn toàn với xăng E10. Khả năng tương thích này cũng áp dụng cho cả các dòng xe hybrid tự sạc như Corolla Cross HEV, Yaris Cross HEV và Camry HEV… Nhà sản xuất cam kết việc chuyển đổi duy trì ổn định công suất, bảo đảm tuổi thọ máy và không phát sinh thêm chi phí bảo dưỡng.

Như vậy, sự đồng hành giữa xe hybrid và xăng sinh học E10 giải quyết đồng thời hai bài toán: cắt giảm tối đa khí thải đô thị và tối ưu hóa chi phí vận hành cho người dùng. Trong lộ trình hướng tới mục tiêu phát thải ròng bằng "0", xe hybrid chạy xăng sinh học là mắt xích kinh tế, an toàn và bền vững theo đúng xu thế toàn cầu.

HƯỚNG DẪN THỰC HÀNH XÂY DỰNG MÔ HÌNH BIM 3D TRONG THIẾT KẾ CẦU ĐƯỜNG:

Từ mô hình 3D đến bản sao số công trình giao thông



> AN NHIÊN

Cuốn sách cung cấp cách tiếp cận BIM theo toàn bộ vòng đời công trình cầu, từ khảo sát, thiết kế, thi công đến vận hành, bảo trì và phát triển bản sao số (Digital Twins).

Chuyển đổi số đang tạo ra những thay đổi căn bản trong lĩnh vực xây dựng và hạ tầng giao thông. Nếu trước đây dữ liệu công trình chủ yếu tồn tại dưới dạng hồ sơ, bản vẽ và tài liệu rời rạc, thì hiện nay xu hướng đang chuyển sang xây dựng các mô hình số thống nhất, cho phép quản lý thông tin xuyên suốt từ giai đoạn chuẩn bị đầu tư đến vận hành khai thác.

Trong quá trình đó, BIM (Building Information Modeling) không còn được nhìn nhận đơn thuần là công cụ dựng mô hình 3D, mà đang trở thành nền tảng dữ liệu phục vụ quản lý vòng đời công trình và phát triển các hệ thống Digital Twins.

Cuốn sách "Hướng dẫn thực hành xây dựng mô hình BIM 3D trong thiết kế cầu đường" do ThS Lê Đắc Hiến chủ biên, cùng PGS.TS Nguyễn Văn Hùng và ThS Phạm Ngọc Bảy biên soạn, tiếp cận BIM theo hướng này.

Điểm nổi bật của cuốn sách nằm ở việc trình bày quy trình áp dụng BIM theo toàn bộ vòng đời công trình cầu.

Ở giai đoạn khảo sát, lập dự án và thiết kế cơ sở, BIM được sử dụng để mô hình hóa địa hình, tuyến đường và vị trí công trình trong không gian thực. Dữ liệu khảo sát được tích hợp vào mô hình số nhằm hỗ trợ đánh giá phương án, so sánh các lựa chọn về vị trí, quy mô, kết cấu và trực quan hóa dự án trước khi triển khai.

Sang giai đoạn thiết kế kỹ thuật và thiết kế bản vẽ thi công, mô hình BIM được phát triển với mức độ chi tiết cao hơn, cho phép mô hình hóa kết cấu cầu, cốt thép, lan can, mố trụ và các cấu kiện kỹ thuật khác. Cuốn sách cũng giới thiệu các ứng dụng quan trọng của BIM như tự động hóa quá trình tạo bản vẽ từ mô hình 3D, kiểm tra xung đột giữa các bộ môn và liên kết với các phần mềm phân tích kết cấu.

Đối với giai đoạn thi công, BIM tiếp tục được mở rộng thành mô hình 4D và 5D phục vụ quản lý tiến độ và chi phí. Mô hình công trình được liên kết với kế hoạch thi công để mô phỏng trình tự xây dựng theo thời gian, hỗ trợ phát hiện sớm các xung đột, đồng thời trích xuất khối lượng và kiểm soát chi phí theo từng hạng mục.

Không dừng lại ở thiết kế và thi công, cuốn sách dành một phần nội dung đáng chú ý cho giai đoạn vận hành, bảo trì và quản lý tài sản. Theo đó, mô hình BIM có thể trở thành cơ sở dữ liệu số lưu trữ lịch sử công trình, thông tin kiểm định, sửa chữa, thay thế cấu kiện và đánh giá tình trạng khai thác. Dữ liệu này hỗ trợ cơ quan quản lý xây dựng kế hoạch bảo trì, theo dõi chất lượng công trình và nâng cao hiệu quả quản lý tài sản hạ tầng.

Đặc biệt, nhóm tác giả đã giới thiệu khái niệm Digital Twins trong quản lý công trình cầu. Theo cách tiếp cận được trình bày trong sách, Digital Twin là mô hình số "sống" của công trình, được cập nhật liên tục bằng dữ liệu vận hành thực tế từ cảm biến, hệ thống quan trắc và các hoạt động khai thác. Trên cơ sở đó, công trình không chỉ được mô phỏng về hình học mà còn phản ánh trạng thái làm việc theo thời gian thực.

Cuốn sách cho thấy BIM chính là nền tảng để phát triển Digital Twin. Từ dữ liệu BIM, cơ quan quản lý có thể triển khai các ứng dụng như giám sát sức khỏe kết cấu cầu, dự báo nhu cầu bảo trì, đánh giá các phương án nâng cấp công trình hoặc tích hợp với hệ thống GIS và cơ sở dữ liệu quản lý tài sản hạ tầng giao thông.

Với cách tiếp cận từ thực hành xây dựng mô hình BIM đến quản lý vòng đời công trình và phát triển Digital Twins, cuốn sách không chỉ là tài liệu hướng dẫn sử dụng phần mềm mà còn cung cấp góc nhìn cập nhật về xu hướng chuyển đổi số trong lĩnh vực cầu đường.

Sách phù hợp với kỹ sư thiết kế, tư vấn, quản lý dự án, đơn vị quản lý hạ tầng giao thông, giảng viên, sinh viên các ngành xây dựng, cầu đường và những người quan tâm đến BIM, Digital Twin trong xây dựng.

Cuốn sách do NXB Xây dựng phát hành dưới dạng bản in và bản điện tử (ebook).

VIỆN KHOA HỌC CÔNG NGHỆ VÀ KINH TẾ XÂY DỰNG HÀ NỘI

HANOI INSTITUTE OF BUILDING SCIENCE TECHNOLOGY AND ECONOMIC

Địa chỉ: **số 38 Cát Linh, phường Ô Chợ Dừa, thành phố Hà Nội**
Tel: **02437335801 – 02437335590** Email: **vienkhcnktxd_soxd@hanoi.gov.vn**
Website: **https://www.vienkhcnhn.gov.vn**

Viện KHCN và Kinh tế xây dựng Hà Nội là đơn vị sự nghiệp trực thuộc Sở Xây dựng Hà Nội được thành lập từ năm 1980. Thực hiện chức năng giúp Sở Xây dựng và Thành phố trong công tác quản lý Nhà nước về Kinh tế- Kỹ thuật đối với các loại công trình xây dựng trên địa bàn thành phố Hà Nội, Viện có các nhiệm vụ:

Hoạt động nghiên cứu, tổ chức thực nghiệm các tiến bộ KHCN trong xây dựng:

Nghiên cứu khoa học và phát triển công nghệ; Triển khai thực nghiệm và sản xuất thử nghiệm; Tư vấn, thông tin, đào tạo, bồi dưỡng, phổ biến, ứng dụng tri thức KHCN và kinh nghiệm thực tiễn; Tổ chức các hội thảo khoa học trong lĩnh vực xây dựng và vật liệu xây dựng.

Thí nghiệm, kiểm định chất lượng VLXD, sản phẩm xây dựng và CTXD.

Hoạt động dịch vụ tư vấn đầu tư và xây dựng:

Khảo sát địa chất công trình; Khảo sát, kiểm định đánh giá chất lượng hiện trạng công trình; Lập báo cáo đầu tư, dự án đầu tư , báo cáo kinh tế - kỹ thuật; Thiết kế kỹ thuật, thiết kế bản vẽ thi công và dự toán công trình xây dựng; Thẩm định, thẩm tra thiết kế và dự toán xây dựng công trình; Lập hồ sơ mời thầu và phân tích đánh giá hồ sơ dự thầu; Giám sát thi công xây dựng và lắp đặt thiết bị công trình; Tư vấn quản lý dự án; Nén tính, kiểm tra chất lượng cọc; Đo lún và quan trắc công trình xây dựng; Xây dựng định mức, đơn giá; Định giá xây dựng.



Với đội ngũ chuyên gia, kỹ sư giàu kinh nghiệm cùng hệ thống thiết bị hiện đại, Viện cam kết cung cấp các giải pháp kỹ thuật chính xác, hiệu quả và đáp ứng các yêu cầu khắt khe của chủ đầu tư, cơ quan quản lý và các đơn vị tư vấn, thi công.

Chúc mừng
NGÀY BÁO CHÍ 21/6
CÁCH MẠNG VIỆT NAM

BỘ XÂY DỰNG

CỤC KINH TẾ - QUẢN LÝ ĐẦU TƯ XÂY DỰNG

TRUNG TÂM NGHIÊN CỨU VÀ TƯ VẤN ĐẦU TƯ XÂY DỰNG

Tầng 2, số 308E Minh Khai, phường Tương Mai, TP Hà Nội

CÁC DỊCH VỤ TƯ VẤN CHÍNH

- Tư vấn lập và thẩm tra dự án đầu tư, dự toán xây dựng công trình, suất vốn đầu tư, định mức xây dựng công trình, đơn giá, chỉ số giá xây dựng công trình.
- Tư vấn lập và thẩm tra định mức chi phí, dự toán chi phí lập quy hoạch, chi phí tư vấn xây dựng. Tư vấn lập và thẩm tra định mức, dự toán chi phí bảo trì, bảo dưỡng công trình xây dựng.
- Tư vấn lập và thẩm tra văn kiện hợp đồng xây dựng.
- Tư vấn lập và thẩm tra định mức, dự toán chi phí, giá dịch vụ đô thị và nhà ở.
- Tư vấn triển khai ứng dụng mô hình BIM trong lĩnh vực hoạt động xây dựng phục vụ quản lý nhà nước của Cục Kinh tế - Quản lý đầu tư xây dựng.
- Tư vấn lập và thẩm tra hồ sơ thiết kế xây dựng công trình; hồ sơ thiết kế quy hoạch đô thị và nông thôn.
- Kiểm định xây dựng; quản lý dự án đầu tư xây dựng; đánh giá tính an toàn xây dựng; tư vấn kiểm tra công tác nghiệm thu công trình xây dựng; tư vấn giám sát thi công xây dựng công trình.
- Cung cấp các dịch vụ khác trong lĩnh vực xây dựng thuộc phạm vi chức năng của Cục Kinh tế - Quản lý đầu tư xây dựng.



Chúc mừng 21/6

NGÀY BÁO CHÍ CÁCH MẠNG VIỆT NAM

KHU QUẢN LÝ ĐƯỜNG BỘ III QUẢN LÝ GẦN 3.000 KM QUỐC LỘ VÀ CAO TỐC KHU VỰC MIỀN TRUNG - TÂY NGUYÊN

Khu Quản lý đường bộ (QLĐB) III hiện đang quản lý gần 3.000 km quốc lộ và đường cao tốc trên địa bàn các tỉnh, thành phố miền Trung – Tây Nguyên, đóng vai trò quan trọng trong công tác quản lý nhà nước chuyên ngành đường bộ, bảo đảm kết nối hạ tầng giao thông liên vùng và thúc đẩy phát triển kinh tế - xã hội khu vực.

Theo chức năng, nhiệm vụ được giao tại Quyết định số 251/QĐ-BXD ngày 10/3/2025 của Bộ Xây dựng, Khu QLĐB III là đơn vị trực thuộc Cục Đường bộ Việt Nam, thực hiện nhiệm vụ quản lý nhà nước chuyên ngành đường bộ trên địa bàn thành phố Đà Nẵng cùng các tỉnh Quảng Ngãi, Gia Lai, Đắk Lắk và một phần các tỉnh Khánh Hòa, Lâm Đồng.

Sau quá trình điều chỉnh mạng lưới quản lý, trong đó có việc bàn giao một số đoạn tuyến quốc lộ cho địa phương quản lý và tiếp nhận thêm các tuyến quốc lộ, đường cao tốc mới, tổng chiều dài các tuyến đường thuộc phạm vi quản lý của Khu hiện đạt 2.952 km.



Khu QLĐB III tổ chức Hội nghị chuyên đề về công tác quản lý bảo dưỡng thường xuyên và phòng chống, khắc phục hậu quả thiên tai trong lĩnh vực đường bộ năm 2026.



Ông Nguyễn Thanh Bình - Giám đốc Khu QLĐB III (áo trắng, đứng giữa) kiểm tra công tác đảm bảo giao thông tuyến cao Quảng Ngãi - Hoài Nhơn vừa mới đưa vào khai thác ngày 29/4/2026.

Trong số này, Khu QLĐB III trực tiếp quản lý 1.982 km quốc lộ và đường cao tốc. Bên cạnh đó, đơn vị còn thực hiện chức năng quản lý nhà nước đối với các dự án BOT và các tuyến đường cao tốc với tổng chiều dài 788 km. Dự kiến trong thời gian tới, Khu sẽ tiếp nhận quản lý dự án đường bộ cao tốc Khánh Hòa – Buôn Ma Thuột dài 116 km và tuyến đường Trường Sơn Đông dài 66 km từ Ban Quản lý dự án 46.

Để nâng cao hiệu quả quản lý, Khu QLĐB III tổ chức mạng lưới quản lý theo bốn Văn phòng QLĐB trực thuộc. Sau khi tiếp nhận thêm các đoạn tuyến cao tốc, phạm vi quản lý của các đơn vị được phân bổ tương đối đồng đều. Trong đó, Văn phòng QLĐB III.2 quản lý chiều dài lớn nhất với 858,8 km; tiếp đến là Văn phòng QLĐB III.1 với 857,6 km. Văn phòng QLĐB III.4 phụ trách 634,9 km, trong khi Văn phòng QLĐB III.3 quản lý 600,7 km.

Với mạng lưới đường bộ rộng lớn trải dài từ duyên hải miền Trung đến khu vực Tây Nguyên, Khu QLĐB III đang giữ vai trò nòng cốt trong công tác quản lý, bảo trì, giám sát khai thác kết cấu hạ tầng giao thông đường bộ, góp phần bảo đảm giao thông thông suốt, an toàn và phục vụ hiệu quả nhu cầu vận tải, phát triển kinh tế - xã hội của khu vực.



Chúc Mừng
NGÀY BÁO CHÍ 21/6
CÁCH MẠNG VIỆT NAM

CÔNG TY CP QUẢN LÝ VÀ XÂY DỰNG ĐƯỜNG BỘ KON TUM

Địa chỉ: 294 Phan Đình Phùng, phường Đắk Cấm, tỉnh Quảng Ngãi



Chúc mừng

NGÀY BÁO CHÍ CÁCH MẠNG VIỆT NAM 21/6

CÔNG TY CỔ PHẦN - TỔNG CÔNG TY CƠ KHÍ THĂNG LONG

THANG LONG MECHANICAL CONSTRUCTION JOINT STOCK CORPORATION

Địa chỉ: Thôn Cổ Điển, xã Vĩnh Thanh, TP Hà Nội



CẦU PHÚ THỊNH - LÀO CAI



SÔNG VÂN - NINH BÌNH



CẦU Á LỮ - BẮC GIANG



CẦU PHẬT TÍCH - ĐẠI ĐỒNG THÀNH - BẮC NINH



CẦU VƯỢT NÚT GIAO HOÀNG QUỐC VIỆT + NGUYỄN VĂN HUYÊN

CÔNG TY CỔ PHẦN VẬN TẢI ĐA QUỐC GIA

Công ty Cổ phần Vận tải Đa quốc gia là doanh nghiệp chuyên cung cấp các dịch vụ thông quan, giao nhận, nâng hạ và vận chuyển hàng hóa, đặc biệt là dịch vụ vận chuyển hàng hoá siêu trường, siêu trọng, các dây chuyền sản xuất, các hạng mục máy, vật tư, thiết bị phục vụ thi công trong các lĩnh vực xây dựng cơ bản, giao thông, thuỷ điện, nhiệt điện...

Trải qua nhiều năm hoạt động, với đội ngũ cán bộ công nhân viên năng động, sáng tạo, giàu kinh nghiệm và hệ thống phương tiện thiết bị hiện đại, đặc chủng được nhập khẩu từ những nước như Đức, Bỉ, Thụy Điển, Italia, Nhật Bản, Hàn Quốc... với những công nghệ tiên tiến, hiện đại nhất trên thế giới được đầu tư và chuyển giao nhằm đáp ứng tốt về chất lượng dịch vụ và điều kiện, tiêu chuẩn đường bộ Việt Nam.

Công ty Cổ phần vận tải Đa quốc gia tự hào đóng công sức, ghi lại dấu ấn trên nhiều công trình trọng điểm quốc gia như: Công trình xây dựng thuỷ điện: Sêsan, Đồng Nai, Sông Tranh, Ba Hạ, Sơn La, Lai Châu, Xekaman 1, 3; Nhiệt điện Hongsa, Long Phú, Sông Hậu... Công trình xây dựng Thanh Trì, Vĩnh Tuy, Thuận Phước, Sông Hàn, Cần Thơ, Đường cao tốc Sài Gòn - Trung Lương, Cao tốc Hà Nội – Lào Cai, QL5B, cao tốc Ninh Bình - Thanh Hóa, Bến Lức – Long Thành, dự án điện gió... Các nhà máy sản xuất xi măng, gạch nhẹ, khai thác và chế biến, luyện kim khoáng sản...

Công ty Cổ phần vận tải Đa quốc gia là đối tác chiến lược của nhiều công ty, tập đoàn, tổng công ty và các nhà phân phối máy thi công. Với những kinh nghiệm và thành tựu đã đạt được Công ty cổ phần vận tải Đa quốc gia hy vọng được hợp tác và làm hài lòng quý khách hàng.





Địa chỉ: **Nhà số 3-9/24 Trần Quốc Hoàn - Phường Cầu Giấy - Hà Nội**
VPGD: **Tầng 2 - Tòa nhà HHA (Constrexim 1 - Thái Hà) - 43 Phạm Văn Đồng, Phường Đông Ngạc, Thành phố Hà Nội, Việt Nam**
Điện thoại: **024. 3755.6499 - 0982.428.366** Website: **vantaidaquocgia.com.vn**

BAN QUẢN LÝ DỰ ÁN ĐẦU TƯ XÂY DỰNG CÔNG TRÌNH GIAO THÔNG

Địa chỉ: Số 03A đường Ngô Quyền, phường Mỹ Tho, tỉnh Đồng Tháp

Chúc mừng
NGÀY BÁO CHÍ
CÁCH MẠNG VIỆT NAM
21/6



CÔNG TY TNHH

XÂY DỰNG VÀ THƯƠNG MẠI SỐ 126

Chúc mừng

NGÀY BÁO CHÍ CÁCH MẠNG VIỆT NAM

21/6



PMU2
Cùng Việt Nam đi tới

BAN QUẢN LÝ DỰ ÁN 2

Giám đốc: LÊ THẮNG

Chúc mừng

101 *năm*

NGÀY BÁO CHÍ CÁCH MẠNG VIỆT NAM

(21/6/1925 - 21/6/2026)



CAO TỐC QUẢNG NGÃI - HOÀI NHƠN

Số 18, đường Phạm Hùng, phường Từ Liêm, TP Hà Nội, Việt Nam

024.3768.0057 FAX: 024.3768.0073





CÔNG TY CỔ PHẦN
ĐẦU TƯ THƯƠNG MẠI DUY TIẾN

DUY TIEN INVESTMENT TRADING JOINT STOCK COMPANY

Số nhà 4 ngõ 2 phố Vạn Phúc, Phường Ngọc Hà, TP Hà Nội, Việt Nam

Chúc mừng

NGÀY BÁO CHÍ CÁCH MẠNG VIỆT NAM

21/6

DUYTIEN INVES.,JSC

VICEM
THÁCH THỨC THỜI GIAN

SÔNG THAO | VICEM HOÀNG THẠCH | VICEM HOÀNG MAI | VICEM TAM ĐIỆP | VICEM BỈM SƠN
HẢI PHÒNG | VICEM HẢI VÂN | VICEM BÚT SƠN | VICEM HẠ LONG | VICEM HÀ TIÊN

Trải qua bề dầy lịch sử 127 năm ra đời và 96 năm truyền thống Cách mạng, hiện nay Tổng công ty Xi măng Việt Nam (VICEM) có 10 nhà máy với 7 thương hiệu và 16 dây chuyền công nghệ với công suất khoảng 30 triệu tấn xi măng/năm. Các nhà máy của VICEM có công nghệ tiên tiến, thiết bị hiện đại từ các nước EU, G7. Bắt nhịp theo cách mạng công nghiệp lần thứ 4, VICEM đang tiếp tục cấu trúc lại mô hình tổ chức, đổi mới sáng tạo, nghiên cứu công nghệ xi măng theo hướng không phát thải, tuần hoàn tự nhiên, bảo vệ môi trường, tiết kiệm tài nguyên và sử dụng nguyên, nhiên liệu bằng bùn thải, rác thải thay thế một phần nguyên, nhiên liệu không tái tạo. Với vai trò do Chính phủ, Bộ Xây dựng giao, VICEM tiếp tục nỗ lực giữ vững vị thế trụ cột ngành xi măng Việt Nam!



Thông tin liên hệ:
TỔNG CÔNG TY XI MĂNG VIỆT NAM
ĐT: 02438512425; Fax: 02438512778,
website: www.vicem.vn; contact@vicem.vn
Địa chỉ: Số 228 Lê Duẩn, phường Văn Miếu – Quốc Tử Giám, thành phố Hà Nội

XI MĂNG CẨM PHẢ
CÔNG NGHỆ NHẬT BẢN



CÔNG TY CỔ PHẦN XI MĂNG CẨM PHẢ

(+84-203) 3 721995
(+84-203) 3 721996

Km6, Quốc lộ 18A, P. Quang Hanh,
Tỉnh Quảng Ninh

CHI NHÁNH PHÍA NAM

(+84-254) 3899 630
KCN Mỹ Xuân A, P. Phú Mỹ,
Tp. Hồ Chí Minh

VĂN PHÒNG TP. HỒ CHÍ MINH

(+84-283) 9100 937
Lầu 6 số 47 Điện Biên Phủ,
P. Tân Định, Tp Hồ Chí Minh

GELEXIMCO









Trụ sở: 36 Hoàng Cầu, phường Ô Chợ Dừa,
Thành phố Hà Nội

geleximco.vn

0243.514.1199

info@geleximco.vn



VICEM HÀ TIÊN

THƯƠNG HIỆU XI MĂNG ĐẦU TIÊN TỪ 1964

TỔNG CÔNG TY XI MĂNG VIỆT NAM
CÔNG TY CỔ PHẦN XI MĂNG VICEM HÀ TIÊN

Địa chỉ: 604 Võ Văn Kiệt, phường Cầu Ông Lãnh, TP. Hồ Chí Minh
Điện thoại: (028)38 368 363 I Fax: (028) 38 361 278
Email: hatien1@vicemhatien.com.vn
Website: www.vicemhatien.com.vn
Hotline 1800 6069

TỔNG CÔNG TY 36 - ĐƠN VỊ ANH HÙNG

Chúc mừng

101 *năm*

NGÀY BÁO CHÍ CÁCH MẠNG VIỆT NAM

(21/6/1925 - 21/6/2026)


TRỤ SỞ TCT 36


Anh hùng lao động, Đại tá
NGUYỄN ĐĂNG GIÁP
Chủ tịch Hội đồng quản trị


ĐÀI TƯỞNG NIỆM BẮC SƠN


DỰ ÁN SỐ 6 - 8 CHÙA BỘC


VĂN PHÒNG CHÍNH PHỦ


THÁP KHÔNG LƯU LONG THÀNH


CAO TỐC CẦN THƠ - HẬU GIANG


CAO TỐC BÙNG - VẠN NINH

141 Hồ Đắc Di, phường Kim Liên, TP Hà Nội
024.35332471 FAX: 024.35332472
contact@36corp.com
http://36corp.com

CÔNG TY CỔ PHẦN
KIỂM ĐỊNH CÔNG TRÌNH TRỌNG ĐIỂM THĂNG LONG

Địa chỉ: Số nhà 120, Tổ dân phố 6, Phường Điện Biên Phủ, Điện Biên







CÔNG TY CỔ PHẦN THAN VÀNG DANH - VINACOMIN

VINACOMIN - VANG DANH COAL JOINT STOCK COMPANY

ĐƠN VỊ ANH HÙNG LAO ĐỘNG

Địa chỉ: số 969 Đường Bạch Đằng - Phường Uông Bí - Tỉnh Quảng Ninh
Tel: 02.033.853.104 * Fax: 02.033.853.120 * Email: vangdanhcoal@vnn.vn*Website: vangdanhcoal.com.vn











Rạng Đông

Thông minh Xanh - Đồng hành chất sống Việt

GIẢI PHÁP CHIẾU SÁNG
ĐƯỜNG GIAO THÔNG

5 lý do nên chọn Rạng Đông

- Thương hiệu uy tín
- Triển khai minh bạch
- Dịch vụ trọn gói
- Chất lượng an tâm
- Giải pháp đồng bộ



Quét QR
tìm hiểu thêm thông tin

CÔNG TY TNHH
XÂY DỰNG PHÁT TRIỂN THÁI ANH ĐÀ NẴNG

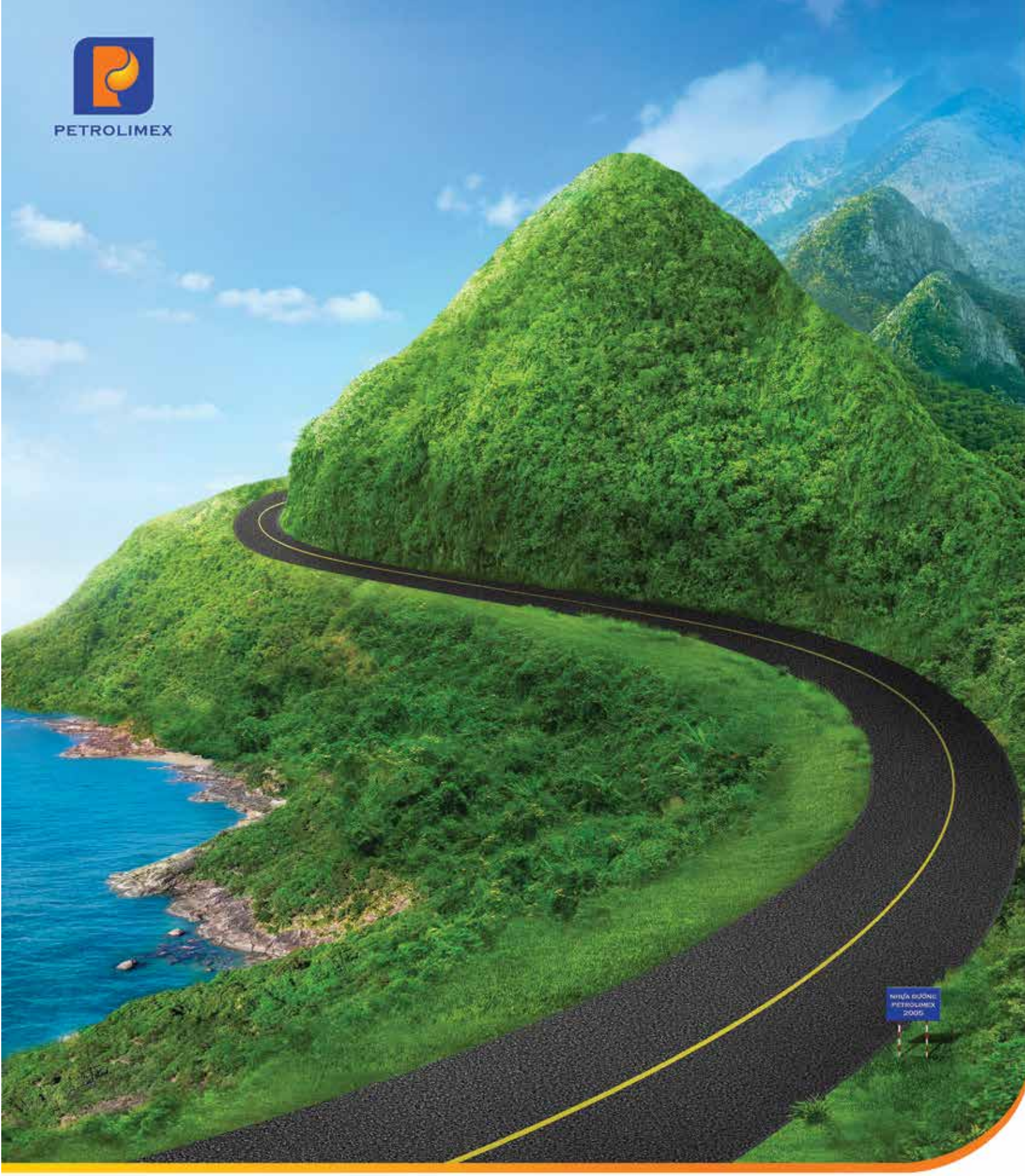
Địa chỉ: 20 Nguyễn Tri Phương, phường Thanh Khê, TP Đà Nẵng

Chúc mừng

Ngày Báo chí cách mạng Việt Nam

21/6





NHỰA ĐƯỜNG PETROLIMEX

Dẫn bước thành công









CÔNG TY CỔ PHẦN TƯ VẤN VÀ KIỂM ĐỊNH XÂY DỰNG VIỆT NAM (VNC)

VIET NAM CONSTRUCTION TESTING AND CONSULTANT JOINT STOCK COMPANY (VNC.,JSC)

Địa chỉ trụ sở chính: Căn 6, nhà E1 khu tập thể Khoa học xã hội và Nhân văn Quốc Gia, phường Ngọc Hà, TP Hà Nội.
Văn phòng Đại diện: Phòng số 14-6 tầng 14, toà nhà CT3-VIMECO, đường Trần Duy Hưng TP Hà Nội.
Điện thoại: 024.22250161 Email: VNCjsc@gmail.com

VNC - ĐỐI TÁC TIN CẬY TRONG TƯ VẤN VÀ KIỂM ĐỊNH XÂY DỰNG

Với năng lực chuyên môn cao và hệ thống quản lý hiện đại, VNC cung cấp dịch vụ trọn gói từ khảo sát, quy hoạch, lập dự án, thiết kế, dự toán, thẩm định, đấu thầu, quản lý dự án, giám sát thi công đến kiểm định chất lượng công trình và vật liệu xây dựng. Bên cạnh đó, công ty còn tham gia thi công xây dựng và cung cấp các giải pháp thiết bị, vật tư phục vụ ngành xây dựng.

Không ngừng đổi mới, ứng dụng công nghệ tiên tiến và các tiêu chuẩn quốc tế, VNC hướng tới mục tiêu trở thành đơn vị tổng thầu tư vấn xây dựng hàng đầu Việt Nam, có năng lực cạnh tranh trong khu vực và quốc tế.

VNC - KẾT NỐI THÀNH CÔNG, NÂNG TẦM CAO MỚI

HONG ANH CONSTRUCTION
BUILDING REPUTATION
BUILDING FAITH

CÔNG TY CỔ PHẦN XÂY DỰNG ĐÔ THỊ HỒNG ANH

Địa chỉ: Số 4/5/6, Tả Thanh Oai, Xã Đại Thanh, TP Hà Nội.
VPGD: No02-LK2-23, TDP Văn Khê 3, Phường Hà Đông, TP Hà Nội
Giám đốc: Nguyễn Thị Hồng

Chúc mừng

NGÀY BÁO CHÍ CÁCH MẠNG VIỆT NAM

21/6



CÔNG TY CỔ PHẦN
NƯỚC THIÊN NHIÊN NAWAPI HẠ LONG

Địa chỉ: Lát Thôn Vường Rậm, phường Hoành Bồ, tỉnh Quảng Ninh

Chúc mừng

NGÀY BÁO CHÍ CÁCH MẠNG VIỆT NAM

21/6



BỘ QUỐC PHÒNG
CÔNG TY 59

CÔNG TY TRÁCH NHIỆM HỮU HẠN MỘT THÀNH VIÊN 59



- Công ty TNHH MTV 59 là doanh nghiệp kinh tế kết hợp quốc phòng, an ninh do Nhà nước nắm giữ 100% vốn điều lệ; Bộ Quốc phòng là cơ quan đại diện chủ sở hữu, quyết định thành lập và giao Bộ Tổng Tham mưu trực tiếp quản lý.
- Gần 50 năm xây dựng và phát triển, trải qua nhiều giai đoạn khó khăn, thách thức, phát huy phẩm chất "Bộ đội Cụ Hồ" trong thời kỳ mới, đội ngũ cán bộ, kỹ sư và người lao động Công ty luôn giữ vững tinh thần đoàn kết, sáng tạo, chủ động đổi mới, đẩy mạnh ứng dụng khoa học công nghệ, nâng cao năng lực quản trị và chất lượng sản phẩm.
- Với phương châm "An toàn - Hiệu quả - Từng bước phát triển vững chắc", Công ty tập trung phát triển hai lĩnh vực trọng tâm là thi công xây lắp và kinh doanh dự án, đáp ứng yêu cầu ngày càng cao của khách hàng trong và ngoài Quân đội; tạo dựng nhiều dấu ấn trong lĩnh vực xây dựng quốc phòng, dân dụng, hạ tầng và dịch vụ. Mỗi công trình, dự án hoàn thành là minh chứng cho uy tín, chất lượng và năng lực của một doanh nghiệp mang truyền thống Quân đội, sẵn sàng đồng hành cùng khách hàng, chung tay kiến tạo những giá trị tốt đẹp cho cuộc sống.
- Bước vào giai đoạn phát triển mới, Công ty TNHH MTV 59 tiếp tục phát huy truyền thống, nâng cao năng lực cạnh tranh, mở rộng hợp tác, hướng tới mục tiêu trở thành doanh nghiệp phát triển hiệu quả, bền vững; tiếp tục xây dựng niềm tin với khách hàng, đối tác và đóng góp tích cực vào sự nghiệp xây dựng, phát triển đất nước.



Trụ sở chính: Số 9 Đinh Tiên Hoàng, phường Sài Gòn, TP Hồ Chí Minh
Email: company59@gmail.com Website: www.company59.vn
Điện thoại : 028.3 9101 200 - 3 9101 198 - 069.667 326 Fax : 028.3 910 1197 - 069.667 328

CÔNG TY CỔ PHẦN CÔNG TRÌNH LONG HƯNG

LONG HUNG WORKS JOINT STOCK COMPANY

Địa chỉ: Số 2, Ngõ 25, phố Bùi Huy Bích, phường Hoàng Mai, TP Hà Nội
Điện thoại: 04.62842669 Fax: 04.62842669











XÂY GIÁ TRỊ - DỰNG NIỀM TIN



Chúc mừng
NGÀY BÁO CHÍ 21/6
CÁCH MẠNG VIỆT NAM

VĂN PHÒNG TƯ VẤN
VÀ CHUYỂN GIAO CÔNG NGHỆ XÂY DỰNG

Địa chỉ: Tầng 1, nhà E, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội
Km10, Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội
Điện thoại: 0243 8545115
Fax: 0243 8542994
Wedside: www.vptv.com.vn
Email: pda.vptv@gmail.com

LỜI GIỚI THIỆU

Văn phòng tư vấn và chuyển giao công nghệ xây dựng được Bộ trưởng Bộ xây dựng cho phép thành lập theo Quyết định số 11/QĐ-BXD ngày 04/01/2002 (trước đây là "Văn phòng tư vấn xây dựng") là đơn vị tư vấn được đại diện cho Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội thực hiện các công tác tư vấn và chuyển giao công nghệ xây dựng theo giấy chứng nhận đăng ký hoạt động công nghệ và tư vấn xây dựng số 758 của Bộ trưởng Bộ Khoa học công nghệ và môi trường cấp ngày 16/01/2002 và được cấp lại số A-575 ngày 07/03/2016 và chứng chỉ năng lực hoạt động xây dựng số: BXD_00003543 do Cục quản lý hoạt động Bộ xây dựng cấp ngày 28/11/2022; giấy chứng nhận đủ điều kiện hành nghề bảo quản, tu bổ phục hồi di tích số 23/GCN-SVHTT do Sở Văn hóa thể thao Hà Nội cấp ngày 09/04/2020.

Văn phòng tư vấn và chuyển giao công nghệ xây dựng đã xây dựng hệ thống quản lý chất lượng sản phẩm tư vấn theo đúng quy định hiện hành của Nhà nước. Sản phẩm tư vấn của Văn phòng được đảm bảo cao nhất về chất lượng kỹ thuật, mỹ thuật, tiêu chuẩn, quy chuẩn về xây dựng, được tiến hành theo Luật xây dựng, các quy định của Chính phủ và Bộ Xây dựng về công tác xây dựng cơ bản.

Với tiêu chí hàng đầu là "CHẤT LƯỢNG, TIẾN ĐỘ VÀ LƯƠNG TÂM NGHỀ NGHIỆP" của đội ngũ cán bộ Văn phòng tư vấn và chuyển giao công nghệ xây dựng, chúng tôi rất mong tiếp tục nhận được sự tín nhiệm và cộng tác của các đơn vị, cơ quan đối tác trong và ngoài nước.



DỰ ÁN ĐẦU TƯ XÂY DỰNG KHÔNG GIAN, XÂY DỰNG CƠ SỞ ĐÀO TẠO HỌC VIỆN NGÂN HÀNG



DỰ ÁN ĐẦU TƯ XÂY DỰNG GIAI ĐOẠN 1 TRƯỜNG CAO ĐẲNG Y TẾ BẠCH MAI



DỰ ÁN TỔ HỢP KHÁCH SẠN, CĂN HỘ DU LỊCH - PHƯỜNG BÃI CHÁY, TP HẠ LONG, TỈNH QUẢNG NINH

VIMC
Vietnam Maritime Corporation

TỔNG CÔNG TY
HÀNG HẢI VIỆT NAM

Link People - Link the World



VIMC LUÔN ĐÁP ỨNG TỐT NHẤT MỌI NHU CẦU CỦA KHÁCH HÀNG QUA CÁC DỊCH VỤ:

VẬN TẢI BIỂN

KHAI THÁC CẢNG BIỂN

DỊCH VỤ HÀNG HẢI

Dịch vụ vận tải đường biển, đường thủy, đường bộ, vận tải đa phương thức, sửa chữa phương tiện vận tải biển.

Dịch vụ khai thác cảng biển, cảng sông; Dịch vụ kho, bãi, sản xuất, mua bán, cho thuê phương tiện và thiết bị vận tải, bốc xếp chuyên ngành.

Dịch vụ logistics, đại lý môi giới cung ứng dịch vụ hàng hải, cung ứng tàu biển, dịch vụ lai dắt tàu biển, tàu sông, đưa đón thuyền viên, xuất khẩu lao động và cung ứng lao động hàng hải; Xuất khẩu phương tiện, thiết bị, nguyên, nhiên vật liệu chuyên nghành hàng hải; cung ứng vật tư, nhiên liệu, thực phẩm, nước ngọt.

A Tòa nhà Ocean Park
Số 1 Đào Duy Anh - Kim Liên - Hà Nội

T (84) 24 35770825~29
E info@vimc.co

F (84) 24 35770852/60
W www.vimc.co

UTH UNIVERSITY OF TRANSPORT HOCHIMINH CITY

ĐẠI HỌC GIAO THÔNG VẬN TẢI TP. HỒ CHÍ MINH

Chào mừng

KỶ NIỆM 101 NĂM NGÀY BÁO CHÍ CÁCH MẠNG VIỆT NAM

(21/6/1925 - 21/6/2026)

VỮNG BƯỚC TRONG KỶ NGUYÊN MỚI

Mã tuyển sinh
UTH



WEBSITE TUYỂN SINH UTH

GHI DANH LIÊN KẾT QUỐC TẾ

ZALO OA TUYỂN SINH UTH

https://ut.edu.vn/
youtube.com/@uth_truongdhgtvttphcm
Trường Đại học Giao thông vận tải TP.HCM
ut-hcmc@ut.edu.vn

VIGLACERA Eco-Smart IPs

NHÀ PHÁT TRIỂN KHU CÔNG NGHIỆP HÀNG ĐẦU VIỆT NAM

25+ năm kinh nghiệm phát triển khu công nghiệp

20 khu công nghiệp **6.000+** hec-ta

20 tỷ USD vốn đầu tư

400+ nhà đầu tư

SAMSUNG · Amkor · Canon · HYOSUNG · POSCO FUTURE M · Qisda · BYD · THK · TOYODA GOSEI · FOXCONN · YAZAKI · NienMade · NAM · Kortek · Sumitomo · ABB · HITACHI · ORION · MCC · JOHNSON · RISUNTEK · TEXHONG · DARFON · deli · BUMJIN · IRC · FUTURE · OTOKI · ALMUS · KCC · ILJIN Diamond · Kenyang · LaserFlex · HANA · IEN · JAHWA · INTOPS · LogisValley



CÁC KHU CÔNG NGHIỆP CỦA VIGLACERA

❶ TỈNH BẮC NINH
Thuan Thanh Eco-Smart IP - 250 ha★
KCN Tiên Sơn - 350 ha
KCN Yên Phong - 342 ha
KCN Yên Phong mở rộng - 314 ha
KCN Yên Phong II-C - 219 ha

❷ TỈNH THÁI NGUYÊN
KCN Sông Công II - Giai đoạn 2 - 296 ha★
KCN Tây Phổ Yên - Giai đoạn 1 - 499 ha★

❸ TỈNH PHÚ THỌ
KCN Phú Hà - 356 ha★
KCN Phù Ninh - 409 ha★

❹ TỈNH LÀO CAI
KCN Trần Yên - Giai đoạn 1 - 255 ha★

❺ THÀNH PHỐ HUẾ
KCN Phong Điền Viglacera - 284 ha★

❻ TỈNH QUẢNG NINH
KCN Hải Yên - 182 ha★
KCN Đông Mai - 318 ha

❼ TỈNH HƯNG YÊN
KCN Yên Mỹ - 280 ha★
KCN Tiên Hải - 466 ha★
KCN Green One - 259 ha★

❽ TỈNH NINH BÌNH
KCN Đồng Văn IV - 300 ha

❾ TỈNH KHÁNH HÒA
KCN Dốc Đá Trắng - 288 ha★

❿ THÀNH PHỐ HẢI PHÒNG
KCN Trần Dương - 208 ha★

⓫ CỘNG HÒA CUBA
Khu kinh tế ViMariel - 256 ha★

★ *KCN đang thu hút đầu tư*



TOP TEN DEVELOPERS 2026 hubexo

CÔNG TY KINH DOANH BẤT ĐỘNG SẢN VIGLACERA

www.viglaceraip.com · vir@viglaceraland.vn · +84 888 25 22 88

■Ngày nhận bài: 01/4/2026 ■Ngày sửa bài: 15/4/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 04/5/2026

Khung pháp lý điều chỉnh quy hoạch có tích hợp nội dung quy hoạch đường sắt đô thị tại Hà Nội: Thực trạng và định hướng hoàn thiện

The legal framework governing planning with integrated urban railway planning content in Hanoi: Current situation and directions for improvement

> THS.NCS VŨ QUANG ANH
Cục Đường sắt Việt Nam
Email: vuquanganh3010@gmail.com

TÓM TẮT

Trong thời gian qua, hệ thống quy hoạch có nội dung phát triển đường sắt đô thị ở Hà Nội được hình thành và phát triển thông qua nhiều loại quy hoạch khác nhau. Các quy hoạch này được ban hành ở các thời kỳ khác nhau, chịu sự điều chỉnh của các luật quy hoạch và pháp luật chuyên ngành tương ứng, đồng thời được phê duyệt bởi các cấp có thẩm quyền khác nhau theo quy định của pháp luật.

Bài báo phân tích hệ thống khung pháp lý và nội dung của các quy hoạch có nội dung liên quan trực tiếp đến phát triển đường sắt đô thị ở Hà Nội. Trên cơ sở đó, bài báo chỉ ra các tồn tại, hạn chế mang tính cấu trúc trong hệ thống quy hoạch. Kết quả phân tích là cơ sở để đề xuất các giải pháp định hướng hoàn thiện khung quy hoạch, bảo đảm tính tính đồng bộ, phù hợp giữa các loại và cấp độ quy hoạch có nội dung phát triển mạng lưới đường sắt đô thị tại Hà Nội theo các định hướng mới.

Từ khóa: Đường sắt đô thị; quy hoạch; pháp lý; Hà Nội.

ABSTRACT

In recent years, the planning system incorporating urban railway development in Hanoi has been established and evolved through various types of plans. These plans were promulgated at different periods, governed by different planning laws and relevant sector-specific legislation and approved by different competent authorities in accordance with legal regulations.

This paper analyzes the legal framework and the substantive contents of plans that are directly related to urban railway development in Hanoi. On this basis, the paper identifies structural shortcomings and limitations within the planning system. The analytical findings provide a foundation for proposing policy-oriented solutions aimed at improving the planning framework, ensuring coherence and compatibility among different types and levels of plans that incorporate the development of Hanoi's urban railway network in line with new strategic orientations.

Keywords: Urban railway; planning; legal; Hanoi.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Quá trình đô thị hóa nhanh tại Hà Nội đặt ra yêu cầu cấp thiết phát triển hệ thống giao thông công cộng khối lớn, bền vững và có khả năng định hướng phát triển không gian đô thị, trong đó đường sắt đô thị giữ vai trò then chốt nhờ năng lực vận tải khối lớn, thân thiện với môi trường và nâng cao hiệu quả sử dụng đất.

Công tác quy hoạch đường sắt đô thị giữ vai trò then chốt trong việc định hướng phát triển hệ thống giao thông công cộng khối lớn, góp phần giải quyết các vấn đề ùn tắc giao thông, ô nhiễm môi trường và thúc đẩy phát triển đô thị bền vững. Tuy nhiên, quy hoạch đường sắt đô thị không chỉ là hoạt động kỹ thuật - không gian thuần túy mà còn chịu sự chi phối trực tiếp và toàn diện của hệ thống pháp luật. Khung pháp lý điều chỉnh công tác quy hoạch đường sắt đô thị chính là cơ sở pháp lý quan trọng nhằm bảo đảm tính hợp hiến, hợp pháp, tính thống nhất, đồng bộ và khả thi trong quá trình lập, thẩm định, phê duyệt và tổ chức thực hiện quy hoạch.

Thời gian qua, tại Hà Nội, vai trò của giao thông vận tải đường sắt đô thị đã được thể hiện xuyên suốt trong các đồ án quy hoạch phát triển không gian đô thị. Trong bối cảnh chính quyền Thủ đô đang đẩy nhanh triển khai hàng loạt các dự án đường sắt đô thị và đặc biệt là các dự án đường sắt đô thị theo mô hình TOD, việc nhận diện rõ khung pháp lý điều chỉnh hệ thống quy hoạch hiện hành, chỉ ra những tồn tại và nguyên nhân của chúng là cần thiết, có ý nghĩa quan trọng và tác động trực tiếp đến công tác quản lý nhà nước về đường sắt đô thị. Nghiên cứu sử dụng phương pháp phân tích - tổng hợp các văn bản pháp luật liên quan đến quy hoạch và đường sắt đô thị, kết hợp với phương pháp so sánh nhằm đánh giá mức độ tích hợp và tính đồng bộ của khung pháp lý hiện hành.

2. TỔNG QUAN KHUNG PHÁP LÝ VỀ QUY HOẠCH ĐÔ THỊ VÀ NÔNG THÔN Ở VIỆT NAM

Hệ thống quy hoạch đô thị và nông thôn của Việt Nam được tổ

chức theo cấu trúc thứ bậc thống nhất, dẫn dắt từ quy hoạch tổng thể hệ thống đô thị và nông thôn ở cấp quốc gia đến các quy hoạch theo phạm vi lãnh thổ và chức năng. Trên cơ sở đó, quy hoạch đô thị, quy hoạch nông thôn, quy hoạch khu chức năng, quy hoạch không gian ngầm và quy hoạch chuyên ngành hạ tầng kỹ thuật cụ thể hóa yêu cầu quản lý và phát triển của từng lĩnh vực. Ba cấp độ quy hoạch không gian (quy hoạch chung, quy hoạch phân khu và quy hoạch chi tiết hoặc quy hoạch tổng mặt bằng) tiếp tục chuyển hóa các định hướng này thành tổ chức không gian cụ thể, làm căn cứ pháp lý trực tiếp cho triển khai dự án. Cấu trúc pháp lý này là nền tảng quan trọng đối với quy hoạch có nội dung về đường sắt đô thị, một loại hạ tầng kỹ thuật mang tính định hướng phát triển không gian đô thị bền vững.



Hình 1. Các loại quy hoạch đô thị và nông thôn

Hệ thống quy hoạch đô thị và phát triển nông thôn đảm bảo cụ thể hóa, phù hợp với quy hoạch cấp quốc gia, quy hoạch vùng, quy hoạch tỉnh, bảo đảm tính kế thừa các quy hoạch đã được phê duyệt. Khung pháp luật về quy hoạch đô thị và nông thôn ở Việt Nam giữ vai trò nền tảng, định hướng không gian phát triển cho việc hình thành và phát triển hệ thống đường sắt đô thị. Tuy nhiên, nội dung quy hoạch đường sắt đô thị hiện nay không được xác định là một loại quy hoạch độc lập mà được tích hợp trong quy hoạch Thủ đô và quy hoạch hạ tầng kỹ thuật chuyên ngành giao thông. Do đó, quy hoạch có tích hợp nội dung đường sắt đô thị của Hà Nội chịu sự điều chỉnh đồng thời của Luật Quy hoạch, Luật Quy hoạch đô thị và nông thôn.

3. THỰC TRẠNG CÁC QUY HOẠCH CÓ TÍCH HỢP NỘI DUNG ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ CỦA THỦ ĐÔ HÀ NỘI - NHỮNG TỒN TẠI VÀ ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP HOÀN THIỆN

3.1. Thực trạng các quy hoạch có tích hợp nội dung đường sắt đô thị của Thủ đô Hà Nội

3.1.1. Quy hoạch Thủ đô Hà Nội thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050 (Quyết định số 1569/QĐ-TTg ngày 12/12/2024)

Quy hoạch Thủ đô Hà Nội là quy hoạch cấp tỉnh theo quy định của pháp luật quy hoạch, có tính tích hợp và tổng thể, bao trùm toàn bộ không gian, ngành và lĩnh vực trên địa bàn Thủ đô. Quy hoạch này là căn cứ pháp lý để lập và điều chỉnh các quy hoạch đô thị, quy hoạch nông thôn và các quy hoạch có tính chất kỹ thuật, chuyên ngành, bảo đảm tính thống nhất, đồng bộ của hệ thống quy hoạch trên địa bàn Thủ đô Hà Nội. Trên cơ sở đó, quy hoạch xác lập mạng lưới đường sắt đô thị là trụ cột chiến lược trong phát triển đô thị và vùng Thủ đô. Đồng thời, quy hoạch Thủ đô giữ vai trò nền tảng trong hệ thống quy hoạch, bảo đảm tính tuân thủ, kế thừa và ổn định thứ bậc, là một trong những căn cứ pháp lý trực tiếp để lập quy hoạch chung Thủ đô Hà Nội, quy hoạch không gian ngầm đô thị Hà Nội, quy hoạch chuyên ngành hạ tầng kỹ thuật giao thông Hà Nội, trong đó xác định khung phát triển mạng lưới đường sắt đô thị và tổ chức không gian đô thị theo định hướng TOD.

Về nội dung, quy hoạch xác định các định hướng lớn về phát triển kinh tế - xã hội, tổ chức không gian, sử dụng tài nguyên và phát triển hệ thống hạ tầng kỹ thuật của Thủ đô; đồng thời xác định rõ phương án phát triển mạng lưới đường sắt đô thị kèm theo danh sách gồm 14 tuyến đường sắt đô thị và 2 tuyến monorail (theo đó: bổ sung mới 5 tuyến; kế thừa và điều chỉnh 2 tuyến; giữ nguyên 9 tuyến; loại bỏ 1 tuyến so với số lượng tuyến đường sắt đô thị đã được định hướng đầu tư tại quy hoạch GTVT Thủ đô Hà Nội). Mạng lưới đường sắt đô thị này là cấu phần quan trọng của hạ tầng chiến lược và mô hình phát triển đô thị TOD của Thủ đô.

3.1.2. Điều chỉnh Quy hoạch chung Thủ đô Hà Nội đến năm 2045, tầm nhìn đến năm 2065 (Quyết định số 1668/QĐ-TTg ngày 27/12/2024)

Điều chỉnh Quy hoạch chung Thủ đô Hà Nội được lập và phê duyệt theo Luật Quy hoạch đô thị số 30/2009/QH12 (đã được sửa đổi, bổ sung). Quy hoạch này đã cập nhật toàn diện định hướng phát triển đô thị Thủ đô trong dài hạn theo mô hình đa trung tâm, hệ thống vành đai đô thị và phát triển giao thông công cộng khối lượng lớn; đồng thời quy hoạch này là một trong những căn cứ trực tiếp để lập Quy hoạch không gian ngầm đô thị Hà Nội, quy hoạch chuyên ngành hạ tầng kỹ thuật giao thông Hà Nội, quy hoạch phân khu.

Quy hoạch đã định hướng hệ thống đường sắt đô thị gồm 14 tuyến và xác định vai trò quan trọng của đường sắt đô thị trong việc tái phân bố dân cư, lao động và các hoạt động đô thị, gắn chặt với mô hình TOD, đặc biệt tại khu vực nội đô.

3.1.3. Quy hoạch chung không gian ngầm đô thị trung tâm - TP Hà Nội đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050 (Quyết định số 913/QĐ-UBND ngày 15/3/2022)

Đây là đồ án quy hoạch đô thị nhằm cụ thể hóa định hướng tổ chức không gian xây dựng ngầm, xác định nhu cầu phát triển và sử dụng không gian ngầm, bao gồm không gian ngầm đường sắt đô thị và các công trình hạ tầng kỹ thuật, dịch vụ công cộng phục vụ phát triển đô thị theo định hướng TOD quanh các nhà ga ngầm; đồng thời phân định khu vực được phép khai thác, hạn chế và cấm xây dựng công trình ngầm, xác định phạm vi xây dựng công trình công cộng ngầm theo dự án độc lập và các giai đoạn thực hiện quy hoạch. Quy hoạch là một trong những công cụ quan trọng nhằm quản lý và tổ chức phát triển các công trình đường sắt đô thị đi ngầm trong khu vực nội đô. Hệ thống không gian ngầm của đường sắt đô thị theo quy hoạch với tổng chiều dài xây dựng ngầm khoảng 86,5 km và 81 ga ngầm trên 6 tuyến (tuyến số 2, 3, 4, 5, 7 và 8).

3.1.4. Quy hoạch giao thông vận tải Thủ đô Hà Nội đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050 (Quyết định số 519/QĐ-TTg ngày 31/3/2016)

Đây là Quy hoạch hạ tầng kỹ thuật chuyên ngành giao thông của Thủ đô Hà Nội theo quy định của Luật Quy hoạch đô thị số 30/2009/QH12. Đối với đường sắt đô thị, quy hoạch định hướng đầu tư xây dựng kèm theo xác định danh sách cụ thể 13 tuyến đường sắt đô thị, trong đó có 3 tuyến monorail.

Quy hoạch đã xác lập vai trò của đường sắt đô thị trong tổ chức hệ thống vận tải hành khách công cộng khối lượng lớn, bảo đảm sự kết nối giữa các loại hình vận tải tại các nhà ga và gắn phát triển giao thông với phát triển đô thị theo định hướng giao thông công cộng (TOD). Quy hoạch này đóng vai trò là căn cứ quan trọng trong giai đoạn chuẩn bị đầu tư các dự án đường sắt đô thị.

3.2. Tồn tại

- Về nguyên tắc, quy hoạch hạ tầng kỹ thuật chuyên ngành giao thông phải bảo đảm phù hợp và cụ thể hóa Quy hoạch Thủ đô về nội dung quy hoạch đường sắt đô thị, thông qua việc tuân thủ định hướng quy hoạch cấp trên, tổ chức cấu trúc không gian và sử dụng đất gắn với các tuyến và nhà ga đường sắt đô thị, đồng thời định hướng phát triển không gian ngầm và kế hoạch thực hiện theo các giai đoạn của thời kỳ quy hoạch.

Thực tế số lượng tuyến thuộc mạng lưới đường sắt đô thị đã được định hướng đầu tư xây dựng tại Quy hoạch 519 (13 tuyến ĐSĐT, trong đó có 3 tuyến tàu một ray) chưa được điều chỉnh phù hợp với phương án phát triển mạng lưới đường sắt đô thị trong Quy hoạch 1569 (14 tuyến đường sắt đô thị và 2 tuyến monorail).

Việc thiếu tính thống nhất về mạng lưới đường sắt đô thị (đặc biệt là số lượng, cấu trúc tuyến và vai trò các tuyến/ga) hiện nay tại các quy hoạch này làm suy giảm tính đồng bộ của hệ thống quy hoạch; tiềm ẩn rủi ro pháp lý trong bước chuẩn bị dự án và khó khăn cho quản lý quỹ đất, hành lang an toàn các tuyến đường sắt đô thị với các dự án lân cận. Cần thiết sớm điều chỉnh nội dung đường sắt đô thị tại Quy hoạch 519 và các quy hoạch có liên quan bảo đảm

tính thống nhất, đồng bộ với Quy hoạch Thủ đô Hà Nội thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050.

- Đồ án Quy hoạch chung không gian xây dựng ngầm đô thị trung tâm Hà Nội được lập trên cơ sở Quy hoạch chung Thủ đô Hà Nội năm 2011 (định hướng mạng lưới đường sắt đô thị gồm 8 tuyến). Tuy nhiên, quy hoạch chung Thủ đô này đã được điều chỉnh, mạng lưới ĐSĐT được mở rộng thêm, nên đồ án trên hiện nay chỉ bao phủ một phần, chưa phản ánh đầy đủ các định hướng phát triển, mở rộng mới các tuyến đường sắt đô thị theo các quy hoạch mới được phê duyệt năm 2024. Do đó, sẽ làm tăng nguy cơ xung đột không gian ngầm đô thị và phát sinh nhu cầu điều chỉnh cục bộ quy hoạch trong quá trình chuẩn bị và triển khai dự án, đồng thời làm giảm tính chủ động và hiệu quả trong tổ chức - quản lý phát triển không gian ngầm gắn với mạng lưới đường sắt đô thị và phát triển đô thị định hướng TOD Thủ đô Hà Nội. Cần thiết rà soát, điều chỉnh nội dung mạng lưới đường sắt đô thị đi ngầm phù hợp, đồng bộ với các quy hoạch cấp trên.

3.3. Về Khung tiêu chuẩn áp dụng cho lập quy hoạch đường sắt đô thị

Việc lập quy hoạch có nội dung về đường sắt đô thị cần tuân thủ quy hoạch chung Thủ đô Hà Nội và quy chuẩn, tiêu chuẩn lĩnh vực đường sắt đô thị.

Thực tế hiện nay, hệ thống quy chuẩn kỹ thuật (QCVN), tiêu chuẩn quốc gia (TCVN) đối với đường sắt đô thị còn thiếu và chưa đồng bộ, nên khi lập quy hoạch, đặc biệt là quy hoạch chuyên ngành hạ tầng kỹ thuật lĩnh vực giao thông có tích hợp nội dung đường sắt đô thị, buộc phải viện dẫn và áp dụng tiêu chuẩn nước ngoài tương ứng. Trong bối cảnh hiện nay, khi đầu tư xây dựng các tuyến đường sắt đô thị vẫn phải phụ thuộc công nghệ, tiêu chuẩn đường sắt đô thị của nước ngoài, kéo theo việc tiêu chuẩn áp dụng ở bước dự án có thể khác hoặc thay đổi so với bước quy hoạch. Hệ quả là phát sinh rủi ro không thống nhất căn cứ kỹ thuật giữa quy hoạch và dự án, làm gia tăng khả năng phải điều chỉnh quy hoạch phù hợp với phương án tuyến công trình, vị trí công trình trên tuyến đường sắt đô thị, gây khó khăn cho công tác quản lý hành lang an toàn và quỹ đất dọc tuyến, đồng thời ảnh hưởng đến việc triển khai các quy hoạch cấp dưới và tổ chức thực hiện các dự án đường sắt đô thị, kéo dài tiến độ và phát sinh chi phí.

Luật Đường sắt năm 2025 xác định đường sắt đô thị là một loại hình của đường sắt địa phương phục vụ nhu cầu vận tải hành khách ở khu vực đô thị và vùng phụ cận.

Mỗi hệ thống đường sắt đô thị có các đặc tính và yêu cầu kỹ thuật khác nhau, tuy nhiên hệ thống tiêu chuẩn hiện nay chưa có tiêu chuẩn quy định về đặc tính kỹ thuật và yêu cầu quản lý dùng làm chuẩn để phân loại các loại hình đường sắt đô thị. Việc ban hành tiêu chuẩn phân loại loại hình đường sắt đô thị là điều kiện cần thiết để chuẩn hóa căn cứ kỹ thuật phục vụ lập quy hoạch có nội dung phát triển đường sắt đô thị, bảo đảm xác định đúng cấp độ dịch vụ, năng lực vận chuyển, phương thức chạy của từng tuyến, từ đó làm cơ sở xác định hệ tiêu chuẩn áp dụng, xác định hành lang tuyến - ga - depot, quỹ đất phù hợp với từng loại hình hệ thống đường sắt đô thị ngay từ bước lập quy hoạch.

Bên cạnh đó, "*Phát triển đô thị theo định hướng giao thông công cộng - TOD*" đã được xác định trong một số văn bản pháp luật. Tuy nhiên, để xây dựng quy hoạch khu vực TOD, quy hoạch khu vực dọc tuyến ga đường sắt đô thị cần thiết có hướng dẫn mang tính chất khung chuẩn mực thống nhất trên toàn quốc làm cơ sở cho Hà Nội xây dựng, ban hành các quy định chi tiết hóa TOD từ mức định hướng trong quy hoạch sang tổ chức triển khai thực tế phù hợp với từng điều kiện cụ thể. Theo kinh nghiệm một số nước có hệ thống đường sắt đô thị phát triển như Ấn Độ, Nhật Bản, Trung Quốc đều có hệ thống tiêu chuẩn, hướng dẫn thống nhất từ cấp quốc gia đến cấp địa phương.

3.4. Đề xuất giải pháp hoàn thiện

3.4.1. Nhóm giải pháp hoàn thiện khung tiêu chuẩn thống nhất ở cấp quốc gia

- Nghiên cứu sửa đổi QCVN 01:2021/BXD quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về Quy hoạch xây dựng theo hướng bổ sung nội dung: Hướng dẫn lập quy hoạch khu vực TOD; quy định chỉ tiêu quy hoạch kiến trúc, hạ tầng kỹ thuật, hạ tầng xã hội, các yêu cầu về không gian và sử dụng đất trong khu vực TOD.

- Xây dựng và ban hành đồng bộ hệ thống quy chuẩn kỹ thuật quốc gia (QCVN) và tiêu chuẩn quốc gia (TCVN) chuyên ngành đường sắt đô thị, bảo đảm phù hợp điều kiện Việt Nam, tiệm cận thông lệ quốc tế, làm căn cứ thống nhất cho công tác lập quy hoạch, thiết kế, chuẩn bị đầu tư, thi công, nghiệm thu và vận hành, qua đó bảo đảm tính thống nhất, tương thích và an toàn trong toàn bộ vòng đời dự án ngay từ bước lập quy hoạch.

- Ban hành các quy định mang tính chất khung chuẩn mực thống nhất trên toàn quốc hướng dẫn lập quy hoạch khu vực dọc tuyến đường sắt đô thị nhằm tối ưu hóa chức năng, không gian đô thị dọc tuyến nhà ga đường sắt đô thị và giao thông đô thị tích hợp.

3.4.2. Nhóm giải pháp hoàn thiện quy hoạch ở cấp địa phương

- Rà soát, cập nhật, điều chỉnh nội dung quy hoạch đường sắt đô thị tại Quy hoạch 913, Quy hoạch 519 bảo đảm tính đồng bộ, phù hợp giữa các cấp độ quy hoạch.

- Sớm ban hành các hướng dẫn của địa phương về: Lập quy hoạch khu vực TOD; lập quy hoạch khu vực dọc tuyến đường sắt đô thị; quy định chỉ tiêu quy hoạch kiến trúc, hạ tầng kỹ thuật, hạ tầng xã hội, các yêu cầu về không gian và sử dụng đất trong khu vực TOD theo thẩm quyền.

- Thí điểm triển khai dự án đường sắt đô thị theo mô hình TOD đồng bộ tại các khu vực có tiềm năng làm cơ sở kinh nghiệm thực tiễn triển khai đồng loạt các dự án theo quy hoạch.

4. KẾT LUẬN

Hệ thống quy hoạch có nội dung quy hoạch mạng lưới đường sắt đô thị của Hà Nội đã tạo ra nhiều cơ hội triển khai các dự án đầu tư xây dựng đường sắt đô thị nhưng cũng còn hạn chế về tính thống nhất, đồng bộ về quy mô mạng lưới đường sắt đô thị và thứ bậc trong hệ thống quy hoạch do chưa được kịp thời cập nhật, sửa đổi, bổ sung đồng bộ.

Việc thiếu các quy định, hướng dẫn làm cơ sở lập quy hoạch trong đó có nội dung quy hoạch mạng lưới đường sắt đô thị và khu vực TOD cần sớm được chuẩn hóa, cập nhật và hoàn thiện khung quy hoạch là điều kiện cần thiết để bảo đảm triển khai hiệu quả các dự án đường sắt đô thị theo mô hình TOD và phát triển đô thị theo mô hình TOD tại Thủ đô Hà Nội.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Quốc hội. Luật Thủ đô số 39/2024/QH15 ngày 28/6/2024.

[2] Quốc hội. Luật Quy hoạch đô thị và nông thôn số 47/2024/QH15 ngày 26/11/2024.

[3] Quốc hội. Luật Đường sắt số 95/2025/QH15 ngày 27/6/2025.

[4] Quốc hội. Nghị quyết số 188/2025/QH15 ngày 19/02/2025 về thí điểm một số cơ chế, chính sách đặc thù, đặc biệt để phát triển hệ thống mạng lưới đường sắt đô thị tại TP Hà Nội, TP Hồ Chí Minh, 2025.

[5] Trần Quang Phú, Trần Minh Cường. Các yếu tố ảnh hưởng đến công tác quy hoạch không gian ngầm trong phát triển giao thông đô thị tại TP. HCM. Tạp chí Xây dựng, số 09, tr. 132-136, 2025.

[6] Sakaki Shinichi. Japan's TOD. Internet: https://www.mlit.go.jp/common/001398605.pdf (truy cập tháng 02/2026).

[7] ZHOU Yong, XU Jiping. Urban Express Rail Transit Planning and Design, no. 6, pp. 1-10, 2021. Internet: https://www.chinautc.com/upload/accessorychinautc/20226/20226231691882358 67.PDF (truy cập tháng 02/2026).

[8] Brian Hollingworth, Trevor McIntyre, Deepak Darda, Ashish Ghate, Bankim Kalra. Transit Oriented Development Guidance Document, May 2016. Internet: https://mohua.gov.in/upload/uploadfiles/files/TOD-Guidance-Document.pdf (accessed: 02/2026).

■Ngày nhận bài: 02/4/2026 ■Ngày sửa bài: 16/4/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 07/5/2026

Tổ chức không gian xanh trong đô thị sinh thái: Nghiên cứu trường hợp phường Chương Mỹ, Hà Nội, Việt Nam

Green space organization in Eco-Cities: A case study of Chuong My district, Hanoi, Vietnam

> NCS.KTS LÊ THỊ MINH HẰNG[1,*], TS.KTS NGUYỄN THỊ LAN PHƯƠNG[2]
[1]Viện Quy hoạch Đô thị và Nông thôn quốc gia, Bộ xây dựng
[2]GV Khoa Quản lý đô thị, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội
[*]Email: hangminh2711@gmail.com

TÓM TẮT

Không gian xanh giữ vai trò trung tâm trong cấu trúc đô thị sinh thái, góp phần nâng cao chất lượng môi trường sống, tăng cường khả năng thích ứng với biến đổi khí hậu và thúc đẩy phát triển bền vững. Nghiên cứu này đánh giá hiện trạng hệ thống không gian xanh tại phường Chương Mỹ (Hà Nội) - một đô thị sinh thái đang chịu áp lực đô thị hóa ngày càng gia tăng. Phương pháp nghiên cứu kết hợp giữa phân tích không gian, điều tra khảo sát thực địa và cách tiếp cận sinh thái học đô thị. Kết quả cho thấy hệ thống không gian xanh hiện nay còn phân mảnh, phân bố không đồng đều và thiếu tính kết nối sinh thái. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất mô hình chỉ số Không gian xanh (Green Space Index - GSI) tích hợp 5 nhóm tiêu chí gồm: sinh thái, không gian, xã hội, quản lý và công nghệ. Đồng thời, nghiên cứu xây dựng mô hình mạng lưới không gian xanh đa cấp nhằm cải thiện vi khí hậu, giảm thiểu ngập úng và nâng cao chất lượng sống của cư dân đô thị. Kết quả nghiên cứu đóng góp cơ sở khoa học và thực tiễn cho công tác quy hoạch, quản lý và phát triển đô thị sinh thái tại Việt Nam.

Từ khóa: Không gian xanh; đô thị sinh thái; hạ tầng xanh; quy hoạch đô thị; Hà Nội.

ABSTRACT

Green space plays a pivotal role in the structural framework of eco-cities, contributing to the enhancement of urban liveability, strengthening climate resilience, and promoting sustainable development. This study evaluates the current state of the green space system in Chuong My District (Hanoi) – an eco-urban area currently facing intense urbanization pressure. The research methodology integrates spatial analysis, field surveys, and an urban ecology-based approach. The empirical findings reveal that the existing green space system remains fragmented, unevenly distributed, and lacks ecological connectivity. Based on these results, the study proposes a Green Space Index (GSI) model incorporating five key criteria groups: ecology, space, society, management, and technology. Furthermore, a multi-level green space network model is developed to improve microclimates, mitigate flooding, and enhance the overall quality of life. These research findings offer both theoretical insights and practical applications for eco-city planning in the context of Vietnam.

Keywords: Green space; Eco-City; green infrastructure; urban planning; Hanoi.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

1.1. Bối cảnh nghiên cứu

Trong bối cảnh đô thị hóa nhanh tại các quốc gia đang phát triển, các vấn đề môi trường đô thị như hiệu ứng đảo nhiệt, ô nhiễm không khí và suy giảm hệ sinh thái ngày càng gia tăng [1], [2]. Tại Việt Nam, đặc biệt là Hà Nội, quá trình mở rộng đô thị diễn ra mạnh mẽ nhưng thiếu sự đồng bộ trong phát triển hạ tầng xanh.

Theo định hướng Quy hoạch chung Thủ đô Hà Nội đến năm 2045, tầm nhìn 2065, phát triển đô thị sinh thái và hành lang xanh được xác định là chiến lược trọng tâm. Trong đó, phường Chương Mỹ là khu vực chuyển tiếp quan trọng giữa đô thị và nông thôn. Được xác định là đô thị sinh thái trong đồ án quy hoạch chung (QHC) Hà Nội.

1.2. Mục tiêu nghiên cứu

Nghiên cứu nhằm:

- Nghiên cứu, đánh giá hiện trạng tổ chức Không gian xanh của TP Hà Nội nói chung và tại đô thị sinh thái của thủ đô nói riêng.
- Nhận diện đặc điểm cấu trúc không gian xanh tại đô thị sinh thái của Hà Nội trong quá trình đô thị hóa.
- Làm rõ cơ sở lý luận và thực tiễn về tổ chức Không gian xanh trong đô thị sinh thái.

- Đề xuất nhóm tiêu chí đánh giá không gian xanh tại các đô thị sinh thái và hình thái cấu trúc đô thị sinh thái.

- Đề xuất mô hình và giải pháp tổ chức Không gian xanh trong đô thị sinh thái của Thủ đô Hà Nội và nghiên cứu áp dụng cụ thể tại phường Chương Mỹ phù hợp với điều kiện tự nhiên, đặc điểm phát triển kinh tế, xã hội, văn hóa, quy hoạch…

2. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU

2.1. Đô thị sinh thái, hạ tầng xanh và không gian xanh

Đô thị sinh thái là mô hình phát triển đô thị hướng tới cân bằng giữa con người - tự nhiên - môi trường xây dựng [3], [4]. Hạ tầng xanh được hiểu là mạng lưới các không gian tự nhiên và bán tự nhiên được quy hoạch có chiến lược nhằm cung cấp các dịch vụ hệ sinh thái [5], [6].

Theo GS.TS.KTS Đỗ Hậu: Không gian xanh trong khu đô thị mới bao gồm: Công viên, vườn hoa, vườn dạo, hồ nước (tự nhiên hoặc nhân tạo), quảng trường; các khu vực công cộng khác trồng cây, thảm cỏ và cây xanh trong khuôn viên của các tổ chức, cá nhân.

Theo TS Nguyễn Thị Hạnh: Không gian xanh là những không gian mặt đất, mặt nước với các đặc điểm địa lý khác nhau đã được tự nhiên hóa bởi các loài thực vật, động vật. Không gian xanh bao gồm: Không gian xanh tự nhiên, không gian xanh bán tự nhiên và không gian xanh nhân tạo.

Trong nghiên cứu, tác giả sử dụng khái niệm: không gian xanh bao gồm: không gian xanh tự nhiên và không gian xanh nhân tạo.

Các nghiên cứu cho thấy hệ thống không gian xanh liên kết có khả năng giảm nhiệt độ đô thị và tăng khả năng thích ứng với biến đổi khí hậu [7], [8].

2.2. Vai trò của không gian xanh

Không gian xanh giữ vai trò đa chiều, tác động đồng thời đến các khía cạnh môi trường, xã hội và kinh tế của đô thị. Về môi trường, hệ thống cây xanh và mặt nước có khả năng hấp thụ CO_2, lọc bụi mịn và điều hòa vi khí hậu, qua đó giảm hiệu ứng đảo nhiệt đô thị và cải thiện chất lượng không khí [9]. Ngoài ra, không gian xanh còn góp phần tăng khả năng thấm nước, giảm dòng chảy bề mặt và hạn chế nguy cơ ngập úng.

Về xã hội, không gian xanh là hạ tầng mềm thiết yếu giúp cải thiện sức khỏe thể chất và tinh thần, giảm stress và thúc đẩy hoạt động thể chất của cư dân. Đồng thời, các công viên và không gian công cộng xanh tạo điều kiện cho tương tác xã hội và gắn kết cộng đồng, góp phần nâng cao chất lượng sống và tính bền vững xã hội [10].

Về kinh tế, nhiều nghiên cứu cho thấy sự hiện diện của không gian xanh có tác động tích cực đến giá trị bất động sản và khả năng thu hút đầu tư. Các khu vực có mật độ cây xanh cao thường có giá trị đất đai và sức cạnh tranh đô thị cao hơn, đồng thời giảm chi phí y tế và năng lượng trong dài hạn [11]. Như vậy, không gian xanh không chỉ là yếu tố cảnh quan mà còn là tài sản chiến lược trong phát triển đô thị bền vững.

Các nghiên cứu hiện nay chủ yếu ở quy mô đô thị lớn, trong khi thiếu các nghiên cứu chi tiết ở quy mô đô thị sinh thái, đặc biệt tại các khu vực chuyển đổi nhanh như Chương Mỹ.

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

3.1. Cách tiếp cận nghiên cứu

Cách tiếp cận nghiên cứu trong nghiên cứu đã đi từ lý thuyết đô thị sinh thái và tổ chức không gian đô thị sinh thái kết hợp với đồ án QHC Thủ đô Hà Nội được phê duyệt và kết quả điều tra xã hội học về hiện trạng không gian xanh và nhu cầu nguyện vọng của người dân về tổ chức không gian xanh trong đó xác định các đô thị sinh thái của Hà Nội để nhận diện được bản chất của đô thị và vai trò của hệ thống không gian xanh trong đô thị sinh thái.

3.2. Khung phân tích

Nghiên cứu đề xuất Chỉ số không gian xanh (GSI - Green Space Index) như một công cụ đánh giá tổng hợp, cho phép lượng hóa chất lượng hệ thống không gian xanh theo tiếp cận đa chiều. GSI được xác định theo công thức:

$$GSI = w_1E + w_2S + w_3C + w_4M + w_5T$$

Trong đó:

- E: Sinh thái - môi trường
- S: Cấu trúc không gian
- C: Xã hội - cộng đồng
- M: Quản lý - kinh tế
- T: Kỹ thuật - công nghệ

Trong đó, trọng số w1-w5 được xác định bằng:

+ AHP (Analytic Hierarchy Process): là phương pháp ra quyết định đa tiêu chí do Thomas L. Saaty đề xuất nhằm đánh giá mức độ phát triển, chất lượng hoặc hiệu quả của hệ thống không gian xanh trong đô thị, khu vực hoặc dự án quy hoạch).

+ Tham vấn chuyên gia

+ Bộ tiêu chuẩn quốc gia và quốc tế (VD: WHO, UN-Habitat, LEED)

Cụ thể, E (Ecological-Environmental) đo lường hiệu quả sinh thái như độ che phủ xanh, khả năng hấp thụ CO_2 và điều hòa vi khí hậu. S (Spatial Structure) đánh giá cấu trúc phân bố, mức độ kết nối và bán kính tiếp cận không gian xanh. C (Community-Social) phản ánh mức độ sử dụng, sự hài lòng và khả năng tiếp cận công bằng của cộng đồng. M (Management–Economic) xem xét hiệu quả quản lý, chi phí vận hành và giá trị kinh tế mang lại. Cuối cùng, T (Technical-Technological) đánh giá mức độ ứng dụng công nghệ (GIS, mô phỏng, hạ tầng xanh thông minh) trong quy hoạch và quản lý.

Khung GSI cho phép tích hợp dữ liệu định lượng và định tính, từ đó hỗ trợ so sánh giữa các khu vực và kịch bản quy hoạch khác nhau. Đây là bước tiến so với các chỉ số truyền thống vốn chỉ tập trung vào diện tích, góp phần nâng cao tính khoa học và khả năng ứng dụng trong ra quyết định quy hoạch đô thị bền vững.

3.3. Phương pháp nghiên cứu

a. Phương pháp phân tích tổng hợp: Nghiên cứu tổng hợp liên kết, hệ thống hóa các kết quả phân tích nhằm rút ra bản chất, quy luật của không gian xanh hoặc đưa ra nhận định, giải pháp toàn diện…

b. Phương pháp kế thừa: nghiên cứu và kế thừa có chọn lọc các nghiên cứu của nước ngoài và các nghiên cứu trong nước có liên quan tới hệ thống cây xanh. Bên cạnh đó, nghiên cứu lấy căn cứ tiền đề một số khái niệm về đô thị sinh thái, tiêu chí đô thị sinh thái; là bước triển khai chi tiết hơn, cụ thể đề tài khoa học cấp Bộ "Nghiên cứu hình thái, cấu trúc đô thị sinh thái để xây dựng tiêu chí và nguyên tắc quản lý đô thị sinh thái theo quy hoạch chung và định hướng phát triển bền vững" đã được nghiệm thu của GS.TS Đỗ Hậu và nhóm tác giả. Từ đó phát triển, giúp cho việc nghiên cứu nhanh chóng và tránh trùng lặp với những nội dung mà các công trình, đề tài đã nghiên cứu và công bố.

c. Phương pháp chuyên gia: Sử dụng các ý kiến các chuyên gia và các nhà khoa học làm việc trong lĩnh vực liên quan về quy hoạch đô thị sinh thái, tổ chức không gian xanh, kinh tế, văn hóa-xã hội…Thực hiện suy luận logic, qua đó đúc kết ra các kinh nghiệm xử lý xây dựng giải pháp tổ chức không gian xanh trong các đô thị sinh thái của Thủ đô Hà Nội.

d. Phương pháp dự báo:

Có 2 phương pháp dự báo thường sử dụng là dự báo định tính và dự báo định lượng, phương pháp dự báo định tính tổng hợp các thông tin và ý kiến của các chuyên gia. Cả 2 phương pháp đều rất dễ mắc sai lầm nếu sử dụng độc lập, do vậy cần có sự kết hợp giữa phương pháp định lượng và phương pháp định tính để nâng cao độ tin cậy của phương pháp dự báo.

Phương pháp dự báo phân tích xu hướng phát triển đô thị sinh thái, mối quan hệ về không gian xanh, ở, hoạt động giải trí, không gian công cộng; từ đó dự báo về phát triển không gian các khu vực được định hướng trở thành đô thị sinh thái.

e. Phương pháp thống kê, so sánh: Thống kê những đặc điểm điều kiện về dân số, môi trường văn hóa, kinh tế, hạ tầng của những thành phố khác nhau từ đó so sánh các điểm tương đồng, để lựa chọn giải pháp, chỉ tiêu phù hợp. Thống kê so sánh các chỉ tiêu, chỉ số kinh nghiệm thực tiễn tại các thành phố khác nhau, đối chiếu điều kiện Hà Nội để lựa chọn đề xuất giải pháp phù hợp.

g. Phương pháp khảo sát thực tiễn là cách thu thập thông tin trực tiếp từ thực tế để phục vụ nghiên cứu, học tập hoặc đánh giá một vấn đề cụ thể.

h. Phương pháp điều tra xã hội học: Phương pháp điều tra xã hội học: Điều tra, phỏng vấn các cộng đồng dân cư, nhằm đánh giá nhu cầu nguyện vọng của người dân về tổ chức không gian xanh trong các khu ở tại phường Chương Mỹ thành phố Hà Nội.

i. Phương pháp bản đồ: Phân tích, đánh giá trên hệ thống bản đồ hiện trạng và dự báo quy hoạch.

k. Phương pháp phân tích thứ bậc (AHP - Analytic Hierarchy Process): là phương pháp ra quyết định đa tiêu chí do Thomas L. Saaty đề xuất (1980), được nghiên cứu vận dụng để xác định trọng số các nhóm tiêu chí ($w_1 \ldots w_5$) trong bộ chỉ số tổng hợp đánh giá tổ chức Không gian xanh (GSI). Các trọng số được hiệu chỉnh qua kết quả tham vấn chuyên gia và kiểm tra tính nhất quán bằng tỷ lệ CR (Consistency Ratio) ≤ 0,1.

4. THỰC TRẠNG HỆ THỐNG KHÔNG GIAN XANH

4.1. Phân bố không gian xanh

Kết quả phân tích định lượng cho thấy các vấn đề liên quan đến an toàn (66%), chất lượng sinh thái (48%) và thiếu hụt diện tích (46%) là những thách thức chính trong tổ chức không gian xanh tại khu vực nghiên cứu. Điều này nhấn mạnh sự cần thiết của việc tiếp cận theo hướng hệ thống, tích hợp các yếu tố không gian, sinh thái và xã hội trong quy hoạch mạng lưới không gian xanh đô thị.

Kết quả cho thấy:

- Diện tích cây xanh bình quân thấp hơn tiêu chuẩn [12]
- Không gian xanh tập trung tại khu vực ven sông và đất nông nghiệp
- Thiếu công viên tại khu dân cư

4.2. Các thách thức chính

Thứ nhất, phân mảnh không gian xanh là vấn đề cốt lõi làm suy giảm hiệu quả sinh thái và xã hội của hệ thống cây xanh. Các mảng xanh tồn tại rời rạc, thiếu liên kết chức năng khiến dòng chảy sinh học bị gián đoạn, đồng thời làm giảm khả năng tiếp cận của người dân. Điều này đi ngược với nguyên lý phát triển mạng lưới hạ tầng xanh.

Thứ hai, áp lực đô thị hóa diễn ra nhanh chóng dẫn đến chuyển đổi đất xanh sang đất xây dựng, làm thu hẹp diện tích cây xanh công cộng. Mật độ xây dựng cao không chỉ làm mất quỹ đất mà còn gia tăng hiệu ứng đảo nhiệt đô thị, gây áp lực lên môi trường sống.

Thứ ba, nguy cơ ngập úng đô thị ngày càng gia tăng do bề mặt thấm nước bị thay thế bởi bê tông hóa. Việc thiếu các không gian xanh có chức năng điều tiết nước (như công viên sinh thái, hồ điều hòa) làm suy giảm khả năng hấp thụ và trữ nước mưa.

Cuối cùng, thiếu hành lang sinh thái khiến hệ sinh thái đô thị bị chia cắt, hạn chế khả năng kết nối giữa các khu vực xanh. Điều này không chỉ ảnh hưởng đến đa dạng sinh học mà còn làm giảm tính bền vững tổng thể của cấu trúc đô thị sinh thái.

4.3. Kết quả điều tra xã hội học

4.3.1. Thống kê mô tả

Kết quả khảo sát 250 mẫu cho câu hỏi: Theo Ông/Bà, những vấn đề tồn tại về tổ chức không gian xanh hiện nay là gì?" (cho phép chọn nhiều đáp án) cho thấy các vấn đề chính được nhận diện với tần suất như sau:

Bảng 1. Khảo sát 250 mẫu câu hỏi về tổ chức không gian xanh

TT	Vấn đề	Số lượt chọn (ước tính)
1	Mất an toàn trong không gian xanh	165
2	Không đa dạng chủng loại cây xanh / thiếu bóng mát	120
3	Thiếu diện tích để tổ chức không gian xanh	115
4	Chưa đảm bảo bán kính phục vụ	95
5	Ý kiến khác	30

Lưu ý: Do câu hỏi cho phép chọn nhiều phương án, tổng % > 100%

Kết quả khảo sát xã hội học (n = 250) không chỉ phản ánh nhu cầu mà còn làm rõ nhận thức của người dân về các tồn tại trong tổ chức không gian xanh tại phường Chương Mỹ.

Cụ thể, các vấn đề chính được người dân lựa chọn bao gồm:

Thiếu không gian xanh công cộng và khu sinh hoạt cộng đồng: Đây là vấn đề được phản ánh với tần suất cao nhất, cho thấy sự thiếu hụt các không gian phục vụ nhu cầu nghỉ ngơi, vui chơi và tương tác xã hội.

Phân bố không gian xanh không đồng đều: Không gian xanh tập trung chủ yếu ở khu vực ven đô hoặc đất nông nghiệp, trong khi khu dân cư lại thiếu hụt nghiêm trọng.

Thiếu tính kết nối giữa các không gian xanh: Các khu vực cây xanh tồn tại rời rạc, chưa hình thành mạng lưới liên tục, làm giảm hiệu quả sinh thái và khả năng tiếp cận của người dân.

Chất lượng môi trường chưa được cải thiện rõ rệt: Người dân phản ánh tình trạng ô nhiễm không khí, nhiệt độ cao vào mùa hè và thiếu bóng mát.

Thiếu công viên và khu vui chơi chuyên biệt: Đặc biệt là các không gian dành cho trẻ em và người cao tuổi.

Công tác quản lý và duy tu còn hạn chế: Một số khu vực cây xanh chưa được chăm sóc, bảo trì thường xuyên.

Từ các phản ánh trên, có thể khái quát các nhu cầu chính:

- Không gian công cộng mở, dễ tiếp cận
- Công viên, khu vui chơi đa chức năng
- Môi trường sống trong lành, vi khí hậu được cải thiện
- Hệ thống không gian xanh có tính kết nối cao

Kết quả điều tra cho thấy tồn tại một khoảng cách rõ rệt giữa cung và cầu không gian xanh, đồng thời phản ánh:

- Thiếu tiếp cận theo hệ thống trong quy hoạch
- Chưa áp dụng hiệu quả mô hình mạng lưới hạ tầng xanh
- Nhu cầu thực tiễn của người dân phù hợp với các lý thuyết quốc tế về khả năng tiếp cận và công bằng không gian

4.3.2. Phân tích kết quả

Kết quả cho thấy:

- Mất an toàn trong không gian xanh (66%) là vấn đề nổi bật nhất. Điều này phản ánh không gian xanh hiện hữu chưa đảm bảo

về chiếu sáng, an ninh hoặc thiết kế thân thiện, dẫn đến hạn chế khả năng sử dụng thực tế của người dân.

- Thiếu đa dạng cây xanh và bóng mát (48%) cho thấy hệ thống cây xanh chưa đáp ứng tốt chức năng sinh thái và vi khí hậu, đặc biệt trong điều kiện khí hậu nhiệt đới nóng ẩm.

- Thiếu diện tích không gian xanh (46%) phản ánh áp lực đô thị hóa và chuyển đổi đất, làm suy giảm quỹ đất dành cho cây xanh công cộng.

- Bán kính phục vụ chưa hợp lý (38%) cho thấy sự bất cập trong tổ chức phân bố không gian xanh, dẫn đến vấn đề tiếp cận không công bằng.

4.3.3. Phân tích mở rộng (SPSS-style interpretation)

Kết quả khảo sát cho thấy các biến liên quan đến chất lượng và khả năng tiếp cận đều có tỷ lệ cao, chứng tỏ:

- Không gian xanh không chỉ thiếu về lượng mà còn yếu về chất

- Các vấn đề mang tính hệ thống, không phải cục bộ

Có thể phân nhóm các vấn đề thành 3 nhóm chính:

(1) Nhóm cấu trúc không gian

- Thiếu diện tích

- Không đảm bảo bán kính phục vụ

(2) Nhóm sinh thái - môi trường

- Thiếu đa dạng cây xanh

- Thiếu bóng mát

(3) Nhóm xã hội - sử dụng

- Mất an toàn

4.3.4. Hàm ý quy hoạch

Từ kết quả định lượng, có thể rút ra:

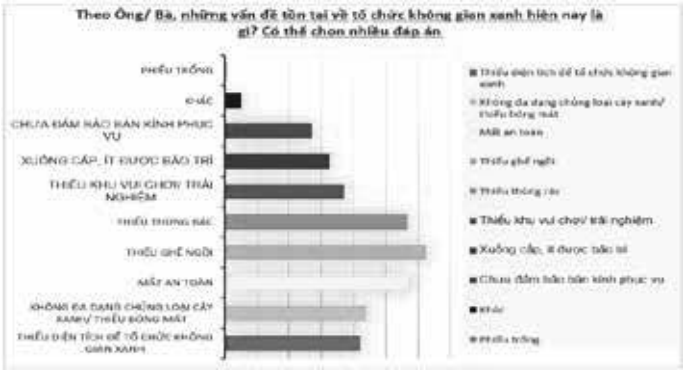
- Cần chuyển từ cách tiếp cận "phân bố cây xanh" sang "mạng lưới không gian xanh"

- Ưu tiên cải thiện:

+ Tính an toàn

+ Khả năng tiếp cận (≤300-500 m theo tiêu chuẩn quốc tế)

+ Đa dạng sinh học đô thị



Hình 1. Phiếu khảo sát thu thập tại địa bàn phường Chương Mỹ

5. ĐỀ XUẤT MÔ HÌNH TỔ CHỨC KHÔNG GIAN XANH

5.1. Nguyên tắc tổ chức

Về tổ chức không gian xanh trong đô thị sinh thái và đô thị bền vững theo các nguyên tắc chính, như sau:

(1) Đảm bảo tính liên kết: Các không gian xanh được kết nối với nhau thành mạng lưới

(2) Đáp ứng tính đa chức năng: Không chỉ đóng góp bộ mặt cảnh quan cho thành phố mà còn phục vụ sinh hoạt vui chơi, nghỉ ngơi giải trí cho người dân, bảo vệ môi trường sống…

(3) Tôn trọng đặc điểm tự nhiên, địa hình, khai thác và bảo tồn hệ sinh thái

(4) Kết hợp với các di tích lịch sử, danh lam thắng cảnh

(5) Bảo đảm diện tích cây xanh phù hợp với quy mô của đô thị sinh thái

(6) Tổ chức và quản lý không gian xanh có sự tham gia của cộng đồng

(7) Hướng tới phát triển bền vững, góp phần giảm hiệu ứng đảo nhiệt đô thị, cải thiện chất lượng không khí, bảo vệ đa dạng sinh học.

5.2. Các dạng cấu trúc không gian xanh

Việc phân loại cấu trúc không gian xanh cho phép lựa chọn mô hình tổ chức phù hợp với hình thái đô thị và mục tiêu sinh thái - xã hội. Sáu dạng cấu trúc điển hình được phân tích như sau:

5.2.1. Hành lang xanh tuyến tính - dạng dải không gian xanh

Dạng này phát triển theo trục giao thông, sông ngòi hoặc hạ tầng kỹ thuật, đóng vai trò kết nối sinh thái giữa các mảng xanh. Ưu điểm là tăng tính liên tục và hỗ trợ di chuyển sinh học; tuy nhiên phụ thuộc mạnh vào quỹ đất tuyến.



5.2.2. Không gian xanh phân tán

Bao gồm các công viên nhỏ, vườn hoa xen cài trong khu ở, đảm bảo tiếp cận gần (proximity-based access). Dạng này phù hợp với đô thị mật độ cao nhưng thường thiếu tính liên kết hệ thống.



5.2.3. Không gian xanh tập trung tại lõi đô thị

Là các công viên lớn hoặc khu sinh thái trung tâm, đóng vai trò hạt nhân sinh thái và điều hòa vi khí hậu quy mô khu vực. Tuy nhiên, nếu thiếu kết nối sẽ dễ trở thành "ốc đảo xanh".



5.2.4. Vành đai xanh

Tổ chức bao quanh đô thị nhằm kiểm soát mở rộng đô thị (urban sprawl) và bảo vệ đất nông nghiệp, sinh thái. Đây là mô hình chiến lược nhưng khó duy trì nếu áp lực phát triển cao.



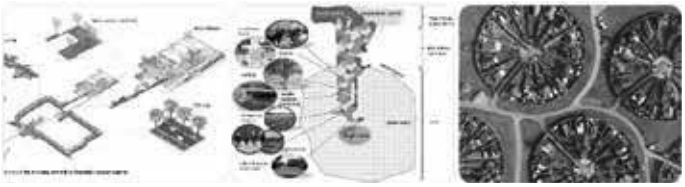
5.2.5. Cấu trúc hỗn hợp: phân tán kết hợp yếu tố tự nhiên

Kết hợp nhiều dạng (lõi + hành lang + phân tán), tạo thành mạng lưới hạ tầng xanh đa tầng. Đây là mô hình tối ưu trong thực tiễn hiện nay do cân bằng giữa tính kết nối, tiếp cận và hiệu quả sinh thái.



5.2.6. Dạng ngón tay/ hướng tâm

Không gian xanh phát triển từ trung tâm ra ngoại vi theo các "nan quạt" (green wedges), giúp dẫn khí, thoát nước và kết nối trung tâm - vùng ven. Phù hợp với các đô thị có cấu trúc hướng tâm, nhưng cần kiểm soát phát triển dọc trục.



Các dạng cấu trúc trên phản ánh ba cách tiếp cận chính:

- Tiếp cận điểm (node-based): không gian xanh lõi, phân tán
- Tiếp cận tuyến (corridor-based): hành lang xanh
- Tiếp cận mạng lưới (network-based): hỗn hợp, hướng tâm

Trong bối cảnh đô thị hóa nhanh và biến đổi khí hậu, mô hình cấu trúc hỗn hợp được xem là tối ưu vì tích hợp được:

- Tính kết nối sinh thái
- Khả năng tiếp cận xã hội
- Hiệu quả thích ứng khí hậu

Đây cũng là định hướng phù hợp với lý thuyết green infrastructure và nature-based solutions (NBS) trong quy hoạch đô thị hiện đại.

5.3. Mô hình đề xuất

Mô hình không gian xanh đa cấp cho phép tích hợp hiệu quả các chức năng sinh thái, xã hội và hạ tầng trong một hệ thống thống nhất. Cách tiếp cận này phù hợp với lý thuyết hạ tầng xanh và giải pháp dựa vào tự nhiên, đồng thời cung cấp cơ sở khoa học cho quy hoạch đô thị thích ứng với biến đổi khí hậu. Mô hình đề xuất được xây dựng theo tư duy đa cấp, nhằm tích hợp liên tục từ quy mô vùng đến công trình, bảo đảm đồng thời hiệu quả sinh thái, xã hội và thích ứng khí hậu.

5.3.1. Giải pháp chung

- Giải pháp tổng hợp tăng cường Không gian xanh và hành lang sinh thái vùng:

Hệ thống hành lang xanh được tổ chức dọc theo sông, hồ, vùng trũng và các trục tự nhiên, đóng vai trò khung xương sinh thái (ecological backbone). Chức năng chính bao gồm:

Kết nối các hệ sinh thái rời rạc, duy trì dòng chảy sinh học (ecological flow)

Điều tiết nước, giảm ngập úng thông qua không gian trữ và thấm nước

Tạo hành lang thông gió, giảm hiệu ứng đảo nhiệt

Đây là giải pháp có ý nghĩa chiến lược, định hình cấu trúc xanh tổng thể cho toàn đô thị.

- Giải pháp tổ chức không gian xanh công cộng trong khu ở
- Giải pháp tổ chức không gian xanh hỗn hợp - phục vụ tiện ích hạ tầng: Các công viên đô thị cần được thiết kế theo hướng đa chức năng (multifunctional landscapes):

Sinh thái: điều hòa vi khí hậu, tăng độ che phủ xanh

Xã hội: Không gian công cộng, vui chơi, tương tác

Hạ tầng: Tích hợp thoát nước bền vững (SUDS), hồ điều hòa

Việc phân bố công viên cần đảm bảo bán kính phục vụ 300 - 500 m, hướng tới công bằng tiếp cận.

Cải thiện vi khí hậu: Phối hợp đa cấp cho phép giảm nhiệt độ bề mặt đô thị, tăng thông gió tự nhiên và kiểm soát dòng chảy nước mưa hiệu quả hơn so với các giải pháp đơn lẻ.

Nâng cao chất lượng sống: Nhờ tăng khả năng tiếp cận, cải thiện môi trường và mở rộng không gian công cộng, mô hình góp phần nâng cao sức khỏe thể chất, tinh thần và tính gắn kết cộng đồng.

- Giải pháp tổ chức không gian xanh trong đơn vị ở (cấp nhỏ hơn)
- Giải pháp tổ chức không gian xanh trong công trình - kiến trúc xanh: Đây là lớp tiếp cận trực tiếp với người dân, bao gồm cây xanh đường phố, vườn nội khu, mái xanh và tường xanh. Vai trò chính:

Cải thiện vi khí hậu cục bộ (giảm nhiệt, tăng độ ẩm)

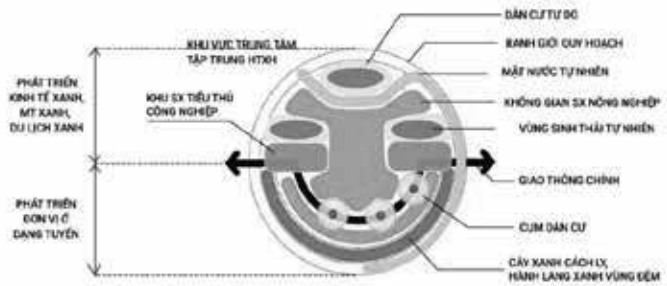
Giảm bụi, tiếng ồn và nâng cao chất lượng không khí

Tăng trải nghiệm sống và sức khỏe cộng đồng

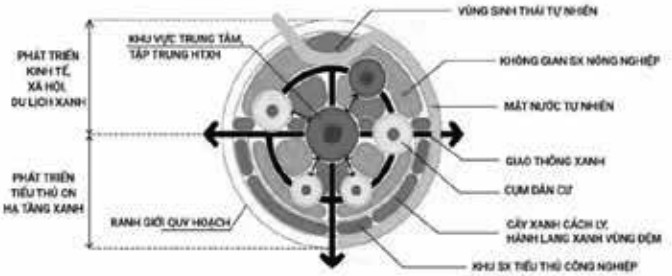
- Giải pháp quản lý

5.3.2. Giải pháp áp dụng tại phường Chương Mỹ (Hà Nội)

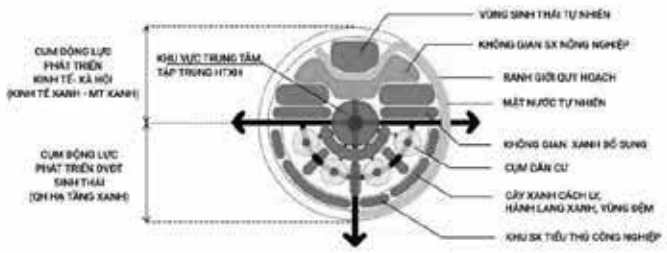
5.3.2.1. Giải pháp tổ chức không gian xanh trong đô thị Chúc Sơn và phường Biên Giang theo mô hình đô thị sinh thái



Hình 2. Hiện trạng tổ chức Không gian xanh trong đô thị Chúc Sơn và phường Biên Giang (thuộc phường Chương Mỹ, Hà Nội) sau khi sáp nhập đơn vị hành chính

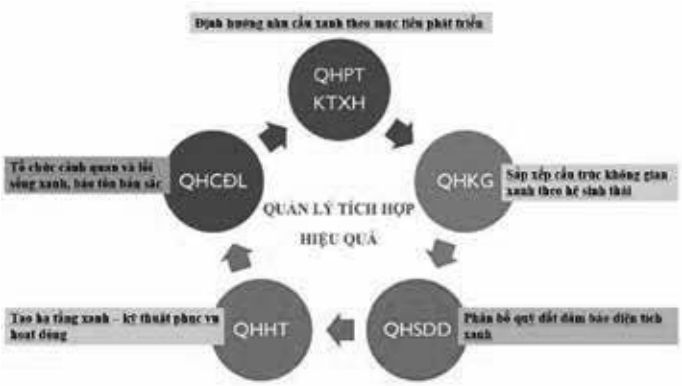


Hình 3. Mô hình và giải pháp tổ chức không gian xanh trong đô thị Chúc Sơn và phường Biên Giang (thuộc phường Chương Mỹ, Hà Nội) sau khi sáp nhập đơn vị hành chính (theo QHC)



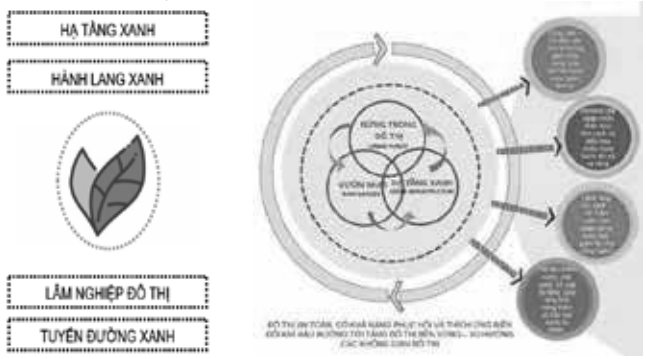
Hình 4. Mô hình và giải pháp tổ chức không gian xanh trong đô thị Chúc Sơn và phường Biên Giang (thuộc phường Chương Mỹ, Hà Nội) sau khi sáp nhập đơn vị hành chính (theo Tác giả)

5.3.2.2. Giải pháp tổ chức không gian xanh trong phường Đồng Mai theo mô hình đô thị sinh thái



Hình 5. Mô hình giải pháp - quản lý đô thị sinh thái theo hướng hợp nhất

5.3.3. Giải pháp tổ chức không gian xanh các xã (cũ) thuộc phường Chương Mỹ theo mô hình đô thị sinh thái



Hình 6. Các nhóm giải pháp tổng thể

6. THẢO LUẬN

Mô hình đề xuất cho thấy mức độ tương thích cao với các khung lý thuyết quốc tế về hạ tầng xanh và giải pháp dựa vào tự nhiên, nhấn mạnh vai trò của cấu trúc mạng lưới liên kết đa cấp trong tối ưu hóa chức năng sinh thái và xã hội [5], [13]. Điểm đóng góp của nghiên cứu nằm ở việc tích hợp chỉ số GSI (Green Space Index) như một công cụ định lượng, cho phép đánh giá không gian xanh không chỉ về diện tích mà còn về chất lượng, khả năng tiếp cận và mức độ kết nối, qua đó khắc phục hạn chế của các phương pháp đánh giá truyền thống mang tính đơn chiều.

Tuy nhiên, tính khả thi của mô hình phụ thuộc vào ba điều kiện then chốt. Thứ nhất, cần thiết lập cơ chế quản lý liên ngành, bảo đảm sự phối hợp giữa quy hoạch đô thị, tài nguyên môi trường và hạ tầng kỹ thuật nhằm triển khai đồng bộ theo tiếp cận hệ thống. Thứ hai, nguồn lực tài chính đóng vai trò quyết định, đặc biệt trong đầu tư hạ tầng xanh quy mô lớn và duy trì vận hành dài hạn. Thứ ba, sự tham gia của cộng đồng là yếu tố nền tảng để nâng cao hiệu quả sử dụng và tính bền vững xã hội của không gian xanh. Do đó, mô hình không chỉ là giải pháp quy hoạch mà còn đòi hỏi đổi mới về thể chế và quản trị đô thị.

7. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

7.1. Kết luận

Nghiên cứu khẳng định rằng tổ chức không gian xanh đóng vai trò trụ cột trong định hướng phát triển phường Chương Mỹ theo mô hình đô thị sinh thái. Việc áp dụng cách tiếp cận mạng lưới hạ tầng xanh đa cấp kết hợp với chỉ số GSI (Green Space Index) đã cung cấp một khung phân tích vừa định tính vừa định lượng, cho phép đánh giá toàn diện về diện tích, khả năng tiếp cận và mức độ kết nối của không gian xanh. Kết quả cho thấy mô hình đề xuất có tiềm năng cải thiện vi khí hậu, giảm áp lực môi trường và nâng cao chất lượng sống, đồng thời tạo nền tảng cho quy hoạch thích ứng với biến đổi khí hậu. Đóng góp quan trọng của nghiên cứu là chuyển dịch từ tư duy "phân bổ cây xanh" sang tổ chức hệ thống không gian xanh tích hợp, phù hợp với xu hướng quy hoạch bền vững hiện đại.

7.2. Kiến nghị

Thứ nhất, cần tích hợp chỉ tiêu cây xanh (diện tích/người, bán kính phục vụ, chỉ số GSI) vào các cấp quy hoạch chi tiết nhằm đảm bảo tính khả thi và kiểm soát phát triển. Thứ hai, thúc đẩy cơ chế hợp tác công - tư - cộng đồng để huy động nguồn lực đa dạng cho đầu tư và quản lý không gian xanh. Thứ ba, đẩy mạnh ứng dụng công nghệ GIS và dữ liệu không gian trong phân tích, mô phỏng và giám sát hệ thống xanh theo thời gian thực. Cuối cùng, cần tiếp tục nghiên cứu chuyên sâu về vi khí hậu đô thị và hiệu quả kinh tế của hạ tầng xanh, làm cơ sở khoa học cho việc ra quyết định và tối ưu hóa đầu tư trong dài hạn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] World Bank. Urban Development Overview. Washington, DC, USA: World Bank. Internet: https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment, 2022.

[2] UN-Habitat. World Cities Report 2020: The Value of Sustainable Urbanization. Nairobi, Kenya: United Nations Human Settlements Programme, 2020.

[3] T. Beatley. Green Urbanism: Learning from European Cities. Washington. DC, USA: Island Press, 2011.

[4] M. Mostafavi and G. Doherty. Ecological Urbanism. Cambridge, MA, USA: Harvard University Graduate School of Design, 2016.

[5] European Commission. Building a Green Infrastructure for Europe. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2013.

[6] M. A. Benedict and E. T. McMahon. Green Infrastructure: Linking Landscapes and Communities. Washington, DC, USA: Island Press, 2012.

[7] D. E. Bowler, L. Buyung-Ali, T. M. Knight and A. S. Pullin. Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. Landscape and Urban Planning, vol. 97, no. 3, pp. 147-155, 2010, doi:10.1016/j.landurbplan.2010.05.006.

[8] S. E. Gill, J. F. Handley, A. R. Ennos and S. Pauleit. Adapting cities for climate change: The role of the green infrastructure. Built Environment, vol. 33, no. 1, pp. 115-133, 2007.

[9] D. J. Nowak, D. E. Crane and J. C. Stevens. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. Environmental Pollution, vol. 116, no. 3, pp. 381-389, 2006.

[10] World Health Organization (WHO). Urban Green Spaces and Health: A Review of Evidence. Copenhagen, Denmark: WHO Regional Office for Europe, 2016.

[11] CABE (Commission for Architecture and the Built Environment). The Value of Public Space, London, UK: CABE, 2004.

[12] Bộ Khoa học và Công nghệ. TCVN 9257:2012 - Quy hoạch cây xanh sử dụng công cộng trong các đô thị - Tiêu chuẩn thiết kế, Hà Nội, Việt Nam, 2012.

[13] J. Ahern. Urban landscape sustainability and resilience: The promise and challenges of integrating ecology with urban planning and design. Cities, vol. 31, pp. S1-S3, 2013, doi:10.1016/j.cities.2012.05.010.

[14] L. Đ. Hải. Hạ tầng xanh và công viên xanh trong quy hoạch đô thị Việt Nam. NXB Xây dựng, 2015.

[15] Đ. Hậu. Nghiên cứu hình thái và cấu trúc đô thị sinh thái phục vụ phát triển bền vững. NXB Xây dựng, 2013.

[16] Đ. T. Sơn. Hệ thống hạ tầng xanh trong phát triển đô thị xanh - đô thị thông minh ở Việt Nam. Tạp chí Quy hoạch Xây dựng, số 109-110, tr. 45-52, 2021.

[17] UBND TP Hà Nội. Quy hoạch chung Thủ đô Hà Nội đến năm 2045, tầm nhìn 2065, Hà Nội, Việt Nam, 2024.

[18] L. T. M. Hằng. Tổ chức không gian xanh trong đô thị sinh thái tại Thủ đô Hà Nội. Luận án Tiến sĩ, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội, Hà Nội, Việt Nam, 2023.

■Ngày nhận bài: 01/4/2026 ■Ngày sửa bài: 13/4/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 14/5/2026

Góp phần xây dựng tầm nhìn về đô thị hóa và phát triển đô thị Việt Nam trong kỷ nguyên đô thị

Contribution to the construction of the vision on urbanization and urban development in Vietnam during urban era

> PGS.TS.KTS TRẦN TRỌNG HANH
Nguyên Hiệu trưởng Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội
Chủ tịch HĐKH Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng AIST

TÓM TẮT

Bài báo góp phần làm sâu sắc hơn khái niệm về kỷ nguyên đô thị thông qua việc phân tích bối cảnh, các cơ hội và thách thức mang tính toàn cầu của quá trình đô thị hóa và phát triển đô thị. Trên cơ sở đó, nghiên cứu góp phần hình thành nhận thức và tầm nhìn chung của nhân loại nói chung và Việt Nam nói riêng về một kỷ nguyên đô thị mới trong tương lai.

Việc đánh giá thực trạng, các định hướng và chiến lược đô thị hóa, phát triển đô thị của Việt Nam trong hơn bốn thập kỷ qua, đồng thời đối chiếu với kinh nghiệm thực tiễn của các quốc gia đang và đã bước vào kỷ nguyên đô thị, là tiền đề quan trọng để xây dựng tầm nhìn về đô thị hóa và phát triển đô thị Việt Nam trong kỷ nguyên đô thị, cũng như lộ trình hiện thực hóa tầm nhìn đó thông qua một số nhiệm vụ và giải pháp chiến lược, nhằm đảm bảo cho các đô thị của Việt Nam phát triển nhanh, hiệu quả, bao trùm và bền vững.

Từ khóa: Thời đại đô thị; kỷ nguyên đô thị; đô thị hóa; phát triển đô thị.

ABSTRACT

This article contributes to deepening the concept of the Urban Era, which encompasses the globally significant opportunities and challenges of urbanization and urban development, thereby drawing a common understanding and vision of the new period of Urban Era in the future.

Next, we will assess the current situation and orientations, strategies for urbanization and urban development in Vietnam over the past four decades; comparing them with the practical experiences of developed countries that have been and are in the urban era. This analysis lays the foundation for building a Vision for urbanization and urban development in Vietnam in the Urban Era, as well as a roadmap to realize that Vision through strategic tasks and solutions. Ensure that the urbanization process and the development of Vietnamese cities are rapid, efficient, comprehensive, and sustainable.

Keywords: Urban age, urban era, urbanization, urban development.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

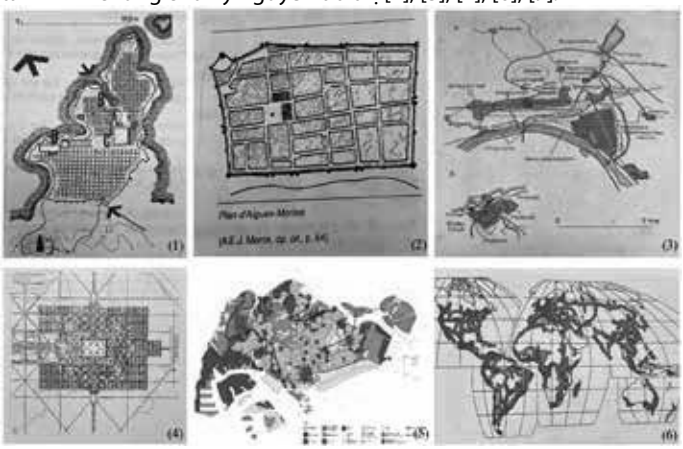
Kỷ nguyên đô thị là một khái niệm trong lĩnh vực xã hội học và địa lý, được xác định rộng rãi trong thế kỷ XXI, đó là thời kỳ mà lần đầu tiên trong lịch sử của nhân loại, hơn 1/2 dân số của thế giới sống trong các đô thị, thay vì khu vực nông thôn [5].

Trước thời điểm lịch sử này, thuật ngữ "đô thị" (urbs) đã được xuất hiện từ thời kỳ cổ đại. Quá trình tiến hóa của đô thị trải qua 4 giai đoạn lịch sử, gắn với 4 cuộc cách mạng đô thị: (i) Cách mạng đô thị lần thứ nhất - thời kỳ cổ đại hình thành đô thị hành chính-chính trị; (ii) Cách mạng đô thị lần thứ hai - trung thế kỷ, chuyển từ đô thị hành chính-chính trị sang đô thị thương mại; (iii) Cách mạng đô thị lần thứ ba - từ thế kỷ XVIII đến thế kỷ XX với việc hình thành và phát triển các thành phố công nghiệp; (iv) Cách mạng đô thị lần thứ tư - thế kỷ XXI, thế giới chính thức bước vào kỷ nguyên đô thị, với sự hình thành và phát triển đô thị bền vững và thông minh;C gắn với Cách mạng công nghiệp lần thứ tư (CMCN 4.0) và sự hình thành mạng lưới siêu thành phố trên 10 triệu dân. Từ đó lần đầu tiên đã xuất hiện khái niệm thành phố toàn cầu (Global City) [1-4], [6], [7], [9], [10].

Cuộc cách mạng đô thị lần thứ 4 mang lại cho nhân loại nhiều cơ hội, nhưng cũng đặt ra nhiều vấn đề toàn cầu, thách thức sự phát triển bền vững của đô thị: (i) Biến đổi khí hậu, ô nhiễm môi trường và phát thải. Thiên nhiên bị xâm hại nghiêm trọng; (ii) Sự bất ổn về địa chính trị và địa kinh tế trong đó "mật độ, khoảng cách và sự chia cắt" là những rào cản đối với quá trình phát triển kinh tế - xã hội và đô thị hóa toàn diện; (iii) Đô thị hóa, phát triển đô thị tự phát, không quy hoạch và không kế hoạch; (iv) Bất bình đẳng xã hội và nghèo đói; khoảng cách giàu nghèo gia tăng; (v) Áp lực xã hội và con người trong công cuộc chuyển đổi xanh và chuyển đổi số; (vi) Nguồn lực tài nguyên cạn kiệt và quản lý chất thải gặp nhiều khó khăn; (vii) Rủi ro về tài chính và kết cấu hạ tầng suy sụp: tắc nghẽn giao thông gia tăng; ngập úng đô thị thường xuyên và nhà ở giá cả phải chăng ngày càng khan hiếm; (viii) Cấu trúc không gian đô thị bị chuyển hoá và thay đổi liên tục. Dư địa phát triển đô thị đang ngày càng bị thu hẹp. Đất đai xây dựng ngày càng cạn và xu hướng ngoại ô hoá, mở rộng đô thị bất tận đang diễn ra tại các quốc gia sẽ bị chững lại do chạm tới hạn; (ix) Sức khỏe cộng đồng, chăm sóc sức khỏe người cao tuổi

và trẻ em ngày càng khó khăn; (x) Thể chế quy hoạch và quản trị đô thị chậm đổi mới là lực cản lớn nhất đối với đô thị hóa và phát triển đô thị bền vững.

Trong bối cảnh đô thị hóa và phát triển đô thị bùng phát toàn cầu, các tổ chức quốc tế như UN-Habitat, Ngân hàng thế giới, OECD, UNFPA đã khuyến nghị các quốc gia, trong đó có Việt Nam phải có trách nhiệm phối hợp và tự giác trong việc giải quyết các vấn nạn của địa phương mình, trên cơ sở thống nhất nhận thức và xây dựng tầm nhìn chung cho kỷ nguyên đô thị [2], [3], [4], [6], [9].



Hình 1. Cách mạng đô thị và quá trình tiến hóa các hình thái đô thị: *(1) Thành phố cổ Milet. (2) Thành phố trung thế kỷ Aigues-Mortes. (3) Thành phố công nghiệp (Tony Garnier, 1903). (4) Thành phố hiện đại 3 triệu dân (LeCorbusier, 1922). (5) Thành phố bền vững Singapore. (6) Thành phố Ecumonopolis Policentric (C.Doxiadis, 1968). [31]*

2. THỰC TRẠNG VÀ TẦM NHÌN VỀ ĐÔ THỊ HÓA VÀ PHÁT TRIỂN ĐÔ THỊ CỦA VIỆT NAM TRONG KỶ NGUYÊN ĐÔ THỊ

2.1. Tổng quan về đô thị hóa, phát triển đô thị của Việt Nam và một số bài học kinh nghiệm từ các quốc gia phát triển

Sau bốn thập kỷ đổi mới và thực hiện các chiến lược phát triển kinh tế - xã hội 10 năm, quá trình phát triển đô thị Việt Nam được định hướng chủ yếu bởi ba chiến lược và định hướng: (1) "Định hướng quy hoạch tổng thể phát triển đô thị Việt Nam đến năm 2020", được Thủ tướng Chính phủ phê duyệt tại Quyết định số 10/1998/QĐ-TTg ngày 23/01/1998; (2) "Điều chỉnh Định hướng quy hoạch tổng thể phát triển đô thị Việt Nam đến năm 2025 và tầm nhìn đến năm 2050", được Thủ tướng Chính phủ phê duyệt tại Quyết định số 445/QĐ-TTg ngày 07/4/2009; và (3) Nghị quyết số 06-NQ/TW ngày 24/01/2022 của Bộ Chính trị về quy hoạch, xây dựng, quản lý và phát triển bền vững đô thị Việt Nam đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045.

Kết quả thực hiện các định hướng và chiến lược trên đô thị hóa và phát triển đô thị Việt Nam đã có những chuyển biến tích cực: Năm 1995, dân số đô thị 15 triệu người, chiếm khoảng 20% dân số cả nước, được phân bố tại 569 đô thị. Đến năm 2025, dân số đô thị cả nước chiếm khoảng 43%, được phân bố tại 918 đô thị, trên diện tích là 4.243 km^2, chiếm 1,38% tổng diện tích đất tự nhiên cả nước. Kinh tế đô thị trong thời kỳ đầu ước tính chỉ chiếm 30%, sau tăng lên 50% trong thời kỳ quá độ và hiện nay đã chiếm khoảng 70% GDP cả nước. Chất lượng đô thị không ngừng được nâng cao và môi trường đô thị được cải thiện.

Tuy nhiên, đô thị hóa và phát triển đô thị Việt Nam còn nhiều tồn tại, hạn chế: (i) Nhận thức và tầm nhìn về vị trí, vai trò của đô thị hóa, phát triển đô thị còn thiếu sâu sắc, toàn diện; không cập nhật với xu hướng của thời đại; (ii) Khoảng cách về tỷ lệ đô thị hóa và trình độ phát triển đô thị của nước ta so với các nước trong khu vực và thế giới còn lớn; (iii) Kinh tế đô thị vẫn chưa trở thành động lực phát triển bền vững kinh tế - xã hội; (iv) Mạng lưới đô thị được hình thành vẫn là hệ quả của quá trình sáp nhập các đơn vị hành chính, di dân tự phát từ nông thôn ra thành thị và đặc điểm phân bố sản xuất, thu hút vốn đầu tư FDI, tạo nên một cấu trúc không gian phân cực hai cấp, trong đó hai vùng siêu đô thị là Thủ đô Hà Nội và TP.HCM chiếm khoảng 50% quy mô dân số đô thị và quy mô kinh tế đô thị của cả nước. Sự phân cực này dẫn đến sự phát triển mất cân đối nghiêm trọng giữa ba miền Bắc, Trung, Nam và giữa các vùng trong cả nước; (v) Công tác quy hoạch đô thị theo hướng bền vững chậm đổi mới; (vi) Tác động của thiên tai, BĐKH và ô nhiễm môi trường tại các đô thị đặc biệt là các đô thị rất lớn là nghiêm trọng. (vii) Thể chế quy hoạch và quản lý đô thị nói là theo "mô hình kinh tế thị trường định hướng XHCN", nhưng thực chất vẫn chưa thoát được mô hình kinh tế kế hoạch hóa tập trung của thời kỳ quan liêu, bao cấp.

Để khắc phục các tồn tại, hạn chế trên, một số bài học kinh nghiệm có thể rút ra từ các quốc gia phát triển bao gồm: (i) Thúc đẩy đô thị hóa toàn diện và xây dựng hệ thống đô thị quốc gia thống nhất, đa trung tâm; (ii) Phát triển kinh tế khu vực đô thị và tài chính đô thị; (iii) Phát triển đô thị bền vững vì một xã hội bao trùm, lấy con người làm trung tâm; (iv) Đô thị hóa phát triển đô thị thích ứng và có sức chống chịu cao; (v) Cải cách thể chế quy hoạch và quản trị đô thị; (vi) Xu hướng quy hoạch đô thị không tưởng, trong đó những nhà đô thị học, tương lai học mong muốn làm thay đổi xã hội bằng các giải pháp quy hoạch đô thị, ưu tiên sự bình đẳng xã hội, tôn trọng thiên nhiên và sử dụng công nghệ mới phục vụ con người, góp phần giải quyết các vấn nạn toàn cầu và vấn nạn đô thị trong kỷ nguyên đô thị. [3], [4], [6], [7], [8], [9], [10].

2.2. Quan điểm, tầm nhìn và mục tiêu đô thị hóa và phát triển đô thị Việt Nam trong kỷ nguyên đô thị

2.2.1. Quan điểm

(1) Phát triển toàn diện, nhanh và bền vững dựa vào các đột phá và mô hình tăng trưởng lấy khoa học công nghệ, đổi mới sáng tạo và chuyển đổi số làm động lực chính; đồng thời khai thác các tiềm năng, lợi thế, sử dụng hiệu quả các nguồn lực; đảm bảo hài hòa giữa tăng trưởng, phát triển kinh tế với công bằng xã hội, bảo vệ môi trường và quản trị đô thị.

(2) Phát triển hiệu quả, lấy kinh tế đô thị làm động lực tăng trưởng; lấy tài

chính đô thị làm "đòn bẩy", thúc đẩy kinh tế đô thị.

(3) Phát triển bao trùm, lấy con người làm trung tâm.

(4) Phát triển xanh và thông minh dựa trên mô hình đô thị bền vững, thông minh, thích ứng và chống chịu cao.

(5) Phát triển dựa vào kết nối đa dạng; dịch chuyển đa phương tiện; hợp tác

đa phương với sự tham gia tích cực vào quá trình toàn cầu hóa.

2.2.2. Tầm nhìn

Đô thị hóa và phát triển đô thị Việt Nam trong kỷ nguyên đô thị được triển khai theo định hướng: "Nhanh - Hiệu quả - Bao trùm - Bền vững - Thích ứng - Bản sắc". Thúc đẩy quá trình đô thị hóa toàn diện, từng bước xây dựng và hoàn thiện mạng lưới đô thị quốc gia thống nhất, đa trung tâm, hướng tới hình thành thành phố quốc gia (National City), kết nối chặt chẽ với thành phố hành tinh (Planetary City/Ecumenopolis).

2.2.3. Mục tiêu

a) Mục tiêu tổng quát

Phấn đấu thúc đẩy quá trình đô thị hóa và phát triển đô thị toàn diện, nhanh, bền vững và thực chất theo định hướng nhất thể hóa đô thị, nông thôn; từng bước đuổi kịp các nước phát triển nhằm cụ thể hóa tầm nhìn, phù hợp với từng giai đoạn phát triển của kỷ nguyên đô thị.

b) Một số mục tiêu cụ thể

(1) Giai đoạn quá độ của kỷ nguyên đô thị

Đến năm 2030, phấn đấu đạt được các chỉ tiêu theo Nghị quyết 06-NQ/TW ngày 24/01/2022 của Bộ Chính trị và các tiêu chuẩn "ngưỡng" của kỷ nguyên đô thị áp dụng chung cho các quốc gia theo định hướng của Liên Hợp Quốc (UN-Habitat), bao gồm: (i) Về dân số - tỷ lệ đô thị hóa đạt 50%. (ii) Về kinh tế - kinh tế đô thị đóng góp trên 75% GDP cả nước. (iii) Về xã hội - đạt được mục tiêu phát triển bền vững số 11 của Liên Hợp Quốc về nhà ở và quyền cư trú, xã hội bao trùm, an sinh và sức khỏe cộng đồng; chuyển đổi số và công dân số; giáo dục và việc làm bền vững. (iv) Về môi trường - đạt tiêu chuẩn của đô thị xanh, phát thải thấp. (v) Về hạ tầng - 100% dân cư đô thị được tiếp cận nước sạch, hạ tầng số. (vi) Về quản trị đô thị - xây dựng chính quyền số và quản trị thông minh, tài chính công lành mạnh [3], [4], [6].

(2) Giai đoạn hiện đại và cận đại của kỷ nguyên đô thị

Giai đoạn này có thể kéo dài đến năm 2130, để Việt Nam có đủ điều kiện bắt nhịp và đứng ngang hàng với các cường quốc phát triển với 02 đặc điểm: (i) Hòa nhập toàn cầu, trở thành một mắt xích quan trọng trong chuỗi tri thức toàn cầu: Các đô thị lớn như: TP.HCM, Hà Nội, Đà Nẵng, Hải Phòng, Cần Thơ, Huế, Đồng Nai, Quảng Ninh, Khánh Hòa, Thanh Hóa, Nghệ An, Thái Nguyên, Phú Thọ, Đắk Lắk, Lâm Đồng... sẽ trở thành các trung tâm kết nối toàn cầu (Global Hubs) và của khu vực (Regional Hubs). (ii) Hiện đại hóa (Modernity), tiến tới xóa nhòa khoảng cách về chất lượng sống giữa Việt Nam và các nước phát triển. [8]

(3) Giai đoạn "đô thị hóa toàn diện" của kỷ nguyên đô thị

Giai đoạn này diễn ra từ sau năm 2130, hướng tới đô thị hóa toàn diện (Total Urbanization). Ranh giới giữa nông thôn và đô thị lúc đó sẽ không còn tồn tại. Tất cả các vùng của đất nước sẽ được sở hữu hạ tầng kết nối 6G/7G, năng lượng sạch và dịch vụ giáo dục, y tế tương đồng với các trung tâm đô thị phát triển. Trong xu hướng toàn cầu hóa, bản sắc văn hóa Việt Nam được bảo tồn và phát huy trong "Đại đô thị hành tinh" (Ecumenopolis). Người Việt Nam sẽ sống trong một hệ thống vận hành toàn cầu, nhưng lại được nuôi dưỡng tâm hồn bằng các giá trị thiên nhiên, lịch sử - văn hóa truyền thống đã được số hóa và bảo tồn bền vững [3], [4], [6], [9].

(4) Giai đoạn "số hóa toàn diện" của kỷ nguyên đô thị

Thành phố hành tinh của Trái đất sẽ là một hệ sinh thái thông minh, kết nối và bền vững được xây dựng dựa trên (i) Mạng lưới siêu vững (Megaregions), trong đó các thành phố không còn ranh giới hành chính rõ rệt; chúng kết nối với nhau bằng mạng lưới hạ tầng đa phương thức và số hoá toàn diện (Total Digitization); (ii) Quản trị đô thị dựa trên một Ủy ban điều hành chung; (iii) Cấu trúc không gian đô thị đa tầng và đa phương thức; (iv) Các hình thức dịch chuyển dựa trên 02 trụ cột là dịch chuyển vật lý siêu tốc, dịch chuyển không gian ảo và hạ tầng số; (v) Các mô hình đô thị đa không gian linh hoạt siêu bền vững và có khả năng kết nối với các đô thị hành tinh khác; (vi) Thiết lập các đô thị ảo, như một đầu mối trung tâm kết nối liên quốc gia và liên hành tinh [6].

2.3. Nhiệm vụ và giải pháp

2.3.1. Đô thị hóa toàn diện

Đô thị hóa toàn diện là một giai đoạn phát triển cao của kỷ nguyên đô thị, khi mà: (i) Đô thị hóa toàn cầu hoặc đô thị hóa toàn quốc được hoàn tất. (ii) Đô thị sẽ là hình thức định cư duy nhất của xã hội loài người. (iii) Ranh giới giữa đô thị và nông thôn được xóa bỏ. Sự thay đổi này, diễn ra không chỉ về mặt dân số, cơ cấu kinh tế - xã hội và dân số lao động, mà cả về cấu trúc không gian. Trên thế giới, Thành phố toàn hành tinh sẽ được hình thành và tại các quốc gia là thành phố toàn quốc (National City), bộ phận cấu thành của thành phố hành tinh (Planetary City).

Đô thị hóa toàn cầu và phát triển đô thị nhanh, bền vững không tách rời quá trình nhất thể hóa đô thị - nông thôn, thực hiện bằng các giải pháp: (i) Quy hoạch tích hợp và bền vững. (ii) Mở rộng mạng lưới đô thị và phổ cập lối sống thành thị. (iii) Phát triển các đô thị nông nghiệp (*Agrocity*), làm cầu nối giữa các đô thị với nông thôn. (iv) Phát triển giao thông và kết cấu hạ tầng diện rộng, tăng cường kết nối đô thị - nông thôn. (v) Áp dụng mô hình quản trị tự chủ, trong đó các đô thị bình đẳng về pháp luật, giữ vai trò phối hợp các cấp quản lý nhà nước và là đầu mối điều phối các nguồn lực xã hội, tương tác với người dân và các đối tác công, tư.

2.3.2. Phát triển hiệu quả kinh tế khu vực đô thị và tài chính đô thị

a) Kinh tế khu vực đô thị

Kinh tế khu vực đô thị là một nhánh của Kinh tế học; nó phân tích các hoạt động sản xuất, phân phối lưu thông và tổ chức nguồn lực, không gian phát triển trong các quy hoạch đô thị.

Trong giai đoạn quá độ và giai đoạn hiện đại của kỷ nguyên đô thị, mục tiêu chính là phát triển kinh tế đô thị là biến các thành phố trở thành động lực tăng trưởng bền vững và bao trùm. Trong tương lai, phát triển kinh tế khu vực đô thị tập trung vào 03 nhóm giải pháp: (i) Nhóm thứ nhất là xác định các động lực tăng trưởng kinh tế khu vực đô thị bền vững. (ii) Nhóm thứ hai là khai thác và sử dụng tối ưu các yếu tố đầu vào cho kinh tế khu vực đô thị. (iii) Nhóm thứ ba là đổi mới mô hình tăng trưởng kinh tế khu vực đô thị theo xu hướng xanh, thông minh và thích ứng.

b) Tài chính đô thị

Tài chính đô thị là tổng thể chiến lược, chính sách và nguồn lực (tiền tệ và tín dụng) để chi tiêu cho các hoạt động quy hoạch, xây dựng, bảo trì và triển khai sử dụng, kết cấu hạ tầng, cung cấp các dịch vụ cho người dân trong khu vực đô thị.

Với vai trò tự chủ (Autonomy), chính quyền đô thị cần có các chính sách theo định hướng: (i) Xoá bỏ cơ chế tài chính bao cấp, trông chờ vào ngân sách cấp phát từ cấp trên; (ii) nuôi dưỡng và đa dạng hóa các nguồn thu tạo ra các nguồn thu bền vững từ thuế bất động sản, phí, lệ phí và trái phiếu; (iii) phát triển tài chính xanh dựa trên chuyển đổi xanh, ứng phó biến đổi khí hậu, tăng cường quản lý khu vực, phi chính thức; (iv) đẩy mạnh hợp tác công tư (PPP) và quản trị minh bạch; (v) tăng cường vai trò cộng đồng và tham gia của người dân.

2.3.3. Sắp xếp lại lãnh thổ; quy hoạch lãnh thổ tích hợp và tổ chức không gian hệ thống đô thị quốc gia thống nhất, đa trung tâm

• Sắp xếp lãnh thổ toàn quốc

Các hoạt động sắp xếp lãnh thổ bao gồm: (I) Công tác phân vùng (Regionalization); (II) Quy hoạch lãnh thổ (*Territorial Planning*); (III) Các chính sách phát triển vùng và lãnh thổ (*Regional and territorial development policy*), nội dung công tác phân vùng chủ yếu tập trung vào 4 loại: (i) Phân vùng tự nhiên; (ii) Phân vùng hành chính-chính trị; (iii) Phân vùng kinh tế - xã hội; (iv) Phân vùng kinh tế đô thị.

• Quy hoạch lãnh thổ

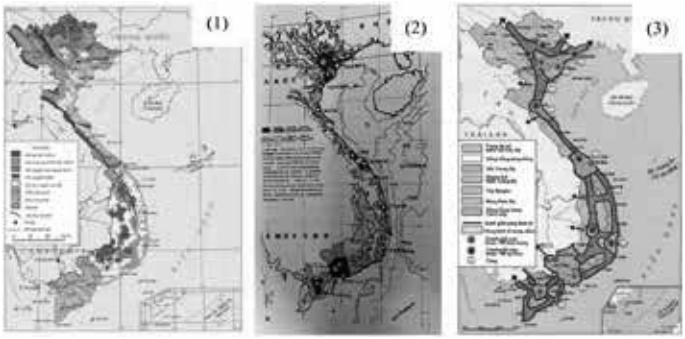
Tiếp tục hoàn thiện hệ thống quy hoạch quốc gia, gồm (1) Quy hoạch cấp quốc gia; (2) Quy hoạch vùng; (3) Quy hoạch tỉnh; (4) Quy hoạch kỹ thuật có tính chuyên ngành hoặc quy hoạch chi tiết ngành; (5) Quy hoạch đô thị và nông thôn; (6) Quy hoạch đơn vị hành chính - kinh tế đặc biệt theo hướng tích hợp và bền vững, tập trung đổi mới thể chế, nội dung và phương pháp lập quy hoạch.

• Tổ chức không gian hệ thống đô thị quốc gia thống nhất, đa trung tâm

Nhiệm vụ tổ chức không gian hệ đô thị quốc gia thống nhất, đa trung tâm bao gồm: (i) Hoàn thiện các tiêu chuẩn và phương pháp phân loại đô thị; (ii) Phân bổ và phát triển các đô thị (thành phố, thị xã, thị trấn và khu dân cư); (iii) Quy hoạch và phát triển các vùng thành phố; (iv) Quy hoạch hệ thống đô thị quốc gia, các vùng và các khu

vực gắn với quy hoạch phát triển mạng lưới giao thông và hạ tầng quốc gia, vùng và khu vực; (v) Nghiên cứu liên kết đô thị bao gồm các quan hệ liên đô thị và giao thông con lắc trong các vùng đô thị lớn.

Việc phân bổ và phát triển các đô thị trên địa bàn toàn quốc, cần dựa vào: Bản đồ phân vùng sinh thái xây dựng đô thị, trong đó khoanh định các khu vực theo điều kiện phát triển đô thị và sức chứa hoặc khả năng dung nạp dân số theo vùng.



Hình 2. Tổ chức không gian hệ thống đô thị quốc gia thống nhất, đa trung tâm của Việt Nam. *(1) Địa hình Việt Nam; (2) Đánh giá tổng hợp đất đai và khả năng dung nạp dân số; (3) Mô hình cấu trúc không gian hệ thống đô thị Việt Nam*

2.3.4. Mô hình đô thị bền vững và đổi mới quy hoạch đô thị bền vững, thông minh

• Đô thị bền vững và các mô hình đô thị bền vững

Nghiên cứu và đưa vào áp dụng các mô hình đô thị bền vững cho các khu vực sinh thái - tự nhiên dựa trên các nguyên tắc: (i) Xanh hoặc sinh thái; (ii) Thân thiện và gần gũi thiên nhiên; (iii) Di chuyển & nhân văn; (iv) nén; (v) Thông minh; (vi) Giàu bản sắc; (vii) Thích ứng và chống chịu; (viii) Tham gia của người dân; (ix) An toàn. Tùy theo điều kiện thực tế, chính sách quy hoạch đô thị và chiến lược phát triển đô thị bền vững của từng giai đoạn, hình thành 03 mô hình sau: (i) Mô hình đô thị bền vững tích hợp hoặc toàn diện; (ii) Mô hình đô thị bền vững từng phần; (iii) Mô hình đô thị bền vững quá độ.

Hình thành cơ chế giám sát và công nhận đô thị bền vững dựa trên ISO 37120 và tiêu chuẩn của đô thị thông minh.

• Quy hoạch đô thị bền vững và thông minh

Quy hoạch đô thị bền vững và thông minh là quá trình nghiên cứu xây dựng chiến lược phát triển (CDS) và thiết kế nhằm thiết lập ra các đô thị hoạt động giống như các hệ sinh thái tự nhiên lành mạnh và thông minh trên nền tảng cấu trúc bụi (Semitrama) và linh hoạt, đảm bảo đáp ứng nhu cầu của thế hệ hiện tại mà không làm tổn hại đến khả năng đáp ứng nhu cầu của các thế hệ tương lai.

Đổi mới căn bản phương pháp luận và công cụ thiết kế quy hoạch đô thị bền vững và thông minh theo 05 bước: (i) Phân tích khởi đầu và chẩn đoán; (ii) Lập quy hoạch chiến lược; (iii) Thiết kế quy hoạch đô thị tích hợp bền vững; (iv) Triển khai và thực hiện; (v) Theo dõi, giám sát, công nhận độ bền vững, nhận diện thiếu sót và điều chỉnh quy hoạch.

2.3.5. Cải cách thể chế và quản trị đô thị

Cải cách thể chế và quản trị đô thị là một quá trình tái cấu trúc pháp luật, đổi mới chính sách chuyển từ quản lý đô thị sang quản trị đô thị, lấy đô thị làm đơn vị hành chính cấp cơ sở để xây dựng chính quyền đô thị tại địa phương.

Nhiệm vụ chính của cải cách thể chế và quản trị đô thị bao gồm: (i) Chuyển đổi số toàn diện và xây dựng chính quyền điện tử/số; sử dụng dữ liệu lớn (Big Data) và trí tuệ nhân tạo (AI) trong quản lý đô thị; (ii) Quy hoạch xây dựng quản lý và phát triển đô thị bền vững và thông minh; (iii) Quản trị đa tầng (Multi-level Governance), tăng cường phối hợp giữa Chính phủ với các chính quyền địa phương để xử lý các vấn đề liên ngành, liên vùng; (iv) Tăng cường sự tham gia của cộng đồng và dân cư, thúc đẩy minh bạch, nâng cao quyền chủ động và người dân tham gia vào các hoạt động quản trị đô thị.

3. KẾT LUẬN

Kỷ nguyên đô thị là một tất yếu khách quan và là giai đoạn phát triển cao nhất của Văn minh nhân loại, trong đó đô thị bền vững là chỗ ở đáng sống nhất của con người.

Kết quả nghiên cứu được trình bày trong bài viết này góp phần xây dựng một tầm nhìn về đô thị hóa và phát triển đô thị của Việt Nam trong kỷ nguyên đô thị theo định hướng: Nhanh - Hiệu quả - Bao trùm - Bền vững - Thích ứng - Bản sắc.

Năm nhiệm vụ và giải pháp cụ thể hóa tầm nhìn này là những gợi ý cho các chương trình, đề tài nghiên cứu khoa học và các đề án xây dựng thể chế về quy hoạch và quản lý đô thị của Việt Nam trong các giai đoạn phát triển của kỷ nguyên đô thị.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] London School of Economics (LSE). The Urban Age Project. London School of Economics, 2000.

[2] Revista EURE. La Era Urbana en Debate. Revista EURE, 2016.

[3] UN-Habitat. World Cities Report. United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat), 2022, 2024.

[4] World Bank. Urban Development Overview. World Bank, 2024, 2025.

[5] Ủy ban Thường vụ Quốc hội. Nghị quyết số 111/2025/UBTVQH15 về phân loại đô thị. Hà Nội, 2025.

[6] UN-Habitat. Visualizing the Future of Cities. United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat), 2022.

[7] Trần Trọng Hanh. Tăng cường vai trò của các thành phố toàn cầu, tạo đột phá đẩy nhanh tăng trưởng kinh tế thời kỳ mới. 2025.

[8] Trần Trọng Hanh. Đô thị Việt Nam 2050 hướng đến chiến lược Hiệu quả - Bao trùm - Bền vững. 2025.

[9] Doxiadis, C.A. Ecumenopolis: The Inevitable City of the Future. Athens Publishing Center, 1971.

[10] Trần Trọng Hanh. Quy hoạch đô thị ở châu Á. NXB Xây dựng, 2017.

■Ngày nhận bài: 01/4/2026 ■Ngày sửa bài: 14/4/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 07/5/2026

Mô hình phát triển không gian bền vững cho các khu vực xung quanh ga đường sắt đô thị tại Hà Nội

Sustainable spatial development model for areas surrounding urban railway stations in Hanoi

> TS.KTS LÊ MINH KHUÊ[1,*], BÙI KHÁNH HUYỀN[2], DƯƠNG MAI HƯƠNG[2], PHAN MỸ TRINH[2], KTS BÙI PHƯƠNG THẢO[3]
[1]GV Khoa Kiến trúc và Quy hoạch, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội
[2]SV Khoa Kiến trúc và Quy hoạch, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội
[3]HVCH Khoa Kiến trúc và Quy hoạch, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội
[*]Email: khuelm@huce.edu.vn

TÓM TẮT

Hà Nội đang trong một giai đoạn chuyển mình mạnh mẽ với việc phát triển hệ thống đường sắt đô thị để giải quyết các vấn đề ùn tắc giao thông và định hướng phát triển không gian bền vững. Hiện nay, thành phố đã xây dựng và đưa vào vận hành hai tuyến đường sắt đô thị đầu tiên (tuyến 2A: Cát Linh - Hà Đông và tuyến 3: Nhổn - Ga Hà Nội), tạo ra động lực mới cho việc phát triển mạng lưới giao thông công cộng. Nghiên cứu này nhằm mục đích đề xuất mô hình phát triển không gian bền vững tại các khu vực xung quanh ga đường sắt đô thị. Thông qua phương pháp hỗn hợp (mixed-methods) kết hợp giữa quá trình khảo sát thực tế tại các điểm ga và thu thập dữ liệu sơ cấp thông qua phỏng vấn và điều tra, nghiên cứu chỉ ra rằng: cấu trúc không gian và hoạt động dịch vụ tại các điểm ga hiện nay mới chỉ dừng lại ở mức độ tiệm cận TOD, hay chính xác hơn là mô hình phát triển bám theo giao thông công cộng (TAD), chưa phát huy tốt lợi thế của hạ tầng giao thông. Trên cơ sở đó, nghiên cứu lựa chọn 03 ga gồm ga Nhổn (S1), ga Đại học Quốc gia Hà Nội (S6) và ga Yên Nghĩa (2A12) để nhận diện mô hình phát triển hiện trạng, đồng thời thảo luận định hướng chuyển đổi không gian khu vực xung quanh các nhà ga từ TAD sang mô hình TOD hoặc cộng đồng định hướng giao thông (TOC).

Từ khóa: TOD; TAD; TOC; ga đường sắt đô thị; phát triển bền vững; Hà Nội.

ABSTRACT

Hanoi is undergoing a robust transformation with the development of its urban railway system to alleviate traffic congestion and guide sustainable spatial development. Currently, the city has constructed and operationalized its first two urban railway lines (Line 2A: Cat Linh - Ha Dong and Line 3: Nhon - Hanoi Station), creating new momentum for the public transportation network. This study aims to propose a sustainable spatial development model for areas surrounding urban railway stations. Through a mixed-methods approach combining field surveys at station locations and primary data collection via interviews and surveys, the research indicates that the current spatial structures and service activities at these stations merely operate at a proximate level of TOD. More precisely, they reflect the Transit-Adjacent Development (TAD) model, yet to fully leverage the advantages of the transit infrastructure. Consequently, this study specifically applies to three stations-Nhon station (S1), Vietnam National University-Hanoi station (S6), and Yen Nghia station (2A12)-to identify their current status models and discuss spatial development orientations around these stations from TAD toward TOD or Transit-Oriented Communities (TOC).

Keywords: TOD; TAD; TOC; urban railway station; sustainable development; Hanoi.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Với dân số 8,5 triệu người và mật độ dân số là 2.398 người/km^2, Hà Nội chịu áp lực lớn khi mật độ dân cư cao gấp 8,2 lần trung bình cả nước [13]. Trong khi đó, quỹ đất dành cho giao thông là 11,38% ở khu vực nội đô và 1,84% ở ngoại thành, thấp hơn nhiều so với quy chuẩn [6]. Hơn thế nữa, tốc độ tăng diện tích đất dành cho giao thông chỉ 0,35%, trong khi phương tiện tăng 4-5%/năm và chủ yếu là phương tiện cá nhân (PTCN) [10]. Hệ quả là tình trạng ùn tắc ngày càng nghiêm trọng, đi kèm mức độ ô nhiễm không khí báo động với nồng độ bụi mịn PM2.5 vượt xa chuẩn an toàn của WHO [3].

Bảng 1. Bảng so sánh đặc điểm các mô hình TAD, TOD và TOC

Tiêu chí	TAD	TOD	TOC
Khái niệm	Phát triển bám theo giao thông - TAD (Transit-Adjacent Development)	Phát triển theo định hướng giao thông công cộng - TOD (Transit - Oriented Development)	Mô hình cộng đồng định hướng giao thông - TOC (Traffic - Oriented Community)
Định nghĩa	Các dự án nằm lân cận trạm trung chuyển nhưng thiếu sự tích hợp về chức năng sử dụng đất, KG. Duy trì đặc điểm phát triển dàn trải, thiếu sự tích hợp sâu sắc về chức năng đô thị [11]	Phát triển các khu vực đô thị có mật độ cao, sử dụng đất hỗn hợp trong phạm vi đi bộ (thường từ 400 m đến 800 m) xung quanh một trạm dừng giao thông công cộng [9]	Mở rộng hơn TOD về cách tiếp cận, nhấn mạnh vai trò của giao thông như một chất xúc tác để hình thành các cộng đồng sống động, đa chức năng, có bản sắc và gắn bó với địa điểm. TOC không phủ định vai trò của TOD, mà kế thừa và phát triển nó theo hướng nhân văn hơn [16]
Hạ tầng	Ưu tiên PTCN, KG bị chia cắt bởi bãi đỗ xe rộng, tạo ra trải nghiệm đi bộ kém hấp dẫn. Môi trường vật chất chứa nhiều yếu tố gây tiêu cực cản trở người đi bộ [11]	KG được thiết kế thân thiện với người đi bộ, tích hợp chặt chẽ giữa quy hoạch sử dụng đất và hệ thống giao thông trung chuyển [9]	Đặt con người và cộng đồng làm trung tâm. Thay vì tư duy chỉnh trang đơn lẻ, giao thông trong TOC không chỉ phục vụ di chuyển thuần túy mà đóng vai trò như chất xúc tác để định hình cộng đồng, gắn kết chặt chẽ các lợi thế về tự nhiên, văn hóa, kinh tế và xã hội bản địa [16].
Yếu tố xã hội và hành vi	Sự mơ hồ về ranh giới đô thị dễ dẫn đến cảm giác bất an và làm giảm chất lượng sử dụng không gian. Khó khuyến khích được hành vi di chuyển bền vững. [7]	Phát triển những hành vi bền vững, giúp cư dân giảm thiểu sự phụ thuộc vào PTCN cho các nhu cầu sống và làm việc hằng ngày.	Kế thừa TOD nhưng phát triển theo hướng nhân văn hơn, đặc biệt coi trọng yếu tố xã hội và sự tương tác giữa con người, không gian và kiến trúc [16].

Mô hình Phát triển theo định hướng giao thông công cộng (TOD) xoay quanh mạng lưới đường sắt đô thị (ĐSĐT) là chiến lược then chốt giúp tái cấu trúc không gian (KG) đô thị, thúc đẩy di chuyển xanh và góp phần giải quyết 1 trong 5 điểm nghẽn của Hà Nội về ùn tắc giao thông [10]. Dù Hà Nội đã pháp lý hóa định hướng này qua Luật Thủ đô (sửa đổi) (Luật số 39/2024/QH15)," thông qua ngày 28/6/2024, có hiệu lực thi hành từ 01/01/2025) và Quyết định số 519/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ năm 2016 với quy hoạch 10 tuyến ĐSĐT, thực tế mới chỉ có 2 tuyến đi vào hoạt động. Hạn chế lớn nhất hiện nay là các dự án chủ yếu chỉ tập trung xây dựng hạ tầng kỹ thuật, trong khi việc tổ chức không gian quanh các nhà ga theo mô hình TOD chưa được hình thành rõ nét [6].

KG xung quanh nhà ga là yếu tố quan trọng của mô hình TOD và có liên quan tới hành vi của người sử dụng dịch vụ. Các nghiên cứu hiện tại ở Việt Nam chủ yếu mang tính giới thiệu khái quát thay vì sự phân tích cụ thể hệ thống về chuỗi cấu trúc: "KG - Hành vi - Dịch vụ (DV)". Chính vì vậy, việc nghiên cứu mô hình phát triển không gian bền vững cho các khu vực xung quanh ga ĐSĐT tại Hà Nội là nhiệm vụ cần thiết giúp Thủ đô hiện thực hóa lộ trình Net Zero và phát triển bền vững.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu áp dụng phương pháp hỗn hợp (Mixed-Methods), kết hợp giữa phương pháp định tính và kiểm định định lượng thông qua 03 nhóm phương pháp chính sau:

(1) Phương pháp chuyên gia và phỏng vấn sâu, điều tra xã hội học: Tổng hợp, phân tích ý kiến từ việc phỏng vấn sâu (15 đối tượng), cùng 72 mẫu điều tra xã hội học để nhận diện các rào cản tâm lý, những thói quen của người sử dụng dịch vụ ĐSĐT.

(2) Phương pháp khảo sát KG và phân tích biến động: Sử dụng kỹ thuật chồng lớp bản đồ (đối chiếu mốc 2008 - 2025) và khảo sát 24 nhà ga, nghiên cứu quy nạp thành 03 mô hình KG đặc trưng (cửa ngõ vùng ven, đô thị nén và chức năng đặc thù, đầu mối trung chuyển) để đề xuất các kịch bản giải pháp cụ thể.

(3) Phương pháp kiểm định định lượng: sử dụng mô hình cấu trúc tuyến tính PLS-SEM để kiểm định định lượng mức độ tác động của chất lượng KG đến hành vi của người sử dụng dịch vụ ĐSĐT.

3. TAD, TOD và TOC

Theo Renne [11], mô hình TAD thể hiện sự bám theo về mặt vật lý giữa khu vực dân cư và hạ tầng giao thông mà thiếu đi sự tích hợp thực tế về chức năng sử dụng đất. Dưới góc độ tâm lý học môi trường, KG xung quanh ga hiện nay đang chứa đựng nhiều "yếu tố cản trở tương tác" (negative affordances) [5] nơi vỉa hè bị lấn chiếm và hạ tầng đi bộ còn yếu kém khiến người dân cảm thấy bị cản trở về mặt tâm lý dù khoảng cách địa lý không quá xa. Hệ quả là, hạ tầng đường sắt hiện đại vô tình trở thành những điểm nút tách biệt, chưa đủ sức tạo ra động lực để người dân giảm dần thói quen sử dụng PTCN.

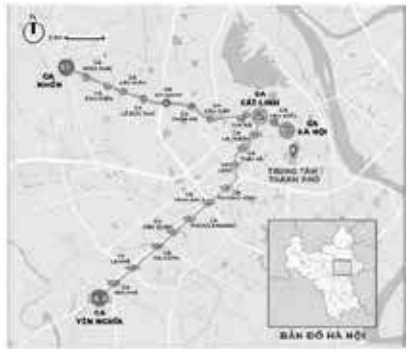
Khái niệm TOC được Higgins và Kanaroglou [2] nhấn mạnh là bước tiến vượt bậc của TOD, dịch chuyển trọng tâm từ "hạ tầng" sang "con người". Nếu TOD tập trung vào các chỉ số kỹ thuật về mật độ và khoảng cách, thì TOC chú trọng vào việc xây dựng một hệ sinh thái cộng đồng, nơi công nghệ thông minh và không gian xanh không chỉ phục vụ giao thông mà còn đảm bảo chất lượng sống và công bằng xã hội cho cư dân [2], [15], [16]. Sự khác biệt về ba mô hình này được thể hiện tại Bảng 1.

4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU: NHẬN DIỆN KG XUNG QUANH CÁC ĐIỂM GA ĐSĐT TẠI HÀ NỘI

Cụ thể hóa các định hướng quy hoạch tại Quyết định 519/QĐ-TTg, tính đến thời điểm hiện tại, mạng lưới ĐSĐT Hà Nội đã bước đầu hình thành với sự đưa vào vận hành của hai tuyến: Tuyến 2A (Cát Linh - Hà Đông) dài 13,1 km với 12 ga và một phần Tuyến 3 (Nhổn - Ga Hà Nội) dài 12,5 km với 8 ga trên cao (Hình 1). Đây là hai tuyến giao thông công cộng khối lượng lớn đóng vai trò hạt nhân trong việc định hình lại cấu trúc đô thị dọc các trục đường huyết mạch.

Nhìn chung, giữa định hướng chiến lược và thực tiễn triển khai hệ thống ga ĐSĐT tại Hà Nội đang tồn tại một khoảng cách đáng kể khi đối mặt với một số vấn đề. Thứ nhất là sự "đứt gãy" về kết nối, khi các nhà ga vận hành như những thực thể độc lập, thiếu liên kết vật lý và KG chuyển tiếp với các công trình lân cận như khu dân cư hay trung tâm thương mại. Thứ hai, hạ tầng hỗ trợ tiếp cận còn yếu

kém với hệ thống vỉa hè thường xuyên bị lấn chiếm, thiếu an toàn và thiếu các tiện nghi thiết yếu như mái che, cây xanh hay biển chỉ dẫn. Thứ ba, chất lượng môi trường vi khí hậu không đảm bảo do tình trạng bê tông hóa quá mức và thiếu KG xanh, gây ra hiệu ứng đảo nhiệt đô thị. Những hạn chế này không chỉ làm giảm bán kính phục vụ của nhà ga mà còn tạo ra rào cản tâm lý lớn, khiến người dân ngần ngại chuyển dùng PTCN sang giao thông công cộng. Do đó, thay vì hình thành các điểm TOD sôi động, nhiều khu vực xung quanh các nhà ga lại đang phát triển một cách tự phát tận dụng vị trí gần trạm trung chuyển mà thiếu đi sự tích hợp sâu sắc về chức năng, KG và kiến trúc.



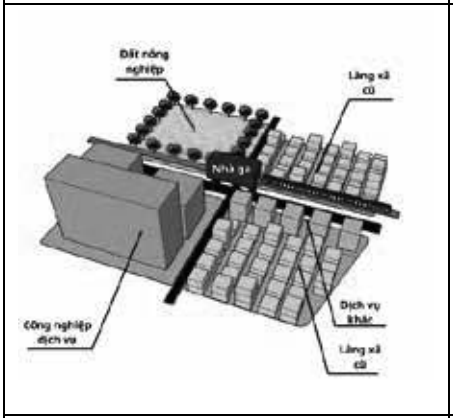
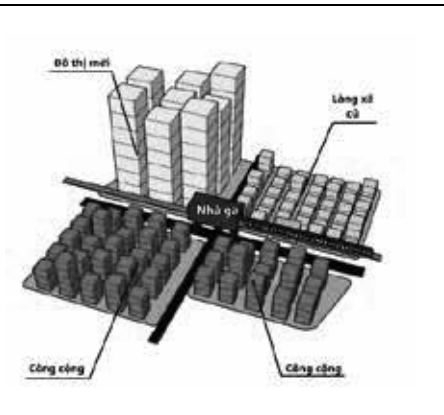
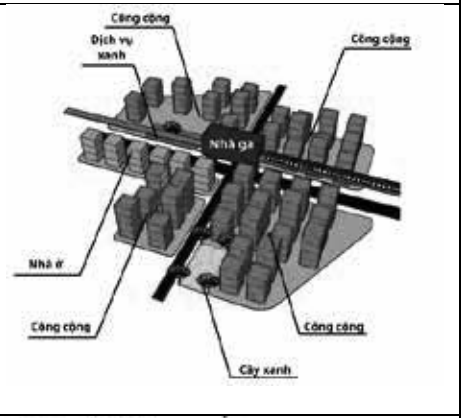
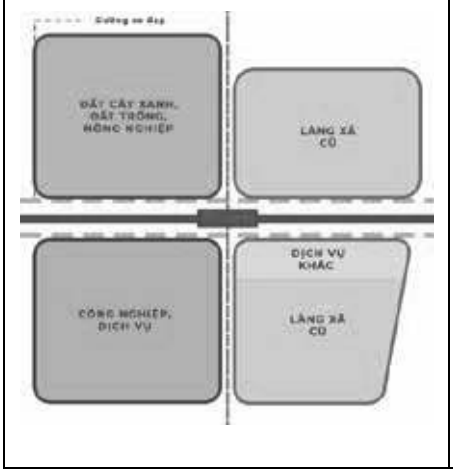
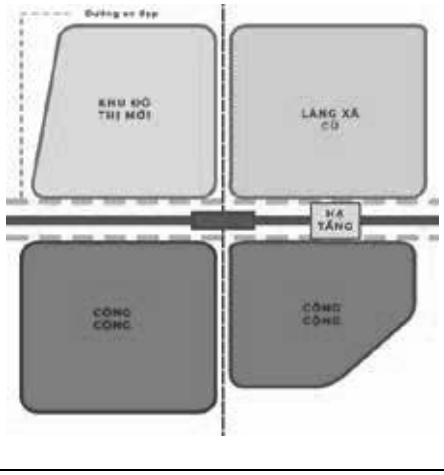
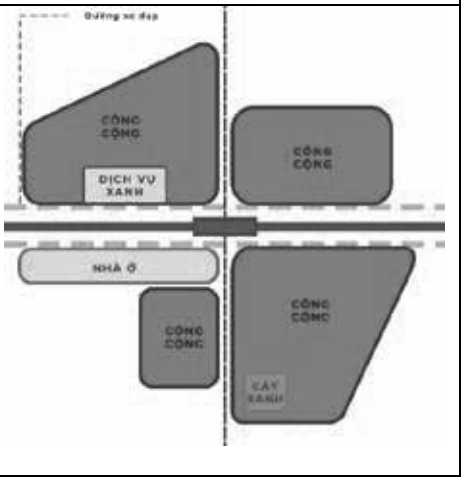
Hình 1. Hệ thống ga ĐSĐT Hà Nội hiện nay [7]

GA CỬA NGÕ (S1 - Nhổn)	*Ga S6 – Đại học Quốc gia*	*GA 2A12 - Yên Nghĩa*
		
2008	*2008*	*2008*
		
2025	*2025*	*2025*
		
Ảnh hiện trạng ga S1 năm 2025	*Ảnh hiện trạng ga S6 năm 2025*	*Ảnh hiện trạng ga 2A12 năm 2025*

Hình 2. Thực trạng không gian xung quanh các điểm ga *(Nguồn: Ảnh Google earth các năm 2008, 2025 và nhóm tác giả khảo sát năm 2025)*

Cụ thể hơn, Hình 2 thể hiện thực trạng KG xung quanh 03 ga (Ga Nhổn (S1), ga Đại học Quốc gia (S6), và ga Yên Nghĩa (2A12) biến đổi trong khoảng thời gian 2008 đến 2025. Từ đó, nghiên cứu đã mô hình hóa và nhận diện KG tại 03 điểm ga tại Bảng 2. Quá trình khảo sát 03 nhà ga đại diện tại Hà Nội cho thấy sự khác biệt rõ rệt về cấu trúc KG và chức năng đô thị trong quá trình chuyển đổi. Ga S1 phản ánh đặc trưng của vùng đang đô thị hóa tập trung chủ yếu vào các chức năng giáo dục, làng xóm và đất nông nghiệp chờ quy hoạch và DV thương mại còn thưa thớt. Trong khi đó, ga S6 nằm trong khu vực có mật độ xây dựng cao với các hoạt động chủ đạo xoay quanh giáo dục và DV phục vụ sinh viên nhưng vẫn thiếu sự đa dạng về thương mại phức hợp. Cuối cùng, ga 2A12 đóng vai trò là đầu mối giao thông cửa ngõ phía Tây với sự tăng trưởng mật độ nhanh chóng, gắn liền với hoạt động của bến xe liên tỉnh và các DV mang tính tự phát phục vụ nhu cầu vận chuyển hành khách.

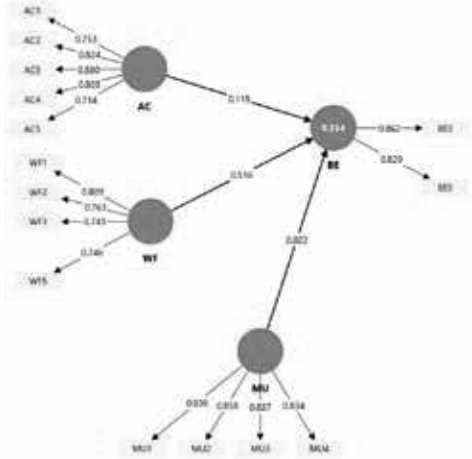
Bảng 2. Nhận diện các mô hình của 03 nhà ga đại diện

GA S1	GA S6	GA 2A12
		
		

Hơn thế nữa, nghiên cứu đã tiến hành lượng hóa dữ liệu khảo sát thông qua mô hình cấu trúc tuyến tính (PLS-SEM) - phương pháp thống kê đa biến, có khả năng xử lý các mối quan hệ hành vi phức tạp trên nền dữ liệu thực tế phi chuẩn [4]. Để lượng hóa mức độ tác động của KG đến người dùng, nghiên cứu xây dựng mô hình PLS-SEM với 04 nhóm biến tiềm ẩn chính: Khả năng tiếp cận (AC), Tính thân thiện đi bộ (WF), Sự đa dạng chức năng (MU) và Hành vi di chuyển (BE). Quy trình đánh giá độ tin cậy và độ giá trị của thang đo được thực hiện dựa trên các ngưỡng tiêu chuẩn được khuyến nghị bởi J. F. Hair và cộng sự. (2021) [4]. Kết quả chạy mô hình (Hình 3) cho thấy sự phân hóa rõ rệt: yếu tố WF có tác động mạnh nhất đến quyết định sử dụng tàu điện (BE) ($\beta = 0.516$), trong khi MU lại thấp và gần như không có tác động ($\beta = 0.022$). Những con số thực nghiệm này là minh chứng rõ ràng cho thấy KG các nhà ga hiện nay mới chỉ dừng ở mức Phát triển bám theo giao thông (TAD), nơi các chức năng đô thị hiện có chưa đủ sức thuyết phục và thay đổi hành vi đi lại của hành khách.

Nói cách khác, dữ liệu PLS-SEM chứng minh rằng sự xuất hiện của hạ tầng đường sắt đô thị hiện nay chưa tạo ra được một mô hình TOD hoàn chỉnh. Tương đồng với nhận định của Lê Minh Khuê và cộng sự [7], đó là cấu trúc KG và DV tại các nhà ga đường sắt trên cao Hà Nội hiện nay thực chất mới chỉ dừng lại ở mô hình phát triển bám theo giao thông (TAD) - nơi sự hiện diện của đường sắt chưa thực sự làm thay đổi bản chất của các hoạt động đô thị và hành vi di chuyển - và đang rất cần những chiến lược chuyển đổi đột phá để tiến tới mô hình TOD hay TOC đúng nghĩa.

Kết quả định tính từ dữ liệu khảo sát chuyên sâu chỉ ra một thực tế khá mâu thuẫn: người dân rất hài lòng với sự an toàn, sạch sẽ bên trong ga, nhưng lại ngần ngại đi tàu vì KG tiếp cận xung quanh bộc lộ quá nhiều khuyết điểm. Hàng loạt rào cản như vỉa hè bị lấn chiếm, thiếu vắng bóng mát cây xanh và sự khan hiếm các tiện ích cơ bản (nhà vệ sinh, ghế nghỉ) đã làm trải nghiệm đi bộ của hành khách kém đi. Chính sự chênh lệch về hạ tầng và DV xung quanh này đã tạo ra rào cản tâm lý cực lớn, khiến nhóm người trong độ tuổi lao động vẫn quyết định bám trụ lấy PTCN thay vì chuyển đổi thói quen sử dụng phương tiện giao thông công cộng.



Hình 3. Kết quả phân tích mô hình cấu trúc tuyến tính PLS-SEM

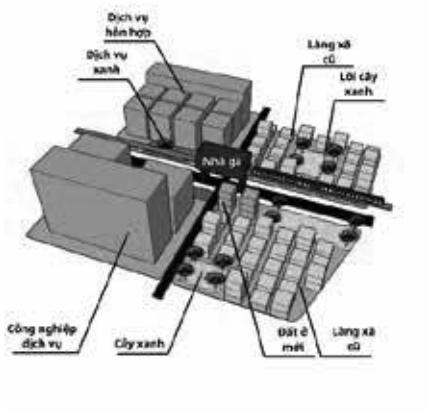
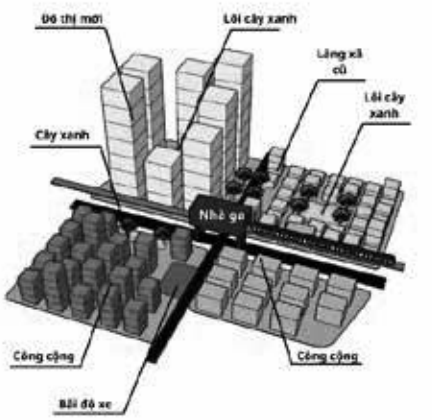
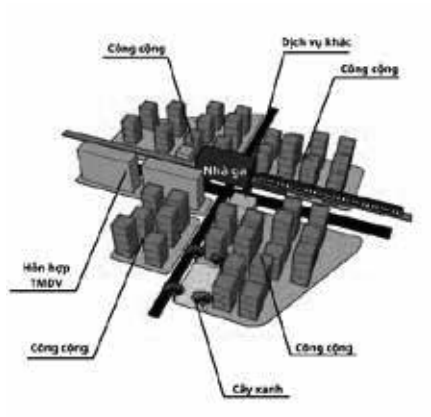
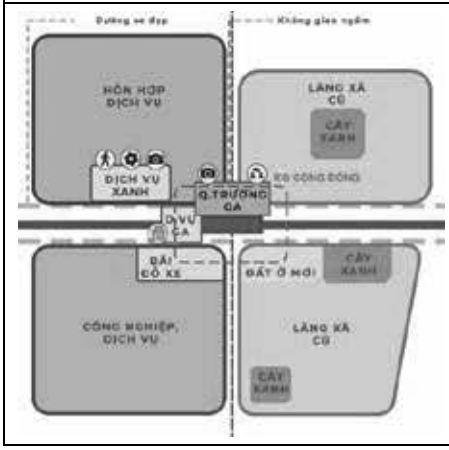
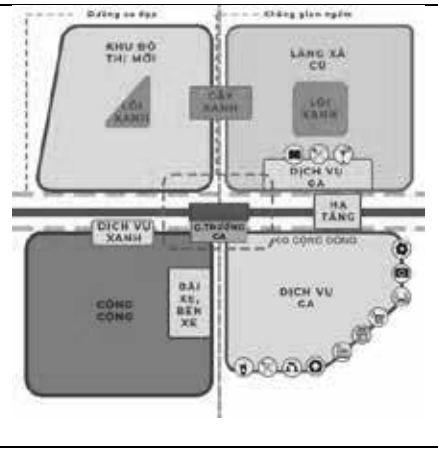
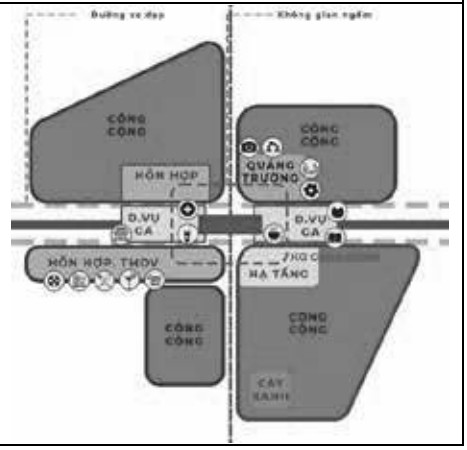
5. THẢO LUẬN: TOD HAY TOC?

Mặc dù mô hình TOD là chiến lược quan trọng để giảm ùn tắc, nhưng nếu chỉ áp dụng TOD theo hướng kỹ thuật thuần túy thì chưa đủ để giải quyết trọn vẹn bài toán giao thông và môi trường tại Hà Nội. Theo các lý thuyết truyền thống [10], [12], mô hình TOD thường quá chú trọng vào các chỉ số như gia tăng mật độ xây dựng và hệ số sử dụng đất quanh nhà ga. Tuy nhiên, việc áp dụng cứng nhắc các chỉ tiêu KG này dễ dẫn đến tình trạng đô thị nén nhanh, bỏ qua thói quen sinh hoạt và cấu trúc kinh tế bản địa của người dân. Thực tế đánh giá tại Hà Nội cho thấy, văn hóa di chuyển của người dân gắn liền với "kinh tế vỉa hè" và sự tiện lợi của xe máy. Nếu quy hoạch quanh ga chỉ tập trung xây dựng các khối thương mại khổng lồ mà triệt tiêu các DV dân sinh nhỏ lẻ, người dân sẽ gặp khó khăn trong việc tiếp cận DV hằng ngày và không có động lực đi bộ.

Hơn thế nữa, các nguyên lý TOD truyền thống chủ yếu tối ưu hóa các chỉ tiêu vật lý như mật độ, bán kính phục vụ hay khả năng tiếp cận đòi hỏi chi phí đầu tư lớn, nhưng chưa giải quyết đầy đủ câu hỏi: "Người dân sẽ sống, tương tác và tiêu dùng như thế nào trong KG đó?". Khi KG quanh ga thiếu các hoạt động đời sống thường nhật, thiếu tính liên tục của các DV nhỏ lẻ và không phù hợp với tập quán di chuyển, việc gia tăng mật độ đơn thuần không tự động chuyển hóa thành gia tăng sử dụng giao thông công cộng. Ngoài ra, TOD thuần túy cũng bộc lộ hạn chế trong việc tạo lập bản sắc và sức sống KG. Việc nén mật độ mà thiếu tổ chức không gian công cộng chất lượng, thiếu tầng trệt hoạt động và thiếu các "điểm đến" hấp dẫn sẽ dẫn tới môi trường đô thị đơn điệu, thời gian hoạt động ngắn, không đủ sức giữ chân người sử dụng ngoài giờ cao điểm. Điều này ảnh hưởng trực tiếp tới hiệu quả khai thác nhà ga và tính bền vững kinh tế - xã hội của khu vực.

Để khắc phục những hạn chế đó, nghiên cứu đề xuất định hướng chuyển đổi KG xung quanh ga tiến tới mô hình TOC. Lúc đó giao thông không chỉ đóng vai trò phục vụ di chuyển mà còn là nền tảng để tổ chức KG sống, thúc đẩy tương tác xã hội và hình thành các cộng đồng đô thị bền vững [4], [13]. Để phát triển theo định hướng TOC, cần thực hiện đồng bộ các nhóm giải pháp: Tái cấu trúc KG đô thị quanh nhà ga tập trung vào việc hình thành quảng trường ga như không gian công cộng của cộng đồng; ưu tiên tổ chức KG đi bộ và giao thông phi cơ giới; phát triển không gian công cộng chất lượng cao; tích hợp chức năng DV và tiện ích đô thị; xây dựng cơ chế quản lý và khai thác giá trị đất hiệu quả; ứng dụng công nghệ và quản lý thông minh (Bảng 3).

Bảng 3. Mô hình kịch bản phát triển TOC cho 03 nhà ga đại diện

GA S1	GA S6	GA 2A12
		
		

Việc chọn lựa đúng mô hình TOD hay TOC chính là chìa khóa chiến lược, giúp các điểm ga tại Hà Nội không chỉ là nơi lên xuống tàu, mà thực sự trở thành không gian phát triển đô thị tích hợp. Thách thức cốt lõi trong việc lựa chọn trên không chỉ đơn thuần là vấn đề hạ tầng kỹ thuật, mà còn nằm ở sự cải thiện hành vi con người trong môi trường xây dựng [7].

6. KẾT LUẬN - KIẾN NGHỊ

Nhà ga ĐSĐT không chỉ là một trạm dừng kỹ thuật giao thông đơn thuần, mà đang ngày càng khẳng định vai trò là những "cực tăng trưởng" quan trọng định hình lại cấu trúc KG Thủ đô. Trong bối cảnh dân số tăng nhanh và quỹ đất khan hiếm, Hà Nội đang đối mặt với sức ép về ùn tắc giao thông và ô nhiễm môi trường, việc khai thác hiệu quả KG xung quanh các nhà ga chính là chìa khóa chiến lược để thúc đẩy chuyển đổi sang phương thức di chuyển giao thông công cộng.

Kết quả nghiên cứu đã chỉ ra một khoảng trống lớn giữa quy hoạch hạ tầng và thực tiễn tổ chức KG đô thị. Thông qua khảo sát nhận diện mô hình không gian xung quanh ga và phương pháp phân tích định lượng từ mô hình SmartPLS chỉ ra rằng, hệ thống ĐSĐT hiện tại (như Tuyến 2A và Tuyến 3) phần lớn mới chỉ dừng lại ở mô hình Phát triển bám theo giao thông công cộng (TAD). Những đứt gãy về vật lý, sự thiếu hụt không gian công cộng, tiện nghi vi khí hậu (cây xanh, bóng mát) và các xung đột từ kinh tế vỉa hè tự phát đã làm giảm đáng kể khả năng tiếp cận nhà ga của người dân. Dữ liệu thực nghiệm nhấn mạnh rằng, WF - tính thân thiện đi bộ mới là yếu tố tiên quyết quyết định hành vi hạn chế dùng PTCN, vượt xa các yếu tố về mật độ hay chức năng thương mại.

Để mạng lưới ĐSĐT khai thác hiệu quả công năng và tăng sự thu hút người dân sử dụng, thành phố cần chuyển dịch trọng tâm đầu tư từ "hạ tầng cứng" (công trình nhà ga) sang hoàn thiện "hạ tầng mềm" (KG kết nối). Cụ thể, dựa trên rào cản lớn nhất về tính "thân thiện đi bộ", cần ưu tiên nguồn lực cải tạo hình thành quảng trường ga như không gian công cộng và cải tạo mạng lưới vỉa hè, bổ sung hệ thống mái che và cây xanh vi khí hậu để giải quyết tâm lý e ngại thời tiết cực đoan của người sử dụng dịch vụ. Ngoài ra, tại các ga mang tính chất cửa ngõ hay đầu mối (như ga Nhổn, ga Yên Nghĩa), việc khẩn trương khoanh vùng quỹ đất để bố trí bãi đỗ xe trung chuyển đúng nghĩa (Park & Ride) và trạm xe đạp công cộng là cần thiết để mở rộng bán kính phục vụ, từng bước đưa nhà ga trở thành hạt nhân sinh thái (TOC) phát triển không gian bền vững.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Bộ Tài nguyên và Môi trường. Báo cáo cập nhật hai năm một lần lần thứ ba của Việt Nam cho Công ước khung của Liên hợp quốc về biến đổi khí hậu (BUR3), Hà Nội, 2021.

[2] C. D. Higgins and P. S. Kanaroglou. A latent class method for classifying and evaluating the performance of station area planning: Any signs of transit-oriented communities?. Land Use Policy, vol. 52, pp. 67-82, 2016.

[3] IQAir. 2022 World Air Quality Report. IQAir, Switzerland, 2023.

[4] J. F. Hair, G. T. M. Hult, C. M. Ringle and M. Sarstedt, A Primer on Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM), 3rd ed. Thousand Oaks, CA: Sage Publications, 2021.

[5] L. Steg and C. Vlek. Encouraging pro-environmental behaviour: An integrative review and research agenda. Journal of Environmental Psychology, vol. 29, no. 3, pp. 309-317, 2009.

[6] Lê Chính Trực. Tổ chức không gian tại khu vực phát triển theo định hướng giao thông - TOD đối với đô thị trung tâm Hà Nội. Luận án Tiến sĩ, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội, 2023.

[7] Minh Khue Le, Khanh Huyen Bui, Mai Huong Duong and My Trinh Phan. Transit-adjacent Development (TAD) versus transit-oriented Development (TOD): Spatial structure and service transformation around elevated railway stations in Hanoi, Vietnam. Proceedings of the International Conference on Sustainable Urban Development (ICSUD), Vietnamese-German University (VGU), pp. 127-140, 2025. Internet: https://icsud.vgu.edu.vn/proceedings/#flipbook-df_5926/1/.

[8] Parkin J., Ryley T., Jones T. Barriers to cycling: an exploration of quantitative analyses, in Cycling and Society, Routledge, pp. 67-82, 2016.

[9] Peter Calthorpe. The next American metropolis: Ecology, community and the American dream. Princeton architectural press, 1993.

[10] Quyết định số 1193/QĐ-UBND của UBND TP Hà Nội ngày 18/3/2026 về việc công bố danh mục các bài toán lớn của TP Hà Nội giai đoạn 2026 - 2030 (Đợt 1).

[11] Renne J.L. From transit-adjacent to transit-oriented development. Local Environment, 14(1), pp. 1-15, 2009.

[12] Robert Cervero and Kara Kockelman. Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design. Transportation Research Part D: Transport and Environment, vol. 2, no. 3, pp. 199-219, 1997.

[13] Thanglong.chinhphu.vn. Vị thế của một đô thị trung tâm, 2024. Internet: https://thanglong.chinhphu.vn/ha-noi-vi-the-cua-mot-do-thi-trung-tam-103241008115537975.htm (truy cập tháng 4/2026).

[14] Thủ tướng Chính phủ. Quyết định số 876/QĐ-TTg phê duyệt Chương trình hành động về chuyển đổi năng lượng xanh, giảm phát thải khí carbon và khí metan của ngành GTVT, 2022.

[15] TransLink. Transit-Oriented Communities Design Guidelines. Metro Vancouver, 2012.

[16] Tuyết Hạnh. TOC - Mô hình cộng đồng định hướng giao thông trong phát triển đô thị Hà Nội. Tạp chí Kiến trúc Việt Nam, 2024. Internet: https://kientrucvietnam.org.vn/toc-mo-hinh-cong-dong-dinh-huong-giao-thong-trong-phat-trien-do-thi-ha-noi/.

■Ngày nhận bài: 02/4/2026 ■Ngày sửa bài: 17/4/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 04/5/2026

Nghiên cứu hiệu quả kinh tế của các dự án du lịch tâm linh có khai thác giá trị kiến trúc chùa truyền thống điển hình tại Việt Nam và hàm ý chính sách cho TP Hồ Chí Minh

Research on the economic effectiveness of spiritual tourism projects that exploit the architectural value of typical traditional temples in Vietnam and policy implications for Ho Chi Minh City

> TS BÙI VIỆT THI
Khoa Kiến trúc-Xây dựng, Trường Đại học Thủ Dầu Một
Email: thibv@tdmu.edu.vn

TÓM TẮT

Du lịch tâm linh đang trở thành xu hướng phổ biến, số lượng khách du lịch tâm linh ở Việt Nam ngày một tăng, chiếm tỷ trọng lớn trong cơ cấu khách du lịch, đặc biệt là khách nội địa, cho thấy du lịch tâm linh giữ vị trí quan trọng trong đời sống xã hội. Nhu cầu du lịch tâm linh có khai thác giá trị kiến trúc chùa truyền thống phát triển đa dạng không chỉ giới hạn trong khuôn khổ hoạt động gắn với tôn giáo, kiến trúc mà mở rộng tới các hoạt động, sinh hoạt tinh thần, tín ngưỡng cổ truyền của dân tộc và những yếu tố linh thiêng khác. Hoạt động du lịch tâm linh ngày càng chủ động, có chiều sâu và trở thành nhu cầu không thể thiếu trong đời sống tinh thần của đại bộ phận nhân dân.

Bài viết tập trung phân tích giá trị kiến trúc và tác động kinh tế của kiến trúc chùa đối với hoạt động du lịch tâm linh. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đánh giá hiệu quả kinh tế của hai dự án du lịch tâm linh tiêu biểu có khai thác giá trị kiến trúc chùa truyền thống tại miền Bắc và miền Nam Việt Nam; từ đó đề xuất một số hàm ý chính sách nhằm phát triển du lịch tâm linh cho một địa bàn cụ thể.

Từ khóa: Kiến trúc chùa cổ; hiệu quả kinh tế; du lịch tâm linh; dự án du lịch tâm linh.

ABSTRACT

Spiritual tourism is becoming a popular trend, with the number of spiritual tourists in Vietnam steadily increasing, accounting for a large proportion of the tourism structure, especially domestic tourists. This shows that spiritual tourism holds an important position in social life. The demand for spiritual tourism that exploits the architectural value of traditional temples is developing diversely, not only limited to activities related to religion and architecture, but also expanding to include spiritual activities, traditional beliefs of the nation, and other sacred elements. Spiritual tourism activities are becoming increasingly proactive, in-depth, and an indispensable need in the spiritual life of a large segment of the population.

This article aims to address the architectural value and economic impact of temple architecture in spiritual tourism that leverages traditional architectural values. It studies the economic effectiveness of two existing spiritual tourism projects that utilize traditional architectural values in Northern and Southern Vietnam and subsequently proposes tourism policies for a specific region.

Keywords: Ancient architecture; economic efficiency; spiritual tourism; spiritual tourism projects.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiệu quả kinh tế của loại hình du lịch tâm linh khai thác giá trị kiến trúc chùa truyền thống thể hiện qua các khía cạnh như: (i) Động lực tạo ra hiệu quả kinh tế: Kích cầu du lịch địa phương; (ii) Kéo dài thời gian lưu trú và tăng mức chi tiêu; (iii) Tạo việc làm và thu nhập từ quản lý, hướng dẫn viên, bán hàng đến các dịch vụ vận tải, góp phần chuyển dịch cơ cấu kinh tế địa phương;

Các dự án du lịch tâm linh khai thác giá trị kiến trúc chùa truyền thống mang lại hiệu quả kinh tế đáng kể thông qua doanh thu trực tiếp từ các dịch vụ du lịch, tạo việc làm và thúc đẩy sự phát triển của các ngành kinh tế liên quan. Tuy nhiên, để bảo đảm hiệu quả và lợi nhuận bền vững, các dự án cần hài hòa giữa mục tiêu bảo tồn bản sắc văn hóa, kiến trúc truyền thống với yêu cầu hiện đại hóa cơ sở hạ tầng. Hiệu quả kinh tế của loại hình du lịch tâm linh khai thác giá trị kiến trúc chùa truyền thống thể hiện qua các khía cạnh như: (i) Động lực tạo ra hiệu quả kinh tế: Kích cầu du lịch địa phương; (ii) Kéo dài thời gian lưu trú và tăng mức chi tiêu; (iii) Tạo việc làm và thu nhập từ quản lý, hướng dẫn viên, bán hàng

đến các dịch vụ vận tải, góp phần chuyển dịch cơ cấu kinh tế địa phương;

Thách thức đối với mô hình kinh doanh này gồm: (i) Tính thời vụ cao: Doanh thu chủ yếu tập trung vào các tháng đầu năm/mùa lễ hội, dẫn đến tình trạng quá tải trong thời gian ngắn và lãng phí công năng các hạng mục dịch vụ vào mùa thấp điểm; (ii) Chi phí bảo tồn và vận hành lớn: Kiến trúc chùa truyền thống (sử dụng vật liệu gỗ, chạm khắc cầu kỳ) đòi hỏi chi phí bảo dưỡng và phục dựng tốn kém hơn so với các công trình hiện đại; (iii) Áp lực về môi trường và văn hóa: Việc khai thác quá mức không gian thiêng có thể làm biến đổi cảnh quan, giảm giá trị nguyên bản của di sản và kéo theo các vấn đề về rác thải, xử lý nước thải...

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Giá trị của kiến trúc chùa cổ trong thu hút khách du lịch

1) Giá trị kiến trúc chùa cổ trong bản sắc văn hóa Việt Nam

Chùa cổ Việt Nam là sự kết hợp hoàn hảo giữa triết lý Phật giáo và tín ngưỡng bản địa; là nơi thờ tự, là bảo tàng sống lưu giữ nghệ thuật tạo hình dân gian, thể hiện tinh hoa bản sắc văn hóa, lòng yêu nước và tâm hồn hòa hợp của dân tộc.

- Dấu ấn triết lý và sự giao thoa văn hóa: Kiến trúc chùa cổ là minh chứng tiêu biểu cho sự dung hợp của Tam giáo (Phật, Nho, Đạo) và tín ngưỡng thờ mẫu; các ngôi chùa Việt thường có ban thờ Mẫu, Đức Ông, Đức Thánh. Một số ngôi chùa cổ còn là sự kết hợp Đông - Tây ngoạn mục, như chùa Cổ Lễ (Nam Định) mang kiến trúc Gô-tích nhưng vẫn giữ hồn cốt Phật giáo truyền thống.

- Sự gắn kết hài hòa với thiên nhiên: Chùa thường được xây ở những địa thế đắc địa, dựa vào núi, nhìn ra sông, hồ/cánh đồng tạo nên thế "tựa sơn, hướng thủy"; không gian chùa bố trí đan xen vườn cây cổ thụ, ao sen và sân gạch đỏ, xóa nhòa ranh giới giữa chốn thiêng liêng và đời thường.

- Đỉnh cao của nghệ thuật tạo hình truyền thống: Kết cấu gỗ độc đáo (khung gỗ lim bề thế, mái đao cong vút hình mũi thuyền nhẹ nhàng, hệ thống "chồng rường", "kẻ chuyền" làm giảm sự nặng nề của những mái ngói vảy cá; Các bức chạm trổ, phù điêu trên vì kèo, cột gỗ mang đậm bản sắc dân tộc, khắc họa hình tượng con rồng, chim phượng, hoa sen, con nghê mang bản sắc hồn Việt.

- Biểu tượng của bản sắc và lịch sử dân tộc: Gắn liền với chiều dài lịch sử (chùa là chỗ dựa tinh thần, là nơi các nhà sư cởi áo cà sa tòng quân, bảo vệ Tổ quốc - như tại chùa Cổ Lễ); Kiến trúc chùa cổ là di sản vật thể vô giá tự hào, thu hút du lịch và kết nối các thế hệ, là một phần quan trọng của văn minh kiến trúc cổ truyền Việt Nam [8].

2) Tác động kinh tế, nguồn thu của kiến trúc chùa trong du lịch tâm linh có khai thác giá trị kiến trúc truyền thống

Các dự án du lịch tâm linh kết hợp kiến trúc truyền thống mang lại hiệu quả kinh tế cao, bền vững thông qua việc tăng doanh thu dịch vụ, kéo dài thời gian lưu trú và tạo chuỗi giá trị. Sự độc bản về văn hóa giúp thu hút lượng lớn du khách, tạo việc làm và thúc đẩy kinh tế địa phương thông qua doanh thu từ dịch vụ lưu trú, ẩm thực và bán đồ lưu niệm. Đây là bức tranh toàn cảnh về hiệu quả và mô hình khai thác dòng sản phẩm du lịch giàu bản sắc này:

- Về tác động kinh tế: (i) Tạo nguồn thu trực tiếp và đa dạng: Vé tham quan và chuỗi dịch vụ đi kèm (lưu trú, ẩm thực, vận chuyển, và bán đồ lưu niệm); (ii) Khai thác chiều sâu văn hóa: Du khách sẵn sàng chi trả cao hơn cho các trải nghiệm nghỉ dưỡng kết hợp thiền định, tĩnh tâm tại các không gian có kiến trúc truyền thống mang tính nghệ thuật cao; (iii) Thu hút vốn đầu tư khổng lồ: Các dự án thành công thu hút dòng vốn đầu tư tư nhân, trực tiếp định hình và nâng cấp hệ thống hạ tầng kỹ thuật (đường sá, sân bay) của toàn khu vực; (iv) Kích thích chuỗi cung ứng bản địa: Tái hiện không gian kiến trúc truyền thống cần nguồn vật liệu bản địa, kỹ thuật thủ công đặc thù, từ đó thúc đẩy các làng nghề phát triển, tạo việc làm/tạo việc làm và nâng cao thu nhập cho người lao động..

- Giá trị vô hình tạo ra lợi thế cạnh tranh: (i) Trải nghiệm không gian kiến trúc truyền thống mang tính nghệ thuật và bề dày lịch sử giúp du khách muốn nán lại lâu hơn, trải nghiệm sâu hơn thay vì chỉ hành hương trong ngày; (ii) Giảm tính mùa vụ**:** Nếu tích hợp cảnh quan kiến trúc độc đáo giúp các khu du lịch thu hút khách vãng lai tham quan, chụp ảnh và nghỉ dưỡng quanh năm; (iii) Kiến trúc bản địa độc đáo giúp tạo bản sắc riêng, tránh sự trùng lặp, từ đó tối ưu hóa chiến lược marketing và nâng cao sức cạnh tranh trên bản đồ du lịch quốc tế; (iv) Bảo tồn và phát huy giá trị di sản văn hóa vừa là nền tảng, vừa là tài nguyên, giúp ngành du lịch phát huy sức mạnh mềm và chuyển hóa các giá trị phi vật thể thành lợi ích kinh tế trực tiếp; (v) Kích cầu các ngành liên quan: Kiến trúc truyền thống đòi hỏi vật liệu và kỹ năng thủ công cao, gián tiếp phát triển các làng nghề mộc, đá, sơn mài, và thúc đẩy các sản phẩm nông đặc sản địa phương.

3) Nét thu hút của kiến trúc chùa cổ đối với khách du lịch

Việt Nam sở hữu hệ thống hàng nghìn ngôi chùa cổ kính, nổi tiếng mang đậm giá trị lịch sử, văn hóa và kiến trúc, trải dài từ Bắc vào Nam. Những nét quyến rũ cốt lõi chùa nước ta bao gồm:

- Hài hòa với thiên nhiên: Thường tọa lạc ở các vị trí đắc địa, tuân theo nguyên tắc phong thủy tạo nên cảnh quan thanh bình, giúp du khách dễ dàng tìm thấy sự thư thái;

- Nghệ thuật tạo hình và điêu khắc: Các chi tiết như mái đao cong vút, hệ thống vì kèo gỗ chạm trổ tinh xảo (hình rồng, phượng, hoa lá), hay tượng thờ mang đậm dấu ấn văn hóa qua từng thời kỳ lịch sử;

- Vật liệu xây dựng truyền thống: Việc sử dụng các chất liệu mộc mạc, gần gũi như gỗ, đá, gạch nung, và ngói mũi hài mang lại cảm giác ấm cúng, bền vững cùng thời gian;

- Không gian tĩnh lặng, tách biệt: Kiến trúc tạo ra những khoảng lặng cần thiết để du khách trốn khỏi nhịp sống hối hả, trải nghiệm thiền định hoặc nhiếp ảnh.

2.2. Nghiên cứu một số dự án du lịch tâm linh có khai thác giá trị kiến trúc truyền thống điển hình tại Việt Nam

1) Công trình Sun World Fansipan Legend

Quần thể văn hóa tâm linh Sun World Fansipan Legend trên dãy Hoàng Liên Sơn, từ độ cao 2.900m đến đỉnh Fansipan 3.143 m. Đưa vào vận hành năm 2016, nơi đây là sự kết hợp giữa kỳ quan thiên nhiên và các công trình kiến trúc Phật giáo mang dáng dấp chùa cổ Việt Nam thế kỷ XV.

Quần thể văn hóa tâm linh này được chắt lọc tinh hoa từ các ngôi chùa Việt cổ hàng trăm năm tuổi. Nổi bật là ba ngôi chùa mang đậm phong cách kiến trúc thuần Việt và thời Trần: (i) Bảo An Thiền Tự (Chùa Trình): Độ cao 1.604 m, mang dáng vẻ thâm trầm giữa không gian núi rừng; (ii) Bích Vân Thiền Tự: Độ cao 3.037 m, mang đậm nét kiến trúc thời Trần với kiến trúc chùa Hạ, lầu Chuông, lầu Trống và Đại Hồng Chung sừng sững giữa mây ngàn; (iii) Kim Sơn Bảo Thắng Tự: Độ cao 3.091m, là điểm nhấn linh thiêng nhất; có thiết kế gỗ đồ sộ gồm Tam bảo, nhà Tổ, hành lang La Hán và Bảo tháp 11 tầng [4].

Những khía cạnh thể hiện hiệu quả kinh tế nổi bật của dự án bao gồm:

- Đối với doanh nghiệp vận hành: (i) Quy mô vốn: Vốn chủ sở hữu đạt hơn 4.806 tỷ đồng, tăng gấp gần 2,8 lần so với giai đoạn trước đó; (ii) Lợi nhuận: Các chỉ số sinh lời liên tục cải thiện, lợi nhuận trước thuế đạt tới 103 tỷ đồng; (ii) Hệ số tài chính: Hệ số thanh toán ngắn hạn duy trì ở mức cao (2,31 lần), thể hiện sức khỏe tài chính lành mạnh và ổn định của dự án.

- Đối với kinh tế - xã hội địa phương (Lào Cai/Sapa), thay đổi hoàn toàn diện mạo kinh tế khu vực: (i) Bùng nổ lượng khách: Trước khi có cáp treo (2013), Sapa chỉ đón khoảng 720.000 lượt

khách. Sau hơn 10 năm vận hành, lượng khách tới địa phương chạm mốc hơn 4,3 triệu lượt (tăng gấp 4-5 lần; (ii) Doanh thu du lịch: Đạt 19.000 tỷ đồng, gấp hơn 11 lần so 2013; (iii) Tạo việc làm và thu nhập: Giải quyết được bài toán việc làm, chuyển đổi sinh kế thành công cho hàng nghìn lao động, đặc biệt là đồng bào dân tộc thiểu số tại địa phương.

- *Kích cầu hệ sinh thái dịch vụ:* Quần thể du lịch thu hút lượng lớn du khách, thúc đẩy hàng loạt khách sạn, homestay, nhà hàng và dịch vụ vận tải tại Sa Pa mở rộng quy mô, nâng cao chất lượng phục vụ. Mức chi tiêu bình quân của du khách cũng tăng đáng kể.

2) Công trình Sun World Bà Đen Mountain

Dự án Sun World Ba Den Mountain do Tập đoàn Sun Group đầu tư đã tạo ra bước ngoặt mang tính cách mạng cho kinh tế Tây Ninh; mang lại doanh thu đột phá cho nhà đầu tư mà còn đưa du lịch trở thành ngành kinh tế mũi nhọn, thúc đẩy mạnh mẽ hạ tầng và các ngành dịch vụ địa phương. Khu du lịch này nổi bật với quần thể kiến trúc tâm linh giao thoa giữa cổ tự ngàn năm và các công trình hiện đại. Trái tim của vùng đất thánh là hệ thống 6 ngôi chùa cổ kính mang đậm nét kiến trúc truyền thống Phật giáo Nam Bộ, trải dài từ chân núi lên lưng chừng núi.

Các ngôi chùa cổ trong quần thể bao gồm: (i) Linh Sơn Tiên Thạch Tự (hơn 300 năm tuổi), nằm ở lưng chừng núi; Điện Bà được xây dựng trong hang đá tự nhiên (thờ Linh Sơn Thánh Mẫu, vị thần chủ của núi Bà Đen); (ii) Linh Sơn Phước Trung: Mang kiến trúc cong thanh thoát với các họa tiết hoa lá, mây trời; (iii) Chùa Linh Sơn Long Châu: Xây dựng 1830 bên trong hang đá tự nhiên (thờ Đạt Ma Sư Tổ và Phật Thích Ca nhập niết bàn); (iv) Các chùa khác. [5], [6].

Những khía cạnh thể hiện hiệu quả kinh tế nổi bật của dự án bao gồm:

- *Bứt phá lượng khách và doanh thu du lịch:* (i) Liên tục lập các kỷ lục với khoảng 5 triệu lượt du khách/10 tháng, là điểm đến tâm linh, chữa lành và tham quan hàng đầu khu vực Nam bộ; (ii) Lượng khách qua cáp treo chiếm >90% tổng lượng khách du lịch toàn tỉnh Tây Ninh, tạo nguồn thu trực tiếp và gián tiếp khổng lồ cho địa phương.

- *Định vị lại bức tranh kinh tế vĩ mô của Tây Ninh:* (i) Đưa Tây Ninh vươn lên dẫn đầu về tăng trưởng kinh tế (GRDP) tại vùng Đông Nam Bộ; (ii) Tạo tiền đề để Tây Ninh tiếp tục mời gọi hàng loạt nhà đầu tư lớn, mở rộng quy hoạch các khu thương mại, tham quan chuyên đề và nghỉ dưỡng quy mô lớn.

- *Thúc đẩy hạ tầng và kinh tế địa phương:* (i) Sự bùng nổ của du khách đã thúc đẩy chính quyền chi hàng trăm tỷ đồng để nâng cấp, mở rộng các tuyến đường kết nối trung tâm tỉnh Tây Ninh với khu du lịch; (ii) Tạo ra hàng ngàn việc làm, đồng thời kích thích các ngành dịch vụ lân cận và đặc sản địa phương phát triển mạnh mẽ.

- *Nâng tầm giá trị văn hóa và bền vững:* (i) Dự án sở hữu nhiều kỷ lục thế giới và châu Á (Ga cáp treo lớn nhất thế giới, Tượng Phật Bà Tây Bổ Đà Sơn, Tượng Phật Di Lặc bằng đá sa thạch), giúp nâng tầm ngành du lịch Việt Nam trên bản đồ quốc tế; (ii) Mô hình du lịch bền vững: Sự kết hợp giữa du lịch tâm linh truyền thống và công nghệ, cảnh quan thiên nhiên đã tạo ra lượng khách đến đều đặn quanh năm, vượt qua tính mùa vụ thông thường của du lịch giải trí [6].

2.3. Nghiên cứu hiệu quả kinh tế của hai dự án du lịch tâm linh có khai thác giá trị kiến trúc truyền thống

1) Hiệu quả kinh tế của dự án du lịch tâm linh Sun World Fansipan Legend

Dự án Sun World Fansipan Legend do tập đoàn Sun Group đầu tư là "đòn bẩy" chính biến Sa Pa từ điểm đến nhỏ thành trung tâm du lịch hàng đầu, thúc đẩy tăng trưởng vượt bậc kinh tế địa phương, tăng doanh thu du lịch nhiều lần và gia tăng mạnh mẽ quy mô vốn của đơn vị vận hành. Dự án này không chỉ góp phần đa dạng hoá sản phẩm du lịch mà còn tạo động lực tăng trưởng kinh tế cho tỉnh Lào Cai.

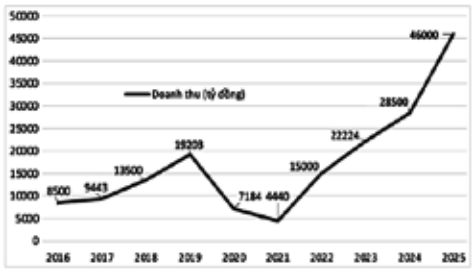
Biểu đồ 1. Thống kê tổng lượt khách du lịch đến tỉnh Lào Cai giai đoạn 2015 - 2025



(Nguồn: Tác giả tổng hợp số liệu từ Sở VHTTDL tỉnh Lào Cai)

Trước khi có dự án, lượng khách du lịch đến tỉnh Lào Cai khoảng 2,09 triệu lượt khách. Sau khi hệ thống cáp treo và quần thể tâm linh Fansipan được khai thác, Biểu đồ 1 cho thấy con số này tăng lên từ 2,77 ⇒ 3,5 ⇒ 4,2 ⇒ 5,1 triệu lượt các năm 2016 - 2019 (tăng gấp 2,4 lần so với năm 2015). Sau dịch COVID-19 2020-2021, du lịch tỉnh Lào Cai đã phục hồi nhanh chóng, đạt 7,26 triệu lượt (2023) và 10,5 triệu lượt năm 2025 [4].

Biểu đồ 2. Thống kê tổng thu từ khách du lịch của Lào Cai giai đoạn 2015 - 2025



(Nguồn: Tác giả tổng hợp số liệu từ Sở VHTTDL tỉnh Lào Cai)

Tỉnh Lào Cai cũng ghi nhận sự tăng trưởng trong doanh thu từ khách du lịch. Biểu đồ 2.2 thể hiện tổng thu từ du khách của tỉnh Lào Cai giai đoạn 2015 - 2025. Qua biểu đồ có thể thấy,

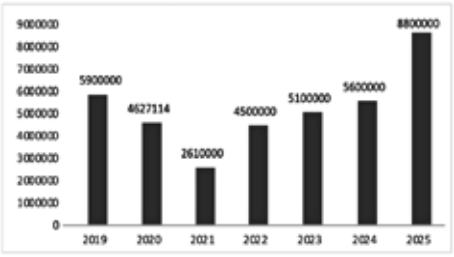
Trước khi có dự án, tổng thu từ du lịch đạt khoảng 6.000 tỷ đồng (2015). Sau khi hệ thống cáp treo và quần thể tâm linh Fansipan được khai thác, Biểu đồ 2 cho thấy con số này tăng lên từ 8.500 ⇒ 9443 ⇒ 13.500 ⇒ 19.203 tỷ đồng các năm 2016 - 2019 (tăng gấp 3,2 lần so với 2015). Sau dịch COVID-19 2020-2021, doanh thu phục hồi mạnh mẽ, đạt 22.244 tỷ đồng năm 2023 và khoảng 46.000 tỷ đồng năm 2025. Như vậy, sau mười năm, doanh thu du lịch tỉnh Lào Cai tăng hơn 7 lần so với thời điểm trước khi Sunworld Fansipan Legend đi vào hoạt động.

Tác động kinh tế của dự án còn được nhận góp phần nâng cao chất lượng đời sống cộng đồng địa phương. Tỷ lệ hộ nghèo tại Sapa giảm từ 50,7% năm 2015 xuống còn khoảng 13% năm 2025, tương đương với mức giảm ba phần tư chỉ trong một thập kỷ [1]. Sự dịch chuyển này gắn liền với quá trình người dân bản địa tham gia trực tiếp vào chuỗi cung ứng dịch vụ du lịch như: trồng rau sạch, kinh doanh homestay, và làm việc tại các cơ sở cung cấp dịch vụ du lịch. Đáng chú ý, hơn 60% cán bộ nhân viên tại Sun World Fansipan là người dân tộc thiểu số địa phương.

2) Hiệu quả kinh tế của dự án du lịch tâm linh Sun World Bà Đen Mountain

Sun World Ba Den Mountain**,** nằm trong quần thể Khu du lịch quốc gia Núi Bà Đen, thuộc phường Bình Minh của tỉnh Tây Ninh. Đây là tổ hợp vui chơi giải trí và tâm linh nổi tiếng do Tập đoàn Sun Group đầu tư, bao gồm hệ thống cáp treo hiện đại đưa du khách lên đỉnh núi Bà Đen (nóc nhà Nam Bộ với độ cao 986 m). Quần thể Khu du lịch là sản phẩm tiêu biểu nhất trong bức tranh du lịch, với lượng khách chiếm đến hơn 90% tổng số khách đến Tây Ninh [3].

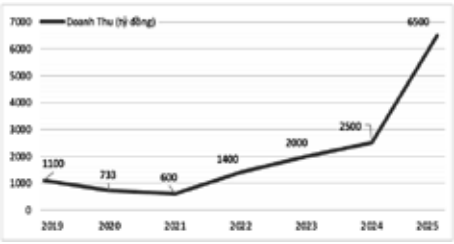
Biểu đồ 3. Thống kê lượt khách du lịch đến tỉnh Tây Ninh giai đoạn 2019 - 2025



(Nguồn: Tác giả tổng hợp số liệu từ Sở VHTTDL tỉnh Tây Ninh)

Thời điểm ra mắt Sun World Bà Đen Mountain vào tháng 1/2020, Biểu đồ 3 cho thấy giai đoạn 2020 - 2021 có dấu hiệu sụt giảm do ảnh hưởng COVID-19; từ năm 2022, số lượt khách du lịch tăng trưởng trở lại, tăng vượt bật đạt 8,8 triệu lượt khách năm 2025 (vượt 1 triệu lượt khách so với dự kiến.

Biểu đồ 4. Thống kê du thu từ du lịch tỉnh Tây Ninh giai đoạn 2019 - 2025



(Nguồn: Tác giả tổng hợp số liệu từ Sở VHTTDL tỉnh Tây Ninh)

Biểu đồ 4 cho thấy giai đoạn 2020 - 2021 doanh thu từ du lịch có dấu hiệu sụt giảm do ảnh hưởng COVID-19; từ năm 2022, doanh thu tăng trở lại và đạt 6,5 nghìn tỷ đồng 2025 (gấp 6 lần).

Từ khi được đưa vào hoạt động, dự án du lịch tâm linh Sun World Bà Đen Mountain đã có đóng góp rất lớn vào phát triển du lịch và tăng trưởng kinh tế của tỉnh Tây Ninh, sau 6 năm, doanh thu từ du lịch của tỉnh Tây Ninh đã tăng hơn gấp 6 lần.

2.4. Hàm ý chính sách cho du lịch TP.HCM

Sun World Fansipan Legend (Lào Cai) và Sun World Ba Den Mountain (Tây Ninh) là hai tổ hợp du lịch đẳng cấp, biến các vùng núi hẻo lánh thành điểm đến vươn tầm quốc tế. Cả hai dự án đều nhận được nhiều đánh giá tích cực nhưng cũng đi kèm một số băn khoăn về tác động.

Hai tổ hợp du lịch này đều sở hữu nhiều kỷ lục thế giới và châu Á về hệ thống cáp treo, biến việc chinh phục "nóc nhà Đông Dương" hay đỉnh núi Bà Đen linh thiêng trở nên dễ dàng cho mọi đối tượng du khách. Các dự án không chỉ dừng lại ở giải trí mà còn được thiết kế như những quần thể du lịch văn hóa; giữ được không gian văn hóa bản địa tại Sa Pa và quần thể kiến trúc tượng Phật Bà, chùa Bà quy mô lớn tại Tây Ninh, giúp nâng tầm du lịch tâm linh địa phương. Ưu điểm nổi bật là phát triển kinh tế địa phương, trải nghiệm tiếp cận đa dạng, điểm check-in đẳng cấp.

Tuy nhiên còn hạn chế và thách thức như: Chi phí dịch vụ đi kèm khá cao, làm thay đổi phần nào hệ sinh thái và cảnh quan thiên nhiên hoang sơ nguyên bản, áp lực mùa cao điểm.

TP.HCM có thể áp dụng các bài học từ hai dự án này để phát triển kinh tế đêm, du lịch sông nước và công nghiệp văn hóa; khai thác du lịch tâm linh dựa trên giá trị kiến trúc cần sự kết hợp hài hòa giữa bảo tồn di sản và phát triển kinh tế. Các hàm ý chính sách cốt lõi bao gồm:

- Bảo tồn và phục dựng di tích: Tăng cường ngân sách và xã hội hóa để trùng tu các công trình kiến trúc tôn giáo, tín ngưỡng cổ (Đình Thông Tây Hội, Tổ đình Giác Lâm), giữ nguyên vẹn các yếu tố "không gian thiêng" và kiến trúc gỗ truyền thống Nam Bộ. Cần quy hoạch các khu vực như Chợ Lớn, Bến Thành, hoặc hệ thống kênh rạch thành các không gian văn hóa. Thay vì khai thác đơn thuần, nên tích hợp công nghệ (nhạc nước nghệ thuật, chiếu sáng 3D) và nghệ thuật đương đại (như các show diễn thực cảnh trên sông Sài Gòn) để kể câu chuyện lịch sử.

- Số hóa không gian di sản: Ứng dụng công nghệ thực tế ảo (VR) và hệ thống thuyết minh tự động (Audio Guide) để du khách hiểu sâu sắc về nghệ thuật chạm khắc, phù điêu gốm (như Chùa Bà Thiên Hậu) và lịch sử kiến trúc.

- Phát triển chuỗi sản phẩm chuyên biệt: Xây dựng các tuyến du lịch chuyên đề kết nối kiến trúc tôn giáo (Đình - Chùa - Miếu) kết hợp trải nghiệm văn hóa bản địa, nghệ thuật biểu diễn và thiền định để tăng thời gian lưu trú của du khách. Cần liên kết chặt chẽ các điểm đến rời rạc hiện tại thành các *tour* xuyên suốt, tích hợp giao thông đường thủy chất lượng cao cùng trải nghiệm ẩm thực - mua sắm về đêm để tăng thời gian lưu trú và chi tiêu của du khách.

3. KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ

Bài báo đã hệ thống cơ sở lý thuyết về giá trị kiến trúc chùa truyền thống Việt Nam trong thu hút khách du lịch, đồng thời, phân tích thực tiễn hiệu quả kinh tế của hai dự án du lịch tâm linh tiêu biểu. Kết quả nghiên cứu khẳng định giá trị của kiến trúc chùa truyền thống Việt Nam có sức hút rất lớn với du khách. Các đặc trưng về bố cục không gian, kết cấu gỗ, điêu khắc trang trí và triết lý hài hoà với thiên nhiên, không chỉ là biểu đạt của bản sắc văn hoá dân tộc mà còn là tài nguyên du lịch có giá trị kinh tế cao. Việc tái hiện và ứng dụng có bài bản các giá trị kiến trúc Phật giáo truyền thống trong các dự án đầu tư du lịch tâm linh quy mô lớn đã được chứng minh là có khả năng thúc đẩy tăng trưởng mạnh mẽ về số lượng khách du lịch, doanh thu từ du lịch và tạo ra hiệu ứng lan tỏa tích cực đến đời sống kinh tế, xã hội của địa phương. Trên cơ sở đó, bài báo đề xuất các hàm ý chính sách cho TP.HCM trong việc khai thác và triển khai các dự án du lịch tâm linh có tái hiện kiến trúc truyền thống nhằm xây dựng sản phẩm du lịch đặc thù cho thành phố.

Để các dự án đạt hiệu quả kinh tế lâu dài đồng thời bảo tồn giá trị kiến trúc truyền thống, các chủ đầu tư và ban quản lý cần áp dụng một số giải pháp nhằm tối ưu hóa hiệu quả hoạt động, bao gồm: (i) Đa dạng hóa sản phẩm: Không chỉ dừng lại ở lễ bái, cần tích hợp thêm các sản phẩm du lịch trải nghiệm như thiền định, nghiên cứu văn hóa, và du lịch sinh thái để hút khách quanh năm; (ii) Ứng dụng công nghệ: Quản lý đám đông, số hóa vé tham quan, trải nghiệm thực tế ảo (VR) về lịch sử kiến trúc chùa giúp giảm tải cho di tích và tăng trải nghiệm khách hàng; (iii) Chia sẻ lợi ích với cộng đồng: Đào tạo và trao quyền cho người dân địa phương cung ứng dịch vụ để họ có thu nhập, từ đó nâng cao ý thức bảo vệ cảnh quan và văn hóa.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Thủ Dầu Một theo đề tài nghiên cứu khoa học mã số DT.25.1-277.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Quang Anh. Khu du lịch trên đỉnh núi cao nhất Việt Nam được vinh danh "Điểm du lịch có thắng cảnh thiên nhiên hàng đầu thế giới". Báo Người quan sát, 2025.

[2] Báo Nhân Dân. Tin tức du lịch tâm linh, 02/2025.

[3] Báo Sài Gòn Giải Phóng. Chuyên mục du lịch, 8/2023.

[4] Sun World Fansipan Legend. Chiêm bái chùa trên đỉnh Fansipan, 2018.

[5] Sun World Ba Den Mountain. Hệ thống các công trình văn hóa tâm linh độc đáo trên đỉnh núi Bà Đen, Tây Ninh, 2021.

[6] Sun World Ba Den Mountain. Khám phá tượng Phật núi Bà Đen giữa mây trời Tây Ninh, 2021.

[7] Sun World Ba Den Mountain. Vườn thiền Ưu Đàm Núi Bà Đen - không gian tâm linh trên đỉnh núi, 2021.

[8] Vietnam Hội nhập. Du lịch tâm linh: Gắn kết niềm tin, lan tỏa giá trị văn hóa và kinh tế, 2025.

■Ngày nhận bài: 01/4/2026 ■Ngày sửa bài: 15/4/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 04/5/2026

Phát triển đô thị và các tổ chức xã hội trong giải pháp quy hoạch - xây dựng tại Việt Nam

Urban development and social organizations in planning and construction solutions in Vietnam

> TS.KTS LÊ KIM THƯ*, THS.KTS LÊ BÁ THÁI QUYỀN
Học viện Kỹ thuật quân sự; *Email: Thulk@lqdtu.edu.vn

TÓM TẮT

Nội dung bài báo đề cập đến các tác nhân cơ bản như các tổ chức xã hội, các hình thức tập hợp quần chúng khác và các cá nhân công dân có tác động đến quá trình hoạch định chiến lược phát triển và quản lý đô thị. Trên cơ sở đó, bài báo nêu ra một số vấn đề về phương thức tham gia và các giải pháp nhằm hài hòa lợi ích của các bên tham gia trong quá trình hoạch định, thực thi chiến lược phát triển và quản lý đô thị, góp phần thúc đẩy sự phát triển bền vững của đô thị.

Từ khóa: Quy hoạch; kiến trúc; thích ứng; dân cư; môi trường.

ABSTRACT

The content of the article refers to some basic factors affecting the process of development strategic planning and urban management. On that basis, it would mention a number of issues about method of attending and direction to harmonize interests of the parties involving in the process of planning and implementing development strategies as well as management so that national cities would develop in a sustainable way.

Keywords: Planning; architecture; adaptation; residential; environment.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Dĩ nhiên, các cơ quan chính quyền không phải là hình thức duy nhất của các tổ chức hoạt động để cải thiện đời sống cho mọi người. Tham gia vào công việc này còn có các tổ chức xã hội, các công ty trách nhiệm hữu hạn cũng như các cá nhân, …Trong nhiều nước, các tổ chức nói trên có khả năng cạnh tranh với các cơ quan công quyền về phát triển và quản lý đô thị. Nhưng trong bất kỳ trường hợp nào thì sự hợp tác của tất cả các nhóm cùng có lợi ích sẽ mang lại hiệu quả cao nhất.

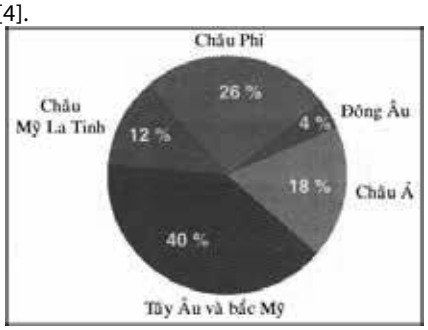
2. THỰC TRẠNG CỦA VẤN ĐỀ PHÁT TRIỂN ĐÔ THỊ VÀ CÁC TỔ CHỨC XÃ HỘI

Trong thời đại chúng ta, ngày càng giữ một vai trò lớn hơn trong việc quy hoạch phát triển và quản lý đô thị chính là các tổ chức phi chính phủ, tức là các tổ chức xã hội, họ có nhiều kênh thu thập các thông tin, theo dõi các khuynh hướng, trào lưu và làm các công việc vận động bảo vệ cho những người dân không có tiếng nói chính thức. Khi cộng tác và phối hợp trong công việc, các tổ chức này đã chứng tỏ có hiệu quả cao và nhận được sự ủng hộ của các cộng đồng dân cư và những người đồng chí hướng, … Chính vì vậy, ảnh hưởng và uy tín của họ gây nên sự hưởng ứng mạnh mẽ không chỉ tại địa phương mà còn ở quy mô rộng lớn hơn nhiều, đôi khi vượt ra ngoài biên giới quốc gia.

Tận dụng ưu thế đó của các tổ chức xã hội mà đặc biệt là những đề xuất cụ thể xuất phát từ nhu cầu thực tế. Những đề xuất và giải pháp cụ thể mang hơi thở cuộc sống đó, nếu được chấp nhận thì khi thực thi chắc chắn sẽ có hiệu quả cao hơn so với các cá nhân hay tập thể trong lĩnh vực quản lý.

Hiện nay, trên phạm vi toàn cầu có hơn 300 triệu người tham gia vào 2.773 tổ chức phi chính phủ đã đăng ký chính thức với Liên Hợp Quốc; trong đó, hơn 40% tổ chức hoạt động ở cấp độ quốc tế. Các tổ chức này tham gia trong nhiều lĩnh vực khác nhau của đời sống xã hội, bao gồm cả các vấn đề liên quan đến phát triển và quản lý đô thị.

Trên biểu đồ bên cạnh giới thiệu các tổ chức phi chính phủ - cơ cấu theo khu vực của các tổ chức được đăng ký với Liên Hợp Quốc và chuyên nghiên cứu các vấn đề địa điểm bố trí dân cư [1], [2], [3], [4].



Sau khi tham vấn với Hội đồng Trung tâm của Liên Hợp Quốc phụ trách các vấn đề về cư trú và và phát triển đô thị, một tổ chức mang tên "Diễn đàn Cư trú" đã được thành lập với sự tham gia của đại diện các bộ, các hội đồng thị chính (chính quyền thành phố), các công ty xây dựng nhà ở, các cơ quan vận hành các hệ thống phục vụ đời sống, các tổ chức công đoàn và các chi nhánh quốc gia của các tổ chức quốc tế.

Có thể nói, Hà Lan là một điển hình đáng tham khảo trong lĩnh vực hợp tác giữa các cơ quan chính quyền và các tổ chức xã hội. Nhằm thúc đẩy việc đưa các mục tiêu của "Chương trình Hành động về Nơi cư trú (Habitat) cho thế kỷ XXI" vào thực tiễn, Bộ Xây dựng Nhà ở, Quy hoạch và Môi trường cùng với Bộ Ngoại giao Hà Lan đã đảm nhận vai trò đề xuất sáng kiến tập hợp các phong trào và tổ chức trong nước tham gia giải quyết các vấn đề

về môi trường cư trú của con người, hướng tới hình thành một cơ cấu tổ chức thống nhất.

Tổ chức này đã được phép thiết lập trụ sở ngay bên cạnh tổng hành dinh của Liên hiệp các Hội đồng thị chính Hà Lan, điều này trong một chừng mực không nhỏ đã giúp cho việc thỏa thuận lập trường quan điểm và phối hợp hành động để giải quyết các vấn đề về địa điểm cư trú của người dân.

"Diễn đàn Cư trú" đã động viên các cơ quan chính quyền địa phương thực hiện chính sách mà các nguyên tắc và phương pháp của nó nằm trong học thuyết phát triển bền vững và "Chương trình hành động cho thế kỷ XXI". Trước hết cần phải nói về sự điều phối trôi chảy các hoạt động hợp tác hiệu quả giữa các Hội đồng thị chính và các tổ chức xã hội cũng như các cá nhân riêng biệt - có nghĩa là giữa chính quyền và các xã hội công dân.

"Diễn đàn Cư trú" giúp các cơ quan tự quản địa phương và các tổ chức xã hội nhận diện, xác định những vấn đề mà người dân quan tâm, lo ngại; đồng thời cung cấp thông tin về cách thức giải quyết các vấn đề tương tự tại các quốc gia và cộng đồng dân cư khác. Thông qua đó, diễn đàn đưa ra những cảnh báo, tư vấn và khuyến nghị về việc lựa chọn, vận dụng kinh nghiệm quốc tế một cách phù hợp, chỉ ra những nội dung nên hoặc không nên áp dụng, cũng như định hướng các phương thức hành động hiệu quả trên cơ sở xem xét đầy đủ các điều kiện và đặc điểm của địa phương.

Trong khuôn khổ "Diễn đàn Cư trú" đã thành lập một trung tâm thông tin và huấn luyện là nơi thường tổ chức các cuộc thảo luận công khai, các cuộc họp và huấn luyện nghiệp vụ trong công tác giải quyết các vấn đề làm cư dân bức xúc bằng cách mời các lý thuyết gia và các nhà thực hành trong lĩnh vực phát triển và quản lý đô thị đến tham gia, kể cả mời các chuyên gia nước ngoài. "Diễn đàn Cư trú" cũng thúc đẩy một cách có mục đích việc phối hợp hành động và hợp tác quốc tế ở cấp độ tổ chức phi chính phủ và chính quyền thành phố, trong đó có dựa vào chương trình của các thành phố kết nghĩa.

Trong một vài năm gần đây, thông qua xưởng phim riêng của mình, "Diễn đàn Cư trú" đã xây dựng và phát hành các video học tập theo các chủ đề sau:

- Vấn đề phân tách không gian và các biện pháp đấu tranh với hiện tượng phân biệt, kỳ thị trong các khu vực nhà ở (ghetto hóa);
- Làm thế nào để chính quyền địa phương thực hiện các chính sách hiệu quả trong bối cảnh một xã hội đa văn hóa;
- Sự tham gia của phụ nữ trong quy hoạch phát triển và quản lý đô thị;
- Các nguyên tắc và biện pháp tích hợp (hệ thống hóa) trong quy hoạch xây dựng và quản lý đô thị.

"Diễn đàn Cư trú" chỉ trong vòng vài năm đã soạn thảo được một số giáo trình thực hành với những chi tiết rất rõ ràng. Trong số đó có những giáo trình quan trọng, mà chúng ta nên lưu ý tới:

"Các phương pháp thực hành để đổi mới đô thị". Giáo trình này bao gồm cả gói những hướng dẫn chi tiết như làm thế nào để tổ chức và tiến hành phát động tính năng động quốc tế và sự phối hợp phân công, đánh giá đúng đắn các sự kiện và quy luật, cũng như việc làm thế nào để tuyên truyền rộng rãi các phương pháp đổi mới cách phát triển và quản lý đô thị trong các khu vực lân cận để đảm bảo một cách tốt nhất có được các kết quả cân bằng trong việc đổi mới theo quan điểm của cộng đồng dân cư và của cơ quan phát triển và quản lý trên toàn thành phố.

"Các nguyên tắc hợp tác giữa các đô thị". Tài liệu này trình bày chương trình chi tiết và các công cụ cụ thể của việc hợp tác giữa các thành phố với nhau trong khuôn khổ biên giới quốc gia cũng như trên phạm vi toàn cầu. Tài liệu không chỉ nói về việc trao đổi kinh nghiệm giữa các quan chức chính quyền thành phố bằng cách cử các đoàn đại biểu đi tham quan, học tập, nâng cao nghiệp vụ,…mà còn nói về các phương pháp hợp tác trong những phạm trù tổ chức cơ bản mà chúng có ảnh hưởng đáng kể tới việc quy hoạch phát triển và quản lý đô thị. Ấn phẩm này còn đưa ra các đề xuất cụ thể về việc hợp tác giữa các liên hiệp xí nghiệp xây dựng nhà ở, các công ty tư nhân thuộc nhiều ngành nghề khác nhau, các cơ sở giáo dục, các cơ quan xây dựng và quản lý hạ tầng xã hội cũng như hạ tầng kỹ thuật.

"Các phương pháp thực tiễn thúc đẩy việc tham gia của công dân vào công tác quản lý ở địa phương". Giáo trình này về thực chất là một cuốn bách khoa toàn thư của thế giới về "các điều tốt lành", tức là các ví dụ, các tấm gương tích cực của "việc tham gia dân chủ", có bổ túc thêm việc phân tích thực tiễn của Hà Lan và của thế giới. Cuốn sách này nhận được sự giúp đỡ trong việc soạn thảo của Liên hiệp các Hội đồng thị chính Hà Lan, Chương trình tự nguyện Hà Lan, và của nhiều tổ chức phi chính phủ khác của nước này.

Cộng đồng các tổ chức phi chính phủ trên thế giới cho rằng, trong một chừng mực to lớn họ đã phản ánh, chứ chưa trình bày được những vấn đề của xã hội công dân. Đồng thời trong nội bộ của họ đang diễn ra một cuộc đấu tranh không đơn giản để giành quyền đại diện cho các lợi ích của bộ phận này hay bộ phận khác trong xã hội. Xung quanh vấn đề đại diện đôi khi đã bùng nổ các cuộc tranh luận nóng bỏng và đôi co tranh chấp trong lĩnh vực pháp luật và tổ chức, trong đó có cả lĩnh vực mạng truyền thông, điều này còn nảy sinh bởi vì ba phần tư các tổ chức phi chính phủ có tham gia vào các cuộc hội thảo qua mạng truyền thông.

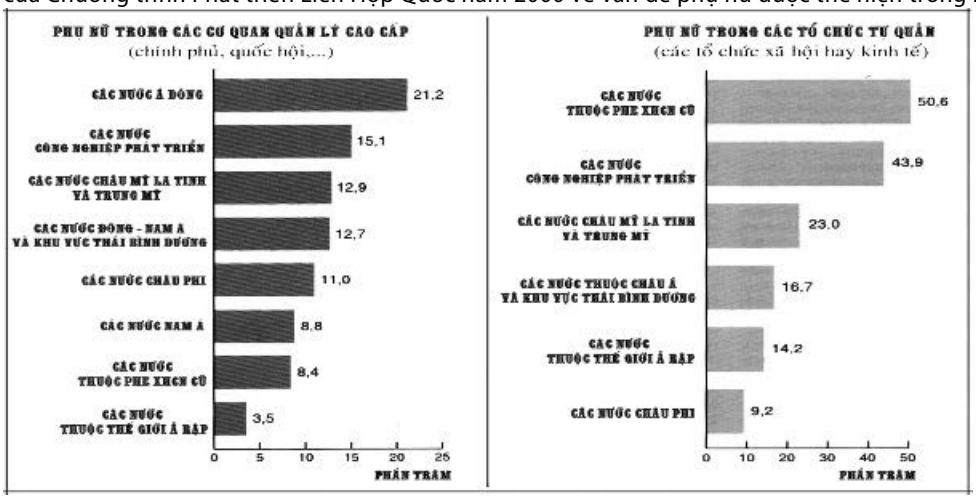
Một điều không kém phần nghịch lý là quá trình "tiến hóa" của các tổ chức phi chính phủ đi từ hệ thống tầng bậc quen thuộc sang thành hệ thống mạng lưới - quá trình này được khởi động bằng tiến bộ công nghệ - trong nhiều mặt lại làm khó cho việc chúng hợp tác với nhau, hay với những đối tác nước ngoài, mặc dù các hệ thống truyền thông đã cung cấp cho họ khả năng không hạn chế để trao đổi ý kiến với nhau.

Đặc biệt tỏ ra tích cực "cãi cọ" nhất là những người theo chủ nghĩa nữ quyền: *họ không hài lòng về việc phụ nữ chỉ đứng đầu có 241 tổ chức phi chính phủ đăng ký với Liên Hợp Quốc*. Cũng không kém phần thú vị là trong khi có sự than phiền như thế thì trong số 241 tổ chức của phụ nữ lại có 74 trong số đó là do nam giới đứng đầu.

"Vấn đề phụ nữ" trong phát triển và quản lý đô thị: Khi xem xét các vấn đề phát triển và quản lý đô thị, cần đặc biệt lưu ý đến vai trò và vị trí của phụ nữ. Mặc dù ở nhiều quốc gia, trong đó có nước ta, vấn đề bất bình đẳng giới đã có nhiều tiến bộ, song sự tham gia của phụ nữ trong quản lý xã hội vẫn là một chủ đề được quan tâm. Phụ nữ chiếm khoảng một nửa dân số và một tỷ lệ đáng kể trong lực lượng lao động xã hội, tham gia vào nhiều hoạt động khác nhau của đời sống xã hội, bên cạnh các trách nhiệm gia đình và cộng đồng.

Các chuyên gia của Liên Hợp Quốc đã nghiên cứu hàng nghìn trường hợp phụ nữ tham gia vào đời sống xã hội và các nghiên cứu đó cho thấy một sự phụ thuộc lý thú: *số lượng phụ nữ tham gia tích cực vào các tổ chức xã hội và các biện pháp hoạt động xã hội đại loại cũng chiếm tỷ lệ giống như số phụ nữ tham gia làm kinh tế, nghĩa là khoảng 40%. Nhưng họ lại không thích giữ các chức vụ lãnh đạo - chỉ có khoảng 10 - 15% trường hợp phụ nữ giữ vai trò lãnh đạo [1].*

Số liệu đánh giá của Chương trình Phát triển Liên Hợp Quốc năm 2000 về vấn đề phụ nữ được thể hiện trong biểu đồ dưới đây.



Biểu đồ về thực trạng phụ nữ trên thế giới tham gia vào các hoạt động xã hội [1]

Trong đất nước chúng ta phụ nữ tham gia tích cực nhất vào mọi lĩnh vực của đời sống, chiếm ưu thế ở nhiều lĩnh vực, trong số đó có kinh tế và văn hóa,...Mặc dù phụ nữ có giá trị thực tế và rất lớn lao trong lĩnh vực kinh tế và văn hóa, nhưng vai trò đặc biệt của họ với tư cách là người mẹ và người gìn giữ mái ấm gia đình,...Nhìn chung, về mặt khách quan mà nói thì phụ nữ đóng vai trò quyết định trong sự phát triển ổn định xã hội, nhưng trong việc quản lý xã hội thì sự tham gia của họ vẫn còn rất yếu ớt.

Vai trò phụ nữ tham gia vào việc ra các quyết định chính trị thể hiện rõ rệt nhất ở Thụy Điển, cả ở cấp độ chính quyền địa phương cũng như ở cấp quốc gia. Ngay cả trong các đảng chính trị tỷ lệ phụ nữ tranh cử làm "lãnh đạo" cũng là 50%. Phụ nữ Thụy Điển giống như phụ nữ nước ta, nhìn chung có học vấn cao hơn nam giới và điều này ngược với thực trạng của thế giới nói chung. Nhưng về vấn đề này cần khẳng định một cách kiên quyết rằng vai trò tích cực của phụ nữ không chỉ trong chính trị mà cả trong kinh tế - tỷ trọng tương đối "phụ nữ doanh nhân" ở đây là một trong những chỉ số cao nhất trên thế giới.

Thực ra, ở đây cũng vậy, không có tấm huy chương nào lại không có mặt trái, Thụy Điển là một trong những nước mà số gia đình chỉ gồm có một người độc thân hay gia đình chỉ có một đứa trẻ đứng vào loại cao nhất trên thế giới và mức sinh vào loại thấp nhất trên thế giới, điều này nếu như không thay đổi sẽ dẫn đến việc dân tộc Thụy Điển biến mất trong tương lai không xa.

Chẳng hạn, tại Jamaica, vị thế của phụ nữ trên nhiều phương diện có những điểm tương đồng với Thụy Điển, đặc biệt là về trình độ giáo dục cao và mức độ tham gia tích cực vào các hoạt động kinh tế và văn hóa. Tuy nhiên, khác với Thụy Điển, các đặc điểm về mức sinh và hành vi sinh sản của phụ nữ tại Jamaica có sự khác biệt đáng kể.

Mặc dù các chuyên gia quốc tế khi tổng hợp các kết quả nghiên cứu đều cho rằng tỷ lệ trên là hoàn toàn chưa đầy đủ nhưng nó đã chỉ ra một số những đặc điểm tích cực đích thực trong sự phát triển của phụ nữ ở giai đoạn lịch sử hiện nay và kêu gọi trước hết là các đảng phái chính trị trên toàn thế giới nên bắt chước tấm gương của các đồng nghiệp Thụy Điển, nên suy nghĩ lại trước những con số đó mà không nên có thái độ coi thường phụ nữ hay có ảo tưởng lạc quan như các triết gia theo chủ nghĩa không tưởng.

Việc tham gia vào đời sống xã hội và nhận về mình gánh nặng của người lãnh đạo là một công việc hoàn toàn tự nguyện, chính vì vậy nó phản ánh thực chất lập trường vị trí chung của phụ nữ. Có thể chúng ta không nên cố sức thổi phồng một cách vô ích vấn đề giải phóng phụ nữ hay khích động sự tham vọng, nhưng nên để cho bản thân phụ nữ tự xác định mức độ tham gia của mình phù hợp với đặc điểm văn hóa - dân tộc và các tham số phát triển về mặt xã hội và kinh tế của từng nước và từng thành phố sẽ tốt hơn chăng?

Ngày nay, thiết kế đô thị thường được đề cập dưới hai hình thức chính: thiết kế đô thị mới (thiết kế từ đầu) và thiết kế can thiệp, tức cải tạo và hoàn thiện các đô thị hiện hữu. Từ góc độ tiếp cận văn hóa - xã hội, có thể nhận thấy khá rõ rằng ở nước ta, trong cả hai hình thức nêu trên, sự tham gia của cộng đồng dân cư vẫn còn hạn chế. Cụ thể, trong các đô thị mới cũng như trong quá trình cải tạo đô thị hiện hữu, còn thiếu các không gian thẩm mỹ và không gian công cộng. Điều này có thể dễ dàng nhận thấy ở hầu hết các đô thị, đặc biệt là các đô thị lớn như Hà Nội và TP.HCM.

Sự phát triển thiếu điều tiết và thiếu sự tham gia của các tổ chức xã hội và công dân vào công tác phát triển và quản lý đô thị dẫn tới sự hỗn mang trong diện mạo các đô thị chẳng những thách thức các thế hệ chúng ta mà còn có nguy cơ trở thành di sản nặng nề cho các thế hệ con cháu mai sau. Thực tiễn quy hoạch phát triển và nền quản lý đô thị của hiện nay, đòi hỏi tạo lập 3 cơ sở mang tính nền tảng cho phát triển và quản lý đô thị, đó là:

- Sự nắm vững và hiểu rõ hiện trạng của các đô thị từ các phương diện quỹ kiến trúc, đặc điểm tổ chức không gian và hình thái học đô thị, chất lượng kiến trúc và thẩm mỹ, … đồng thời đưa ra từ đó những giải pháp phù hợp và hữu hiệu, vận dụng vào thiết kế quy hoạch các đô thị mới và quy hoạch cải tạo các đô thị cũ.

- Khai thác tối đa các bài học rút ra từ nghệ thuật xây dựng đô thị kinh điển và hiện đại. Nếu kiến trúc và công nghệ xây dựng công trình đã tiến rất xa, thì nghệ thuật xây dựng đô thị nói chung, nghệ thuật tổ chức không gian đô thị nói riêng, cho đến nay vẫn có thể kế thừa hầu hết các thủ pháp đã được nâng thành nghệ thuật từ các thời xa xưa. Chẳng hạn như các thủ pháp về tổ chức và phân định không gian, về tạo lập phối cảnh và panorama, điểm nhấn và silhouette, về nhịp điệu và sự lặp lại,…Dĩ nhiên, cần kết hợp các tri thức của nghệ thuật quy hoạch kinh điển với các thành tựu của quy hoạch đô thị hiện đại.



Hình 1. Một ví dụ về tạo dựng môi trường sống tốt hơn dành cho cư dân trong thiết kế đô thị mới và thiết kế đô thị cải tạo và hoàn thiện đô thị hiện hữu. *Nguồn: Internet*

- Cần đặc biệt tránh bệnh sơ lược trong quy hoạch dẫn đến sự nghèo nàn trong cấu trúc và tổ chức không gian các khu đô thị mới cũng như cũ, nơi chúng bị giản lược hóa đến mức vừa xây xong đã có nhu cầu cải tạo hoặc bổ sung. Nói chung, ở nước ta, các dự án quy hoạch thường duy ý chí, minh hoạ các chủ trương nhất thời, thay vì những bài tính quy hoạch đô thị đích thực. Điều này dẫn đến tính phi thực tế và bất khả thi của quy hoạch đô thị ra khỏi tầm kiểm soát. Chúng thiếu các không gian công cộng phân chia thành tầng bậc, thiếu các quảng trường và điểm nhấn kiến trúc cảnh quan, thiếu những hình thức kiến trúc góp phần tạo nên tiện nghi và diện mạo thành thị. Trong nhiều trường hợp nó trở thành nơi cư trú và nơi nghỉ ngơi, hoặc nơi sản xuất, ...theo một cách thuần tuý. Về phương diện nào đó, các đô thị mới hay cũ, mà chủ yếu là ở trong các khu các đô thị mới, đang mang trong mình sự lỗi thời và mầm mống của những mâu thuẫn.

Nói tóm lại, để các đô thị phát triển bền vững và bảo đảm sự ổn định của đời sống đô thị, cần có những thay đổi phù hợp về chính sách, cơ chế quản lý cũng như các thiết chế liên quan. Việc thực hiện những thay đổi này không bao giờ là quá sớm hay quá muộn; tuy nhiên, hiệu quả cao nhất chỉ đạt được khi chúng được triển khai đúng thời điểm và phù hợp với bối cảnh thực tiễn.

3. KẾT LUẬN

Cuối cùng, cũng cần khẳng định rằng các tổ chức xã hội, các hình thức tập hợp quần chúng khác và các cá nhân công dân không nên thụ động chờ đợi sự khuyến khích hay lời mời từ phía chính quyền để tham gia giải quyết các vấn đề đô thị. Thực tiễn ở một số quốc gia cho thấy các chủ thể này đã chủ động tham gia vào quá trình quản lý và phát triển đô thị, xuất phát từ nhận thức rằng không một nhà chính trị, quan chức hay chuyên gia nào, dù là chuyên gia quy hoạch đô thị, kiến trúc sư hay nhà xã hội học, nếu tách rời khỏi thực tiễn đời sống, có thể đại diện đầy đủ và bảo vệ hiệu quả quyền lợi của người dân cũng như các tổ chức xã hội dân sự bằng chính bản thân những chủ thể đó.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Đô thị hóa và toàn cầu hóa, bức tranh năm 2001. Tạp chí Kiến trúc và Xây dựng Nga, số 9, tr. 55, 2001.

[2] Nguyễn Ngọc Châu. Quản lý đô thị. NXB. Xây dựng, Hà Nội, 2001.

[3] Phạm Ngọc Đăng. Quản lý môi trường đô thị và khu công nghiệp. NXB. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2000.

[4] Nguyễn Văn Đỉnh. Đô thị hóa và môi trường sống. Tạp chí Kiến trúc Việt Nam, số 3/2002.

■Ngày nhận bài: 03/4/2026 ■Ngày sửa bài: 15/4/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 10/5/2026

Điều chỉnh quy hoạch Công viên Phú Thượng theo mô hình hành lang xanh đa tầng

Planning Adjustment of Phu Thuong Park Based on the Multi-layered Green Corridor Model

> TS.KTS NGUYỄN VĂN TUYÊN
Khoa Kiến trúc và Quy hoạch, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

TÓM TẮT

Công viên công cộng phường Phú Thượng được UBND TP Hà Nội phê duyệt tại Quyết định số 6268/QĐ-UBND ngày 17/12/2025. Công viên thuộc hành lang dọc hai bên sông Hồng, có tính chất là trục không gian cây xanh, mặt nước, cảnh quan và văn hóa lịch sử. Tuy nhiên, giải pháp quy hoạch mới dừng lại ở phân khu chức năng đất, các giải pháp tổ chức không gian chỉ mang tính định hướng và bố cục mặt bằng, hình dáng công trình chưa được xác định cụ thể. Đặc biệt các giải pháp đưa ra chưa gắn với địa hình tự nhiên, thủy văn và công trình di tích hiện có. Nhằm bổ sung giải pháp quy hoạch cho đồ án, bài viết sử dụng phương pháp phân tích định tính, trên cơ sở lý thuyết và hiện trạng, đối chiếu với phương án quy hoạch đã được duyệt để đề xuất giải pháp quy hoạch công viên theo mô hình hành lang xanh đa tầng. Từ đó, đưa ra các kịch bản điều chỉnh quy hoạch công viên thích ứng với ngập lũ và địa hình cảnh quan sông Hồng.

Từ khóa: Điều chỉnh quy hoạch; hành lang xanh đa tầng; công viên ven sông; thích ứng ngập lũ; hạ tầng xanh.

ABSTRACT

The Phu Thuong Public Park was approved by the Hanoi People's Committee under Decision No. 6268/QĐ-UBND dated December 17, 2025. Located within the corridor along both banks of the Red River, the park functions as a green, water-based, landscape, and historical-cultural spatial axis. However, the approved planning solution mainly focuses on land-use functional zoning, while spatial organization strategies remain limited to general orientations and layout compositions; the architectural forms and configurations of structures have not yet been clearly defined. In particular, the proposed solutions have not been adequately integrated with the natural topography, hydrological conditions, and existing heritage structures. To supplement the planning framework of the project, this study employs a qualitative analytical approach based on theoretical foundations and site conditions, in comparison with the approved planning scheme, in order to propose planning solutions for the park following a multi-layered green corridor model. Accordingly, the study develops adjustment scenarios for the park planning that enhance adaptability to flooding as well as the topographical and landscape characteristics of the Red River environment.

Keywords: Planning adjustment; multi-layered green corridor; riverside park; flood adaptation; green infrastructure.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Quy hoạch phân khu đô thị sông Hồng được phê duyệt năm 2022 bao phủ khoảng 10.996,16 ha thuộc 55 phường, xã của 13 quận, huyện cũ; trong đó khu vực hành lang sông được xác định là không gian thoát lũ, trục xanh và trục cảnh quan chủ đạo của khu đô thị trung tâm (UBND TP Hà Nội, 2022). Các nguyên tắc nền tảng của phân khu này nhấn mạnh không nâng cao các tuyến đê bối hiện có, không thu hẹp không gian thoát lũ và phải tuân thủ quy hoạch phòng, chống lũ hệ thống sông Hồng - sông Thái Bình.

Trong bối cảnh đó, công viên công cộng phường Phú Thượng (gọi tắt là Công viên Phú Thượng) nổi lên như một trường hợp không gian xanh trong hành lang sông Hồng điển hình. Theo quyết định số 6268/QĐ-UBND, dự án quy mô khoảng 19,99 ha, nằm ven sông Hồng, giáp chân cầu Thăng Long và đường An Dương Vương (xem hình 1); định hướng là không gian công cộng sinh thái – văn hóa – lịch sử với mật độ xây dựng thấp, ưu tiên cây xanh, mặt nước và các hoạt động cộng đồng (UBND TP Hà Nội, 2025). Tuy nhiên, quyết định phê duyệt hiện mới dừng ở việc xác định tính chất công viên và phân khu chức năng sử dụng đất, trong khi các chỉ tiêu kỹ thuật và giải pháp thiết kế công trình sẽ được cụ thể hóa ở giai đoạn lập dự án. Đáng chú ý, hồ sơ quy hoạch chưa làm rõ các nội dung liên quan đến thích ứng ngập lũ, bao gồm cao độ chi tiết, tần suất ngập, tiêu chí phân khu theo rủi ro và cơ chế vận hành không gian theo chu kỳ mùa nước.

Khoảng trống nghiên cứu vì thế nằm ở chỗ: phần lớn cách tiếp cận hiện hành vẫn xem công viên ven sông như đối tượng cảnh quan - sử dụng đất, thay vì như một hệ không gian thủy văn - sinh thái động (Liao, 2012). Trong lý thuyết thích ứng, các đô thị ven sông cần chuyển từ tư duy "chống lũ" sang "sống chung với lũ", tức chấp nhận ngập có kiểm soát, tổ chức chức năng theo cao độ và dùng giải pháp "safe-to-fail" thay cho phụ thuộc hoàn toàn vào cấu trúc cứng (Ahern, 2011).



Hình 1. Minh họa không gian quy hoạch Công viên Phú Thượng được công bố
(Nguồn: Tác giả tổng hợp, 2026)

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Bài viết sử dụng phương pháp phân tích định tính, kết hợp ba lớp tư liệu. Thứ nhất là văn bản pháp lý gồm Luật Đê điều, Nghị định 113/2007/NĐ-CP, Quyết định 257/QĐ-TTg về quy hoạch phòng, chống lũ, Quyết định 1045/QĐ-UBND về quy hoạch phân khu sông Hồng và Quyết định 1409/QĐ-BNNMT ngày 21/4/2026 về phê duyệt Quy hoạch thủy lợi lưu vực sông Hồng - Thái Bình thời kỳ đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050. Thứ hai là tài liệu công bố chính thức về quy hoạch chi tiết Công viên Phú Thượng và dự án. Thứ ba là khung lý thuyết quốc tế bao gồm "Green Corridor", "Nature-based Solutions", "Blue-Green Infrastructure", "Room for the River" và "Dynamic Adaptive Policy Pathways".

Về kỹ thuật phân tích, bài viết sử dụng phương pháp so sánh trường hợp theo khung khái niệm thay vì đối chiếu hình thức đơn thuần. Trong đó, "Green Corridor" cung cấp cơ sở lý luận về tổ chức không gian liên tục và kết nối sinh thái; "Room for the River" được sử dụng như chuẩn tham chiếu về giải pháp nhường không gian cho nước; "Dynamic Adaptive Policy Pathways" được dùng để xây dựng các kịch bản điều chỉnh theo các cấp độ; còn "Nature-based Solutions" và "Blue-Green Infrastructure" cung cấp cơ sở cho lựa chọn giải pháp sinh thái và hạ tầng xanh.

3. KHUNG LÝ THUYẾT VÀ BỐI CẢNH KHU VỰC LẬP QUY HOẠCH CÔNG VIÊN PHÚ THƯỢNG

Hành lang xanh (green corridor) là một khái niệm quan trọng trong sinh thái cảnh quan, được hiểu là dải không gian liên tục hoặc bán liên tục có vai trò kết nối các hệ sinh thái, cho phép dòng chảy sinh học, vật chất và năng lượng được duy trì trong một hệ thống lãnh thổ (Forman, 1995). Trong quy hoạch đô thị, khái niệm này được mở rộng thành cấu trúc không gian chiến lược nhằm liên kết các khu vực xanh, mặt nước và không gian mở, đồng thời đảm bảo tính liên tục về sinh thái và chức năng môi trường (Benedict & McMahon, 2006). Tại Việt Nam, khái niệm hành lang xanh được định nghĩa là không gian mở tuyến tính, bao gồm dải công viên cây xanh, đất nông nghiệp hoặc các khu vực tự nhiên, bán tự nhiên được hình thành dưới dạng các dải đan xen bên trọng hoặc bên ngoài đô thị vì các mục đích bảo vệ môi trường và cảnh quan (Tuyên, 2022). Đối với các đô thị ven sông, hành lang xanh không chỉ đóng vai trò kết nối sinh thái mà còn là cấu trúc không gian tổ chức các chức năng thích ứng với thủy văn, trong đó cao độ địa hình, dòng chảy và chu kỳ ngập lũ trở thành yếu tố chi phối cách thức sử dụng đất và hình thái không gian. Trên cơ sở đó, khái niệm hành lang xanh đa tầng trong nghiên cứu này được hiểu là sự phát triển tiếp theo của lý thuyết hành lang xanh, tích hợp yếu tố cao độ và rủi ro ngập để hình thành cấu trúc không gian thích ứng động trong điều kiện hành lang thoát lũ sông Hồng.

"Nature-based Solutions" được IUCN xác định là các giải pháp bảo vệ và phục hồi hệ sinh thái tự nhiên nhằm giải quyết các thách thức phát triển đô thị một cách hiệu quả, nhằm mang lại lợi ích cho con người và môi trường (Cohen-Shacham et al., 2016). Đối với công viên ven sông, lý thuyết khẳng định mặt nước, vùng ngập nước, thảm thực vật chịu ngập và bờ bãi ven sông Hồng không chỉ là "yếu tố cảnh quan", mà là cấu phần vận hành của hệ sinh thái thích ứng lũ. Nơi mà các tác động nhân tạo vào bờ bãi cần phải cân nhắc dựa trên các yếu tố hiện hữu và sự vận động tự nhiên của dòng sông.

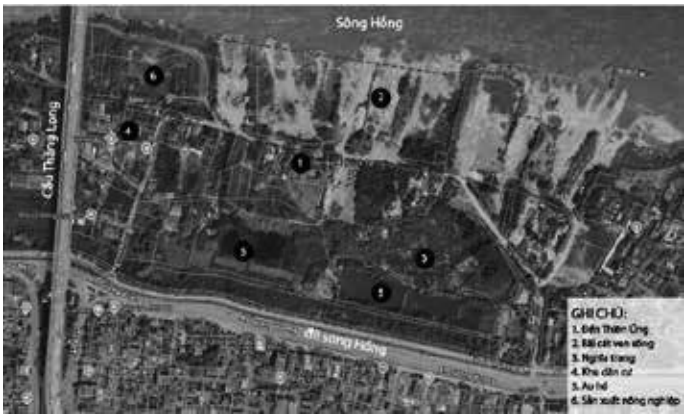
Phương pháp lập kế hoạch "Dynamic Adaptive Policy Pathways" cho thấy việc quy hoạch công viên trong điều kiện bất định không nên đóng khung trong một phương án cố định; thay vào đó là phương án động, cho phép thay đổi giải pháp theo thời gian và không gian khi điều kiện thực tế thay đổi (Haasnoot et al., 2013). Đây là cơ sở lý thuyết để đề xuất phân tầng không gian bãi ven sông Hồng thích ứng lũ.

Hạ tầng xanh "Green Infrastructure" được Ủy ban châu Âu mô tả như một mạng lưới quy hoạch chiến lược gồm các khu vực tự nhiên và bán tự nhiên, được thiết kế để cung cấp các dịch vụ sinh thái (European Commission, 2013). Khi kết nối với yếu tố thủy văn đô thị, khái niệm này phát triển thành lý thuyết BGI (Blue-Green Infrastructure), hướng tới nhấn mạnh khả năng tích hợp cây xanh, mặt nước, bề mặt thấm, vùng trữ nước và thoát nước sinh thái để tăng khả năng chống chịu của đô thị (Pochodyła et al., 2021). Lý thuyết là cơ sở để xây dựng hệ thống hạ tầng xanh cho công viên tại bãi ven sông Hồng.

Chương trình "Room for the River" xuất phát từ quan điểm nếu gây áp lực lên dòng sông bằng công trình cứng sẽ làm gia tăng rủi ro tại các địa điểm khác trong lưu vực sông. Chương trình này được xây dựng để thích ứng với dòng chảy 16.000 m^3/s trên các nhánh sông Rhine trong khi vẫn cải thiện chất lượng không gian, thông qua các biện pháp như lùi đê, hạ thấp bãi sông, loại bỏ những chướng ngại vật (STOWA, 2015). Chương trình đã dần trở thành lý thuyết quốc tế về quy hoạch hành lang sông theo hướng nhường không gian cho nước. Lý thuyết là cơ sở thay đổi tư duy quy hoạch gắn với xây dựng công trình cố định chiếm dụng không gian của nước sang công trình nhẹ linh hoạt trả lại không gian cho nước.

Về bối cảnh địa điểm, Công viên Phú Thượng nằm trong khu vực bãi ven sông Hồng thuộc phường Phú Thượng, có các yếu tố hiện trạng cần nghiên cứu trong quá trình lập quy hoạch như sau:

- Chế độ thủy văn của sông Hồng có 2 mùa rõ rệt: mùa cạn và mùa nước. Vào mùa mưa, sông Hồng thường có lũ lớn và dồn dập. Trong gần 100 năm qua thì có khoảng 73% số năm có mực nước từ báo động cấp I đến cấp III (tương đương từ 9,5 đến 11,5 m). Đỉnh lũ ngày 20/8/1971 là cao nhất trong 100 năm qua, đỉnh lũ thực tế là 14,13 m, cao hơn mực nước báo động cấp III là 2,63 m (Ánh, 2001).
- Cao độ hiện trạng khu vực quy hoạch công viên cao trung bình từ +1,77 đến 14,88m và dốc từ đường An Dương Vương ra sông Hồng (UBND phường Phú Thượng, 2026). Các khu vực có địa hình thấp (dưới Báo động cấp II: +10,5m) nằm phía Bắc, bám sát mặt nước sông. Khu vực địa hình trên Báo động cấp II là khu vực phía Nam khu đất, là nơi dân cư sinh sống. Các ao hồ nằm giữa khu vực dân cư, nghĩa trang và đê. Tuyến ngõ 150 An Dương Vương chạy vòng thúng, kết nối toàn bộ khu vực hiện trạng với đê sông Hồng (xem hình 2). Đối chiếu với các cấp độ cảnh báo lũ sông Hồng, thì khu vực lập quy hoạch Công viên Phú Thượng có ảnh hưởng trực tiếp của lũ. Trong đó khu vực bãi cát phía Bắc, tính từ ngõ 150 An Dương Vương là khu vực chịu ảnh hưởng mạnh nhất của lũ.



Hình 2. Hiện trạng địa hình khu vực quy hoạch Công viên Phú Thượng *(Nguồn: Tác giả tổng hợp, 2026)*

• Cảnh quan khu vực quy hoạch gắn với đền thờ Long Đỗ (hay còn gọi đền Thiên Ứng), nhà ở hiện trạng, đất sản xuất nông nghiệp, nghĩa trang, cầu Thăng Long và bãi cát dài ven sông (Hình 2). Giá trị cảnh quan bản địa thể hiện thông qua các yếu tố văn hóa tín ngưỡng, hoạt động sản xuất truyền thống, không gian mặt nước, cây cầu, con đê và địa hình tự nhiên (Hình 3). Các giải pháp quy hoạch cần chuyển tiếp và tích hợp các giá trị hiện hữu này trong quy hoạch sử dụng đất và tổ chức không gian kiến trúc cảnh quan công viên.



Hình 3. Hiện trạng cảnh quan khu vực quy hoạch Công viên Phú Thượng *(Nguồn: Tác giả tổng hợp, 2026)*

Dưới góc độ pháp lý, các quy định hiện hành về quản lý bãi sông đã đặt ra những ràng buộc chặt chẽ đối với mọi hoạt động xây dựng trong khu vực ngoài đê. Các văn bản đều nhấn mạnh nguyên tắc cốt lõi là bảo đảm khả năng thoát lũ của sông, theo đó mọi can thiệp xây dựng phải không làm suy giảm lưu lượng lũ thiết kế, không làm gia tăng mực nước lũ và không gây biến đổi bất lợi đến chế độ dòng chảy của khu vực (Quốc hội, 2006; Chính phủ, 2007; Thủ tướng Chính phủ, 2016, 2023; Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn, 2026; UBND Thành phố Hà Nội, 2022). Trong bối cảnh đó, các giải pháp quy hoạch công viên gắn với "San nền - Nâng cao - Xây dựng kiên cố" hoặc gia tăng mật độ xây dựng đều tiềm ẩn nguy cơ không đáp ứng yêu cầu pháp lý về thoát lũ theo quy định hiện hành. Do vậy, việc quy hoạch công viên cần được tiếp cận theo hướng thích ứng với thủy văn, ưu tiên các cấu trúc phi kiên cố, linh hoạt và cho phép dòng chảy được vận hành thuận theo tự nhiên, vừa đảm bảo tuân thủ quy định pháp luật, vừa khai thác hiệu quả bờ bãi của sông Hồng (Tuyên, 2025).

4. QUY HOẠCH CÔNG VIÊN PHÚ THƯỢNG THEO MÔ HÌNH HÀNH LANG XANH ĐA TẦNG

Mô hình hành lang xanh đa tầng được xây dựng trên lý thuyết hành lang xanh, gắn với nguyên tắc tổ chức không gian theo cao độ địa hình và mức độ rủi ro ngập lũ, đồng thời đáp ứng ba yêu cầu cơ bản: duy trì chức năng thoát lũ và ổn định thủy văn; bảo vệ và phục hồi hệ sinh thái bãi bồi; và tổ chức các hoạt động kinh tế xã hội phù hợp với điều kiện ngập theo mùa. Nguyên tắc cốt lõi của mô hình này là hạn chế tối đa san nền và các can thiệp làm biến đổi hiện trạng địa hình, từ đó duy trì khả năng vận hành thủy văn và thoát lũ của bãi sông theo điều kiện tự nhiên.

Khác với mô hình phát triển công viên đô thị đơn tầng truyền thống, vốn coi không gian là tĩnh và đồng nhất, cách tiếp cận hành lang xanh đa tầng xem cao độ địa hình và các ngưỡng báo động lũ là cơ sở xác định sử dụng đất, mức độ can thiệp xây dựng và hình thái không gian. Điều này cho phép tiếp cận quy hoạch chuyển từ tư duy "kiểm soát lũ" sang "thích ứng với lũ" trong tổ chức không gian Công viên Phú Thượng.

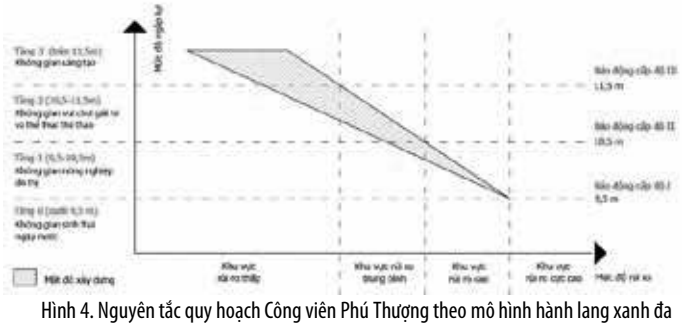
Xuất phát từ yêu cầu khắc phục hạn chế về thiếu phân vùng theo cao độ và rủi ro ngập lũ của phương án quy hoạch công viên đã được phê duyệt, bài báo đề xuất cấu trúc phân tầng không gian dựa trên mối quan hệ giữa cao độ địa hình và các mực nước báo động lũ sông Hồng. Mỗi tầng không gian tương ứng với mức độ rủi ro khác nhau, từ đó xác định nguyên tắc sử dụng đất, tổ chức không gian và hạ tầng kỹ thuật.

Trên cơ sở đó, không gian Công viên Phú Thượng được phân chia thành bốn tầng chính (Từ tầng 0 đến tầng 3), tương ứng với các ngưỡng cao độ và cấp độ rủi ro ngập lũ, được tổng hợp trong Bảng 1 dưới đây.

Bảng 1. Các phân tầng Công viên Phú Thượng theo cao độ và rủi ro ngập lũ

Tầng	Cao độ tự nhiên (m)	Mức rủi ro	Chức năng
0	< 9,5	Rủi ro rất cao	Sinh thái ngập nước, vùng đệm lũ
1	9,5 – 10,5	Rủi ro cao	Nông nghiệp sinh thái
2	10,5 – 11,5	Rủi ro trung bình	Không gian hoạt động ngoài trời theo mùa
3	> 11,5	Rủi ro thấp	Không gian cộng đồng an toàn lũ

Cấu trúc phân tầng không gian công viên nêu trên không chỉ là cơ sở phân vùng chức năng, mà còn định hình nguyên tắc quy hoạch công viên theo chiều đứng của hành lang bãi ven sông Hồng (Hình 4).



Hình 4. Nguyên tắc quy hoạch Công viên Phú Thượng theo mô hình hành lang xanh đa tầng thích ứng lũ sông Hồng *(Nguồn: Tuyên, 2026)*

Cách tiếp cận này cho phép hình thành một cấu trúc công viên thích ứng động, trong đó các lớp không gian vừa độc lập về chức năng, vừa liên kết trong một hệ thống hạ tầng xanh thống nhất, đảm bảo vừa duy trì khả năng thoát lũ, vừa khai thác hiệu quả các giá trị địa hình sinh thái và văn hóa của khu vực. Trên cơ sở nguyên

tắc quy hoạch trên, bài báo đề xuất giải pháp quy hoạch Công viên Phú Thượng cụ thể như sau:

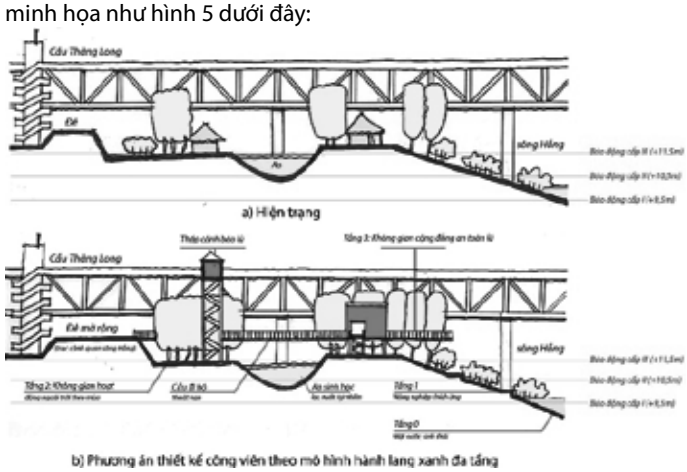
Tầng 0 (dưới cao độ 9,5 m) là tầng nền tự nhiên, chịu rủi ro ngập rất cao và có thể bị ngập sâu, kéo dài trong các đợt lũ lớn. Đây là lớp không gian đóng vai trò lõi sinh thái và thoát lũ của toàn bộ công viên. Nguyên tắc chủ đạo tại tầng này là cho phép ngập hoàn toàn theo chu kỳ lũ. Không gian được định hướng phục hồi các hệ sinh thái ngập nước như bãi lau sậy, thảm cỏ bản địa, vùng đầm trũng và bãi bồi tự nhiên. Việc tổ chức không gian mặt nước sinh thái ngập lũ (floodable park) tại đây không nhằm mục tiêu khai thác sử dụng thường xuyên mà chủ yếu tăng khả năng trữ nước, làm chậm dòng chảy và giảm xói lở bờ bãi.

Tầng 1 (từ 9,5 m đến 10,5 m) là khu vực có rủi ro ngập cao nhưng theo chu kỳ ngắn hơn, thường ngập định kỳ theo mùa và có khả năng phục hồi tương đối nhanh sau khi lũ rút. Trên cơ sở đó, tầng này được định hướng cho các hoạt động sản xuất nông nghiệp có tính linh hoạt cao, ít phụ thuộc vào hạ tầng cứng và có thể chuyển đổi công năng theo mùa. Các mô hình nông nghiệp thích ứng là phù hợp, bởi chúng tận dụng được lợi thế đất phù sa màu mỡ, đồng thời không đòi hỏi đầu tư xây dựng cố định. Bên cạnh đó, tầng 1 còn đóng vai trò vùng chuyển tiếp sinh thái giữa phần ngập nước và không gian hoạt động cộng đồng, thông qua hệ thống bãi cỏ, thảm thực vật mềm, vùng đệm sinh học và các tuyến đường dạo tự nhiên. Sự kết hợp giữa sản xuất nông nghiệp sinh thái và cảnh quan mở cho phép hình thành các không gian "công viên nông nghiệp", vừa tạo sinh kế cho cộng đồng, vừa nâng cao giá trị trải nghiệm và giáo dục môi trường.

Tầng 2 (từ 10,5 m đến 11,5 m) là khu vực có mức độ rủi ro ngập trung bình, tương đối an toàn trong điều kiện lũ vừa và nhỏ, song vẫn cần tính đến khả năng ngập trong các kịch bản cực đoan. Tại đây, mô hình hành lang xanh đa tầng cho phép bố trí không gian hoạt động ngoài trời theo mùa (vui chơi giải trí và thể dục thể thao) với mức độ can thiệp xây dựng có kiểm soát. Nguyên tắc thiết kế phải đảm bảo tính linh hoạt và khả năng thích ứng với thủy văn. Việc tổ chức các hoạt động du lịch sinh thái, sự kiện văn hóa ngoài trời hoặc giáo dục môi trường tại tầng 2 giúp tăng cường mối liên hệ giữa người dân đô thị và hệ sinh thái sông Hồng, đồng thời vẫn đáp ứng an toàn thủy văn.

Tầng 3 (trên 11,5 m) là khu vực có rủi ro ngập thấp nhất trong phạm vi bãi ven sông và được xem là lớp hỗ trợ vận hành toàn bộ công viên. Tại đây có thể bố trí các không gian cộng đồng an toàn lũ. Tuy nhiên, nguyên tắc cốt lõi vẫn là công trình nhẹ linh hoạt, thích ứng ngập lũ, tránh hình thành công trình cố định làm gia tăng rủi ro và áp lực hạ tầng. Các công trình tại tầng 3 cần được thiết kế theo hướng sử dụng vật liệu nhẹ, kết cấu linh hoạt, năng lượng tự nhiên tuần hoàn và hệ thống xử lý nước thải phân tán gắn với các ao sinh học nhằm giảm thiểu tối đa tác động môi trường.

Đặc điểm thủy văn của sông Hồng thể hiện rõ sự phân hóa giữa mùa khô và mùa lũ, do đó không gian công viên phải cho phép biến đổi công năng theo thời gian. Trong mùa khô, tầng 1 và 2 có thể được tái sử dụng cho hoạt động nông nghiệp sinh thái và hoạt động cộng đồng; trong mùa lũ, các khu vực này chuyển sang chức năng trữ nước và giảm thiểu thiệt hại thiên tai. Tuyến giao thông chính của công viên được thiết kế dạng cầu trên cao và có thể kết nối trực tiếp với đường đê để thoát nạn khi có lũ. Giải pháp quy hoạch được minh họa như hình 5 dưới đây:



Hình 5. Minh họa mặt cắt không gian công viên Phú Thượng theo mô hình hành lang xanh đa tầng

Như vậy, giải pháp quy hoạch cấu trúc phân tầng không gian cho phép chuyển dịch từ mô hình công viên tĩnh sang không gian thích ứng động, trong đó mức độ can thiệp xây dựng, chức năng sử dụng được điều chỉnh theo mức báo động lũ.

Bảng 2. So sánh phương án quy hoạch Công viên Phú Thượng đã phê duyệt và giải pháp đề xuất quy hoạch công viên theo mô hình hành lang xanh đa tầng

Khía cạnh	Phương án quy hoạch Công viên Phú Thượng được phê duyệt tại Quyết định số 6268/QĐ-UBND	Đề xuất quy hoạch Công viên Phú Thượng theo mô hình hành lang xanh đa tầng	Hiệu quả của giải pháp đề xuất
Tổ chức không gian cảnh quan	Nhấn mạnh hoạt động công viên với công trình quảng trường, công trình dịch vụ du lịch, công viên chuyên đề. Phần lớn diện tích bị san gạt và tôn nền. Đường giao thông chưa được xác định cụ thể.	Nhấn mạnh phân khu theo cao độ hiện trạng và tần suất ngập. Định hướng không gian dựa trên không gian địa hình cảnh quan tự nhiên. Không san gạt và tôn nền. Đường trục chính dạng cầu trên cao, kết hợp thoát nạn khi có lũ	Giảm xung đột giữa quy hoạch sử dụng đất và điều kiện thủy văn sông Hồng
Hình thức và kết cấu công trình	Nhiều hạng mục công cộng dịch vụ cố định, nhưng chưa đề xuất hình thức và kết cấu	Định hướng công trình có cấu trúc nhẹ linh hoạt, nổi, tháo lắp thích ứng các mức độ ngập lũ	Thích ứng ngập lũ và giảm thiệt hại sau lũ
Thoát nước và xử lý nước thải	Sử dụng trạm xử lý nước thải tập trung 10m^3/ngày, xả nước sau xử lý ra sông Hồng	Sử dụng công nghệ xử lý phân tán gắn với các trạm xử lý nhỏ kết hợp bãi lọc sinh học, vùng trữ nước (wetland) và khu vực mặt phủ thấm nước	Tăng cường xử lý sinh học, trữ và thấm nước, làm chậm dòng chảy mặt

Cấp nước và điện	Sử dụng nguồn nước sạch và điện chung của Thành phố	Hệ thống cấp nước tuần hoàn và năng lượng tái tạo và tự nhiên	Thúc đẩy hạ tầng xanh, an toàn và có khả năng chủ động nguồn nước và điện trong điều kiện ngập lũ
Sinh thái bãi sông	Đưa ra mục tiêu bảo tồn cảnh quan ven sông nhưng chưa làm rõ nội dung bảo vệ và tác động đến hệ sinh thái	Phục hồi sinh thái bãi bồi, thảm cỏ ngập nước, khu vực cây nông nghiệp có khả năng chịu ngập gắn với hoạt động du lịch sinh thái và vui chơi giải trí	Tăng cường đa dạng sinh học, bảo vệ hệ sinh thái bãi sông
Vật liệu	Sử dụng vật liệu hiện đại, ít khả năng thích ứng ngập lũ	Sử dụng gỗ ngoài trời, mặt phủ thấm, nền có khả năng nổi, kết cấu chống nước ăn mòn	Giảm bảo trì, tăng khả năng chịu ngập và thích ứng ngập lũ

5. CÁC KỊCH BẢN ĐIỀU CHỈNH QUY HOẠCH CÔNG VIÊN PHÚ THƯỢNG

Công viên Phú Thượng được UBND TP Hà Nội phê duyệt quy hoạch chi tiết tại Quyết định số 6268/QĐ-UBND ngày 17/12/2025. Theo quyết định này, quy hoạch chi tiết được duyệt chỉ là một cơ sở trong quá trình triển khai các thủ tục đầu tư, đồng thời có thể được xem xét điều chỉnh trong quá trình thẩm định dự án nhằm bảo đảm sự phù hợp với các quy định pháp luật hiện hành và yêu cầu thực tiễn. Trong trường hợp cơ quan chức năng yêu cầu bổ sung hoặc điều chỉnh, việc cập nhật quy hoạch cần được thực hiện kịp thời, đảm bảo tính thống nhất và đồng bộ giữa quy hoạch và dự án đầu tư.

Trên cơ sở các hạn chế đã được phân tích, việc điều chỉnh quy hoạch Công viên Phú Thượng trước bước phê duyệt dự án đầu tư là rất cần thiết nhằm nâng cao tính thích ứng, tính khả thi và sự phù hợp với điều kiện thủy văn - pháp lý của khu vực. Các kịch bản điều chỉnh được xây dựng trên nguyên tắc không thay đổi mục tiêu quy hoạch đã được phê duyệt, mà tập trung điều chỉnh các giải pháp tổ chức không gian và kỹ thuật ở các mức độ khác nhau. Theo đó, các kịch bản được phân loại theo cấp độ can thiệp tăng dần, tương ứng với khả năng điều chỉnh quy hoạch trong điều kiện thực tiễn, phản ánh sự khác biệt về điều kiện nguồn lực, thời gian, yêu cầu quản lý và mức độ chuyển đổi mô hình không gian, bao gồm:

Kịch bản 1 (mức độ tối thiểu): tập trung vào việc giữ nguyên cấu trúc sử dụng đất theo quy hoạch đã được duyệt, chỉ điều chỉnh sử dụng vật liệu, tăng diện tích thấm, kết cấu đường giao thông, hình thức và kết cấu công trình theo hướng linh hoạt. Các nội dung này cũng đã bỏ ngỏ trong Quyết định phê duyệt. Kịch bản này có ưu điểm là không phải điều chỉnh quy hoạch, thực hiện trong giai đoạn lập dự án. Tuy nhiên, hiệu quả cải thiện khả năng thích ứng ngập lũ còn rất hạn chế và chỉ mang tính tạm thời.

Kịch bản 2 (mức độ trung bình): cho phép điều chỉnh cục bộ chức năng sử dụng đất, tổ chức không gian theo các tầng cao độ, kết hợp bổ sung hệ thống hạ tầng xanh (BGI). Kịch bản này tạo ra sự cân bằng giữa tính khả thi và hiệu quả thích ứng, đồng thời bắt đầu hình thành cấu trúc không gian thuận theo logic thủy văn. Dù vậy, việc triển khai theo kịch bản này cần phải điều chỉnh cục bộ quy hoạch đã duyệt.

Kịch bản 3 (mức độ toàn diện): hướng tới tái cấu trúc toàn bộ không gian công viên theo mô hình hành lang xanh đa tầng, lấy cao độ và tần suất ngập làm khung tổ chức chính. Đây là phương án mang lại hiệu quả cao nhất về thoát lũ, phục hồi sinh thái và nâng cao giá trị không gian công cộng. Tuy nhiên, kịch bản này đi kèm yêu cầu điều chỉnh tổng thể quy hoạch đã được phê duyệt, mất nhiều thời gian và cần sự đồng bộ pháp lý và kỹ thuật, do đó chỉ phù hợp khi dự án được xác định là thí điểm chiến lược trong quy hoạch hành lang sông Hồng.

Bảng 3. Ba kịch bản điều chỉnh quy hoạch Công viên Phú Thượng theo mô hình hành lang xanh đa tầng

Kịch bản	Giải pháp điều chỉnh quy hoạch				Bản chất điều chỉnh
	Tầng 0	Tầng 1	Tầng 2	Tầng 3	
1	Giữ các chức năng theo quy hoạch đã duyệt, chỉ điều chỉnh vật liệu, mặt phủ và khả năng thoát nước	Bổ sung yêu cầu cây chịu ngập, cấu kiện tháo lắp, biển cảnh báo	Điều chỉnh vật liệu sân, đường dạo, quảng trường theo hướng tăng tính thấm nước	Giữ nguyên các hạng mục đã duyệt, bổ sung yêu cầu kết cấu linh hoạt và vận hành an toàn lũ	Không điều chỉnh quy hoạch đã duyệt, chỉ bổ sung tiêu chí kỹ thuật thích ứng trong bước lập dự án
2	Điều chỉnh giảm mức độ khai thác thường xuyên, ưu tiên không gian trữ nước – sinh thái	Chuyển một phần chức năng đã duyệt sang không gian linh hoạt theo điều kiện thủy văn	Rà soát vị trí công trình, sân bãi, đường dạo để giảm cứng hóa và tăng hạ tầng xanh	Tập trung các chức năng cộng đồng, dịch vụ nhẹ ở khu vực an toàn hơn	Điều chỉnh cục bộ quy hoạch đã duyệt, nhưng không làm thay đổi định hướng chính cấu trúc quy hoạch
3	Bố trí lại các chức năng đã duyệt thành không gian sinh thái tự nhiên và thoát lũ	Bố trí lại các chức năng đã duyệt theo tính chất vùng đệm ngập theo điều kiện thủy văn	Bố trí lại hệ thống công trình quảng trường, vui chơi giải trí theo nguyên tắc bán ngập	Bố trí lại các điểm hoạt động cộng đồng, sáng tạo, hỗ trợ vận hành ở trên cao, không cản trở và ảnh hưởng đến việc thoát lũ	Điều chỉnh tổng thể quy hoạch đã duyệt theo mô hình hành lang xanh đa tầng

Tiêu chí lựa chọn kịch bản nên dựa vào năm nhóm biến chủ đạo: Mức độ cho phép điều chỉnh pháp lý, khả năng phân tích thủy lực và dự báo thủy văn sông Hồng, ngân sách đầu tư; yêu cầu tiến độ, và mức độ chấp nhận xã hội. Về nguyên tắc, kịch bản 1 chỉ phù hợp như là bước chuyển tiếp kỹ thuật từ quy hoạch đã duyệt sang thực hiện dự án, kịch bản 2 có thể là lựa chọn cân bằng trong ngắn và trung hạn, còn kịch bản 3 phù hợp khi TP Hà Nội muốn định hình Công viên Phú Thượng như dự án mẫu cho quy hoạch không gian xanh trong hành lang thoát lũ sông Hồng.

6. THẢO LUẬN

Tính khả thi của các kịch bản điều chỉnh quy hoạch nằm ở chỗ không phủ nhận định hướng quy hoạch Công viên Phú Thượng đã được phê duyệt, mà tái cấu trúc định hướng đó theo logic cao độ - thủy văn. Nói cách khác, bài viết không đề xuất biến bãi sông thành khu kỹ thuật chống lũ trống, mà hướng tới một không gian xanh có khả năng vận hành linh hoạt theo chu kỳ mùa nước. Cách tiếp cận này tương thích với các nguyên tắc của quy hoạch thủy lợi lưu vực sông Hồng - sông Thái Bình (Bộ Nông nghiệp và Môi trường, 2026), bao gồm giữ không gian thoát lũ, nâng cao chất lượng cảnh quan và bổ sung không gian công cộng, du lịch sinh thái ven sông cho đô thị trung tâm.

Rào cản lớn nhất đối với việc lập quy hoạch công viên là yếu tố pháp lý. Mọi can thiệp trong khu vực bãi sông Hồng đều phải chứng minh không làm suy giảm lưu lượng lũ thiết kế, không làm gia tăng mực nước lũ và không gây ảnh hưởng bất lợi đến chế độ dòng chảy của khu vực lân cận. Đồng thời, giải pháp thiết kế phải tuân thủ quy hoạch phòng, chống lũ sông Hồng và hệ thống quy chuẩn, tiêu chuẩn hiện hành. Trong bối cảnh đó, giải pháp quy hoạch công viên Phú Thượng theo mô hình hành lang xanh đa tầng cần được hiểu như một nguyên tắc tổ chức không gian phù hợp thoát lũ, trong đó ưu tiên giảm thiểu thấp nhất can thiệp xây dựng công trình và hướng tới tăng cường tối đa khả năng thích ứng với điều kiện thủy văn.

Một điều kiện quan trọng khác là sự tham gia của cộng đồng trong quá trình triển khai. Mặc dù chính quyền địa phương đã tổ chức công bố quy hoạch đã được phê duyệt, song đối với công viên trong bãi sông, cần có sự tham gia thực chất của các thành phần có liên quan, đặc biệt cư dân địa phương, là người đang sử dụng trực tiếp không gian này. Việc tham gia này cần được tích hợp ngay từ giai đoạn thiết kế, đặc biệt trong xác định vị trí, thành phần chức năng và tổ chức không gian, phương án sơ tán khi có lũ và cơ chế vận hành, bảo trì trong thực tiễn. Đây cũng là bài học quan trọng từ chương trình "Room for the River", trong đó thành công không chỉ đến từ giải pháp kỹ thuật mà còn từ sự phối hợp đa cấp và liên ngành (STOWA, 2015).

7. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Không nên quy hoạch Công viên Phú Thượng theo mô hình công viên đô thị tĩnh rồi đặt trong hành lang sông Hồng luôn biến động, mà cần xác định công viên như một cấu phần không tách rời của hành lang thoát lũ sông Hồng. Điều chỉnh quy hoạch công viên Phú Thượng theo mô hình hành lang xanh đa tầng cho phép chuyển dịch từ tư duy "ổn định hóa không gian" sang "tổ chức không gian theo biến động thủy văn". Nhờ đó công viên đạt đồng thời ba mục tiêu chính: An toàn thoát lũ, phục hồi sinh thái và nâng cao giá trị công cộng, du lịch, dịch vụ sinh thái của bãi sông. Ba kịch bản điều chỉnh đóng vai trò như các bước chuyển tiếp theo cấp độ can thiệp, tạo ra lộ trình triển khai linh hoạt từ điều kiện đặc thù hiện trạng đến áp dụng triệt để mô hình hành lang xanh đa tầng. Nghiên cứu góp phần bổ sung cách tiếp cận quy hoạch công viên ven sông tại Việt Nam theo hướng không gian thích ứng động dựa trên địa hình hiện trạng và thủy văn.

Từ kết quả nghiên cứu này, tác giả kiến nghị: Trước khi lập dự án đầu tư, phải tổ chức điều chỉnh quy hoạch chi tiết tỉ lệ 1/500 Công viên Phú Thượng. Trong đó, khuyến nghị chính quyền địa phương cân nhắc kịch bản 2 và 3 để định hướng phương án điều chỉnh quy hoạch công viên. Tiếp tục tham vấn các bên liên quan cho các bước thực hiện, đặc biệt coi trọng vai trò tham gia của cộng đồng dân cư địa phương. Cuối cùng, Thành phố nên định hướng Công viên Phú Thượng như một dự án thí điểm để thiết lập hệ thống công viên ngập lũ cho toàn bộ hành lang sông Hồng chảy qua nội đô, thay vì giải quyết dự án như các trường hợp công viên đô thị.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Ahern, J. From fail-safe to safe-to-fail: Sustainability and resilience in the new urban world. Landscape and Urban Planning, 100(4), 341-343, 2011.

[2] Benedict, M. A., & McMahon, E. T. Green infrastructure: Linking landscapes and communities. Island Press, 2006.

[3] Bộ NN&MT. Phê duyệt Quy hoạch thủy lợi lưu vực sông Hồng - Thái Bình thời kỳ đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050, 2026.

[4] Chính phủ. Nghị định số 113/2007/NĐ-CP ngày 28/6/2007 quy định chi tiết và hướng dẫn thi hành một số điều của Luật Đê điều, 2007.

[5] Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C., & Maginnis, S. Nature-based solutions to address global societal challenges. IUCN, 2016. DOI: 10.2305/IUCN.CH.2016.13.en.

[6] European Commission. Building a green infrastructure for Europe. Publications Office of the European Union, 2013. DOI: 10.2779/54125.

[7] Forman, R. T. T. Land mosaics: The ecology of landscapes and regions. Cambridge University Press, 1995.

[8] Haasnoot, M., Kwakkel, J. H., Walker, W. E., & ter Maat, J. Dynamic adaptive policy pathways: A method for crafting robust decisions for a deeply uncertain world. Global Environmental Change, 23(2), 485-498, 2013.

[9] Lê Văn Ánh. Tần suất xuất hiện các trận lũ và thời gian lũ ở cấp báo động ở hạ lưu hệ thống sông Hồng thời kỳ 1961-2000. Trung tâm Quốc gia Dự báo KTTV, 2001.

[10] Liao, K. H. A theory on urban resilience to floods-A basis for alternative planning practices. Ecology and Society, 17(4), 48, 2012.

[11] Nguyễn Văn Tuyên. Cấu trúc quy hoạch Hành lang xanh TP Hà Nội. NXB. Xây dựng, 2022.

[12] Nguyễn Văn Tuyên. Chữa lành đô thị từ thiên nhiên: Từ lý thuyết đến thực hành quy hoạch. Tạp chí Kiến trúc, số 09, 2025.

[13] Nguyễn Văn Tuyên. Nghiên cứu giải pháp quy hoạch phát triển bãi giữa sông Hồng theo lý thuyết hành lang xanh. Đề tài nghiên cứu cấp trường, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, 2026.

[14] Pochodyła, E., Glińska-Lewczuk, K., & Jaszczak, A. Blue-green infrastructure as a new trend and an effective tool for water management in urban areas. Landscape Online, 92, 1-20, 2021, doi: 10.3097/LO.202192.

[15] Quốc hội. Luật Đê điều số 79/2006/QH11, 2006.

[16] STOWA. Room for the River Programme. Dutch Delta Programme, 2015.

[17] Thủ tướng Chính phủ. Quyết định số 257/QĐ-TTg ngày 18/2/2016 về việc phê duyệt Quy hoạch phòng, chống lũ và quy hoạch đê điều hệ thống sông Hồng, sông Thái Bình, 2016.

[18] Thủ tướng Chính phủ. Quyết định số 429/QĐ-TTg ngày 21/4/2023 về việc điều chỉnh, bổ sung Quy hoạch phòng, chống lũ hệ thống sông Hồng, sông Thái Bình, 2023.

[19] UBND phường Phú Thượng. Nội dung tham vấn trong quá trình thực hiện đánh giá tác động môi trường dự án, 2026.

[20] UBND TP Hà Nội. Quyết định số 1045/QĐ-UBND ngày 24/3/2022 về việc Phê duyệt Quy hoạch phân khu đô thị sông Hồng, tỷ lệ 1/5000 (đoạn từ cầu Hồng Hà đến cầu Mễ Sở), 2022.

[21] UBND TP Hà Nội. Quyết định số 6268/QĐ-UBND ngày 17/12/2025 về việc Phê duyệt Quy hoạch chi tiết Công viên công cộng phường Phú Thượng, tỷ lệ 1/500, 2025.

[22] Văn phòng Quốc hội. Văn bản hợp nhất số 70/VBHN-VPQH năm 2025 về Luật Đê điều. Quốc hội Việt Nam, 2025.

■Ngày nhận bài: 01/5/2026 ■Ngày sửa bài: 15/5/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 04/6/2026

Nhận diện giá trị kiến trúc nhà ở truyền thống dân tộc Tày tỉnh Tuyên Quang

Identifying the architectural values of traditional tay vernacular houses in Tuyen Quang Province

> TS NGUYỄN HOÀI THU[1,*], TS VŨ THỊ HƯƠNG LAN[2], TS NGUYỄN THU HƯƠNG[2]
[1]Học viện Kỹ thuật Quân sự
[2]Trường Đại học Xây dựng Hà Nội
[*]Email: ktshoaithu@lqdtu.edu.vn

TÓM TẮT

Người Tày là một trong những dân tộc thiểu số cư trú lâu đời tại tỉnh Tuyên Quang, với loại hình nhà ở truyền thống mang nhiều đặc trưng về tổ chức không gian, kết cấu, vật liệu và khả năng thích ứng với điều kiện tự nhiên. Tuy nhiên, dưới tác động của quá trình hiện đại hóa, nhiều ngôi nhà truyền thống đang bị thay đổi hoặc thay thế, làm suy giảm các giá trị kiến trúc đặc trưng.

Bài báo tập trung khảo sát và phân tích kiến trúc nhà ở truyền thống dân tộc Tày tại tỉnh Tuyên Quang nhằm nhận diện các giá trị tiêu biểu về thích ứng tự nhiên, tổ chức không gian, kỹ thuật xây dựng dân gian, văn hóa và thẩm mỹ kiến trúc. Kết quả nghiên cứu góp phần bổ sung cơ sở khoa học cho công tác bảo tồn, phát huy giá trị kiến trúc truyền thống và vận dụng các giá trị bản địa trong phát triển kiến trúc đương đại.

Từ khóa: Dân tộc Tày; nhà ở truyền thống; kiến trúc bản địa; giá trị kiến trúc; Tuyên Quang.

ABSTRACT

The Tay are one of the largest ethnic minority groups with a long history of settlement in Tuyen Quang Province. Their traditional houses exhibit distinctive characteristics in spatial organization, structural systems, building materials, and adaptation to local natural conditions. However, under the impacts of modernization and socio-economic development, many traditional houses have been altered or replaced, leading to the gradual loss of their architectural values.

This paper investigates and analyzes the architectural characteristics of traditional Tay houses in Tuyen Quang Province to identify their key values, including environmental adaptation, spatial organization, indigenous construction techniques, cultural significance, and architectural aesthetics. The findings provide a scientific basis for the conservation and promotion of traditional architectural values, while also supporting the integration of indigenous knowledge into contemporary architectural design.

Keywords: Tay ethnic group; traditional housing; vernacular architecture; architectural values; Tuyen Quang Province

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tuyên Quang là tỉnh miền núi thuộc vùng Trung du và miền núi phía Bắc, nơi người Tày là dân tộc thiểu số có dân số đông và cư trú lâu đời [2], [18]. Trong quá trình sinh sống, cộng đồng người Tày đã hình thành loại hình nhà ở truyền thống mang những đặc trưng riêng về tổ chức không gian, kết cấu, vật liệu xây dựng và khả năng thích ứng với điều kiện tự nhiên địa phương [9], [11].

Kiến trúc nhà ở truyền thống của người Tày chủ yếu là nhà sàn gỗ, phân bố tại các khu vực chân núi, ven suối và thung lũng canh tác. Loại hình nhà ở này phản ánh kinh nghiệm ứng xử với khí hậu, địa hình miền núi và đời sống sản xuất nông nghiệp truyền thống, đồng thời là không gian lưu giữ các giá trị văn hóa, tín ngưỡng và sinh hoạt cộng đồng [1], [11], [19].

Tuy nhiên, dưới tác động của quá trình đô thị hóa và phát triển kinh tế - xã hội, nhiều ngôi nhà sàn truyền thống đã bị cải tạo hoặc thay thế bằng các công trình hiện đại, làm suy giảm những giá trị kiến trúc và bản sắc văn hóa vốn có [9], [16], [19].

Trên cơ sở khảo sát và phân tích đặc điểm kiến trúc nhà ở truyền thống dân tộc Tày tại tỉnh Tuyên Quang, bài báo tập trung nhận diện các giá trị tiêu biểu về thích ứng tự nhiên, tổ chức không gian, kỹ thuật xây dựng, văn hóa và thẩm mỹ kiến trúc, qua đó góp phần bổ sung cơ sở khoa học cho công tác bảo tồn và phát huy giá trị kiến trúc truyền thống trong bối cảnh hiện nay.

2. CƠ SỞ NHẬN DIỆN GIÁ TRỊ KIẾN TRÚC NHÀ Ở TRUYỀN THỐNG DÂN TỘC TÀY TỈNH TUYÊN QUANG

2.1. Điều kiện hình thành kiến trúc nhà ở truyền thống

Kiến trúc nhà ở truyền thống của người Tày tại tỉnh Tuyên Quang được hình thành dưới tác động của điều kiện tự nhiên, kinh tế - xã hội và văn hóa truyền thống. Địa hình đồi núi thấp xen thung lũng, hệ thống sông suối phong phú cùng khí hậu nhiệt đới gió mùa

nóng ẩm đã ảnh hưởng trực tiếp đến việc lựa chọn nơi cư trú và hình thức kiến trúc nhà ở [2], [19].

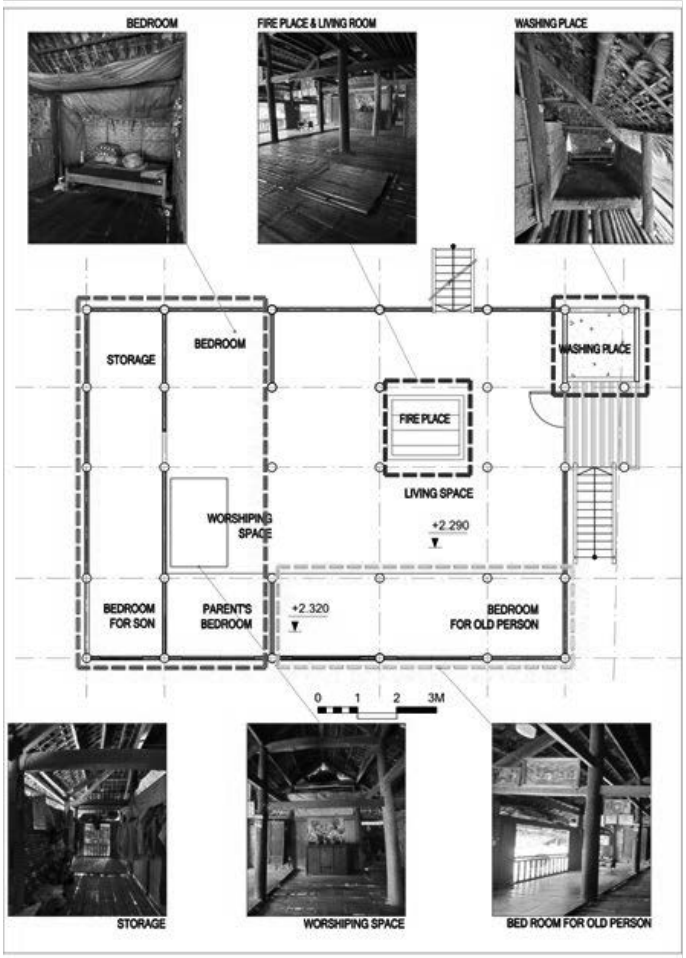
Nhà sàn là loại hình cư trú phổ biến của người Tày do phù hợp với địa hình miền núi, có khả năng chống ẩm, chống ngập và tạo sự thông thoáng. Vật liệu xây dựng chủ yếu là gỗ, tre, nứa và lá cọ, phản ánh sự tận dụng nguồn tài nguyên địa phương [9], [11].

Gắn với kinh tế nông nghiệp truyền thống, nhà ở thường kết hợp chức năng cư trú và sản xuất. Đồng thời, các quan niệm dân gian về chọn đất, hướng nhà, nghi lễ dựng nhà và thờ cúng tổ tiên cũng góp phần hình thành những đặc trưng riêng của kiến trúc nhà ở truyền thống người Tày [11], [12], [19].

2.2. Đặc trưng tổ chức không gian kiến trúc

Nhà ở truyền thống của người Tày thường được tổ chức trong khuôn viên gắn bó chặt chẽ với cảnh quan tự nhiên và hoạt động sản xuất nông nghiệp. Nhà chính thường bố trí trên nền đất cao ráo hoặc sườn đồi thoải, quay về hướng Nam hoặc Đông Nam. Bao quanh nhà là sân, vườn, ao, chuồng trại và đất canh tác, tạo thành mô hình cư trú gắn kết giữa nơi ở và nơi sản xuất [9], [19], [12].

Về mặt bằng, nhà sàn truyền thống được tổ chức theo không gian mở với các khu vực sinh hoạt chung, tiếp khách, nghỉ ngơi, thờ cúng và bảo quản nông sản. Gian giữa và bếp lửa giữ vai trò trung tâm, là nơi diễn ra các hoạt động sinh hoạt gia đình và nghi lễ truyền thống. Không gian thờ cúng tổ tiên được bố trí ở vị trí trang trọng nhất trong ngôi nhà [1], [11].



Hình 1. Các không gian đặc trưng của nhà sàn người Tày [4]

Theo chiều đứng, công trình gồm ba bộ phận chính: gầm sàn, tầng ở và mái nhà. Gầm sàn được sử dụng để chăn nuôi, bảo quản nông cụ; tầng sàn là không gian sinh hoạt chính; mái dốc lớn giúp thoát nước mưa nhanh và điều hòa vi khí hậu. Đây là giải pháp không gian phù hợp với điều kiện tự nhiên vùng núi và tập quán sinh hoạt của người Tày [9], [11].

2.3. Đặc điểm hình thức kiến trúc

Nhà ở truyền thống của người Tày chủ yếu sử dụng hệ kết cấu khung gỗ với các bộ phận cột, xà, kèo được liên kết bằng kỹ thuật mộng và chốt gỗ. Phương thức liên kết này phản ánh trình độ kỹ thuật xây dựng dân gian và kinh nghiệm sử dụng vật liệu của cộng đồng địa phương [1], [11].

Vật liệu xây dựng truyền thống gồm gỗ, tre, nứa, lá cọ và ngói đất nung. Trong đó, mái nhà là yếu tố tạo nên dấu ấn đặc trưng của kiến trúc người Tày tại Tuyên Quang. Mái thường có độ dốc lớn, lợp bằng lá cọ hoặc ngói âm dương, phù hợp với điều kiện khí hậu mưa nhiều của khu vực [11], [19].

Hình thức kiến trúc nhìn chung đơn giản, hài hòa với cảnh quan tự nhiên. Tuy nhiên, dưới tác động của quá trình hiện đại hóa, nhiều công trình đã sử dụng vật liệu công nghiệp như bê tông, thép và tôn lợp, làm thay đổi đáng kể hình thức kiến trúc truyền thống [9], [19].

3. NHẬN DIỆN GIÁ TRỊ KIẾN TRÚC NHÀ Ở TRUYỀN THỐNG DÂN TỘC TÀY TỈNH TUYÊN QUANG

3.1. Giá trị thích ứng với điều kiện tự nhiên

Giá trị nổi bật của kiến trúc nhà ở truyền thống dân tộc Tày là khả năng thích ứng hiệu quả với điều kiện tự nhiên vùng trung du và miền núi phía Bắc. Loại hình nhà sàn truyền thống là biểu hiện rõ nét của quá trình thích ứng này, đặc biệt tại các khu vực cư trú lâu đời của người Tày ở Na Hang, Lâm Bình và Chiêm Hóa [12], [19].

Việc nâng sàn lên khỏi mặt đất giúp hạn chế độ ẩm, tránh côn trùng và tạo không gian thông thoáng bên dưới công trình. Hệ thống cửa mở linh hoạt kết hợp với khoảng không dưới sàn góp phần tăng cường thông gió tự nhiên, giảm nhiệt và độ ẩm trong không gian ở. Mái dốc lớn giúp thoát nước nhanh, phù hợp với điều kiện mưa nhiều của khu vực [9], [11].



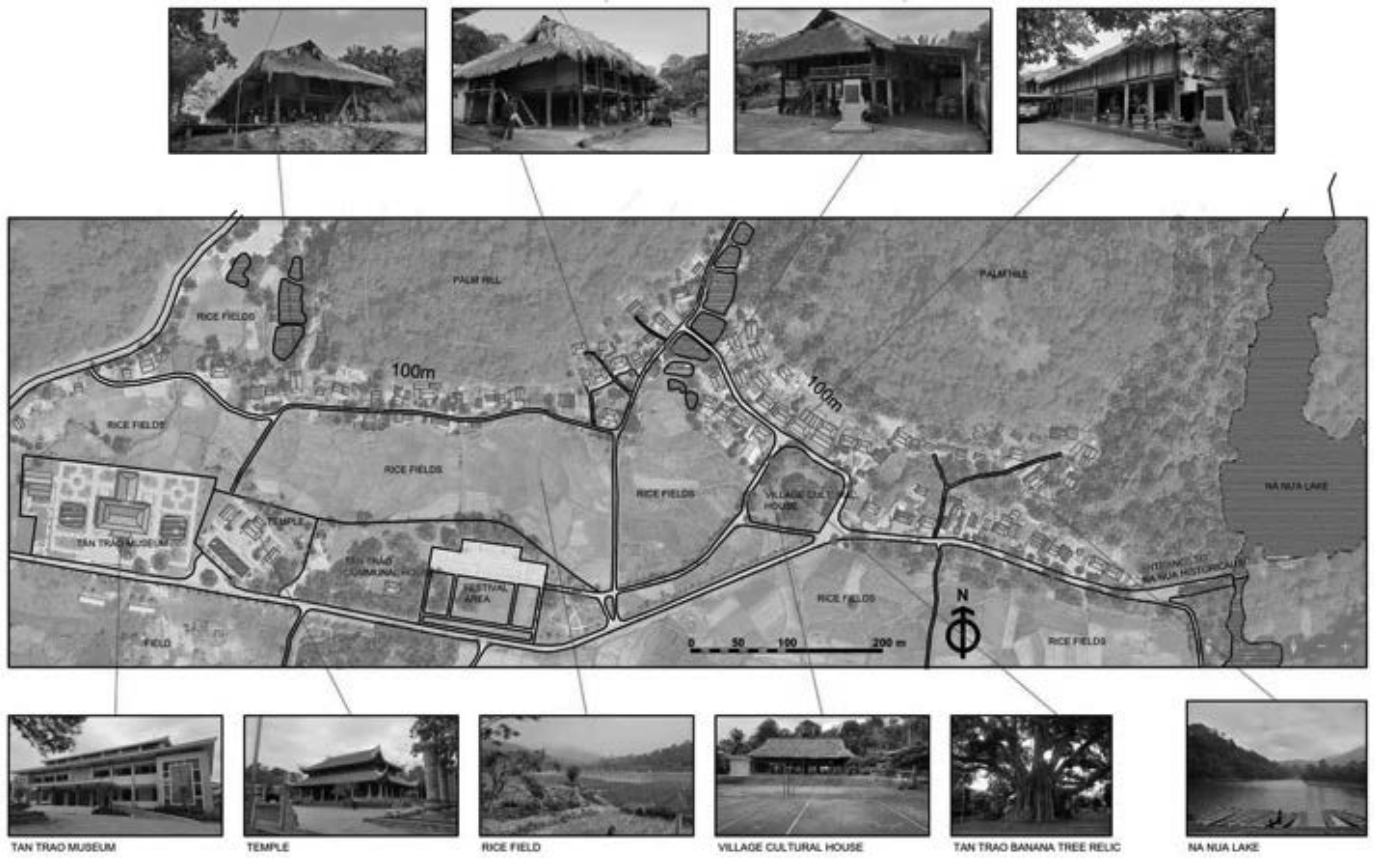
Hình 2. Bản đồ vị trí của thôn Tân Lập trong tỉnh Tuyên Quang

Bên cạnh đó, việc sử dụng vật liệu địa phương như gỗ, tre, nứa và lá cọ không chỉ đáp ứng yêu cầu xây dựng mà còn phản ánh tri thức bản địa trong khai thác và sử dụng tài nguyên tự nhiên. Những kinh nghiệm thích ứng môi trường này có giá trị tham khảo đối với định hướng phát triển kiến trúc bền vững hiện nay [1], [9].

3.2. Giá trị tổ chức không gian kiến trúc

Giá trị tổ chức không gian là một trong những đặc trưng nổi bật của kiến trúc nhà ở truyền thống dân tộc Tày. Nhà ở thường được bố trí trong tổng thể không gian gồm nhà chính, sân, vườn, ao, đất canh tác và các công trình phụ trợ, phản ánh mô hình cư trú truyền thống gắn với kinh tế nông nghiệp của người Tày tại Tuyên Quang [19].

Không gian nhà ở thể hiện sự kết hợp chặt chẽ giữa chức năng cư trú và sản xuất. Các hoạt động sinh hoạt gia đình, bảo quản nông sản, lưu trữ công cụ lao động và chăn nuôi được tổ chức trong cùng một hệ thống không gian. Đây là giải pháp phù hợp với điều kiện kinh tế nông nghiệp và tập quán sinh hoạt của cộng đồng cư dân địa phương [9], [11].



Hình 3. Cấu trúc khu vực trung tâm dân tộc Tày - Tuyên Quang [4]

Bên cạnh đó, không gian sinh hoạt chung có tính linh hoạt cao, vừa là nơi tiếp khách, hội họp gia đình, vừa là nơi tổ chức các nghi lễ và hoạt động văn hóa cộng đồng. Điều này góp phần duy trì sự gắn kết giữa các thành viên trong gia đình và cộng đồng cư dân [1], [11].

3.3. Giá trị kết cấu và kỹ thuật xây dựng

Nhà ở truyền thống dân tộc Tày là kết quả của quá trình tích lũy tri thức xây dựng dân gian qua nhiều thế hệ. Hệ kết cấu khung gỗ với các liên kết mộng và chốt gỗ là đặc trưng nổi bật, tạo nên bộ khung ổn định, bền vững và thuận lợi cho việc sửa chữa hoặc thay thế cấu kiện khi cần thiết [1], [11].

Giá trị kỹ thuật còn thể hiện ở kinh nghiệm lựa chọn vật liệu, xử lý gỗ và tổ chức thi công. Quá trình dựng nhà thường có sự tham gia của dòng họ và cộng đồng, phản ánh tính cộng đồng trong hoạt động xây dựng truyền thống. Đây đồng thời là phương thức truyền dạy tri thức và kỹ năng nghề nghiệp giữa các thế hệ [1], [9]







Hình 4. Gìn giữ những không gian và giá trị kiến trúc

3.4. Giá trị văn hóa và bản sắc dân tộc

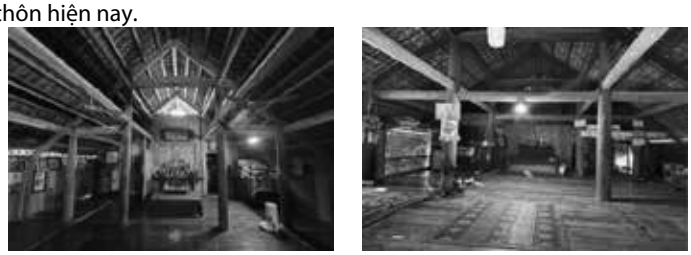
Giá trị văn hóa là lớp giá trị cốt lõi của kiến trúc nhà ở truyền thống dân tộc Tày. Kiến trúc nhà ở phản ánh quan niệm sống hài hòa với thiên nhiên thông qua việc lựa chọn vị trí xây dựng, hướng nhà và tổ chức không gian cư trú [11], [19].

Không gian thờ cúng tổ tiên là thành tố quan trọng trong cấu trúc nhà ở người Tày, đồng thời là nội dung được ghi nhận trong công tác kiểm kê di sản văn hóa dân tộc Tày tại tỉnh Tuyên Quang [12]. Đây là nơi diễn ra các nghi lễ quan trọng của gia đình, thể hiện đạo lý uống nước nhớ nguồn và sự gắn kết giữa các thế hệ.

Nhà ở còn gắn liền với nhiều phong tục, tập quán như chọn đất, dựng nhà, cất nóc và nhập trạch. Thông qua các hoạt động này, kiến trúc trở thành không gian lưu giữ và truyền tải các giá trị văn hóa truyền thống của cộng đồng người Tày [11], [12].

3.5. Giá trị thẩm mỹ kiến trúc

Giá trị thẩm mỹ của kiến trúc nhà ở truyền thống dân tộc Tày được tạo nên từ sự hài hòa giữa hình khối công trình, vật liệu xây dựng và cảnh quan tự nhiên. Tỷ lệ cân đối giữa thân nhà và mái dốc lớn cùng việc sử dụng các vật liệu bản địa như gỗ, tre, nứa, lá cọ tạo nên vẻ đẹp mộc mạc, gần gũi và phù hợp với môi trường miền núi [1]. Nhà ở gắn kết với không gian bản làng, góp phần hình thành cảnh quan văn hóa đặc trưng của cộng đồng người Tày tại Tuyên Quang [12], [19]. Sự kết hợp giữa kiến trúc, văn hóa và môi trường tự nhiên đã tạo nên bản sắc riêng của nhà ở truyền thống dân tộc Tày, là giá trị cần được bảo tồn và phát huy trong phát triển nông thôn hiện nay.



Hình 5. Giá trị kiến trúc cần khai thác

4. THẢO LUẬN

4.1. Những thách thức đối với việc bảo tồn kiến trúc nhà ở truyền thống dân tộc Tày

Kiến trúc nhà ở truyền thống dân tộc Tày đang chịu nhiều tác động từ quá trình hiện đại hóa và phát triển kinh tế - xã hội. Việc sử dụng vật liệu công nghiệp, xây dựng nhà ở kiên cố và thay đổi nhu cầu sinh hoạt đã làm suy giảm số lượng nhà sàn truyền thống cũng như nhiều yếu tố kiến trúc đặc trưng. Bên cạnh đó, sự khan hiếm nguồn vật liệu tự nhiên, sự mai một đội ngũ thợ thủ công và những biến đổi trong lối sống hiện đại đang đặt ra nhiều thách thức đối với công tác bảo tồn. Quá trình phát triển du lịch cộng đồng cũng tiềm ẩn nguy cơ làm giảm tính nguyên gốc của kiến trúc truyền thống.

4.2. Định hướng bảo tồn và phát huy giá trị kiến trúc nhà ở truyền thống

Bảo tồn kiến trúc nhà ở truyền thống dân tộc Tày cần gắn với mục tiêu phát triển bền vững, trong đó chú trọng duy trì các yếu tố cốt lõi như cấu trúc nhà sàn, tổ chức không gian, vật liệu địa phương và các giá trị văn hóa truyền thống. Đối với các khu dân cư còn lưu giữ kiến trúc truyền thống, cần có giải pháp quản lý phù hợp nhằm bảo vệ cảnh quan và cấu trúc bản làng. Đồng thời, cần tăng cường nghiên cứu, tư liệu hóa, truyền dạy kỹ thuật xây dựng truyền thống và phát huy vai trò của cộng đồng địa phương. Việc kết hợp bảo tồn với phát triển du lịch cộng đồng và nâng cao sinh kế sẽ góp phần phát huy bền vững các giá trị kiến trúc truyền thống.

5. KẾT LUẬN

Kiến trúc nhà ở truyền thống dân tộc Tày tại tỉnh Tuyên Quang là kết quả của quá trình thích ứng lâu dài với điều kiện tự nhiên, kinh tế - xã hội và môi trường văn hóa địa phương. Thông qua khảo sát và phân tích, nghiên cứu đã nhận diện năm nhóm giá trị cơ bản gồm: giá trị thích ứng với điều kiện tự nhiên; giá trị tổ chức không gian kiến trúc; giá trị kết cấu và kỹ thuật xây dựng dân gian; giá trị văn hóa và bản sắc dân tộc; giá trị thẩm mỹ kiến trúc.

Các giá trị này không tồn tại riêng biệt mà liên kết chặt chẽ, tạo nên bản sắc kiến trúc đặc trưng của cộng đồng người Tày. Tuy nhiên, dưới tác động của quá trình hiện đại hóa, nhiều giá trị truyền thống đang có nguy cơ mai một. Vì vậy, việc bảo tồn cần được thực hiện theo hướng kế thừa có chọn lọc, kết hợp giữa gìn giữ bản sắc truyền thống và đáp ứng nhu cầu phát triển đương đại. Kết quả nghiên cứu là cơ sở khoa học cho công tác bảo tồn, phát huy giá trị kiến trúc nhà ở truyền thống dân tộc Tày và định hướng phát triển kiến trúc nông thôn bền vững tại tỉnh Tuyên Quang.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Chu Quang Trứ. Kiến trúc dân gian truyền thống Việt Nam. NXB. Mỹ thuật, Hà Nội, 2003.

[2] Cục Thống kê tỉnh Tuyên Quang. Niên giám Thống kê tỉnh Tuyên Quang năm 2022. NXB. Thống kê, Hà Nội, 2023.

[3] Đào Ngọc Khánh Vy, Nguyễn Mạnh Hùng, Nguyễn Trung Hiếu. Một số kết quả khảo sát đánh giá hiện trạng nhà ở của đồng bào dân tộc thiểu số và miền núi phía Bắc. Tạp chí Xây dựng, số 12/2023.

[4] Lan V.T.H., Thi N.D., Long D.V. et al. Sustainable Development of Minority Ethnic Housing Spaces: A Community Perspective from the Tay People in Tuyen Quang. Civil Engineering and Architecture, vol. 13, no. 6, pp. 4589-4612, 2025.

[5] Nguyen D.T., Vu T.H.L., Le N.P. et al. Sustainable Development of Tay Ethnic Village Spaces in Tuyen Quang Province Through the Preservation and Utilization of Traditional Architectural Values. International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology, vol. 16, no. 2, pp. 145-163, 2025.

[6] Nguyễn Đình Thi. Kiến trúc nhà ở nông thôn. NXB. Xây dựng, Hà Nội, 2011.

[7] Nguyễn Đình Thi. Kiến trúc nhà ở nông thôn trong quá trình công nghiệp hóa, hiện đại hóa. NXB. Xây dựng, Hà Nội, 2020.

[8] Nguyễn Đình Thi (chủ biên). Văn hóa và Kiến trúc. NXB. Xây dựng, Hà Nội, 2022.

[9] Nguyễn Đình Thi, Trần Quốc Bảo. Phát triển bền vững kiến trúc nhà ở truyền thống các dân tộc thiểu số miền núi phía Bắc. NXB. Xây dựng, Hà Nội, 2024.

[10] Nguyễn Đình Thi, Nguyễn Ngọc Hương. Phát triển nhà ở các dân tộc thiểu số vùng miền núi phía Bắc trên cơ sở giữ gìn giá trị kiến trúc truyền thống. Tạp chí Xây dựng, số 3/2025.

[11] Nguyễn Khắc Tụng. Nhà cửa các dân tộc ở trung du Bắc Bộ Việt Nam. NXB. Khoa học Xã hội, Hà Nội, 1978.

[12] Sở Văn hóa, Thể thao và Du lịch tỉnh Tuyên Quang. Báo cáo kiểm kê di sản văn hóa dân tộc Tày trên địa bàn tỉnh Tuyên Quang, Tuyên Quang, 2021.

[13] Thủ tướng Chính phủ. Quyết định số 1246/QĐ-TTg ngày 19/7/2021 phê duyệt Định hướng phát triển kiến trúc Việt Nam đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050, Hà Nội, 2021.

[14] Thủ tướng Chính phủ. Quyết định số 150/QĐ-TTg ngày 28/01/2022 phê duyệt Chiến lược phát triển nông nghiệp và nông thôn bền vững giai đoạn 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050, Hà Nội, 2022.

[15] Trần Quốc Bảo. Phân loại kiến trúc nhà ở truyền thống các dân tộc thiểu số vùng miền núi phía Bắc nhằm quản lý, bảo tồn và phát huy giá trị. Tạp chí Xây dựng, 2023.

[16] Trần Quốc Bảo, Nguyễn Đình Thi. Thực trạng kiến trúc nhà ở các dân tộc thiểu số miền núi phía Bắc và định hướng phát triển bền vững. Tạp chí Xây dựng, số 4/2025.

[17] Trần Quốc Bảo, Nguyễn Đình Thi, Mai Quang Khải. Impacts of Culture on Traditional Housing Architecture of Ethnic Minority in the Vietnamese Northern Mountains. Journal of Design and Built Environment, 2024.

[18] Ủy ban Dân tộc - Tổng cục Thống kê. Kết quả điều tra thu thập thông tin thực trạng kinh tế - xã hội của 53 dân tộc thiểu số năm 2019. NXB. Thống kê, Hà Nội, 2020.

[19] Ủy ban nhân dân tỉnh Tuyên Quang. Địa chí Tuyên Quang, Tập I: Điều kiện tự nhiên, dân cư và lịch sử hình thành. NXB. Chính trị Quốc gia Sự thật, Hà Nội, 2022.

■Ngày nhận bài: 03/4/2026 ■Ngày sửa bài: 10/4/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 11/5/2026

Nhận diện đặc điểm và giá trị kiến trúc của nhà vườn truyền thống Huế bằng khung tham chiếu

Identifying architectural values of traditional garden houses in Hue using a value-based framework

> NGUYỄN SONG HOÀN NGUYÊN[1], TÔN THẤT HIẾU KHOA[2], NGUYỄN NGỌC TÙNG[3,*]
[1]Khoa Kiến trúc, Trường Đại học Kiến trúc TP.HCM
[2]Công ty Phát triển giáo dục TKstudio
[3]Khoa Kiến trúc, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng
[*]Email: nntung@dut.udn.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu này nhằm nhận diện các đặc điểm và giá trị cốt lõi của nhà vườn truyền thống Huế thông qua khảo sát bốn công trình tiêu biểu tại thành phố Huế. Trên cơ sở tổng quan các nghiên cứu trước, bài báo xây dựng khung tham chiếu gồm hai nhóm giá trị: công năng (7 yếu tố) và hình thức (2 yếu tố), kết hợp giữa tính phổ quát của kiến trúc truyền thống và đặc thù văn hóa Huế. Phương pháp nghiên cứu bao gồm khảo sát thực địa, đo vẽ, phân tích không gian và đối chiếu theo khung giá trị. Kết quả cho thấy các giá trị như thờ cúng, phong thủy và cấu trúc nhà Rường vẫn được bảo tồn ổn định, trong khi các yếu tố liên quan đến tổ chức không gian và sinh hoạt có xu hướng biến đổi dưới tác động đô thị hóa. Nghiên cứu góp phần làm rõ mức độ bảo tồn và biến đổi của các giá trị kiến trúc, đề xuất cơ sở cho việc xây dựng công cụ đánh giá và định hướng bảo tồn thích ứng trong bối cảnh đô thị di sản Huế.

Từ khóa: Nhà vườn truyền thống Huế; giá trị kiến trúc; bảo tồn thích ứng; di sản đô thị.

ABSTRACT

This study aims to identify the characteristics and core values of traditional Hue garden houses through the investigation of four representative cases in Hue City. Based on a review of previous studies, the paper develops a reference framework comprising two value groups: functional values (seven factors) and formal values (two factors), integrating both the universal aspects of traditional architecture and the specific cultural context of Hue. The research methodology includes field surveys, architectural measurements, spatial analysis, and comparative evaluation using the proposed value framework. The results indicate that values such as ancestor worship, feng shui principles and the traditional timber frame (Ruong) structure remain well preserved, while elements related to spatial organization and daily use tend to undergo transformation under the impact of urbanization. The study contributes to clarifying the degrees of preservation and transformation of architectural values and provides a foundation for developing evaluation tools and guiding adaptive conservation strategies in the context of Hue as a heritage city.

Keywords: Traditional garden house; architectural value; adaptive conservation; urban heritage.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Thành phố Huế là đô thị di sản mang tính biểu tượng của Việt Nam, hội tụ nhiều giá trị văn hóa, lịch sử với hệ thống công trình đa dạng như kinh thành, cung điện, lăng tẩm, danh lam thắng cảnh, kiến trúc tôn giáo, làng cổ và phố cổ. Trong đó, nhà vườn truyền thống Huế (NVTTH) là loại hình nhà ở tiêu biểu và là thành phần quan trọng góp phần duy trì đặc trưng cảnh quan đô thị, phản ánh chiều sâu văn hóa Huế. NVTTH không đơn thuần là nơi cư trú, mà còn là không gian lưu giữ nề nếp gia phong, thể hiện triết lý sống, tư tưởng tổ chức không gian theo phong thủy và thẩm mỹ kiến trúc đặc trưng vùng đất cố đô. Mỗi ngôi nhà là một đơn vị văn hóa thu nhỏ, mang đậm dấu ấn về sinh hoạt, truyền thống và văn hóa dân tộc [15]. Tuy nhiên, quá trình đô thị hóa, hiện đại hóa đã và đang tác động mạnh mẽ đến hình thái không gian sống truyền thống tại Huế [2], nhiều công trình bị biến đổi, phân mảnh, cải tạo sai lệch hoặc bị thay thế bởi mô hình nhà ở hiện đại, dẫn đến nguy cơ mai một giá trị văn hóa và kiến trúc của nhà ở bản địa [16]. Điều này đặt ra nhu cầu cấp thiết trong việc nhận diện, hệ thống hóa và chọn lọc các yếu tố kiến trúc cốt lõi còn nhiều giá trị. Trên cơ sở đó, nghiên cứu tiến hành phân tích và áp dụng khung tham chiếu để nhận diện, tổng hợp các yếu tố bản sắc kiến trúc NVVTH, làm nền tảng xây dựng một bộ chỉ dẫn phù hợp, góp phần định hướng thiết kế, quy hoạch và bảo tồn trong bối cảnh phát triển đô thị hiện nay. Đóng góp của nghiên cứu không nằm ở việc xác lập các giá trị mới, mà dừng lại ở kiểm nghiệm và hiệu chỉnh khung tham chiếu giá trị thông qua dữ liệu khảo sát thực tế, từ đó làm rõ xu hướng bảo tồn và biến đổi của NVTTH trong bối cảnh đô thị hóa.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Để đạt được mục tiêu nhận diện giá trị cốt lõi trong kiến

trúc NVTTH, nghiên cứu vận dụng tổng hợp các phương pháp sau:

- Phương pháp thu thập tài liệu nghiên cứu, tiến hành khảo sát các tài liệu học thuật, luận án, bài báo quốc tế và văn bản pháp lý liên quan đến kiến trúc truyền thống, giá trị bản sắc, khung tham chiếu và mô hình bảo tồn thích ứng.

- Phương pháp khảo sát thực địa, nhóm tác giả tiến hành khảo sát bốn công trình gồm: hai nhà vườn tiêu biểu là An Hiên, Lạc Tịnh Viên và hai nhà vườn trong khu vực kinh thành Huế. Khảo sát thực địa được thực hiện nhiều lần vào năm 2025, kết hợp đo vẽ, quan sát khoa học và phỏng vấn chủ nhà nhằm kiểm chứng thông tin về lịch sử, cấu trúc và quá trình cải tạo công trình. Dữ liệu đo vẽ được dựng lại thành sơ đồ kiến trúc để phân tích tổ chức không gian, hình thức và các yếu tố công năng sử dụng.

Phương pháp đối chiếu hệ từ hệ khung giá trị gồm hai nhóm (công năng và hình thức), nghiên cứu thực hiện đối chiếu từng yếu tố với hiện trạng công trình khảo sát. Quá trình này cho phép đánh giá giá trị của từng yếu tố, phân tích rõ đặc điểm giá trị kiến trúc truyền thống.

Phương pháp so sánh công trình theo tiêu chí cụ thể: các công trình khảo sát được phân tích và đối chiếu theo các tiêu chí nhằm chỉ ra điểm tương đồng và dị biệt giữa các mô hình nhà vườn truyền thống ở Huế.

3. TỔNG QUAN VÀ XÂY DỰNG KHUNG GIÁ TRỊ

3.1. Tổng quan các nghiên cứu trước đây

Trong bối cảnh TP Huế đang phát triển để trở thành "Đô thị di sản" đầu tiên tại Việt Nam [14], số lượng NVTTH vẫn còn hiện hữu đáng kể với hơn 84 ngôi nhà trong khu vực kinh thành Huế [15] và nhiều công trình dạng phủ đệ, phủ thờ,… tại các khu vực lân cận. Với nguồn tư liệu thực tế khá phong phú và đã có nhiều tài liệu nghiên cứu liên quan, tuy nhiên việc tiếp cận theo hướng bảo tồn và phát triển cũng cần bổ sung thêm về cả chiều sâu nội dung và số lượng [12].

Một số công trình quốc tế đã xây dựng và ứng dụng khung tham chiếu nhằm nhận diện các yếu tố giá trị trong kiến trúc dân gian, bản địa hoặc truyền thống. Tiêu biểu có thể kể đến: Mô hình Vernacular Value Model (VVM) của Olukoya [5] với các câu hỏi về đặc điểm "hiển thị" và "phi hiển thị" trong kiến trúc phản ánh trên hai bình diện "công năng" và "hình thức". Trong khi hệ khái niệm của Dahabreh mô tả "phương pháp luận để đề ra cấu trúc không gian, trí tuệ và các cấu trúc tương ứng" [7], từ đó mở rộng mô hình Vitruvius thành khung phân tích năm chiều kích hình học, kết cấu và thẩm mỹ nhằm khẳng định việc đánh giá công trình trong bất cứ bối cảnh nào cũng là điều cần thiết và phù hợp. Ngoài ra, phương pháp Values-Based Architecture của Williams khẳng định vai trò các giá trị cộng đồng, cảnh quan và chức năng xã hội trong thiết kế [1].

Ở những nghiên cứu trong nước có thể kể đến tác giả Nguyễn Quang Minh đã phân tách 4 yếu tố nền tảng: địa hình, khí hậu, xã hội, phong tục; đồng thời xác định các giá trị kiến trúc, giá trị sử dụng, niên đại, nghệ thuật tạo hình, trang trí, biểu tượng, cảnh quan, kỹ thuật, công nghệ, văn hóa - xã hội và di sản [3]. Tác giả Ngô Viết Nam Sơn cho rằng 4 tiêu chí cơ bản của kiến trúc trước đây (thích dụng, thẩm mỹ, kinh tế và bền vững) không còn đầy đủ và phù hợp. Vì vậy, tác giả đã đề xuất tám tiêu chí của kiến trúc thế kỷ 21: thích dụng, bền vững, bản sắc, hiệu quả, an toàn, đương đại, pháp lý, và sáng tạo [8]. Điều 3, Nghị định số 85/2023/NĐ-CP của Chính phủ quy định hai tiêu chí chính về giá trị di sản kiến trúc: giá trị nghệ thuật kiến trúc - cảnh quan và giá trị lịch sử - văn hóa [11]. Dựa vào kinh nghiệm quốc tế, tác giả Phạm Hoàng Phương đã đề xuất một số khía cạnh quản lý các công trình có giá trị nhưng chưa xếp hạng như: giá trị kiến trúc cảnh quan - văn hóa lịch sử; giá trị kỹ thuật xây dựng và vật liệu đặc thù; chú ý vào việc sử dụng và cải tạo/sửa chữa công trình qua các giai đoạn khác nhau [6]. Trong khi đó, tác giả Nguyễn Ngọc Tùng xác định nhiều yếu tố ảnh hưởng đến nhà vườn truyền thống như luật lệ triều Nguyễn, văn hóa lối sống, tôn giáo - tín ngưỡng, quan điểm chủ nhân, đặc trưng địa lý, khí hậu; đồng thời ghi nhận các yếu tố thường xuyên xuất hiện như phong thủy, hướng, không gian thờ tự,…[13]. Trong một nghiên cứu khác, luận án tiến sĩ của Nguyễn Song Hoàn Nguyên đã xây dựng khung giá trị mang tính hệ thống và logic, được xem là mô hình đánh giá đa tác nhân. Bộ khung này không chỉ phân tách rõ hai nhóm giá trị hiển thị và phi hiển thị trong kiến trúc, mà còn cho phép xem xét đồng thời các yếu tố vật thể, xã hội và tinh thần, thể hiện mối tương tác đa chiều giữa công năng, hình thức với giá trị văn hóa qua chín yếu tố: Tự nhiên; đa năng; truyền thống gia đình; cộng đồng; văn hóa thờ cúng; sinh lợi; hiếu khách; phong thủy; và tư hữu. Nhờ đó, bộ khung này được đánh giá là tương đối đầy đủ và linh hoạt, vừa có khả năng phân tích chiều sâu bản sắc kiến trúc truyền thống, vừa tạo nền tảng cho việc thiết lập công cụ đánh giá, bảo tồn và định hướng thiết kế thích ứng với bối cảnh địa phương, đặc biệt là trong nghiên cứu kiến trúc nhà ở truyền thống Huế [4].

3.2. Xây dựng khung tham chiếu

Trên cơ sở tổng quan, nghiên cứu xây dựng khung tham chiếu giá trị kiến trúc NVTTH theo hướng kết hợp giữa tính phổ quát của kiến trúc truyền thống và đặc thù văn hóa Huế. Cách tiếp cận này nhằm đảm bảo tính khoa học và khả năng ứng dụng, thay vì chỉ dựa vào tần suất xuất hiện của các tiêu chí. Các yếu tố xã hội - kinh tế như tính cộng đồng và tính sinh lợi được xem là lớp phân tích mở rộng và không đưa vào khung chính.

Khung tham chiếu gồm hai nhóm: giá trị công năng (phi hiển thị) và giá trị hình thức (hiển thị), phản ánh hai phương diện cơ bản của kiến trúc: hệ giá trị văn hóa - xã hội và biểu hiện vật chất - kỹ thuật.

3.2.1. Nhóm giá trị công năng

Nhóm giá trị công năng được xây dựng từ sự kết hợp giữa yếu tố phổ quát và đặc thù. Bốn yếu tố phổ quát gồm: dung hòa với tự nhiên, đa năng linh hoạt, truyền thống gia đình và văn hóa tín ngưỡng, phản ánh mối quan hệ giữa con người, môi trường và văn hóa trong NVTTH.

Ba yếu tố đặc thù của NVTTH gồm: phong thủy, tư hữu và hiếu khách. Phong thủy định hướng cấu trúc và tổ chức không gian, tư hữu thể hiện qua hệ thống ranh giới khép kín (cổng, hàng rào, bình phong), và hiếu khách được thể hiện qua không gian tiếp khách và nghi lễ ứng xử truyền thống.

Các yếu tố như tính cộng đồng và tính sinh lợi không được đưa vào khung chính do thuộc lớp phân tích xã hội - kinh tế rộng hơn và sẽ được xem xét trong các nghiên cứu tiếp theo. Trên cơ sở đó, nhóm giá trị công năng gồm 7 yếu tố được sử dụng như công cụ nhận diện đặc trưng tổ chức không gian và tư duy sống của NVTTH (Bảng 1).

Bảng 1. Khung tham chiếu giá trị công năng

Yếu tố	Mục đích phân tích
Dung hòa với tự nhiên	Xác định mối quan hệ giữa công trình và cảnh quan như bố cục ngôi nhà - sân vườn, hướng nhà, thông gió, vi khí hậu.
Đa năng –	Nhận diện đa chức năng của không gian (ở -

linh hoạt	sản xuất - sinh hoạt).
Truyền thống gia đình	Thể hiện nề nếp gia phong, tính tầng bậc nhà trên, dưới. Chỗ ngủ đàn ông, phụ nữ, chỗ thờ cúng và tập quán sinh hoạt.
Tính tư hữu	Phân tích yếu tố ranh giới, mô hình cư trú - sản xuất, độc lập, khép kín.
Văn hóa thờ cúng	Xác định không gian linh thiêng, vị trí bàn thờ tổ tiên, thờ thần linh, thờ táo quân trong văn hóa tín ngưỡng.
Tính hiếu khách	Phân tích bố trí không gian tiếp khách, nghỉ ngơi, lưu trú của khách, thể hiện văn hóa hiếu khách.
Thuật phong thủy	Đánh giá cấu trúc theo các nguyên lý phong thủy truyền thống

3.2.2. Nhóm giá trị hình thức

Bên cạnh giá trị công năng, nhóm giá trị hình thức được xây dựng nhằm nhận diện các biểu hiện vật chất và thẩm mỹ của NVTTH, gồm hai yếu tố chính:

- Kỹ thuật truyền thống: phản ánh cấu trúc, vật liệu và kỹ thuật thi công bản địa, tiêu biểu là hệ kết cấu nhà rường với mộng gỗ tinh xảo, khả năng tháo lắp linh hoạt và tính điển hình cao. Đây là biểu hiện của tri thức xây dựng và tay nghề thủ công địa phương.

- Nghệ thuật tạo hình: thể hiện qua tỷ lệ, bố cục, trang trí và tổ hợp hình khối, phản ánh đồng thời thẩm mỹ và biểu tượng văn hóa của chủ thể.

Nhóm giá trị này cho phép tiếp cận NVTTH như một chỉnh thể thống nhất giữa kỹ thuật và thẩm mỹ (Bảng 2). Khung tham chiếu không chỉ là công cụ nhận diện giá trị, mà còn hỗ trợ so sánh mức độ bảo tồn và biến đổi giữa các công trình, qua đó xác định các yếu tố cần ưu tiên bảo tồn và định hướng thiết kế thích ứng trong bối cảnh đô thị hóa.

Bảng 2. Khung tham chiếu giá trị hình thức

Yếu tố	Mục đích phân tích
Kỹ thuật truyền thống	Nhận diện cấu trúc, vật liệu, kỹ thuật thi công, tính địa phương và khả năng tháo lắp.
Nghệ thuật tạo hình	Đánh giá tính thẩm mỹ qua trang trí hoa văn, màu sắc, tính vần luật, tổ hợp hình học, tỷ lệ.

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

4.1. Cơ sở chọn bốn công trình nhà vườn truyền thống

Nghiên cứu lựa chọn bốn NVTTH tiêu biểu tại Huế theo phương pháp nghiên cứu trường hợp điển hình. Các công trình được chia thành hai nhóm theo vị trí, chức năng và hình thức sở hữu, đại diện cho hai trạng thái chính: bảo tồn và biến đổi, nhằm phục vụ so sánh theo các tiêu chí phân tích (Hình 1).

- Nhóm 1 (bảo tồn - khai thác du lịch): gồm nhà vườn An Hiên và Lạc Tịnh Viên. Đây là các công trình có giá trị kiến trúc, văn hóa cao, được bảo tồn tốt và phục vụ tham quan du lịch, đại diện cho hai mô hình: bảo tồn kết hợp du lịch và bảo tồn thuần túy. Các công trình vẫn duy trì tương đối nguyên vẹn bố cục, cấu trúc và cảnh quan đặc trưng.

- Nhóm 2 (nhà ở tư nhân): gồm NVTTH số 9 Ngô Thời Nhậm và 44 Lê Thánh Tôn, nằm trong khu vực kinh thành. Đây là nhóm nhà đang sử dụng thực tế, chịu tác động trực tiếp của đô thị hóa, có cải tạo để thích ứng nhu cầu hiện đại nhưng vẫn giữ các yếu tố cơ bản của nhà vườn truyền thống.

Bốn trường hợp không nhằm đại diện về số lượng mà phản ánh phổ biến đổi từ bảo tồn nguyên trạng đến thích ứng linh hoạt, phục vụ so sánh định tính theo khung tham chiếu.



Nhà vườn An Hiên



Nhà vườn Lạc Tịnh Viên



Nhà vườn số 9 Ngô Thời Nhậm



Nhà vườn 44 Lê Thánh Tôn

Hình 1. Hình ảnh các NVTTH được khảo sát

Nhà vườn An Hiên (58 Nguyễn Phúc Nguyên) là phủ đệ hoàng tộc hình thành đầu thế kỷ XX, hiện thuộc sở hữu khách sạn Silk Path. Công trình được bảo tồn tốt, giữ nguyên bố cục nhà - vườn - cổng - bình phong - bể cạn và khai thác tham quan, là điển hình của mô hình bảo tồn gắn với du lịch [10].

Nhà vườn Lạc Tịnh Viên (65 Phan Đình Phùng) được khởi lập từ năm 1889 bởi Nguyễn Phước Hồng Khẳng. Công trình duy trì sự hài hòa giữa các thành phần kiến trúc (cổng, ngõ, bình phong, nhà chính Hy Trần Trai và hai nhà phụ), sử dụng vật liệu địa phương và thống nhất về hình thức. Đây là di tích kiến trúc nghệ thuật cấp tỉnh (2007) [17], [9].

Nhà số 9 Ngô Thời Nhậm (1938), vẫn giữ bố cục nhà rường ba gian hai chái, xoay hướng Đông Nam. Không gian chính phục vụ thờ tự được bảo tồn gần như nguyên trạng, trong khi nhà phụ được cải tạo để thích ứng sinh hoạt hiện đại (ví dụ gác lửng chống lũ). Công trình là ví dụ điển hình của mô hình tự bảo tồn kết hợp thích ứng [16].

Nhà số 44 Lê Thánh Tôn (khoảng 1936), thuộc sở hữu của một vị tiến sĩ triều Nguyễn, có bố cục linh hoạt khi nhà quay hướng Đông Nam thay vì theo trục đường chính. Hình thức mặt đứng có tầng và gác lửng, phản ánh sự điều chỉnh phù hợp với bối cảnh đô thị.

Do giới hạn số lượng mẫu (4 công trình), kết quả nghiên cứu mang tính điển cứu. Các kết luận chủ yếu có giá trị gợi ý và cần kiểm chứng thêm trong các nghiên cứu mở rộng.

4.2. Áp dụng khung tham chiếu

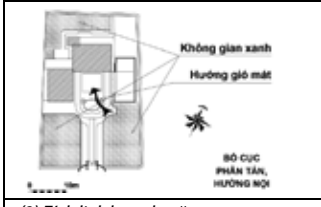
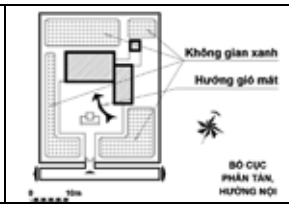
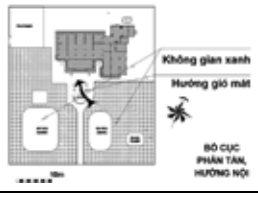
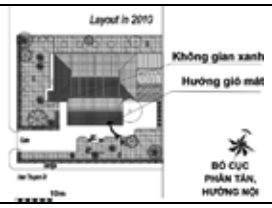
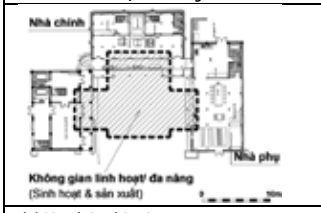
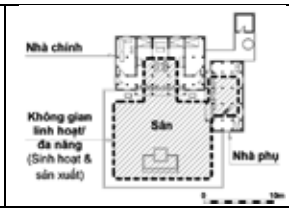
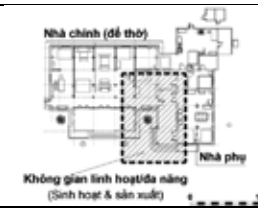
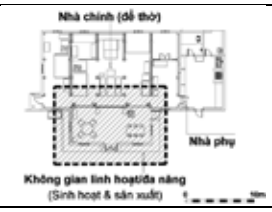
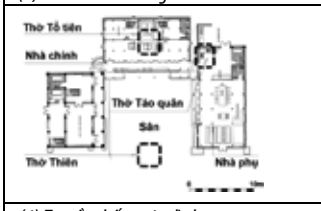
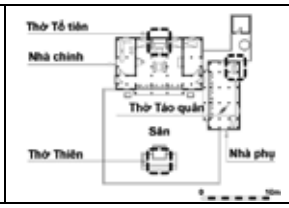
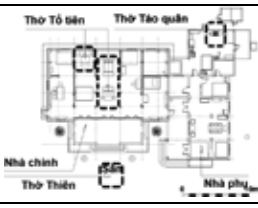
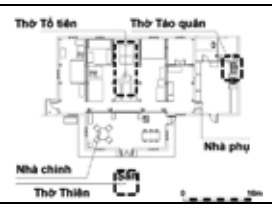
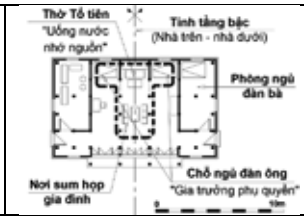
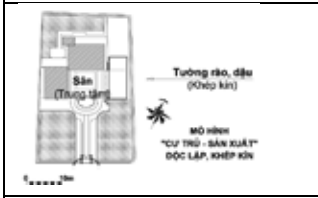
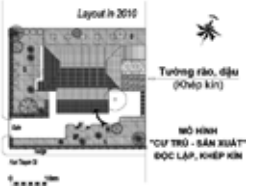
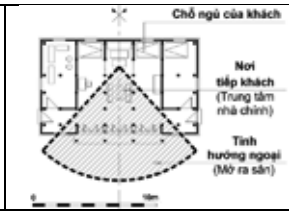
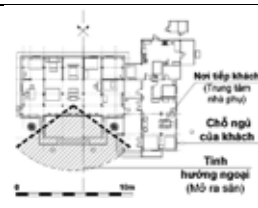
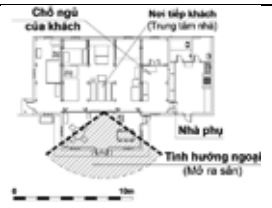
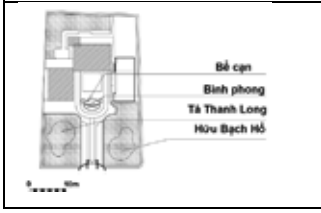
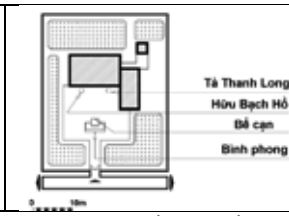
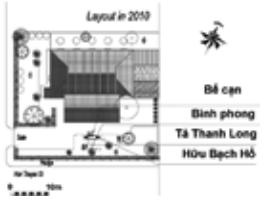
Khung tham chiếu được sử dụng như công cụ phân tích có cấu trúc rõ ràng và phù hợp thực tiễn. Khung bao quát hai chiều: công năng (tổ chức không gian, sinh hoạt, tín ngưỡng, phong thủy) và hình thức (kỹ thuật, thẩm mỹ), giúp tránh thiên lệch khi đánh giá. Đồng thời, khung có tính linh hoạt, cho phép điều chỉnh theo từng trường hợp và bối cảnh biến đổi. Với khả năng ứng dụng cao, đây là cơ sở để xây dựng bộ tiêu chí đánh giá, phục vụ thiết kế, bảo tồn và phát triển NVTTH theo hướng thích ứng, bền vững và giữ gìn bản sắc đô thị di sản.

4.3. Giá trị cốt lõi NVTTH

4.3.1. Kết quả phân tích theo khung giá trị công năng

Bảng 3 minh họa các thuộc tính theo khung giá trị công năng ở 4 NVTTH được khảo sát. Dưới đây là nội dung phân tích theo từng thuộc tính.

Bảng 3. Minh họa các thuộc tính theo khung giá trị công năng ở 4 NVTTH

NVTTH Lạc Tịnh Viên	*NVTTH An Hiên*	*NVTTH số 9 Ngô Thời Nhậm*	*NVTTH số 44 Lê Thánh Tôn*
(1) Tính dung hòa thiên nhiên			
			
(2) Tính linh hoạt đa năng			
			
(3) Văn hóa thờ cúng			
			
(4) Truyền thống gia đình			
			
(5) Tính tư hữu			
			
(6) Tính hiếu khách			
			
(7) Nguyên tắc Phong thủy			
			

(1) Dung hòa với tự nhiên: Các công trình đều có bố cục "nhà trong vườn", nhà chính đặt trung tâm, bao quanh bởi cây xanh, thường xoay hướng Nam hoặc Đông Nam để đón gió. Cách tổ chức này tạo vi khí hậu mát mẻ, riêng tư, thể hiện rõ mối quan hệ hài hòa giữa kiến trúc và cảnh quan, đặc trưng phổ biến của nhà ở truyền thống Việt Nam.

(2) Đa năng - linh hoạt: Không gian sân vườn không chỉ điều hòa khí hậu mà còn phục vụ sinh hoạt, sản xuất quy mô hộ gia đình. NVTTH vượt ra khỏi chức năng cư trú đơn thuần, mà trở thành không gian đa năng gắn với đời sống xã hội và duy trì lối sống truyền thống.

(3) Văn hóa thờ cúng: Không gian thờ tự bố trí trang trọng tại gian giữa nhà chính, thể hiện sự kết nối với tổ tiên [14]. Nhiều nhà kết hợp thờ Phật và gia tiên (tượng Quan Âm đặt trước), cùng với thờ Táo quân ở bếp và thờ thần linh ngoài sân.

(4) Truyền thống gia đình: Thể hiện qua cấu trúc không gian phân tầng (trên - dưới, trái - phải) theo quan niệm Nho giáo và nguyên lý âm - dương. Nhà trên dành cho nam giới, là nơi thờ cúng, tiếp khách, trong khi nhà dưới dành cho nữ giới, phục vụ sinh hoạt; đồng thời phản ánh mô hình gia trưởng - phụ quyền, trong đó không gian trung tâm gắn với vai trò nam giới và quyền trưởng nam.

(5) Tính tư hữu: Mỗi NVTTH có ranh giới rõ ràng (cổng, hàng rào, bình phong), tạo không gian khép kín nhưng hài hòa cảnh quan. Chủ thể kiểm soát toàn bộ không gian sống; việc phân chia đất trong gia đình có thể dẫn đến phân mảnh nhưng vẫn giữ nguyên tắc khép kín.

(6) Tính hiếu khách: Gian giữa vừa là nơi thờ cúng vừa tiếp khách, với bố trí bàn trà trước ban thờ, tạo không gian trang nghiêm nhưng gần gũi. Nhiều nhà có không gian phụ cho khách lưu trú, thể hiện truyền thống hiếu khách và coi khách như người thân.

(7) Nguyên tắc phong thủy: Các công trình thường xoay hướng Nam/Đông Nam hoặc hướng có mặt nước. Các yếu tố như bình phong (tiền án), bể cạn (minh đường), cùng bố trí yếu tố Thanh Long - Bạch Hổ tạo nên hệ cấu trúc phong thủy nhằm cân bằng và bảo vệ không gian sống.

4.3.2. Phân tích theo khung giá trị hình thức

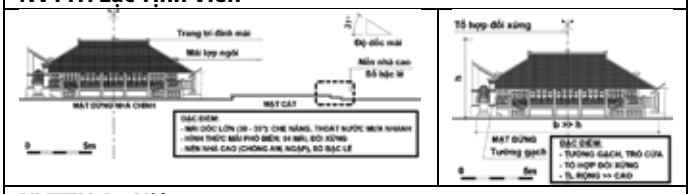
Phân tích theo khung giá trị hình thức thể hiện trên 2 nhóm yếu tố là kỹ thuật truyền thống và nghệ thuật tạo hình (Bảng 4).

Kỹ thuật truyền thống: Kiến trúc nhà rường thể hiện tính linh hoạt cao nhờ kết cấu mộng gỗ, cho phép tháo lắp, di dời và phục dựng. Hệ kết cấu được điển hình hóa theo mô-đun (1 gian - 2 chái, 3 gian - 2 chái, 5 gian - 2 chái), tạo tính chuẩn hóa và thuận tiện thay thế cấu kiện. Vật liệu mang tính bản địa rõ rệt (gỗ mít, gỗ lim, ngói liệt, ngói âm dương, vôi vữa, gạch nung), phù hợp khí hậu và dễ bảo trì. Kỹ thuật chế tác thủ công với các dạng mộng truyền thống và chạm khắc tinh xảo (tứ linh, tứ quý, bát bửu) phản ánh trình độ nghề và thẩm mỹ địa phương.

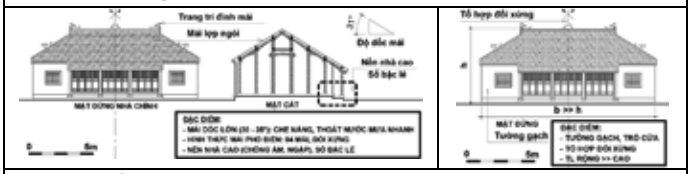
Nghệ thuật tạo hình: Hoa văn trang trí chủ yếu là tứ linh, tứ quý, bát bửu, được chạm lộng, chạm nổi hoặc khảm sành sứ, mang ý nghĩa biểu tượng và triết lý sống. Màu sắc thiên về tông tự nhiên: nâu gỗ, vàng nhạt, trắng ngà, ngói đỏ nâu hoặc xám rêu, tạo cảm giác ấm cúng và cổ kính. Bố cục kiến trúc mang tính đăng đối, trục chính rõ ràng, tỷ lệ hài hòa giữa mái - thân - nền. Công trình thường phát triển theo phương ngang, tạo chiều sâu không gian. Hình học cơ bản (vuông, tròn, lục giác) được sử dụng trong trang trí, biểu trưng cho trật tự, tính thiêng và sự bền vững trong văn hóa phương Đông.

Bảng 4. Minh họa các yếu tố hình thức trong 4 NVTTH được khảo sát

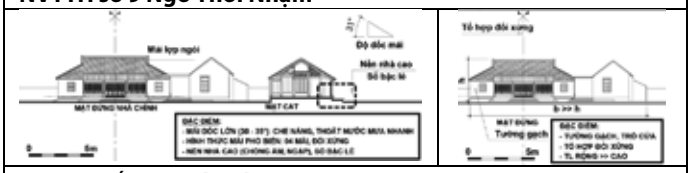
NVTTH Lạc Tịnh Viên



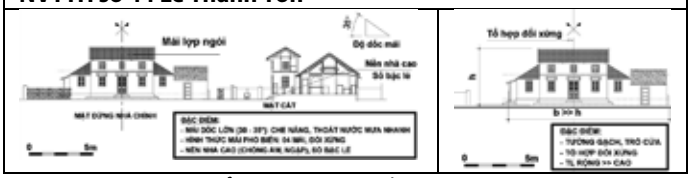
NVTTH An Hiên



NVTTH số 9 Ngô Thời Nhậm



NVTTH số 44 Lê Thánh Tôn



4.3.3. So sánh và tổng hợp giá trị kiến trúc

Trên cơ sở phân tích các tiêu chí, nghiên cứu tiến hành tổng hợp và so sánh mức độ bảo tồn giá trị. Bảng 5 cho thấy sự khác biệt rõ giữa hai nhóm: nhóm bảo tồn kết hợp du lịch (An Hiên, Lạc Tịnh Viên) và nhóm nhà ở thuần túy (số 9 Ngô Thời Nhậm, số 44 Lê Thánh Tôn). Thang đánh giá được xây dựng từ khảo sát thực địa kết hợp đối chiếu các tiêu chí định tính trong khung tham chiếu.

Bảng 5. So sánh mức độ bảo tồn và biến đổi các giá trị kiến trúc trong 4 NVTTH được khảo sát

Giá trị	NVTTH An Hiên	NVTTH Lạc Tịnh Viên	NVTTH số 9 Ngô Thời Nhậm	NVTTH số 44 Lê Thánh Tôn	Nhận xét
Tính dung hòa thiên nhiên	*Cao*	*Cao*	*Trung bình*	*Trung bình*	Suy giảm do ảnh hưởng đô thị hóa
Tính linh hoạt/ Đa năng	*Cao*	*Trung bình*	*Cao*	*Cao*	Tăng tính thích ứng đối với nhà ở thực tế
Văn hóa thờ cúng	*Rất cao*	*Rất cao*	*Cao*	*Rất cao*	Giá trị ổn định, ít biến đổi
Truyền thống gia đình	*Cao*	*Rất cao*	*Trung bình*	*Trung bình*	Bị ảnh hưởng do cải tạo
Tính tư hữu	*Trung bình*	*Cao*	*Cao*	*Cao*	Tăng theo xu hướng đô thị hóa
Tính hiếu khách	*Cao*	*Cao*	*Trung bình*	*Trung bình*	Giảm trong nhà ở thuần túy
Nguyên tắc Phong Thủy	*Cao*	*Cao*	*Trung bình*	*Cao*	Bị suy giảm một phần
Kỹ thuật truyền thống	*Rất cao*	*Rất cao*	*Cao*	*Cao*	Giảm khi thay đổi vật liệu
Nghệ thuật tạo hình	*Cao*	*Rất cao*	*Trung bình*	*Cao*	Phụ thuộc mức độ bảo quản

Các giá trị văn hóa tín ngưỡng, đặc biệt là thờ cúng và phong thủy, được duy trì ổn định ở cả bốn công trình, cho thấy tính bền vững cao và ít chịu tác động của đô thị hóa hay thay đổi công năng. Ngược lại, các giá trị liên quan đến tổ chức không gian và sinh hoạt như truyền thống gia đình, hiếu khách và dung hòa tự nhiên suy giảm rõ ở nhóm nhà trong đô thị. Quá trình cải tạo phục vụ nhu cầu hiện đại đã làm biến đổi cấu trúc không gian, thu hẹp diện tích vườn và hạn chế các nguyên tắc tổ chức truyền thống.

Tính tư hữu có xu hướng gia tăng với nhà ở thuần túy, thể hiện qua không gian khép kín hơn; trong khi các công trình du lịch có xu hướng "mở" để phục vụ khách tham quan. Về hình thức, kỹ thuật truyền thống và nghệ thuật tạo hình được bảo tồn tốt ở các công trình có đầu tư chuyên nghiệp, nhưng suy giảm ở các trường hợp cải tạo tự phát.

Từ đó, có thể phân loại các giá trị kiến trúc NVTTH thành ba nhóm: (1) ổn định (thờ cúng, phong thủy); (2) biến đổi có kiểm soát (kỹ thuật, tạo hình); và (3) dễ suy giảm (không gian tự nhiên, hiếu khách, cấu trúc truyền thống). Phân loại này là cơ sở quan trọng cho định hướng bảo tồn và thiết kế thích ứng trong bối cảnh đô thị hóa.

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã nhận diện đặc điểm và giá trị cốt lõi của NVTTH thông qua khung tham chiếu gồm hai nhóm: công năng và hình thức. Kết quả cho thấy NVTTH không chỉ là nơi cư trú mà còn phản ánh triết lý sống, tín ngưỡng, phong tục và mối quan hệ hài hòa giữa con người, ngôi nhà và thiên nhiên. Các yếu tố như bố cục "nhà - bình phong - bể cạn - vườn - cổng", trật tự không gian, cùng kỹ thuật thủ công và nghệ thuật tạo hình góp phần tạo nên bản sắc đô thị Huế.

Tuy nhiên, đô thị hóa và hiện đại hóa đang làm biến dạng hoặc mai một các giá trị này. Do đó, việc xây dựng khung tham chiếu đánh giá là cần thiết nhằm định hướng bảo tồn và phát huy giá trị kiến trúc nhà ở truyền thống, đồng thời hỗ trợ phát triển đô thị Huế theo hướng thích ứng, bền vững và giữ gìn bản sắc.

Nghiên cứu đã đề xuất và kiểm nghiệm khung tham chiếu giá trị tích hợp thông qua các trường hợp điển hình, qua đó làm rõ xu hướng bảo tồn và biến đổi của NVTTH, đồng thời cung cấp cơ sở khoa học cho các định hướng thiết kế và bảo tồn trong bối cảnh đô thị hóa.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] A. E. Williams. Towards a Methodology for Values-Based Architecture. Proceedings of the 6th International Conference on Hamonisation between Architecture and Nature, WIT Transactions on The Built Environment, vol. 161, WIT Press, ISSN 1743-3509, 2016, doi: 10.2495/ARC160011.

[2] Miki Yoshizumi, Tung Ngoc Nguyen. Hirohide Kobayashi, Huy Quang Nguyen and Masami Kobayshi. Sustainability of Community Linkage in History Old Quarters under Urbanization: Case Study on the Neighborhood Community in Gia Hoi Area of Hue City, Central Vietnam, Proceedings of the 8th International Symposium on Architectural Interchanges in Asia. C-01, pp. 611-616, 2010. Kitakyushu, Japan.

[3] Nguyễn Quang Minh. Bảo tồn hệ giá trị kiến trúc của năm giai đoạn phát triển kiến trúc Việt Nam - phát huy và đổi mới yếu tố truyền thống trong kiến trúc đương đại. Tạp chí Kiến trúc, số 8/2025. Internet: https://www.tapchikientruc.com.vn/chuyen-muc/bao-ton-he-gia-tri-kien-truc-cua-nam-giai-doan-phat-trien-kien-truc-viet-nam-phat-huy-va-doi-moi-yeu-to-truyen-thong-trong-kien-truc-duong-dai.html (truy cập: 30/4/2026).

[4] Nguyễn Song Hoàn Nguyên. Đặc trưng khai thác văn hóa truyền thống trong kiến trúc nhà ở tại các đô thị lớn Việt Nam. Luận án Tiến sĩ chuyên ngành Kiến trúc, Trường Đại học Kiến trúc TP.HCM, Mã số 62.58.01.02, GVHD: PGS.TS.KTS Lê Thanh Sơn và PGS.TS.KTS Trịnh Duy Anh, 2016.

[5] Olukoya, O. A. P. Framing the Values of Vernacular Architecture for a Value-Based Conservation: A Conceptual Framework. Sustainability, 13(9), 4974, 2021, https://doi.org/10.3390/su13094974 (truy cập: 30/4/2026).

[6] Phạm Hoàng Phương. Quản lý công trình kiến trúc có giá trị từ kinh nghiệm quốc tế đến định hướng thực tiễn tại Việt Nam, Vietnamarchi.vn, số 248, 249, tr. 32-35, 2024. Internet: https://vietnamarchi.vn/quan-ly-cong-trinh-kien-truc-co-gia-tri-tu-kinh-nghiem-quoc-te-den-dinh-huong-thuc-tien-tai-viet-nam-1068.html (truy cập: 30/4/2026).

[7] Saleem M. Dahabreh. Understanding architectural form: a conceptual framework, 5th International Conference on Modern Approaches in Science, Technology and Engineering. Germany, Berlin, pp. 48-61, 2019. Internet: https://www.dpublication.com/wp-content/uploads/2019/08/19-419STE.pdf (truy cập: 30/4/2026).

[8] Ngô Viết Nam Sơn. Xác định các tiêu chí cơ bản của kiến trúc thế kỷ 21, website Viện Kiến trúc Quốc gia, 2021. Internet: https://vienkientrucquocgia.gov.vn/xac-dinh-cac-tieu-chi-co-ban-cua-kien-truc-the-ky-21/ (truy cập: 30/4/2026).

[9] Trần Đức Anh Sơn. Người giữ hồn của Huế xưa, Trần Đức Anh Sơn's Cultural History and Scholarship Blog, 2017. Internet: https://anhsontranduc.wordpress.com/2017/02/05/nguoi-giu-hon-cua-hue-xua/ (truy cập: 30/4/2026).

[10] Hà Thành. An Hiên - mái hiên yên bình. Tạp chí Kiến trúc, 2018. Internet: https://www.tapchikientruc.com.vn/chuyen-muc/an-hien-mai-hien-yen-binh.html (truy cập: 30/4/2026).

[11] Thủ tướng Chính phủ. Nghị định số 85/2020/NĐ-CP ngày 17/7/2020 về việc Quy định chi tiết một số điều của Luật Kiến trúc. Internet: https://thuvienphapluat.vn/van-ban/Xay-dung-Do-thi/Nghi-dinh-85-2020-ND-CP-huong-dan-Luat-Kien-truc-447676.aspx?anchor=dieu_3 (truy cập: 30/4/2026).

[12] Nguyễn Mai Trang. Điểm tương đồng và khác biệt trong kiến trúc nhà truyền thống Huế ở phố cổ và nhà Machiya ở Kyoto. Luận văn Thạc sĩ khoa Kiến trúc, Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế, 2023.

[13] Nguyễn Ngọc Tùng. Di sản nhà vườn truyền thống Huế trong bối cảnh hiện tại và giải pháp bảo tồn thích ứng. Tạp chí Kiến trúc, số 02, tr. 30-35, 2024, ISSN 0866-8617.

[14] Nguyễn Ngọc Tùng, Phạm Mạnh Hùng. Huế trong quá trình hình thành và trở thành đô thị di sản trực thuộc Trung ương, Tạp chí Xây dựng, số 01, tr. 48-53, 2025, ISSN: 2734-9888.

[15] Nguyen Ngoc Tung. Hirohide Kobayashi. Spatial transformation of traditional garden houses in Hue Citadel, Vietnam. Proceedings of International Conference on Vernacular Heritage, Sustainability and Earthen Architecture VerSus2014. Valencia, Spain. Printed in the book "Vernacular architecture: Towards a sustainable future". @ 2015 Taylor & Francis Group, London, UK. ISBN: 978-1-138-02682-7, pp. 543-549, 2014.

[16] Nguyen Ngoc Tung. Hirohide Kobayashi. Masami Kobayashi. no. 9 Ngo Thoi Nham Street: the evolution of a traditional garden house in Hue, Vietnam. Sansai - An Environmental Journal for the Global Community. no. 6: pp. 65-84, 2012, Graduate School of Global Environmental Studies, Kyoto University.

[17] UBND tỉnh Thừa Thiên Huế. Quyết định số 2235/QĐ-UBND ngày 28/9/2007 về việc công nhận Lạc Tịnh Viên là Di tích Kiến trúc Nghệ thuật cấp tỉnh.

■Ngày nhận bài: 03/4/2026 ■Ngày sửa bài: 18/4/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 04/5/2026

Giải pháp kiến trúc cho không gian sinh hoạt cộng đồng thân thiện với người cao tuổi trong các khu chung cư cao tầng

Architectural design solution for age - friendly community spaces in apartment complexes

> THS.KTS NGUYỄN VĂN MINH
Trường Đại học Hàng hải Việt Nam
Email: minhnv.ctt@vimaru.edu.vn

TÓM TẮT

Trong bối cảnh đô thị hóa và già hóa dân số, việc xây dựng môi trường sống thân thiện với người cao tuổi trong các chung cư là hết sức cần thiết. Không gian cộng đồng đóng vai trò quan trọng trong việc nâng cao sức khỏe thể chất và tinh thần; tuy nhiên, thực tế vẫn còn nhiều hạn chế về khả năng tiếp cận, tính an toàn và mức độ phù hợp đối với người cao tuổi. Bài báo tập trung phân tích nhu cầu đặc thù của người cao tuổi và đánh giá thực trạng không gian cộng đồng tại một số chung cư cao tầng. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất các giải pháp kiến trúc cốt lõi, bao gồm tổ chức không gian hợp lý, cải thiện cảnh quan, tối ưu hóa giao thông nội bộ và bố trí các tiện ích hỗ trợ nhằm nâng cao mức độ an toàn và tăng cường tương tác xã hội. Kết quả nghiên cứu là cơ sở cho việc thiết kế và cải tạo các chung cư thân thiện với người cao tuổi, góp phần nâng cao chất lượng sống và thúc đẩy phát triển đô thị bền vững.

Từ khóa: Không gian sinh hoạt cộng đồng; không gian thân thiện với cao tuổi; cải tạo chung cư; đô thị hóa.

ABSTRACT

Amidst rapid urbanization and population aging, creating age-friendly living environments within apartment complexes has become imperative. While community spaces significantly enhance the physical and mental well-being of the elderly, current realities reveal substantial limitations concerning accessibility, safety, and functional suitability.

This paper focuses on analyzing the specific needs of older adults and evaluating the current state of community spaces in selected high-rise apartment complexes. Consequently, the study proposes core architectural solutions: rational spatial organization, landscape enhancement, internal circulation optimization, and the provision of supporting amenities to maximize safety and foster social interaction. The research findings provide a practical framework for designing and retrofitting age-friendly apartment buildings, thereby elevating the quality of life and contributing to sustainable urban development.

Keywords: Community space; age-friendly environment; apartment retrofitting; Urbanization.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

1.1. Không gian giao tiếp - vận động trong nhà

Mặc dù nhu cầu sinh hoạt của người cao tuổi tại các chung cư cao tầng là rất lớn, thực trạng thiết kế không gian chung hiện nay lại bộc lộ sự bất cập và thiếu hụt trầm trọng. Môi trường sống trên cao vốn dễ gây cảm giác tù túng, đòi hỏi các không gian chuyên biệt để người già thư giãn, duy trì thể chất và kích thích trí tuệ. Tuy nhiên, các thiết chế cốt lõi như phòng sinh hoạt cộng đồng đa phần đang bị xem nhẹ, sử dụng sai công năng hoặc tổ chức dưới dạng hỗn hợp, ồn ào. Sự vắng bóng các không gian được đầu tư đúng mức, dành riêng cho hoạt động thể thao trí tuệ (đánh cờ, đọc sách), câu lạc bộ hay sinh hoạt đoàn thể đã làm đứt gãy môi trường giao tiếp và trao đổi thông tin. Nghịch lý thiết kế này không chỉ bỏ ngỏ nhu cầu chăm sóc tinh thần mà còn đẩy người lớn tuổi vào tình trạng cô lập, suy giảm chất lượng sống ngay trong chính cộng đồng của mình.

1.2. Không gian giao tiếp - vận động ngoài trời

Trong bối cảnh đô thị hóa và sự phát triển mạnh mẽ của các mô hình nhà ở cao tầng, hệ thống không gian mở bao gồm sân trong, tuyến dạo bộ, vườn cảnh quan và quảng trường nội khu đang đóng vai trò là những hạt nhân giao tiếp xã hội mang tính cốt lõi. Về mặt chức năng, đây được định hình là các không gian sinh hoạt hỗn hợp, phục vụ một cấu trúc nhân khẩu học đa dạng đa lứa tuổi. Tuy nhiên, đối với nhóm cư dân cao tuổi - một tệp người sử dụng mang những đặc trưng tâm sinh lý và năng lực thể chất suy giảm - các hoạt động ngoài trời của họ thường thiên về hình thức tĩnh, mang tính cá nhân hoặc diễn ra trong các nhóm quy mô nhỏ. Khảo sát thực tiễn tại nhiều dự án chung cư hiện nay, từ khu vực lõi đô thị trung tâm đến các vùng ven, bộc lộ một sự

thiếu hụt nghiêm trọng về các không gian cảnh quan chuyên biệt. Phần lớn các giải pháp quy hoạch phân khu vẫn mang tính cào bằng, chưa chú trọng ứng dụng các tiêu chuẩn thiết kế thân thiện với người lớn tuổi. Điều này trực tiếp tạo ra những rào cản vật lý lẫn tâm lý, khiến nhóm cư dân này bị hạn chế khả năng tiếp cận không gian công cộng. Do đó, việc nghiên cứu chuyên sâu và thiết lập một khung tiêu chuẩn quy hoạch nhằm kiến tạo không gian ngoài trời hiệu quả, đáp ứng chính xác nhu cầu của người cao tuổi là một đòi hỏi vô cùng cấp thiết đối với kiến trúc đô thị bền vững.

Quá trình tương tác giữa người cao tuổi và môi trường cảnh quan chịu sự chi phối mạnh mẽ bởi các yếu tố vi khí hậu. Sự suy giảm về chức năng sinh lý khiến cơ thể người già mất đi khả năng điều hòa thân nhiệt linh hoạt, do đó họ đặc biệt nhạy cảm với sự biến thiên của thời tiết. Một không gian kiến trúc cảnh quan đạt chuẩn cần phải thiết lập được điều kiện tiện nghi nhiệt tối ưu: bức xạ mặt trời ở mức độ vừa phải, thông gió tự nhiên hiệu quả, nhiệt độ ôn hòa và nồng độ bụi mịn được kiểm soát ở ngưỡng an toàn. Theo các lý thuyết về kiến trúc hành vi, chất lượng của tiện nghi môi trường ngoài trời quyết định trực tiếp đến tần suất tham gia các nhóm hoạt động tự chọn, giải trí và hoạt động giao tiếp xã hội [1]. Khi xuất hiện các điều kiện thời tiết cực đoan như nắng gắt, gió giật, mưa lớn hoặc độ ẩm không khí tăng cao, người cao tuổi sẽ sinh ra tâm lý e ngại, giảm hứng thú rời khỏi không gian trong nhà. Để giải bài toán vi khí hậu này, các đồ án quy hoạch cần tích hợp chặt chẽ giữa cấu trúc sinh thái và kiến trúc: bố trí thảm thực vật, cây xanh bóng mát nhiều tầng tán, kết hợp cùng các mảng mái che nhằm điều hòa nhiệt độ khu vực và duy trì môi trường vận động ổn định.

Bên cạnh yếu tố vi khí hậu, hình thái không gian và vật liệu bề mặt là những biến số cốt lõi trong quy hoạch cảnh quan vi mô. Các không gian sân vườn có quy mô diện tích nhỏ hẹp hoặc thiếu tính kết nối liên tục không chỉ làm suy giảm chất lượng trải nghiệm mà còn thu hẹp biên độ vận động của người cao tuổi. Trong quy hoạch cảnh quan chỉ số an toàn là tiêu chí tối thượng. Cụ thể, hệ thống giao thông bộ hành và bề mặt sân bãi bắt buộc phải sử dụng các loại vật liệu có hệ số ma sát cao, chống trơn trượt tuyệt đối và hạn chế phản quang gây lóa mắt. Thêm vào đó, việc phân bổ các tiện ích cảnh quan phải tuân thủ nghiêm ngặt các nguyên lý công thái học. Hệ thống ghế băng nghỉ chân cần có thiết kế tựa lưng và tay vịn vững chắc, hỗ trợ tối đa cho hệ cơ xương khớp khi thực hiện thao tác đứng lên hoặc ngồi xuống. Các điểm nhấn kiến trúc phụ trợ như chòi nghỉ cần được tính toán khoảng cách phân bổ hợp lý dọc theo các tuyến dạo bộ, đóng vai trò là các trạm dừng nghỉ ngơi trung chuyển. Việc cá nhân hóa các chi tiết không gian này sẽ giúp cảnh quan tương thích hoàn toàn với thể lực giới hạn của người cao tuổi, qua đó khuyến khích họ tham gia các hoạt động thể chất và gia tăng sự gắn kết với cộng đồng chung cư.

2. THỰC TRẠNG KHÔNG GIAN HOẠT ĐỘNG TRONG VÀ NGOÀI NHÀ TẠI CÁC CHUNG CƯ HIỆN NAY

2.1. Không gian trong nhà

Không gian sinh hoạt chung trong nhà chung cư dành cho người cao tuổi sinh hoạt gần như không có hoặc nếu có thì rất sơ sài và thiếu các thiết bị, dụng cụ hỗ trợ. Sự phân định, phân tách không gian riêng biệt là không có do sự khiêm tốn về diện tích sử dụng chung.

Không gian thư viện chung thường chỉ được bố trí các tủ sách đơn giản; các loại báo chí và ấn phẩm chưa được cập nhật thường xuyên. Điều kiện chiếu sáng chưa đáp ứng tiêu chuẩn, trong khi số lượng bàn ghế phục vụ đọc sách còn hạn chế, chưa đáp ứng nhu cầu sử dụng của cư dân.



Hình 1. Phòng sinh hoạt cộng đồng



Hình 2. Không gian thư viện

Không gian hoạt động thể chất tại nhiều khu chung cư hiện nay thường được thiết kế chủ yếu phục vụ nhóm thanh thiếu niên, do đó các thiết bị thể thao được bố trí phần lớn hướng đến các hoạt động có cường độ vận động tương đối cao và chưa thực sự phù hợp với người cao tuổi. Bên cạnh đó, thiết kế không gian cũng chưa bảo đảm đầy đủ các yêu cầu an toàn trong quá trình sử dụng, như thiếu hệ thống lan can, tay vịn hỗ trợ hoặc các vị trí ghế nghỉ phù hợp. Những hạn chế này làm giảm khả năng tiếp cận và mức độ tham gia của người cao tuổi vào các hoạt động thể chất và sinh hoạt cộng đồng.



Hình 3. Không gian vận động trong nhà



Hình 4. Sân chơi bố trí thiết bị chơi cho trẻ, kết hợp với dụng cụ tập của người lớn

2.2. Không gian ngoài nhà

Không gian ngoài nhà với các góc sân chơi đa phần đều ưu tiên bố trí các dụng cụ chơi cho trẻ em, các không gian này thường có nhiều lứa tuổi trẻ vận động mạnh, chạy nhảy nên không phù hợp với sự tham gia của người cao tuổi. Một số sân chơi có bố trí kết hợp giữa dụng cụ tập của người cao tuổi, tuy nhiên thì sự kết hợp này không hợp lý do có thể dẫn tới va chạm mạnh lúc trẻ chơi với người cao tuổi có hoạt động thể chất chậm chạp.

Một số không gian nghỉ được bố trí quanh các khu chung cư, nhưng do sát các vị trí giao thông dẫn tới mất an toàn, điều kiện vệ sinh không đảm bảo nên việc sử dụng rất hạn chế, nhất là đối với người cao tuổi.

3. CÁC GIẢI PHÁP THIẾT KẾ KHÔNG GIAN CHO NGƯỜI CAO TUỔI

Để tối đa các hoạt động tích cực của người cao tuổi khi tham gia vào các hoạt động trong và ngoài nhà thì các kiến trúc sư, các nhà quy hoạch nên phát triển các giải pháp thiết kế bao dung nhằm mục đích kiến tạo các không gian sân chơi, khoảng đệm ngoài trời nhằm tạo điều kiện thuận lợi để gia tăng một cách tự nhiên các hoạt động đó [2].

3.1. Các đề xuất thiết kế cho không gian trong nhà

Tổ chức màng lọc không gian và các khoảng đệm chuyển tiếp: Cần thiết lập các không gian bán lộ thiên đóng vai trò là "khoảng đệm" giữa môi trường vi khí hậu trong nhà và ngoài trời. Các cấu trúc như sảnh hiên có mái che rộng, hành lang mở hay khu vực chuyển tiếp từ khối đế ra sân vườn giúp cơ thể người già có thời gian thích nghi với sự thay đổi nhiệt độ, tránh hiện tượng sốc nhiệt.

Tái cấu trúc và định chuẩn hóa không gian giao tiếp trong nhà: Đối với các không gian chức năng nội khu, cần chấm dứt tình trạng tổ chức phòng sinh hoạt chung mang tính hình thức. Không gian trong nhà dành cho người cao tuổi cần được module hóa và tuân thủ các quy chuẩn phân bổ diện tích để phục vụ chuyên sâu cho các hoạt động thể thao trí tuệ (cờ tướng, cờ vua), thư viện đọc sách, hoặc không gian sinh hoạt câu lạc bộ [3]. Các thiết chế này cần đáp ứng tiêu chuẩn khắt khe về chiếu sáng tự nhiên, vật liệu tiêu âm chống ồn, và sử dụng hệ thống nội thất linh hoạt để dễ dàng chuyển đổi cấu hình từ sinh hoạt cá nhân sang thảo luận nhóm hoặc hội họp đoàn thể.

Bảng 1. Các yêu cầu thiết kế không gian trong nhà

Không gian trong nhà	Nội dung yêu cầu thiết kế	Dụng cụ hỗ trợ - yêu cầu kỹ thuật
- Phòng sinh hoạt cộng đồng, Khu vực thư giãn	- Cần có diện tích đủ rộng để tổ chức các hoạt động văn hóa hoặc các lớp học kỹ năng. - Các khu vực tiện ích cho người già nên đặt gần khu vui chơi trẻ em để ông bà có thể quan sát cháu.	- Hệ thống chiếu sáng cần đầy đủ, tránh lóa (chiếu sáng chung độ rọi 300 - 400 lux, tại mặt bàn đọc 400 - 750 lux). -Các biển báo, ký hiệu phải to, rõ ràng và có màu sắc tương phản mạnh để hỗ trợ người có thị lực kém. -Bố trí bàn ghế đọc sách, nghe đài hoặc xem tivi.
- Sảnh chờ và hành lang	-Ưu tiên thiết kế mở để đón gió tươi và ánh sáng tự nhiên, giúp duy trì sinh khí và sức khỏe -Lối đi phù phù hợp giúp người cao tuổi dễ dàng khi di chuyển xa.	- Lối vào và các lối đi phải rộng tối thiểu 90 cm. - Lắp đặt tay vịn cao từ 0,9 m dọc hành lang và bố trí ghế nghỉ tại sảnh thang máy.
- Tiện ích hỗ trợ	- Cần có nhà vệ sinh ngay trong hoặc sát cạnh khu vực sinh hoạt để đảm bảo sự tiện dụng.	- Nhà vệ sinh nhỏ, kín đáo, thông thoáng và dễ sử dụng. - Có tay vịn cách sàn 90 cm.

3.2. Các đề xuất thiết kế cho không gian ngoài nhà

Thiết kế cảnh quan sinh thái và kiểm soát vi khí hậu: giải pháp ứng dụng mô hình "vườn trị liệu" kết hợp hệ sinh thái thực vật đa tầng tán. Cây xanh cần được bố trí theo nguyên lý vi khí hậu: cản gió lùa vào mùa đông và tạo bóng mát, lọc bức xạ mặt trời vào mùa hè, đồng thời hấp thụ bụi mịn. Bên cạnh đó, việc tích hợp các

cấu trúc kiến trúc vi mô như giàn hoa, mái che tại khu vực tập trung đông người là bắt buộc. Hệ thống này đảm bảo duy trì điều kiện tiện nghi nhiệt, cho phép người lớn tuổi duy trì các hoạt động ngoài trời bất chấp sự biến động cực đoan của thời tiết [4].

Ứng dụng công thái học và tiêu chuẩn an toàn vật liệu: Mọi bề mặt tiếp xúc và tiện ích cảnh quan phải tuân thủ nghiêm ngặt chỉ số an toàn và nhân trắc học [5]. Bề mặt đường dạo bắt buộc sử dụng vật liệu có hệ số ma sát cao, thoát nước bề mặt nhanh, chống rêu mốc và có độ phản quang thấp để tránh gây lóa mắt. Hệ thống tiện ích phải được thiết kế chuyên biệt: ghế băng cần có tựa lưng nghiêng góc chuẩn, tích hợp tay vịn trợ lực kép để hỗ trợ thao tác đứng lên - ngồi xuống. Các trạm nghỉ, chòi nghỉ cần được phân bổ với bán kính tiếp cận ngắn (cách nhau khoảng 20 - 30 m dọc tuyến dạo), tương thích hoàn hảo với nhịp độ vận động ngắt quãng của hệ cơ xương khớp đã lão hóa. Về mặt quy hoạch mặt bằng, cần áp dụng nguyên lý phân khu "động - tĩnh": quy hoạch các tuyến dạo bộ và không gian thư giãn của người cao tuổi tách biệt với khu vui chơi cường độ cao của trẻ em bằng các ranh giới mềm (hàng rào cây xanh, cao độ địa hình) nhằm giảm thiểu xung đột không gian và ô nhiễm tiếng ồn.

Bảng 2. Các yêu cầu thiết kế không gian ngoài nhà

Không gian ngoài nhà	Nội dung thiết kế	Dụng cụ - yêu cầu kỹ thuật
Hệ thống giao thông	- Toàn bộ lối đi phải đảm bảo tính liên hoàn, không bị chia cắt bởi bậc cấp. - Nếu thay đổi cao độ đường đi phải sử dụng ram dốc với độ dốc chuẩn cho xe lăn.	- Sử dụng vật liệu nhám, chống trơn trượt - Bố trí tay vịn cao từ 0,9 m ở các khu vực có độ dốc hoặc dọc theo các hành lang. - Ram dốc dài hơn 6 m hoặc có độ cao thay đổi lớn hơn 15 cm cần có tay vịn hai bên. - Ram dốc có độ dốc tiêu chuẩn từ 1/12 – 1/16, chiều rộng tối thiểu 1,2 m
Khu vực vận động và hồi phục sức khỏe.	- Cần không gian yên tĩnh, bề mặt bằng phẳng và sạch - Thiết kế vườn cảnh sử dụng các loại cây xanh có mùi thơm nhẹ, màu sắc rõ rệt giúp kích thích giác quan và cải thiện trí nhớ cho người già.	- Bố trí ghế nghỉ có tay vịn. - Các máy tập nhẹ nhàng, đơn giản giúp hỗ trợ vận động từ 4 m^2 - 5 m^2/1 máy tập. - Bố trí sân tập dưỡng sinh, chỗ ngồi tập yoga từ 2,5 m^2 - 3 m^2/1 người.
Khu vực ngồi chờ, giao lưu tương tác xã hội.	Các băng ghế nghỉ cần phân bổ dọc theo đường dạo, xung quanh khu chòi, không gian vườn cảnh. - Các không gian nghỉ cần tránh ánh nắng trực tiếp, gay gắt, tránh vị trí hút gió. - Tiệm cận với các khu sân chơi của trẻ để tiện người cao tuổi có thể hỗ trợ trông cháu.	- Ghế nghỉ ngoài trời có tựa lưng. - Các chòi nghỉ có mái che thoáng, tránh gió. - Cây xanh thiết kế theo tầng, lớp tạo tầm nhìn tốt, thoáng mát. - Bố trí vị trí để bàn cờ.
Tiện ích hỗ trợ.	- Hệ thống chiếu sáng - Hệ thống chỉ dẫn	- Hệ thống đèn cần bao phủ toàn bộ lối đi, tránh các góc tối gây mất an toàn hoặc khiến người già dễ vấp ngã. - Các biển báo hướng dẫn khu vực chức năng cần có kích thước chữ lớn, màu sắc tương phản mạnh để người có thị lực kém dễ nhận diện.

Tóm lại, việc triển khai đồng bộ các giải pháp quy hoạch và thiết kế đề xuất có thể góp phần khắc phục những hạn chế hiện nay trong tổ chức không gian sinh hoạt của người cao tuổi tại các khu chung cư. Việc hình thành các không gian chuyên biệt, an toàn và dễ tiếp cận sẽ tạo điều kiện thuận lợi cho người cao tuổi tham gia các hoạt động giao tiếp, giải trí và vận động phù hợp với khả năng của mình. Qua đó, góp phần tăng cường sự gắn kết cộng đồng, duy trì lối sống tích cực và nâng cao sức khỏe thể chất cũng như tinh thần của người cao tuổi [6].

4. KẾT LUẬN

Kiến tạo không gian sống thân thiện cho người cao tuổi tại chung cư là nhiệm vụ cấp bách trước bối cảnh già hóa dân số. Thay vì quy hoạch hỗn hợp cào bằng, thiết kế cảnh quan cần hướng tới sự bao dung. Việc lồng ghép các khoảng đệm chuyển tiếp cùng vườn trị liệu sẽ giúp kiểm soát vi khí hậu, duy trì sự tiện nghi cho các hoạt động ngoài trời. Đồng thời, ứng dụng công thái học vào tiện ích bề mặt và tái cấu trúc không gian trong nhà thành các mô-đun sinh hoạt trí tuệ chuyên biệt sẽ đáp ứng trọn vẹn nhu cầu thể chất lẫn tinh thần. Một đô thị đáng sống phải mang lại trải nghiệm đa giác quan, thúc đẩy gắn kết cộng đồng và đẩy lùi sự cô lập. Nghiên cứu kiến nghị cần sớm luật hóa các quy chuẩn thiết kế đặc thù, làm tiền đề xây dựng một môi trường an cư bền vững, nhân văn và thích ứng với tương lai.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Gehl, J. Cuộc sống giữa những công trình kiến trúc. NXB. Xây dựng, tr. 33, 2009.

[2] Burton, E., & Mitchell, L. Inclusive urban design: Streets for life. Routledge, 2006.

[3] Bộ Xây dựng. QCVN 04:2021/BXD - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về nhà chung cư, Hà Nội, Việt Nam, 2021.

[4] Nikolopoulou, M., & Steemers, K. Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. Energy and Buildings, 35(1), 95-101, 2003.

[5] Bộ Xây dựng. QCVN 10:2014/BXD - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về xây dựng công trình đảm bảo người khuyết tật tiếp cận sử dụng, Hà Nội, Việt Nam, 2014.

[6] Yung, E. H. K., Conejos, S., & Chan, E. H. W. Social needs of the elderly and active aging in public open spaces in urban renewal. Cities, 52, 114-122, 2016.

■Ngày nhận bài: 01/4/2026 ■Ngày sửa bài: 15/5/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 04/6/2026

Tính địa điểm trong một số công trình công cộng tại Sài Gòn giai đoạn 1954 - 1975

The sense of place in selected public buildings in Saigon during the period 1954 - 1975

> KTS NGUYỄN HUỲNH THANH TÂN, TS.KTS VŨ THỊ HỒNG HẠNH*
Trường Đại học Kiến trúc TP.HCM
*Email: hanh.vuthihong@uah.edu.vn

TÓM TẮT

Tính "địa điểm" trong kiến trúc từ lâu đã là một vấn đề trọng tâm trong diễn ngôn kiến trúc, đặc biệt trong bối cảnh toàn cầu hóa, sự phát triển nhanh chóng của khoa học - công nghệ và xu hướng kiến trúc bền vững hiện nay. Nền kiến trúc Sài Gòn (nay là TP.HCM) giai đoạn 1954 - 1975 là một giai đoạn quan trọng của kiến trúc hiện đại miền Nam Việt Nam, được đặc trưng bởi sự tiếp thu các xu hướng quốc tế đồng thời phản ánh các giá trị đặc thù của bối cảnh địa phương. Nghiên cứu này đề xuất một khung nhận diện các đặc trưng của tính địa điểm và phân tích ảnh hưởng của các yếu tố bối cảnh đến một số công trình công cộng tiêu biểu trong giai đoạn này. Thông qua phân tích, bài viết làm rõ vai trò của các yếu tố khí hậu, văn hóa và xã hội trong việc hình thành bản sắc kiến trúc. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đưa ra các góc nhìn và đề xuất định hướng nhằm tích hợp giá trị địa điểm vào kiến trúc công cộng đương đại tại TP.HCM, hướng đến các giải pháp thiết kế bền vững và phù hợp bối cảnh.

Từ khóa: Tính địa điểm; kiến trúc công cộng; Sài Gòn; TP.HCM; kiến trúc hiện đại; bản sắc kiến trúc.

ABSTRACT

The sense of place in architecture has long been a subject of concern throughout history, particularly in today's context of globalization, alongside the advancement of science and technology and the growing trend toward sustainable architecture. The architectural landscape of Saigon (now Ho Chi Minh City) during the period 1954 - 1975 represents a distinctive phase of modern architecture in southern Vietnam, characterized by both the adoption of international trends and the reflection of local contextual values. This paper presents a framework for identifying the characteristics of sense of place and evaluates the influence of place-related factors on public works of this period. Based on this analysis, it offers perspectives and proposes approaches for integrating place-based values into contemporary public architecture in Ho Chi Minh City.

Keywords: Sense of place; public architecture; Saigon; Hochiminh City; modernist architecture; architectural identity.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Kiến trúc hiện đại miền nam Việt Nam giai đoạn 1954 - 1975 với trung tâm là Sài Gòn là một di sản kiến trúc và lịch sử có giá trị, với sự đa dạng về thể loại, quy mô, số lượng và hình thức kiến trúc công trình, nhấn mạnh rằng những tòa nhà hiện đại tại Sài Gòn (trước 1975) tạo ra một bản sắc thị giác riêng biệt và rất đáng được nhận diện và bảo tồn [1], [2], [3]. Các công trình này cho thấy sự giao thoa và chuyển hóa giữa tư duy của trào lưu Kiến trúc hiện đại quốc tế với các yếu tố địa phương, phản ánh một quá trình tiếp biến mang tính chọn lọc. Trong đó, các điều kiện tự nhiên - khí hậu, cùng với các yếu tố văn hóa - xã hội, kinh tế và chính trị, thường được xem như những tác nhân quan trọng chi phối và điều chỉnh hình thái cũng như tổ chức không gian kiến trúc [4], [5], [6], [7].

1.1. Bối cảnh lịch sử và khái niệm "Địa điểm"

Thời Hy Lạp - La Mã cổ đại, Plato và Aristotle đã đặt nền tảng khi xem địa điểm như môi trường chứa đựng và xác định sự tồn tại của sự vật. Đến thế kỷ XVII - XVIII, khái niệm "không gian" dần chiếm ưu thế và làm mờ vai trò của địa điểm. Từ cuối thế kỷ XVIII - XIX, địa điểm được nhìn nhận lại gắn với trải nghiệm của con người, qua tư tưởng của Alfred North Whitehead, Edmund Husserl, Maurice Merleau-Ponty và Martin Heidegger, nhấn mạnh vai trò của cơ thể và nhận thức trong việc hình thành 'nơi chốn' [8], [9], [10] (Hình 1).



Hình 1. Khái niệm "Địa điểm". Nguồn [8]

1.2. Bối cảnh kiến trúc tại Sài Gòn giai đoạn 1954 - 1975

Giai đoạn 1954 - 1975 chứng kiến sự phát triển rực rỡ của kiến trúc hiện đại, với nền tảng tư tưởng chủ đạo chịu ảnh hưởng mạnh mẽ từ học thuyết công năng (Functionalism). Trong giai đoạn này,

kiến trúc vẫn tập trung cao độ vào việc đáp ứng công năng sử dụng, tối ưu kỹ thuật xây dựng và đặt niềm tin vào khả năng cải thiện xã hội thông qua không gian kiến trúc. Tuy nhiên, chính sự nhấn mạnh quá mức vào tính hợp lý và hiệu quả đã khiến kiến trúc dần xa rời các yếu tố văn hóa, lịch sử và bản sắc địa phương, làm cho nhiều công trình trở nên khô cứng, phi ngữ cảnh [6], [10]. Khi kiến trúc hiện đại du nhập vào khu vực khí hậu nhiệt đới, sự pha trộn giữa các đặc điểm tiêu biểu của chủ nghĩa công năng với kiến trúc truyền thống bản địa và văn hóa khu vực đã tạo nên một nền kiến trúc đặc sắc [6].

Tại miền Nam Việt Nam 1954 - 1975, do bối cảnh lịch sử lúc đó, bộ mặt kiến trúc đã có sự thay đổi rõ rệt về thể loại, số lượng, và hình thức [6], [14] (Bảng 1).

Bảng 1. Tổng quan ảnh hưởng của bối cảnh lên các thể loại công trình kiến trúc tại Sài Gòn giai đoạn 1954 - 1975 (Nguồn: Tác giả)

Thể loại	Loại hình	Điều kiện tự nhiên	Kinh tế – xã hội	Công nghệ – tri thức	Chính trị – pháp lý	Văn hóa – tập tục
Nhà ở	Nhà ở riêng lẻ	ít	Nhiều	Trung bình	Trung bình	Trung bình
	Cư xá	Trung bình	Nhiều	Nhiều	Nhiều	ít
	Giáo dục	Trung bình	Trung bình	Trung bình	Trung bình	Trung bình
	Y tế	Trung bình	Trung bình	Trung bình	Trung bình	ít
Công trình công cộng	Rạp hát	Trung bình	Nhiều	Trung bình	Trung bình	Trung bình
	Nhà văn hóa	Trung bình	Nhiều	Trung bình	Trung bình	Nhiều
	Công trình di tích	Nhiều	Trung bình	Trung bình	Nhiều	Nhiều
	Thư viện	Trung bình	Nhiều	Trung bình	Trung bình	Trung bình
	Công trình điểu trung	Trung bình	Nhiều	Trung bình	Trung bình	Nhiều
	Chợ / Thương mại	Trung bình	Nhiều	Trung bình	Trung bình	ít
	Tôn giáo	Trung bình	Trung bình	Trung bình	Trung bình	Nhiều
	Hành chính	ít	Trung bình	Trung bình	Nhiều	ít
Công trình công nghiệp	—	Trung bình	Trung bình	Trung bình	Trung bình	ít

Có thể nhận định, các giá trị bản địa và giá trị địa điểm xưa kia, chỉ đậm đặc trong loại hình nhà ở, tôn giáo và văn hóa thì giai đoạn 1954 - 1975 có xu hướng được chuyển tải sang công trình công cộng, đặc biệt các giá trị mang tính đại diện cho cộng đồng, bản sắc chung của khu vực hoặc địa phương. Thông qua tổ chức không gian, hình thái kiến trúc, vật liệu, ngôn ngữ tạo hình và ứng xử với cảnh quan xung quanh, công trình công cộng có khả năng trở thành phương tiện hữu hiệu để biểu đạt bản sắc địa phương trong bối cảnh hiện đại. Do đó, trong xu thế phát triển kiến trúc đương đại, việc chuyển trọng tâm biểu hiện các giá trị bản địa từ nhà ở sang công trình công cộng không chỉ phản ánh sự thay đổi của xã hội mà còn mở ra hướng tiếp cận bền vững hơn trong việc bảo tồn và phát huy bản sắc kiến trúc địa phương.

2. CƠ SỞ HÌNH THÀNH KHUNG ĐÁNH GIÁ TÁC ĐỘNG CỦA CÁC YẾU TỐ ĐỊA ĐIỂM LÊN KIẾN TRÚC TẠI SÀI GÒN GIAI ĐOẠN 1954 - 1975

2.1. Cơ sở lý luận

Địa điểm trong kiến trúc có thể hiểu là một khái niệm tổng hợp và đa chiều, được hình thành từ sự tương tác giữa môi trường tự nhiên và môi trường vật chất, đồng thời được trung gian hóa thông qua nhận thức, trải nghiệm và diễn giải của con người. Môi trường tự nhiên bao gồm các yếu tố như: địa hình, khí hậu, thủy văn, thảm thực vật và cảnh quan tự nhiên. Trong khi đó môi trường vật chất phản ánh các yếu tố như: điều kiện lịch sử, văn hóa, xã hội, kinh tế cũng như các hoạt động sinh hoạt và tổ chức không gian của cộng đồng cư dân [11], [12].

Các lý luận trên cho thấy địa điểm trong kiến trúc chịu tác động tổng hợp của nhiều yếu tố như điều kiện tự nhiên, văn hóa, kinh tế - xã hội, công nghệ - kỹ thuật và hệ thống chính trị - pháp lý; trong đó có thể phân chia thành hai nhóm chính gồm các yếu tố tương đối ổn định (điều kiện tự nhiên, giá trị di sản, đặc trưng văn hóa) và các yếu tố biến đổi theo thời gian (kinh tế - xã hội, công nghệ và thể chế quản lý) [6]. Tuy nhiên, ở quy mô một địa điểm xây dựng cụ thể, vai trò của con người trở nên nổi trội hơn, đặc biệt thông qua các yếu tố nhận thức, cảm xúc, ký ức và kinh nghiệm tích lũy trong quá trình tương tác với không gian. Khi đó, các yếu tố môi trường tự nhiên và vật chất đóng vai trò như những điều kiện nền tảng và ràng buộc mang tính điều chỉnh, cung cấp khung tham chiếu và giới hạn cho giải pháp kiến trúc, hơn là giữ vai trò chi phối chủ đạo (Hình 2).



Hình 2. Mối liên hệ giữa các yếu tố hình thành địa điểm (Nguồn: Tác giả)

Ở một góc nhìn rộng hơn, trong bối cảnh hiện nay khi kiến trúc ngày càng trở nên phức tạp cả về loại hình lẫn chức năng, đồng thời chịu tác động mạnh mẽ từ sự biến đổi liên tục của các yếu tố kinh tế - xã hội, công nghệ - kỹ thuật và chính trị - pháp lý, việc xác định các yếu tố ảnh hưởng đến kiến trúc đòi hỏi một cách tiếp cận mới. Cách tiếp cận này cần nhìn nhận các yếu tố địa điểm như một tập hợp động, luôn trong trạng thái biến đổi và chuyển dịch, mặc dù vẫn tồn tại những thành phần có tốc độ thay đổi chậm hơn, điển hình là các điều kiện tự nhiên.

Kiến trúc là sản phẩm kết tinh của văn hóa, phản ánh mối quan hệ giữa con người và môi trường trong những điều kiện lịch sử - xã hội cụ thể. Bên cạnh việc đáp ứng các yêu cầu chức năng và kỹ thuật, kiến trúc còn thể hiện các giá trị tư tưởng, thẩm mỹ và bản sắc cộng đồng [11], [12]. Quá trình hình thành kiến trúc chịu tác động tổng hợp của nhiều yếu tố gắn với địa điểm như điều kiện tự nhiên, bối cảnh kinh tế - xã hội, thể chế, công nghệ và văn hóa. Các yếu tố này được chuyển hóa thông qua tư duy thiết kế và thể hiện trong tổ chức không gian, hình thái, vật liệu và ngôn ngữ kiến trúc. Tùy từng bối cảnh và thời kỳ, mức độ ảnh hưởng của các yếu tố có thể khác nhau, trong đó một số yếu tố có thể giữ vai trò chi phối trong việc định hình diện mạo kiến trúc (Bảng 2).

Bảng 2. Mối quan hệ giữa các yếu tố địa điểm và các thành phần kiến trúc (Nguồn: Tác giả)

YẾU TỐ ĐỊA ĐIỂM	YẾU TỐ KIẾN TRÚC					
	Vật chất *(Hình thức)*				Ý nghĩa *(Nội dung)*	
	Hướng công trình	Vỏ bao che	Mái	Mặt bằng	Biểu tượng	Bối cảnh
Điều kiện tự nhiên						
Kinh tế - xã hội						
Kiến thức - công nghệ						
Chính trị - pháp lý						
Di sản - văn hóa						

2.2. Các yếu tố địa điểm tác động lên kiến trúc công trình công cộng tại Sài Gòn giai đoạn 1954 - 1975

Yếu tố địa điểm tại Sài Gòn giai đoạn 1954 - 1975 tác động đến kiến trúc thông qua các khía cạnh sau:

- *Điều kiện tự nhiên - khí hậu*: Thông qua các giải pháp và hình thức học tập từ kiến trúc truyền thống. Cụ thể hơn là kiến trúc truyền thống ở khu vực khí hậu nhiệt đới nóng ẩm với các đặc trưng [13]: *(1) Quy hoạch tổng thể và chọn hướng nhà*, *(2) Vấn đề thông gió tự nhiên*, *(3) Che nắng và chống chói*, *(4) Chiếu sáng tự nhiên*, *(5) Chống mưa*, *(6) Chống nhiệt vào nhà*, *(7) Bố trí cây xanh bóng mát.*

- *Kinh tế - xã hội:* Sau năm 1954, Sài Gòn bước vào giai đoạn biến đổi mạnh mẽ về kinh tế - xã hội khi cơ chế kinh tế chuyển sang định hướng thị trường. Sự phát triển của kinh tế tư nhân đã thúc đẩy hoạt động xây dựng và gia tăng nhu cầu về không gian cho sản xuất, thương mại, dịch vụ và nhà ở. Đồng thời, nguồn viện trợ kinh tế - kỹ thuật từ Hoa Kỳ và các nước phương Tây góp phần hình thành nhiều công trình quy mô lớn, áp dụng kết cấu mới và mang dấu ấn kiến trúc hiện đại [14].

- *Chính trị - pháp lý:* Tác động của chính sách hiện đại hóa và bản sắc dân tộc trong kiến trúc. Giai đoạn 1954 - 1975 đánh dấu một thời kỳ đặc biệt trong lịch sử phát triển đô thị và kiến trúc của Sài Gòn, khi chính quyền miền Nam Việt Nam theo đuổi các chính sách hiện đại hóa mạnh mẽ nhằm xây dựng hình ảnh một quốc gia độc lập, phát triển theo mô hình phương Tây. Từ đó kiến trúc không chỉ đáp ứng nhu cầu sử dụng thuần túy mà còn trở thành công cụ thể hiện tư tưởng chính trị, trình độ phát triển kinh tế - kỹ thuật và bản sắc văn hóa của chính quyền đương thời [14].

Kiến thức - công nghệ: Việc hội nhập và ứng dụng khoa học - kỹ thuật xây dựng đã diễn ra mạnh mẽ, đa dạng trên nhiều phương diện. Sự phổ biến của hệ khung bê tông cốt thép liền khối, kết cấu kim loại nhẹ tiền chế đã thay đổi căn bản tư duy tổ chức không gian kiến trúc, cho phép các kiến trúc sư vượt ra khỏi giới hạn của kết cấu tường gạch chịu lực truyền thống, tạo nên những không gian linh hoạt, khẩu độ lớn và hình thức kiến trúc tự do hơn.

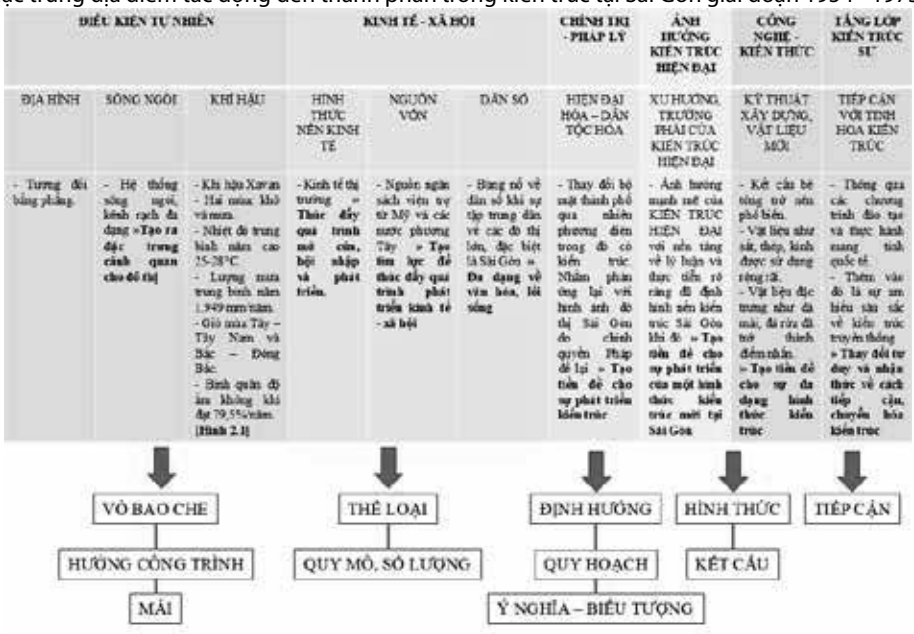
Trào lưu Kiến trúc hiện đại: Đây là cơ sở nhận diện một số đặc điểm về mặt hình thức và kết cấu của Kiến trúc hiện đại có khả năng ảnh hưởng đến kiến trúc tại Sài Gòn giai đoạn 1954 - 1975. (Bảng 3).

Kiến trúc sư: Giai đoạn 1954 - 1975 kiến trúc sư đóng vai trò trung tâm, vừa sáng tác, vừa chuyển tải và điều chỉnh các xu hướng kiến trúc ngoại sinh cho phù hợp điều kiện địa phương. Nền tảng học thuật và quá trình đào tạo, tại Trường Cao đẳng Mỹ thuật Đông Dương hoặc ở Pháp, Hoa Kỳ, giúp họ tiếp thu chủ nghĩa công năng, phong cách quốc tế và kiến trúc nhiệt đới, đồng thời phát triển tư duy thiết kế khoa học, lý tính và chú trọng công năng. Các kiến trúc sư tiêu biểu như Ngô Viết Thụ, Huỳnh Tấn Phát, Nguyễn Quang Nhạc [1], [6].

Bảng 3. Một số đặc điểm hình thức của kiến trúc hiện đại có khả năng ảnh hưởng lên kiến trúc tại Sài Gòn giai đoạn 1954 - 1975 (Nguồn: Tác giả)

XU HƯỚNG	HÌNH KHỐI	MẶT BẰNG	MẶT ĐỨNG	VẬT LIỆU-KẾT CẤU
Công Năng	Kỷ hà, rõ ràng	Hợp lý, tuyến tính hoặc phân khu rõ ràng theo chức năng	Phản ánh công năng, ít chi tiết	Bê tông cốt thép, thép, kính
Quốc tế	Thuần khiết, chuẩn hóa	Tự do (free plan), mô-đun, linh hoạt	Phẳng, hệ kính - thép, nhịp điệu mô-đun	Thép, kính, bê tông công nghiệp
Hữu cơ	Mềm mại, phi hình học	Phi đối xứng, thích ứng địa hình	Hài hòa cảnh quan	Đá, gỗ, bê tông tạo hình
Thô mộc	Lớn, nặng, mang tính điêu khắc	Rõ cấu trúc, thường mang tính hướng tâm/ trục	Bê tông trần, kết cấu và kỹ thuật lộ	Bê tông trần, thép
Cấu trúc	Tổ hợp mô-đun, có khả năng phát triển	Mô-đun, có thể mở rộng, biến đổi	Nhịp điệu cấu trúc, khung không gian	Bê tông, thép, cấu kiện lắp ghép
Biểu hiện mới	Khối phi tuyến, động, phá vỡ hình học	Tự do, phi quy ước, định hướng trải nghiệm	Đa lớp, hình thức biểu cảm mạnh	Vật liệu hiện đại, công nghệ cao

Bảng 4. Các yếu tố đặc trưng địa điểm tác động đến thành phần trong kiến trúc tại Sài Gòn giai đoạn 1954 - 1975 (Nguồn: Tác giả)



3. TÍNH ĐỊA ĐIỂM TRONG MỘT SỐ CÔNG TRÌNH CÔNG CỘNG TẠI SÀI GÒN GIAI ĐOẠN 1954 - 1975

3.1. Đánh giá tác động của các yếu tố địa điểm lên hình thức kiến trúc

Dựa trên sự tác động chủ đạo của kiến trúc hiện đại với các nguyên tắc rõ ràng trong việc tạo tác, tiếp cận hình thức kiến trúc. Cùng với đó là các bài học về ứng xử với môi trường tự nhiên của nền khí hậu nhiệt đới ẩm được thể hiện rõ trong các kiến trúc truyền thống. Đồng thời dựa trên cơ sở lý luận về địa điểm dưới các góc nhìn khác nhau có thể đưa ra mức độ tác động của yếu tố địa điểm lên các yếu tố cấu thành hình thức kiến trúc công cộng tại Sài Gòn giai đoạn 1954 - 1975. Với giá trị tăng dần từ 1 đến 3:

- Hướng công trình: có 3 mức độ (1 tới 3) tương ứng với các hướng chủ đạo: Cố định theo hình dáng khu đất, Tự do (Tạo hình), Tự do (Tạo hình + Thích ứng theo hướng khai thác điều kiện có lợi cho công trình về khí hậu, tầm nhìn, hình thái kiến trúc xung quanh v.v)

- Vỏ bao che: với 03 cấp độ từ 1-3 tương ứng 1 Lớp (Không ban công, logia), 1 Lớp (Có ban công, logia), 2 Lớp (double skin)

- Mái: với 2 cấp độ: Mái bằng, Mái dốc.

- Mặt bằng: với 3 đặc điểm phổ biến là Tập trung, Tập trung (Bất đối xứng + Thích ứng), Phân tán.

Nghiên cứu khảo sát định vị (mapping) tổng thể các công trình công cộng dựa trên bản đồ hành chính của khu vực trung tâm Đô thành Sài Gòn. Phân loại theo thể loại công trình và mức độ tiêu biểu đại diện để xác định Danh mục khảo sát các công trình tiêu biểu của từng thể loại công trình công cộng tại Sài Gòn giai đoạn 1954 - 1975, sẽ thể hiện mức độ tác động khác nhau (Bảng 5).

3.2. Đánh giá tác động của các yếu tố địa điểm lên ý nghĩa kiến trúc

Dựa trên cơ sở lý luận về các yếu tố bản địa và địa điểm cho thấy chúng là một tập hợp động, mặc dù một số yếu tố như điều kiện tự nhiên có sự thay đổi chậm hơn. Những giá trị như hội nhập và phát triển vẫn đóng vai trò định hình đặc trưng bản địa. Từ góc nhìn văn hóa và ký hiệu học, kiến trúc không chỉ phản ánh các giá trị này mà còn có thể trở thành biểu tượng, tác động ngược lại và hình thành đặc trưng cho địa điểm. Tổng hợp lại, có thể đánh giá mức độ ảnh hưởng của các yếu tố địa điểm đối với ý nghĩa kiến trúc công trình công cộng tại Sài Gòn giai đoạn 1954 - 1975. Với mức độ đánh giá tác động từ 1 đến 4 như sau:

* Bối cảnh:

- Hội nhập. Mức độ 1. Cập nhật các Yếu tố mới.

- Hội nhập - Thích ứng. Mức độ 2. Cập nhật các Yếu tố mới nhưng biến đổi để phù hợp với các điều kiện chi phối đang hiện hữu. Yếu tố mới vẫn là cốt lõi.

- Hội nhập - Thích ứng - Truyền tải. Mức độ 3. Cập nhật các Yếu tố mới ngoài việc biến đổi để phù hợp với các điều kiện chi phối đang hiện hữu. Sau đó được dùng để biểu hiện các Yếu tố có sẵn dưới hình thức mới. Yếu tố có sẵn chi phối chính.

* Biểu tượng:

- Đặc trưng mới. Mức độ 4. Cân bằng giữa các yếu tố, đồng thời tạo ra một dấu ấn riêng.

Dựa trên các công trình tiêu biểu của từng thể loại công trình công cộng tại Sài Gòn giai đoạn 1954 - 1975, bao gồm công trình Giáo dục, y tế, rạp hát, thư viện, chợ và thương mại, tôn giáo, hành chính. Bảng 5 thể hiện các đặc điểm về Hình thức của các công trình theo thể loại và đánh giá mức độ tác động của yếu tố địa điểm. Theo đó:

- Có tính đồng nhất giữa các thể loại công trình là (1) mái bằng (100% CT khảo sát) và (2) vỏ bao che 2 lớp (~ 60% CT khảo sát).

- Thể loại công trình Giáo dục, Y tế, Tôn giáo, Văn hóa và Hành chính/ công sở thể hiện sự chi phối cao từ yếu tố địa điểm (cao nhất từ 8-10 điểm), phổ biến ở giải pháp bố cục phân tán - hướng công trình tự do thích ứng, vỏ bao che 2 lớp (lam/ hành lang chuyển tiếp).

Bảng 5. Đặc điểm hình thức công trình công cộng và mức độ tác động của yếu tố địa điểm theo thể loại tại Sài Gòn giai đoạn 1954 - 1975 (Nguồn: Tác giả)

Thể loại	Công trình	Cố định	Tự do (tạo hình)	Tự do (thích ứng)	1 lớp (không ban công/logia)	1 lớp (có ban công/logia)	2 lớp	Mái bằng	Mái dốc	Tập trung	Tập trung (biến đổi)	Phân tán	Mức độ tác động
Giáo dục	ĐH Y dược			x			x	x				x	**10**
	ĐH Kiến trúc			x			x	x				x	**10**
Y tế	BV Vì Dân			x			x	x				x	**10**
	BV Chợ Quán			x			x	x				x	**10**
Rạp hát	Long Vân	x			x			x		x			**4**
	Đại Nam	x			x			x		x			**4**
Văn hóa	Thư viện Quốc gia			x			x	x			x		**10**
Biểu trưng	Công trường QT		x							x			**3**
Thương mại	KS Palace	x				x		x		x			**5**
	KS Rex	x				x		x		x			**5**
	NHVN Thương Tín	x				x		x		x			**5**
Tôn giáo	Chùa Ấn Quang			x			x	x				x	**10**
	Chùa Xá Lợi			x			x	x				x	**10**
	Nhà thờ Cầu Kho	x			x			x	x				**10**
	Nhà thờ Đa Minh			x		x		x			x		**10**
Hành chính/ công sở	Dinh Độc Lập			x			x	x				x	**8**
	Đài phát thanh	x					x	x		x			**8**
	Trụ sở VAR	x					x	x		x			**8**

Bảng 6. Đánh giá tác động của yếu tố địa điểm đối với ý nghĩa kiến trúc công trình công cộng theo các thể loại: giáo dục, y tế, rạp hát, thư viện, chợ và thương mại, tôn giáo, hành chính - công sở (Nguồn: Tác giả)

Thể loại	Công trình	Hội nhập	Hội nhập + Thích ứng	Hội nhập + Thích ứng + truyền tải	Đặc trưng mới
Giáo dục	Đại học Y dược		x		
	Đại học Kiến trúc		x		
Y tế	Bệnh viện Vì Dân, Sài Gòn		x		
	Bệnh viện Chợ Quán		x		
Rạp hát	Rạp Long Vân, Sài Gòn	x			
	Rạp Đại Nam	x			
Thư viện	Thư viện Quốc gia			x	
Công trình biểu tượng	Công trường Quốc tế	x			
Chợ, thương mại	Khách sạn Palace	x			
	Khách sạn Rex	x			
	Ngân hàng Việt Nam Thương Tín		x		
Tôn giáo	Chùa Ấn Quang			x	
	Chùa Xá Lợi			x	
	Nhà thờ Cầu Kho		x		
	Nhà thờ Đa Minh		x		
Hành chính	Dinh Độc Lập				x
	Đài phát thanh			x	
	Trụ sở VAR		x		
Mức độ tác động lên ý nghĩa công trình kiến trúc		**5**	**16**	**12**	**4**

Kết quả đánh giá (Bảng 5, 6) cho thấy mức độ vá ý nghĩa của yếu tố địa điểm trong các công trình công cộng tại Sài Gòn giai đoạn 1954 - 1975 là không đồng đều (Bảng 7). Trong đó, xu hướng hội nhập được phổ biến trong thể loại công trình 'nhập khẩu từ Phương Tây' như Nhà hát, khách sạn, thương xá. Hội nhập có điều chỉnh theo điều kiện khí hậu tự nhiên chiếm ưu thế rõ rệt nhất với đa dạng thể loại hơn như Công trình Giáo dục, y tế, tôn giáo và hành chính. Đáng chú ý, vỏ bao che là thành phần kiến trúc thể hiện mạnh mẽ nhất tác động của yếu tố địa điểm, đóng vai trò trung tâm trong việc kiểm soát vi khí hậu và hình thành ngôn ngữ hình thức.

Tiếp theo, các chiến lược truyền tải đặc trưng văn hóa truyền thống cũng được ghi nhận, tuy nhiên với cường độ thấp hơn. Ngược lại, xu hướng tìm kiếm các biểu hiện kiến trúc mang tính đột phá, nhằm kiến tạo bản sắc nơi chốn mới, vẫn còn tương đối hạn chế.

Bảng 7. Đánh giá chung về tác động của yếu tố bản đại lên hình thức và ý nghĩa kiến trúc công trình công cộng tại Sài Gòn giai đoạn 1954 - 1975 (Nguồn: Tác giả)

Tiêu chí	Hội nhập (Integration)	Hợp nhập + Thích ứng (Hybridization + Adaptation)	Hội nhập + Thích ứng + Truyền tải (Integration + Adaptation + Expression)	Đặc trưng mới (New Identity)
Mức độ tiếp nhận yếu tố quốc tế	Tiếp nhận trực tiếp hình thức và ngôn ngữ hiện đại	Tiếp nhận có chọn lọc, điều chỉnh theo bối cảnh	Tiếp nhận + tái diễn giải thành ngôn ngữ riêng	Tạo ra hệ hình mới độc lập
Thích ứng khí hậu & môi trường	Hạn chế	Trung bình/ cao (che nắng, thông gió cơ bản)	Cao (tích hợp chiến lược thụ động + hình thức kiến trúc)	Rất cao (hệ thống hóa thành bản sắc thiết kế)
Tích hợp văn hóa bản địa	Thấp	Trung bình (ẩn trong giải pháp không gian)	Cao (biểu đạt rõ qua hình thức/biểu tượng)	Rất cao (trở thành bản sắc mới)
Biểu đạt hình thức kiến trúc	Hiện đại thuần túy International Style)	Hiện đại có điều chỉnh	Hiện đại + biểu tượng văn hóa	Ngôn ngữ kiến trúc mới
Vai trò biểu tượng đô thị	Thấp	Trung bình	Cao	Rất cao
Mức độ đổi mới sáng tạo	Thấp	Trung bình	Cao	Đột phá
Loại hình công trình tiêu biểu	Rạp hát, khách sạn, công trình thương mại	Giáo dục, y tế, tôn giáo (một phần)	Thư viện, công trình tôn giáo tiêu biểu, truyền thông	Dinh Độc Lập - biểu tượng quốc gia

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu về tính địa điểm trong kiến trúc công cộng tại Sài Gòn trước năm 1975 cho thấy đây không phải là một tập hợp giá trị cố định, mà là một tiến trình kiến tạo bản sắc mang tính động, hình thành từ sự tương tác đa chiều giữa địa điểm (place), yếu tố bản địa (vernacular) và tư duy kiến trúc hiện đại (modernism). Trong bối cảnh đô thị hóa nhanh chóng và quá trình hội nhập khu vực, tính địa điểm được biểu hiện như một cấu trúc mở, liên tục được tái định nghĩa thông qua quá trình "tái bản địa hóa" trong đó các nguyên lý và giải pháp kiến trúc hiện đại được tiếp nhận, chuyển hóa và điều chỉnh nhằm thích ứng với điều kiện khí hậu nhiệt đới, bối cảnh văn hóa - xã hội và nhu cầu sử dụng của địa phương.

Dưới góc nhìn lý thuyết về địa điểm (place theory), tính địa điểm trong kiến trúc công cộng giai đoạn này có thể được hiểu như năng lực duy trì và củng cố cảm nhận "thuộc về" (sense of place) trong một đô thị đang trải qua những biến đổi sâu sắc về không gian và xã hội. Đồng thời, từ góc nhìn kiến trúc bản địa (vernacular architecture), có thể nhận thấy rằng mặc dù các công trình công cộng không trực tiếp tái hiện hình thái kiến trúc truyền thống, chúng vẫn kế thừa và phát triển các chiến lược ứng xử hiệu quả với khí hậu, vật liệu và lối sống địa phương. Những chiến lược

này được thể hiện rõ nét thông qua tổ chức mặt đứng, lớp vỏ bao che, cấu trúc thông gió tự nhiên và giải pháp che nắng, vốn là những nguyên lý cốt lõi của kiến trúc dân gian vùng nhiệt đới. Qua đó, sự liên tục của truyền thống không nằm ở việc sao chép hình thức, mà ở sự duy trì các cơ chế vận hành không gian và mối quan hệ giữa con người với môi trường.

Bên cạnh đó, ảnh hưởng của chủ nghĩa hiện đại đã đưa vào kiến trúc công cộng Sài Gòn trước 1975 những đặc trưng như tính trừu tượng trong hình khối, sự tiêu chuẩn hóa về công năng và tính linh hoạt trong tổ chức không gian. Điều này tạo nên một cấu trúc kiến trúc hai lớp, trong đó lớp vỏ công trình mang dấu ấn bản địa và thích ứng môi trường, còn nội dung công năng và tổ chức không gian bên trong vận hành theo logic hiện đại. Sự kết hợp này cho thấy sự hiện diện của một tư duy kiến trúc tương cận với chủ nghĩa khu vực phê phán (critical regionalism), nơi bản sắc không được tái tạo bằng hình ảnh hoài niệm hay hình thức mô phỏng, mà thông qua quá trình điều chỉnh có phê phán giữa các nguyên lý phổ quát của hiện đại và những đặc tính cụ thể của địa phương.

Từ đó có thể khẳng định rằng, tính bản địa trong kiến trúc công cộng Sài Gòn trước năm 1975 cần được nhìn nhận không như sự phục chế hay bảo tồn nguyên trạng các giá trị truyền thống, mà như một quá trình địa phương hóa hiện đại, trong đó bản sắc được kiến tạo thông qua năng lực thích ứng và chuyển hóa. Cách tiếp cận này cung cấp những giá trị tham chiếu quan trọng cho thực tiễn kiến trúc tại TP.HCM đương đại, đặc biệt trong các chiến lược bảo tồn, cải tạo và phát triển công trình công cộng. Việc nhận diện tính bản địa như một năng lực động, thay vì một di sản tĩnh, góp phần xây dựng cơ sở lý luận cho các định hướng kiến trúc vừa tôn trọng bối cảnh khí hậu - văn hóa - xã hội, vừa chủ động tham gia vào tiến trình hiện đại hóa đô thị.

Đánh giá sự tác động giữa các yếu tố địa điểm lên kiến trúc với trường hợp thực tiễn là các công trình kiến trúc công cộng tiêu biểu tại Sài Gòn giai đoạn 1954 - 1975. Qua đó cho thấy được các kết quả sau:

- Sự tác động của địa điểm lên các thể loại công trình kiến trúc là không như nhau.

Từ đó dẫn đến việc khai thác giá trị trong các thể loại cũng không nhất thiết phải có cùng mức độ ưu tiên khi thiết kế.

- Xu hướng hội nhập với bối cảnh và thích ứng với điều kiện tự nhiên vẫn là nền tảng.

Mặc dù hình thức kiến trúc hiện nay đã khác biệt rất nhiều so với kiến trúc truyền thống nhưng kiến trúc vẫn giải quyết một bài toán chung đó là thích ứng với bối cảnh hiện tại và điều kiện tự nhiên - khí hậu. Điều làm cho hai giai đoạn này có sự khác nhau lớn về cách biểu hiện kiến trúc đó là yếu tố bối cảnh trong xã hội truyền thống mang tính ổn định cao hơn.

- Vỏ bao che là giá trị truyền đạt chủ đạo.

Khi mà sự phức tạp và đa điểm trong nội dung là đặc trưng của bối cảnh hiện nay thì yếu tố vỏ bao che sẽ là hình thức kiến trúc mang nhiều yếu tố thuận lợi để truyền tải và thích ứng.

- Xu hướng thiết kế bền vững và công trình xanh kết hợp với khai thác giá trị địa điểm, bản địa sẽ định hình các giá trị đặc trưng bản địa mới.

Các giá trị truyền thống, văn hóa, bản địa không cố định mà liên tục được tái cấu trúc theo nhu cầu sử dụng và bối cảnh phát triển đương đại.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Thierry Delfosse. Saigon Modernist: Fifty years of Architecture. Ane-book, 2017.

[2] H. Hazel Hahn. Rounded Edges: Modernism and Architectural Dialogue in Ho Chi Minh City. Paradoxical Southeast Asia, 2017.

[3] Ngô Viết Thụ. Suy nghĩ về kiến trúc Việt Nam hiện đại, Sài Gòn, 1974.

[4] Nguyễn Đức Hiệp, Tim Doling, Võ Chi Mai. Kiến trúc đô thị và cảnh quan Sài Gòn - Chợ Lớn. NXB. Văn hóa - Nghệ thuật, 2020.

[5] Truong Thanh Hai & Hanh Vu. Modern architecture of Saigon - Ho Chi Minh City. MATEC Web of Conferences 193, 04004, 2018.

[6] Vũ Thị Hồng Hạnh, Nguyễn Phạm Hữu Huy. Tính hiện đại nhiệt đới trong kiến trúc miền Nam Việt Nam giai đoạn 1954 - 1975. Tạp chí Kiến trúc, số 03/2025.

[7] Kenneth Frampton. Modern Architecture: A Critical History (World of Art). Thames & Hudson, Fourth edition, 2007.

[8] Edward Casey. The Fate of Place: A Philosophical History. University of California Press, 1998.

[9] Christian Norberg Schulz. Genius Loci, Towards a phenomenology of architecture. Rizzoli, New York, 1991.

[10] Yi-Fu Tuan. Space and Place. University of Minnesota Press, USA, 2001.

[11] Edward Relph. Place and Placelessness. SAGE Publications Ltd, England, 2022.

[12] Martin Heidegger. Identity and Difference. University of Chicago Press, USA, 2002.

[13]. Hoàng Huy Thắng. Kiến trúc Nhiệt đới ẩm. NXB. Xây dựng, 2022.

[14]. Nguyễn Đình Tư. Gia Định - Sài Gòn - TP.HCM - Dặm dài lịch sử (1698 - 2020). NXB. Tổng hợp TP.HCM, 2022.

■Ngày nhận bài: 01/4/2026 ■Ngày sửa bài: 15/5/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 04/6/2026

Chiến lược chuyển đổi và thích ứng không gian kiến trúc cảnh quan đình làng Huế trong tiến trình xây dựng đô thị di sản bền vững

Strategy for the transformation and adaptation of Hue's village communal house landscape architecture in the process of sustainable heritage urban development

> THS.KTS VÕ TUẤN ANH
Khoa Kiến trúc, Trường Đại học Khoa học Huế
Email: arch.tuananhvo@husc.edu.vn

TÓM TẮT

Sự tồn tại của đình làng trong lòng đô thị Huế không chỉ đơn thuần là sự hiện diện của những công trình kiến trúc cổ kính mà còn là minh chứng cho quá trình lưu giữ các giá trị văn hóa, tín ngưỡng và lịch sử của cộng đồng dân cư qua nhiều thế kỷ. Trong bối cảnh Thừa Thiên Huế trở thành thành phố trực thuộc Trung ương từ năm 2025 và đang hướng đến mục tiêu phát triển bền vững trong tương lai. Dựa trên nền tảng bảo tồn, phát huy giá trị di sản cố đô, hệ thống đình làng đang đứng trước một bước ngoặt quan trọng. Một mặt, các đình làng có nguy cơ tiếp tục bị lãng quên, xuống cấp và dần mất đi vai trò trong đời sống đô thị; mặt khác, đây cũng là cơ hội để chúng được tái định vị, thích ứng với bối cảnh đương đại và tiếp tục đóng góp vào bản sắc văn hóa đô thị. Vì vậy, việc nhìn nhận lại giá trị, đánh giá thực trạng và đề xuất các giải pháp thích ứng cho kiến trúc cảnh quan đình làng không chỉ là yêu cầu cấp thiết của công tác bảo tồn di sản mà còn là một chiến lược quan trọng nhằm gìn giữ và kiến tạo bản sắc riêng cho đô thị Huế trong quá trình phát triển tương lai.

Từ khóa: Đình làng; thích ứng; kiến trúc cảnh quan; bền vững.

ABSTRACT

The existence of communal houses within the heart of Hue's urban fabric is not merely a physical presence of ancient architectural structures; it is a profound preservation of cultural, spiritual, and historical layers embedded by communities over centuries.

As Thua Thien Hue officially transitioned into a centrally-governed city in 2025, the province's developmental vision is firmly rooted in the conservation and promotion of Hue's heritage values. Consequently, the system of communal houses now stands at a historical turning point: they will either continue to recede into the shadows of neglect and deterioration or undergo a spectacular transformation to adapt and contribute to the rhythm of the contemporary city.

Re-evaluating the values and current status of these sites, while proposing adaptive solutions for their landscape architecture, is not only a requirement for heritage conservation but also a vital strategy for shaping the urban identity of Hue in the future.

Keywords: Communal house; adaptation; landscape architecture; sustainability.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nói đến Huế, không ít người nghĩ ngay đến hệ thống công trình cung điện, lăng mộ của các vua nhà Nguyễn hoặc rộng hơn là hệ thống các chùa lớn. Song bên cạnh đó không thể không nhắc đến một thể loại công trình gắn liền với tiến trình lịch sử, văn hóa và cuộc sống cộng đồng của người dân Việt Nam nói chung và người dân Huế nói riêng, đó là đình làng. Vị trí của đình đối với truyền thống văn hóa dân tộc hẳn là điều không phải bàn cãi. Từ bao đời nay, đình làng là hình ảnh thân quen, gắn bó với tâm hồn của mọi người dân Việt Nam nói chung và người dân Huế nói riêng, là nơi chứng kiến những sinh hoạt, lễ thói và mọi đổi thay trong đời sống xã hội của làng quê Việt Nam qua bao thế kỷ. Đình trang trọng và thiêng liêng, nó gần như đại diện, là biểu tượng của quyền lực làng xã. Đình làng là nơi tụ họp mọi người trong mọi sinh hoạt chung, vốn rất cần cho cuộc sống nông thôn, có tính nương tựa, đùm bọc, giúp đỡ lẫn nhau. Chính vì vậy, đình làng trở thành một nơi thân quen gần gũi, là nơi che chở, là nơi ở, là cuộc sống của những người nông dân Việt Nam một thời.

Trong nhịp sống hiện đại, với nền kinh tế phát triển thì đô thị hóa là điều tất yếu. Quá trình đô thị hóa việc làng chuyển thành phường, xã thành quận, bên cạnh các công trình kiến trúc đồ sộ thì đình làng vẫn còn đó trầm mặc để chứng kiến bao sự đổi thay. Tuy nhiên, việc tồn tại sẽ diễn ra bao lâu và trong tương lai liệu đình làng còn được tồn tại trong tâm thức người dân hay không? Trong khi phải đối diện với sự xuống cấp, sự xâm lấn của dân cư và cả sự thiếu

quan tâm của các bên liên quan khiến cho đình làng đang đối mặt với sự lãng quên và kém vị thế.

Trước bối cảnh hệ thống di sản này đang đứng ở bước ngoặt lịch sử: hoặc lùi sâu vào bóng tối của sự lãng quên, hoặc phải thực hiện một cuộc chuyển đổi để thích ứng, việc áp dụng tư duy "tái sử dụng thích ứng" một cách sáng tạo là yêu cầu vô cùng cấp bách. Do đó, nghiên cứu "Chiến lược chuyển đổi và thích ứng không gian kiến trúc cảnh quan đình làng Huế trong tiến trình xây dựng đô thị di sản bền vững" là hết sức thiết thực, có ý nghĩa khoa học và thực tiễn cao nhằm "đánh thức" các giá trị di sản bị lãng quên, góp phần kiến tạo bản sắc độc đáo cho đô thị Huế tương lai.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Để giải quyết mâu thuẫn giữa bảo tồn và phát triển, khái niệm "tái sử dụng thích ứng" cần được áp dụng một cách sáng tạo vào hệ thống đình làng Huế. Bài báo chủ yếu sử dụng các phương pháp nghiên cứu sau:

** Phương pháp điều tra, thống kê và phân loại:* Đây là phương pháp quan trọng nhất để xác định quy mô và hiện trạng của đình làng Huế, để từ đó có cái nhìn sâu sắc nhất về thực trạng và sự biến đổi của đình làng trong bối cảnh đô thị hóa và các biến đổi về cấu trúc không gian bao chứa đình làng.

** Phương pháp so sánh hình thái học:* Phương pháp này làm nổi bật nét đặc trưng riêng biệt của đình làng Huế với các vùng miền khác. Ngoài ra còn so sánh các hình thái của yếu tố Minh đường. Đây là yếu tố không gian nằm bên ngoài đình làng dễ bị tác động và biến dạng nhất. Đa số các nghiên cứu trước đây đều tập trung vào đình làng mà quên đi yếu tố không gian bao chứa nó.

**Phương pháp phân tích và đánh giá:* Phương pháp này được sử dụng sau khi đã có đầy đủ các thông tin cũng như các số liệu về thực trạng hiện hữu của đình làng, từ đó tập trung vào việc phân tích và đánh giá thông qua các số liệu cụ thể để có thể đưa đến kết quả nghiên cứu tối ưu.

3. TỔNG QUAN VỀ ĐÌNH LÀNG HUẾ

3.1. Bối cảnh lịch sử và sự hình thành đặc thù của đình làng Huế

Đình làng Việt Nam nói chung vốn được coi là "biểu tượng" của văn hóa làng - xã, chúng có nhiều chức năng khác nhau, trước hết có thể coi là một trụ sở của chính quyền quân chủ Nho giáo, nơi ban bố chính lệnh của triều đình. Từ lúc hình thành, đình làng cũng là nơi giải quyết những việc công của làng như sưu thuế, phu, lính… Sau này là nơi thờ Thành hoàng - vị thần bảo hộ cho sự bình an và phát triển của cộng đồng [1]. Tuy nhiên, hệ thống đình làng tại Huế mang trong mình những sắc thái riêng biệt, được hình thành và bồi đắp qua quá trình di dân và định cư của người Việt vào phương Nam, đặc biệt là dưới triều đại các chúa Nguyễn và vua Nguyễn từ thế kỷ XVIII trở về sau [2].

Hệ thống đình làng ở Huế thường có niên đại muộn hơn so với vùng Bắc Bộ, phần lớn được khởi dựng trong giai đoạn nhà Nguyễn đang định hình và củng cố quyền lực tại miền Trung. Sự khác biệt về điều kiện khí hậu, vật liệu xây dựng bản địa và đặc biệt là sự giao thoa với kiến trúc cung đình đã tạo nên một hình thái đình làng Huế rất đặc trưng [3]. Nếu như đình làng Bắc Bộ (như đình Lỗ Hạnh hay Thụy Phiêu) thường sử dụng hệ khung "chồng rường" đồ sộ để tạo nên những mái đình uốn cong, xòe rộng, thì đình làng Huế lại ưu tiên sự thanh thoát, khiêm nhường với hệ khung gồm cột, kèo, xuyên, trến… có tên là Rường hoặc Rội. [3]

Sự tương đồng giữa kiến trúc đình làng và kiến trúc nhà ở dân dụng (nhà Rường) tại Huế tạo nên một cảm giác gần gũi, ấm cúng, phản ánh nếp sống và tính cách tinh tế, hướng nội của con người xứ Thần kinh.

Bảng 1. So sánh đặc điểm của đình miền Bắc và đình làng Huế (miền Trung)

Đặc điểm so sánh	Đình làng miền Bắc	Đình làng Huế (miền Trung)
Niên đại khởi dựng	Sớm hơn (Thế kỷ XVI, ví dụ: đình Lỗ Hạnh 1576)	Muộn hơn (Thế kỷ XVIII, chủ yếu thời Nguyễn)
Hệ khung kết cấu	Chồng rường, kẻ chuyền, tạo mái cong lớn	Vì kèo suốt, nhà Rường, nhà Rọi, mái thẳng hơn
Hình thái không gian	Đồ sộ, uy nghiêm, thường có sàn gỗ	Thanh thoát, khiêm nhường, gần gũi với nhà ở
Trang trí kiến trúc	Chạm khắc dày đặc, đa dạng các tích truyện	Chạm khắc tinh xảo, ưu tiên hoa văn tứ linh, hoa lá
Mối liên hệ đô thị	Thường nằm ở trung tâm làng xã truyền thống	Phân bố dựa trên địa hình sông ngòi và phong thủy khu đất xây dựng

3.2. Phân bố không gian và triết lý "Tạo cảnh" trong kiến trúc đình làng Huế

Một bố cục thông thường của đình làng Huế được bố trí theo trục đối xứng và có thứ tự, bao gồm: Nghi môn (cổng tam quan); Bình phong; Sân đình; Tòa đại đình (thường nằm giữa); Bên trái là Tả vu; Bên phải là Hữu vu. Trước Nghi môn (cổng tam quan) thường có yếu tố minh đường là các sông hoặc hồ.

Một trong những giá trị đặc sắc nhất của đình làng Huế nằm ở nghệ thuật tổ chức không gian kiến trúc cảnh quan theo triết lý phong thủy. Đình làng không tồn tại đơn lẻ mà là một phần hữu cơ của cảnh quan thiên nhiên. Người xưa khi xây dựng đình đã khéo léo sử dụng các yếu tố tự nhiên như sông Hương, sông An Cựu, sông Bạch Yến, các sông nhỏ để làm "Minh đường", tạo nên một cấu trúc không gian "tự nhiên - kiến trúc - con người" hòa quyện chặt chẽ.

Theo thống kê, hiện nay trên địa bàn TP Huế tồn tại khoảng 64 đình làng [3], phân bố rải rác nhưng có quy luật dựa trên cấu trúc đô thị lịch sử. Các ngôi đình này có thể được phân loại dựa trên hình thái minh đường, phản ánh sự đa dạng trong cách ứng xử với địa hình:

- *Đình làng có minh đường là sông***:** Đây là loại hình phổ biến nhất, tập trung ở các khu vực gần kinh thành và ven các trục giao thông thủy quan trọng. Đình Dương Nỗ, đình Phú Thạnh, đình Kim Long là những ví dụ điển hình khi sử dụng mặt nước sông làm yếu tố tụ thủy, tạo nên một tầm nhìn thoáng đạt và không gian xanh mát cho di tích.

- *Đình làng có minh đường là hồ nước***:** Thường gặp ở các vùng xa kinh thành hoặc vùng nông nghiệp. Các hồ nước hình bán nguyệt, vuông hoặc chữ nhật, như tại đình Lại Thế, đình Dạ Lê, đình Công Lương…Chúng không chỉ có ý nghĩa về mặt phong thủy mà còn đóng vai trò như các hồ điều hòa, tích nước sạch để sử dụng, cải thiện vi khí hậu cho khu vực xung quanh.

- *Đình làng không có minh đường rõ rệt:* Thường nằm sâu trong các khu dân cư lâu đời, nơi quỹ đất hạn hẹp đã làm lu mờ các yếu tố phong thủy ban đầu, hoặc minh đường là một khoảng sân trống nhỏ.

3.3. Thực trạng

3.3.1. Sự đứt gãy giữa di sản và đời sống đương đại

Mặc dù mang trong mình những giá trị văn hóa đồ sộ, thực trạng của đình làng Huế hiện nay đang đặt ra những thách thức nghiêm trọng đối với công tác bảo tồn và phát triển bền vững. Dưới tác động của đô thị hóa nhanh chóng và sự thay đổi trong cấu trúc xã hội, đình làng đang dần mất đi vị thế vốn có của mình trong đời sống cộng đồng.



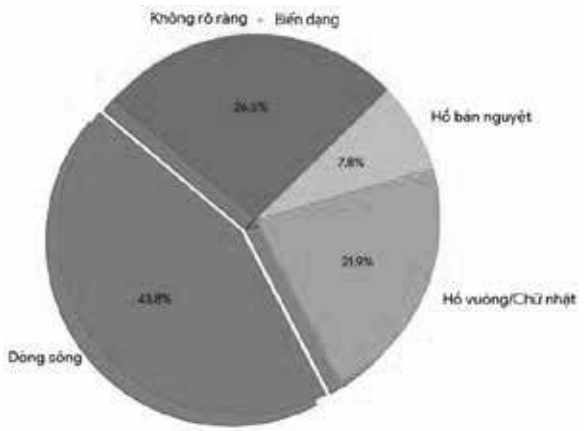
Hình 1. Đình làng Vân Dương bị lãng quên và xâm lấn bởi những hoạt động không phù hợp

3.3.2. Sự biến dạng không gian kiến trúc cảnh quan

Quá trình "làng lên phố" đã làm thay đổi hoàn toàn cơ cấu quy hoạch xung quanh các đình làng. Quỹ đất đô thị bị thắt chặt dẫn đến tình trạng các công trình mới cao tầng, có quy mô lớn mọc lên san sát, vây hãm và lấn át không gian của đình. Nghiêm trọng hơn, tình trạng xâm lấn không gian di tích để phục vụ các nhu cầu sinh hoạt, buôn bán của một bộ phận dân cư vẫn diễn ra. Các hình ảnh về sự xâm lấn không gian bên trong đình làng để làm nơi hội họp không đúng chức năng hoặc kinh doanh tự phát đã làm giảm đi tính tôn nghiêm và mỹ quan của di sản. Những yếu tố cảnh quan như ao hồ, minh đường vốn là "lá phổi" của đình nay bị san lấp hoặc ô nhiễm, khiến mối liên hệ giữa đình và thiên nhiên bị cắt đứt.

Bảng 2. Thống kê số lượng, tỷ lệ của sự biến đổi yếu tố minh đường đình làng Huế. *Nguồn: Tác giả tổng hợp*

STT	Loại hình Minh đường	Số lượng (đình)	Tỷ lệ (%)
1	Minh đường là các dòng sông	28	43.8%
2	Minh đường là hồ dạng hình vuông hoặc chữ nhật	14	21.9%
3	Minh đường là hồ hình bán nguyệt	5	7.8%
4	Minh đường không còn rõ ràng - Biến dạng	17	26.5%
Tổng cộng		**64**	**100%**



Hình 2. Sơ đồ tỉ lệ sự biến dạng yếu tố Minh đường của đình làng Huế. *Nguồn: Tác giả*

3.3.3. Sự suy giảm chức năng xã hội và tính gắn kết cộng đồng

Đình làng từng là trung tâm sinh hoạt văn hóa, chính trị và xã hội của cả làng. Tuy nhiên, trong xã hội hiện đại, vai trò này đang bị thách thức mạnh mẽ bởi sự xuất hiện của các thiết chế văn hóa mới như nhà văn hóa phường, các trung tâm hội nghị hay sự bùng nổ của các phương tiện giải trí trực tuyến. Các hoạt động tín ngưỡng tại đình làng hiện nay phần lớn chỉ dừng lại ở các kỳ lễ hội mang tính gợi nhớ, thiếu đi sự tham gia thường xuyên và nhiệt huyết của thế hệ trẻ.

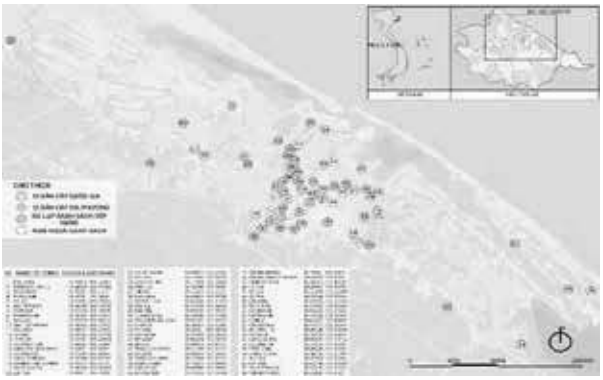
Sự đứt gãy về mặt thế hệ trong việc tiếp nhận và duy trì văn hóa đình làng là một nguy cơ lớn. Nếu không có những thay đổi để đình làng trở nên gần gũi và hữu dụng hơn với cuộc sống hiện tại, nó sẽ sớm trở thành một "bảo tàng tĩnh" - một vật thể khảo cổ không có hơi thở của sự sống.

3.3.4. Thách thức về nguồn lực bảo tồn và quản lý

Gần đây, mặc dù chính quyền thành phố Huế đã có những đầu tư nhất định, như việc chi 26 tỷ đồng để trùng tu 4 ngôi đình (Dương Xuân Hạ, Kim Long, Xuân Hòa, An Cựu), nhưng so với quy mô của hơn 60 đình làng hiện có, nguồn ngân sách nhà nước vẫn là một con số khiêm tốn. Công tác bảo tồn hiện nay vẫn nặng về "cứu nguy" kiến trúc gỗ mà chưa chú trọng đến việc khôi phục không gian cảnh quan xung quanh và kích hoạt các chức năng cộng đồng.

Bảng 3. Thống kê số lượng và phân cấp đình làng tại TP Huế. *Nguồn: Tác giả*

Phân cấp Di sản	Số lượng đình làng
Di sản cấp quốc gia	16
Di sản cấp thành phố	16
Đang lập danh sách để nghị xem xét	22
Nằm ngoài danh sách	10
Tổng số	**64**



Hình 3. Bản đồ phân bố đình làng ở TP Huế. *Nguồn [3]*

4. CƠ SỞ KHOA HỌC VÀ THỰC TIỄN

4.1. Tái sử dụng thích ứng (Adaptive Reuse) trên thế giới

Trên thế giới đã có nhiều minh chứng cho thấy việc chuyển đổi công năng di sản có thể mang lại sức sống mới cho đô thị. Tại Malaysia, dự án REXKL đã biến một rạp chiếu phim cũ nát thành một không gian văn hóa, sáng tạo sầm uất cho giới trẻ. Tại Thái Lan, ga tàu Siriraj Bimuksthan được tái sử dụng thành bảo tàng y học độc đáo, cụ thể:

*** Dự án REXKL**

* *Địa điểm*: Nằm ở khu Phố Tàu (Chinatown) thuộc trung tâm Kuala Lumpur, Malaysia (Địa chỉ: 80 Jalan Sultan, City Centre, Kuala Lumpur).

* *Bối cảnh và ý nghĩa chuyển đổi*: Nguyên gốc đây là rạp chiếu phim lịch sử "Rex Theatre" được xây dựng từ những năm 1940. Sau nhiều thập kỷ hoạt động, công trình bị bỏ hoang do chịu tổn thất nặng nề từ các trận hỏa hoạn (vào các năm 1976, 2002 và 2007). Đến năm 2019, dự án tái thiết do các kiến trúc sư và nhà quản lý sáng tạo triển khai đã biến không gian đổ nát này thành một Trung tâm Nghệ thuật và Văn hóa cộng đồng đa chức năng (Creative & Cultural Hub) [11].

*** Dự án Bảo tàng Siriraj Bimuksthan (Siriraj Bimuksthan Museum)**

* *Địa điểm*: Quận Bangkok Noi, Thủ đô Bangkok, Thái Lan (Nằm ở bờ tây sông Chao Phraya, thuộc khuôn viên Bệnh viện Siriraj và Đại học Mahidol).

* *Bối cảnh và ý nghĩa chuyển đổi*: Công trình vốn là Ga tàu hỏa cổ Thonburi (Bangkok Noi railway station) có phong cách kiến trúc vintage thuộc thế kỷ trước, đồng thời khu đất này cũng nằm trên nền móng lịch sử của Cung điện Hoàng gia Wang Lang cũ (từ thời Rattanakosin sớm). Dự án chuyển đổi thích ứng được khánh thành vào năm 2013, cải tạo toàn bộ nhà ga cổ này thành một không gian bảo tàng phức hợp hiện đại. Nơi đây

không chỉ lưu giữ lịch sử ngành đường sắt, khảo cổ cung điện cổ, mà còn tích hợp lịch sử phát triển y học hiện đại của Thái Lan [12].

4.2. Tái sử dụng thích ứng (Adaptive Reuse) tại địa phương

Ngay tại Huế, chúng ta cũng đã có những tiền lệ đáng khích lệ. Việc chuyển đổi các tòa nhà hành chính cũ dọc đường Lê Lợi thành các không gian bảo tàng và văn hóa (như Bảo tàng Điềm Phùng Thị, Không gian triển lãm 23-25 Lê Lợi…) đã tạo ra một trục di sản sống động, thu hút đông đảo du khách và người dân địa phương.



Hình 4. Các hoạt động văn hóa trên các công trình được chuyển đổi từ trụ sở hành chính tại 23-25 Lê Lợi

4.3. Hiến chương quốc tế về bảo tồn di sản

* Hiến chương Venice (1964) tập trung bảo tồn các công trình kiến trúc di tích theo nguyên tắc tính chân xác (authenticity). Hiến chương nhấn mạnh việc duy trì nguyên trạng di sản trong bối cảnh lịch sử, coi bảo tồn là một nhiệm vụ thường xuyên, nghiêm cấm việc phục dựng giả cổ mang tính suy đoán và quy định các cấu kiện bổ sung mới phải có dấu hiệu phân biệt rõ ràng với yếu tố gốc.

* Hiến chương Burra (1979 - sửa đổi 2013) mở rộng phạm vi ra các khu vực cảnh quan văn hóa thông qua khái niệm "Giá trị văn hóa" (Cultural Significance), bao gồm các giá trị thẩm mỹ, lịch sử, khoa học và xã hội đối với thế hệ hiện tại và tương lai. Văn kiện này tiên phong định nghĩa về "Tái sử dụng thích ứng" (Adaptive reuse), cho phép thay đổi công năng di sản để phục vụ cuộc sống đương đại nhưng phải hạn chế tối đa sự can thiệp làm tổn hại đến giá trị cốt lõi (nguyên tắc can thiệp tối thiểu).

5. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

Dựa trên những phân tích về giá trị và thực trạng, các giải pháp thích ứng cho đình làng Huế cần được triển khai theo một lộ trình khoa học và có sự tham gia của nhiều bên liên quan.

5.1. Nhóm kiến nghị về bảo tồn giá trị gốc

Bảo tồn là nền tảng của mọi sự thích ứng. Không thể có sự chuyển đổi thành công nếu các giá trị cốt lõi bị xâm hại. Do đó, cần thực hiện:

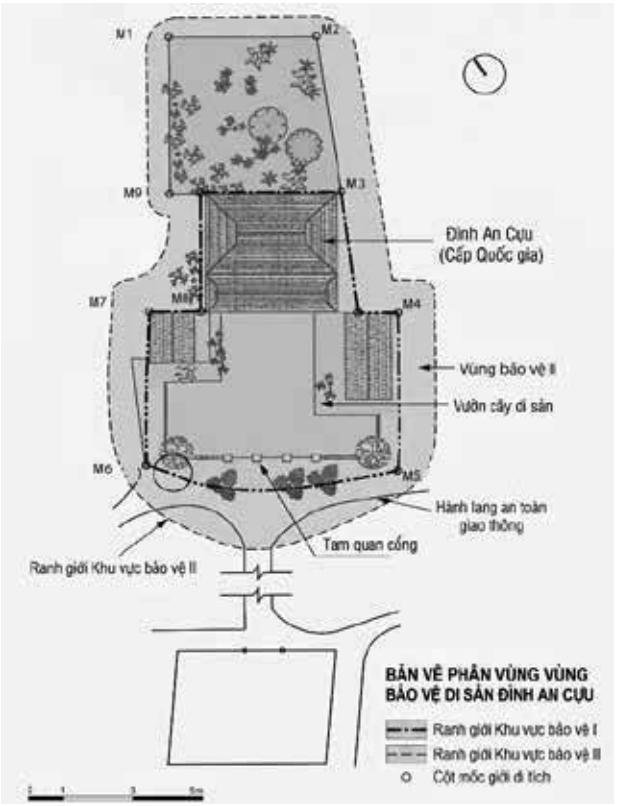
** Trùng tu khoa học*: Ưu tiên sử dụng các vật liệu và kỹ thuật truyền thống (như mộc, nề, kép, khảm sành sứ…) để phục hồi nguyên trạng các hạng mục xuống cấp.

** Bảo tồn di sản Hán nôm và mỹ thuật*: Tiến hành số hóa và lưu trữ toàn bộ hệ thống văn bia, câu đối, sắc phong tại các đình làng. Đây là nguồn sử liệu vô giá khẳng định chủ quyền và lịch sử hình thành của các cộng đồng dân cư.

** Thiết lập vùng bảo vệ*: Cắm mốc lộ giới và thiết lập các quy định về tầng cao, mật độ xây dựng đối với các công trình xung quanh đình làng để bảo vệ tầm nhìn và cảnh quan kiến trúc.

Bảng 4. Các thông số chính nhằm quản lý bảo vệ không gian cảnh quan đình làng. *Nguồn: Tác giả*

Hạng mục	Khu vực bảo vệ I	Khu vực bảo vệ II
Mục đích	Bảo tồn nguyên trạng công trình gốc.	Bảo vệ cảnh quan, không gian đệm.
Xây dựng	Tuyệt đối không xây mới.	Cho phép cải tạo/xây nhẹ nhưng khống chế chiều cao.
Cảnh quan	Chỉ trùng tu, tôn tạo di tích.	Trồng thêm cây xanh, chỉnh trang hạ tầng.



Hình 5. Bản vẽ ví dụ về phân vùng vùng bảo vệ di sản đình làng An Cựu. *Nguồn: Tác giả*

5.2. Nhóm kiến nghị về thích ứng không gian kiến trúc cảnh quan

Sự thích ứng về mặt không gian cần hướng tới việc tạo ra một môi trường thân thiện và có tính gắn kết:

** Tạo lập không gian kết nối mở*: Một trong những giải pháp quan trọng nhất để thích ứng đình làng với đô thị hiện đại là thay đổi cách tiếp cận về không gian. Thay vì bao quanh di tích bằng những hàng rào kín cổng cao tường, chúng ta cần hướng tới một mô hình "không gian mở". Việc dỡ bỏ hoặc hạ thấp hàng rào tại các đình làng ở khu vực trung tâm có thể giúp di tích kết nối trực tiếp với không gian vỉa hè và công viên xung quanh, tạo thành một hệ thống không gian xanh cộng đồng liên tục. Giải pháp này nhằm tiến đến biến sân đình thành quảng trường nhỏ, điểm vui chơi an toàn cho trẻ em và là nơi nghỉ ngơi cho người già. Điều này giúp di sản "thẩm thấu" vào đời sống hàng ngày của người dân.

Bảng 5. Chuyển đổi thích ứng không gian kiến trúc cảnh quan đình làng. *Nguồn: Tác giả*

Mô hình chuyển đổi	Chức năng truyền thống	Chức năng thích ứng mới
Không gian chính đình	Thờ tự, tế lễ Thành hoàng	Bảo tồn thờ tự kết hợp triển lãm các di sản
Sân đình và Tiền đường	Hội họp làng xã, diễn xướng dân gian	Không gian sinh hoạt văn hóa cộng đồng, sân khấu nghệ thuật truyền thống; các hoạt động văn hóa - thể dục phù hợp
Khu vực phụ trợ	Nhà bếp, nơi chuẩn bị đồ lễ	Thư viện nhỏ, không gian cà phê di sản, lớp học nghề truyền thống…
Cảnh quan xung quanh	Vùng đệm xanh, sông - hồ thuộc yếu tố Minh đường	Công viên mở, điểm check-in văn hóa, quảng trường nhỏ

Việc thiết kế các không gian đa năng trong đình làng cho phép di tích vừa có thể tổ chức các nghi lễ truyền thống trang nghiêm khi cần thiết, vừa có thể phục vụ các hoạt động cộng đồng hiện đại như hội thảo, lớp học kỹ năng cho thanh thiếu niên hay các buổi biểu diễn ca Huế, nhã nhạc quy mô nhỏ.

** Cải tạo hệ thống minh đường*: Khôi phục các ao, hồ bị san lấp, xử lý ô nhiễm nguồn nước tại các nhánh sông ven đình để trả lại vẻ đẹp phong thủy nguyên bản. Các không gian mặt nước này có thể tích hợp các lối đi dạo, ghế ngồi và hệ thống chiếu sáng mỹ thuật.

** Xây dựng các công trình phụ trợ hài hòa*: Khi bổ sung các chức năng mới (như thư viện, khu vệ sinh, nơi để xe), cần sử dụng ngôn ngữ kiến trúc nhẹ nhàng, tối giản, tránh làm ảnh hưởng đến khối kiến trúc chính của đình.

5.3. Nhóm kiến nghị về quản lý và kích hoạt cộng đồng

Sự sống của di sản nằm ở con người. Cần có những cơ chế mới để thu hút cộng đồng trở lại với mái đình:

** Mô hình quản lý dựa vào cộng đồng*: Khuyến khích sự tham gia trực tiếp của người dân trong việc bảo vệ và khai thác di tích. Các mô hình du lịch sinh kế (như tại A Lưới hay Nam Đông)[1] có thể là gợi ý tốt để người dân tự hào và có trách nhiệm hơn với di sản của mình.

** Giáo dục di sản trong học đường*: Đưa các buổi học lịch sử địa phương, các hoạt động ngoại khóa đến với không gian đình làng. Việc học về truyền thống ngay tại nơi lưu dấu bước chân của tiền nhân sẽ có hiệu quả giáo dục cao hơn nhiều so với sách vở khô khan.

** Hợp tác đa bên*: Thiết lập sự phối hợp chặt chẽ giữa chính quyền địa phương, các chuyên gia kiến trúc, các doanh nghiệp lữ hành và các ban trị sự làng. Nguồn thu từ các hoạt động văn hóa, du lịch tại đình cần được trích lại một phần công bằng để duy tu và hỗ trợ các gia đình có hoàn cảnh khó khăn trong làng, tạo nên một chu trình phát triển tuần hoàn và nhân văn.

5.4. Kiến nghị về hệ thống hạ tầng xanh và kinh tế du lịch

- Đình làng Huế cần được quy hoạch như những "nút" quan trọng trong hệ thống không gian xanh của thành phố di sản. Với thế mạnh về mật độ cây xanh cao, việc kết nối các đình làng với hệ thống cảnh quan cây xanh hiện hữu trong đô thị sẽ tạo nên một hành lang văn hóa - sinh thái hấp dẫn.

- Bên cạnh đó, việc phát triển du lịch cộng đồng gắn với đình làng là một hướng đi tất yếu để tạo nguồn thu bền vững cho công tác bảo tồn. Hệ thống đình làng ven sông có tiềm năng rất lớn để trở thành những điểm dừng chân trong các tour du lịch đường thủy, nơi du khách có thể tìm hiểu về lịch sử, kiến trúc, thưởng thức văn hóa địa phương, và các sản phẩm làng nghề truyền thống.

5.5. Thảo luận

- Một trong những thách thức lớn nhất khi áp dụng mô hình "không gian mở" là làm sao để việc dỡ bỏ hàng rào hay biến sân đình thành quảng trường mini không làm mất đi sự tôn nghiêm của nơi thờ tự Thành hoàng. Thảo luận này nhấn mạnh rằng "tính mở" không đồng nghĩa với việc bình dân hóa di sản một cách tùy tiện. Thay vào đó, sự chuyển đổi cần dựa trên việc phân vùng chức năng rõ ràng: khu vực lõi (Đại đình) giữ nguyên sự tĩnh lặng và thờ phụng, trong khi khu vực đệm (sân đình, vườn cảnh) được kích hoạt để thẩm thấu vào đời sống đương đại.

- Nếu không tạo ra được nguồn thu từ du lịch cộng đồng hay các dịch vụ văn hóa, các ngôi đình sẽ mãi là những "bảo tàng tĩnh" thiếu nguồn lực duy tu. Tuy nhiên, việc thương mại hóa cũng cần có ranh giới để tránh biến di sản thành các cơ sở kinh doanh tự phát làm giảm mỹ quan như thực trạng hiện nay.

- Sự đứt gãy về mặt thế hệ là nguy cơ lớn nhất. Việc đình bị đóng kín và lãng quên, văn hóa tụ tập vui chơi ở sân đình đã rời xa, vì vậy việc đưa giáo dục di sản vào học đường ngay tại không gian đình được xem như một giải pháp cốt lõi để tạo ra những chủ nhân tương lai của di sản.

6. KẾT LUẬN

Tiến trình xây dựng TP Huế xứng tầm thành phố trực thuộc Trung ương, ngoài các mục tiêu về kinh tế, hành chính, xây dựng đô thị… Bên cạnh những tiềm năng đã khẳng định vị thế, còn có những giá trị di sản khác cần "đánh thức". Đó là đình làng, đây không phải là những mảnh ghép cũ kỹ bị quên lãng, mà chính là những "hạt nhân" tạo nên bản sắc và sự khác biệt cho mỗi khu phố, mỗi ngôi làng trong lòng đô thị mới.

Mái đình thanh lặng bên dòng sông Hương thơ mộng, với những nhành hoa sen hay những rặng đa cổ thụ, không chỉ là ký ức của một thời "tát nước đầu đình". Nếu chúng ta có một chiến lược đúng đắn, một trái tim yêu di sản và một tư duy kiến trúc hiện đại, những mái đình ấy sẽ tiếp tục tỏa bóng xuống cuộc sống của con người Huế hôm nay và mai sau. Đó chính là sự thích ứng tuyệt vời nhất - khi cái cũ và cái mới không còn xung đột mà cùng nhau kiến tạo nên một không gian sống đầy nhân văn và giàu bản sắc.

Đã đến lúc chúng ta cần hành động để trả lại cho đình làng vị thế là "trái tim" của cộng đồng, để Huế thực sự là một "bài thơ đô thị", nơi mỗi ngôi đình là một vần thơ đẹp nhất lưu giữ tâm tình nghìn năm của cha ông. Cuộc chuyển đổi này không chỉ cứu lấy một công trình kiến trúc, mà là đang giữ lấy "phần hồn" của một đô thị đang "vươn mình" để phát triển bền vững.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Trần Lâm Biền. Đình làng Việt (Châu thổ Bắc Bộ). NXB. Thế giới Hà Nội, 2014.

[2] Hà Văn Tấn. Nguyễn Văn Kự, Đình Việt Nam. NXB TP.HCM, 1997.

[3] Nguyễn Ngọc Tùng, Võ Trần Gia Phuc, Nguyễn Anh Tuấn. Tru Bieu gateways of Hue's village communal houses in Vietnam: morphology, decorative grammar, and vernacular threshold typology, Journal of Asian Architecture and Building Engineering, London: Taylor & Francis online, 2026.

[4] Hoàng Hữu Ấn. Tên gọi các cấu kiện trong nhà Rường, Hướng dẫn tu bổ nhà ở truyền thống, Huế: Nhà Di sản Thành phố 117 Lê Thánh Tôn, tr. 31, 2003.

[5] Phan Thuận An. Giá trị nhà ở truyền thống Huế, Hướng dẫn tu bổ nhà ở truyền thống, Huế: Nhà Di sản Thành phố 117 Lê Thánh Tôn, tr. 7-8, 2003.

[6] Đinh Thị Hải Yến. Chuyển đổi thích ứng các công trình công nghiệp cũ trong cấu trúc không gian đô thị khu vực nội thành Hà Nội. Luận án Tiến sĩ kiến trúc, Hà Nội, 2022.

[7] Huỳnh Đình Kết. Làng mạc xứ Huế những tiếp cận ban đầu, Cố đô Huế xưa và nay. NXB. Thuận Hóa, Huế, tr. 95-96, 2005.

[8] Nguyễn Văn Đăng. Yếu tố "Thị" trong Đô thị Huế trước 1945, Cố đô Huế xưa và nay. NXB. Thuận Hóa, Huế, tr. 182, 183, 2005.

[9] Võ Tuấn Anh. Phủ đệ triều Nguyễn - Không gian kiến trúc mang tính "chuyển tiếp" giữa sự quyền uy và truyền thống. Nghiên cứu văn hóa Miền trung. NXB. Đại Học Huế, Huế, tr. 41-42. 2022.

[10] Võ Tuấn Anh. Tìm lại vị thế Đình làng trong đời sống cộng đồng của người dân Thừa Thiên Huế. Kiến trúc truyền thống và cộng đồng, Kỷ yếu hội thảo quốc tế, Huế, tr. 21-22. 2014.

[11] Mentahmatter Design. REXKL Arts Space and Community Hub. ArchDaily, 2024. Internet: https://www.archdaily.com/1027828/rexkl-arts-space-and-community-hub-mentahmatter-design-sdn-bhd (accessed: May 25, 2026).

[12] Museum Thailand. Siriraj Bimuksthan Museum. Museum Thailand, 2026. Internet: https://www.museumthailand.com/en/museum/Siriraj-Bimuksthan-Museum (accessed: May 25, 2026).

[1]Mô hình tập trung phát huy tiềm năng thiên nhiên và văn hóa bản địa, như du lịch cộng đồng, homestay, và farmstay để tạo ra kinh tế cho dân bản địa.

■Ngày nhận bài: 01/4/2026 ■Ngày sửa bài: 15/5/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 07/6/2026

Thiết kế không gian tuyến phố nhằm cải thiện vi khí hậu và tiện nghi nhiệt đô thị nhiệt đới

Street canyon design for improving urban microclimate and outdoor thermal comfort in tropical cities

> TS NGÔ HOÀNG NGỌC DŨNG, TS TỐNG NGỌC TÚ*
Khoa Kiến trúc và Quy hoạch, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội
*Email: tutn@huce.edu.vn

TÓM TẮT

Quá trình đô thị hóa nhanh tại các đô thị của Việt Nam đang khiến hiệu ứng đảo nhiệt đô thị gia tăng và làm giảm tiện nghi nhiệt ngoài trời, đặc biệt tại các tuyến đường giao thông nội đô và khu vực đi bộ. Nghiên cứu này phân tích ảnh hưởng của các đặc điểm không gian tuyến phố, bao gồm hướng tuyến phố và tỷ lệ không gian, đến vi khí hậu và tiện nghi nhiệt ngoài trời tại một khu dân cư ven đô thuộc TP Hà Tĩnh thông qua mô phỏng vi khí hậu bằng phần mềm ENVI-met. Các thông số vi khí hậu được phân tích gồm nhiệt độ không khí (Ta), nhiệt độ bức xạ trung bình (Tmrt), tốc độ gió (Ws) và chỉ số nhiệt độ tương đương sinh lý (PET). Kết quả cho thấy các tuyến phố định hướng Đông Bắc - Tây Nam và Bắc - Nam có điều kiện tiện nghi nhiệt tốt hơn đáng kể so với các tuyến Đông - Tây và Tây Bắc - Đông Nam. Đồng thời, các tuyến phố có tỷ lệ H/W trong khoảng từ 2 đến 3 cho hiệu quả giảm nhiệt và cải thiện tiện nghi nhiệt rõ rệt nhờ tăng khả năng che bóng và giảm bức xạ nhiệt trực tiếp cho người đi bộ. Nghiên cứu cũng khẳng định vai trò quan trọng của việc kiểm soát tính chất không gian các tuyến phố đến vi khí hậu và tiện nghi nhiệt. Các kết quả nghiên cứu góp phần bổ sung cơ sở khoa học cho quy hoạch đô thị thích ứng khí hậu tại Hà Tĩnh nói riêng và các đô thị có khí hậu nhiệt đới nói chung.

Từ khóa: Tiện nghi nhiệt ngoài trời; vi khí hậu đô thị; thiết kế không gian đường phố; ENVI-met; nhiệt độ tương đương sinh lý; hạ tầng xanh; quy hoạch đô thị thích ứng khí hậu; Hà Tĩnh.

ABSTRACT

Rapid urbanisation in Vietnamese cities has intensified the Urban Heat Island (UHI) effect and compromised outdoor thermal comfort, particularly along inner-city streets and pedestrian zones. This study investigates the influence of street canyon characteristics-specifically orientation and spatial aspect ratios-on microclimate and outdoor thermal comfort within a peri-urban residential area in Ha Tinh City with ENVI-met simulations.The scenarios of consideration were developed to evaluate the impacts of street orientation and height-to-width ratios (H/W) on key microclimatic parameters, including Air Temperature (Ta), Mean Radiant Temperature (Tmrt), Wind Speed (Ws), and the Physiologically Equivalent Temperature (PET). The findings demonstrate that Northeast–Southwest and North-South oriented streets provide significantly superior thermal comfort compared to East-West and Northwest–Southeast orientations. Furthermore, street canyons with H/W ratios between 2 and 3 exhibited the most effective heat reduction and thermal comfort improvement by enhancing shading capacity and minimizing direct solar radiation for pedestrians. This research underscores the critical role of regulating spatial urban geometry in managing microclimates. The results provide a scientific foundation for climate-adaptive urban planning in Ha Tinh and other tropical urban environments.

Keywords: Outdoor thermal comfort; urban microclimate; street canopy design; ENVI-met; Physiology Equivalent Temperature; green infrastructure; climate-responsive urban planning; Ha Tinh City.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tại Việt Nam, quá trình đô thị hóa đang làm thay đổi cấu trúc không gian và suy giảm chất lượng vi khí hậu đô thị, trong khi tình trạng nắng nóng ngày càng gia tăng. Nhiều nghiên cứu cho thấy quá trình bê tông hóa và thay thế bề mặt tự nhiên đã tác động rõ rệt đến vi khí hậu đô thị. Ở Hà Nội và TP.HCM, nhiệt độ bề mặt tại các khu vực đô thị hóa nhanh cao hơn vùng ngoại ô tới 3,3°C [1], đồng thời xuất hiện nhiều khu vực có nhiệt độ bề mặt vượt 32°C vào năm 2016, trong khi năm 1996 mức tối đa chỉ khoảng 30°C [2].

Các đô thị quy mô nhỏ tại Việt Nam cũng đang trải qua quá trình mở rộng không gian đô thị mạnh mẽ. Tại Hà Tĩnh, diện tích đất xây dựng dự kiến tăng gần bốn lần, đạt khoảng 1.500 ha vào năm 2030 so với năm 2014 [3]. Tuy nhiên, đây là đô thị dễ bị tổn thương trước nắng nóng cực đoan. Nghiên cứu của Ngo và cộng sự [4] cho thấy

khu vực trung tâm đô thị Hà Tĩnh có điều kiện vi khí hậu và tiện nghi nhiệt bất lợi hơn so với khu vực nông thôn, trong khi các vùng ngoại ô cũng đang trong quá trình mở rộng đô thị. Một giải pháp quan trọng nhằm giảm tác động nắng nóng là thiết kế hệ thống đường phố để cải thiện vi khí hậu và tiện nghi nhiệt ngoài trời. Tuy nhiên, các nghiên cứu về ảnh hưởng của hình thái đường phố trong điều kiện khí hậu nhiệt đới nóng ẩm ở Việt Nam còn hạn chế, đặc biệt tại các đô thị nắng nóng như Hà Tĩnh. Vì vậy, nghiên cứu này tập trung đánh giá tác động của thiết kế không gian tuyến phố tới vi khí hậu và tiện nghi nhiệt ngoài trời tại TP Hà Tĩnh, nhằm hỗ trợ quy hoạch và thiết kế đô thị thích ứng với nắng nóng và biến đổi khí hậu.

2. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU

2.1. Không gian tuyến phố, vi khí hậu và tiện nghi nhiệt ngoài trời

Các nghiên cứu quốc tế cho thấy tỷ lệ hình học - tỷ lệ giữa chiều cao công trình (H) và chiều rộng đường phố (W) là thông số quan trọng quyết định khả năng tạo bóng mát, thông gió và kiểm soát nhiệt trong không gian đường phố [5]. Nghiên cứu của Jamei [6] cho thấy việc tăng tỷ lệ H/W trong điều kiện khí hậu nóng ẩm có thể làm giảm đáng kể nhiệt độ không khí nhờ tăng khả năng che bóng bức xạ mặt trời. Santana và cộng sự [7] chỉ ra các tuyến phố có tỷ lệ H/W lớn hơn 2 có điều kiện tiện nghi nhiệt vào mùa hè được cải thiện nhờ bóng đổ từ công trình giúp giảm nhiệt độ bức xạ trung bình của các bề mặt.

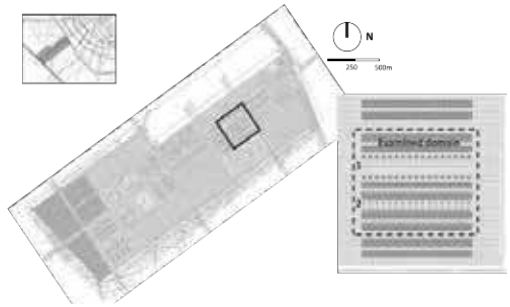
Bên cạnh tỷ lệ hình học, hướng tuyến đường cũng được xem là yếu tố quyết định khả năng tiếp nhận bức xạ mặt trời của không gian đường phố. Nhiều nghiên cứu tại các vùng khí hậu nóng cho thấy các tuyến phố định hướng Đông - Tây thường nhận bức xạ trực tiếp vào buổi sáng và buổi chiều cao hơn các hướng còn lại [8]. Ngược lại, các tuyến phố theo hướng Bắc - Nam hoặc Tây Bắc - Đông Nam có tiện nghi nhiệt tốt hơn do có bóng mát từ công trình vào các giờ nắng nóng.

2.2. Khoảng trống nghiên cứu

Các nghiên cứu về ảnh hưởng của hình thái đường phố đến tiện nghi nhiệt ngoài trời phần lớn được thực hiện tại các đô thị ở vùng ôn đới, cận nhiệt hoặc khí hậu khô nóng [6], [7]. Các nghiên cứu trong điều kiện khí hậu nhiệt đới nóng ẩm, đặc biệt tại Việt Nam, vẫn còn tương đối hạn chế. Hơn nữa, phần lớn các nghiên cứu tập trung vào các đô thị lớn như Hà Nội hay TP.HCM, trong khi các đô thị tầm trung đang mở rộng nhanh như Hà Tĩnh chưa được nghiên cứu đầy đủ. Hiện nay, chưa có các hướng dẫn định lượng về hình thái đường phố thích ứng khí hậu phù hợp với bối cảnh đô thị Việt Nam, đặc biệt liên quan đến mối quan hệ giữa tỷ lệ hình học và hướng tuyến đối với tiện nghi nhiệt ngoài trời. Vì vậy, việc nghiên cứu tác động tổng hợp của các yếu tố không gian đường phố đến vi khí hậu tại Hà Tĩnh có ý nghĩa quan trọng cả về mặt khoa học và thực tiễn, góp phần bổ sung cơ sở dữ liệu phục vụ quy hoạch và thiết kế đô thị thích ứng biến đổi khí hậu tại Việt Nam.

3. KHU VỰC NGHIÊN CỨU

Khu vực nghiên cứu là một khu dân cư ở vùng ven đô, nay thuộc phường Hà Huy Tập, nằm về phía Tây Nam đô thị trung tâm tỉnh Hà Tĩnh (Hình 1). Khu vực có khí hậu nhiệt đới gió mùa, với đặc trưng nhiệt độ cao và lượng mưa lớn theo mùa. Không gian hiện trạng chủ yếu bao gồm các công trình nhà ở thấp tầng, phân bố thưa thớt và đất nông nghiệp. Khu vực này nằm trong không gian mở rộng đô thị trọng điểm của Hà Tĩnh, vì vậy cảnh quan không gian hiện hữu sẽ chuyển đổi từ các bề mặt tự nhiên và đất nông nghiệp sang không gian có nhiều công trình xây dựng đô thị cùng hệ thống đường phố mới [9].



Hình 1. Bản đồ chú thích khu vực và giới hạn không gian của vùng được nghiên cứu

4. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

4.1. Chỉ số đánh giá tiện nghi nhiệt và công cụ mô phỏng

Nghiên cứu sử dụng chỉ số nhiệt độ sinh lý tương đương (Physiological Equivalent Temperature - PET, °C) để đánh giá tiện nghi nhiệt ngoài trời. PET được định nghĩa là nhiệt độ không khí trong môi trường trong nhà tiêu chuẩn mà tại đó cân bằng nhiệt cơ thể tương đương với điều kiện môi trường thực tế [10]. Chỉ số này được tính toán dựa trên nhiệt độ không khí (Ta), độ ẩm tương đối (RH), tốc độ gió (Ws), nhiệt độ bức xạ trung bình (Tmrt), mức chuyển hóa năng lượng, khả năng cách nhiệt của quần áo và đặc tính trao đổi nhiệt của cơ thể [11]. PET hiện là một trong những chỉ số phổ biến nhất trong nghiên cứu tiện nghi nhiệt ngoài trời.

Do Việt Nam chưa có thang phân loại PET riêng cho khí hậu nhiệt đới nóng ẩm, nghiên cứu sử dụng hệ thống phân loại PET của Singapore [12] để đánh giá cảm nhận nhiệt (Bảng 1). Singapore có điều kiện khí hậu tương đồng với Việt Nam nên hệ thống này được xem là phù hợp cho trường hợp Hà Tĩnh. Các thông số cá nhân được hiệu chỉnh theo điều kiện mùa hè địa phương với mức cách nhiệt quần áo Clo = 0,5 và suất chuyển hóa năng lượng 141,48 W.

Bảng 1. Các mức cảm nhận nhiệt tương ứng với giá trị PET được sử dụng cho trường hợp nghiên cứu

Cảm nhận nhiệt	Khoảng PET (°C)
Rất lạnh	Không áp dụng
Lạnh	Không áp dụng
Mát	Không áp dụng
Hơi mát	20 - 24
Trung tính	24 - 30
Hơi ấm	30 - 34
Ấm	34 - 38
Nóng	38 - 42
Rất nóng	> 42

Để tính toán chỉ số PET cùng các thông số vi khí hậu khác gồm nhiệt độ không khí (Ta), tốc độ gió (Ws), nhiệt độ bức xạ trung bình (Tmrt) được tính toán trên phần mềm ENVI-met. Công cụ này cho phép mô phỏng đồng thời các quá trình trao đổi nhiệt, bức xạ, thông gió, bốc thoát hơi nước và cân bằng năng lượng trong môi trường đô thị với độ tin cậy cao [13, 14].

4.2. Thiết lập mô hình

Vùng mô phỏng có diện tích 300 m x 300 m (Hình 1), với độ phân giải lưới được lựa chọn là 3 × 3 m nhằm đảm bảo khả năng mô phỏng chi tiết điều kiện vi khí hậu người đi bộ. Phương án không gian được xây dựng dựa trên đồ án quy hoạch chi tiết khu dân cư xã Thạch Đài (cũ) đã được phê duyệt năm 2019. Tất cả công trình trong mô hình được giả định có chiều cao 12 m, tương đương bốn tầng, phù hợp với định hướng phát triển nhà ở thấp tầng trong quy hoạch khu vực. Với cấu hình này, tỷ lệ hình học không gian đường phố (H/W) dao động từ khoảng 0.25 đến 0.5. Trục đường chính trong mô

hình được bố trí theo hướng Đông Bắc - Tây Nam, đồng thời các phương án xoay hướng tuyến khác nhau cũng được thiết lập nhằm đánh giá ảnh hưởng của định hướng đường phố đến vi khí hậu.

4.3. Dữ liệu khí tượng, vật liệu và cây xanh

Dữ liệu khí tượng dùng cho mô phỏng ENVI-Met được trích xuất từ Trạm khí tượng thủy văn Hà Tĩnh vào ngày 9/7/2024 tại độ cao 1,5 m so với mặt đất, tương ứng với tầm hoạt động của người đi bộ. Đây là ngày nắng nóng, không mưa và ít mây, phù hợp cho nghiên cứu về tiện nghi nhiệt ngoài trời và đảo nhiệt đô thị.

Các thông số vật liệu và thảm thực vật được thiết lập dựa trên điều kiện xây dựng phổ biến tại Việt Nam và thư viện ENVI-met đã hiệu chỉnh. Tường công trình giả định là tường gạch hoàn thiện vữa xi măng, mái bê tông cốt thép; vỉa hè sử dụng bê tông sáng màu và lòng đường phủ asphalt nhằm phản ánh điều kiện phổ biến của các khu đô thị mới. Các hệ số hấp thụ, phản xạ, phát xạ nhiệt của vật liệu cùng độ ẩm và nhiệt độ đất được tổng hợp trong Bảng 2.

Về hệ thực vật, nghiên cứu sử dụng hai nhóm cây xanh gồm cây tán trung bình cao khoảng 15 m dọc đại lộ chính và cây tán nhỏ cao khoảng 5 m tại các tuyến phố hẹp. Chỉ số mật độ diện tích lá (LAD) được chọn là 2 m^2/m^3, phù hợp với cây xanh đô thị nhiệt đới. Dải phân cách trung tâm được phủ cỏ tự nhiên như hiện trạng.

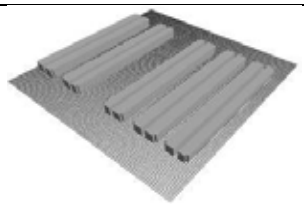
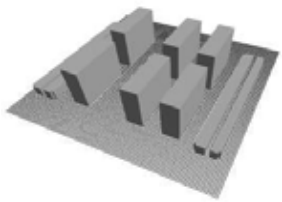
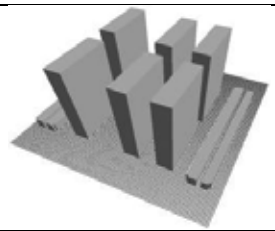
Bảng 2. Dữ liệu mô hình của trường hợp nghiên cứu

	Tường	Mái	Mặt lát bê tông (sáng màu)	Lớp phủ nhựa asphalt	Cỏ tự nhiên	Cây xanh tán trung bình	Đất nền (0-20 cm/ 20-50 cm/ 50-200 cm)
Chiều dày (m)	0.30	0.15	-	-	-	-	-
Hệ số hấp thụ	0.70	0.70	0.20	0.90	0.50	-	-
Hệ số phản xạ	0.30	0.30	0.80	0.10	0.50	-	-
Hệ số phát xạ	0.90	0.90	0.20	0.90	0.50	-	-
Độ ẩm (%)	-	-	-	-	-	-	60 / 70 / 85
Nhiệt độ (°C)	-	-	-	-	-	-	25 / 23 / 21
Chiều cao (m)	-	-	-	-	-	5 - 15	-
Mật độ diện tích lá, LAD (m^2/m^3)	-	-	-	-	-	2	-

4.4. Xây dựng các kịch bản nghiên cứu

Để đánh giá ảnh hưởng của hình thái đường phố đến tiện nghi nhiệt ngoài trời, nghiên cứu xây dựng ba nhóm kịch bản chính dựa trên sự thay đổi của tỷ lệ hình học không gian đường phố (H/W). Các yếu tố khác như vật liệu bề mặt, cấu hình công trình và cây xanh được giữ không đổi nhằm đảm bảo khả năng so sánh trực tiếp giữa các trường hợp. Trong mỗi nhóm, bốn hướng tuyến đường được xem xét gồm: Đông - Tây, Bắc - Nam, Đông Bắc - Tây Nam và Tây Bắc - Đông Nam. Tổng cộng có 12 kịch bản mô phỏng được xây dựng và tổng hợp trong Bảng 3.

Bảng 3. Thông tin, dữ liệu mô hình của các kịch bản nghiên cứu

Kịch bản	**A**				**B**				**C**			
Mô hình 3D												
Kịch bản thành phần	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	C1	C2	C3	C4
Tỷ lệ chiều cao / chiều rộng (H/W)	0.25 ÷ 1				1 ÷ 2				2 ÷ 3			
Hướng tuyến đường	Đ-T	B-N	ĐB-TN	TB -ĐN	Đ-T	B-N	ĐB-TN	TB -ĐN	Đ-T	B-N	ĐB-TN	TB -ĐN
Chiều cao cây xanh (m) (Kịch bản cơ sở)	5-15	5-15	5-15	5-15	5-15	5-15	5-15	5-15	5-15	5-15	5-15	5-15

- Nhóm A: H/W ≈ 0,25 – 1 với 4 kịch bản A1, A2, A3, A4
- Nhóm B: H/W ≈ 1 – 2 với 4 kịch bản B1, B2, B3, B4
- Nhóm C: H/W ≈ 2 – 3 với 4 kịch bản C1, C2, C3, C4

Việc lựa chọn các khoảng tỷ lệ H/W và hướng tuyến dựa trên các nghiên cứu trước đây về vi khí hậu đường phố trong điều kiện khí hậu nóng ẩm và nhiệt đới [4], [6]. Cách tiếp cận này cho phép đánh giá riêng biệt ảnh hưởng của hình thái không gian đường phố đến điều kiện vi khí hậu và tiện nghi nhiệt ở cao độ người đi bộ.

5. KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

5.1. Ảnh hưởng của hướng tuyến phố

Kết quả mô phỏng cho thấy các tuyến phố hướng Bắc - Nam và Đông Bắc - Tây Nam có giá trị PET thấp hơn rõ rệt so với các hướng khác. Ở mọi phương án tỷ lệ hình học không gian đường phố, PET tại các tuyến phố hướng Bắc - Nam và Đông Bắc - Tây Nam (A2, A3, B2, B3, C2, C3) thấp hơn khoảng 10°C so với các tuyến hướng Đông - Tây và Tây Bắc - Đông Nam.

Nhiệt độ bức xạ trung bình (Tmrt) giảm tới 13°C khi thay đổi hướng tuyến phố từ Đông - Tây (A1) sang Bắc - Nam (A2). Điều này được lý giải bởi sự khác biệt về khả năng che bóng của công trình trong điều kiện trời quang mây, đặc biệt vào thời điểm 15:00 khi bức xạ mặt trời đạt cường độ cao.

Hình 2 cho thấy sự biến thiên của chỉ số PET đối với các hướng tuyến phố trong trường hợp H/W ~ 2 tại thời điểm 15:00. Kết quả cho thấy ảnh hưởng của hướng tuyến phố và hướng công trình tới Tmrt và PET rõ rệt hơn nhiều so với nhiệt độ không khí (Ta) và tốc độ gió (Ws).

Bảng 4. Giá trị trung vị của PET, nhiệt độ không khí (Ta), nhiệt độ bức xạ trung bình (Tmrt) và tốc độ gió (Ws) đối với các hướng tuyến phố thuộc nhóm tỷ lệ hình học thấp (0,25–1) - Kịch bản A

	A1	A2	A3	A4
Hướng tuyến phố	Đông – Tây	Bắc – Nam	Đông Bắc – Tây Nam	Tây Bắc – Đông Nam
PET	55,40	43,80	44,00	52,00
Ta	35,35	35,40	35,76	35,18
Tmrt	64,10	51,19	51,26	51,58
Ws	0,73	0,75	0,95	0,79

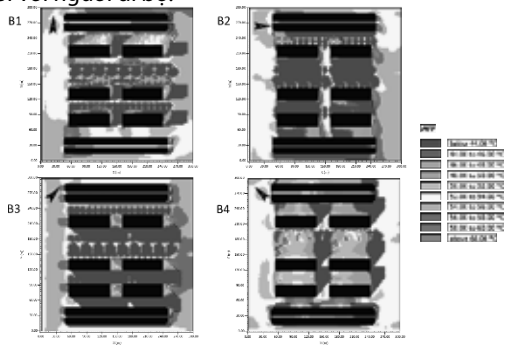
Bảng 5. Giá trị trung vị của PET, nhiệt độ không khí (Ta), nhiệt độ bức xạ trung bình (Tmrt) và tốc độ gió (Ws) đối với các hướng tuyến phố thuộc nhóm tỷ lệ hình học trung bình (1–2) - Kịch bản B

	B1	B2	B3	B4
Hướng tuyến phố	Đông – Tây	Bắc – Nam	Đông Bắc – Tây Nam	Tây Bắc – Đông Nam
PET	47,40	42,36	41,80	50,60
Ta	35,46	35,38	35,56	35,13
Tmrt	50,32	48,28	47,77	49,08
Ws	0,83	0,85	1,07	0,33

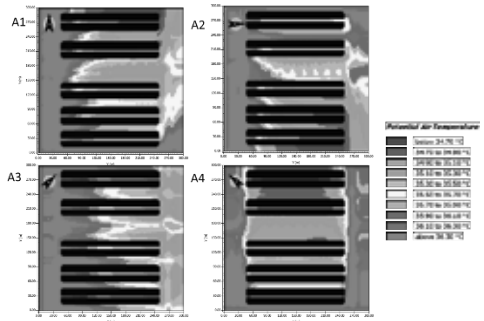
Bảng 6. Giá trị trung vị của PET, nhiệt độ không khí (Ta), nhiệt độ bức xạ trung bình (Tmrt) và tốc độ gió (Ws) đối với các hướng tuyến phố thuộc nhóm tỷ lệ hình học lớn (2-3) - Kịch bản C

	C1	C2	C3	C4
Hướng tuyến phố	Đông – Tây	Bắc – Nam	Đông Bắc – Tây Nam	Tây Bắc – Đông Nam
PET	46,60	42,00	40,96	48,00
Ta	34,96	35,17	35,34	34,58
Tmrt	49,05	47,22	46,26	47,27
Ws	0,76	0,75	0,98	0,37

Giá trị Tmrt bất lợi nhất được ghi nhận tại các tuyến phố hướng Đông – Tây, nơi Tmrt luôn cao hơn khoảng 2-3°C so với các cấu hình còn lại. Trong khi đó, giá trị PET cao nhất xuất hiện tại các tuyến phố hướng Tây Bắc - Đông Nam trong các tuyến phố có H/W cao. Nguyên nhân chủ yếu là do bề mặt đường phố ở các hướng Đông - Tây và Tây Bắc - Đông Nam chịu bức xạ mặt trời trực tiếp mạnh vào buổi chiều, dẫn đến gia tăng đáng kể nhiệt độ bức xạ và cảm giác nóng đối với người đi bộ.



Hình 2. Biến thiên không gian của chỉ số PET vào lúc 15:00 ngày 9/7/2024 đối với các kịch bản nhóm B



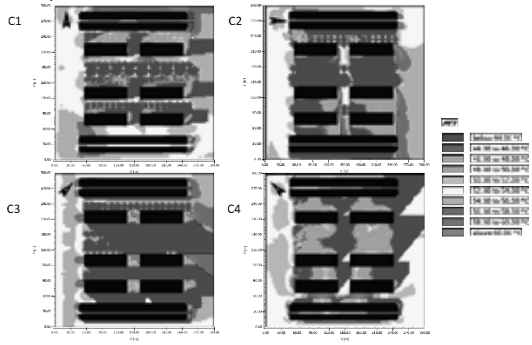
Hình 3. Biến thiên không gian của Ta vào lúc 15:00 ngày 9/7/2024 đối với các tuyến phố thuộc kịch bản nhóm A

Nhìn chung, kết quả mô phỏng cho thấy các tuyến phố định hướng Đông Bắc - Tây Nam và Bắc - Nam tạo điều kiện môi trường nhiệt thuận lợi hơn vào buổi chiều mùa hè, qua đó cải thiện tiện nghi nhiệt ngoài trời cho người đi bộ trong khí hậu nhiệt đới nóng ẩm.

Sự phân bố nhiệt độ không khí của các tuyến phố có công trình cao 12 m (H/W nhỏ) (nhóm A) theo các hướng khảo sát tại thời điểm 15:00 được thể hiện trong Hình 3. Bảng 4, 5 và 6 tổng hợp kết quả của toàn bộ kịch bản nghiên cứu. Kết quả cho thấy chênh lệch nhiệt độ không khí trung vị giữa các kịch bản tương đối nhỏ, không vượt quá 0,6°C.

5.2. Ảnh hưởng của tỷ lệ hình học không gian đường phố

Ảnh hưởng của tỷ lệ hình học không gian đường phố (H/W) đối với chỉ số PET được thể hiện trong Hình 4 và các Bảng 4, 5, 6. Kết quả cho thấy các tuyến phố có H/W từ 2–3 giúp giảm nhiệt độ bức xạ trung bình (Tmrt) và chỉ số PET hiệu quả hơn so với các tuyến phố có H/W từ 0,25–1.



Hình 4. Phân bố không gian của chỉ số PET vào lúc 15:00 (ngày 9/7/2024) đối với các kịch bản nhóm C

Tuy nhiên, ảnh hưởng của tỷ lệ hình học đến nhiệt độ không khí nhỏ hơn đáng kể so với tác động đến tiện nghi nhiệt ngoài trời. Mức giảm nhiệt độ không khí khi tăng tỷ lệ chiều cao trên chiều rộng (H/W) không vượt quá 0,5°C. Ngược lại, nhiệt độ bức xạ trung bình

(Tmrt) nhạy cảm hơn nhiều với hiệu ứng che bóng do hình thái không gian tạo ra. Xu hướng chung cho thấy giá trị Tmrt giảm dần khi tỷ lệ H/W tăng lên.

Mức giảm Tmrt lớn nhất, khoảng 12°C, đạt được khi chiều cao công trình tăng từ 12 m lên 48 m trên tuyến phố hướng Đông - Tây. Tuy nhiên, khi tiếp tục tăng lên 96 m, hiệu quả giảm nhiệt không còn rõ rệt, với mức giảm bổ sung tối đa chỉ khoảng 2°C tại tuyến phố hướng Tây Bắc - Đông Nam. Điều này cho thấy hiệu quả che bóng giảm dần khi tỷ lệ hình học đạt đến một ngưỡng nhất định.

Chỉ số PET có xu hướng biến thiên tương đồng với Tmrt. Khi tỷ lệ chiều cao trên chiều rộng (H/W) tăng, giá trị PET giảm đáng kể, giúp cải thiện tiện nghi nhiệt ngoài trời. Các tuyến phố có H/W lớn cho thấy điều kiện nhiệt tốt hơn rõ rệt cho người đi bộ, với chênh lệch PET giữa phố sâu và phố nông có thể vượt 14°C.

Điều kiện tiện nghi nhiệt tốt nhất đạt được khi tỷ lệ H/W xấp xỉ 3. Khi vượt quá ngưỡng này, lượng bức xạ mặt trời trên bề mặt đường phố thay đổi không đáng kể, trong khi có thể làm giảm chất lượng không gian thị giác và cảm nhận đô thị. Vì vậy, H/W = 3 được xem là tỷ lệ phù hợp đối với đường phố trong điều kiện khí hậu nhiệt đới nóng ẩm. Ngoài ra, tỷ lệ hình học lớn còn giúp cải thiện đồng đều tiện nghi nhiệt ở cả hai phía tuyến phố nhờ hiệu quả che bóng tăng lên.

6. KẾT LUẬN

Kết quả phân tích từ kịch bản cơ sở và các phương án mô phỏng cho thấy hướng tuyến đường và tỷ lệ chiều cao công trình trên chiều rộng đường phố (H/W) ảnh hưởng rõ rệt đến tiện nghi nhiệt ngoài trời và vi khí hậu đô thị.

Các tuyến phố có tỷ lệ H/W từ 2-3 giúp cải thiện đáng kể điều kiện nhiệt ở tầng đi bộ và được xem là phù hợp với khí hậu nhiệt đới nóng ẩm của Hà Tĩnh cũng như nhiều đô thị Việt Nam. Kết quả này tương đồng với một số nghiên cứu tại Singapore [6], nơi các tuyến phố có H/W cao cho hiệu quả che nắng và cải thiện vi khí hậu tốt hơn. Tuy nhiên, tỷ lệ H/W lớn hơn 3 không còn phù hợp do khó đáp ứng quy định quy hoạch, đồng thời làm giảm độ mở không gian, hệ số nhìn thấy bầu trời (Sky View Factor-SVF), gây cảm giác chật hẹp và giảm chất lượng thẩm mỹ thị giác.

Nghiên cứu cũng cho thấy việc kiểm soát bức xạ mặt trời cần được xem xét đồng thời với định hướng tuyến đường và hình học không gian phố. Trong bốn hướng khảo sát, các tuyến Tây Bắc - Đông Nam và Đông - Tây chịu tác động nhiệt bất lợi hơn do bức xạ trực tiếp mạnh vào buổi chiều, trong khi các tuyến Đông Bắc - Tây Nam và Bắc - Nam có điều kiện tiện nghi nhiệt tốt hơn nhờ khả năng tạo bóng đổ hiệu quả hơn. Kết quả này nhấn mạnh vai trò của chiến lược tạo bóng mát cho không gian giao thông công cộng và không gian đi bộ.

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu và gia tăng nhiệt độ cực đoan tại Việt Nam, cải thiện vi khí hậu tuyến phố không chỉ mang ý nghĩa môi trường mà còn góp phần thúc đẩy giao thông bền vững, tăng sức hấp dẫn đối với người đi bộ và xe đạp, qua đó giảm phụ thuộc vào phương tiện cá nhân sử dụng nhiên liệu hóa thạch. Nghiên cứu có ý nghĩa thực tiễn đối với quy hoạch và thiết kế đô thị thích ứng khí hậu tại Hà Tĩnh và các đô thị nhiệt đới Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Hoan, N.T., Liou, Y.A., Nguyen, K.A., Sharma, R.C., Tran, D.P., Liou, C.L., Cham, D.D. Assessing the effects of land-use types in surface urban heat islands for developing comfortable living in Hanoi City. Remote Sensing, 10(12), pp. 1-24, 2018, https://doi.org/10.3390/rs10121965.

[2] Son, N.T., Chen, C.F., Chen, C.R., Thanh, B.X., Vuong, T.H. Assessment of urbanization and urban heat islands in Ho Chi Minh City, Vietnam using Landsat data. Sustainable Cities and Society, 30, pp. 150-161, 2017, https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.01.009.

[3] UBND tỉnh Hà Tĩnh. Thuyết minh phương án điều chỉnh quy hoạch chung TP Hà Tĩnh và vùng phụ cận (cũ) - Tầm nhìn đến năm 2050, Hà Tĩnh, 2015.

[4] Ngo, D., Breesch, H., Motoasca, E., Versele, A., Pham, C. Analysis of outdoor thermal conditions in different neighbourhood typologies of Ha Tinh City, Vietnam. Proceedings of PLEA 2020 - Planning Post Carbon Cities, pp. 1-8, 2020.

[5] Qaid, A., Ossen, D.R. Effect of asymmetrical street aspect ratios on microclimates in hot, humid regions. International Journal of Biometeorology, 59(6), pp. 657-677, 2015, https://doi.org/10.1007/s00484-014-0878-5.

[6] Jamei, E., Rajagopalan, P., Seyedmahmoudian, M., Jamei, Y. Review on the impact of urban geometry and pedestrian level greening on outdoor thermal comfort. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 54, pp. 1002-1017, 2016, https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.104.

[7] Santana, M.V.E., Lopes, A.M.S., Carvalho, M.M. Urban morphology and microclimate: Contributions for outdoor thermal comfort in tropical cities. Urban Climate, 34, p. 100718, 2020, https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100718.

[8] Yang, W., Wong, N.H., Li, C.Q. Effect of street design on outdoor thermal comfort in an urban street in Singapore. Journal of Urban Planning and Development, 142(1), p. 05015003, 2016, https://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000285.

[9] UBND tỉnh Hà Tĩnh. Thuyết minh phương án quy hoạch phân khu xã Thạch Đài, TP Hà Tĩnh (cũ). Hà Tĩnh, 2019.

[10] Hoppe, P. The physiological equivalent temperature - A universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. International Journal of Biometeorology, 43(2), pp. 71-75, 1999.

[11] Matzarakis, A., Mayer, H., Iziomon, M.G. Applications of a universal thermal index: Physiological equivalent temperature. International Journal of Biometeorology, 43(2), pp. 76-84, 1999, https://doi.org/10.1007/s004840050119.

[12] Yang, W., Wong, N.H., Jusuf, S.K. Thermal comfort in outdoor urban spaces in Singapore. Building and Environment, 59, pp. 426-435, 2013, https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.09.008.

[13] Acero, J.A., Herranz-Pascual, K. A comparison of thermal comfort conditions in four urban spaces by means of measurements and modelling techniques. Building and Environment, 93, pp. 245-257, 2015, https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.06.028.

[14] Tsoka, S., Tsikaloudaki, A., Theodosiou, T. Analyzing the ENVI-met microclimate model's performance and assessing cool materials and urban vegetation applications - A review. Sustainable Cities and Society, 43, pp. 55-76, 2018, https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.08.009.

■Ngày nhận bài: 10/4/2026 ■Ngày sửa bài: 15/5/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 04/6/2026

Hoàng thành Thăng Long dưới góc nhìn thiết kế đô thị, cấu trúc không gian và định hướng bảo tồn

The Thang Long Imperial citadel from an urban design perspective: spatial structure and conservation directions

> GS.TS.KTS NGUYỄN QUỐC THÔNG[1], KTS CAO THÀNH NGHIỆP[2]
[1]Hội Kiến trúc sư Việt Nam
[2]Viện Đào tạo sau đại học, Trường Đại học Kiến trúc TP.HCM

TÓM TẮT

Trong tiến trình hình thành đô thị, "bảo tồn" và "phát triển" tồn tại như một cặp phạm trù vừa mâu thuẫn vừa tương hỗ. Hoàng thành Thăng Long là kết quả của quá trình tích lũy lịch sử. Trong *Chiếu dời đô* (1010), Lý Công Uẩn xác định Đại La là không gian "trung tâm trời đất... tiện hướng nhìn sông dựa núi" [2], thể hiện tư duy lựa chọn vị thế kinh đô gắn với địa hình và hệ thống sông ngòi. Theo Trần Quốc Vượng, trung tâm kinh thành qua các thời kỳ quy tụ tại núi Nùng phản ánh tính liên tục của cấu trúc không gian quyền lực. [19]

Nghiên cứu tiếp cận Hoàng thành Thăng Long dưới góc nhìn thiết kế đô thị, sử dụng trục, trung tâm, phân lớp và chuỗi không gian để diễn giải cấu trúc tích lũy và chồng lớp qua thời gian. Kết quả xác lập thành phần cấu trúc và mối quan hệ, làm cơ sở đề xuất định hướng bảo tồn và phát huy giá trị di sản nhằm duy trì tính liên tục lịch sử và tính xác thực của di sản.

Từ khóa: Thiết kế đô thị; cấu trúc không gian; kinh thành Thăng Long - Hà Nội; bảo tồn di sản; hình thái đô thị.

ABSTRACT

In the process of urban formation, "conservation" and "development" exist as a pair of categories that are both contradictory and mutually supportive. The Thăng Long - Hanoi Imperial Citadel is the result of a cumulative historical process. In the Edict on the Transfer of the Capital (1010), Lý Công Uẩn identified Đại La as a site "at the center of heaven and earth... conveniently oriented toward rivers and backed by mountains" [1], reflecting a spatial selection approach grounded in topography and river systems. According to Trần Quốc Vượng, the central core of the imperial citadel across successive periods converges at Mount Nùng [2], indicating the continuity of the spatial structure of political power.

This study approaches the Thăng Long - Hanoi Imperial Citadel from an urban design perspective, employing analytical tools such as axis, centrality, spatial hierarchy, and spatial sequence to interpret its accumulated and stratified spatial structure. The findings identify key structural components and their interrelationships, providing a basis for proposing conservation strategies grounded in spatial organization. These strategies aim to maintain historical continuity and the authenticity of urban heritage within the context of contemporary urban development.

Keywords: Urban Design; spatial Structure; Thang Long - Hanoi imperial citadel; heritage conservation; urban morphology.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Kết quả nghiên cứu sử học và đặc biệt là kết quả khai quật khảo cổ học từ hơn 20 năm nay tại 18 Hoàng Diệu và khu vực Hoàng thành Thăng Long đã khẳng định vị trí và vị thế của Hoàng thành Thăng Long, kết thúc mấy chục năm nỗ lực tìm kiếm và tranh luận trong giới chuyên gia từ lịch sử, khảo cổ, văn hoá đến kiến trúc, xây dựng. Hoàng thành Thăng Long với bề dày văn hóa trải qua 13 thế kỷ liên tục là trung tâm quyền lực của quốc gia, từ thời kỳ tiền Thăng Long đến ngày nay, ngoại trừ giai đoạn triều Nguyễn (1802 - 1945) khi kinh đô chuyển vào Huế.

Chính tầm quan trọng và ý nghĩa thiêng liêng của Di sản Hoàng thành Thăng Long khơi dậy niềm tự hào dân tộc sâu đậm trong lòng mỗi người Việt Nam, đồng thời thu hút sự quan tâm của nhiều ngành, nhiều lĩnh vực và các tầng lớp xã hội để bảo tồn và phát huy giá trị của di sản. Đây là một nhiệm vụ rất cần thiết, nhưng rất khó.

Trong lý luận bảo tồn đô thị, Hiến chương Machu Picchu (1977) đã mở rộng phạm vi bảo tồn từ di tích đơn lẻ sang toàn bộ đô thị

lịch sử, nhấn mạnh việc bảo vệ không chỉ công trình kiến trúc mà còn cảnh quan, truyền thống văn hóa, bản sắc địa phương và tính liên tục của quá trình biến đổi đô thị [8]. Quan điểm này cho thấy bảo tồn cần được tiếp cận như một chỉnh thể không gian - lịch sử, trong đó cấu trúc không gian và cảnh quan phát triển qua thời gian được nhận diện trong mối quan hệ tổng thể.

Với tinh thần ấy, bài viết tiếp cận từ góc độ thiết kế đô thị để phân tích cấu trúc không gian Hoàng thành Thăng Long. Trên cơ sở đó gợi ý định hướng bảo tồn và phát huy giá trị nổi bật toàn cầu của khu di sản Hoàng thành Thăng Long - Hà Nội.

2. QUÁ TRÌNH HÌNH THÀNH VÀ BIẾN ĐỔI KHÔNG GIAN HOÀNG THÀNH THĂNG LONG

Trên cơ sở kết quả khai quật khảo cổ học và tư liệu lịch sử, có thể khái quát những nét chính của quá trình hình thành và biến đổi không gian Hoàng thành Thăng Long qua các giai đoạn như sau:

2.1. Phủ thành Đại La (thế kỷ VII-IX)

Dấu tích phủ thành Đại La được tìm thấy dưới lòng đất tại 18 Hoàng Diệu. Trong số các di vật tìm thấy có các loại gạch để chữ "Giang Tây quân" thuộc kiến trúc thời Đường, gạch vuông có hình cá sấu và nhiều hình trang trí thể hiện phong cách nghệ thuật Việt… Tất cả cho thấy đây là tòa thành sớm nhất tại khu di tích Hoàng Thành Thăng Long [11].

Theo tư liệu lịch sử, Cao Biền đã tiến hành xây dựng quy mô lớn nhằm biến thành Đại La thành trung tâm phòng thủ kiên cố bậc nhất. Cao Biền đã tiến hành xây dựng quy mô lớn nhằm biến thành Đại La thành trung tâm phòng thủ kiên cố bậc nhất. "Biền đắp thành Đại La ở phía tây sông Cái, chu vi 1.982 trượng 7 thước, cao 2 trượng 6 thước, chân thành rộng 2 trượng 5 thước... có 55 vọng lâu, 6 cửa môn lâu, 3 cống thủy môn... lại đắp đê bao quanh ngoài thành 2.125 trượng 8 thước" [9]. Như vậy, ngoài mục đích phòng thủ, Cao Biền còn chú ý đến việc chống lũ lụt cho tòa thành. Từ góc độ thiết kế đô thị, phủ thành Đại La có cấu trúc trung tâm với mối quan hệ "thành - nước - địa hình". Có thể coi đây là các yếu tố chi phối sự phát triển không gian Hoàng thành Thăng Long về sau.

2.2. Kinh Phủ thời Đinh - Tiền Lê (thế kỷ X)

Nằm trên cùng tầng văn hóa Đại La, 15 dấu tích kiến trúc thời Đinh - Tiền Lê được phát hiện, trong đó có nhiều loại gạch và vật liệu trang trí, quan trọng nhất là gạch màu đỏ tươi in hình chữ "Đại Việt quốc quân thành chuyên" [11]. Điều đó cho thấy Kinh Phủ thời Đinh - Tiền Lê phát triển tiếp nối trên vị trí phủ thành Đại La.

2.3. Thăng Long thời Lý (1010 - 1225), Trần (1226 - 1400)

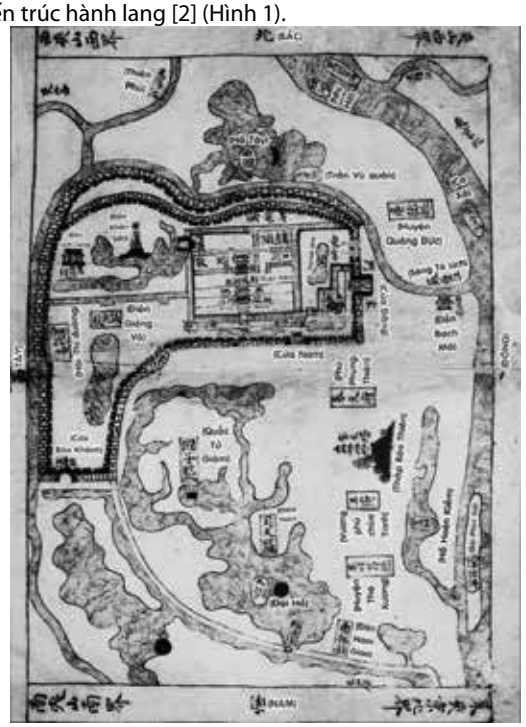
Thăng Long thời Lý - Trần là một điển hình của tư duy quy hoạch đô thị phương Đông chịu ảnh hưởng của cấu trúc ba vòng thành theo quy tắc hình học kiểu Trung Hoa, nhưng có đặc trưng riêng bởi vòng thành ngoài - Đại La thành (hay Kinh thành) không vuông vức mà có hình tự nhiên như kiểu thành Cổ Loa của tổ tiên xưa [2].

Tại khu vực hoàng thành Thăng Long, ngay khi định đô (1010), vua Lý Thái Tổ đã chủ trương: "Phía trước dựng điện Càn Nguyên làm chỗ coi chầu, bên tả dựng điện Tập Hiền, bên hữu dựng điện Giảng Võ" [14]. Việc đặt điện Càn Nguyên tại vị trí trung tâm trên đỉnh núi Nùng (năm 1029 xây mới gọi là chính điện Thiên An) đã hình thành nên trục chính Bắc - Nam, tạo sự đối xứng cho toàn bộ các công trình còn lại trong tổng thể trung tâm hoàng thành. Các cung điện thời Lý có quy mô lớn, nhưng đều là kiến trúc gỗ kết hợp với gạch, ngói, đá, rất đa dạng về mặt bằng và tổng thể đều được bố cục hướng tâm, đối xứng theo hướng Bắc - Nam và Đông - Tây. Lớn nhất và quan trọng nhất là trung tâm Hoàng thành Thăng Long với trục chính - trục thần đạo theo hướng Bắc - Nam. Đó là cấu trúc phân lớp, tuyến tính với hệ thống gồm: cổng - đường - sân - chính điên là điểm nhấn trung tâm - các công trình khác, tạo thành chuỗi không gian nghi lễ, thể hiện rõ thứ bậc quyền lực và được tổ chức có tính quy chuẩn cao.

Đến thời Trần, cấu trúc phân lớp với trục đối xứng tiếp tục được củng cố, hoàn thiện, trở thành quy tắc nghiêm ngặt trong tổ chức không gian Hoàng thành Thăng Long. Ngoài ra, thời Trần tiếp tục phát triển hệ thống kiến trúc thời Lý trên nền được tôn cao hơn mang phong cách trang trí đặc sắc của thời Trần thông qua các tiến bộ kỹ thuật chế tác gốm, chất lượng cao và tinh xảo, nhất là gốm hoa lam nổi tiếng thế giới.

2.4. Đông Kinh thời Lê sơ (1427 - 1527), thời Mạc (1527 - 1592) và thời Lê Trung Hưng (1593 - 1788)

Thắng giặc Minh, Lê Lợi lên ngôi Hoàng đế, hiệu Thuận Thiên, đóng đô tại Thăng Long gọi là Đông Kinh. Thời Lê tiếp nối truyền thống quy hoạch Thăng Long thời Lý, Trần, mở rộng thành và trong hoàng thành cho xây dựng điện Kính Thiên, điện Cần Chính, điện Vạn Thọ, Tả điện, Hữu điện. Bằng chứng là khảo cổ học tìm thấy dấu tích móng tường Cấm thành thời Lê Sơ. Dấu tích tường lớn kết nối với nối với móng tường phía Đoan môn, tường nhỏ bao quan chính điện Kính Thiên. Tại khu vực điện Kính Thiên đã xác định 15 dấu tích kiến trúc gồm móng cột, lan can thành bậc chạm rồng của thềm điện Kính Thiên được làm năm 1467; Di vật kiến trúc gỗ sơn son thếp vàng; ngói rồng tráng men vàng hoặc men xanh và các chi tiết trang trí bằng gốm men nhiều màu tinh xảo; Ngự đạo và sân Đan Trì; Dấu tích kiến trúc hành lang [2] (Hình 1).



Hình 1. Bản đồ Thăng Long thời Hồng Đức 1490 *(Viện Thông tin Khoa học xã hội)*

Nhà Mạc xây dựng kinh đô mới ở Dương Kinh, Kiến Thụy, Hải Phòng nhưng vẫn sử dụng kinh đô Thăng Long. Nhìn chung, nhà Mạc sử dụng các cung điện thời Lê Sơ và không xây dựng nhiều ở kinh đô Thăng Long.

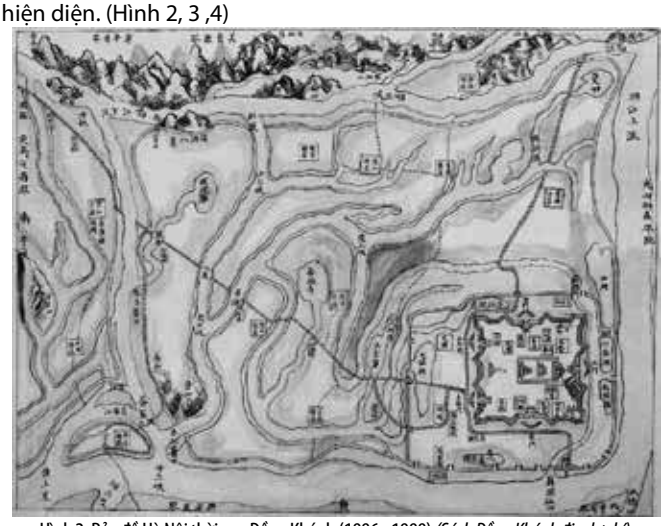
Dưới thời Lê Trung Hưng, tồn tại chế độ Vua Lê, Chúa Trịnh. Phủ Chúa nguy nga bên ngoài thành được xây dựng nhiều hơn so với trong hoàng thành. Khu vực hoàng thành vẫn gồm hệ thống cung điện thời trước và chính điện Kính Thiên vẫn là nơi diễn ra các sự kiện quan trọng nhất của vương triều. Phủ Chúa bên ngoài thành trở thành yếu tố tạo thị, thúc đẩy khu thị dân phát triển mạnh Trong các ghi chép của người phương Tây thời bấy giờ, Thăng Long là một đô thị phồn vinh và hoàng thành hoành tráng và lộng lẫy [11]. Như

vậy có thể thấy không gian Hoàng thành Thăng Long thời Lê Trung Hưng vẫn tuân theo cấu trúc đã được định hình thời Lý, Trần. Đó là cấu trúc phân lớp không gian theo trục thần đạo - trục trung tâm, tạo thành chuỗi không gian nghi lễ với chính điện Kính Thiên là điểm nhấn trung tâm, được tổ chức chặt chẽ mang tính quy chuẩn cao, thể hiện tính nghiêm cẩn và thứ bậc quyền lực của vương triều.

2.5. Thăng Long thời Tây Sơn (1778 - 1802) và thời Nguyễn (1802 - 1945)

Do thời gian trị vì không dài với nhiều biến động nên dấu ấn thời Tây Sơn ở Thăng Long không nhiều. Thăng Long bấy giờ được gọi là Bắc Thành. Đến năm 1802 cấu trúc hoàng thành và chính điện Kính Thiên thời Lê vẫn không thay đổi.

Dưới thời Nguyễn, vua Gia Long xây dựng kinh đô ở Huế, năm 1803 cho phá thành Thăng Long để xây dựng tòa thành mới quy mô nhỏ hơn, hình vuông theo kiểu Vauban. Từ đó Hoàng thành Thăng Long trải qua quá trình tái cấu trúc sâu sắc, từ kinh đô thành trị sở Bắc Thành. Năm 1816 xây dựng lại điện Kính Thiên với quy mô nhỏ hơn. Năm 1831 vua Minh Mạng đổi tên Thăng Long thành Hà Nội. Đến năm 1841 vua Thiệu Trị đổi tên điện Kính Thiên thành điện Long Thiên. Mặc dù có nhiều biến đổi, nhưng về cơ bản dấu vết trục trung tâm hoàng thành Thăng Long với cấu trúc phân lớp vẫn còn hiện diện. (Hình 2, 3 ,4)



Hình 2. Bản đồ Hà Nội thời vua Đồng Khánh (1886 - 1888) *(Sách Đồng Khánh địa dư chí)*



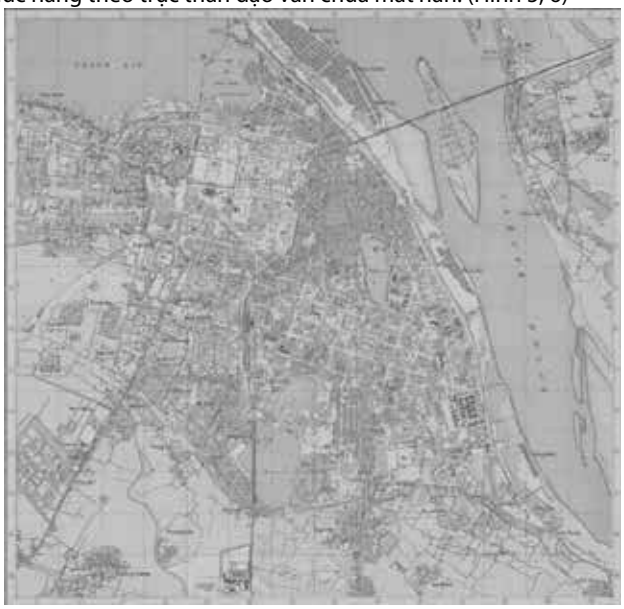
Hình 3. Bản đồ thành Hà Nội 1873 [18]



Hình 4. Điện Long Thiên thời Nguyễn [12]

2.6. Hoàng thành Hà Nội thời Pháp thuộc (1882 - 1945)

Năm 1882 sau khi đánh thành Hà Nội lần thứ hai, thực dân Pháp chiếm thành, mở đầu cho giai đoạn phá huy di tích để lấy đất xây dựng các công trình theo kiểu kiến trúc trại lính phục vụ quân đội Pháp. Năm 1886, điện Long Thiên bị phá để xây dựng trụ sở chỉ huy pháo binh, tạo lớp quyền lực mới chồng lên không gian cũ. Đó là dã tâm chiếm trọn không gian quyền lực tối cao của người Việt mà người Pháp gọi là "Chiến lược kiểm soát không gian có chủ đích" [10]. Đến năm 1889 thêm nhiều công trình đã được xây dựng tại khu vực hoàng thành và năm 1897 tòa thành Hà Nội bị phá bỏ để mở đường và phố mới. Đến đây, toàn bộ điện Long Thiên và nền móng chính điện Kính Thiên thời Lê đã trở thành phế tích, chỉ còn Đoan Môn và Chính Bắc Môn. Dẫu vậy, dấu vết trục trung tâm hoàng thành vẫn còn, cho thấy cấu trúc phân lớp không gian và chồng lớp chức năng theo trục thần đạo vẫn chưa mất hẳn. (Hình 5, 6)



Hình 5. Bản đồ TP Hà Nội năm 1942 [2]



Hình 6. Toàn cảnh khu vực điện Long Thiên thời Pháp thuộc [1]

2.7. Hoàng thành Thăng Long hiện nay

Sau năm 1954, khu vực Hoàng thành Thăng Long tiếp tục là trung tâm quyền lực với chức năng tổng hành dinh quân đội. Năm 1967, nhà D67 và hệ thống hầm ngầm được xây dựng, hình thành cụm chỉ huy chiến lược trong kháng chiến chống Mỹ. Theo hồ sơ đề cử Di sản thế giới (2010), đây là minh chứng cho "sự kết nối liên tục của một trung tâm quyền lực chính trị trải dài hơn 13 thế kỷ" [18].

Hiện nay, với sự xuất hiện của Nhà Quốc hội, khu vực này chuyển đổi từ không gian quân sự sang trung tâm quyền lực quốc gia. Các thành phần như Đoan Môn, Chính Bắc Môn và Nhà D67 cùng tồn tại, tạo nên cấu trúc chồng lớp chức năng điển hình của Hoàng thành Thăng Long (Hình 7, 8).



Hình 7. Khu trung tâm Hoàng thành Thăng Long, phường Ba Đình, Hà Nội [18]



Hình 8. Mặt bằng và mặt cắt lõi trung tâm Hoàng thành Thăng Long [18]

3. NHẬN DIỆN CẤU TRÚC KHÔNG GIAN HOÀNG THÀNH THĂNG LONG

Qua việc đánh giá kết quả khai quật khảo cổ học và khái quát quá trình biến đổi không gian Hoàng thành Thăng Long từ thời Đại La đến nay, có thể cho phép xác định:

Vị trí Hoàng thành Thăng Long, đặc biệt là vị trí chính điện Kính Thiên. Đó là vị trí chính điện Kính Thiên hiện nay mà qua bao nhiêu triều đại vị trí chính điện không thay đổi. Theo các tư liệu lịch sử, việc xác định vị trí chính điện Kính Thiên có ý nghĩa đặc biệt quan trọng, vì là mạch đất thiêng của kinh thành, nơi thông Thiên đạt Địa để tạo ra Vạn vật giao hòa, Quốc thái dân an, Quốc gia trường thịnh, Dân tộc vĩnh cửu [13].

Cấu trúc không gian Hoàng thành Thăng Long - Hà Nội không phát triển theo mô hình thay thế tuyến tính, mà theo cơ chế tích lũy - chồng lớp - tái cấu trúc trên cùng một vị trí lịch sử. Lớp nền đầu tiên được thiết lập từ phủ thành Đại La (thế kỷ VII-IX) với cấu trúc thành - hào - sông. Đến thời Lý - Trần (thế kỷ XI-XIV), cấu trúc này được nâng cấp thành hệ thống trục trung tâm - phân lớp không gian - chuỗi không gian nghi lễ, xác lập nên các nguyên tắc cơ bản của thiết kế đô thị phương Đông. Thời Lê (thế kỷ XV-XVIII) tiếp tục hoàn thiện cấu trúc phân lớp không gian theo trục chính Bắc - Nam, cấu tạo nên trung tâm Hoàng thành Thăng Long với chính điện Kính Thiên là công trình điểm nhấn chủ đạo.

Sang thời Nguyễn (thế kỷ XIX), mặc dù quy mô kinh thành Thăng Long bị thu hẹp và chuyển thành trung tâm trị sở Bắc thành, nhưng trục trung tâm và lõi quyền lực vẫn được duy trì, thể hiện quá trình tái cấu trúc có kế thừa. Đến thời kỳ hiện đại, từ giai đoạn Pháp thuộc đến sau năm 1954, quá trình chồng lớp chức năng diễn ra mạnh mẽ với nhiều công trình hành chính và quân sự được xây dựng.

Từ góc nhìn thiết kế đô thị, cấu trúc kinh thành có thể khái quát thành hệ thống trục trung tâm - phân lớp - chuỗi không gian - điểm nhấn được duy trì liên tục hơn 13 thế kỷ. Biến đổi chủ yếu diễn ra dưới dạng chồng lớp và điều chỉnh chức năng, tạo nên cấu trúc đô thị tích lũy có tính liên tục cao. Điều đó cho thấy, bảo tồn cần chuyển từ tiếp cận di tích đơn lẻ sang bảo tồn cấu trúc không gian tổng thể, đồng thời kiểm soát phát triển mới có thể duy trì tính xác thực và sự phát triển liên tục của đô thị lịch sử Thăng Long - Hà Nội trong bối cảnh đương đại.

4. ĐỊNH HƯỚNG BẢO TỒN CẤU TRÚC KHÔNG GIAN HOÀNG THÀNH THĂNG LONG

4.1. Nguyên tắc bảo tồn và phát huy giá trị Hoàng thành Thăng Long

Định hướng bảo tồn và phát huy giá trị di sản Hoàng thành Thăng Long cần tuân thủ các nguyên tắc quốc tế và pháp luật Việt Nam. Đó là: Hiến chương Venice 1964: Bảo tồn và trùng tu dựa trên chứng cứ khoa học, tôn trọng yếu tố gốc [3]; Công ước Di sản Thế giới 1972: Bảo vệ giá trị nổi bật toàn cầu và tính toàn vẹn di sản [4]; Hiến chương Machu Picchu 1977: bảo tồn toàn bộ cấu trúc đô thị, cảnh quan và tính liên tục lịch sử [5]; Văn kiện Nara 1994: bảo đảm tính xác thực trong bối cảnh văn hóa cụ thể [6]; Luật Di sản văn hóa: Quy định quản lý, bảo vệ và phát huy giá trị di sản [16].

Đối với Hoàng thành Thăng Long, các tầng văn hóa lịch sử trong lòng đất nhất thiết phải được bảo tồn nguyên vẹn để người dân có thể tham quan và các chuyên gia tiếp tục nghiên cứu. Đồng thời bảo tồn và phát huy giá trị di sản cần được đặt trong mối quan hệ với phát triển bền vững, trong đó di sản không chỉ là đối tượng bảo vệ mà còn là nguồn lực phát triển. Việc tích hợp bảo tồn với các hoạt động du lịch văn hóa, sáng tạo và giáo dục di sản là đáp ứng nhu cầu xã hội đương đại và góp phần nâng cao giá trị nổi bật toàn cầu của khu di sản thế giới. Như vậy bảo tồn và phát triển không đối lập mà hỗ trợ lẫn nhau.

Cuối cùng, các nguyên tắc bảo tồn và phát huy giá trị di sản hoàng thành Thăng Long không chỉ đề cập công trình riêng lẻ, mà toàn bộ cấu trúc không gian trên cơ sở kết quả khai quật khảo cổ học, sử liệu và nghiên cứu đối sánh.

4.2. Bảo tồn và phát huy giá trị không gian trung tâm Hoàng thành Thăng Long

Trục không gian trung tâm Bắc - Nam (trục thần đạo) từ Đoan Môn qua chính điện Kính Thiên đến Chính Bắc Môn, là thành phần cốt lõi của cấu trúc không gian Hoàng thành Thăng Long, phản ánh cách thức tổ chức quyền lực và trật tự nghi lễ được duy trì liên tục qua các thời kỳ.

Trong bối cảnh đương đại, bảo tồn trục này cần được tiếp cận như bảo tồn một không gian lịch sử liên tục, trong đó việc kiểm soát tầm nhìn, chiều cao công trình và tổ chức không gian mở có vai trò quyết định. Đồng thời cần đặc biệt chú ý các công trình điểm nhấn,

mà quan trọng nhất là chính điện Kính Thiên, thông qua tổ chức tuyến tiếp cận, không gian mở và hệ thống diễn giải, nhằm tăng khả năng nhận diện cấu trúc lịch sử và tính liên tục không gian (Hình 9).



Hình 9. Mô phỏng trục thần đạo trong cấu trúc không gian Hoàng thành Thăng Long [1]

Bảo tồn cấu trúc không gian hoàng thành không thể tách rời với các thành phần kiến trúc đô thị xung quanh. Tương tự cần chú trọng duy trì cấu trúc phân 3 lớp không gian của kinh thành cũng như phân lớp không gian của hoàng thành vốn đã được định hình qua các triều đại, tạo nên giá trị đặc trưng. Từ đó có các giải pháp bảo tồn cho các lớp không gian theo hướng: Bảo vệ nghiêm ngặt lớp lõi (khống chế chiều cao, mật độ rất thấp, không gian cảnh quan); Kiểm soát chặt lớp hoàng thành (giữ tỷ lệ khối tích, khoảng lùi, hướng nhìn về trục) và điều tiết lớp bao quanh như vùng đệm để hấp thụ phát triển. Đồng thời, cần làm rõ sự chuyển tiếp giữa các lớp thông qua tổ chức tuyến tiếp cận, thiết kế cảnh quan, qua đó khôi phục cấu trúc phân lớp trong không gian kinh thành và hoàng thành.

Như vậy có thể thấy, định hướng bảo tồn và phát huy giá trị di sản không giới hạn trong phạm vi hoàng thành hay từng hố khảo cổ, mà cần mở rộng sang tổ chức trải nghiệm đô thị. Cần tái lập các tuyến tiếp cận chính, không gian đi bộ, cảnh quan để kết nối khu di sản với khu phố cổ và các không gian lân cận. Việc tái lập hình ảnh hoàng thành có thể thực hiện bằng thiết kế cảnh quan, sử dụng vật liệu, chiếu sáng, mô hình diễn giải và các tuyến tham quan theo trục - lớp - điểm. Qua đó, người sử dụng có thể đọc được cấu trúc kinh thành không chỉ bằng thông tin trưng bày, mà bằng trải nghiệm thực tế.

4.3. Phục dựng có kiểm soát chính điện Kính Thiên

Chính điện Kính Thiên là điểm nhấn quan trọng nhất của trục quyền lực và chuỗi nghi lễ trong cấu trúc không gian Hoàng thành Thăng Long. vì vậy, phục dựng cần được tiếp cận như điểm chốt để khôi phục cấu trúc không gian tổng thể. Việc phục dựng nhất thiết phải dựa trên căn cứ khoa học là kết quả nghiên cứu tư liệu khảo cổ học, sử học và kết quả khảo sát thực tế cũng như tham khảo kinh nghiệm quốc tế. Đồng thời tuân thủ nguyên tắc phục dựng theo chuẩn mực quốc tế về tính xác thực. Trong trường hợp dữ liệu chưa đầy đủ, cần ưu tiên giải pháp diễn giải không gian và cảnh quan, tránh phục dựng giả cổ, đồng thời bảo đảm khả năng nhận diện trục và trung tâm trong đô thị đương đại.

4.4. Phục hồi các giá trị phi vật thể gắn với không gian Hoàng thành Thăng Long

Bảo tồn cấu trúc không gian cần gắn với phục hồi các giá trị phi vật thể, bởi hoàng thành được hình thành để phục vụ các nghi lễ chính trị, ngoại giao và văn hóa cung đình. Các nghi thức đại triều hoặc các hình thức diễn xướng có thể được nghiên cứu, diễn giải và tái hiện ở mức độ phù hợp. Tuy nhiên, việc phục hồi cần tránh xu hướng sân khấu hóa hoặc thương mại hóa quá mức. Giá trị chính của hoạt động này là tái kích hoạt mối quan hệ giữa không gian và nghi lễ, làm cho di sản không chỉ được nhìn thấy như vật thể tĩnh, mà được cảm nhận như một không gian văn hóa sống [20].

4.5. Tái lập các làng nghề truyền thống phục vụ công tác bảo tồn, phục dựng

Quá trình phục dựng chính điện Kính Thiên và các công trình liên quan có thể trở thành cơ hội phục hồi tri thức làng nghề truyền thống. Các làng nghề như gốm Bát Tràng, nghề mộc, chạm khắc đá, đúc đồng, làm ngói, trang trí kiến trúc có thể tham gia vào quá trình nghiên cứu vật liệu, kỹ thuật và cấu kiện phục dựng. Việc huy động nghệ nhân không chỉ giúp tăng tính xác thực về kỹ thuật và vật liệu, mà còn mở rộng phạm vi bảo tồn từ di sản kiến trúc sang di sản tri thức bản địa. Đây là hướng tiếp cận nhân văn, gắn bảo tồn kinh thành với cộng đồng, tạo chuỗi giá trị văn hóa - kinh tế bền vững cho các làng nghề quanh Hà Nội.

5. KẾT LUẬN

Hoàng thành Thăng Long được hình thành và phát triển như một cấu trúc không gian tích lũy và chồng lớp liên tục, trong đó các thành phần trục, trung tâm, phân lớp và điểm nhấn không gian được duy trì và biến đổi qua các giai đoạn lịch sử. Từ góc độ thiết kế đô thị, giá trị cốt lõi của di sản không chỉ nằm ở từng công trình riêng lẻ, mà ở tổ chức không gian tổng thể. Bảo tồn cần chuyển từ tiếp cận bảo vệ di tích đơn lẻ sang bảo tồn cấu trúc không gian, bảo đảm tính xác thực và tính liên tục trong bối cảnh phát triển đương đại.

Trên cơ sở đó, ưu tiên bảo tồn và phát huy giá trị trục không gian trung tâm, không gian chính điện Kính Thiên và chính điện Kính Thiên, đồng thời kiểm soát chặt chẽ cấu trúc phân lớp không gian thông qua quy hoạch và thiết kế đô thị. Việc phục dựng chính điện Kính Thiên cần được thực hiện có kiểm soát, dựa trên cơ sở khoa học và gắn với phục hồi giá trị phi vật thể. Bên cạnh đó, cần tăng cường công cụ công nghệ kỹ thuật số diễn giải không gian, kết nối di sản với không gian công cộng và phát triển đô thị bền vững, nhằm biến Hoàng thành Thăng Long thành một di sản sống, vừa bảo tồn giá trị lịch sử, vừa thích ứng với nhu cầu của xã hội hiện đại.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Trần Việt Anh. Kiến trúc điện Kính Thiên tại Hoàng thành Thăng Long. Tạp chí Kiến trúc, 2022.

[2] Trần Hùng, Nguyễn Quốc Thông. Thăng Long - Hà Nội mười thế kỷ đô thị hóa. NXB. Xây dựng, 1995.

[3] ICOMOS. Venice Charter, 1964.

[4] UNESCO. World Heritage Convention, 1972.

[5] ICOMOS. Machu Picchu Charter, 1977.

[6] ICOMOS. Nara Document on Authenticity, 1994.

[7] Doãn Minh Khôi. Hình thái học đô thị. NXB. Xây dựng, 2019.

[8] Marie-Laure Lavenir. Nguyên tắc về tính xác thực của di sản và Hiến chương Venice. Hội thảo quốc tế, 2022.

[9] Ngô Sĩ Liên. Đại Việt sử ký toàn thư. NXB. Khoa học Xã hội, 1998.

[10] André Masson. Hà Nội giai đoạn 1873 - 1888. NXB. Hải Phòng, 2003.

[11] Tống Trung Tín. Kết quả nghiên cứu khai quật khảo cổ học tại khu vực nền chính điện Kính Thiên. Thông tin Di sản - Hoàng thành Thăng Long, 2025.

[12] Tống Trung Tín. Chính điện Kính Thiên và không gian chính điện Kính Thiên. Tạp chí Khảo cổ học, 2012.

[13] Tống Trung Tín, Nguyễn Thanh Quang, Đỗ Đức Tuệ. Cấu trúc nền móng và mặt bằng điện Kính Thiên thời Lê Trung Hưng thế kỷ XVII-XVIII tại khu di sản thế giới Hoàng thành Thăng Long qua phát hiện khảo cổ học. Thông tin Di sản - Hoàng thành Thăng Long, 2023.

[14] Lê Hữu Trác. Thượng kinh ký sự. NXB. Văn học, 1989.

[15] Quốc sử quán triều Nguyễn. Đại Nam thực lục. NXB. Giáo dục, 2002.

[16] Quốc hội Việt Nam. Luật Di sản văn hóa (sửa đổi, 2009), 2001.

[17] UBND TP Hà Nội. Định đô Thăng Long - tầm nhìn thiên niên kỷ. NXB. Hà Nội, 2020.

[18] UBND TP Hà Nội. Hồ sơ đề cử UNESCO Hoàng thành Thăng Long, 2010.

[19] Trần Quốc Vượng. Với Thăng Long Hà Nội. NXB. Thế giới, 2011.

[20] Đỗ Ngọc Yến, Đặng Thị Hòa, Đinh Thị Nguyệt. Văn hóa phi vật thể cung đình Thăng Long: nghiên cứu và bước đầu thể nghiệm. Hội thảo quốc tế, 2022.

■Ngày nhận bài: 01/4/2026 ■Ngày sửa bài: 15/5/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 04/6/2026

Thực trạng công tác quản lý tiến độ xây dựng công trình kè khu vực TP Hồ Chí Minh và giải pháp đề xuất

Current state of construction progress management in embankment projects in Ho Chi Minh City and propose solutions

> LÊ TRUNG THÀNH[1], NGUYỄN VIẾT CƯỜNG[2,*]
[1]Trường Đại học Thủy lợi
[2]Trung tâm Quản lý Đường thủy TP.HCM
[*]Email: nvcuong1411@gmail.com

TÓM TẮT

Thông qua việc đánh giá hiện trạng công tác quản lý tiến độ thi công các dự án kè tại TP.HCM hiện nay, nghiên cứu này đưa ra các nguyên nhân chính gây chậm trễ tiến độ như các vấn đề về giải phóng mặt bằng, năng lực nhà thầu, điều kiện địa chất, thủy văn, v.v. Áp dụng phương pháp phân tích định lượng theo lý thuyết phân tích thứ bậc (AHP) và dựa theo kết quả khảo sát các chuyên gia, các yếu tố tác động sẽ được đánh giá và xếp hạng theo mức độ ảnh hưởng. Trên cơ sở đó, nghiên cứu này sẽ đề xuất các giải pháp khả thi liên quan đến tái cấu trúc tổ chức, cơ chế phối hợp liên ngành và thúc đẩy ứng dụng công nghệ số như mô hình thông tin công trình và hệ thống thông tin địa lý (BIM/GIS)... cùng với lộ trình thực hiện cụ thể để cải thiện công tác quản lý tiến độ trong tương lai.

Từ khóa: Quản lý tiến độ; công trình kè; phân tích AHP; sông, rạch TP.HCM.

ABSTRACT

Through an assessment of the current state of construction progress management in embankment projects in Ho Chi Minh City, this study identifies the main causes of delays, such as land clearance issues, contractor capacity, geological and hydrological conditions, etc. Applying quantitative analysis methods based on Analytic Hierarchy Process (AHP) theory and relying on expert survey results, the impacting factors will be evaluated and ranked according to their level of influence. Based on this, the study will propose feasible solutions related to organizational restructuring, inter-sectoral coordination mechanisms, and promoting the application of digital technologies such as Building Information Modeling and Geographic Information System (BIM/GIS), along with a specific implementation roadmap to improve progress management in the future.

Keywords: Construction progress management; embankment construction; AHP analysis; rivers and canals in Ho Chi Minh City.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Với vai trò là hệ thống giao thông thủy và tiêu thoát nước huyết mạch của một trong những khu vực có mật độ dân cư cao nhất Việt Nam, hệ thống sông, kênh rạch tại TP.HCM hiện đang đối mặt với các hiện tượng sụt lún và xói lở dưới tác động cực đoan của biến đổi khí hậu và nước biển dâng.

Theo công bố tại Văn bản số 3113/UBND-ĐT năm 2026 [1], trên địa bàn TP.HCM có 43 vị trí sạt lở đặc biệt nguy hiểm và nguy hiểm, ảnh hưởng trực tiếp đến tài sản, đời sống của nhân dân và các công trình hạ tầng kỹ thuật trong khu vực. Trước bối cảnh đó, việc đầu tư xây dựng các hệ thống kè bảo vệ bờ sông, kênh rạch mang tính chất cấp bách nhằm chống sạt lở, ứng phó với biến đổi khí hậu là một trong những nhiệm vụ trọng tâm hàng đầu của TP.HCM. Tuy nhiên, thực tiễn triển khai cho thấy công tác quản lý tiến độ các dự án đầu tư xây dựng công trình kè đang bộc lộ rất nhiều điểm nghẽn, dẫn đến tình trạng các công trình thường xuyên bị chậm trễ, kéo dài qua nhiều năm. Một số dự án chậm trễ kéo dài do công tác bồi thường giải phóng mặt bằng (GPMB), do công tác xử lý điều kiện địa chất thủy văn phức tạp tầng đất bùn yếu dày và do chế độ dòng chảy phức tạp phụ thuộc thủy triều, dự án phải lùi tiến độ nhiều năm để bổ sung biện pháp thi công [2], [3], [4].

Với vai trò là hệ thống giao thông thủy và tiêu thoát nước huyết mạch của một trong những khu vực có mật độ dân cư cao nhất Việt Nam, hệ thống sông, kênh rạch tại TP.HCM hiện đang đối mặt với tình trạng sụt lún và sạt lở ngày càng nghiêm trọng dưới tác động của biến đổi khí hậu, các hiện tượng thời tiết cực đoan và nước biển dâng. Theo công bố tại Văn bản số

3113/UBND-ĐT năm 2026 [1], trên địa bàn TP.HCM hiện có 43 vị trí sạt lở đặc biệt nguy hiểm và nguy hiểm, ảnh hưởng trực tiếp đến tài sản, đời sống của người dân cũng như các công trình hạ tầng kỹ thuật trong khu vực. Trong bối cảnh đó, việc đầu tư xây dựng các hệ thống kè bảo vệ bờ sông, kênh rạch mang tính cấp bách nhằm chống sạt lở và thích ứng với biến đổi khí hậu được xác định là một trong những nhiệm vụ trọng tâm của TP.HCM.

Tuy nhiên, thực tiễn triển khai cho thấy công tác quản lý tiến độ các dự án đầu tư xây dựng công trình kè vẫn còn nhiều tồn tại, dẫn đến tình trạng chậm tiến độ kéo dài qua nhiều năm. Một số dự án bị đình trệ do vướng mắc trong công tác bồi thường, GPMB, điều kiện địa chất - thủy văn phức tạp với lớp đất bùn yếu dày, cùng chế độ dòng chảy chịu ảnh hưởng mạnh của thủy triều, khiến dự án phải nhiều lần điều chỉnh tiến độ để bổ sung giải pháp kỹ thuật và biện pháp thi công [2-4].

Những sự cố và sự chậm trễ mang tính hệ thống nêu trên không chỉ làm lãng phí nguồn lực đầu tư công, đội vốn dự án do trượt giá, mà còn khiến các khu vực sạt lở không được bảo vệ kịp thời. Vì vậy cần thiết đánh giá hạn chế tồn tại, làm rõ nguyên nhân và chỉ ra các yếu tố ảnh hưởng đến công tác quản lý tiến độ thi công, từ các kết quả đánh giá đạt được, nghiên cứu đề xuất các giải pháp nhằm khắc phục thực trạng và hoàn thiện công tác quản lý tiến độ xây dựng công trình kè tại TP.HCM nhằm thích ứng với cơ cấu tổ chức mới [5] và giải quyết triệt để vấn nạn chậm tiến độ của các dự án xây dựng hiện nay.

2. THỰC TRẠNG VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU

Để có cái nhìn toàn diện và khách quan về công tác quản lý tiến độ các dự án đầu tư xây dựng, đặc biệt là các dự án xây dựng kè phòng chống sạt lở, nghiên cứu tiến hành phân tích thực trạng dựa trên hai khía cạnh cốt lõi: (1) Thực trạng quy trình quản lý, vận hành nội bộ và (2) Thống kê số liệu thực hiện tiến độ, giải ngân vốn đầu tư công trong giai đoạn 10 năm (2016-2025).

Theo số liệu thống kê [6] [7], trên các tuyến sông kênh thành phố có khoảng 109 tuyến công trình với tổng chiều dài hơn 64 km kè do Trung tâm Quản lý Đường thủy quản lý, được xây dựng để bảo vệ khu dân cư và chỉnh trang đô thị [8]. Tuy nhiên thực trạng quy trình quản lý tiến độ hiện tại vẫn đang được vận hành theo phương thức truyền thống và quản lý thủ công làm giảm khả năng phát hiện kịp thời các sai sót, dẫn đến phản ứng chậm trễ. Trong giai đoạn 2016 - 2025, tổng cộng có 49 dự án xây dựng cơ bản, trong đó có 19 dự án xây dựng công trình kè chống sạt lở (giai đoạn 2016 - 2020 có 12 dự án; giai đoạn 2021-2025 có 07 dự án).

Tuy nhiên theo báo cáo [7], có tới 12 trên tổng số 19 dự án kè (chiếm tỷ lệ 63,16%) bị vỡ tiến độ cơ sở, buộc phải làm thủ tục xin điều chỉnh gia hạn tiến độ thời gian thực hiện, kéo theo việc phải điều chỉnh tổng mức đầu tư do trượt giá và tăng chi phí bồi thường (Bảng 1). Điển hình là Dự án Xây dựng kè chống sạt lở bờ trái sông Sài Gòn khu vực phường Thảo Điền, Quận 2. Dự án có kế hoạch thực hiện ban đầu từ năm 2018 đến 2021, nhưng do công tác bồi thường GPMB chậm trễ, dự án đã phải xin gia hạn đến hết năm 2023. Gần đây nhất, dự án tiếp tục gặp khó khăn khiến tổng mức đầu tư đội vốn từ 51,6 tỷ đồng lên đến gần 158 tỷ đồng, trong đó riêng chi phí bồi thường giải phóng mặt bằng tăng vọt lên hơn 111 tỷ đồng [4]. Tương tự, dự án Xây dựng kè chống sạt lở bờ tả rạch Tôm - sông Phước Kiểng có thời gian thực hiện phê duyệt ban đầu là 2016-2020, sau đó phải điều chỉnh đến năm 2024, nguyên nhân cốt lõi là sự phức tạp trong pháp lý đền bù.

Bên cạnh yếu tố mặt bằng, nguyên nhân chậm trễ tiến độ còn xuất phát từ điều kiện địa chất thủy văn phức tạp. Chẳng hạn, tại Dự án kè hạ lưu cầu Phước Lộc, sự cố sạt lở dài 50 m trong quá trình thi công do bùn yếu buộc chủ đầu tư phải điều chỉnh thiết kế cơ sở và kéo dài tiến độ thi công. Hay tại Dự án dây dựng kè ngã ba sông Bến Lức - kênh Xáng và Lý Văn Mạnh, do chế độ dòng chảy phức tạp phụ thuộc thủy triều, dự án phải lùi tiến độ nhiều năm để bổ sung biện pháp thi công.

Bảng 1. Tổng hợp một số dự án kè tồn tại vướng mắc phát sinh

TT	Tên công trình / dự án	Nguyên nhân chính
1	Kè chống sạt lở bờ trái sông Sài Gòn (Thảo Điền, Quận 2)	Chậm giải phóng mặt bằng
2	Chống xói lở bờ sông khu vực cầu Phước Lộc	Chậm giải phóng mặt bằng; Thay đổi địa hình
3	Chống xói lở bờ sông khu vực cầu Long Kiểng	Chậm giải phóng mặt bằng
4	Kè rạch Đỉa - rạch Rơi - sông Phú Xuân	Sự cố lún sụp do nền đất yếu
5	Kè rạch Tôm - sông Phước Kiểng	Tính thiếu khối lượng so với thiết kế
6	Kè hạ lưu cầu Phước Lộc	Sự cố sụt lún do địa chất yếu; Năng lực nhà thầu không đảm bảo. Chậm giải phóng mặt bằng
7	Kè ngã ba sông Bến Lức - kênh Xáng Lý Văn Mạnh	Chế độ dòng chảy phức tạp; Bổ sung biện pháp thi công
8	Kè bờ tả rạch Giồng - sông Kinh Lộ	Địa chất yếu phải tăng chiều dài cọc
9	Kè bờ hữu sông Mương Chuối	Điều chỉnh thiết kế do địa hình thay đổi
10	Chống sạt lở kênh Thanh Đa (Đoạn 1.4)	Điều chỉnh thiết kế cửa xả
11	Kè Kênh Tẻ (Quận 4)	Vướng công trình hạ tầng kỹ thuật
12	Kè bờ phải kênh Cây Khô	Hồ sơ thiết kế thiếu khối lượng

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

3.1. Phương pháp phân tích thứ bậc AHP

Phương pháp phân tích thứ bậc (AHP), được phát triển bởi Giáo sư Saaty [9] từ thập niên 1980, là một kỹ thuật định lượng được thiết kế để xác định trọng số các chỉ tiêu (yếu tố). Các yếu tố được thực hiện đối chiếu từng cặp để xây dựng nên một ma trận so sánh cặp gồm n dòng và n cột (n là số chỉ tiêu). Phần tử aij thể hiện mức độ quan trọng của chỉ tiêu hàng i so với chỉ

tiêu cột j. Mức độ quan trọng tương đối của chỉ tiêu i so với j được tính theo tỷ lệ k (k từ 1 đến 9), ngược lại của chỉ tiêu j so với i là 1/k. Nhằm đánh giá tính hợp lý của các giá trị mức độ quan trọng của các chỉ tiêu,

Theo Saaty [9] [10], có thể sử dụng tỷ số nhất quán của dữ liệu (Consistency Ratio - CR). Tỷ số này so sánh mức độ nhất quán với tính khách quan (ngẫu nhiên) của dữ liệu:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1}$$

Trong đó: CI: Chỉ số nhất quán (Consistency Index)

RI: Chỉ số ngẫu nhiên (Random Index)

n: số chỉ tiêu

λmax: Giá trị riêng của ma trận so sánh các chỉ tiêu (yếu tố),

$$\lambda_{\max} = \frac{\sum_{j=1}^{n} a_{ij}.w_j}{w_1}$$

Wi và Wj là trọng số vector của nhân tố thứ i, j.

Đối với mỗi một ma trận so sánh cấp n, Saaty [10] đã tạo ra các ma trận ngẫu nhiên và tính ra chỉ số RI (chỉ số ngẫu nhiên) tương ứng với các cấp ma trận theo số lượng chỉ tiêu. Nếu giá trị tỷ số nhất quán CR < 0.1 là chấp nhận được, nếu lớn hơn đòi hỏi người khảo sát quyết định thu giảm sự không đồng nhất bằng cách thay đổi giá trị mức độ quan trọng giữa các cặp chỉ tiêu.

3.2. Xác định các yếu tố ảnh hưởng đến công tác quản lý tiến độ đầu tư xây dựng

Tiến độ thi công là một trong những chỉ tiêu quan trọng nhất phản ánh hiệu quả tổ chức, năng lực điều hành và sự phối hợp giữa các bên trong quá trình thực hiện dự án xây dựng. Theo kết quả nghiên cứu [11] đã chỉ ra 5 nhóm yếu tố dựa theo kết quả khảo sát là: năng lực chủ đầu tư; năng lực ban QLDA và nhà thầu thi công; các yếu tố bên ngoài; năng lực của Tư vấn giám sát; sai sót của chủ đầu tư và tư vấn thiết kế. Đối với tiến độ xây dựng công trình thủy lợi, nghiên cứu [12] đưa ra 7 yếu tố ảnh hưởng là: năng lực và kinh nghiệm tổ chức thi công của nhà thầu chưa cao; khả năng và kinh nghiệm quản lý của chủ đầu tư còn yếu; chất lượng hồ sơ thiết kế và khảo sát chưa chính xác; công tác kiểm soát chất lượng và tiến độ thi công trên công trường giữa các bên còn nhiều hạn chế; khả năng tài chính và cung ứng vốn của chủ đầu tư chưa kịp thời; công tác và bàn giao giải phóng mặt bằng thi công và mức độ phức tạp và tính chất đặc thù của công trình. Tương tự, nghiên cứu [13] đã chỉ ra sự chậm tiến độ thi công liên quan đến 6 nhóm yếu tố: Kỹ thuật của nhà thầu không tốt; các bất thường không lường trước trên công trường; thay đổi con người, chủ quan của con người; vướng mắc trong quy trình thực hiện; thiết kế kém và pháp lý có nhiều vướng mắc, thay đổi. Dựa trên thực trạng tại Trung tâm và kế thừa chọn lọc các nghiên cứu khoa học trên; đề xuất 6 nhóm yếu tố gây ảnh hưởng quản lý tiến độ sau:

Nhóm yếu tố 1: Năng lực và kinh nghiệm quản lý chủ đầu tư

Kinh nghiệm và chuyên môn của chủ đầu tư là yếu tố quyết định sự trôi chảy của các thủ tục hành chính và khả năng phối hợp đa bên. Nếu năng lực quản lý hạn chế, khả năng tài chính, sự chậm trễ nghiệm thu, thanh toán .. của chủ đầu tư sẽ khiến nhà thầu buộc phải thi công cầm chừng hoặc tạm ngưng công việc.

Nhóm yếu tố 2: Chất lượng hồ sơ khảo sát, thiết kế, dự toán.

Giai đoạn khảo sát và thiết kế là nền tảng cho toàn bộ dự án, nếu tư vấn khảo sát thiếu chuyên nghiệp, thu thập số liệu địa hình, địa chất, thủy văn không đầy đủ hoặc thiếu chính xác sẽ dẫn đến việc lựa chọn giải pháp thiết kế móng kè sai lệch mất nhiều thời gian điều chỉnh làm đình trệ tiến độ công trường.

Nhóm yếu tố 3: Năng lực và kinh nghiệm tổ chức thi công của nhà thầu

Năng lực kỹ thuật, năng lực tài chính và khả năng tổ chức thi công của nhà thầu có ảnh hưởng trực tiếp đến việc hiện thực hóa kế hoạch tiến độ trên công trường. Sự hạn chế trong công tác lập kế hoạch tác nghiệp, điều độ thi công và quản lý chuỗi cung ứng vật tư có thể dẫn đến tình trạng thi công chồng chéo, thiếu hụt vật tư cục bộ hoặc cung ứng không kịp thời, từ đó kéo dài thời gian hoàn thành dự án.

Nhóm yếu tố 4: Công tác giải phóng và bàn giao mặt bằng thi công

Việc đơn giá bồi thường chưa phù hợp với giá thị trường, khó khăn trong xác định nguồn gốc đất đai, cùng với việc quỹ nhà, đất tái định cư của địa phương chưa đáp ứng đủ nhu cầu đã dẫn đến tình trạng bàn giao mặt bằng thi công không đồng bộ, ảnh hưởng đáng kể đến tổng tiến độ thực hiện dự án.

Nhóm yếu tố 5: Sự thay đổi về chính sách, quy định và pháp luật

Việc thay đổi các chính sách và quy định pháp luật liên quan có thể khiến các dự án đang triển khai phải tạm dừng để cập nhật, rà soát và phê duyệt lại dự toán hoặc tổng mức đầu tư. Bên cạnh đó, các thủ tục cấp phép thi công đường thủy liên quan đến nhiều sở, ban, ngành, đòi hỏi thời gian xử lý hồ sơ kéo dài, qua đó tạo ra những rào cản đáng kể đối với tiến độ thực hiện dự án.

Nhóm yếu tố 6: Mức độ phức tạp và tính chất đặc thù công trình.

Các dự án xây dựng hạ tầng đường thủy, đặc biệt là kè chống sạt lở bờ sông, mang tính đặc thù rất cao về điều kiện tự nhiên. địa hình, địa chất phức tạp, điều kiện thời tiết khắc nghiệt, chế độ dòng chảy bán nhật triều không đều và tình trạng triều cường dâng cao.

3.3. Khảo sát ý kiến chuyên gia

Theo Hoàng Trọng và Chu Nguyễn Mộng Ngọc [14], số lượng quan sát (cỡ mẫu) ít nhất phải gấp 4 đến 5 lần số biến trong phân tích nhân tố. Theo Hair [15] đề nghị, cố gắng tối đa hóa tỷ lệ quan sát trên mỗi biến đo lường là 5:1, có nghĩa là cứ 1 biến đo lường thì cần tối thiểu là 5 quan sát. Dựa vào đó, với 6 yếu tố tác động ở trên, nghiên cứu đã thực hiện thu thập tối thiểu 30 ý kiến của các chuyên gia và những nhà quản lý, đơn vị tư vấn, nhà thầu thi công trên địa bàn vùng nghiên cứu. Nghiên cứu đã tiến hành phát ra 45 phiếu, số phiếu thu về 42 trong đó 38 phiếu đạt chất lượng.

Thành phần chuyên gia trả lời thỏa mãn, kinh nghiệm và lĩnh vực công tác như sau: chủ đầu tư 32% (12/38); các đơn vị sở, ban, ngành 21% (8/38); nhà thầu thi công 19% (7/38); tư vấn thiết kế & khảo sát 16% (6/38); tư vấn giám sát (4); khác (cung cấp vật liệu) (1). Chuyên gia về lĩnh vực thủy lợi là 17 người, giao thông (thủy) 15 người và số lượng chuyên gia có kinh nghiệm trên 15 năm chiếm 47% (18/38) và từ 5 đến 10 năm chiếm 39% (15/38). Với thành phần tham gia khảo sát như trên đảm bảo đầy đủ các bên và số lượng giữa các bên liên quan không chênh lệch, từ đó cho thấy các ý kiến của các chuyên gia sẽ phản ánh đầy đủ các yếu tố ảnh hưởng đến công tác quản lý tiến độ công trình kè tại TP.HCM.

4. PHÂN TÍCH KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Dựa theo kết quả đánh giá của 38 chuyên gia khi so sánh từng cặp yếu tố, tiến hành tính giá trị trung bình nhân aij. Nhập aij để tính được ma trận so sánh từng cặp yếu tố ảnh hưởng đến công tác quản lý tiến độ tại đơn vị (Bảng 2).

Bước tiếp theo tính trọng số yếu tố và ma trận tính các tỷ số và chỉ số nhất quán, với 6 chỉ tiêu đánh giá, theo Saaty [10] giá trị chỉ số ngẫu nhiên RI = 1,24; Dựa theo giá trị SUM/Weight tính được λmax = 6,009. Thay giá trị λmax cho ra kết quả chỉ số nhất quán CI = 0,002 ; tương tự Tỷ số nhất quán CR = 0,002 ;

Bảng 2. Ma trận so sánh yếu tố

TT	**Yếu tố ảnh hưởng**	YTAH 1	YTAH 2	YTAH 3	YTAH 4	YTAH 5	YTAH 6
1	YTAH 1	1.00	0.96	1.05	0.60	3.30	1.33
2	YTAH 2	1.04	1.00	1.09	0.63	3.43	1.38
3	YTAH 3	0.95	0.92	1.00	0.57	3.15	1.27
4	YTAH 4	1.66	1.60	1.74	1.00	5.49	2.20
5	YTAH 5	0.30	0.29	0.32	0.18	1.00	0.30
6	YTAH 6	0.75	0.73	0.79	0.45	3.33	1.00

Giá trị CR thỏa mãn điều kiện nhất quán (CR < 0.1), như vậy kết quả khảo sát là được chấp nhận vì sự đánh giá của các chuyên gia tương đối nhất quán dựa vào đó để áp dụng phân tích thứ bậc yếu tố ảnh hưởng.

Bảng 3. Trọng số các yếu tố ảnh hưởng

TT	**Yếu tố ảnh hưởng**	**Trọng số**
1	Năng lực và kinh nghiệm quản lý của chủ đầu tư	17,4%
2	Chất lượng hồ sơ khảo sát, thiết kế, dự toán	18,1%
3	Năng lực và kinh nghiệm tổ chức thi công của nhà thầu	16,7%
4	Công tác giải phóng và bàn giao mặt bằng thi công	29,0%
5	Thay đổi của chính sách, quy định pháp luật	5,0%
6	Mức độ phức tạp và tính chất đặc thù của công trình	13,7%

Kết quả xếp hạng thứ bậc mức độ ảnh hưởng của các yếu tố được trình bày tại Bảng 3. Trong đó, yếu tố có mức độ ảnh hưởng lớn nhất là công tác giải phóng và bàn giao mặt bằng thi công (29%), tiếp theo là chất lượng hồ sơ khảo sát, thiết kế và dự toán (18,1%). Yếu tố năng lực và kinh nghiệm tổ chức thi công của chủ đầu tư đứng thứ ba với mức ảnh hưởng 17,4%, tiếp đến là kinh nghiệm và năng lực quản lý của nhà thầu (16,7%). Mặc dù xếp thứ năm, yếu tố mức độ phức tạp và tính chất đặc thù của công trình vẫn có ảnh hưởng đáng kể, chiếm 13,7%. Yếu tố còn lại có mức độ ảnh hưởng thấp hơn, khoảng 5%.

Kết quả này phù hợp với nhận định của nghiên cứu [12] [13] và thực trạng [7] tại đơn vị trong Bảng 1 (4/12 chậm GPBM). Đây cũng là nguyên nhân gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến tiến độ dự án không chỉ công trình kè nói riêng mà các công trình xây dựng nói chung. Theo nhận định của nhóm nghiên cứu [16], giải phóng mặt bằng là một vấn đề gây tranh cãi trong nhiều dự án trên địa bàn TP.HCM. Tiếp đó là khó khăn do thiết kế phải điều chỉnh cũng như năng lực chủ đầu tư trong quản lý và điều kiện địa chất yếu dòng chảy phức tạp.

5. ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP

Dựa theo kết quả AHP như trên và thực tế tại đơn vị, nghiên cứu đề xuất giải pháp theo thứ tự ưu tiên đối với các nhóm yếu tố ảnh hưởng như sau:

Về năng lực của chủ đầu tư, cần triển khai đồng bộ các giải pháp nhằm đáp ứng yêu cầu phát triển trong bối cảnh có nhiều thay đổi về quy định pháp luật, địa giới hành chính, cơ cấu tổ chức và chức năng, nhiệm vụ của Trung tâm Quản lý Đường thủy TP.HCM nhằm bảo đảm hoàn thành các nhiệm vụ được giao. Đồng thời, cần kiện toàn và chuyên môn hóa bộ máy quản lý dự án, nâng cao năng lực cho đội ngũ viên chức tham gia thực hiện dự án theo mô hình tổ chức mới của Trung tâm Quản lý Đường thủy TP.HCM. Đối với công tác quản lý tiến độ, cần thực hiện thông qua việc ban hành và số hóa "Quy trình phối hợp nội bộ" gắn với cam kết thời gian xử lý công việc (SLA). Bên cạnh đó, cần thiết lập ma trận phân công trách nhiệm (RACI), trong đó quy định rõ thời gian xử lý đối với từng công việc và thực hiện kiểm soát trên phần mềm quản lý điện tử (e-Office). Đồng thời, tăng cường công tác đào tạo, bồi dưỡng chuyên môn nghiệp vụ; gắn hiệu quả quản lý tiến độ với hệ thống đánh giá KPI, lấy tỷ lệ giải ngân vốn đầu tư công và số ngày hoàn thành dự án đúng tiến độ làm các chỉ tiêu đánh giá cốt lõi.

Đối với việc kiểm soát năng lực và tiến độ của nhà thầu thi công, cần siết chặt tiêu chí lựa chọn nhà thầu và đánh giá thực chất năng lực nhân sự chủ chốt (Chỉ huy trưởng công trường) đây là yếu tố quyết định sự nhịp nhàng của dự án. Đi kèm với đó nhà thầu phải chứng minh khả năng huy động ngay lập tức các thiết bị đặc chủng phục vụ thi công công trình kè. Trung tâm cần thiết lập cơ chế phỏng vấn kỹ thuật hoặc yêu cầu nhà thầu trình bày bài thi mô phỏng tiến độ trước khi ký hợp đồng giao thầu. Nhà thầu buộc phải sử dụng nhật ký thi công điện tử (Digital Construction Logbook) qua các ứng dụng trên thiết bị di động (Mobile App) tại hiện trường trong kiểm soát tiến độ thời gian thực từ đó giúp Trung tâm xây dựng cơ chế kiểm soát và đánh giá năng lực nhà thầu sau thi công.

Đối với nhà thầu tư vấn khảo sát, thiết kế để tránh hồ sơ thiết kế thiếu chính xác khi đưa ra thi công thực tế, công tác khảo sát cần ứng dụng công nghệ tiên tiến trong khảo sát địa hình, địa chất - thủy văn (công nghệ LiDAR và UAV) và tăng mật độ hố khoan tại các điểm xung yếu. Kiểm soát chất lượng thiết kế và đo bóc khối lượng thông qua BIM 3D nhằm tránh khả năng xung đột va chạm cũng như chuẩn hóa bóc tách khối lượng điều này triệt tiêu các lỗi sai sót do tính toán thủ công của con người. Trung tâm cần chuẩn hóa quy trình "Quản lý sự thay đổi" (Change Management) tại công trường trên môi trường dữ liệu chung (CDE) trong kiểm soát rủi ro tiến độ.

Đối với công tác đền bù và bàn giao mặt bằng thi công: thực tế cho thấy hiệu quả của công tác GPMB phụ thuộc lớn vào mức độ phối hợp giữa các cơ quan quản lý nhà nước, chủ đầu tư, ban bồi thường giải phóng mặt bằng và chính quyền địa phương. Vì vậy những dự án lớn cần thiết lập Ban chỉ đạo liên ngành về GPMB nhằm đảm bảo thống nhất chỉ đạo, chia sẻ thông tin và xử lý vướng mắc kịp thời. Cơ chế phối hợp cần quy định rõ trách nhiệm của từng đơn vị trong từng giai đoạn. Bên cạnh đó, việc ứng dụng công nghệ sẽ minh bạch hóa thông tin và rút ngắn thời gian xử lý. Triển khai hệ thống quản lý GPMB điện tử (e-LandClearance) tích hợp bản đồ số GIS, dữ liệu địa chính, thông tin hộ dân, diện tích thu hồi, tiến độ bồi thường và áp dụng linh hoạt cơ chế bồi thường theo Luật Đất đai mới

Đối với nhóm yếu tố về mức độ phức tạp và tính chất đặc thù của công trình kè, giải pháp hạn chế cần triển khai các giải pháp kỹ thuật - quản lý - công nghệ phù hợp để chủ động ứng phó, tối ưu hóa phương án thi công và đảm bảo tính ổn định, an toàn lâu dài cho công trình. Đối với công trình có mức độ rủi ro cao, cần lắp đặt hệ thống giám sát thông minh (Smart Monitoring System) gồm các cảm biến đo lún, áp lực nước, độ rung, biến dạng và nhiệt độ vật liệu. Dữ liệu giám sát cần được đồng bộ với mô hình BIM/Digital Twin để cập nhật tự động trạng thái công trình. Giải pháp này không chỉ giúp kiểm soát rủi ro trong thi công, mà còn phục vụ bảo trì, vận hành an toàn sau khi công trình hoàn thành.

Ảnh hưởng của nhóm yếu tố về sự thay đổi chính sách pháp luật đếm tiến độ không cao nhưng lại có tính chi phối vĩ mô. Sự ra đời của Luật Đất đai 2024, Luật Đầu tư công 2024 và các quy định mới về định mức, đơn giá xây dựng đòi hỏi Trung tâm phải có năng lực thích ứng cao, thường xuyên cập nhật các văn bản pháp luật, dự báo các rủi ro về thay đổi đơn giá bồi thường dựa vào đó lập quỹ dự phòng chi phí hợp lý ngay từ khâu phê duyệt dự án.

6. KẾT LUẬN

Quản lý tiến độ xây dựng công trình kè khu vực TP.HCM là công việc rất quan trọng. Nghiên cứu đã chỉ rõ các nhóm yếu tố ảnh hưởng gồm năng lực các bên tham gia, công tác giải phóng mặt bằng và tính đặc thù công trình kè tại TP.HCM. Nghiên cứu cũng đưa ra các giải pháp về lựa chọn các đơn vị tham gia thực hiện dự án (Khảo sát, thiết kế, giám sát, thi công...) có kinh nghiệm tốt, có uy tín, đảm bảo các quy định về trình độ và kinh nghiệm. Đơn vị quản lý cần ứng dụng công nghệ trong quá trình quản lý tiến độ. Xây dựng đội ngũ nhân sự có năng lực gắn hiệu quả quản lý tiến độ với đánh giá KPI. Ứng dụng hệ thống thông tin hiện đại trong GPMB và quản lý tiến độ như (BIM 4D) tích hợp lịch thủy triều và môi trường dữ liệu chung (CDE) để kiểm soát đường găng tiến độ và đẩy nhanh hồ sơ thanh quyết toán.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] UBND TP.HCM (2026). Công văn số 3113/UBND-ĐT ngày 16/4/2026.

[2] Lê Trung Thành, Phạm Thế Vinh. Nghiên cứu xây dựng các công trình chỉnh trị sông nhằm giữ ổn định tỷ lệ phân lưu, ổn định dòng chảy, hình thái sông, bờ sông, bờ biển tại các khu vực trọng điểm, vùng cửa sông, ven biển có diễn biến bồi xói phức tạp. TP.HCM. Viện Thủy lợi và Môi trường, 2025.

[3] Sở Giao thông Công chánh TP.HCM. Quyết định số 1800/QĐ-SGTCC ngày 28/4/2025 về phê duyệt điều chỉnh thời gian thực hiện dự án "Xây dựng kè chống sạt lở bờ tả rạch Tôm - sông Phước Kiểng", 2025.

[4] Sở Xây dựng TP.HCM. Tờ trình số 3352/TTr-SXD về thẩm định Báo cáo đề xuất điều chỉnh chủ trương đầu tư dự án "Xây dựng kè chống sạt lở bờ trái sông Sài Gòn khu vực phường Thảo Điền, Quận 2", 2025.

[5] Sở Xây dựng TP.HCM. Quyết định số 826/QĐ-SXD-TCCB ban hành Quy định chức năng, nhiệm vụ, quyền hạn và cơ cấu tổ chức của Trung tâm Quản lý Đường thủy TP.HCM trực thuộc, 2026.

[6] Trung tâm Quản lý Đường thủy TP.HCM. Quyết định số 33/QĐ-TTQLĐT ngày 01/8/2025.

[7] Trung tâm Quản lý Đường thủy TP.HCM. Báo cáo tình hình thực hiện các dự án đầu tư xây dựng cơ bản giai đoạn 2021 - 2025, 2025.

[8] Cao Văn Tỉnh. Hoàn thiện công tác quản lý chi phí đầu tư xây dựng các công trình kè chống sạt lở tại Trung tâm Quản lý Đường thủy TP.HCM. Đề án Thạc sĩ, Phân hiệu Trường Đại học Thủy lợi, TP.HCM, 2025.

[9] T. L. Saaty. The Analytic Hierarchy Process, New York: McGraw-Hill, 1980.

[10] T. L. Saaty. Decision Making with the Analytic Hierarchy Process. International Journal of Services Sciences, vol. 1, no. 1, pp. 83-98, 2008.

[11] Tống Văn Lũy. Sử dụng EFA phân tích các nhân tố ảnh hưởng đến việc chậm tiến độ các dự án trường học. Tạp chí Công Thương, số 6, tr. 145-150, 2019.

[12] Lê Trung Thành, Phạm Tiến Bình. Sử dụng phương pháp AHP phân tích thứ bậc các yếu tố ảnh hưởng đến tiến độ thi công công trình thủy lợi huyện Phú Tân, tỉnh Cà Mau. Hội nghị khoa học thường niên Trường Đại học Thủy lợi, tr. 177-179, ngày 20/11/2020.

[13] Nguyễn Văn Sơn, Nguyễn Hữu Huế. Nghiên cứu mức độ ảnh hưởng của các nhân tố gây chậm tiến độ thi công công trình thủy lợi, thủy điện ở Việt Nam. Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, số 67, tr. 93-100, 2025.

[14] Hoàng Trọng, Chu Nguyễn Mộng Ngọc. Phân tích dữ liệu nghiên cứu với SPSS. NXB Hồng Đức, TP.HCM, 2008.

[15] J. F. Hair, W. C. Black, B. J. Babin, R. E. Anderson. Multivariate Data Analysis. 7th Edition, New York: Pearson, 2010.

[16] Huỳnh Thị Yến Thảo, Huỳnh Thị Cẩm Vân, Vương Thị Thùy Dương. Phân tích nguyên nhân gây chậm tiến độ thi công dự án đầu tư xây dựng tại TP.HCM, trong Hội nghị Quốc gia lần thứ V về Khoa học và Công nghệ Giao thông vận tải, Hà Nội, 2023.

■Ngày nhận bài: 01/4/2026 ■Ngày sửa bài: 13/4/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 23/4/2026

Kiểm toán khí nhà kính trong hệ thống thoát nước đô thị: Nghiên cứu điển hình lưu vực Lê Chân và Nhà máy xử lý nước thải Vĩnh Niệm, Hải Phòng

Greenhouse gas audit for urban drainage systems: A case study of Le Chan catchment and Vinh Niem wastewater treatment plant, Hai Phong

> THS LÊ THU THỦY[1,*], GS.TS NGUYỄN VIỆT ANH[2], NGUYỄN VĂN QUỐC[3]
[1]Cục Kết cấu hạ tầng xây dựng, Bộ Xây dựng/NCS Trường Đại học Xây dựng Hà Nội; [*]Email: thuylethu.bxd@gmail.com
[2]Viện trưởng Viện Khoa học và Kỹ thuật Môi trường (IESE), Trường Đại học Xây dựng Hà Nội
[3]HVCH, Viện Khoa học và Kỹ thuật Môi trường (IESE), Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

TÓM TẮT

Trong bối cảnh Việt Nam cam kết đạt phát thải ròng bằng "0" vào năm 2050, việc kiểm kê và giảm phát thải khí nhà kính (KNK) trong các lĩnh vực kết cấu hạ tầng ngày càng được quan tâm trong đó có lĩnh vực thoát nước và xử lý nước thải (XLNT). Hệ thống thoát nước và xử lý nước thải đô thị không những tiêu thụ năng lượng lớn mà còn phát sinh khí methane (CH_4), khí nitrous oxide (N_2O) và khí carbon dioxide (CO_2) trong quá trình vận hành, do vậy là nguồn phát thải KNK rất đáng kể. Các nghiên cứu trên thế giới đã tính toán phát thải KNK ngành nước và vệ sinh chiếm khoảng từ 3 - 7% phát thải KNK trong đô thị [7].

Tuy nhiên, các nghiên cứu về kiểm toán KNK trong hệ thống thoát nước tại Việt Nam hiện còn hạn chế và chủ yếu tập trung vào nhà máy XLNT, chưa xem xét đầy đủ toàn bộ hệ thống thoát nước từ bể tự hoại, mạng lưới thu gom, hồ điều hòa, trạm bơm đến xử lý bùn.

Bài báo tổng hợp các quá trình phát thải KNK trong hệ thống thoát nước đô thị, phân tích cơ sở phương pháp tính toán theo IPCC, ECAM và cách tiếp cận theo từng công trình đơn vị (unit process), đồng thời tính toán thử nghiệm cho lưu vực Lê Chân và Nhà máy XLNT Vĩnh Niệm, Hải Phòng. Kết quả cho thấy công đoạn xử lý sinh học bùn hoạt tính và hệ thống thổi khí là khu vực tiêu thụ điện năng lớn nhất, chiếm khoảng 50 - 70% tổng điện năng nhà máy. Methane (CH_4) phát sinh từ bể tự hoại, mạng lưới thu gom nước thải và xử lý bùn là nguồn phát thải đáng kể trong toàn hệ thống. Chỉ số tiêu thụ năng lượng riêng (SEC) của nhà máy đạt khoảng 0,182 - 0,200 kWh/m^3 (chưa bao gồm xử lý bùn như các nước), tương đối phù hợp với các giá trị tham chiếu (benchmark) quốc tế theo ENERWATER và ECAM. Nghiên cứu đề xuất hướng tiếp cận kiểm toán tích hợp năng lượng - khí nhà kính, kết hợp dữ liệu SCADA và tính toán chi tiết theo từng công trình nhằm nhận diện các điểm nóng phát thải và phục vụ mục tiêu Net Zero cho hệ thống thoát nước đô thị Việt Nam.

Từ khóa: Khí nhà kính; kiểm toán khí nhà kính; hệ thống thoát nước đô thị; methane (CH4); IPCC; ECAM; nhà máy xử lý nước thải; CI = Cường độ phát thải khí nhà kính**;** tiêu thụ năng lượng riêng (SEC).

ABSTRACT

As Vietnam pursues its commitment to achieving net-zero greenhouse gas (GHG) emissions by 2050, the quantification and mitigation of GHG emissions from the water sector have become increasingly important. Urban drainage and wastewater treatment systems are not only significant energy consumers but also sources of methane (CH_4), nitrous oxide (N_2O), and carbon dioxide (CO_2) emissions. Studies worldwide have estimated that GHG emissions from the water and sanitation sector account for 3-7% of GHG emissions in urban areas [7]. However, studies on GHG auditing in Vietnam have primarily focused on wastewater treatment plants (WWTPs), with limited consideration of the entire urban drainage system,

including septic tanks, sewer networks, retention ponds, pumping stations, and sludge management facilities. This study reviews GHG emission pathways within urban drainage systems and summarizes assessment methodologies based on the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), the Energy Performance and Carbon Emissions Assessment and Monitoring (ECAM) tool, and unit-process-based approaches. A case study was conducted for the Le Chan drainage basin and the Vinh Niem Wastewater Treatment Plant in Hai Phong City. The results indicate that activated sludge treatment and aeration systems are the largest electricity consumers, accounting for approximately 50 - 70% of total plant energy use. Methane emissions originating from septic tanks, sewer networks, and sludge treatment processes represent significant emission sources across the drainage system. The specific energy consumption (SEC) of the WWTP was estimated at 0.182 - 0.200 kWh/m^3, which is comparable to international benchmark values reported by ENERWATER and ECAM. The study proposes an integrated energy–GHG auditing framework that combines SCADA-based operational data with detailed unit-process analysis to identify emission hotspots and prioritize mitigation measures. The proposed approach provides a practical basis for improving energy efficiency, reducing GHG emissions, and supporting the transition toward net-zero urban wastewater management systems in Vietnam. Keywords: greenhouse gas emissions; greenhouse gas audit; urban drainage system; wastewater treatment plant; methane (CH_4); IPCC; ECAM; greenhouse gas emission intensity (CI)

Keywords: Greenhouse gas emissions; greenhouse gas audit; urban drainage system; wastewater treatment plant; methane (CH_4); IPCC; ECAM; greenhouse gas emission intensity (CI); Specific Energy Consumption (SEC).

Danh mục chữ viết tắt

Ký hiệu	Thuật ngữ tiếng Anh	Diễn giải tiếng Việt
GHG	Greenhouse Gas	Khí nhà kính (KNK)
KTKNK	Greenhouse Gas Audit	Kiểm toán khí nhà kính
KTNL	Energy Audit	Kiểm toán năng lượng
WWTP	Wastewater Treatment Plant	Nhà máy xử lý nước thải (XLNT)
GTTC	benchmark	Giá trị tham chiếu
SEC	Specific Energy Consumption	Chỉ số tiêu thụ năng lượng riêng
CI	Carbon Intensity	Cường độ phát thải carbon
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change	Ủy ban Liên Chính phủ về Biến đổi khí hậu
IWA	International Water Association	Hiệp hội Nước Quốc tế
ECAM	Energy Performance and Carbon Emissions Assessment and Monitoring Tool	Công cụ đánh giá và giám sát hiệu quả năng lượng và phát thải carbon
ENERWATER	Energy Performance and Carbon Emissions Assessment and Benchmarking of Wastewater Treatment Plants	Hệ thống đánh giá và so sánh chuẩn hiệu quả năng lượng và phát thải carbon của nhà máy xử lý nước thải
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition	Hệ thống giám sát, điều khiển và thu thập dữ liệu
CAS	Conventional Activated Sludge	Công nghệ bùn hoạt tính truyền thống
BTH	Septic Tank	Bể tự hoại
BOD_5	Biochemical Oxygen Demand	(Nhu cầu oxy sinh hóa 5 ngày)
COD	Chemical Oxygen Demand	(Nhu cầu oxy hóa học)
TN	Total Nitrogen	(Tổng nitơ)

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Biến đổi khí hậu và mục tiêu phát thải ròng bằng "0" đang trở thành định hướng quan trọng trong phát triển hạ tầng kỹ thuật đô thị bền vững. Tại Việt Nam, Luật Bảo vệ môi trường năm 2020, Nghị định số 06/2022/NĐ-CP về giảm nhẹ phát thải khí nhà kính và bảo vệ tầng ô-dôn, cùng Nghị định số 119/2025/NĐ-CP sửa đổi, bổ sung Nghị định số 06/2022/NĐ-CP đã tạo cơ sở pháp lý cho việc kiểm kê, quản lý và giảm phát thải KNK trong các lĩnh vực phát thải chính [3-5].

Trong lĩnh vực thoát nước và XLNT, các công trình từ bể tự hoại, tuyến cống thoát nước, trạm bơm, hồ điều hòa đến nhà máy XLNT và xử lý bùn vừa tiêu thụ nhiều năng lượng, vừa phát sinh KNK thông qua quá trình phân hủy chất hữu cơ, chuyển hóa nitơ và sử dụng điện năng. Theo IPCC, nước thải là một nguồn phát thải CH_4 và N_2O quan trọng trong lĩnh vực chất thải [1], [2]. Đối với hệ thống thoát nước hỗn hợp trong điều kiện khí hậu nhiệt đới như Việt Nam, phát thải methane từ cống thoát nước, bể tự hoại và hồ điều hòa có thể có ý nghĩa lớn hơn so với các khu vực ôn đới.

Hiện nay, nhiều nghiên cứu trong nước mới tập trung riêng cho nhà máy xử lý nước thải mà chưa đánh giá toàn bộ hệ thống thoát nước đô thị bao gồm bể tự hoại, mạng lưới cống, hồ điều hòa, kênh mương, trạm bơm, xử lý bùn và các công trình phụ trợ. Trong khi đó, các công cụ và phương pháp quốc tế như IPCC, ECAM và ENERWATER đã được sử dụng để đánh giá phát thải, hiệu quả năng lượng và benchmark vận hành của hệ thống nước đô thị [1], [2], [6].

Lưu vực Lê Chân - Hải Phòng được lựa chọn làm nghiên cứu điển hình do có đầy đủ đặc trưng của hệ thống thoát nước hỗn hợp tại đô thị lớn của Việt Nam, bao gồm bể tự hoại phân tán, mạng lưới thu gom nước thải, mạng lưới thoát nước mưa, hồ điều hòa, trạm

bơm nước mưa, trạm bơm nước thải, Nhà máy XLNT Vĩnh Niệm và hệ thống xử lý bùn. Khu vực này có tốc độ đô thị hóa cao, chịu ảnh hưởng của ngập úng và triều cường, đồng thời có dữ liệu vận hành và SCADA tương đối đầy đủ, phù hợp cho nghiên cứu kiểm toán KNK toàn hệ thống.

2. CÁC QUÁ TRÌNH PHÁT THẢI KNK TRONG HỆ THỐNG THOÁT NƯỚC

Trong hệ thống thoát nước đô thị, các nguồn phát thải KNK chủ yếu bao gồm bể tự hoại, mạng lưới thu gom nước thải, hồ điều hòa, trạm bơm, nhà máy XLNT, hệ thống xử lý bùn và các công trình phụ trợ. Các nguồn này tạo ra CH_4, N_2O và CO_2 thông qua các quá trình sinh hóa và tiêu thụ năng lượng trong vận hành.

Theo cách tiếp cận kiểm kê KNK, phạm vi phát thải có thể được phân thành ba nhóm: Phạm vi (Scope) 1 là phát thải trực tiếp từ quá trình thu gom và xử lý nước thải; Scope 2 là phát thải gián tiếp từ điện năng, nhiệt hoặc hơi nước mua ngoài; Scope 3 là phát thải gián tiếp từ hóa chất, vật tư, vận chuyển, xây dựng, xử lý chất thải và các hoạt động phụ trợ khác [7], [8].

CH_4 chủ yếu phát sinh từ quá trình phân hủy yếm khí các chất hữu cơ trong bể tự hoại, mạng lưới cống và bùn thải. Nitrous oxide phát sinh trong quá trình nitrat hóa và khử nitrat tại các công trình xử lý sinh học. CO_2 gián tiếp phát sinh từ điện năng tiêu thụ cho bơm, thổi khí, xử lý bùn và các công trình phụ trợ. Đối với Nhà máy XLNT Vĩnh Niệm sử dụng công nghệ bùn hoạt tính truyền thống (CAS), hệ thống xử lý hiếu khí (Aeroten) và máy thổi khí là khu vực tiêu thụ điện năng lớn nhất, chiếm khoảng 60 - 70% tổng điện năng vận hành.

Bảng 1. Nguồn phát thải KNK chủ yếu trong hệ thống thoát nước đô thị

Công trình/quá trình	Khí phát thải chính	Cơ chế phát thải	Phản ứng/quan hệ đặc trưng	Ghi chú áp dụng
Bể tự hoại	CH_4, CO_2	Phân hủy kỵ khí chất hữu cơ; lên men axit; tạo methane	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 3CH_4 + 3CO_2$	Cần tính riêng do tỷ lệ sử dụng bể tự hoại cao tại đô thị Việt Nam
Mạng lưới cống thu gom	CH_4, CO_2, H_2S	Lắng cặn hữu cơ, điều kiện yếm khí trong cống; giải phóng khí hòa tan	$CH_3COOH \rightarrow CH_4 + CO_2$	Phụ thuộc thời gian lưu, nhiệt độ, độ dốc và điều kiện vận hành
Hồ điều hòa, kênh mương	CH_4, CO_2, N_2O	Lắng bùn, phân hủy hữu cơ, chuyển hóa nitơ trong lớp trầm tích	$NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow N_2O \rightarrow N_2$	Có ý nghĩa trong hệ thống thoát nước chung và hồ điều hòa đô thị
Trạm bơm	CO_2 gián tiếp, CH_4	Tiêu thụ điện năng; khuấy trộn và giải phóng khí từ nước thải	Điện năng × hệ số phát thải lưới điện	Thuộc Scope 2 và một phần Scope 1 nếu có phát thải trực tiếp
Nhà máy xử lý nước thải	CO_2, CH_4, N_2O	Xử lý sinh học, nitrat hóa, khử nitrat, lắng bùn và tiêu thụ điện	$NH_4^+ \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO_3^-$; $NO_3^- \rightarrow N_2O \rightarrow N_2$	Aeroten và máy thổi khí là điểm nóng tiêu thụ năng lượng
Xử lý và lưu chứa bùn	CH_4, N_2O, CO_2	Phân hủy bùn hữu cơ; ép bùn, vận chuyển và chôn lấp	$VS \rightarrow CH_4 + CO_2$	Cần đưa vào Scope 1 và Scope 3 tùy ranh giới kiểm kê

3. PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN PHÁT THẢI KNK

Nghiên cứu sử dụng kết hợp ba nhóm phương pháp: (i) phương pháp IPCC để kiểm kê phát thải CH_4 và N_2O từ nước thải; (ii) công cụ ECAM để đánh giá đồng thời hiệu quả năng lượng và phát thải carbon; và (iii) phương pháp cân bằng vật chất dựa trên hiệu suất tính theo từng công trình đơn vị, có xét đến mô hình động học xử lý sinh học để nhận diện các điểm nóng phát thải để so sánh đánh giá đặc biệt đối với bể tự hoại là nguồn phát thải lớn.

Phương pháp IPCC phù hợp cho kiểm kê cấp hệ thống và có khả năng áp dụng khi dữ liệu chi tiết còn hạn chế. Tuy nhiên, để đề xuất giải pháp giảm phát thải cho từng công trình cụ thể, cần kết hợp dữ liệu vận hành, SCADA, điện năng tiêu thụ, công suất hoạt động của các thiết bị và các tham số công nghệ như COD, BOD_5, TN, lưu lượng, nhiệt độ, thời gian lưu nước và tuổi bùn.

Bảng 2. Mô hình động học và tham số đặc trưng tính toán kiểm toán KNK

Quá trình	Mô hình	Tham số chính	Công thức đặc trưng	Ý nghĩa ứng dụng
Sinh trưởng vi sinh vật dị dưỡng	Monod	μm, Ks, S	$\mu = \mu m \times S/(Ks + S)$	Mô tả tăng trưởng vi sinh theo cơ chất
Phân hủy cơ chất hữu cơ	Substrate utilization	k, Ks, S	$rs = -k \times S/(Ks + S)$	Tính tốc độ tiêu thụ COD/BOD
Sinh khối tạo thành	Biomass growth	Y, rs	$rx = Y \times rs$	Ước tính lượng bùn sinh ra
Phân hủy nội bào	Endogenous decay	kd, X	$rd = -kd \times X$	Mô tả suy giảm sinh khối
Nitrat hóa	Nitrification kinetics	NH_4^+, DO	$rnit = \mu A \times NH_4/(KNH_4 + NH_4) \times DO/(KO + DO)$	Oxy hóa amoni và nguy cơ phát sinh N_2O
Khử nitrat	Denitrification kinetics	NO_3^-, COD	$rden = \mu H \times NO_3/(KNO_3 + NO_3) \times COD/(KS + COD)$	Đánh giá quá trình sinh N_2/N_2O

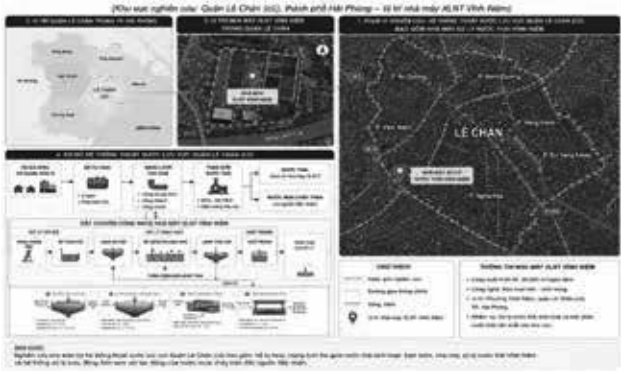
Bảng 3. Tham số và công thức tính toán phát thải KNK theo IPCC và hiệu suất công trình đơn vị

STT	Tham số/Mô hình	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị tham khảo	Công thức/Ứng dụng	Nguồn
1	Khả năng sinh methane tối đa	B_0	kg CH_4/kg COD	0,25	$ECH_4 = COD \times B_0 \times MCF$	IPCC 2006/2019
2	Hệ số hiệu chỉnh methane	MCF	-	0,5-0,8	Điều chỉnh theo điều kiện yếm khí	IPCC 2006/2019
3	Phát thải CH_4 từ cống	ECH_4-sw	kg CO_2eq/năm	Theo COD	$ECH_4\text{-}sw = COD \times B_0 \times MCFsw \times GWPCH_4$	IPCC, unit process
4	Thời gian lưu nước	HRT	giờ hoặc ngày	4-24	$HRT = V/Q$	Dữ liệu vận hành
5	Hiệu suất xử lý của các quá trình xử lý sinh học	H	%	5-90%	=COD_load-COD_removed_primary =COD_removed_bio×EF_CH4_CAS =TN_removed×EF_N2O_N_TN	IWA, thiết kế vận hành
6	Tuổi bùn	SRT	ngày	5–30	$SRT = VX/(QrXr + QwXw)$	ASM/thiết kế vận hành
7	Phát thải N_2O	EN_2O	kg CO_2eq/ngày	Theo EF	$EN_2O = Neffluent \times EFN_2O \times GWPN_2O$	IPCC 2019
8	Phát thải CO_2 gián tiếp từ điện	ECO_2-e	kg CO_2eq/ngày	EFgrid theo điện năng năm công bố	$ECO_2\text{-}e = Điện\ năng \times EFgrid$	Scope 2
9	Tổng phát thải KNK	GHGtotal	kg CO_2eq/ngày	Tổng hợp	$GHG = CO_2 + GWPCH_4 \times CH_4 + GWPN_2O \times N_2O$	IPCC AR6/GHG Protocol

4. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN THỬ NGHIỆM CHO LƯU VỰC LÊ CHÂN VÀ NHÀ MÁY XLNT VĨNH NIỆM

Lưu vực Lê Chân được lựa chọn là nghiên cứu điển hình do có đầy đủ đặc trưng của hệ thống thoát nước chung và dữ liệu vận hành thực tế tương đối ổn định (đã đi vào vận hành từ 2020). Quy mô dân số hiện tại khoảng 230.000 người và định hướng đến năm 2030 khoảng trên 280.000 người. Để tính toán phát thải KNK với độ tin cậy cao, cần thu thập đồng bộ các thông số đầu vào tại bể tự hoại, mạng lưới cống, hồ điều hòa, trạm bơm trong lưu vực, nhà máy xử lý nước thải và hệ thống xử lý bùn.

Đối với nhà máy XLNT Vĩnh Niệm, công suất thiết kế là 36.000 m^3/ngày, lưu lượng vận hành trung bình khoảng 32.000 m^3/ngày. Nhà máy sử dụng công nghệ bùn hoạt tính truyền thống (CAS) - Aeroten.



Hình 1. Phạm vi nghiên cứu kiểm toán KNK hệ thống thoát nước lưu vực Lê Chân

Khi mở rộng ranh giới tính toán cho toàn hệ thống gồm bể tự hoại, mạng lưới thoát nước, hồ điều hòa, trạm bơm, nhà máy XLNT và xử lý bùn, tổng phát thải KNK tăng đáng kể so với chỉ tính riêng nhà máy.



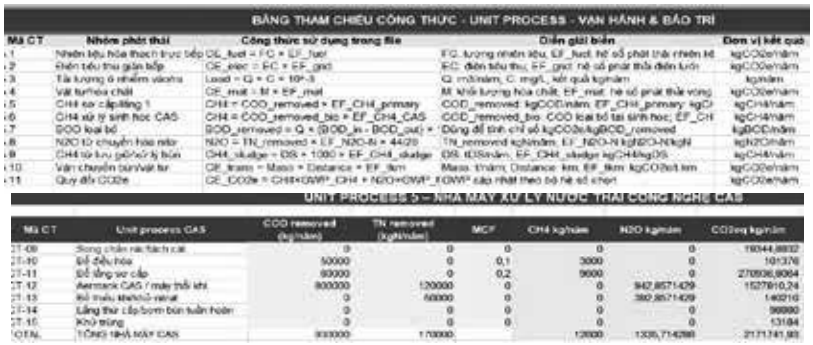
Hình 2. Vị trí khảo sát, thu thập tính toán phát thải KNK tại lưu vực Lê Chân - Tây Nam, Hải Phòng

Kết quả thu thập xác định phạm vi tính toán của hệ thống thoát nước lưu vực Lê Chân

Bảng 4. Tham số đầu vào chính phục vụ tính toán KNK cho Nhà máy XLNT Vĩnh Niệm

Nhóm đối tượng	Quy mô/Thông số chính	Giá trị
Dân số phục vụ	Dân số tương đương	~230.000 - 280.000 người (dự kiến quy hoạch đến 2030)
Hệ thống thoát nước	Chiều dài mạng lưới cống	>730 km
Hệ thống thoát nước	Giếng thu, giếng thăm	>25.000 công trình
Hệ thống thoát nước	Hồ điều hòa	70,3 ha
Hệ thống thoát nước	Kênh, mương thoát nước	>70 km
Hệ thống thoát nước	Cống ngăn triều, cửa phai	~170 cửa
Trạm bơm	Trạm bơm nước mưa	Máy Đèn, Vĩnh Niệm, Nam Cầu Bính
Trạm bơm	Trạm bơm nước thải	Đông Quốc Bình, Hồ Sen
Nhà máy XLNT Vĩnh Niệm	Công suất thiết kế	36.000 m^3/ngày
Nhà máy XLNT Vĩnh Niệm	Lưu lượng vận hành trung bình	~32.000 m^3/ngày
Nhà máy XLNT Vĩnh Niệm	Công nghệ xử lý	CAS - Aeroten
Nhà máy XLNT Vĩnh Niệm	Điện năng tiêu thụ trung bình năm	
Chất lượng nước thải đầu vào	BOD_5	98 - 150 mg/L
Chất lượng nước thải đầu vào	COD	150 - 200 mg/l
Chất lượng nước thải đầu vào	Tổng Nitơ (TN)	~40 mg/L
Điều kiện vận hành	Nhiệt độ nước thải	24 - 30°C

Thiết lập công thức tính toán theo từng quá trình (unit process) kết hợp các tham số tham chiếu theo IPCC đã công bố tính lượng phát thải để xây dựng công thức, hàm tính toán như Hình 3.



Hình 3. Kết quả mô phỏng thiết lập hàm công thức tính phát thải KNK nhà máy XLNT Vĩnh Niệm theo từng quá trình (unit process)

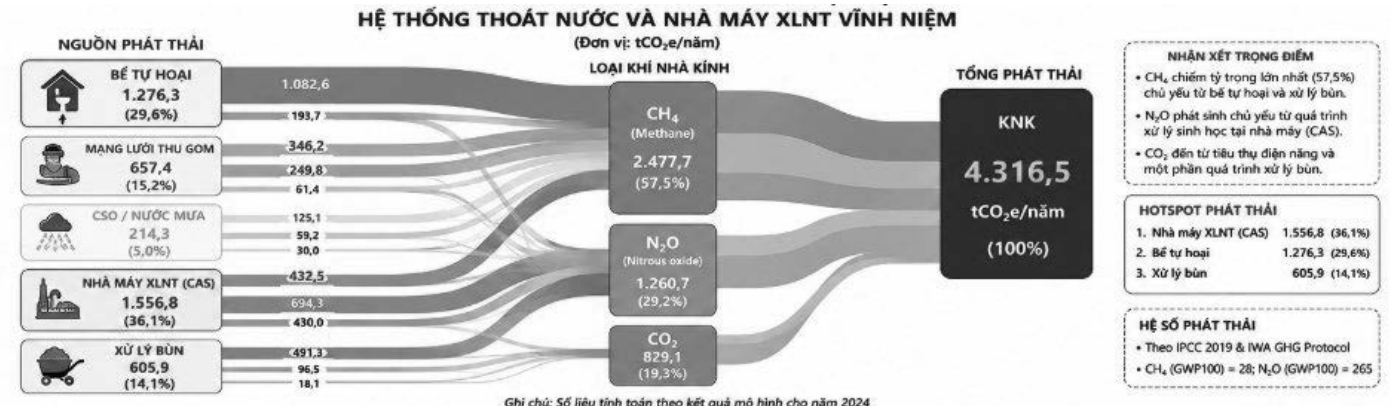
(*) Đây là các kết quả tính chi tiết bước đầu, sẽ tiếp tục được cập nhật trong quá trình khảo sát chi tiết, các kết quả sẽ có sự dao động theo điều kiện đầu vào nước thải giữa các mùa, sẽ kiểm chứng đối chứng kết quả và phân tích so sánh với các mô hình tính của EPA, ECAM

Kết quả tính toán phát thải gián tiếp từ điện năng của nhà máy xử lý ước tính khoảng 5,97 tCO_2/ngày, tương ứng khoảng 0,166 $kgCO_2/m^3$ nước thải xử lý. Trong đó, Aeroten và máy thổi khí là khu vực tiêu thụ năng lượng lớn nhất.

Tổng hợp kết quả tính khí nhà kính của từng quá trình và so sánh từng đối tượng phát thải thể hiện tại Bảng 5:

Bảng 5. Tổng hợp kết quả phát thải và tiềm năng giảm phát thải

Nội dung	Giá trị tổng hợp	Nhận xét
Tổng phát thải KNK toàn hệ thống	≈ 4.316,5 tCO_2eq/năm	Bao gồm Scope 1, Scope 2 và Scope 3
Tổng phát thải sau tối ưu	≈ 3.020 - 3.450 tCO_2eq/năm	Sau áp dụng các giải pháp tối ưu vận hành và thu hồi năng lượng
Tiềm năng giảm phát thải KNK	≈ 860 - 1.300 tCO_2eq/năm	Tương đương giảm khoảng 20 - 30%
Nguồn phát thải lớn nhất	Bể tự hoại và nhà máy XLNT	Hotspot CH_4 (BTH) và tiêu thụ điện của hệ thống
Nguồn tiêu thụ điện lớn nhất	Sục khí Aerotank	Phụ tải điện chính của WWTP
Tổng tiêu thụ năng lượng toàn hệ thống	≈ 7.542 MWh/năm	Bao gồm WWTP, trạm bơm, bùn, CSO
Tổng tiềm năng thu hồi/tiết kiệm năng lượng	≈ 3.100 - 4.410 MWh/năm	Tương đương khoảng 28–33% nhu cầu năng lượng
Điện mặt trời mái nhà (PV)	≈ 1.000 - 1.350 MWh/năm	Nguồn thu hồi lớn
Thu hồi biogas từ bể tự hoại và bùn	≈ 1965 MWh/năm	Giảm phát thải CH_4
Tiết kiệm từ tối ưu DO và biến tần	≈ 600 - 800 MWh/năm	Hiệu quả đầu tư cao
SEC hiện trạng toàn hệ thống	≈ 0,55 kWh/m^3	Nằm trong khoảng benchmark của một số nước đang phát triển, đã bao gồm các trạm bơm, bổ sung xử lý bùn
CI hiện trạng	≈ 0,42 kg CO_2eq/m^3	Còn cao so với benchmark EU/Nhật Bản
Tiềm năng giảm SEC sau tối ưu	≈ 0,38 - 0,45 kWh/m^3	Giảm khoảng 15 - 25%
Tiềm năng giảm CI sau tối ưu	≈ 0,28 - 0,35 kg CO_2eq/m^3	Tiệm cận benchmark quốc tế



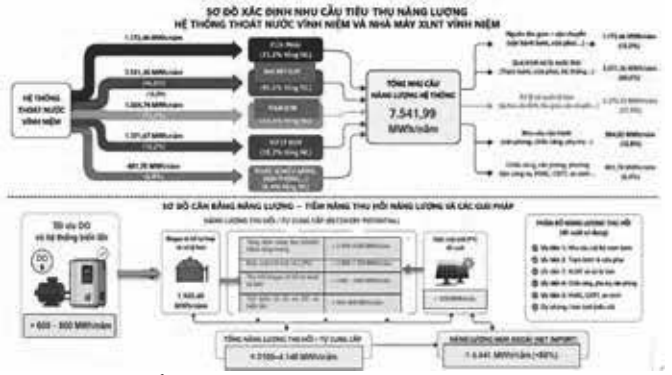
Hình 4. Mô phỏng kết quả tính phát thải KNK theo từng quá trình (unit process) cho hệ thống thoát nước Lê Chân

Kết quả phân tích bước đầu cho thấy tổng phát thải KNK của hệ thống đạt khoảng **4.316,5 tCO_2eq/năm**.

So sánh với các nghiên cứu quốc tế cho thấy tỷ lệ phát thải CH_4 tại lưu vực nghiên cứu có thể cao hơn các hệ thống tại châu Âu do điều kiện nhiệt đới, thời gian lưu nước lớn trong tuyến ống thu gom và tỷ lệ bể tự hoại cao là nguồn phát thải đáng kể. Phát thải N_2O tại công trình sinh học công nghệ bùn hoạt tính truyền thống (CAS) tương đối tương đồng với các nghiên cứu đối với công nghệ CAS của các nước, trong khi chỉ số phát thải cacbon còn phụ thuộc mạnh vào cường độ phát thải của lưới điện và khả năng thu hồi năng lượng.

5. SO SÁNH VÀ THẢO LUẬN

Kết quả phân tích cân bằng năng lượng cho thấy tổng nhu cầu năng lượng của toàn hệ thống thoát nước và XLNT Vĩnh Niệm ước tính khoảng 7.542 MWh/năm. Trong đó, khu vực tiêu thụ năng lượng lớn nhất là nhà máy XLNT (46,6%), tiếp theo là xử lý bùn (18,2%), cụm trạm bơm (15,5%) và các phụ tải phụ trợ (12,8%). Điều này phù hợp với các nghiên cứu quốc tế cho thấy hệ thống sục khí và xử lý bùn là hai nhóm phụ tải tiêu thụ năng lượng chính trong các nhà máy XLNT công nghệ bùn hoạt tính truyền thống. Nguồn phát thải lớn nhất là nhà máy XLNT công nghệ CAS gồm cả trạm bơm nước thải (bao gồm phát thải gián tiếp từ điện năng) chiếm khoảng 36%, tiếp theo là bể tự hoại (29,6%) và xử lý bùn, trong đó CH_4 từ bể tự hoại là nguồn phát thải lớn nhất trong các quá trình. Kết quả này cho thấy phát thải KNK trong điều kiện Việt Nam không chỉ tập trung tại nhà máy mà còn phân bố đáng kể trong hệ thống thu gom nước thải đặc biệt bể tự hoại.



(*) Các giá trị thể hiện kết quả năng lượng tiêu thụ và tiềm năng kỹ thuật tính toán theo mô hình KTNL - KNK, không phải sản lượng năng lượng thu hồi thực tế tại thời điểm khảo sát, kết quả tính để xuất này sẽ tiếp tục nghiên cứu phân tích tính toán chi tiết.

Hình 5. Sơ đồ nhu cầu tiêu thụ năng lượng và tiềm năng thu hồi năng lượng của hệ thống thoát nước Vĩnh Niệm

Đề xuất một số giải pháp

Từ các kết quả kiểm toán KNK đề xuất các giải pháp giảm thiểu tiêu thụ năng lượng và phát thải KNK tại các "điểm nóng" phát thải. Kết quả tính toán sơ bộ như Bảng 6:

Bảng 6. Tiềm năng giảm phát thải KNK và tiết kiệm năng lượng

Giải pháp	Tiết kiệm năng lượng (%)	Giảm phát thải KNK (%)
Điều khiển DO trực tuyến	5 - 10	5 - 8
Tối ưu máy thổi khí	10 - 15	10 - 12
SCADA và điều khiển thông minh	3 - 5	3 - 5
Thu hồi biogas	-	10 - 15
Điện mặt trời mái nhà	-	5 - 10
Tổng tiềm năng	15 - 25	20 - 30

6. KẾT LUẬN

Hệ thống thoát nước đô thị là một trong những nguồn phát thải KNK đáng kể trong lĩnh vực hạ tầng kỹ thuật đô thị. Các nguồn phát thải chính bao gồm CH_4 từ bể tự hoại, mạng lưới thu gom nước thải và xử lý bùn; N_2O từ các quá trình xử lý sinh học; và CO_2 gián tiếp từ tiêu thụ điện năng, hóa chất và vận chuyển từ nhà máy chiếm tỷ trọng lớn trong quá trình vận hành.

Kết quả nghiên cứu đối với lưu vực thoát nước Lê Chân và Nhà máy XLNT Vĩnh Niệm cho thấy công đoạn xử lý sinh học bằng bùn hoạt tính và hệ thống thổi khí là khu vực tiêu thụ năng lượng lớn nhất, chiếm khoảng trên 70% tổng điện năng vận hành. Chỉ số SEC vận hành nhà máy đạt khoảng 0,200 kWh/m^3, (chưa gồm xử lý bùn) tương đối phù hợp với các giá trị benchmark quốc tế theo ENERWATER và ECAM.

Kết quả phân tích phát thải cho thấy CH_4 là thành phần đóng góp lớn trong tổng phát thải của hệ thống. Các giải pháp tối ưu hóa vận hành, điều khiển DO trực tuyến, ứng dụng SCADA, thu hồi năng lượng từ bùn và sử dụng năng lượng tái tạo có thể giúp giảm khoảng 20 - 30% lượng phát thải KNK và tiết kiệm khoảng 15 - 25% điện năng tiêu thụ.

Nghiên cứu là cơ sở khoa học cho việc xây dựng quy trình kiểm toán KNK trong lĩnh vực thoát nước đô thị, góp phần thực hiện Luật Bảo vệ môi trường năm 2020, Nghị định số 06/2022/NĐ-CP, Nghị định số 119/2025/NĐ-CP và lộ trình thực hiện cam kết phát thải ròng bằng "0" của Việt Nam đến năm 2050.

Kiến nghị

Kết quả nghiên cứu cho thấy cần chuyển từ cách tiếp cận đánh giá riêng lẻ nhà máy XLNT sang kiểm toán tích hợp toàn hệ thống thoát nước đô thị, bao gồm bể tự hoại, mạng lưới thu gom, hồ điều hòa, trạm bơm, nhà máy xử lý nước thải, xử lý bùn và các công trình phụ trợ.

Đối với điều kiện Việt Nam, phương pháp IPCC phù hợp để kiểm kê phát thải KNK ở cấp hệ thống; phương pháp kiểm toán theo từng công trình đơn vị phù hợp để xác định các điểm nóng phát thải và đề xuất giải pháp giảm phát thải; trong khi công cụ ECAM có thể sử dụng để đánh giá hiệu quả năng lượng và benchmark vận hành. Việc bổ sung mô hình động học cho bể tự hoại và quá trình xử lý sinh học giúp lựa chọn tham số phù hợp hơn với điều kiện khí hậu nhiệt đới của Việt Nam.

Kết quả nghiên cứu cũng cho thấy cần xây dựng bộ chỉ số tham chiếu chuẩn (benchmark) quốc gia về tiêu thụ năng lượng và phát thải KNK cho các hệ thống thoát nước và xử lý nước thải đô thị nhằm phục vụ công tác kiểm toán, kiểm kê và giảm phát thải khí nhà kính trong tương lai.

Trong giai đoạn tới, cần xây dựng cơ sở dữ liệu KNK cho lĩnh vực thoát nước, tăng cường quan trắc online, chuẩn hóa dữ liệu SCADA, đo đạc điện năng theo thiết bị chính, xây dựng benchmark quốc gia và các giải pháp giúp giảm phát thải KNK, nâng cao hiệu quả quản lý, vận hành hạ tầng thoát nước đô thị là cơ sở đóng góp mục tiêu Net Zero.

Lời cảm ơn: Nhóm Nghiên cứu trân trọng cảm ơn đơn vị quản lý vận hành hệ thống thoát nước và nhà máy xử lý nước thải đã hỗ trợ cung cấp số liệu, khảo sát hiện trường và trao đổi chuyên môn phục vụ nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, vol. 5: Waste. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, Japan, 2006.

[2] IPCC. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland, 2019.

[3] Quốc hội Việt Nam. Luật Bảo vệ môi trường số 72/2020/QH14, Hà Nội, 2020.

[4] Chính phủ Việt Nam. Nghị định số 06/2022/NĐ-CP ngày 07/01/2022 quy định giảm nhẹ phát thải khí nhà kính và bảo vệ tầng ô-dôn, Hà Nội, 2022.

[5] Chính phủ Việt Nam. Nghị định số 119/2025/NĐ-CP ngày 09/06/2025 sửa đổi, bổ sung một số điều của Nghị định số 06/2022/NĐ-CP, Hà Nội, 2025.

[6] World Bank and IWA. ECAM Tool: Energy Performance and Carbon Emissions Assessment and Monitoring Tool, User Guide. World Bank and International Water Association, Washington, DC and London, 2021.

[7] IWA. Reducing the Greenhouse Gas Emissions of Water and Sanitation Services: Overview of Emissions and their Potential Reduction. International Water Association, London, 2022.

[8] Liu Y., Porro J., Nopens I. Quantification and Modelling of Fugitive Greenhouse Gas Emissions from Urban Water Systems. IWA Publishing, London, 2022.

[9] Wakeel M., Chen B., Hayat T., Alsaedi A., Ahmad B. Energy consumption for water use cycles in different countries: A review. Applied Energy, vol. 178, pp. 868-885, 2016, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.06.114.

[10] Wang H., Yang Y., Keller A.A., Li X., Feng S., Dong Y., Li F. Comparative analysis of energy intensity and carbon emissions in wastewater treatment in USA, Germany, China and South Africa. Applied Energy, vol. 184, pp. 873-881, 2016, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.07.061.

[11] GIZ and SALGA. A Practical Guideline for Energy Efficiency Audits at Wastewater Treatment Works. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) and South African Local Government Association (SALGA), Pretoria, 2020.

[12] US EPA. Energy Assessment Report: Kailua Wastewater Treatment Plant. United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, 2010.

[13] Liu Y., Gu J., Zhang M. A-B Processes: Towards Energy Self-sufficient Municipal Wastewater Treatment. IWA Publishing, London, 2019.

[14] Nguyễn Việt Anh. Bể tự hoại. NXB. Xây dựng, Hà Nội, 2017.

[15] Nguyễn Việt Anh, Bùi Thị Thủy, Vũ Thị Minh Thanh. Xử lý bùn của trạm xử lý nước thải. NXB Xây dựng, Hà Nội, 2017.

[16] Công ty TNHH MTV Thoát nước Hải Phòng. Báo cáo môi trường và số liệu vận hành Nhà máy xử lý nước thải Vĩnh Niệm giai đoạn 2022 - 2025, Hải Phòng, 2025.

[17] Bộ Tài nguyên và Môi trường. Báo cáo hiện trạng môi trường quốc gia giai đoạn 2023 - 2025, Hà Nội, 2025.

18] ENERWATER Consortium. Energy Performance and Carbon Emissions Assessment and Benchmarking of Wastewater Treatment Plants. European Commission, Brussels, 2018.

■Ngày nhận bài: 01/4/2026 ■Ngày sửa bài: 10/4/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 20/4/2026

Quản lý chất lượng nguồn nước cấp theo hướng đảm bảo cấp nước an toàn: Kinh nghiệm thế giới

Water source quality management towards water safety plan: Experiences from selected countries

> THS NGUYỄN PHƯƠNG TÚ[1,*], PGS.TS ĐOÀN THU HÀ[2]
[1]Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội
[2]Trường Đại học Thủy lợi
[*]Email: nptu@hunre.edu.vn

TÓM TẮT

Trong bối cảnh đô thị hóa, biến đổi khí hậu và gia tăng ô nhiễm nguồn nước, chất lượng nguồn nước cấp cho các đô thị tại Việt Nam đang chịu nhiều áp lực và thách thức nghiêm trọng. Quản lý chất lượng nguồn nước theo hướng đảm bảo cấp nước an toàn (Water Safety Plan - WSP) trở thành yêu cầu cấp thiết nhằm kiểm soát rủi ro, bảo vệ sức khỏe cộng đồng và đảm bảo an ninh nguồn nước bền vững. Bài báo sử dụng phương pháp tổng hợp, phân tích tài liệu và so sánh kinh nghiệm quốc tế để nghiên cứu các mô hình quản lý chất lượng nguồn nước theo tiếp cận quản lý tổng hợp tài nguyên nước và ứng dụng công nghệ hiện đại trong giám sát, cảnh báo sớm chất lượng nước. Kết quả nghiên cứu cho thấy xu hướng quản lý hiện đại tập trung vào quản lý theo lưu vực, tăng cường phối hợp liên ngành, ứng dụng công nghệ quan trắc thời gian thực, Internet vạn vật (IoT) và trí tuệ nhân tạo (AI) trong giám sát và dự báo chất lượng nguồn nước. Trên cơ sở đánh giá thực trạng quản lý tại Việt Nam, bài báo đề xuất một số giải pháp trọng tâm về thể chế, kỹ thuật và công nghệ nhằm nâng cao hiệu quả quản lý chất lượng nguồn nước và đảm bảo cấp nước an toàn cho các đô thị trong bối cảnh phát triển bền vững.

Từ khóa: Cấp nước đô thị; kế hoạch cấp nước an toàn; quản lý chất lượng nguồn nước; quan trắc chất lượng nước; quản lý tổng hợp tài nguyên nước.

ABSTRACT

In the context of rapid urbanization, climate change, and increasing water source pollution, the quality of urban water sources in Vietnam is facing significant pressures and challenges. Water source quality management towards the Water Safety Plan (WSP) approach has become an essential requirement to control risks, protect public health, and ensure sustainable water security. This study applies literature review, synthesis, and comparative analysis methods to examine international experiences in integrated water resources management and the application of advanced technologies in water quality monitoring and early warning systems. The results indicate that modern management approaches emphasize river basin management, inter-agency coordination, real-time monitoring technologies, the Internet of Things (IoT), and artificial intelligence (AI) for water quality assessment and prediction. Based on the assessment of current management practices in Vietnam, the paper proposes several key institutional, technical, and technological solutions to improve water source quality management and enhance urban water supply safety in the context of sustainable development.

Keywords: Urban water supply; Water Safety Plan (WSP); water source quality management; water quality monitoring; integrated water resources management.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tài nguyên nước là một trong những yếu tố nền tảng của phát triển bền vững. Bên cạnh trữ lượng, chất lượng nước đóng vai trò rất quan trọng [1]. Do đó, một trong những mối quan tâm hàng đầu của các nhà quản lý và cơ quan chức năng phụ trách cung cấp nước sạch là việc giám sát các rủi ro tiềm ẩn, xác định và kiểm soát các điểm trọng yếu và mối nguy hiểm đe dọa hệ thống cấp nước từ nguồn cấp nước đến điểm tiêu thụ [2]. Tại Việt Nam, quá trình đô thị hóa nhanh chóng đã đẩy nhu cầu sử dụng nước lên cao. Nhu cầu sử dụng nước cho sinh hoạt, công nghiệp tại các đô thị đạt khoảng 13–

14 triệu m^3/ngày đêm vào năm 2025 [1]. Tuy nhiên, tình trạng ô nhiễm nguồn nước mặt tại các lưu vực sông lớn (như sông Nhuệ - Đáy, sông Cầu, sông Đồng Nai - Sài Gòn), xâm nhập mặn vùng cửa sông (như sông Thái Bình, sông Đa Độ) và suy giảm chất lượng nước ngầm (thông qua một số khảo sát và báo cáo ví dụ amoni ở phía nam Hà Nội hoặc asen tại một số khu vực thuộc Đồng bằng sông Hồng) đang tạo ra áp lực khổng lồ [1]. Chính vì vậy, việc giám sát và dự báo chính xác chất lượng nguồn nước được lựa chọn là nguồn cấp cho các đô thị đóng vai trò hết sức quan trọng trong đảm bảo sức khỏe cộng đồng cũng như đảm bảo cấp nước an toàn, liên tục cho người sử dụng. Việc nghiên cứu kinh nghiệm quốc tế về quản lý chất lượng nguồn nước theo hướng đảm bảo cấp nước an toàn là yêu cầu cấp thiết nhằm hoàn thiện chiến lược quản lý tài nguyên nước tại Việt Nam. Hiện nay, các nghiên cứu chủ yếu tập trung vào đánh giá hiện trạng chất lượng nước hoặc các giải pháp công nghệ xử lý nước, trong khi các nghiên cứu về quản lý chất lượng nguồn nước theo tiếp cận quản trị rủi ro, quản lý tổng hợp tài nguyên nước và Kế hoạch cấp nước an toàn còn tương đối hạn chế, đặc biệt trong bối cảnh ứng dụng công nghệ số và cảnh báo sớm chất lượng nguồn nước. Bài báo này tập trung nghiên cứu kinh nghiệm quản lý chất lượng nguồn nước thô cung cấp cho các nhà máy xử lý nước tại các đô thị ở một số quốc gia, đồng thời đề xuất một số giải pháp nâng cao hiệu quả quản lý chất lượng nguồn nước cấp tại Việt Nam.

2. QUẢN LÝ CHẤT LƯỢNG NGUỒN NƯỚC VÀ KẾ HOẠCH CẤP NƯỚC AN TOÀN

Quản lý chất lượng nước là một vấn đề cốt lõi trong công tác quản trị tài nguyên thiên nhiên, có sự chuyển đổi linh hoạt giữa các mô hình quản trị khác nhau; bao trùm các khía cạnh từ bảo vệ tài nguyên nước, thực thi các chỉ thị pháp lý, giám sát và duy trì các tiêu chuẩn chất lượng nước, cho đến khắc phục tình trạng ô nhiễm nước [2]. Quản lý hiệu quả chất lượng nước đòi hỏi phải có sự am hiểu toàn diện về các yếu tố tác động đến quá trình xử lý nước, từ đó làm cơ sở đưa ra những quyết định chuẩn xác nhằm đảm bảo an toàn nguồn nước và bảo vệ sức khỏe cộng đồng [3], [4], [5]. Trong đó, công tác dự báo chính xác chất lượng nước đóng vai trò then chốt, giúp các bên liên quan và các nhà hoạch định chính sách chủ động chuẩn bị ứng phó với các rủi ro tiềm ẩn; đồng thời tạo bước chuyển dịch từ việc phụ thuộc vào kinh nghiệm vận hành thủ công sang phương pháp tiếp cận dựa trên dữ liệu nhằm kiểm soát các công đoạn xử lý tới hạn.



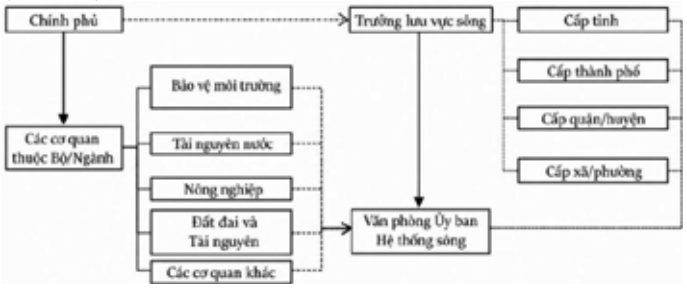
Hình 1. Các bước thực hiện kế hoạch cấp nước an toàn [7]

Kế hoạch cấp nước an toàn đóng vai trò thiết yếu trong quản lý chất lượng nguồn nước. Theo tổng hợp và tóm tắt trong nghiên cứu của Amin Kishipour và cộng sự, kế hoạch cấp nước an toàn là một công cụ cung cấp các nguyên tắc cho công tác quản lý rủi ro, điển hình như hệ thống phân tích mối nguy và điểm kiểm soát tới hạn (HACCP), mô hình đa rào cản, và đánh giá rủi ro [6]. Các bước thực hiện kế hoạch cấp nước an toàn nhằm đảm bảo chất lượng nguồn tài nguyên nước bao gồm tích hợp phân tích các yếu tố đặc thù tại từng địa điểm, xem xét mọi mối đe dọa tiềm ẩn có thể tồn tại trong hệ thống, đề xuất và đánh giá các biện pháp can thiệp, đồng thời xây dựng các chiến lược mới nhằm ngăn ngừa và/hoặc giảm thiểu rủi ro xuống mức tuân thủ các giới hạn quy định [7].

3. KINH NGHIỆM QUẢN LÝ CHẤT LƯỢNG NGUỒN NƯỚC CẤP TỪ MỘT SỐ NƯỚC TRÊN THẾ GIỚI

3.1. Kinh nghiệm quản lý tổng hợp tài nguyên nước tại Trung Quốc

Trung Quốc là một trong những quốc gia đối mặt với thách thức nghiêm trọng nhất về tài nguyên nước trên thế giới, bên cạnh tình trạng khan hiếm nước, quá trình công nghiệp hóa và đô thị hóa kéo dài nhiều thập kỷ đã gây ô nhiễm nghiêm trọng các lưu vực sông và hồ lớn. Trước áp lực đó, Trung Quốc buộc phải chuyển đổi từ mô hình quản lý nước phân tán, thiên về khai thác sang mô hình quản lý tổng hợp, nhấn mạnh bảo vệ, sử dụng hiệu quả và tái tạo tài nguyên nước. Cải cách thể chế là một trụ cột trung tâm trong quản lý tài nguyên nước ở Trung Quốc, trong đó Nhà nước giữ vai trò chủ đạo trong hoạch định chiến lược, ban hành tiêu chuẩn và điều phối liên vùng, liên lưu vực. Vai trò này được thể hiện rõ trong khung pháp luật quốc gia, đặc biệt là Luật Phòng chống ô nhiễm nước, theo đó trách nhiệm quản lý chất lượng nước được giao cụ thể cho chính quyền địa phương và gắn với mục tiêu phát triển kinh tế - xã hội. Một chuyển đổi quan trọng là việc từng bước chuyển từ quản lý theo địa giới hành chính sang quản lý theo lưu vực sông, tiêu biểu thông qua việc triển khai cơ chế "Trưởng sông" trên phạm vi toàn quốc (Hình 2). Theo cơ chế này, lãnh đạo các cấp được giao trách nhiệm trực tiếp đối với giám sát chất lượng nước, kiểm soát ô nhiễm và phối hợp liên địa phương, qua đó góp phần cải thiện các chỉ tiêu chất lượng nước. Song song với đó, trách nhiệm giải trình được tăng cường thông qua việc gắn các chỉ tiêu môi trường liên quan đến nước với đánh giá kết quả công tác của cán bộ, đồng thời thúc đẩy công khai thông tin và sự tham gia của cộng đồng. Các công cụ kinh tế theo nguyên tắc "người gây ô nhiễm phải trả tiền" cũng ngày càng được áp dụng, buộc các chủ thể gây ô nhiễm phải nội hóa chi phí môi trường và qua đó nâng cao hiệu quả thực thi chính sách quản lý tài nguyên nước [8].



Hình 2. Mối tương quan giữa cơ cấu quản lý hành chính và hệ thống "Trưởng sông" [9]

Kinh nghiệm của Trung Quốc cho thấy quản lý chất lượng nguồn nước hiệu quả cần được thực hiện theo tiếp cận quản lý tổng hợp lưu vực sông thay vì phân chia theo địa giới hành chính. Đồng thời, việc gắn trách nhiệm cụ thể cho người đứng đầu địa phương trong kiểm soát ô nhiễm nguồn nước và tăng cường chia sẻ dữ liệu giữa các cơ quan quản lý là những yếu tố quan trọng nhằm nâng cao hiệu quả giám sát và điều phối liên ngành trong bảo vệ nguồn nước cấp.

3.2. Kinh nghiệm quản lý tổng hợp nguồn nước lưu vực sông Minnesota-Mỹ

Tại lưu vực sông Minnesota, chính quyền đưa ra giải pháp quản lý tổng hợp chất lượng nước sông do vấn đề ô nhiễm nước nghiêm trọng. Các nhà quản lý cho rằng, lưu vực sông Minnesota không thể giải quyết triệt để nếu chỉ quan tâm đến việc kiểm soát nguồn thải tập trung mà bỏ qua nguồn thải phân tán. Bởi vậy, cần phải hiểu rõ mức độ, phạm vi ô nhiễm, thời gian xuất hiện ô nhiễm của nguồn nước. Qua phân tích, đánh giá, nguồn nước sông Minnesota đang bị ô nhiễm bởi vi khuẩn, phốt pho, nitơ cũng như có sự biến đổi chu kỳ dòng chảy trong hệ thống sông, hồ. Sự suy giảm chất lượng nước của lưu vực sông Minnesota là nguyên nhân gây ra những vấn đề về chất lượng nước ở hạ lưu như hiện tượng phú dưỡng hồ chứa Pepin, đặc biệt vào mùa khô khi mà dòng chảy trong sông nhỏ. Để phục hồi chất lượng nước sông Minnesota, cơ quan quản lý lưu vực sông Minnesota tập trung vào quản lý các nguồn thải có hàm lượng và tải lượng nitơ, phốt pho và vi khuẩn lớn. Kết quả là vấn đề đã được giải quyết, đem lại sự phục hồi cho lưu vực sông [5].

Kinh nghiệm từ lưu vực sông Minnesota cho thấy việc kiểm soát chất lượng nguồn nước cần đồng thời quản lý cả nguồn thải tập trung và nguồn thải phân tán trong lưu vực. Cách tiếp cận quản lý dựa trên đánh giá tổng hợp mức độ, phạm vi và thời gian xuất hiện ô nhiễm là cơ sở quan trọng để xây dựng các giải pháp kiểm soát chất lượng nước phù hợp với đặc điểm từng lưu vực sông tại Việt Nam.

3.3. Kinh nghiệm áp dụng các mô hình học máy (ML) và Internet vạn vật (IoT) trong giám sát và dự báo chất lượng nước tại Ấn Độ và Malaysia

Các phương pháp đánh giá chất lượng nước truyền thống thường dựa vào việc lấy mẫu thủ công và xét nghiệm trong phòng thí nghiệm. Mặc dù đảm bảo độ chính xác, quy trình này tiêu tốn nhiều thời gian và không thể cung cấp dữ liệu theo thời gian thực, làm cản trở việc phát hiện kịp thời các sự cố ô nhiễm cũng như tính chủ động trong các quyết định quản lý. Để giải quyết bài toán này, sự tích hợp giữa IoT, điện toán đám mây và các mô hình Học máy cung cấp một cơ sở hạ tầng tự động, liên tục và có khả năng dự báo cao [10].

Tích hợp IoT trong thu thập và xử lý dữ liệu thời gian thực. Hệ thống giám sát hiện đại vận hành dựa trên nền tảng IoT, trong đó các thiết bị cảm biến được triển khai để liên tục thu thập dữ liệu về các thông số hóa lý cốt lõi của nước như độ pH, nhiệt độ, lượng oxy hòa tan (DO), và độ đục. Khối dữ liệu này sau đó được truyền trực tiếp đến một hệ thống cơ sở dữ liệu đám mây để lưu trữ và xử lý bởi các mô hình học máy [10]. Một số các mô hình học máy được nghiên cứu áp dụng trong giám sát và dự báo chất lượng nguồn nước ở lưu vực sông Kelantan (Malaysia) như Random Forest, Gradient Boosting… đã cho thấy được những ưu việt trong dự báo chất lượng nước. Đặc biệt, thuật toán Gradient Boosting mang lại độ chính xác tổng thể lên tới 94,90%, với độ nhạy 80,00% và chỉ số f-measure đạt 86,49%, đồng thời duy trì tỷ lệ phân loại sai ở mức thấp nhất. Dựa trên các dự báo chuẩn xác về chất lượng nước, kết quả thu được có thể góp phần hoàn thiện Chính sách môi trường quốc gia về tài nguyên nước thông qua việc không ngừng nâng cao chất lượng nguồn nước [11].

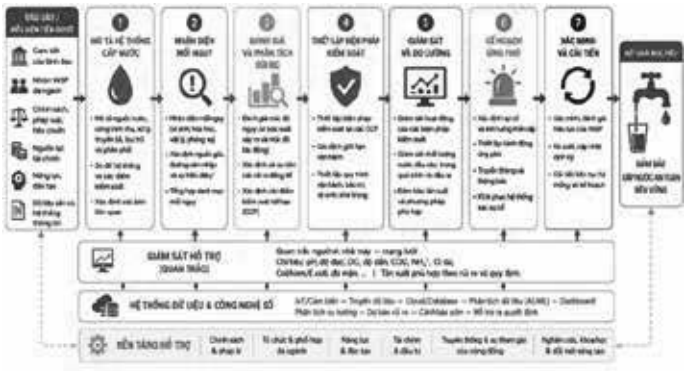
Việc ứng dụng công nghệ IoT, dữ liệu thời gian thực và các mô hình trí tuệ nhân tạo trong giám sát và dự báo chất lượng nước cho thấy tiềm năng lớn trong cảnh báo sớm các sự cố ô nhiễm nguồn nước. Đây là định hướng quan trọng để Việt Nam từng bước hiện đại hóa hệ thống quan trắc chất lượng nước, nâng cao khả năng dự báo và chủ động ứng phó với các rủi ro môi trường trong hệ thống cấp nước đô thị.

4. MỘT SỐ THÁCH THỨC TRONG QUẢN LÝ CHẤT LƯỢNG NGUỒN NƯỚC CẤP TẠI VIỆT NAM

Quản lý tài nguyên nước tại Việt Nam đang gặp tình trạng "phân mảnh" quyền lực. Theo quy định hiện hành, Bộ Nông nghiệp và Môi trường chịu trách nhiệm quản lý nhà nước về tài nguyên nước, trong đó có quản lý quy hoạch, khai thác, sử dụng và bảo vệ nguồn nước; trong khi Bộ Xây dựng quản lý nhà nước về lĩnh vực cấp nước, trong đó bao gồm từ quy hoạch cấp nước, định hướng, hoạt động xây dựng, sản xuất, cung cấp và tiêu thụ nước sạch, trong đó có quản lý hoạt động của các công ty cấp nước. Sự phân vai này dẫn đến hiện tượng đùn đẩy trách nhiệm khi xảy ra sự cố ô nhiễm nguồn nước. Quá trình chia sẻ dữ liệu giữa các sở, ban, ngành còn chậm trễ, thiếu một hệ thống cơ sở dữ liệu chung về tài nguyên nước được cập nhật theo thời gian thực. Tại nhiều thành phố, chẳng hạn như TP Hải Phòng, hiện chưa có nghiên cứu xây dựng mô hình quản lý chất lượng nước nguồn cho các nhà máy nước đô thị lớn theo tiếp cận rủi ro và phối hợp liên ngành trong bối cảnh quản lý lưu vực liên tỉnh.

- Hạn chế về năng lực quan trắc chất lượng nguồn nước: Hệ thống trạm quan trắc nước mặt tự động, liên tục đã được đầu tư nhưng mật độ còn thưa thớt, chưa bao phủ hết các điểm nóng về xả thải. Phần lớn dữ liệu vẫn phụ thuộc vào quan trắc thủ công định kỳ, dẫn đến độ trễ trong việc phát hiện và cảnh báo sớm các sự cố môi trường (ví dụ: xâm nhập mặn đột ngột hoặc xả thải trái phép vào ban đêm). Nhiều trạm cấp nước vẫn thiếu thiết bị quan trắc tự động, chủ yếu dựa vào kinh nghiệm vận hành và các phép thử nhanh đơn giản đối với một số chỉ tiêu như độ đục. Những hạn chế này khiến các nhà máy xử lý nước thường ở thế bị động trước các sự cố.

5. ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP CHIẾN LƯỢC CHO QUẢN LÝ CHẤT LƯỢNG NGUỒN NƯỚC CẤP ĐÔ THỊ TẠI VIỆT NAM HƯỚNG TỚI ĐẢM BẢO CẤP NƯỚC AN TOÀN



Hình 3. Khung quản lý chất lượng nguồn nước cấp đô thị theo tiếp cận kế hoạch cấp nước an toàn

Để đảm bảo cấp nước an toàn và đạt mục tiêu SDG 6 (Nước sạch và Vệ sinh), Việt Nam cần đồng bộ hóa các giải pháp. Nghiên cứu tập trung đề xuất một số giải pháp liên quan đến thể chế, kỹ thuật và công nghệ như sau:

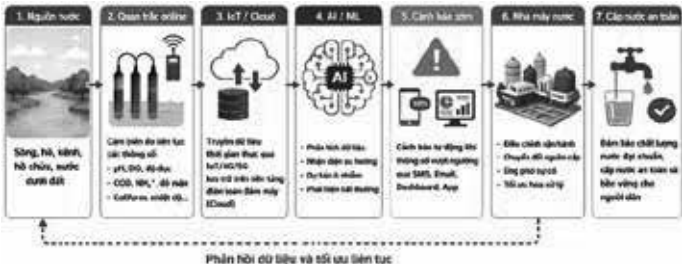
- Hoàn thiện thể chế và quản lý tổng hợp tài nguyên nước: Cần đẩy nhanh tiến độ ban hành Luật Cấp thoát nước để đồng bộ với Luật Tài nguyên nước. Học tập kinh nghiệm của Mỹ (sông Minnesota) và Trung Quốc (sông Dương Tử), cần thiết lập cơ quan quản lý lưu vực sông với sự hợp tác đa ngành nhằm kiểm soát nguồn xả thải phân tán từ nông nghiệp và nguồn xả thải tập trung từ công nghiệp. Hiện nay, Bộ Xây dựng đang xây dựng Luật Cấp thoát nước đầu tiên ở Việt Nam và dự kiến trình Chính phủ vào tháng 10/2026 [12].

- Áp dụng công nghệ tiên tiến trong quản lý chất lượng nguồn nước cấp: Cần đầu tư hệ thống quan trắc chất lượng nước tự động, liên tục theo thời gian thực tại các nguồn nước cấp chính, công trình

thu nước và nhà máy xử lý nước. Các thông số cần được giám sát online bao gồm pH, độ đục, độ dẫn điện, DO, COD, amoni, độ mặn, Chlorophyll-a và Coliform tại các vị trí có nguy cơ ô nhiễm cao. Dữ liệu quan trắc cần được truyền liên tục về trung tâm điều hành thông qua nền tảng IoT và tích hợp vào hệ thống cơ sở dữ liệu dùng chung phục vụ quản lý nguồn nước theo lưu vực. Trên cơ sở dữ liệu thời gian thực, các mô hình trí tuệ nhân tạo (AI) và học máy (ML) có thể được áp dụng để phân tích xu hướng biến động chất lượng nước, dự báo sớm nguy cơ ô nhiễm, xâm nhập mặn hoặc sự cố bất thường tại nguồn nước cấp. Khi các thông số vượt ngưỡng cho phép, hệ thống sẽ tự động phát cảnh báo cho đơn vị quản lý nhằm chủ động điều chỉnh chế độ vận hành, chuyển đổi nguồn cấp hoặc triển khai các biện pháp ứng phó kịp thời để đảm bảo cấp nước an toàn. Một số thuật toán học máy như CNN, SVM, Random Forest, Gradient Boosting, XGBoost được ứng dụng để dự báo chỉ số chất lượng nước và phân loại nguồn nước có thể dùng cho mục đích ăn uống, sinh hoạt với độ chính xác lên tới 94-95%.

- Giải pháp kỹ thuật thích ứng biến đổi khí hậu: Quy hoạch xây dựng hệ thống hồ trữ nước mưa, dời điểm thu nước thô lên thượng nguồn và nghiên cứu công nghệ xử lý nước lợ trước tình hình các nguồn nước cấp bị nhiễm mặn.

- Đẩy mạnh hợp tác công tư trong quản lý chất lượng nguồn nước: Nhà nước cung cấp các gói vay ưu đãi, miễn giảm thuế để các doanh nghiệp tư nhân mạnh dạn đầu tư vào công nghệ, lắp đặt các trạm quan trắc tự động và kết nối dữ liệu thời gian thực với trung tâm kiểm soát của các nhà máy xử lý nước, Sở Nông nghiệp và Môi trường, Sở Y tế, Sở Xây dựng nhằm tự động hóa quá trình kiểm soát các rủi ro chất lượng nguồn nước và cảnh báo sớm sự cố.



Hình 4. Khung ứng dụng IoT và AI trong giám sát, cảnh báo sớm chất lượng nguồn nước cấp đô thị

6. KẾT LUẬN

Quản lý chất lượng nguồn nước cấp đô thị là nền tảng cốt lõi để đảm bảo sức khỏe cộng đồng và mục tiêu phát triển bền vững. Trong bối cảnh nguồn nước mặt tại các lưu vực sông lớn ở Việt Nam đang đối mặt với sự suy thoái nghiêm trọng do ô nhiễm hữu cơ, vi sinh và tình trạng xâm nhập mặn, việc triển khai toàn diện Kế hoạch Cấp nước an toàn từ nguồn đến điểm tiêu thụ trở nên cấp thiết hơn bao giờ hết. Bài học từ các quốc gia trên thế giới chỉ ra rằng một chiến lược quản lý hiệu quả đòi hỏi sự kết hợp đồng bộ giữa thể chế và công nghệ. Cụ thể, việc xóa bỏ sự phân mảnh quản lý thông qua cơ chế "Trưởng sông" tại Trung Quốc hay quản lý các nguồn thải tập trung và phân tán như tại Mỹ là tiền đề mang tính quyết định. Bên cạnh đó, việc chuyển đổi từ phương thức lấy mẫu thủ công sang hệ thống giám sát tự động theo thời gian thực (IoT) kết hợp thuật toán Học máy (ML) như kinh nghiệm tại Malaysia và Ấn Độ đã minh chứng được khả năng cảnh báo sớm vượt trội.

Tại Việt Nam, dẫu đã có hành lang pháp lý cơ bản, hệ thống quản lý vẫn bộc lộ nhiều bất cập do sự chồng chéo trách nhiệm giữa các bộ ngành và mạng lưới trạm quan trắc tự động còn thưa thớt, khiến các đơn vị cấp nước luôn ở thế bị động trước sự cố về chất lượng nguồn nước thô. Nhằm khắc phục những hạn chế này, Việt Nam cần khẩn trương thực thi đồng bộ ba nhóm giải pháp về mặt thể chế, kỹ thuật và công nghệ. Việc hiện thực hóa các giải pháp này sẽ thiết lập hệ thống phòng vệ đa lớp, tạo lập nền tảng vững chắc cho quản lý chất lượng các nguồn nước cấp cho các đô thị tại Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] PGS.TS Nguyễn Hồng Tiến. Quản lý sử dụng nước hiệu quả, hướng tới phát triển bền vững. Tạp chí Xây dựng, 3/2022.

[2] E. R. Kelly, R. Cronk, E. Kumpel, G. Howard and J. Bartram. How we assess water safety: A critical review of sanitary inspection and water quality analysis. Science of The Total Environment, vol. 718, p. 137237, May 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137237.

[3] R. Bain, R. Johnston and T. Slaymaker. Drinking water quality and the SDGs. NPJ Clean Water, vol. 3, no. 1, p. 37, Aug. 2020, doi: 10.1038/s41545-020-00085-z.

[4] P. J. Ferraro and C. Prasse. Reimagining safe drinking water on the basis of twenty-first-century science. Nat. Sustain., vol. 4, no. 12, pp. 1032-1037, Aug. 2021, doi: 10.1038/s41893-021-00760-0.

[5] P. Li and J. Wu. Drinking Water Quality and Public Health. Expo. Health, vol. 11, no. 2, pp. 73-79, Jun. 2019, doi: 10.1007/s12403-019-00299-8.

[6] A. Kishipour, R. Mostafaloo, M. M. Rabori, E. Ghordouei-Milan, F. Hosseini and R. Aali. Experience of Implementing Water Safety Plan in Iran: A Systematic Review. Journal of Environmental Health and Sustainable Development, vol. 6, no. 2, pp. 1243-1255, 2021, doi: 10.18502/jehsd.v6i2.6536.

[7] M. Y. D. Alazaiza, A. Albahnasawi, T. Almaskari, and D. E. Nassani. Benefits, challenges and success factors of water safety plan implementation: A review. Oct. 01, 2022, Global NEST. doi: 10.30955/gnj.004284.

[8] P. V. Bộ. Quản lý tài nguyên nước bền vững ở trung quốc: Tiếp cận tổng hợp về thể chế, công nghệ và kinh tế tuần hoàn. Tạp chí Vật liệu và Xây dựng - Bộ Xây dựng, vol. 16, no. 01, Jan. 2026, doi: 10.54772/jomc.01.2026.1221.

[9] H. Liu, Y. D. Chen, T. Liu, and L. Lin. The river chief system and river pollution control in China: A case study of Foshan. Water (Switzerland), vol. 11, no. 8, 2019, doi: 10.3390/w11081606.

[10] A. Patak, O. Hulawale, A. Lahane, T. Aswar, and A. Ganore. IoT-Based Indian River Water Quality Prediction Model. Internet: www.ijfmr.com (accessed: 19/5/2026).

[11] N. H. A. Malek, W. F. Wan Yaacob, S. A. Md Nasir, and N. Shaadan. Prediction of Water Quality Classification of the Kelantan River Basin, Malaysia, Using Machine Learning Techniques. Water (Basel)., vol. 14, no. 7, p. 1067, Mar. 2022, doi: 10.3390/w14071067.

[12]https://moc.gov.vn/vn/_layouts/15/NCS.Webpart.MOC/mt_poup/Intrangweb.aspx?IdNews=91879 (accessed: 4/5/2026).

■Ngày nhận bài: 03/4/2026 ■Ngày sửa bài: 12/4/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 19/4/2026

Đánh giá sự sai khác giữa dự báo độ lún theo tính toán thiết kế và kết quả quan trắc nền đường đắp trên đất yếu khu vực Đồng bằng sông Cửu Long

Evaluation of discrepancies between settlement predictions from design calculations and monitoring results of embankments on soft soils in the Mekong Delta

> THS PHẠM NGỌC TRÁNG[1,2], THS PHẠM TÙNG DƯƠNG[1], PGS.TS ĐỖ THẮNG[1,*]
[1]Trường Đại học Thủy lợi
[2]Trường Đại học Phương Đông
[*]Email: dothang@tlu.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả phân tích, đánh giá lún nền đường đắp trên đất yếu khu vực Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) thông qua so sánh giữa tính toán thiết kế và số liệu quan trắc thực tế. Kết quả cho thấy độ lún quan trắc lớn hơn đáng kể so với giá trị dự báo trong hồ sơ thiết kế, phản ánh ảnh hưởng của tính bất định các thông số đầu vào và thành phần lún thứ cấp của nền đất yếu. Nghiên cứu đồng thời cho thấy phương pháp Hyperbolic cho giá trị dự báo độ lún cuối cùng lớn hơn và phù hợp với xu thế quan trắc thực tế hơn so với phương pháp Asaoka, đặc biệt đối với khu vực có lớp đất yếu chiều dày lớn và lún từ biến phát triển đáng kể. Ngoài ra, nghiên cứu đề xuất hệ số *m* dùng trong dự báo độ lún cuối cùng cần được xác định theo công thức trong tiêu chuẩn TCCS 41:2022 và mở rộng phạm vi giới hạn từ 1,1-1,7 để phù hợp hơn với điều kiện thực tế của nền đất yếu.

Từ khóa: Đất yếu; dự báo độ lún; quan trắc; phương pháp Asaoka; phương pháp Hyperbolic; Đồng bằng sông Cửu Long.

ABSTRACT

This paper presents the analysis and evaluation of embankment settlement on soft soils in the Mekong Delta through comparisons between design calculations and field monitoring data. The results indicate that the observed settlement is significantly greater than the predicted settlement in the design documents, reflecting the influence of uncertainties in input parameters and the secondary compression behavior of soft soils. The study also shows that the Hyperbolic method predicts a larger ultimate settlement and provides better agreement with the observed settlement trend than the Asaoka method, particularly in areas with thick soft soil layers and significant creep deformation. In addition, the study suggests that the coefficient *m* used for ultimate settlement prediction should be determined according to the formulation specified in the TCCS41:2022 standard and extended to the range of 1.1–1.7 to better reflect the actual conditions of soft soils.

Keyword: Soft soil; settlement prediction; field monitoring; Asaoka method; Hyperbolic method; Mekong Delta.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Xây dựng nền đường đắp trên đất yếu luôn là vấn đề phức tạp, đặc biệt tại khu vực ĐBSCL, nơi tồn tại các lớp đất yếu có chiều dày lớn, khả năng chịu tải nhỏ, hệ số rỗng và tính biến dạng lớn. Độ lún cố kết thường kéo dài và có sự ảnh hưởng đáng kể của lún thứ cấp gây ra nhiều khó khăn trong công tác dự báo trong quá trình thiết kế, thi công và khai thác.

Trong tính toán thiết kế, độ lún của nền đất yếu thường được dự báo dựa trên lý thuyết cố kết một chiều của Terzaghi kết hợp với các lời giải cố kết xuyên tâm của Barron, Hansbo khi có sử dụng bấc thấm (PVD). Tuy nhiên, các mô hình này thường giả định điều kiện lý tưởng và chưa xem xét đầy đủ đến các yếu tố như vùng xáo trộn (smear zone), tính không đồng nhất của nền đất cũng như ảnh hưởng của lún từ biến (creep). Do đó, kết quả dự báo trong tính toán thiết kế thường có sai khác đáng kể so với số liệu quan trắc hiện trường.

Trong các tiêu chuẩn hiện hành [1], [2], [3], [4], [5], các phương pháp dự báo dựa trên số liệu quan trắc như Asaoka và Hyperbolic được khuyến nghị áp dụng nhằm dự báo độ lún cuối cùng và đánh giá mức độ cố kết của nền đất trong quá trình thi công. Phương

pháp Asaoka dựa trên quan hệ tuyến tính giữa các giá trị độ lún theo chuỗi thời gian [6], trong khi phương pháp Hyperbolic khai thác dạng tiệm cận của đường cong lún theo thời gian [7]. Cả hai phương pháp đều có ưu điểm là đơn giản và được áp dụng rộng rãi trong thực tế, song độ chính xác của các phương pháp này phụ thuộc rất nhiều vào chất lượng số liệu quan trắc, thời gian quan trắc và đặc điểm địa chất công trình của nền đất yếu.

Những năm gần đây, trong quá trình triển khai các dự án giao thông quy mô lớn như tuyến cao tốc Bắc - Nam phía Đông, đặc biệt tại khu vực miền Tây Nam Bộ, đã xuất hiện nhiều trường hợp sai khác đáng kể giữa độ lún dự báo trong thiết kế và kết quả quan trắc thực tế. Vì vậy, bài báo sử dụng số liệu quan trắc xử lý nền đất yếu của dự án thành phần đoạn Hậu Giang - Cà Mau để phân tích, đánh giá một cách có hệ thống sự sai khác giữa độ lún dự báo theo tính toán thiết kế, số liệu quan trắc hiện trường, cũng như kết quả dự báo theo phương pháp Asaoka và Hyperbolic. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đưa ra các khuyến nghị nhằm lựa chọn phương pháp dự báo phù hợp và hiệu chỉnh kết quả tính toán phục vụ thiết kế và kiểm soát trong quá trình thi công.

2. DỰ BÁO LÚN THEO TÍNH TOÁN THIẾT KẾ VÀ THEO KẾT QUẢ QUAN TRẮC

2.1. Độ lún theo tính toán thiết kế

Theo tiêu chuẩn hiện hành của Việt Nam [1], [2] và tiêu chuẩn của Trung Quốc [3], [4], độ lún cố kết S_c thường được tính theo phương pháp cộng lún từng lớp. Tham số tính toán có thể lấy từ đường cong *e–p*, mô đun nén E_s, hoặc đường cong *e–lgp* thu được từ thí nghiệm nén lún. Trong thực tế, tính toán độ lún cố kết của nền đường đắp trên đất yếu thường sử dụng đường cong *e–lgp* với công thức tổng quát như sau:

$$S_c = \sum_{i=1}^{n} \frac{H_i}{1+e_1^i}[C_r^i \lg(\frac{\sigma_{pz}^i}{\sigma_{vz}^i}) + C_c^i \lg(\frac{\sigma_z^i + \sigma_{vz}^i}{\sigma_{pz}^i})]) \quad (2.1)$$

trong đó:

H_i - bề dày ban đầu lớp thứ *i*;

e_0^i - hệ số rỗng của lớp đất thứ *i* ở trạng thái tự nhiên ban đầu;

C_c^i - chỉ số nén của lớp đất thứ *i*;

C_r^i - chỉ số nén lại hay chỉ số nở của lớp đất thứ *i*;

σ_{vz}^i - ứng suất hữu hiệu thẳng đứng tại điểm giữa lớp thứ *i*;

σ_{pz}^i - áp lực tiền cố kết tại điểm giữa lớp thứ *i*;

σ_z^i - ứng suất gia tăng tại điểm giữa lớp đất thứ *i*.

Độ lún cuối cùng bao gồm độ lún tức thời S_i, độ lún cố kết S_c và độ lún cố kết thứ cấp S_s (độ lún từ biến) được dự tính theo công thức:

$$S_\infty = S_i + S_c + S_s = m.S_c \quad (2.2)$$

Hệ số m có thể được ước tính theo công thức kinh nghiệm:

$$m = 0{,}123.\gamma^{0,7}(\theta.H_d^{0,2} + V.H_d) + Y \quad (2.3)$$

trong đó:

H_d - chiều cao đắp nền đường;

γ - trọng lượng thể tích của vật liệu đắp;

θ - hệ số xét đến giải pháp xử lý nền đất yếu. Khi xử lý bằng bấc thấm PVD lấy 0,95-1,1; xử lý bằng cọc xi măng đất lấy 0,85; gia tải trước lấy 0,90;

V - hệ số xét đến tốc độ đắp. Khi tốc độ đắp từ 20-70mm/ngày lấy bằng 0,025; khi gia tải chậm, tốc độ đắp nhỏ hơn 20 mm/ngày lấy 0,005; khi gia tải nhanh, tốc độ đắp lớn hơn 70 mm/ngày lấy 0,05;

Y - hệ số xét đến điều kiện địa chất. Thỏa mãn đồng thời 3 điều kiện: sức kháng cắt không thoát nước của đất nhỏ hơn 25 kPa, chiều dày lớp đất yếu lớn hơn 5 m và bề dày lớp vỏ cứng nhỏ hơn 2,5 m thì lấy Y=0; các trường hợp khác lấy Y=-0,1.

Tiêu chuẩn Việt Nam TCCS41:2022 [1] phiên bản ban đầu đưa ra phạm vi giá trị *m* =(1,1-1,7) tương tự như tiêu chuẩn thiết kế nền đường JTG D30:2015 [4] của Trung Quốc, sau đó sửa đổi lại giá trị *m* =(1,1-1,4), trong khi đó tiêu chuẩn thiết kế nền đường đắp trên đất yếu của Trung Quốc JTG/T D31-02:2013 [3] không quy định giới hạn.

2.2. Độ lún theo kết quả quan trắc

Khi xây dựng nền đắp trên nền đất yếu, để kiểm chứng lại mô hình tính toán phải bố trí hệ thống quan trắc và phân tích số liệu làm cơ sở để tính toán tốc độ đắp gia tải, theo dõi mức độ ổn định công trình, dự báo độ lún cuối cùng và là căn cứ để chuyển giai đoạn thi công tiếp theo. Dự báo độ lún có thể căn cứ vào quy luật lún của nền đất để lựa chọn các phương pháp như: phương pháp ba điểm, phương pháp Asaoka, phương pháp Hyperbolic, phương pháp Hoshino và phương pháp mạng Nơ-ron nhân tạo ANN. Ở Việt Nam hiện nay chủ yếu sử dụng 2 phương pháp để dự báo lún là Asaoka và Hyperbolic.

2.2.1. Phương pháp Asaoka

Khi sử dụng phương pháp Asaoka [6] để dự báo độ lún cuối cùng cần tuân thủ các quy định sau:

- Các số liệu độ lún dùng để dự báo phải nằm trong giai đoạn đã đắp đủ tải và khoảng thời gian giữa các lần quan trắc phải bằng nhau;
- Số liệu quan trắc lựa chọn phải được hồi quy theo công thức:

$$S_{i+1} = \alpha + \beta.S_i \quad (2.4)$$

trong đó:

S_i - giá trị độ lún thứ *i* ở thời điểm t_i;

S_{i+1} - giá trị độ lún thứ *i*+1 ở thời điểm t_{i+1};

α - tung độ gốc của đường hồi quy;

β - hệ số góc của đường hồi quy.

Thời điểm được coi là kết thúc lún khi $S_{i+1} = S_i$. Do vậy, từ (2.4), độ lún cuối cùng được xác định như sau:

$$S_\infty = \frac{\alpha}{1-\beta} \quad (2.5)$$

2.2.2. Phương pháp Hyperbolic

Số liệu quan trắc dùng để dự báo độ lún cuối cùng phương pháp Hyperbolic [7] phải trong giai đoạn đã đắp đủ tải và được hồi quy theo công thức:

$$S_t = S_0 + \frac{t}{\alpha + \beta.t} \quad (2.6)$$

trong đó:

S_0 - độ lún tại thời điểm đắp đủ tải (kết thúc đắp nền), thời điểm *t*=0;

S_t - độ lún tại thời điểm *t*;

α - tung độ gốc của đường hồi quy;

β - hệ số góc của đường hồi quy.

Từ (2.6) ta thấy khi t→∞ thì $S_t \to (S_0 + \frac{1}{\beta})$. Do đó, độ lún cuối cùng được xác định theo công thức:

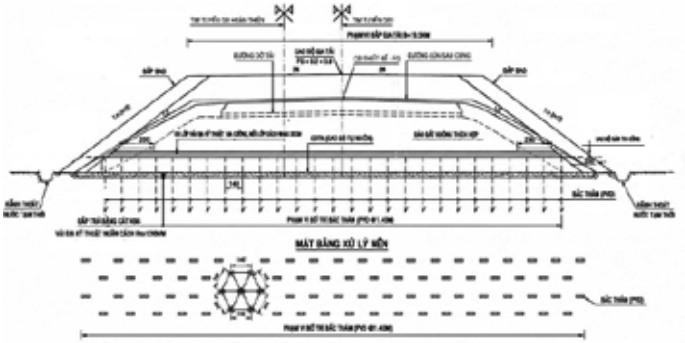
$$S_\infty = S_0 + \frac{1}{\beta} \quad (2.7)$$

3. ĐÁNH GIÁ SỰ SAI KHÁC GIỮA DỰ BÁO ĐỘ LÚN THEO TÍNH TOÁN THIẾT KẾ VÀ THEO QUAN TRẮC

3.1. Lựa chọn vị trí nghiên cứu

ĐBSCL là vùng đồng bằng châu thổ có địa hình trũng thấp được bao phủ bởi các trầm tích trẻ với bề dày lớn. Các trầm tích trẻ có nguồn gốc khác nhau nhưng chủ yếu là đất loại sét yếu. Vị trí dùng

để phân tích đánh giá tại Km 69+880 - dự án thành phần đoạn Hậu Giang - Cà Mau thuộc dự án đường bộ cao tốc Bắc - Nam phía Đông giai đoạn 2021-2025 mang tính đại diện cho cấu trúc nền đất khu vực. Giai đoạn hoàn chỉnh, cấp đường là đường cao tốc cấp 100, vận tốc thiết kế 100 km/h, quy mô 4 làn xe, bề rộng nền đường 24,75 m. Giai đoạn 1, xây dựng 4 làn xe hạn chế, bề rộng nền đường 17 m, vận tốc thiết kế 80 km/h. Mặt cắt ngang thiết kế được thể hiện trên Hình 1.



Hình 1. Mặt cắt ngang đường

Địa tầng vị trí nghiên cứu trong phạm vi tác dụng của nền đường gồm các lớp như sau:

- Lớp D: Lớp phủ bề mặt - sét pha lẫn hữu cơ, bề dày nhỏ (trung bình 0,5 m), được đào bỏ trước khi thi công nền đắp.

- Lớp 1: Sét trạng thái dẻo chảy đến chảy, chiều dày trung bình 11 m. Đây là lớp đất yếu có sức chịu tải nhỏ và tính biến dạng lớn.

- Lớp 2a: Sét trạng thái dẻo cứng - nửa cứng có chiều dày đến 16,5m, nằm dưới lớp 1.

3.2. Giải pháp xử lý và kết quả tính toán lún

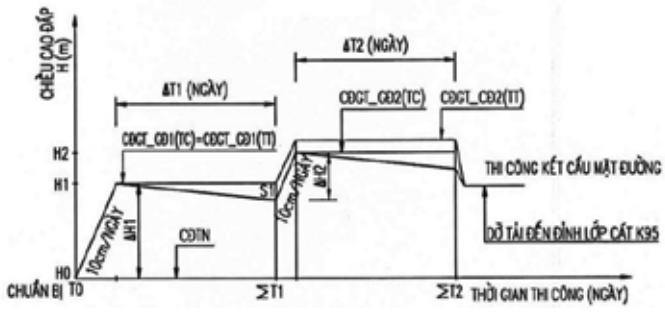
Với chiều cao đắp trung bình 4,4 m, giải pháp xử lý nền đất yếu được chọn là bấc thấm PVD kết hợp với gia tải trước. Bấc thấm được bố trí theo sơ đồ tam giác, khoảng cách giữa các bấc thấm là 1,4 m, chiều sâu xử lý tính từ mặt đất tự nhiên 11,6 m (hết lớp đất yếu 1). Chiều cao lớp đất gia tải trước 0,9 m cộng thêm 0,2m khi quy đổi tải trọng lớp kết cấu mặt đường sang đất đắp.

Độ lún cố kết S_c của nền đất yếu tính toán được bằng 1413 mm. Độ lún cuối cùng trong hồ sơ thiết kế được xác định như sau:

$$S_{\infty}^{tk} = 1,2.S_c = 1,2 \times 1413 = 1696 \text{ mm}$$

Có thể thấy, độ lún cuối cùng được tính từ độ lún cố kết theo hệ số kinh nghiệm *m*=1,2 nằm trong phạm vi khuyến nghị của tiêu chuẩn TCCS 41:2022 là *m* =(1,1-1.4).

Công tác đắp nền đường được chia làm 2 giai đoạn như sơ đồ Hình 2.



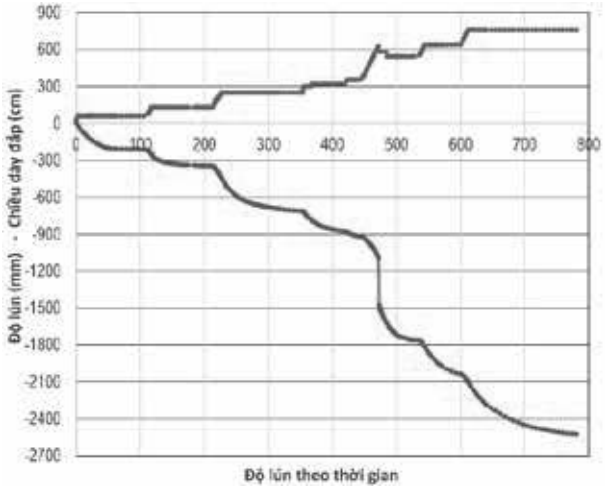
Hình 2. Sơ đồ tiến trình đắp

Giai đoạn 1 đắp đến chiều cao $\Delta H_1 = 4,8$m, sau đó chờ cố kết $\Delta T_1 = 3$ tháng. Giai đoạn 2 đắp phần gia tải trước 0,9m cộng với 0,2m quy đổi kết cấu áo đường ($\Delta H_2 = 1,1$m), chờ cố kết $\Delta T_2 = 7$ tháng. Tổng cộng thời gian đắp và chờ cố kết 2 giai đoạn $\Sigma T_2 =$ 12 tháng.

3.3. Kết quả quan trắc lún và phân tích dữ liệu

3.3.1. Kết quả quan trắc lún

Kết quả quan trắc độ lún tại tim đường được tổng hợp và vẽ thành biểu đồ quan hệ giữa độ lún và chiều cao đắp theo thời gian như Hình 3.

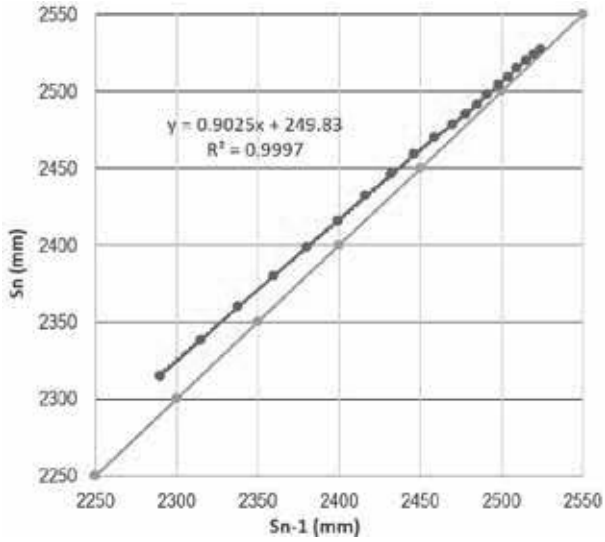


Hình 3. Biểu đồ tương quan giữa độ lún và chiều cao đắp theo thời gian

Từ biểu đồ trên cho thấy thời gian thi công đắp nền thực tế kéo dài hơn nhiều so với tính toán lý thuyết (gấp hơn 2 lần) có thể do các nguyên nhân khách quan về nguồn cung vật liệu, thời tiết nhưng đáng chú ý ở thời điểm kết thúc đắp giai đoạn 1 (ngày thứ 472) đã xảy ra hiện tượng độ lún tăng đột biến (385 mm/ngày) so với tiêu chuẩn cho phép là 10 mm/ngày và phải tiến hành dỡ tải ngay 0,8 m và sau 2 tuần tiếp tục dỡ tải thêm 0,4 m để đảm bảo ổn định. Đường cong độ lún cuối gian đoạn chờ cố kết có xu hướng đi ngang chứng tỏ tốc độ lún nhỏ và có xu thế tắt dần. Độ lún cuối kỳ quan trắc $S^{qtr} = 2527$ mm, lớn hơn nhiều độ lún dự tính theo thiết kế $S_{\infty}^{tk} = 1696$ mm (gấp 1,49 lần).

3.3.2. Dự báo độ lún theo phương pháp Asaoka

Sau khi kết thúc đắp và chờ cố kết, trong tháng đầu chu kỳ quan trắc 3 ngày/lần, các tháng tiếp theo 1 tuần/lần. Do đó, sử dụng số liệu quan trắc từ khi kết thúc đắp 1 tháng đến cuối kỳ quan trắc với khoảng thời gian giữa các lần quan trắc bằng nhau $\Delta t = 7$ ngày. Kết quả xử lý số liệu quan trắc lún theo phương pháp Asaoka được thể hiện trên Hình 4.



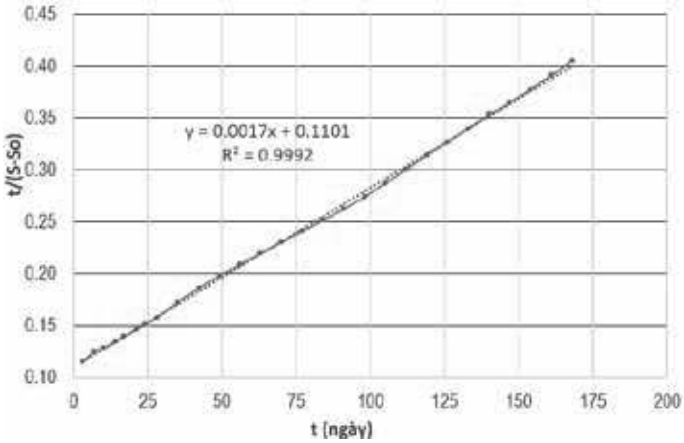
Hình 4. Dự báo lún bằng phương pháp Asaoka

Từ phương trình đường hồi quy trên ta có: $\alpha = 249,83$; $\beta = 0,9025$ và độ lún cuối cùng được dự báo như sau:

$$S_{\infty}^{Asaoka} = \frac{\alpha}{1-\beta} = \frac{249,83}{1-0,9025} = 2563 \text{ mm}$$

3.3.3. Dự báo độ lún theo phương pháp Hyperbolic

Độ lún tại thời điểm đắp đủ tải (kết thúc đắp) $S_0 = 2112$ m. Sử dụng số liệu quan trắc từ khi kết thúc đắp đến cuối kỳ quan trắc để phân tích, xử lý theo phương pháp Hyperbolic được kết quả thể hiện trên Hình 5.



Hình 5. Dự báo lún bằng phương pháp Hyperbolic

Từ phương trình đường hồi quy trên ta có: $\alpha = 0,1101$; $\beta = 0,0017$ và độ lún cuối cùng được dự báo như sau:

$$S_{\infty}^{Hyperbolic} = S_0 + \frac{1}{\beta} = 2112 + \frac{1}{0,0017} = 2692 \text{ mm}$$

3.4. Đánh giá, thảo luận về sự sai khác giữa các kết quả thu được

Độ lún cuối kỳ quan trắc cũng như độ lún cuối cùng dự báo theo hai phương pháp Asaoka và Hyperbolic lớn hơn khoảng 1,5 lần so với kết quả tính toán thiết kế. Điều này có thể lý giải do tư vấn thiết kế lựa chọn hệ số kinh nghiệm *m*=1.2 để tính toán độ lún cuối cùng quá nhỏ. Trường hợp sử dụng công thức (2.3) để tính toán cho kết quả như sau:

$$m = 0,123.\gamma^{0,7}(\theta.H_d^{0,2} + V.H_d) + Y =$$
$$= 0,123.19^{0,7}(1,1.4,4^{0,2} + 0,05.4,4) + 0 = 1,64$$

Khi đó: $S_{\infty}^{tk} = m.S_c = 1,64 \times 1413 = 2322$ mm. Giá trị độ lún tính toán theo thiết kế lúc này xấp xỉ độ lún cuối kỳ quan trắc và dự báo theo hai phương pháp Asaoka và Hyperbolic (nhỏ hơn khoảng 10%). Điều này cho thấy việc khống chế hệ số *m* = (1,1-1,4) theo tiêu chuẩn TCCS 41:2022 sửa đổi chưa phản ánh đầy đủ điều kiện thực tế của nền đất yếu khu vực nghiên cứu. Do đó, khi tính toán thiết kế cần xác định hệ số *m* theo công thức (2.3), đồng thời đối chiếu với phạm vi quy định *m* =(1,1-1,7) trong phiên bản tiêu chuẩn TCCS 41:2022 ban đầu để nâng cao độ tin cậy của dự báo độ lún cuối cùng và phù hợp hơn với số liệu quan trắc thực tế.

Độ lún cuối cùng dự báo theo phương pháp Hyperbolic lớn hơn phương pháp Asaoka. Xu hướng này cũng được ghi nhận tại các mặt cắt khác trong dự án [8] và trong nhiều nghiên cứu trước đây [9], [10]. Sự khác biệt này có thể được lý giải từ kết luận của Akira Asaoka [6] khi tác giả cho rằng các phương trình hồi quy bậc cao hơn có khả năng phản ánh tốt hơn các bài toán có ảnh hưởng của lún cố kết thứ cấp (lún từ biến). Do đó, đối với khu vực có lớp đất yếu chiều dày lớn và lún từ biến phát triển đáng kể như Đồng bằng sông Cửu Long, phương pháp Hyperbolic có xu hướng cho kết quả dự báo độ lún cuối cùng phù hợp hơn với số liệu quan trắc thực tế.

4. KẾT LUẬN

Từ kết quả phân tích, kiểm tra, xử lý số liệu ở trên có thể rút ra một số kết luận như sau:

- Độ lún quan trắc thực tế lớn hơn đáng kể so với giá trị dự báo trong hồ sơ thiết kế cho thấy ảnh hưởng rõ rệt của tính bất định các thông số đầu vào trong tính toán và thành phần lún thứ cấp của nền đất yếu ĐBSCL.

- Khi dự báo độ lún cuối cùng trong tính toán thiết kế, hệ số *m* cần được xác định theo công thức trong tiêu chuẩn TCCS41:2022 và mở rộng phạm vi *m* = (1,1-1,7) như quy định trong phiên bản ban đầu để nâng cao độ tin cậy của kết quả tính toán và phù hợp với điều kiện thực tế của nền đất yếu.

- Phương pháp Hyperbolic cho giá trị dự báo độ lún cuối cùng lớn hơn và phù hợp hơn với xu thế quan trắc thực tế so với phương pháp Asaoka, đặc biệt đối với khu vực có lớp đất yếu chiều dày lớn và lún từ biến phát triển đáng kể.

- Việc đánh giá độ cố kết của nền đất yếu không nên chỉ dựa trên độ lún mà cần kết hợp đồng thời với kết quả quan trắc áp lực nước lỗ rỗng và tốc độ lún theo thời gian.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Tổng cục Đường bộ Việt Nam. TCCS 41:2022/TCĐBVN - Tiêu chuẩn khảo sát, thiết kế nền đường ô tô trên nền đất yếu, Hà Nội, 2022.

[2] Bộ Khoa học và Công nghệ. TCVN 9355:2013 - Gia cố nền đất yếu bằng bấc thấm thoát nước - Thiết kế, thi công và nghiệm thu, Hà Nội, 2013.

[3] The Ministry of Transport of the People's Republic of China. JTG/T D31-02:2013 - Technical Guidelines for Design and Construction of Highway Embankment on Soft Ground. Beijing, 2013.

[4] The Ministry of Transport of the People's Republic of China. JTG D30:2015 - Specifications for Design of Highway Subgrades, Beijing, 2015.

[5] Chinese National Standard. GB/T 51275:2017 - Standard for Monitoring of Subgrade on Soft Ground, Beijing, 2017.

[6] Asaoka, A. Observational procedure of settlement prediction. Soils and Foundations, JSSMFE, vol. 18, no. 4, pp. 87-101, 1978.

[7] Tan, T.S., Inoue, T., Lee, S.L. Hyperbolic Method for Consolidation Analysis. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, vol. 117, no. 11, pp. 1723-1737, 1991.

[8] Báo cáo kết quả quan trắc xử lý nền đất yếu dự án thành phần đoạn Hậu Giang - Cà Mau thuộc dự án đường bộ cao tốc Bắc - Nam phía Đông giai đoạn 2021 - 2025.

[9] Trần Quang Học, Nguyễn Thành Lê, Tống Thị Hạnh. Nghiên cứu xây dựng mô hình dự báo lún phù hợp trong phân tích và dự báo lún nền đất yếu từ kết quả quan trắc. Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, tập 58, kỳ 4, 2017.

[10] Nguyễn Bá Phú, Bùi Văn Hồng Lĩnh, Nguyễn Quang Dũng. Dự báo độ lún cho nền đất yếu gia cố bấc thấm với sự cản thấm theo thời gian. Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Trường Đại học Công nghiệp TP.HCM, số 53A, 2021.

■Ngày nhận bài: 05/4/2026 ■Ngày sửa bài: 13/4/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 25/4/2026

Đốt rác phát điện góp phần bảo vệ môi trường và phát triển bền vững

Waste-to-Energy incineration: Contributing to environmental protection and sustainable development

> PGS.TS NGUYỄN HỒNG TIẾN
Nguyên Cục trưởng Cục Hạ tầng kỹ thuật, Bộ Xây dựng
Chủ tịch Hội Chiếu sáng Việt Nam

TÓM TẮT

Quá trình đô thị hóa, công nghiệp hóa và thay đổi cuộc sống nhanh chóng đã dẫn đến việc phát sinh một lượng lớn chất thải tại các khu đô thị, nông thôn và khu công nghiệp trên thế giới và Việt Nam. Để giải quyết bài toán về rác thải sinh hoạt, nhiều quốc gia đã triển khai nhiều sáng kiến và công nghệ khác nhau, nổi bật là công nghệ đốt rác thải thành năng lượng, cho phép xử lý và tái chế rác thải trước khi thải bỏ. Các nhà máy đốt rác thải thành năng lượng chứng tỏ hiệu quả không chỉ trong việc tạo ra năng lượng mà còn thu hồi các nguồn tài nguyên có giá trị. Bài viết khái quát chung về đốt rác phát điện và những vấn đề đặt ra của lĩnh vực này cũng như một vài khuyến nghị để lĩnh vực này tiếp tục phát triển góp phần bảo vệ môi trường và phát triển bền vững.

Từ khóa: Đô thị hoá; công nghệ đốt rác; an ninh năng lượng; kinh tế tuần hoàn.

ABSTRACT

The rapid processes of urbanization, industrialization, and changing lifestyles have led to the generation of a massive volume of waste in urban, rural, and industrial areas globally and within Vietnam. To address the challenge of municipal solid waste, many countries have implemented various initiatives and technologies, most notably Waste-to-Energy (WtE) incineration technology. This approach allows for the treatment and recycling of waste before final disposal. Waste-to-energy plants have proven effective not only in generating energy but also in recovering valuable resources. This article provides a general overview of waste-to-energy incineration, the challenges facing this field, and offers several recommendations to promote its continued development, contributing to environmental protection and sustainable development.

Keywords: Urbanization; waste incineration technology; energy security; circular economy.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đốt rác phát điện (ĐRPĐ), hay còn gọi là điện rác (waste-to-energy - WtE), là quá trình xử lý và chuyển hóa rác thải hữu cơ thành năng lượng dưới dạng điện và/hoặc nhiệt thông qua phương pháp đốt cháy. Đây là một trong những công nghệ tái chế và thu hồi năng lượng. Trong bối cảnh hiện nay, nhằm bảo đảm an ninh năng lượng, ứng phó với biến đổi khí hậu và nguy cơ khủng hoảng năng lượng toàn cầu, việc áp dụng công nghệ ĐRPĐ là hết sức cần thiết. Là một quốc gia đang phát triển, Việt Nam cần tận dụng rác thải như một nguồn năng lượng sinh khối, góp phần quan trọng vào việc giải quyết bài toán an ninh năng lượng quốc gia.

2. RÁC THẢI LÀ TÀI NGUYÊN, ĐRPĐ LÀ CÔNG NGHỆ TIÊN TIẾN TRONG XỬ LÝ RÁC THẢI Ở VIỆT NAM HIỆN NAY

Theo Bộ Công Thương, tại Việt Nam bình quân mỗi ngày khoảng 35.000 tấn rác thải sinh hoạt đô thị và 34.000 tấn rác thải sinh hoạt nông thôn được thải ra. Khối lượng rác tại Thủ đô Hà Nội và TP.HCM trung bình khoảng 7.000 - 8.000 tấn rác mỗi ngày. Hiện nay, trên 70% lượng rác thải tại Việt Nam đang được xử lý chủ yếu bằng công nghệ chôn lấp, trong đó 80% là bãi chôn lấp không hợp vệ sinh, gây hại cho môi trường. Chỉ có 13% rác được đốt cháy để thu hồi năng lượng.

Chôn lấp rác là công nghệ lạc hậu, tốn đất và gây ra nhiều tác hại, tạo ra nguy cơ cháy; ô nhiễm nước ngầm; phát tán khí metal; gây bệnh cho người lao động và người sống xung quanh; thu hút các loài động vật (chó, chim, động vật gặm nhấm, côn trùng)... Việc chôn lấp rác ngoài tác động xấu đến môi trường thì còn phải đối mặt với sự phản đối của người dân ở gần khu xử lý rác, chi phí cho việc thu gom, vận chuyển ngày một tăng trong khi tài nguyên rác bị lãng phí.

Công nghệ ĐRPĐ, là một trong những công nghệ xử lý rác thải được sử dụng nhiều nhất hiện nay. Việc chuyển đổi rác thải thành năng lượng đang và sẽ tăng lên phù hợp với nhu cầu của thế giới và Việt Nam. Hơn nữa, dùng công nghệ đốt rác sẽ xử lý được một lượng rác lớn một cách triệt để và giảm ô nhiễm môi trường.

Theo báo cáo về tình hình thu gom, xử lý chất thải rắn sinh hoạt (CTRSH) của Cục kiểm soát ô nhiễm môi trường Việt Nam hiện có khoảng 15 - 20 nhà máy đốt rác phát điện đã và đang được triển khai xây dựng, trong đó đã có một số nhà máy chính thức phát điện. Các nhà máy điện rác hiện tại bao gồm:

Nhà máy xử lý chất thải rắn Cần Thơ của Công ty TNHH Năng lượng Môi trường EB (Cần Thơ) công suất 400 tấn/ngày tại TP Cần Thơ.

Nhà máy điện rác Sóc Sơn (rác sinh hoạt) với công suất 4.000 tấn/ngày tại Hà Nội.

Nhà máy điện rác Seraphin của Tập đoàn AMACAO tại Xuân Sơn, xã Tùng Thiện, Hà Nội với công suất 2250 tấn/ngày xây dựng vào 3/2022 và đã nhận rác xử lý vào 5/2025.

Nhà máy xử lý chất thải rắn công nghệ cao phát năng lượng của Công ty TNHH Môi trường Ngôi Sao Xanh, tỉnh Bắc Ninh công suất 180 tấn/ngày (trong đó CTRSH 100 tấn/ngày, CTRCN 80 tấn/ngày).

Nhà máy điện rác (rác sinh hoạt) ở Lương Tài, tỉnh Bắc Ninh công suất 300 tấn/ngày.

Nhà máy điện rác ở Thuận Thành, tỉnh Bắc Ninh công suất 500 tấn/ngày (trong đó CTRSH 350 tấn/ngày, CTRCN 150 tấn/ngày.).

Nhà máy điện rác (rác sinh hoạt) ở Quế Võ, tỉnh Bắc Ninh công suất 500 tấn/ngày.

- Nhà máy điện rác Phú Sơn (Thừa Thiên Huế) công suất 600 tấn/ngày.

Nhà máy đốt rác phát điện công suất 5 MW tại Khu liên hợp xử lý chất thải Bình Dương của Tổng Công ty Cổ phần Nước - Môi trường Bình Dương (BIWASE) đã được khánh thành vào ngày 12/01/2024.

Nhà máy đốt rác phát điện Tâm Sinh Nghĩa tại xã Thái Mỹ, huyện Củ Chi, TP.HCM là một trong những dự án điện rác quy mô lớn. Giai đoạn I của dự án có công suất xử lý lên đến 2.600 tấn rác thải/ngày và công suất phát điện 120 MW. Dự án do Bamboo Capital và công ty thành viên BCG Energy đầu tư, được khởi công xây dựng và hoàn thành vào năm 2025.

Tại Hà Nam, Cần Thơ và Quảng Bình, một số nhà máy điện rác đã đi vào hoạt động. Bên cạnh đó, nhiều dự án đốt rác phát điện khác đang được triển khai, như cơ sở xử lý chất thải tại Vĩnh Tân (Đồng Nai) với công suất xử lý 600 tấn/ngày và công suất phát điện 30 MW; cơ sở tại Phù Ninh (Phú Thọ) với công suất xử lý 500 tấn/ngày; cùng nhiều dự án khác đang trong quá trình đầu tư và xây dựng.

Việc đưa các nhà máy xử lý chất thải rắn bằng công nghệ đốt rác phát điện vào vận hành không chỉ góp phần xử lý hiệu quả lượng chất thải phát sinh mà còn tạo ra nguồn năng lượng tái tạo, góp phần bảo đảm an ninh năng lượng và bảo vệ môi trường. Đây là một giải pháp quan trọng nhằm giảm thiểu ô nhiễm môi trường, giảm nhu cầu chôn lấp chất thải, tiết kiệm quỹ đất và thúc đẩy phát triển kinh tế tuần hoàn theo hướng bền vững.



Hình 1. Bãi rác ở khắp nơi đã quá tải



Hình 2. Nhà máy xử lý rác sinh hoạt phát điện Cần Thơ

3. CÁC LỢI ÍCH CHÍNH CỦA CÔNG NGHỆ ĐRPĐ

a) Lợi ích về môi trường

Giảm thể tích rác tối đa: Công nghệ này đốt cháy và giảm 90 - 95% thể tích, khối lượng rác thải, giúp giải quyết bài toán thiếu bãi chôn lấp.

Giảm ô nhiễm môi trường: Loại bỏ mùi hôi, rỉ nước và loại bỏ các nguy cơ ô nhiễm nguồn nước.

Giảm khí thải nhà kính và kiểm soát ô nhiễm: Các nhà máy hiện đại tuân thủ nghiêm ngặt tiêu chuẩn môi trường, đảm bảo khí thải không gây hại, thậm chí tích hợp công nghệ thu hồi carbon.

Tạo nguồn năng lượng tái tạo và hiệu quả: Biến rác thành điện năng hoặc nhiệt năng; cung cấp điện ổn định.

b) Lợi ích về kinh tế - xã hội

Tiết kiệm diện tích đất: Công nghệ đốt rác phát điện giúp giảm nhu cầu sử dụng quỹ đất lớn để chôn lấp rác, đặc biệt quan trọng tại các đô thị đông đúc.

Phát triển kinh tế tuần hoàn: Tro xỉ sau khi đốt có thể được tái chế để làm vật liệu xây dựng như gạch không nung, vật liệu san lấp hoặc vật liệu nền đường, giúp tận dụng tối đa vòng đời của vật chất và tối ưu hóa việc quản lý chất thải.

Phát triển công nghiệp xanh: Thúc đẩy công nghệ xử lý rác hiện đại, thu hút đầu tư và tạo công ăn việc làm cho lao động địa phương, nâng cao chất lượng sống cho người dân góp phần thúc đẩy phát triển kinh tế địa phương và vùng.

Tăng cường an ninh năng lượng: Cung cấp thêm một nguồn năng lượng nội địa, giảm phụ thuộc vào nhiên liệu hóa thạch (than, dầu).

Tóm lại, công nghệ đốt rác phát điện không chỉ là giải pháp kỹ thuật mà còn là xu hướng thông minh để biến gánh nặng rác thải thành tài nguyên, hướng tới sự phát triển bền vững.

4. MỘT SỐ THÁCH THỨC VỀ ĐRPĐ Ở VIỆT NAM

Mặc dù đốt rác phát điện (WTE) là giải pháp bền vững để thay thế công nghệ chôn lấp lạc hậu vốn đang xử lý hơn 70% lượng rác thải tại Việt Nam, lĩnh vực này vẫn đang đối mặt với nhiều thách thức lớn từ kỹ thuật đến chính sách.

a) Thách thức về phân loại, chất lượng và khối lượng rác thải. Đây là rào cản kỹ thuật lớn nhất ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu suất vận hành của các lò đốt:

Chưa phân loại tại nguồn: Phần lớn rác thải sinh hoạt chưa được phân loại, dẫn đến việc chứa nhiều tạp chất không phù hợp để đốt. Rác thải ở Việt Nam có độ ẩm cao (do chứa nhiều rác hữu cơ) và nhiệt trị thấp, gây khó khăn cho việc duy trì quá trình cháy ổn định.



Hình 3. Nhà máy điện rác ở Thuỵ Điển

Thiết bị thu gom chưa đồng bộ: Hệ thống phương tiện vận chuyển hiện nay chưa phù hợp với các loại rác đã được phân loại, làm giảm hiệu quả của các chương trình thí điểm.

Nhu cầu rác đầu vào lớn có nguy cơ vượt quá lượng thu gom lúc đó có khi nhà máy phải chờ rác.

b) Chi phí đầu tư và vận hành cao

Vốn đầu tư lớn: Suất đầu tư cho các nhà máy điện rác tại Việt Nam dao động từ 3,5 - 4 triệu USD/1MW. Trong đó, chi phí thiết bị chiếm tới 70 - 80% tổng vốn đầu tư.

Thời gian thu hồi vốn dài: Do hiệu suất điện năng thấp (chỉ khoảng 20 - 25%) và chi phí bảo trì thường xuyên, thời gian thu hồi vốn kéo dài từ 10 - 20 năm.

Rủi ro công nghệ: Nhiều dự án sử dụng công nghệ tiên tiến từ nước ngoài nhưng lại khó thích ứng với đặc thù rác thải chưa phân loại tại Việt Nam, dẫn đến tuổi thọ thiết bị ngắn hơn dự kiến.

c) Rào cản về chính sách và thủ tục hành chính: Chưa có cơ chế riêng cho việc lựa chọn nhà đầu tư và ký kết hợp đồng dịch vụ xử lý CTRSH, vốn là đặc thù của điện rác. Quy trình phê duyệt phức tạp, cơ chế giá điện chưa hấp dẫn, thiếu hành lang pháp lý cụ thể về đấu thầu, môi trường và quản lý ngân sách đối với dự án điện rác. Chưa phân cấp đủ cho địa phương trong quản lý công trình điện rác.

d) Tác động môi trường và xã hội

Tro xỉ và khí thải: Quá trình đốt rác tạo ra tro bay và bụi mịn có thể chứa các chất độc hại như dioxin, đòi hỏi công nghệ xử lý khí thải nghiêm ngặt và chi phí cao.

Sự phản đối của cộng đồng: Người dân xung quanh khu vực dự án thường lo ngại về ô nhiễm môi trường, đặc biệt là khi các công nghệ cũ gây mùi hôi hoặc phát tán khí độc.

5. BÀI HỌC VỀ ĐRPĐ TẠI MỘT SỐ NƯỚC TRÊN THẾ GIỚI

Công nghệ đốt rác phát điện được nhiều quốc gia như Mỹ, Canada, Thụy Điển, Đức, Singapore… lựa chọn như một giải pháp hiệu quả. Thay vì để rác phân hủy trong lòng đất, nhà máy điện rác sử dụng lò đốt ở nhiệt độ cao để chuyển hóa chất thải thành hơi nước và điện năng. Ngoài điện năng, quá trình xử lý rác còn tạo ra các sản phẩm phụ có giá trị kinh tế như gạch từ tro xỉ, khí ga, kim loại tái chế và nước sạch đóng chai. Tro xỉ sau đốt có thể được xử lý để sản xuất vật liệu xây dựng. Kim loại trong rác được tách ra để tái chế. Khí ga dùng đốt cháy phát điện. Điều này giúp giảm lượng chất thải cuối cùng phải chôn lấp. tái chế và nước sạch đóng chai.

Thuỵ Điển là quốc gia rất thành công trong việc xử lý rác thải, khi giải quyết được gần như 100% rác thải sinh hoạt của người dân, đặc biệt quốc gia này đi đầu trong việc biến rác thải thành năng lượng. Hiện tại Thuỵ Điển chỉ có 1% rác được chôn lấp, còn lại 52% đốt để sản xuất điện và 47% được tái chế. Hiện tại, với dân số chỉ hơn 10 triệu người nhưng Thụy Điển đã có hơn 34 nhà máy điện rác cung cấp điện cho 780.000 hộ gia đình. Có thể thấy, nước này không chỉ tận dụng rất tốt "tài nguyên rác" mà còn được các nước lân cận trả tiền để "sử dụng" rác hộ. Điều này cũng cho thấy, Thuỵ Điển nhận thức rất rõ tình hình cạn kiệt năng lượng và biến đổi khí hậu trong tương lai.

Tại nhiều nước châu Âu khác do quỹ đất hạn hẹp, cần bảo vệ tầng nước ngầm nghiêm ngặt, nên lượng CTR được xử lý bằng phương pháp đốt chiếm ưu thế: Ở Đức, có trên 60% CTR được đốt, ở Đan Mạch CTR được đốt gần 100% (đốt có thu hồi năng lượng).

Trung Quốc: "Dự án biến rác thải đô thị thành năng lượng" thúc đẩy các sáng kiến chuyển rác thải thành năng lượng bằng cách sử dụng các công nghệ thân thiện với môi trường. Với bốn nhà máy đã đi vào hoạt động, các cơ sở này cùng nhau sản xuất 480 GWh điện hàng năm, giúp giảm tương đương 544.000 tấn carbon dioxide mỗi năm. Đầu tư tư nhân chủ yếu tài trợ cho các lò đốt rác của Trung Quốc, chủ yếu nhằm mục đích kiếm lợi nhuận và việc mở rộng các nhà máy này được thực hiện với sự cân nhắc kỹ lưỡng.

Nhật Bản, quốc gia vốn phụ thuộc nhiều vào công nghệ khí hóa và đốt trực tiếp trong quản lý chất thải, cũng đã triển khai thành công. Hệ thống đốt trực tiếp (DMS) với công suất xử lý từ 10.000 đến 230.000 tấn chất thải mỗi năm, hệ thống này có thể xử lý nhiều loại chất thải khác nhau, bao gồm rác thải sinh hoạt, rác thải đặc biệt và rác thải y tế cũng như bùn thải, từ đó tạo năng lượng cung cấp cho các lưới điện. Để sử dụng công nghệ hiệu quả việc phân loại rác cực kỳ nghiêm ngặt đây là yếu tố cốt lõi, người dân phải phân loại rác thành nhiều túi khác nhau (rác đốt được, rác không đốt được, rác tái chế, rác cồng kềnh) theo lịch thu gom cụ thể của từng địa phương.

Thái Lan đã thúc đẩy quốc gia này đưa công nghệ này trở thành một phần trong chương trình nghị sự quốc gia. Thái Lan đã xây dựng các lò đốt với công suất 9,8 GW xử lý 500 tấn chất thải rắn thành điện mỗi ngày.

Tuy nhiên, nguy cơ ô nhiễm từ các cơ sở đốt rác thành năng lượng vẫn có thể xảy ra đó là việc xây dựng cơ sở quản lý chất thải có thể rủi ro về môi trường và sức khỏe cộng đồng, đặc biệt là liên quan đến vị trí gần khu dân cư vì vậy nhiều chuyên gia khuyến cáo phải có sự hợp tác và có kế hoạch toàn diện đảm bảo tính khả thi và an toàn trong đó bao gồm cả sự tham gia tích cực của cộng đồng địa phương.

6. MỘT SỐ GIẢI PHÁP THÚC ĐẨY PHÁT TRIỂN ĐRPĐ TẠI VIỆT NAM HIỆN NAY

a) Về Quy hoạch và Đầu tư

Lập quy hoạch xử lý chất thải rắn (CTR) theo hướng liên vùng hoặc liên tỉnh điều này giúp đảm bảo đủ lượng rác đầu vào ổn định (tối thiểu 500 - 1000 tấn/ngày) cho một nhà máy điện rác công suất lớn.

Các dự án điện rác có quy mô lớn phải được xác định trong các quy hoạch ngành điện quốc gia hoặc quy hoạch vùng, quy hoạch tỉnh để làm cơ sở cho việc đầu tư và đảm bảo đấu nối với mạng lưới điện thuận lợi.

Trên cơ sở quy hoạch đã xác định vị trí nhà máy điện rác cần đảm bảo quỹ đất sạch khi giao cho các nhà đầu tư.

Khuyến khích sự tham gia của khu vực tư nhân đầu tư vào các dự án xây dựng nhà máy điện rác theo hình thức PPP.

b). Về cơ chế, chính sách

Xem xét ban hành mức giá mua điện rác phù hợp để bù đắp chi phí đầu tư công nghệ cao và xử lý khí thải phức tạp.

Tăng đơn giá xử lý rác: Nâng đơn giá dịch vụ xử lý rác (ngân sách chi trả) để nhà đầu tư có thể thu hồi vốn nhanh, không phụ thuộc hoàn toàn vào tiền bán điện.

Chính quyền địa phương cam kết cung cấp đủ khối lượng rác, loại rác (nhiệt trị) và bồi thường nếu không cung cấp đủ rác theo hợp đồng; đồng thời triển khai quyết liệt việc phân loại rác tại nguồn, nâng cao nhiệt trị rác đầu vào, giúp nâng cao hiệu suất phát điện.

Ưu đãi thuế & tín dụng: Miễn/giảm thuế nhập khẩu máy móc, thuế thu nhập doanh nghiệp, và tạo điều kiện tiếp cận vốn vay lãi suất thấp.

c). Về tiêu chuẩn, quy chuẩn: Rà soát các Tiêu chuẩn kỹ thuật (TCVN, IEC), cập nhật, bổ sung các quy chuẩn kỹ thuật (QCVN) như Quy chuẩn về Điện (đảm bảo an toàn điện, đấu nối lưới điện); Quy chuẩn về môi trường (môi trường khí, nước thải); Quy chuẩn chiếu sáng đô thị

d). Về quản lý Nhà nước: Rà soát, giảm thiểu các thủ tục về đấu thầu; Đơn giản hóa thủ tục đầu tư, môi trường, xây dựng rút ngắn thời gian chuẩn bị dự án; Đào tạo đội ngũ nhân lực kỹ thuật cao, quản lý vận hành tự động hóa nhà máy xử lý.

7. KẾT LUẬN

Sử dụng điện từ đốt rác thải sinh hoạt (Waste-to-Energy - WtE) cho các hoạt động sản xuất, sinh hoạt trong đó cho chiếu sáng là một giải pháp bền vững, giúp giải quyết cùng lúc vấn đề rác thải đô thị và nhu cầu năng lượng, cụ thể là điện năng cho hệ thống chiếu sáng công cộng nói riêng. Đây là một chu trình sản xuất khép kín, các chất thải được quay trở lại, trở thành nguyên liệu cho sản xuất, từ đó giảm mọi tác động tiêu cực đến môi trường, hệ sinh thái và sức khỏe con người.

Việc phát triển các dự án ĐRPĐ là một trong những giải pháp quan trọng nhằm cụ thể hóa chủ trương, chính sách của Nhà nước liên quan đến phát triển kinh tế tuần hoàn, tăng trưởng xanh và bảo đảm an ninh năng lượng quốc gia. Mặc dù vẫn còn những khó khăn và thách thức cần tiếp tục được tháo gỡ về công nghệ, cơ chế chính sách, nguồn rác đầu vào và sự đồng thuận của cộng đồng, song với sự vào cuộc quyết liệt của các cơ quan quản lý nhà nước, sự tham gia tích cực của doanh nghiệp và sự đồng thuận của xã hội, lĩnh vực ĐRPĐ tại Việt Nam được kỳ vọng sẽ tiếp tục phát triển mạnh mẽ trong thời gian tới, góp phần thực hiện các mục tiêu phát triển bền vững của đất nước.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Bộ Tài nguyên và Môi trường. Sáng kiến biến rác thành năng lượng đang thay đổi cách xử lý chất thải thế nào. Cổng Thông tin điện tử Bộ Tài nguyên và Môi trường, 28/6/2024. Internet: https://vea.mae.gov.vn/tin-tuc-su-kien/10464/sang-kien-bien-rac-thanh-nang-luong-dang-thay-doi-cach-xu-ly-chat-thai (truy cập ngày: 03/7/2024).

[2] Nguyễn Lâm Quảng, Nghiêm Vân Khanh. Điện rác tại Việt Nam: Tiềm năng và thách thức của công nghệ thiêu đốt. Tạp chí Xây dựng, số 9/2025. Internet: https://tapchixaydung.vn/dien-rac-tai-viet-nam-tiem-nang-va-thach-thuc-cua-cong-nghe-thieu-dot-20201224000032946.html (truy cập ngày: 02/4/2026).

[3] Nguyễn Cường. Phát triển điện rác tại Việt Nam - Để không bị mất cơ hội ngay trên sân nhà. Tạp chí Công nghiệp Môi trường, số 9/2025. Internet: https://congnghiepmoitruong.vn/phat-trien-dien-rac-tai-viet-nam-de-khong-bi-mat-co-hoi-ngay-tren-san-nha-16011.html (truy cập ngày: 04/4/2026).

■Ngày nhận bài: 01/4/2026 ■Ngày sửa bài: 13/5/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 20/5/2026

Khung thiết kế tích hợp tối ưu nhà ga hành khách Việt Nam: Cân bằng chuẩn quốc gia và thông lệ quốc tế

Proposing an integrated design framework for the functional optimization of passenger terminals in Vietnam: Towards a balance between National standards and International practices

>THS BÙI NAM PHƯƠNG, NGUYỄN DUY TÂN*, NGUYỄN HOÀNG THỊNH
Khoa Xây dựng, Học viện Hàng không Việt Nam
*Email: tann_d@vaa.edu.vn

TÓM TẮT

Sự phát triển mạnh mẽ của kinh tế và du lịch tại Việt Nam đã kéo theo tốc độ tăng trưởng vượt bậc về lưu lượng hành khách hàng không (KH). Từ đó, các yêu cầu cấp thiết về hiện đại hóa và mở rộng cơ sở hạ tầng HK quốc gia được đặt ra. Trong đó, nhà ga hành khách (NGHK) đóng vai trò cửa ngõ đô thị, quyết định trực tiếp đến trải nghiệm hành khách và hiệu quả khai thác HK. Tuy nhiên, việc áp dụng các tiêu chuẩn thiết kế hiện hành và các nguyên tắc quốc tế về thiết kế NGHK còn tồn tại nhiều khoảng trống. Vì thế, cần có một nghiên cứu tổng hợp, phân tích và đánh giá tổng quan về các tiêu chuẩn trên đồng thời đưa ra định hướng phát triển để hoàn thiện, phù hợp với bối cảnh Việt Nam. Nghiên cứu thực hiện phân tích chuyên sâu các tiêu chuẩn hiện hành của quốc gia và quốc tế, từ đó tổng hợp và đề xuất một bộ tiêu chí kiến trúc phù hợp. Kết quả nghiên cứu hình thành một khung thiết kế tích hợp nhằm tối ưu công năng cho NGHK. Đây là cơ sở lý luận và định hướng thực tiễn cho việc thiết kế các NGHK hiện đại tại Việt Nam.

Từ khóa: Khung thiết kế tích hợp; nhà ga hành khách; nâng cao trải nghiệm; tối ưu công năng.

ABSTRACT

The robust economic and tourism development in Vietnam has catalyzed an unprecedented growth rate in aviation passenger traffic. Consequently, there is an urgent demand for the modernization and expansion of the national aviation infrastructure. Within this context, the passenger terminal serves as an urban gateway, directly determining the passenger experience and operational efficiency of the airport. However, significant gaps persist in the application of current domestic design standards and international principles for passenger terminal architecture. Therefore, a comprehensive study is required to synthesize, analyze, and evaluate these standards while providing developmental orientations that are aligned with the Vietnamese context. This research performs an in-depth analysis of existing national and international standards to synthesize and propose a refined set of architectural criteria. The results establish an integrated design framework aimed at optimizing the functional performance of passenger terminals. This study serves as a theoretical foundation and practical guideline for the design of modern passenger terminals in Vietnam.

Keywords: Integrated design framework; passenger terminal; enhancing passenger experience; functional optimization.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh hậu đại dịch COVID-19, ngành HK thế giới đang chứng kiến sự phục hồi và tăng trưởng kỷ lục [1]. Theo báo cáo từ IATA và ACI World, lượng hành khách toàn cầu dự kiến đạt 9,5 tỷ lượt vào năm 2024, tương đương 104% so với mức năm 2019. Đặc biệt, khu vực châu Á Thái Bình Dương, với các động lực chính từ Ấn Độ, Trung Quốc và Đông Nam Á, được dự báo sẽ có tốc độ tăng trưởng gấp đôi khu vực châu Âu trong 5 năm tới [2]. Tại Việt Nam, quy hoạch mạng lưới cảng HK cũng đang được đẩy mạnh với mục tiêu đạt 30 cảng vào năm 2030 và tầm nhìn 33 cảng vào năm 2050 nhằm đáp ứng nhu cầu phát triển trong tương lai [3]. Tuy nhiên, thực trạng hiện nay cho thấy tại các cửa ngõ HK lớn như Nội Bài và Tân Sơn Nhất đang rơi vào tình trạng quá tải hạ tầng nghiêm trọng, gây áp lực lớn lên khả năng vận hành và chất lượng dịch vụ [4]. Bên cạnh đó, ngành HK đang đứng trước thách thức kép, một mặt phải đáp ứng các cam kết khắt khe về Net Zero carbon vào năm 2050, mặt khác phải giải quyết bài toán dung hòa

giữa tiêu chuẩn thiết kế quốc gia và các nguyên tắc tiêu chuẩn quốc tế hiện đại trong quá trình phát triển [5].

Vì vậy, việc nâng cấp hạ tầng NGHK không chỉ dừng lại ở quy mô mà còn nằm ở chất lượng trải nghiệm, hướng đến các khía cạnh cốt lõi: xu hướng "cao cấp hóa" không gian dịch vụ, cá nhân hóa hành trình và chuyển đổi số thông qua mô hình "không chạm" nhằm giảm thiểu căng thẳng cho hành khách [6]. Về đối tượng và phương pháp, nghiên cứu tiến hành rà soát hệ thống tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN) hiện hành để nhận diện các khoảng trống pháp lý, đồng thời đối chiếu với các thông lệ quốc tế tiên tiến nhằm tìm kiếm sự tương thích phù hợp với đặc thù trong nước. Trọng tâm của nghiên cứu là xây dựng một khung thiết kế tích hợp tối ưu công năng, nơi các yếu tố về kỹ thuật, công nghệ và trải nghiệm khách hàng được kết nối chặt chẽ trong một tổng thể thống nhất.

Mục tiêu cuối cùng của nghiên cứu là xác lập cơ sở khoa học vững chắc để đề xuất một khung thiết kế mẫu. Kết quả này không chỉ đóng vai trò là tiền đề cho việc cập nhật, sửa đổi các TCVN trong tương lai mà còn trực tiếp bổ sung các tiêu chuẩn còn thiếu, góp phần xây dựng hệ thống NGHK hiện đại, thông minh và bền vững tại Việt Nam. Nghiên cứu kỳ vọng sẽ tạo ra bước đột phá trong việc tối ưu hóa vận hành và nâng cao vị thế của ngành HK Việt Nam trên bản đồ quốc tế.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu được tiến hành bằng phương pháp tổng hợp, phân tích, so sánh tiêu chuẩn quốc gia Việt Nam với thông lệ quốc tế trên cơ sở quá trình vận hành thực tế. Từ đó, đưa ra các điểm thiếu sót mà các quy chuẩn tiêu chuẩn Việt Nam hiện nay đang bị mắc phải, cũng như là những điểm chưa phù hợp của thông lệ quốc tế khi ứng dụng vào Việt Nam. Qua đó hình thành nên bộ khung tích hợp dành cho NGHK.

Bên cạnh đó, nhằm để tăng tính xác thực hơn cho bộ khung thiết kế nghiên cứu sử dụng phương pháp khảo sát các chuyên gia trong lĩnh vực để đưa ra các nhận định khách quan hơn về bộ khung tích hợp này. Bảng câu hỏi được tổ chức như sau giai: (i) thu thập dữ liệu về thông tin cá nhân của người tham gia khảo sát; (ii) Thu thập ý kiến liên quan đến yếu tố về nâng cao trải nghiệm khách hàng trong NGHK; (iii) Thu thập dữ liệu đánh giá của họ cho các nhóm tiêu chí ứng viên của nghiên cứu (sử dụng thang điểm Likert 5 mức từ mức (1) là rất không quan trọng đến mức (5) là rất quan trọng); và (iv) Ghi nhận thêm các ý kiến khác nhằm hoàn thiện bổ sung các tiêu chí ứng viên trên đa góc nhìn. Những người tham gia nghiên cứu này bao gồm nhiều chuyên gia thuộc nhiều lĩnh vực khác nhau gồm các kỹ sư, chuyên viên và quản lý khai thác cảng hàng không sân bay làm việc tại các công ty đặc thù và đa dạng vai trò nhà thầu thi công, nhà sản xuất, chủ đầu tư và đơn vị tư vấn thiết kế. Sự hội tụ của các góc nhìn đa chiều từ nhóm khảo sát này đảm bảo rằng các dữ liệu thu thập không chỉ dừng lại ở mức độ nhận thức mà còn phản ánh sâu sắc các vấn đề thực tiễn, đáp ứng yêu cầu khắt khe về độ tin cậy trong nghiên cứu định tính và định lượng quy mô hẹp.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Thiết lập nhóm tiêu chí

Nghiên cứu đã xây dựng một bộ tiêu chí tích hợp nhằm khắc phục những hạn chế của TCVN và tiệm cận với các thông lệ quốc tế. Bộ tiêu chí này được phân tách thành 5 nhóm trụ cột chính, đóng vai trò là nền tảng cho việc hình thành khung thiết kế hiện đại với các nội dung các nhóm tiêu chí trọng tâm bao gồm:

(i) Nhóm tiêu chí về công năng: Đây là nhóm tiêu chí nền tảng, đảm bảo NGHK vận hành hiệu quả hướng đến tối ưu hóa luồng di chuyển của hành khách và hành lý nhằm giảm thiểu sự giao cắt và ùn tắc. Nghiên cứu nhấn mạnh việc tuân thủ nghiêm ngặt các mức độ phục vụ theo tiêu chuẩn quốc tế để đảm bảo không gian chờ và diện tích xử lý thủ tục luôn ở mức tối ưu. Cơ sở dựa trên việc phân khu chức năng hợp lý, giúp rút ngắn khoảng cách đi bộ và thời gian chờ đợi của hành khách. Đây là tiền đề để NGHK đạt được tính kinh tế trong khai thác trong vận hành.

(ii) Nhóm tiêu chí về an toàn và an ninh: Trong bối cảnh an ninh HK ngày càng phức tạp, tiêu chí này được đặt lên hàng đầu để bảo vệ tính mạng và tài sản. Cơ sở lý luận của nhóm này là sự kết hợp giữa các quy chuẩn PCCC nghiêm ngặt (như QCVN 06:2021/BXD) và các nguyên tắc thiết kế an ninh tiên tiến. Nghiên cứu đề xuất áp dụng nguyên tắc CPTED (Thiết kế phòng chống tội phạm thông qua môi trường) của ACI, sử dụng ánh sáng, tầm nhìn mở và công nghệ giám sát 24/7 để giảm thiểu các điểm mù an ninh [7]. Bên cạnh đó, việc tích hợp các công nghệ soi chiếu hiện đại như máy quét CT và nhận diện sinh trắc học được xem là giải pháp then chốt để tăng cường bảo mật mà không làm gián đoạn trải nghiệm của hành khách.

Bảng 1. So sánh quá trình vận hành NGHK với tiêu chuẩn trong nước và thông lệ quốc tế (Nguồn: Nhóm tác giả)

Tiêu chí	Tiêu chuẩn trong nước (QCVN, TCVN)	Thông lệ quốc tế (ICAO, IATA, ACI)
Khả năng tiếp cận và áp dụng	Truyền thống và tổng thể: Dễ tiếp cận với kỹ sư nội địa, tập trung vào quy chuẩn xây dựng cơ bản (QCVN 01-2021/BXD).	Công nghệ và đột phá: Ưu tiên tự động hóa (Biometric, self-service) và tối ưu thời gian xử lý (ví dụ: <10 phút tại Changi T4).
Yếu tố môi trường và tính bản địa	Lựa chọn vật liệu: Ưu tiên vật liệu địa phương (gỗ, cát, đá) để hòa hợp cảnh quan và tiết kiệm chi phí (ví dụ: SB Côn Đảo).	Bền vững toàn cầu: Áp dụng hệ chuẩn xanh nghiêm ngặt (LEED, LOTUS) và hệ thống vận hành tuần hoàn (tái tạo năng lượng, nước mưa).
Hiệu quả vận hành	Đáp ứng quy mô vừa/nhỏ: Thiết kế dựa trên chỉ tiêu cơ bản, phù hợp các SB địa phương.	Tối ưu công suất lớn: Thiết kế dựa trên mô hình luồng di chuyển và xử lý lưu lượng cực lớn (ví dụ: SB Dubai với 80tr khách/năm).
Tiện nghi & Trải nghiệm hành khách	Tiện nghi cơ bản: Tập trung vào công năng chính và thường thiếu không gian nghỉ ngơi và dịch vụ cần thiết (Ví dụ: SB Đồng Hới)	Tiện nghi cao cấp: Đầu tư lớn cho nội thất và dịch vụ theo tiêu chuẩn IATA ADRM, xem hành khách là trung tâm trải nghiệm.
Độ linh hoạt & Thời gian	Triển khai nhanh nhưng dễ ùn tắc: Thời gian chuẩn bị ngắn nhưng dễ quá tải do chưa dự báo sát chuẩn LoS (Level of Service) (Ví dụ: SB Tân Sơn Nhất)	Chuẩn bị kỹ và vận hành ổn định: Quy trình thẩm định và kiểm tra nghiêm ngặc, mô phỏng khắt khe với thời gian đầu tư dài để đảm bảo tính thích ứng 20-30 năm.
Nhân lực vận hành	Nội lực truyền thống: Nhân sự trong nước, tư duy thiết kế còn theo lối mòn, dựa trên kinh nghiệm cũ.	Chuyên gia quốc tế: Đòi hỏi đội ngũ tư vấn chuyên sâu toàn cầu (như Heerim, ADPi) để đáp ứng các tiêu chuẩn kỹ thuật phức tạp.

Bảng 2. Bộ khung thiết kế tích hợp dành cho NGHK (Nguồn: Nhóm tác giả)

Nhóm khung	Tiêu chí	Nguyên lý thiết kế
NHÓM 1: KHUNG NỀN TẢNG	Tiêu chí 1.1: Tối ưu hóa luồng di chuyển hành khách và hành lý	Nguyên lý 3: Không gian linh hoạt & khả năng thích ứng
	Tiêu chí 1.2: Tuân thủ mức độ phục vụ (LoS) tối ưu	
	Tiêu chí 1.3: Phân khu chức năng hợp lý	
	Tiêu chí 2.1: Tuân thủ nghiêm ngặt tiêu chuẩn an toàn	Nguyên lý 4: Tối ưu hóa dây chuyền & công năng
	Tiêu chí 2.2: Thiết kế an ninh tích hợp	
NHÓM 2: KHUNG TRỌNG TÂM	Tiêu chí 3.1: Ưu tiên sự tiện nghi và sức khỏe của hành khách	Nguyên lý 1: Hình tượng kiến trúc & bản địa
	Tiêu chí 3.2: Tối đa hóa ánh sáng tự nhiên và tầm nhìn	
	Tiêu chí 3.3: Tạo dựng sức hấp dẫn về thẩm mỹ và bản sắc văn hóa	Nguyên lý 2: Kiến trúc bền vững
	Tiêu chí 4.1: Tối ưu hóa sử dụng tài nguyên	
	Tiêu chí 4.2: Lựa chọn vật liệu bền vững và quản lý chất thải	Nguyên lý 5: Nâng cao trải nghiệm cho hành khách
	Tiêu chí 4.3: Tăng cường hài hòa môi trường và đa dạng sinh học	
NHÓM 3: KHUNG TÍCH HỢP	Tiêu chí 5.1: Đảm bảo tính linh hoạt và module hóa	Nguyên lý 6: Sân bay tích hợp công nghệ & an toàn an ninh

(iii) Nhóm tiêu chí về trải nghiệm hành khách: Thể hiện tư duy thiết kế lấy con người làm trung tâm, một xu hướng tất yếu của các NGHK hiện đại trên thế giới. Cơ sở của trải nghiệm hành khách được xây dựng từ ba yếu tố: Cơ sở vật chất, quy trình và con người. Hướng đến việc nâng cao tiện nghi thông qua việc cung cấp các dịch vụ đa dạng, không gian nghỉ ngơi thoải mái và khả năng định hướng dễ dàng. Đặc biệt, việc tối đa hóa ánh sáng tự nhiên và tầm nhìn góp phần giảm bớt căng thẳng cho hành khách mà còn tạo nên một môi trường giàu tính thẩm mỹ và bản sắc văn hóa bản địa.

(iv) Nhóm tiêu chí về bền vững: Nhằm hướng tới mục tiêu Net Zero vào năm 2050 dựa trên việc tối ưu hóa sử dụng tài nguyên thông qua các giải pháp kiến trúc xanh, tận dụng năng lượng tái tạo và quản lý chất thải hiệu quả. Thông qua việc việc lựa chọn vật liệu xây dựng thân thiện với môi trường, thiết kế lớp vỏ công trình tiết kiệm năng lượng và tăng cường đa dạng sinh học với các mảng xanh tích hợp. Sự bền vững ở đây còn được hiểu là sự hài hòa giữa công trình và bối cảnh tự nhiên xung quanh hướng đến giảm phát thải carbon, đảm bảo giá trị lâu dài cho cộng đồng [8].

(v) Nhóm tiêu chí về khả năng thích ứng: Công nghệ thay đổi nhanh chóng, NGHK phải có khả năng tự điều chỉnh để thích nghi và phát triển. Dựa trên nguyên tắc module hóa không gian và linh hoạt trong kết cấu, cho phép nhà ga dễ dàng mở rộng hoặc tái cấu trúc mà không ảnh hưởng đến hoạt động hiện hữu. Cơ sở của nhóm tiêu chí là lập quy hoạch tổng thể theo từng giai đoạn phát triển, dự trù không gian cho các công nghệ tương lai và các tình huống khẩn cấp giúp giảm chi phí đầu tư dài hạn và đảm bảo NGHK luôn đáp ứng được nhu cầu tăng trưởng lưu lượng trong tương lai.

3.2. Thiết lập khung thiết kế tích hợp tối ưu công năng cho NGHK

Dựa trên kết quả phân tích và đánh giá, nghiên cứu đã tổng hợp và đề xuất bộ khung thiết kế tích hợp cho NGHK bao gồm 5 nhóm tiêu chí và 6 nguyên lý cốt lõi (Bảng 2). Khung thiết kế này không chỉ giải quyết các yêu cầu về công năng vận hành mà còn tích hợp các yếu tố về phát triển bền vững và công nghệ hiện đại, giúp NGHK tại Việt Nam tiệm cận với các chuẩn mực cao cấp của thế giới.

Bộ tiêu chí này được xây dựng để khắc phục các khoảng trống trong TCVN, tích hợp các thông lệ tốt nhất từ tiêu chuẩn quốc tế, phù hợp với điều kiện địa phương. Đồng thời các tiêu chí này được tổ chức theo một cấu trúc logic chặt chẽ bắt đầu từ các yêu cầu nền tảng không thể thiếu, sau đó tiếp tục tập trung vào trụ cột trọng tâm là trải nghiệm của hành khách và bền vững và cuối cùng là phần yếu tố tích hợp để đảm bảo được sự phát triển lâu dài. Cụ thể bao gồm 5 nhóm tiêu chí sau:

- Tiêu chí về công năng: (i) tối ưu hóa luồng di chuyển hành khách và hành lý ; (ii) tuân thủ mức độ phục vụ (LoS) tối ưu; và (iii) phân khu chức năng hợp lý.
- Tiêu chí về an toàn và an ninh: (i) tuân thủ nghiêm ngặt tiêu chuẩn an toàn; và (ii) thiết kế an ninh tích hợp
- Trải nghiệm hành khách: (i) ưu tiên sự tiện nghi và sức khỏe của hành khách; (ii) tối đa hóa ánh sáng tự nhiên và tầm nhìn; và (iii) tạo dựng sức hấp dẫn về thẩm mỹ và bản sắc văn hóa.
- Bền vững: (i) tối ưu hóa sử dụng tài nguyên; (ii) lựa chọn vật liệu bền vững và quản lý chất thải; (iii) tăng cường hài hòa môi trường và đa dạng sinh học
- Khả năng thích ứng: (i) đảm bảo tính linh hoạt và module hóa; (ii) quy hoạch mở rộng theo từng giai đoạn.

Ngoài ra, từ những phân tích và đánh giá, các nguyên lý thiết kế cũng được tổng hợp và đề xuất phù hợp cho NGHK. Mục tiêu là đưa ra những phân tích chi tiết và các nguyên tắc thiết kế nhằm tối ưu hóa công năng và nâng cao trải nghiệm tổng thể cho hành khách tại các nhà ga sân bay. Cụ thể gồm 6 nguyên lý cốt lõi sau:

- Nguyên lý 1: Hình tượng kiến trúc & văn hóa bản địa bao gồm: (i) hình khối và không gian; (ii) vật liệu, màu sắc và ánh sáng; (iii) tính biểu tượng và điểm nhấn; và (iv) tính bản địa trong thiết kế.
- Nguyên lý 2: Kiến trúc bền vững bao gồm: (i) hiệu quả năng lượng; (ii) sử dụng tài nguyên hiệu quả và giảm thiểu chất thải; (iii) nâng cao chất lượng môi trường bên trong; và (iv) tích hợp với cảnh quan sinh thái.
- Nguyên lý 3: Không gian linh hoạt & khả năng thích ứng bao gồm: (i) nguyên tắc tổ chức không gian (phân vùng, phân cấp không gian linh hoạt); và (ii) khả năng thích ứng của NGHK (về thay đổi lưu lượng và các tình trạng khẩn cấp).
- Nguyên lý 4: Tối ưu hóa dây chuyền và công năng bao gồm: (i) dây chuyền công năng (phân khu chức năng và phân luồng giao thông đứng ngang); và (ii) nguyên lý công năng (phân vùng, tối ưu hóa công suất, linh hoạt và mở rộng).
- Nguyên lý 5: Nâng cao trải nghiệm cho hành khách bao gồm: (i) phân luồng giao thông; (ii) định hướng không gian; (iii) cảm giác thoải mái an toàn, (iv) tận dụng ánh sáng tự nhiên; và (v) tối ưu hóa diện tích không gian.
- Nguyên lý 6: Sân bay thông minh tích hợp công nghệ an toàn an ninh bao gồm: (i) hệ thống công nghệ thông tin và truyền

thông (hạ tầng mạng, hệ thống thông tin hành khách, hệ thống an ninh và giám sát, hệ thống vận hành nhà ga, tích hợp và tư duy công nghệ); (ii) hệ thống cơ điện nước (điện, cấp thoát nước, điều hòa không khí và gió); và (iii) an toàn và thoát nạn tích hợp (giao thông thoát hiểm đúng và đủ, thời gian sơ tán, khu vực lánh nạn tạm thời và lối ra khẩn cấp).

3.3. Thảo luận

Để khẳng định tính khoa học và khả năng ứng dụng thực tiễn của khung thiết kế tích hợp, nghiên cứu đã tiến hành khảo sát thực nghiệm thông qua ý kiến của các chuyên gia đầu ngành trong lĩnh vực HK. Độ tin cậy của mẫu khảo sát được đảm bảo bởi bề dày kinh nghiệm và sự đa dạng trong đơn vị công tác của đối tượng tham gia. Kết quả được ghi nhận cụ thể như sau nhóm chuyên gia có từ 11 đến 20 năm kinh nghiệm chiếm tỷ trọng lớn nhất với 60,9%, tiếp theo là nhóm chuyên gia trên 20 năm kinh nghiệm (17,4%) và nhóm từ 5 đến 10 năm (13%). Về đơn vị công tác, có đến 47,8% chuyên gia đến từ các chủ đầu tư và nhà khai thác, (điển hình như Tổng công ty Cảng hàng không Việt Nam - ACV, Cảng HKQT Tân Sơn Nhất, Vân Đồn), 30,4% từ các viện nghiên cứu và trường đại học, cùng 21,8% từ các cơ quan quản lý nhà nước và đơn vị tư vấn thiết kế.

Về tổng thể, các tiêu chí trong khung thiết kế tích hợp được đánh giá là rất cấp thiết. Trong đó, nhóm 1: Khung nền tảng nhận được sự đồng thuận cao nhất nhằm giải quyết tình trạng quá tải hạ tầng hiện nay. Các chuyên gia nhấn mạnh rằng việc tuân thủ mức độ phục vụ và tối ưu hóa luồng di chuyển là chìa khóa để nâng cao năng lực thông qua tại các cửa ngõ lớn. Theo sát là nhóm 2: Khung trọng tâm, nơi các tiêu chí về trải nghiệm hành khách và bền vững được các chuyên gia từ các viện nghiên cứu đánh giá là xu hướng tất yếu để tiệm cận chuẩn mực quốc tế.

Đáng chú ý, các chuyên gia đến từ các Cảng HK thực tế (Tân Sơn Nhất, Liên Khương, Vân Đồn) đặc biệt lưu tâm đến tiêu chí an toàn và an ninh tích hợp. Việc số liệu khảo sát ghi nhận sự ủng hộ mạnh mẽ cho các giải pháp công nghệ không chạm và thiết kế linh hoạt có khả năng mô-đun hóa cho thấy khung thiết kế đã đáp ứng đúng nhu cầu thực tiễn về chuyển đổi số của ngành HK Việt Nam.

Sự tương quan chặt chẽ giữa trình độ chuyên môn cao của mẫu khảo sát (với hơn 78% chuyên gia có trên 11 năm kinh nghiệm) và sự đồng thuận đối với các nhóm tiêu chí đã khẳng định khung thiết kế có cơ sở khoa học vững chắc. Đây không chỉ là công cụ tham chiếu cho các đơn vị tư vấn mà còn là cơ sở thực chứng quan trọng để các chủ đầu tư như ACV ứng dụng trong việc lập nhiệm vụ thiết kế và đánh giá các phương án kiến trúc nhà ga hành khách trong tương lai. Kết quả này đóng vai trò quyết định trong việc hoàn thiện các TCVN, hướng tới xây dựng hệ thống cảng HK thông minh, bền vững và bản sắc.

Trong giai đoạn tiếp theo, nghiên cứu sẽ tập trung vào việc lượng hóa cụ thể các thông số tiêu chí và nguyên lý thiết kế. Việc cụ thể hóa các số liệu kỹ thuật trong khung thiết kế tích hợp sẽ giúp quá trình ứng dụng thực tiễn trở nên minh bạch, dễ đo lường và đạt hiệu quả tối ưu hơn. Kết quả của nghiên cứu kỳ vọng sẽ góp phần nâng tầm vị thế của các NGHK Việt Nam, biến chúng thành những điểm đến hiện đại, tiện nghi và tiệm cận hoàn toàn với các tiêu chuẩn cao của ngành HK thế giới.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã khẳng định rằng việc nâng cao trải nghiệm hành khách tại NGHK Việt Nam là một yêu cầu cấp thiết và mang tính xu hướng tất yếu trong bối cảnh hội nhập quốc tế. Thay vì chỉ dừng lại ở việc tuân thủ quy chuẩn như trước đây, hướng đi mới cần tập trung vào việc tích hợp trải nghiệm người dùng và hiệu quả vận hành. Đây chính là chìa khóa để giải quyết bài toán cân bằng giữa các QCVN nghiêm ngặt và những thông lệ quốc tế hiện đại. Nghiên cứu đã thành công trong việc đề xuất một khung thiết kế tích hợp, đóng vai trò là công cụ tham chiếu hữu ích cho các chủ đầu tư và các đơn vị tư vấn thiết kế. Khung này không chỉ hỗ trợ trong giai đoạn lập nhiệm vụ thiết kế mà còn là cơ sở khoa học quan trọng cho việc đánh giá, thi tuyển các phương án kiến trúc NGHK trong tương lai. Sự đóng góp của nghiên cứu nằm ở việc xác định rõ hướng phát triển bền vững, giúp các công trình HK vừa đảm bảo tính an ninh, kỹ thuật, vừa mang lại không gian giàu cảm xúc và tối ưu về công năng sử dụng.

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn Học viện Hàng không Việt Nam đã hỗ trợ và tạo điều kiện thuận lợi cho nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Economic Impacts of COVID-19 on Civil Aviation. Internet: https://www.icao.int/economic-impacts-covid-19-civil-aviation (truy cập tháng 3/2026).

[2] Global Air Passenger Demand Reaches Record High in 2024. Internet: https://www.iata.org/en/pressroom/2025-releases/2025-01-30-01/ (truy cập tháng 3/2026).

[3] Quyết định phê duyệt Quy hoạch tổng thể phát triển hệ thống CHK SB toàn quốc thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến 2050. Internet: https://thuvienphapluat.vn/van-ban/Xay-dung-Do-thi/Quyet-dinh-648-QD-TTg-2023-phat-trien-he-thong-cang-hang-khong-san-bay-toan-quoc-2021-2030-568857.aspx (truy cập tháng 3/2026).

[4] Lời giải nào cho bài toán quá tải Hạ tầng Sân bay, Tạp chí Hàng không, ngày 12/2/2025. Internet: https://tapchihangkhong.vn/loi-giai-nao-cho-bai-toan-qua-tai-ha-tang-san-bay-3784.html (truy cập tháng 3/2026).

[5] Việt Nam triển khai các cam kết khí hậu tại COP 26, ngày 30/9/2025. Internet: https://mae.gov.vn/viet-nam-trien-khai-cac-cam-ket-khi-hau-tai-cop26-19890.htm (truy cập tháng 3/2026).

[6] Du lịch hàng không sẽ thay đổi như thế nào trong năm 2026, Vietnam.vn, ngày 10/1/2026. Internet: https://www.vietnam.vn/du-lich-hang-khong-se-thay-doi-nhu-the-nao-trong-nam-2026 (truy cập tháng 3/2026).

[7] Annex 17 to the Convention on International Civil Aviation, Security Safeguarding International Civil Aviation Against Acts of Unlawful Interference, Tenth Edition, April 2017. Internet: https://ffac.ch/wp-content/uploads/2020/10/ICAO-Annex-17-Security.pdf (truy cập tháng 3/2026).

[8] Report of the high-level meeting on the feasibility of a long-term aspirational goal for international aviation CO_2 emissions reductions, 19-22 July 2022. Internet: https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG (truy cập tháng 3/2026).

■Ngày nhận bài: 01/4/2026 ■Ngày sửa bài: 13/4/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 23/4/2026

Thu hút đầu tư phát triển hạ tầng đường thủy nội địa theo hướng chống biến đổi khí hậu - nghiên cứu tại tỉnh Đồng Tháp

Investment attraction for the development of inland waterway infrastructure toward climate change adaptation: A case study in Dong Thap province

> THS LÊ PHI VŨ[1], PGS.TS DƯƠNG HỮU TUYẾN[2,*]
[1]Ban Quản lý dự án Đầu tư xây dựng khu vực 4 tỉnh Đồng Tháp
[2]Trường Đại học Giao thông vận tải
[*]Email: dhtuyen@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu nhằm phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến thu hút đầu tư phát triển hạ tầng giao thông đường thủy nội địa theo hướng thích ứng với biến đổi khí hậu, với trường hợp nghiên cứu tại tỉnh Đồng Tháp. Trên cơ sở tổng quan lý thuyết và các nghiên cứu trước, mô hình nghiên cứu được xây dựng với 4 nhóm yếu tố chính gồm: Thể chế - chính sách, kinh tế - tài chính, điều kiện tự nhiên và biến đổi khí hậu, cùng với thị trường và nhu cầu vận tải. Dữ liệu nghiên cứu được thu thập từ 89 doanh nghiệp và chuyên gia trong lĩnh vực đầu tư và giao thông vận tải. Kết quả nghiên cứu cho thấy, yếu tố thị trường và nhu cầu vận tải có tác động mạnh nhất, tiếp đến là thể chế - chính sách và hiệu quả kinh tế - tài chính, trong khi rủi ro từ điều kiện tự nhiên và biến đổi khí hậu có tác động tiêu cực. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất các hàm ý chính sách như hoàn thiện khung thể chế, nâng cao hiệu quả tài chính dự án, phát triển thị trường vận tải và tăng cường các giải pháp thích ứng với biến đổi khí hậu nhằm thu hút đầu tư bền vững vào hạ tầng giao thông thủy nội địa.

Từ khóa: Hạ tầng giao thông thủy nội địa; thu hút đầu tư; biến đổi khí hậu; Đồng Tháp.

ABSTRACT

This study aims to analyze the factors influencing investment attraction in the development of inland waterway transport infrastructure toward climate change adaptation, with a case study in Dong Thap province. Based on a review of theoretical frameworks and previous studies, the research model is constructed with four main groups of factors: Institutional and policy framework, economic-financial conditions, natural conditions and climate change and market demand for transport services. The research data were collected from 89 enterprises and experts in the fields of investment and transportation.

The results indicate that market demand for transport has the strongest impact on investment attraction, followed by institutional–policy factors and economic-financial efficiency, while risks from natural conditions and climate change have a negative effect. Based on these findings, the study proposes policy implications, including improving institutional frameworks, enhancing project financial efficiency, developing transport markets and strengthening climate adaptation measures to promote sustainable investment in inland waterway infrastructure.

Keywords: Inland waterway infrastructure; investment attraction; climate change; Tien Giang.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu ngày càng gia tăng với các biểu hiện như xâm nhập mặn, sạt lở và biến động dòng chảy, yêu cầu đặt ra là phát triển hạ tầng giao thông thủy không chỉ theo hướng mở rộng mà còn phải thích ứng linh hoạt với điều kiện tự nhiên biến đổi. Nhằm định hướng phát triển dài hạn, Quyết định số 1829/QĐ-TTg ngày 31/10/2021 đã phê duyệt Quy hoạch kết cấu hạ tầng đường thủy nội địa giai đoạn 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050, tạo cơ sở thúc đẩy phát triển vận tải thủy và nâng cao năng lực logistics. Tuy nhiên, việc triển khai trên thực tế còn nhiều hạn chế, đặc biệt tại các địa phương như Đồng Tháp - nơi có lợi thế lớn về hệ thống sông Tiền, sông Hậu và mạng lưới kênh rạch dày đặc. Hạ

tầng giao thông thủy tại đây gắn chặt với phát triển nông nghiệp, nông thôn, nhưng vẫn thiếu đồng bộ và chịu tác động mạnh của biến đổi khí hậu.

Bên cạnh đó, vấn đề an ninh nguồn nước ngày càng trở nên cấp thiết khi Đồng Tháp nằm ở khu vực hạ lưu sông Mê Kông và phụ thuộc lớn vào nguồn nước từ thượng nguồn.

Với tác động lớn của biến đổi khí hậu làm thay đổi dòng chảy, ảnh hưởng đến nguồn nước, phù sa cũng như điều kiện khai thác giao thông thủy. Những tác động này không chỉ ảnh hưởng đến sản xuất nông nghiệp mà còn làm gia tăng rủi ro và giảm hiệu quả đầu tư hạ tầng.

Trong khi đó, nguồn lực đầu tư từ ngân sách nhà nước còn hạn chế, chưa đáp ứng nhu cầu phát triển trong dài hạn. Do đó, việc thu hút nguồn lực từ khu vực tư nhân vào phát triển hạ tầng giao thông thủy nội địa theo hướng thích ứng với biến đổi khí hậu và đảm bảo an ninh nguồn nước là yêu cầu cấp thiết. Đây không chỉ là giải pháp nâng cao năng lực vận tải, giảm chi phí logistics mà còn góp phần đảm bảo phát triển bền vững nông nghiệp và kinh tế địa phương. Nghiên cứu nhằm phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến thu hút đầu tư phát triển hạ tầng giao thông đường thủy nội địa theo hướng thích ứng với biến đổi khí hậu, với trường hợp nghiên cứu tại tỉnh Đồng Tháp. Trên cơ sở tổng quan lý thuyết và các nghiên cứu trước, mô hình nghiên cứu được xây dựng với 4 nhóm yếu tố chính gồm: thể chế - chính sách, kinh tế - tài chính, điều kiện tự nhiên và biến đổi khí hậu, cùng với thị trường và nhu cầu vận tải.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VỀ THU HÚT ĐẦU TƯ PHÁT TRIỂN HẠ TẦNG ĐƯỜNG THỦY NỘI ĐỊA

2.1. Khái niệm và đặc điểm hạ tầng giao thông thủy nội địa

Kết cấu hạ tầng giao thông đường thủy nội địa được hiểu là tổng thể cơ sở hạ tầng kỹ thuật phục vụ cho hoạt động vận tải trên sông, kênh, rạch, bao gồm luồng tuyến, hành lang bảo vệ luồng, cảng và bến thủy nội địa, khu neo đậu, âu tàu, công trình điều tiết giao thông, hệ thống báo hiệu và các công trình phụ trợ khác theo quy định tại khoản 1 Điều 3 Nghị định 08/2021/NĐ-CP. Đây là một bộ phận quan trọng trong hệ thống kết cấu hạ tầng giao thông quốc gia, đóng vai trò hỗ trợ vận chuyển hàng hóa khối lượng lớn với chi phí thấp và mức phát thải môi trường tương đối thấp so với các phương thức vận tải khác.

Hạ tầng giao thông thủy nội địa mang những đặc điểm riêng biệt so với các loại hình hạ tầng khác. Trước hết, loại hình này phụ thuộc lớn vào điều kiện tự nhiên và thủy văn như mực nước, dòng chảy, bồi lắng và xói lở, do đó chịu tác động rõ rệt của biến đổi khí hậu (Boudhoum et al., 2022). Bên cạnh đó, mặc dù chi phí đầu tư ban đầu cho việc nạo vét, xây dựng cảng bến và công trình điều tiết tương đối lớn, song chi phí vận hành và khai thác thấp, tạo lợi thế về hiệu quả kinh tế trong dài hạn. Ngoài ra, hạ tầng đường thủy nội địa có tính kết nối liên vùng cao, đặc biệt tại các khu vực có mạng lưới sông ngòi dày đặc như đồng bằng sông Cửu Long, góp phần thúc đẩy giao thương nội địa và xuyên biên giới (Belkin et al., 2023). Tuy nhiên, hạn chế lớn của loại hình này là khả năng huy động vốn xã hội hóa còn hạn chế, thời gian thu hồi vốn dài và rủi ro chịu tác động của các yếu tố tự nhiên, đòi hỏi phải có cơ chế chính sách phù hợp để thu hút đầu tư bền vững.

2.2. Các yếu tố ảnh hưởng đến thu hút đầu tư theo hướng chống biến đổi khí hậu

Thu hút đầu tư vào hạ tầng giao thông thủy nội địa, đặc biệt trong bối cảnh thích ứng với biến đổi khí hậu, chịu tác động tổng hợp của nhiều nhóm yếu tố, trong đó nổi bật là 4 yếu tố cốt lõi gồm thể chế - chính sách, kinh tế - tài chính, điều kiện tự nhiên và thị trường vận tải. Trước hết, yếu tố thể chế và chính sách đóng vai trò nền tảng, khi một khung pháp lý ổn định, minh bạch cùng với các cơ chế ưu đãi và chia sẻ rủi ro hợp lý sẽ làm gia tăng niềm tin của nhà đầu tư, đặc biệt đối với các dự án hạ tầng có vòng đời dài và mức độ bất định cao (Linh & Phương, 2016). Tiếp theo, yếu tố kinh tế - tài chính phản ánh trực tiếp tính hấp dẫn của dự án thông qua các chỉ tiêu như khả năng sinh lời, thời gian hoàn vốn và cấu trúc vốn. Trong đó, các dự án hạ tầng đường thủy thường gặp bất lợi do thời gian thu hồi vốn kéo dài, làm gia tăng rào cản đối với khu vực tư nhân (Giao et al., 2015).

Bên cạnh đó, điều kiện tự nhiên và tác động của biến đổi khí hậu là yếu tố đặc thù, có ảnh hưởng hai chiều đến quyết định đầu tư. Một mặt, hệ thống sông ngòi tạo lợi thế phát triển vận tải thủy; mặt khác, các hiện tượng như xâm nhập mặn, thay đổi dòng chảy, bồi lắng và sạt lở lại làm gia tăng chi phí đầu tư, vận hành và rủi ro dự án (Boudhoum et al., 2022). Cuối cùng, yếu tố thị trường và nhu cầu vận tải đóng vai trò động lực, khi quy mô và tốc độ tăng trưởng của nhu cầu vận chuyển hàng hóa sẽ quyết định trực tiếp đến doanh thu và tính khả thi của dự án. Việc quy hoạch và mở rộng các hành lang vận tải thủy trọng điểm theo định hướng quốc gia góp phần nâng cao tiềm năng thị trường, qua đó cải thiện sức hấp dẫn đầu tư vào lĩnh vực này.

2.3. Giả thuyết nghiên cứu

Trên cơ sở khung lý thuyết và các yếu tố ảnh hưởng đã được xác định, nghiên cứu xây dựng hệ thống giả thuyết nhằm kiểm định mối quan hệ giữa các nhân tố và khả năng thu hút đầu tư vào hạ tầng giao thông thủy nội địa theo hướng thích ứng với biến đổi khí hậu.

Giả thuyết H1 (Thể chế - chính sách): Khung thể chế và chính sách càng minh bạch, ổn định và có cơ chế ưu đãi, chia sẻ rủi ro hợp lý thì mức độ thu hút đầu tư vào hạ tầng giao thông thủy nội địa càng cao.

Giả thuyết H2 (Kinh tế - tài chính): Hiệu quả kinh tế - tài chính của dự án (thể hiện qua khả năng sinh lời, dòng tiền ổn định và thời gian hoàn vốn hợp lý) có tác động tích cực đến quyết định đầu tư của nhà đầu tư.

Giả thuyết H3 (Điều kiện tự nhiên và biến đổi khí hậu): Mức độ rủi ro do điều kiện tự nhiên bất lợi và tác động của biến đổi khí hậu (xâm nhập mặn, sạt lở, bồi lắng…) càng cao thì khả năng thu hút đầu tư càng giảm.

Giả thuyết H4 (Thị trường và nhu cầu vận tải): Quy mô và tiềm năng tăng trưởng của nhu cầu vận tải thủy nội địa càng lớn thì khả năng thu hút đầu tư vào hạ tầng càng cao.

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Để kiểm định các giả thuyết đã đề xuất, nghiên cứu sử dụng kết hợp phương pháp định tính và định lượng nhằm đảm bảo tính toàn diện và độ tin cậy của kết quả.

Trước hết, phương pháp nghiên cứu định tính được sử dụng thông qua tổng quan tài liệu và tham vấn chuyên gia nhằm xác định, hiệu chỉnh các biến quan sát và xây dựng mô hình nghiên cứu phù hợp với bối cảnh hạ tầng giao thông thủy nội địa tại Việt Nam, đặc biệt là khu vực đồng bằng sông Cửu Long. Các thang đo được kế thừa và điều chỉnh từ các nghiên cứu trước (Giao et al., 2015; Boudhoum et al., 2022; Belkin et al., 2023), đảm bảo tính phù hợp với mục tiêu nghiên cứu về thu hút đầu tư trong điều kiện biến đổi khí hậu.

Tiếp theo, phương pháp nghiên cứu định lượng được triển khai thông qua khảo sát bằng bảng hỏi cấu trúc. Đối tượng khảo sát bao gồm các nhóm liên quan trực tiếp đến đầu tư hạ tầng giao thông thủy nội địa như: Cơ quan quản lý nhà nước, doanh nghiệp vận tải thủy, nhà đầu tư và chuyên gia trong lĩnh vực giao thông - hạ tầng. Dữ liệu được thu thập chủ yếu tại tỉnh Đồng Tháp - địa phương điển hình chịu tác động mạnh của biến đổi khí hậu và có tiềm năng phát triển vận tải thủy nội địa. Các biến nghiên cứu được

đo lường bằng thang đo Likert 5 mức độ (từ 1 - Hoàn toàn không đồng ý đến 5 - Hoàn toàn đồng ý). Đối tượng khảo sát trực tiếp là lãnh đạo và cán bộ quản lý cấp cao của các doanh nghiệp tư nhân (giám đốc, phó giám đốc, trưởng bộ phận đầu tư, tài chính) cùng với các chuyên gia có kinh nghiệm trong lĩnh vực đầu tư hạ tầng và giao thông vận tải. Việc lựa chọn nhóm đối tượng này nhằm đảm bảo người trả lời có đủ năng lực chuyên môn và thông tin để đánh giá chính xác các yếu tố tác động đến thu hút đầu tư.

4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

4.1. Mẫu nghiên cứu

Tổng số phiếu khảo sát hợp lệ thu thập được là 89 mẫu, bao gồm cả doanh nghiệp và chuyên gia. Trong đó, nhóm doanh nghiệp chiếm tỷ trọng lớn, phản ánh vai trò trung tâm của khu vực tư nhân trong đầu tư hạ tầng, trong khi nhóm chuyên gia đóng vai trò bổ trợ, giúp nâng cao tính khách quan và chiều sâu phân tích. Về cơ cấu lĩnh vực hoạt động, các doanh nghiệp tham gia khảo sát chủ yếu hoạt động trong các lĩnh vực vận tải thủy nội địa, logistics, xây dựng hạ tầng và dịch vụ logistics liên quan.

4.2. Kết quả phân tích dữ liệu

Kết quả phân tích dữ liệu được thực hiện thông qua các bước kiểm định độ tin cậy thang đo và phân tích nhân tố khám phá, nhằm đánh giá mức độ phù hợp của các biến quan sát trong mô hình nghiên cứu.

Yếu tố	Đo lường	Mean	SD	Cronbach's Alpha & KMO	Nguồn
Thể chế - chính sách (POL)	POL1: Hệ thống pháp luật về đầu tư hạ tầng giao thông thủy nội địa rõ ràng và minh bạch. POL2: Chính sách ưu đãi đầu tư (thuế, đất đai, tín dụng) đủ hấp dẫn đối với doanh nghiệp. POL3: Cơ chế chia sẻ rủi ro giữa Nhà nước và nhà đầu tư là hợp lý. POL4: Thủ tục hành chính trong đầu tư hạ tầng được thực hiện nhanh chóng, thuận tiện. POL5: Quy hoạch phát triển hạ tầng giao thông thủy có tính ổn định và dài hạn.	3,78	0,65	Alpha = 0,842; KMO = 0,781	Linh & Phương (2016)
Kinh tế - tài chính (FIN)	FIN1: Dự án hạ tầng giao thông thủy có khả năng sinh lời hấp dẫn. FIN2: Thời gian thu hồi vốn của dự án là hợp lý. FIN3: Nguồn vốn huy động cho dự án (tín dụng, PPP…) dễ tiếp cận. FIN4: Chi phí đầu tư và vận hành dự án ở mức chấp nhận được.	3,69	0,72	Alpha = 0,816; KMO = 0,756	Giao et al. (2015)
Điều kiện tự nhiên & BĐKH (CLI)	CLI1: Tình trạng xâm nhập mặn ảnh hưởng tiêu cực đến hiệu quả đầu tư. CLI2: Hiện tượng sạt lở, bồi lắng gây khó khăn cho khai thác hạ tầng. CLI3: Biến đổi mực nước và dòng chảy làm gia tăng chi phí vận hành. CLI4: Rủi ro khí hậu làm giảm tính hấp dẫn của các dự án đầu tư.	3,54	0,70	Alpha = 0,798; KMO = 0,742	Boudhoum et al. (2022)
Thị trường & nhu cầu (DEM)	DEM1: Nhu cầu vận tải hàng hóa bằng đường thủy có xu hướng tăng. DEM2: Quy mô thị trường vận tải đủ lớn để đảm bảo doanh thu dự án. DEM3: Các hành lang vận tải thủy được quy hoạch tạo thuận lợi cho khai thác. DEM4: Kết nối giữa đường thủy với các phương thức vận tải khác ngày càng cải thiện.	3,92	0,61	Alpha = 0,861; KMO = 0,803	Belkin et al. (2023)
Thu hút đầu tư (INV)	INV1: Doanh nghiệp sẵn sàng tham gia đầu tư vào hạ tầng giao thông thủy nội địa. INV2: Doanh nghiệp có kế hoạch mở rộng đầu tư trong lĩnh vực này. INV3: Môi trường đầu tư hiện tại đủ hấp dẫn để thu hút vốn tư nhân.	3,75	0,66	Alpha = 0,825; KMO = 0,768	Tổng hợp

Kết quả cho thấy các thang đo đều có hệ số Cronbach's Alpha lớn hơn 0,7, chứng tỏ độ tin cậy tốt và các biến quan sát có sự nhất quán nội tại cao. Đồng thời, chỉ số KMO đều lớn hơn 0,7, cho thấy dữ liệu phù hợp để thực hiện phân tích nhân tố khám phá (EFA).

Giá trị trung bình (Mean) của các yếu tố dao động từ 3,54 đến 3,92, phản ánh mức độ đánh giá khá tích cực của các đối tượng khảo sát đối với các yếu tố ảnh hưởng đến thu hút đầu tư. Trong đó, yếu tố thị trường và nhu cầu vận tải (DEM) có giá trị trung bình cao nhất (3,92), cho thấy đây là yếu tố được đánh giá quan trọng hàng đầu trong việc thúc đẩy đầu tư. Ngược lại, yếu tố điều kiện tự nhiên và biến đổi khí hậu (CLI) có giá trị thấp hơn (3,54), phản ánh mức độ lo ngại nhất định của nhà đầu tư đối với rủi ro môi trường.

4.3. Kiểm định giả thuyết nghiên cứu

Trên cơ sở các thang đo đã được kiểm định về độ tin cậy và giá trị, nghiên cứu tiến hành phân tích hồi quy tuyến tính đa biến nhằm kiểm định các giả thuyết đã đề xuất. Kết quả hồi quy cho thấy mô hình có ý nghĩa thống kê với hệ số R^2 hiệu chỉnh đạt 0,621, nghĩa là các biến độc lập giải thích được 62,1% sự biến thiên của biến phụ thuộc. Kiểm định F có giá trị Sig. < 0,05, chứng tỏ mô hình phù hợp với dữ liệu khảo sát. Đồng thời, các hệ số VIF đều nhỏ hơn 2, cho thấy không tồn tại hiện tượng đa cộng tuyến giữa các biến độc lập.

Kết quả ước lượng mô hình hồi quy chuẩn hóa như sau:

$$INV=0,312POL+0,284FIN-0,198CLI+0,356DEM+\varepsilon$$

Giả thuyết H1 (POL → INV) được chấp nhận với hệ số β = 0,312 (Sig. = 0,001), cho thấy các yếu tố như tính minh bạch của pháp luật (POL1), chính sách ưu đãi (POL2), cơ chế chia sẻ rủi ro (POL3), cải cách thủ tục hành chính (POL4) và tính ổn định của quy hoạch (POL5) có tác động tích cực đến thu hút đầu tư.

Giả thuyết H2 (FIN → INV) được chấp nhận với β = 0,284 (Sig. = 0,003), phản ánh các yếu tố về hiệu quả tài chính như khả năng sinh lời (FIN1), thời gian hoàn vốn (FIN2), khả năng tiếp cận nguồn vốn (FIN3) và chi phí đầu tư (FIN4) đều góp phần thúc đẩy quyết định đầu tư.

Giả thuyết H3 (CLI → INV) được chấp nhận với β = -0,198 (Sig. = 0,021), cho thấy các rủi ro từ xâm nhập mặn (CLI1), sạt lở - bồi lắng (CLI2), biến động dòng chảy (CLI3) và tác động của biến đổi khí hậu (CLI4) làm giảm mức độ hấp dẫn của các dự án.

Giả thuyết H4 (DEM → INV) được chấp nhận với β = 0,356 (Sig. = 0,000) và là yếu tố có tác động mạnh nhất, cho thấy nhu cầu vận tải (DEM1), quy mô thị trường (DEM2), sự phát triển của hành lang vận tải (DEM3) và khả năng kết nối đa phương thức (DEM4) đóng vai trò quyết định trong việc thu hút đầu tư.

5. KẾT LUẬN VÀ HÀM Ý CHÍNH SÁCH

Nghiên cứu đã làm rõ các yếu tố ảnh hưởng đến thu hút đầu tư phát triển hạ tầng giao thông thủy nội địa theo hướng thích ứng với biến đổi khí hậu tại tỉnh Đồng Tháp. Kết quả cho thấy các yếu tố thị trường và nhu cầu vận tải, thể chế - chính sách và hiệu quả kinh tế - tài chính đều có tác động tích cực đến thu hút đầu tư, trong khi các rủi ro từ điều kiện tự nhiên và biến đổi khí hậu có tác động tiêu cực. Đồng thời, nghiên cứu cũng chỉ ra thực tế rằng giao thông thủy nội địa - dù có nhiều lợi thế trong vận chuyển nông sản, thủy sản và phát triển kinh tế nông thôn - vẫn chưa được quan tâm đầu tư tương xứng, làm hạn chế khả năng khai thác tiềm năng của địa phương.

Bên cạnh đó, yếu tố an ninh nguồn nước ngày càng trở nên quan trọng trong bối cảnh Đồng Tháp nằm ở khu vực hạ lưu sông Mê Kông, chịu ảnh hưởng từ các hoạt động khai thác và điều tiết nước ở thượng nguồn, đặc biệt là đặc biệt tác động của biến đổi khí hậu. Những thay đổi về dòng chảy, phù sa và mực nước không chỉ ảnh hưởng đến sản xuất nông nghiệp mà còn tác động trực tiếp đến hiệu quả đầu tư và khai thác hạ tầng giao thông thủy nội địa.

Từ kết quả nghiên cứu, một số hàm ý chính sách được đề xuất theo hướng toàn diện hơn. Trước hết, cần nâng cao vai trò của Nhà nước trong định hướng và ưu tiên phát triển giao thông thủy nội địa thông qua hoàn thiện thể chế, tăng cường đầu tư công có trọng điểm và xây dựng cơ chế khuyến khích khu vực tư nhân tham gia. Đồng thời, cần cải thiện hiệu quả tài chính của dự án thông qua các chính sách hỗ trợ như ưu đãi thuế, tín dụng và chia sẻ rủi ro nhằm gia tăng sức hấp dẫn đầu tư.

Đặc biệt, một yêu cầu mang tính nền tảng là phát triển nguồn nhân lực có trình độ và trách nhiệm, đủ năng lực quản lý, lập quy hoạch và triển khai các dự án hạ tầng trong bối cảnh mới. Điều này đòi hỏi phải đổi mới mô hình quản lý và phát triển hạ tầng giao thông thủy nội địa theo hướng tích hợp đa mục tiêu (vận tải - thích ứng biến đổi khí hậu - phát triển nông nghiệp), thay vì cách tiếp cận phân tán như hiện nay. Đồng thời, cần đẩy mạnh đào tạo và đào tạo lại nguồn nhân lực, tập trung vào các lĩnh vực như quản lý dự án hạ tầng, tài chính đầu tư, quy hoạch tích hợp và thích ứng biến đổi khí hậu, gắn với nhu cầu thực tiễn của địa phương.

Bên cạnh đó, cần có các giải pháp khắc phục những hạn chế hiện tại như hoàn thiện quy hoạch, nâng cấp và chuẩn hóa luồng tuyến, cảng bến, tăng cường kết nối đa phương thức và cải thiện môi trường đầu tư. Việc phát triển thị trường vận tải cũng cần được thúc đẩy, gắn với chuỗi giá trị nông nghiệp và xuất khẩu nông sản, thủy sản nhằm tạo động lực bền vững cho thu hút đầu tư.

Đối với vấn đề an ninh nguồn nước, cần triển khai các giải pháp tổng thể như tăng cường hợp tác quốc tế trong quản lý lưu vực sông Mê Kông, chủ động theo dõi và đánh giá tác động từ các công trình thượng nguồn, đồng thời đầu tư hệ thống quan trắc, dự báo và điều tiết nguồn nước. Song song đó, cần điều chỉnh quy hoạch hạ tầng giao thông thủy theo các kịch bản biến đổi dòng chảy, đảm bảo khả năng thích ứng linh hoạt và giảm thiểu rủi ro cho các dự án.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Belkin, Y. D., et al. Assessing the impact of investment projects for the development of inland waterway transport on social and economic indicators in regions. Economic Studies, 32(1), 2023.

[2] Boudhoum, O., Oztanriseven, F., & Nachtmann, H. Value-focused inland waterway infrastructure investment decisions. Engineering Management Journal, 34(2), 265-280, 2022, https://doi.org/10.1080/10429247.2021.1961007.

[3] Giao, H. N. K., Hồng, H. K., & Trâm Anh, H. D. T. Nghiên cứu các yếu tố tác động đến thu hút vốn đầu tư vào tỉnh Cà Mau. Tạp chí Khoa học Đại học Mở TP Hồ Chí Minh - Kinh tế và Quản trị Kinh doanh, (2),tr. 85-97, 2015.

[4] Linh, N. T. M., & Phương, L. C. M. Thu hút nguồn vốn tư nhân đầu tư vào cơ sở hạ tầng: Bằng chứng thực nghiệm từ một số nước và khuyến nghị cho Việt Nam. Tạp chí Phát triển Kinh tế, (27), tr. 2-17, 2016.

[5] Liên, N. T. và cộng sự. Đánh giá các yếu tố ảnh hưởng đến năng lực cạnh tranh của ngành vận tải thủy nội địa khu vực phía Bắc Việt Nam. Tạp chí Khoa học Công nghệ hàng hải, 84, tr. 270 - 275, 2025.

[6] Nhân, N. C. Nghiên cứu thu hút đầu tư hạ tầng giao thông vào vùng đất nhiễm mặn dọc sông Tiền làm cơ sở phát triển du lịch và nông nghiệp. Tạp chí Vật liệu và Xây dựng, 16(01), 180, 2026.

[7] Quốc hội. Nghị định số 08/2021/NĐ-CP ngày 28/01/2021 về quản lý hoạt động đường thủy nội địa, 2021.

[8] Thủ tướng Chính phủ. Quyết định số 1829/QĐ-TTg ngày 31/10/2021 phê duyệt Quy hoạch kết cấu hạ tầng đường thủy nội địa thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050, 2021.

■Ngày nhận bài: 31/3/2026 ■Ngày sửa bài: 10/4/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 23/4/2026

Phân tích hiệu ứng vòm của hệ nền cọc CFG cho công trình đường sắt tốc độ cao bằng mô hình số

Nummerical analysis of soil arching effect of CFG pile foundation for high-speed railway

> THS NGUYỄN HẢI HÀ, THS LÊ THỊ HỒNG VÂN*, TS NGUYỄN THÁI LINH, TRẦN QUANG HUY, NGUYỄN SỸ PHI DƯƠNG, PHAN HỒNG ĐĂNG
Trường Đại học Giao thông vận tải
*Email: hongvandkt@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả phân tích số về hiệu ứng vòm đất trong hệ nền cọc CFG (Cement-Fly ash-Gravel) kết hợp lưới địa kỹ thuật cho đoạn đường sắt tốc độ cao (ĐSTĐC) đi qua Ga Vinh, Nghệ An. Mô hình phần tử hữu hạn 2D được xây dựng trong PLAXIS 2D trên cơ sở điều kiện địa chất đặc trưng của khu vực với lớp bùn sét Holocen rất yếu (e > 1,6) và hệ cọc CFG (D = 0,5 m, L = 22 m, bố trí theo lưới vuông 2,0 × 2,0 m). Kết quả cho thấy ứng suất nén hữu hiệu tập trung mạnh tại cọc với σ'_{vmax} = 742,9 kN/m², trong khi đất giữa các cọc chỉ chịu khoảng 81,66 kN/m², tương ứng hệ số tập trung ứng suất n ≈ 9,1, lớn hơn giá trị đo được trong thí nghiệm quy mô thực của Wu (2018). Chiều cao vòm đất tính theo công thức Terzaghi đạt harch ≈ 1,44 m và được xác nhận qua phân bố trường ứng suất trong mô hình, cho thấy vòm đất phát triển toàn phần trong nền đắp. Nghiên cứu bước đầu cung cấp các dẫn liệu định lượng làm cơ sở cho sử dụng cọc CFG trong xử lý nền đất yếu cho công trình ĐSTĐC.

Từ khóa: Cọc CFG; hiệu ứng vòm; đường sắt tốc độ cao; lưới địa kỹ thuật; PLAXIS 2D.

ABSTRACT

This paper presents a numerical investigation of the soil arching effect in a cement-fly ash-gravel (CFG) pile foundation combined with geogrid reinforcement for a high-speed railway (HSR) section at Vinh Station, Vietnam. A two-dimensional finite element model was developed in PLAXIS 2D to represent the local geological conditions, characterized by very soft Holocene clay with a natural void ratio higher than 1.6 and a CFG pile system with 0.5 m diameter, 22 m length and a 2.0 × 2.0 m pile spacing. The computed vertical effective stress field shows a pronounced stress concentration on the piles, with a maximum value of σ'_{vmax} = 742.9 kN/m², whereas the soil between piles carries only about 81.66 kN/m², resulting in a stress concentration ratio of n ≈ 9.1, which is higher than the value n = 7.5 reported by Wu (2018) for CFG pile-supported embankments on completely decomposed granite. The theoretical arching height obtained from Terzaghi's formulation is harch ≈ 1.44 m and is consistent with the stress contours from the numerical model, indicating the development of a full soil arch within the embankment. This study constitutes the first systematic case study on the soil arching mechanism of a CFG pile-geogrid composite foundation for HSR in Vietnam.

Keywords: CFG pile; soil arching effect; high-speed railway (HSR); geogrid; PLAXIS 2D.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

ĐSTĐC Bắc - Nam dự kiến khai thác với vận tốc 350 km/h và tải trọng trục tiêu chuẩn 225 kN, do đó yêu cầu kiểm soát biến dạng nền đường nghiêm ngặt hơn nhiều so với đường sắt thông thường. Các nghiên cứu về nền đường trên đất yếu ở Trung Quốc, Nhật Bản và châu Âu đều chỉ ra rằng lún dư và lún chênh là các tham số quyết định tới an toàn động lực học và độ êm thuận bánh-ray, thông qua ảnh hưởng trực tiếp đến biên độ và tần suất lực tương tác bánh-ray.

Theo các tiêu chuẩn thiết kế ĐSTĐC như TB 10621-2009 của Trung Quốc [1], lún sau xây dựng phải được khống chế trong giới

hạn vài centimet, còn lún chênh tại các vị trí nhạy cảm như vùng tiếp giáp cầu-nền đường chỉ được phép ở mức vài milimét. Các khảo sát trường trên tuyến Bắc Kinh - Thượng Hải và một số tuyến khác cho thấy, với nền đắp trên bùn sét Holocen dày, các giải pháp xử lý truyền thống (gia tải trước, bấc thấm) khó đáp ứng đồng thời yêu cầu về lún dư và lún chênh nếu không kết hợp giải pháp gia cố sâu bằng cọc.

Trong bối cảnh đó, hệ nền cọc CFG (Cement-Fly ash-Gravel) kết hợp lưới địa kỹ thuật đã được áp dụng rộng rãi cho nền đường và đoạn chuyển tiếp ĐSTĐC trên đất yếu, nhờ khả năng gia tăng độ cứng tổng thể, giảm lún và đặc biệt là tái phân bố trường ứng suất trong khối nền đắp. Cơ chế làm việc chủ đạo của hệ này là hiệu ứng vòm đất: Ứng suất thẳng đứng trong nền đắp được chuyển hướng dần sang các phần tử cứng hơn (cọc) thông qua ứng suất cắt và ma sát, làm giảm đáng kể áp lực tác dụng lên đất yếu giữa các cọc.

Tổng quan của Uge và Guo (2020) [2] cho thấy hiệu ứng vòm trong hệ nền cọc CFG phát triển mạnh dần theo thời gian cố kết, phụ thuộc chủ yếu vào độ lún chênh giữa cọc và đất, với mặt trượt tương đương có thể biểu diễn dạng nón khuếch tán hoặc vòm đồng tâm 3D tùy chiều dày lớp đệm và bước cọc. Khi bố trí lưới địa kỹ thuật trong lớp đệm, lưới làm việc như một màng chịu kéo, uốn võng theo lún của đất giữa cọc, tạo thêm thành phần lực thẳng đứng hướng lên và truyền thêm tải trọng vào đầu cọc. Các nghiên cứu của Han & Gabr (2002) và Wu (2018) cho thấy sự kết hợp này làm tăng đáng kể hệ số tập trung ứng suất trên cọc và đồng thời giảm lún chênh trên mặt nền đắp [3, 4].

Bài báo này tập trung vào phân tích cơ chế phân bố ứng suất và hình thành hiệu ứng vòm trong hệ nền cọc CFG - lưới địa kỹ thuật cho trường hợp cụ thể tại Ga Vinh, với điều kiện địa chất đặc trưng là các lớp bùn sét Holocen rất yếu bão hòa nước. Trên cơ sở mô hình phần tử hữu hạn PLAXIS 2D, nghiên cứu định lượng hệ số tập trung ứng suất n và chiều cao vòm đất h_{arch}, đồng thời đối chiếu các giá trị thu được với kết quả đo đạc và mô phỏng trong các nghiên cứu quy mô thực trên các tuyến ĐSTĐC tại Trung Quốc, qua đó bước đầu đánh giá hiệu quả của giải pháp sử dụng cọc CFG trong xử lý nền đất yếu cho công trình ĐSTĐC.

2. ĐẶC ĐIỂM ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH KHU VỰC NGHIÊN CỨU

Ga Vinh được quy hoạch là một trong những ga trọng điểm trên tuyến ĐSTĐC Bắc - Nam, đóng vai trò là đầu mối giao thông huyết mạch kết nối khu vực Bắc Trung Bộ với hai trung tâm kinh tế lớn là Hà Nội và TP Hồ Chí Minh.



Hình 1. Sơ đồ vị trí khu vực nghiên cứu

Theo Báo cáo nghiên cứu tiền khả thi Dự án ĐSTĐC Bắc - Nam (Bộ Giao thông vận tải, 2024), ga được định hướng xây dựng tại xã Hưng Tây, huyện Hưng Nguyên, tỉnh Nghệ An (nay là xã Hưng Nguyên, tỉnh Nghệ An) nằm trong quy hoạch phát triển không gian đô thị mở rộng của TP Vinh.

Bảng 1. Tổng hợp các thông số đặc trưng tính chất của đất nền

Lớp	γ (kN/m³)	e	Δ	γ_{bh} (kN/m³)	c (kPa)	φ°
Bùn	16,38	1,32	2,64	16,74	5	7
Bùn pha	16,58	1,3	2,64	16,80	6	7
Cát	17,27	0,94	2,62	18,00	5	16,3
Cát	17,27	0,94	2,62	18,00	5	16,3
Cát	15,11	1,57	2,67	16,18	7	7,5

Đặc điểm địa chất công trình tại khu vực Ga Vinh có sự hiện diện của các lớp đất yếu xen kẹp phức tạp. Kết quả khảo sát địa chất cho thấy lớp bề mặt là bùn pha cát màu xám đen, trạng thái chảy đến dẻo mềm, có độ bão hòa nước cao (S_r > 90%) và sức kháng cắt rất thấp. Đặc biệt, mực nước ngầm nông (cách mặt đất 0,5 - 1,0 m) kết hợp với chế độ thủy văn biến đổi theo mùa của sông Lam làm gia tăng nguy cơ lún cố kết lâu dài và lún lệch giữa các hạng mục công trình (giữa nền đường đắp cao và kết cấu cứng như nhà ga, cầu cạn).

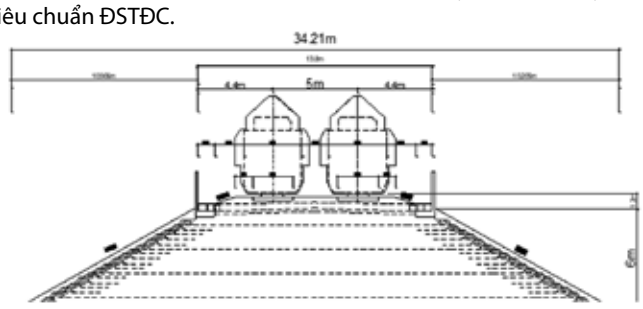
Yêu cầu vận hành khai thác với tốc độ 350 km/h tại khu vực cận ga đòi hỏi độ bằng phẳng tuyệt đối của hệ thống đường ray. Bất kỳ sự lún lệch nào vượt quá giới hạn cho phép (ΔS ≤ 5 mm tại các vị trí tiếp giáp) đều có thể dẫn đến sự mất ổn định động lực học, gây rung lắc mạnh và uy hiếp an toàn chạy tàu. Do đó, bài toán xử lý nền đất yếu tại Ga Vinh không chỉ dừng lại ở việc đảm bảo sức chịu tải mà quan trọng hơn là kiểm soát chặt chẽ biến dạng lún dư và lún lệch theo thời gian, đặt ra nhu cầu cấp thiết về việc áp dụng các giải pháp gia cố sâu tiên tiến như cọc CFG kết hợp hệ lưới địa kỹ thuật.

3. THIẾT LẬP MÔ HÌNH TÍNH TOÁN

Để phân tích ứng xử cơ học phức tạp của hệ nền ĐSTĐC trên nền đất yếu gia cố bằng cọc CFG và lưới địa kỹ thuật, nghiên cứu sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) thông qua phần mềm PLAXIS 2D. Đây là công cụ tính toán chuyên dụng, được công nhận rộng rãi trong cả nghiên cứu và thực hành nhờ khả năng mô phỏng chính xác sự tương tác phi tuyến giữa kết cấu và đất nền. Mô hình bài toán biến dạng phẳng được lựa chọn để phân tích cho mặt cắt ngang điển hình của nền đường, cho phép đánh giá chi tiết trạng thái ứng suất - biến dạng, sự hình thành hiệu ứng vòm đất cũng như cơ chế truyền tải của hệ cọc - lưới trong quá trình thi công và khai thác.

3.1. Thiết lập mô hình hình học

Mô hình hình học được xây dựng dựa trên mặt cắt ngang thiết kế thực tế tại khu vực Ga Vinh (Hình 2). Nền đắp có chiều cao 6,0 m, bề rộng mặt nền 13,8 m đảm bảo bố trí hai tuyến đường ray theo tiêu chuẩn ĐSTĐC.



Hình 2. Mặt cắt ngang tính toán tại Ga Vinh - Nghệ An

Phạm vi biên mô hình được mở rộng đủ lớn (chiều rộng 140 m, chiều sâu 40 m) nhằm loại bỏ ảnh hưởng của điều kiện biên đến vùng chịu lực chính dưới đáy móng. Lưới phần tử hữu hạn được sử dụng là loại phần tử tam giác 15 nút (15-node triangular elements) để đảm bảo độ chính xác cao trong việc nội suy các trường ứng suất và biến dạng, đặc biệt là tại các vùng có gradient ứng suất lớn như mũi cọc và mặt tiếp giáp cọc-đất.

3.2. Thiết lập mô hình vật liệu, điều kiện biên và tải trọng

Việc lựa chọn mô hình vật liệu đóng vai trò quyết định đến độ chính xác của kết quả tính toán. Đối với các lớp đất yếu (bùn sét và bùn pha) có tính năng cơ lý phức tạp, mô hình "Hardening Soil" (HS) được áp dụng. Khác với mô hình Mohr-Coulomb đàn dẻo lý tưởng, mô hình HS có khả năng mô phỏng sự gia tăng độ cứng của đất theo mức độ nén ép và sự phụ thuộc của mô-đun biến dạng vào trạng thái ứng suất, phản ánh sát thực sự làm việc của đất nền dưới tác dụng của tải trọng đắp cao. Các thông số đầu vào cho mô hình tính toán được thể hiện trong bảng

Hệ cọc CFG được mô phỏng dưới dạng phần tử dầm trong PLAXIS, đường kính D = 0,5 m, chiều dài L ≈ 22 m, bố trí theo lưới vuông 2,0 × 2,0 m sao cho mũi cọc cắm tối thiểu 1,0 m vào lớp cát chặt. Mô đun đàn hồi của cọc chọn Ep ≈ 20 GPa, dựa trên dải cường độ và mô đun của bê tông CFG có sử dụng tro bay trong các nghiên cứu thực nghiệm gần đây. Lớp đệm gia tải trên đầu cọc có chiều dày hc ≈ 0,5 m, vật liệu đệm được mô phỏng bằng mô hình Hardening Soil với φ' lớn hơn (khoảng 35°) để phát triển vòm đất hiệu quả.

Bảng 2. Thông số đầu vào cho mô hình tính toán hệ nền-cọc CFG trên Plaixí 2D

Lớp	E_{ref} (MPa)	ν	γ (kN/m³)	c (kPa)	φ°	R_{inter}
Bùn	2,0	0,3	16,4	5	7	0,6
Bùn pha	2,5	0,3	16,6	6	7	0,6
Cát pha	15	0,25	17,3	5	16	0,75
Cát chặt	40	0,2	18,0	0	35	0,8

Lưới địa kỹ thuật được mô hình bằng phần tử geogrid nằm trong lớp đệm, ngay dưới đáy nền đường, với độ cứng kéo J = 2.000 kN/m. Tương tác cọc-đất và đệm-đất được gán thông qua phần tử interface với hệ số giảm cường độ ≈ 0,6 cho các lớp bùn/bùn pha và ≈ 0,8 cho cát pha - cát chặt, phù hợp khuyến nghị trong các nghiên cứu tổng quan về hệ nền cọc CFG.

Điều kiện biên của mô hình được thiết lập theo nguyên tắc tiêu chuẩn: Biên dưới ngàm cố định, hai biên bên sử dụng gối di động. Mực nước ngầm được thiết lập ở độ sâu 1,0 m cách mặt đất tự nhiên, áp lực nước lỗ rỗng ban đầu được tính toán theo quy luật thủy tĩnh.

Tải trọng đoàn tàu ĐSTĐC được mô hình hóa theo dạng tải trọng trục tiêu chuẩn 225 kN, với khoảng cách trục và cấu hình toa phù hợp thiết kế tuyến. Khi chuyển về bài toán nền đường, tải trọng này được quy đổi thành áp lực phân bố đều tương đương p tác dụng trên bề rộng nền đắp chịu tải.

Theo khuyến nghị trong các nghiên cứu động lực học nền ĐSTĐC và tiêu chuẩn thiết kế nền đường sắt cao tốc TB 100012016 [5], trong mô hình, áp lực phân bố đều được lựa chọn p=140 kN/m², tương ứng với trạng thái làm việc bất lợi (tổ hợp gần cực trị) của đoàn tàu chạy với vận tốc thiết kế.

Ảnh hưởng động được xét thông qua hệ số xung kích theo dạng:

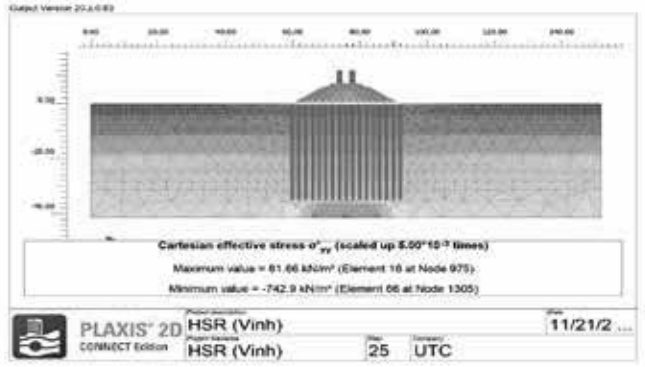
$$F_d = F_s\left(1+\alpha_v.v\right) \quad (1)$$

Trong đó: F_s là tải trọng tĩnh trục 225 kN; v là vận tốc thiết kế (km/h) và α_v=0,003 là hệ số ảnh hưởng vận tốc theo khuyến nghị trong các nghiên cứu thiết kế nền ĐSTĐC của Trung Quốc dựa trên TB 100012016 và các nghiên cứu thực nghiệm gần đây [5]. Từ đó, hệ số xung kích động lực $k_d = \frac{F_d}{F_s} \approx 2,1$ ở vận tốc 350 km/h, được sử dụng để hiệu chỉnh áp lực phân bố đều tương đương trong mô hình tính toán, bảo đảm bài toán phản ánh trường hợp tải trọng bất lợi chứ không chỉ là trạng thái điển hình.

4. KẾT QUẢ PHÂN TÍCH SỰ PHÂN BỐ ỨNG SUẤT VÀ CƠ CHẾ HÌNH THÀNH HIỆU ỨNG VÒM TRONG HỆ NỀN ĐẤT YẾU-CỌC CFG-LƯỚI ĐỊA KỸ THUẬT

4.1. Phân tích sự phân bố ứng suất trong hệ nền-cọc CFG dưới tác dụng của tải trọng

Hình 3 trình bày phân bố ứng suất hữu hiệu thẳng đứng trong toàn bộ mô hình tại giai đoạn cuối tính toán. Kết quả mô phỏng cho thấy sự phân bố không đồng nhất rõ rệt của ứng suất nén hữu hiệu.



Hình 3. Biểu đồ phân bố ứng suất trong nền đất-cọc CFG-lưới ĐKT khi chịu tải trọng

Quan sát biểu đồ, các dải màu nóng (vàng-cam) tập trung dọc theo thân cọc và đặc biệt mạnh tại khu vực mũi cọc cắm vào lớp cát chặt. Giá trị ứng suất nén hiệu quả cực đại đạt 742,9 kN/m² (tại Node 1305, Element 66 theo quy ước nén âm của PLAXIS). Điều này chứng tỏ cọc CFG với E_p=20 GPa đã tiếp nhận phần lớn tải trọng từ nền đắp và truyền xuống tầng chịu lực.

So sánh với nghiên cứu của Zhang et al. (2018) trên tuyến Bắc Kinh - Thượng Hải, ứng suất đỉnh cọc đo được khoảng 600 - 800 kN/m² cho cọc CFG D = 0,6 m, kết quả mô phỏng của nghiên cứu này (742,9 kN/m² với D = 0,5 m) nằm trong khoảng hợp lý [6].

Mặt khác, khu vực đất yếu giữa các cọc (các dải màu xanh lam-lục) chịu mức độ ứng suất thấp hơn đáng kể. Giá trị ứng suất kéo hiệu quả cực đại chỉ 81,66 kN/m² (tại Node 975, Element 16), thấp hơn gần 9 lần so với ứng suất tại cọc, thể hiện ở tỷ số tập trung ứng suất có thể ước tính: $n = \frac{\sigma_p}{\sigma_s} = \frac{742,9}{81,66} \approx 9,1$. Giá trị này cao hơn so với nghiên cứu Wu (2018) với n = 7,5 trên nền đá granite phong hóa [4], do điều kiện đất yếu hơn tại Ga Vinh (bùn sét e > 1,6 so với CDG) làm tăng sự chênh lệch độ cứng và phản ánh định lượng rõ rệt định lượng cho sự hình thành hiệu ứng vòm.

4.2. Phân tích cơ chế hình thành hiệu ứng vòm trong hệ nền-cọc CFG-lưới địa kỹ thuật

Hiệu ứng vòm đất là cơ chế chịu lực cốt lõi trong hệ nền cọc CFG, quyết định hiệu quả giảm tải cho nền đất yếu phía dưới. Kết quả phân tích từ mô hình số PLAXIS 2D đã làm rõ sự hình thành và quy mô của vùng vòm đất thông qua sự phân bố lại ứng suất tại khu

vực lớp đệm và đáy nền đắp.

Quan sát biểu đồ phân bố ứng suất hiệu quả tại khu vực tiếp giáp giữa nền đắp và đầu cọc (Hình 3), có thể nhận thấy rõ sự hình thành của các vùng giảm tải hình vòm phía trên khoảng đất yếu giữa các cọc (thể hiện qua các dải màu xanh lam với giá trị ứng suất thấp). Ngược lại, ứng suất tập trung mật độ cao tại các vị trí đỉnh cọc (các vùng màu vàng-cam).

Cơ chế này hoàn toàn phù hợp với lý thuyết của Uge và Guo (2020) [2], theo đó sự chuyển vị chênh lệch là nguyên nhân kích hoạt hiệu ứng vòm: Cọc CFG với độ cứng lớn (E_p = 20 GPa) có biến dạng lún rất nhỏ, trong khi đất nền xung quanh (E ≈ 2 - 3 MPa) có xu hướng lún nhiều hơn dưới tác dụng của tải trọng. Sự chuyển dịch tương đối này sinh ra lực cắt dọc theo các mặt trượt tiềm năng trong khối đất đắp, có xu hướng nâng đỡ khối đất giữa các cọc và truyền tải trọng nén về phía các điểm gối cứng là đầu cọc.

Kết quả phân tích trên mô hình cho thấy các đường đẳng ứng suất có dạng hình nón ngược tập trung vào đầu cọc, tương đồng với hình dạng mặt trượt quan sát được trong thí nghiệm của Rui et al. (2020) [7].

4.3. Chiều cao và phạm vi phát triển của vòm đất

Để đánh giá mức độ phát triển của vòm đất, chiều cao vòm tới hạn (h_{arch}) được ước tính dựa trên công thức cổ điển của Terzaghi [8] áp dụng cho hệ cọc vuông:

$$h_{arch} = \frac{(s - D)}{2\tan(45^o - \varphi/2)} \quad (2)$$

Với các thông số thiết kế tại Ga Vinh: Bước cọc s=2,0 m, đường kính cọc D=0,5 m và góc ma sát trong của vật liệu đắp ϕ=35°, ta có:

$$h_{arch} = \frac{(s - D)}{2\tan(45^o - \varphi/2)} = \frac{(2 - 0,5)}{2\tan(45^o - 35^o/2)} = 1,44\text{m} \quad (3)$$

Kết quả tính toán lý thuyết (h_{arch}≈1,44 m) lớn hơn đáng kể so với chiều dày lớp đệm thiết kế (h_c = 0,5 m). Điều này chỉ ra rằng hệ thống vòm đất không chỉ hình thành trong phạm vi lớp đệm mà còn phát triển lan truyền lên phía trên vào phần nền đắp.

Kết quả mô phỏng số củng cố nhận định này khi vùng ảnh hưởng của ứng suất tập trung (vùng màu vàng cam trên đỉnh cọc) lan tỏa lên độ cao khoảng 1,5 - 2,0 m tính từ mặt đỉnh cọc, bao trùm hoàn toàn chiều cao vòm lý thuyết. Điều này khẳng định vòm đất đã phát triển toàn phần, cho phép huy động tối đa khả năng chịu tải của hệ cọc và giảm thiểu đáng kể áp lực trực tiếp lên lớp bùn sét yếu phía dưới, giúp kiểm soát lún cố kết hiệu quả theo đúng yêu cầu của ĐSTĐC.

Sự tương quan giữa kết quả mô phỏng và tính toán lý thuyết cũng phù hợp với kết luận của Han và cộng sự (2002) [3], cho rằng khi tỷ lệ chiều cao đắp trên khoảng cách thông thủy, hiệu ứng vòm sẽ phát triển đầy đủ và ổn định, ít bị ảnh hưởng bởi tải trọng động phía trên. Các vòm này chuyển hướng lực nén đứng sang hai bên để truyền vào đầu cọc, giảm thiểu nguy cơ lún cố kết cho lớp bùn sét phía dưới.

5. KẾT LUẬN

Dựa trên kết quả phân tích mô phỏng số bằng phần mềm PLAXIS 2D đối với hệ nền ĐSTĐC trên đất yếu khu vực Ga Vinh, nghiên cứu rút ra các kết luận khoa học sau:

- Kết quả phân tích trường ứng suất hữu hiệu thẳng đứng σ'_v cho thấy sự phân bố rất không đồng nhất trong hệ nền đất yếu - cọc CFG-lưới địa kỹ thuật. Các vùng lân cận thân và mũi cọc xuất hiện dải màu nóng (vàng-cam) với giá trị σ'v nén lớn, trong khi đất giữa các cọc chủ yếu mang màu xanh lam với ứng suất nén nhỏ. Giá trị cực đại tại mũi cọc đạt σ'_{vmax} = 742,9 kN/m², còn giá trị lớn nhất trong đất giữa cọc chỉ khoảng 81,66 kN/m².

- Tỷ số tập trung ứng suất n=9,1 cho thấy phần lớn tải trọng đã được chuyển sang hệ cọc CFG. So với n = 7,5 đo được trong thí nghiệm hiện trường của Wu (2018), kết quả tại Ga Vinh cao hơn do độ tương phản độ cứng giữa cọc (E_p = 20 GPa) và đất nền (E ≈ 2 - 3 MPa) lớn hơn, phù hợp với nhận định rằng hiệu ứng vòm tăng khi lún chênh giữa cọc và đất tăng.

- Nghiên cứu đã cho thấy hệ nền cọc CFG kết hợp lưới địa kỹ thuật tại Ga Vinh tạo được hiệu ứng vòm đất toàn phần, với tỷ số tập trung ứng suất n ≈ 9,1 và chiều cao vòm lý thuyết h_{arch}≈ 1,44 m nhỏ hơn nhiều so với chiều cao nền đắp H = 6,0 m. Sự phân bố lại ứng suất này giúp phần lớn tải trọng được truyền qua cọc xuống lớp cát chặt, trong khi ứng suất tác dụng lên lớp bùn sét yếu giảm đáng kể.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Giao thông vận tải (ĐH GTVT) trong Đề tài mã số T2026-CT-017.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Ministry of Railways (PRC). Code for Design of High-Speed Railway (TB 10621-2009). Beijing, 2009.

[2] B. U. Uge và Y.-C. Guo. CFG Pile Composite Foundation: Its Engineering Applications and Research Advances. J. Eng., vol. 2020, pp. 1-26, 2020.

[3] J. Han và M. A. Gabr. Numerical analysis of geosynthetic-reinforced and pile-supported earth platforms over soft soil. J. Geotech. Geoenvironmental Eng., vol. 128, no. p.h 1, pp. 44-53, 2002, doi: 10.1061/(ASCE)1090-0241(2002)128:1(44).

[4] L. Wu. Performance of Geosynthetic-Reinforced and Cement-Fly Ash-Gravel Pile-Supported Embankments over Completely Decomposed Granite Soil: A Case Study. Adv. Mater. Sci. Eng., vol. 2018, pp. 1-15, 2018, doi: 10.1155/2018/2659628.

[5] National Railway Administration of the People's Republic of China. Code for Design of High-Speed Railway. Beijing: China Railway Publishing House, 2016.

[6] D.-B. Zhang, Y. Zhang, C.-W. Kim, Y. Meng, A. Garg and K. Fang. Effectiveness of CFG Pile-Slab Structure on Soft Soil for Supporting High-Speed Railway Embankment. Soils Found., vol. 58, no. p.h 5, pp. 1202-1216, 2018.

[7] R. Rui, A. F. van Tol, Y. Y. Xia and others. Investigation of soil-arching development in dense sand by 2D model tests. Geotech. Test. J., vol. 39, no. p.h 3, pp. 415-430, 2016.

[8] K. Terzaghi. Theoretical Soil Mechanics. New York: Wiley, 1943.

■Ngày nhận bài: 03/3/2026 ■Ngày sửa bài: 18/3/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 31/3/2026

Tổng quan phương pháp nghiên cứu về năng lực phục hồi của cảng biển

Port resilience a research methods review

> THS HUỲNH TẤT MINH, TS NGUYỄN MINH ĐỨC*
Trường Đại học Hàng hải Việt Nam
*Email: ducnguyen@vimaru.edu.vn

TÓM TẮT

Các sự cố bất ngờ ngày càng gia tăng, đặc biệt là sự biến đổi khí hậu đã làm ảnh hưởng rất lớn tới hoạt động của cảng biển. Điều này cũng làm gián đoạn và gây ảnh hưởng tiêu cực tới chuỗi cung ứng toàn cầu. Trong bối cảnh đó, khả năng phục hồi đang là xu hướng nghiên cứu dần được quan tâm nhiều hơn, hỗ trợ đề xuất các chiến lược khả thi nhằm đối phó hiệu quả với các hiểm họa, giúp cảng biển nhanh chóng khôi phục hoạt động sau khi chịu ảnh hưởng.

Nghiên cứu sử dụng phương pháp PRISMA nhằm tập trung phân tích các tài liệu hiện có liên quan đến khả năng phục hồi của các cảng biển, với mục tiêu làm rõ các giới hạn và thách thức hiện hữu. Cụ thể, nghiên cứu tiến hành thảo luận, so sánh chi tiết các phương pháp, mô hình và kỹ thuật được áp dụng trong lĩnh vực này.

Bài báo đưa ra bức tranh tổng thể các phương pháp nghiên cứu khả năng phục hồi của cảng biển cũng như đề xuất những định hướng nghiên cứu tiềm năng trong tương lai. Kết quả tổng thể cho thấy, lĩnh vực nghiên cứu về năng phục năng hồi cảng biển vẫn đang ở giai đoạn sơ khai, với sự trùng lặp đáng kể giữa các khung lý thuyết đề xuất và mức độ tương đồng cao về mặt khái niệm.

Từ khóa: Hàng hải; hệ thống cổng thông tin; khai thác cảng; cảng biển Việt Nam.

ABSTRACT

The growing frequency of unexpected disruptions particularly those driven by climate change has significantly affected the operations of seaports. These events have also caused considerable interruptions and adverse impacts on global supply chains. In this context, port resilience has emerged as an increasingly important research focus, offering viable strategies to effectively address these hazards and facilitate the rapid recovery of port operations in their aftermath.

This study employs the PRISMA methodology to conduct a systematic analysis of the existing literature on port resilience, aiming to identify prevailing limitations and challenges within the field. Specifically, the research presents detailed discussions and comparative evaluations of the methodologies, models and techniques currently applied.

The study offers a comprehensive overview of the current state of research on port resilience and outlines potential directions for future inquiry. The findings indicate that this area of research remains in its formative stages, with significant overlaps among proposed theoretical frameworks and a high degree of conceptual similarity.

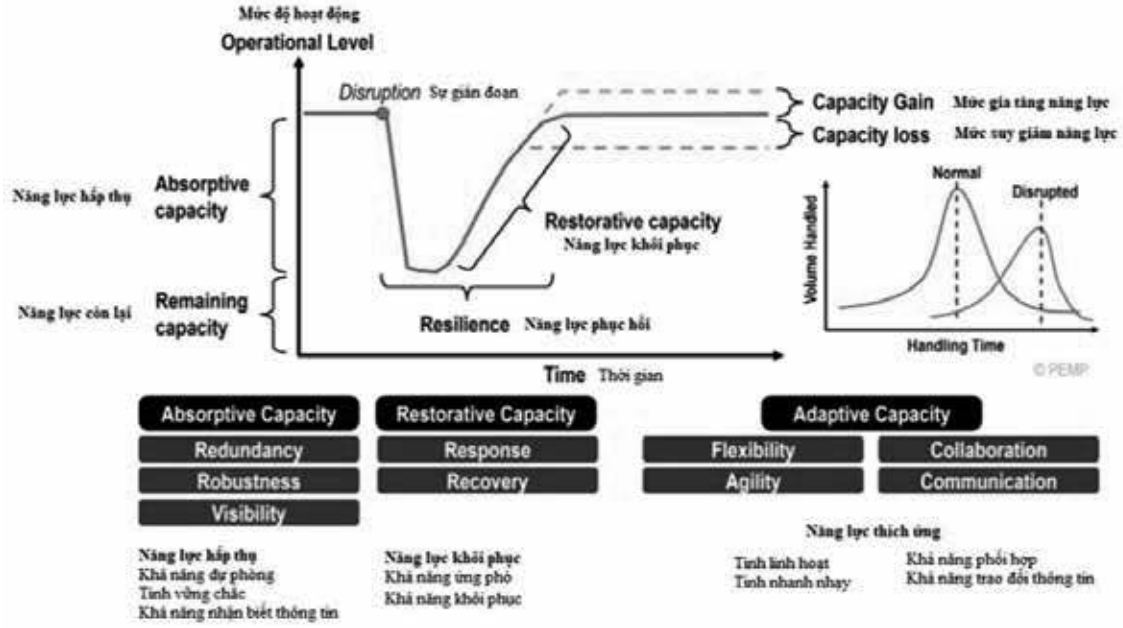
Keywords: Seaport; port community system; port operation.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cảng biển giữ vai trò quan trọng trong chuỗi cung ứng toàn cầu, nên mọi gián đoạn tại cảng đều có thể gây tác động lan truyền đáng kể (UNCTAD, 2023). Vì vậy, năng lực phục hồi ngày càng được chú ý như một tiêu chí phản ánh năng lực chống chịu, thích ứng và khôi phục hoạt động trước các cú sốc.

Những năm gần đây, chủ đề này đã được đề cập từ nhiều góc độ như hạ tầng giao thông, gián đoạn chuỗi cung ứng, các yếu tố cấu thành năng lực phục hồi hàng hải và khoảng trống nghiên cứu liên quan đến rủi ro địa chính trị (Madhusudan và Ganapathy, 2011; Wendler-Bosco và Nicholson, 2020; Gu và Liu, 2023; Lau, 2024; Liu, 2024). Tuy vậy, các nghiên cứu hiện có vẫn còn hạn chế về chiều sâu nội dung, khả năng ứng dụng và phân loại phương pháp phân tích từ góc độ kỹ thuật.

Từ đó, bài báo thực hiện một tổng quan nhằm hệ thống hóa các phương pháp nghiên cứu về năng lực phục hồi của cảng biển, những hạn chế về phương pháp luận và hướng nghiên cứu tiếp theo. Phần 2 trình bày phương pháp nghiên cứu; Phần 3 phân tích kết quả; Phần cuối cùng là kết luận.



Hình 1. Năng lực phục hồi của cảng biển

Nguồn: Linkov, I. and J.M. Palma-Oliviera (eds) (2017) Risk and Resilience, Amsterdam: Springer.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu sử dụng phương pháp PRISMA để bảo đảm quy trình tổng quan có tính minh bạch và khách quan (Page và đồng sự, 2021). Dữ liệu được truy xuất từ Web of Science do có ưu thế về tìm kiếm và phân tích trích dẫn. Tổ hợp từ khóa gồm "seaport", "sea port", "port" kết hợp với "resilience", "resilient", "resiliency" được dùng để xác định tài liệu. Các bài báo được chọn phải là bài bình duyệt, viết bằng tiếng Anh và công bố trong giai đoạn 2000 - 2024.

Kết quả tìm kiếm ban đầu thu được 565 bài báo. Sau quá trình sàng lọc và đánh giá mức độ phù hợp, tập tài liệu cuối cùng còn 35 công bố để phân tích. Các học giả có đóng góp nổi bật trong lĩnh vực này gồm Z. Yang, E. Miller-Hooks, A.K.Y. Ng, J.S.L. Lam và K. Barker, trong khi các tạp chí xuất bản nhiều nghiên cứu nhất là Reliability Engineering & System Safety, Maritime Policy & Management, Transportation Research Part E và Ocean & Coastal Management. Các kết quả tổng hợp và phân tích được trình bày ở phần tiếp theo.

3. THẢO LUẬN

Dựa trên phân loại hiện có, các phương pháp đánh giá năng lực phục hồi được chia thành 3 nhóm chính: Định tính, bán định lượng và định lượng (Hosseini, Barker và Ramirez-Marquez, 2016). Trong đó, phương pháp định tính có vai trò làm rõ khái niệm, nhận diện các yếu tố ảnh hưởng và xây dựng khung phân tích chiến lược phục hồi. Cách tiếp cận này hữu ích trong giai đoạn định hướng nghiên cứu, nhưng còn hạn chế khi cần lượng hóa quan hệ giữa các biến số hoặc hỗ trợ phân bổ nguồn lực tối ưu.

Vì vậy, các phương pháp định lượng ngày càng được chú ý hơn nhờ cung cấp cơ sở phân tích chặt chẽ và cụ thể hơn về mức độ phục hồi của hệ thống cảng. Trên cơ sở đó, các phần tiếp theo tập trung trình bày các phương pháp này và khả năng ứng dụng của chúng trong đánh giá năng lực phục hồi của cảng biển và các cấu trúc liên quan.

Bảng 1. Các phương pháp nghiên cứu năng lực phục hồi của bảng biển

Cách tiếp cận	Phương pháp	Nội dung	Nghiên cứu đại diện
Định tính	Nghiên cứu khái niệm	Phương pháp tập trung mô tả các yếu tố phục hồi và xác định mối liên hệ nhân quả của chúng. Điều này tạo ra một khung tổng thể làm nguyên tắc hướng dẫn mang lại lợi ích cho các bên liên quan và nhà quản lý.	Almutairi (2019); Mansouri, Nilchiani và Mostashari (2010); Mostashari (2011)
	Nghiên cứu thực nghiệm	Phương pháp đánh giá năng lực phục hồi của một hệ thống nhất định bằng việc thu thập dữ liệu thực tế thông qua quan sát hoặc thử nghiệm.	Loh và Thai (2015); Rice và Trepte (2012); Trepte và James (2014)

Bán định lượng	Hệ thống tính điểm, phương pháp xếp hạng	Các phương pháp bán định lượng tập trung vào việc xây dựng các yếu tố phục hồi và đánh giá các đặc điểm của chúng dựa trên sự gợi ý của chuyên gia trên thang điểm số hoặc phần trăm.	Kim (2021); Mutombo, Ölçer và Kuroshi (2017)
Định lượng	Mạng lưới Bayesian	Phương pháp biểu diễn chính xác các mối liên hệ nhân quả giữa các biến khác nhau, xử lý cả dữ liệu khách quan và chủ quan, đồng thời cho phép phân tích năng lực phục hồi theo xác suất.	Hosseini và Barker (2016); Panahi (2022); Wang, Wu và Yuen (2023)
	Quyết định đa tiêu chí	Phương pháp quan tâm đến việc xem xét đồng thời cả các yếu tố định tính và định lượng để giải quyết sự phức tạp của việc đánh giá năng lực phục hồi của cảng. Sự kết hợp của F-AHP và F-TOPSIS có thể là một ví dụ điển hình.	Cao và Lam (2019); John (2014); Wan (2024)
	Mô phỏng	Phương pháp mô phỏng cho phép đánh giá hiệu suất của các cảng trong các kịch bản khác nhau và điều tra hành vi của chúng ở các điều kiện cụ thể.	Folkman (2021); Shafieezadeh và Burden (2014); Zhou (2021)
	Mô hình toán học	Phương pháp này dựa vào các mô hình và ý tưởng toán học để định nghĩa các yếu tố phục hồi và định lượng các mục liên quan.	León-Mateos (2021); Zhen, Lin và Zhou (2022)

3.1. Phương pháp định tính

Phương pháp định tính trong nghiên cứu năng lực phục hồi cảng biển gồm hai hướng chính: Nghiên cứu khái niệm và nghiên cứu thực nghiệm. Ở hướng thứ nhất, các công trình tập trung xây dựng khung phân tích, làm rõ vai trò của chia sẻ thông tin, các bên liên quan và các giai đoạn phục hồi (Mansouri, Nilchiani và Mostashari, 2010; Mostashari, 2011; Shaw, 2017; Almutairi, 2019; Vanlaer, 2022). Hướng này giúp củng cố nền tảng lý thuyết, nhưng nhiều kết luận vẫn mang tính khái quát.

Trong khi đó, nghiên cứu thực nghiệm dựa trên các sự kiện gián đoạn cụ thể và ý kiến từ các bên liên quan trong thực tiễn cảng biển. Các nghiên cứu cho thấy cảng có thể ứng phó khá tốt với gián đoạn thông thường, nhưng vẫn dễ tổn thương trước các sự cố lớn; đồng thời cũng chỉ ra các nhóm rủi ro chính và đề xuất mô hình quản lý rủi ro phù hợp (Rice và Trepte, 2012; Trepte và James, 2014; Loh và Thai, 2015). So với nghiên cứu khái niệm, hướng này có tính thực tiễn cao hơn, nhưng vẫn bị hạn chế bởi phạm vi mẫu và dữ liệu phỏng vấn.

3.2. Phương pháp bán định lượng

Phương pháp bán định lượng giữ vai trò trung gian giữa định tính và định lượng, cho phép kết hợp ý kiến chuyên gia với dữ liệu thực nghiệm trong đánh giá năng lực phục hồi của cảng biển. Các nghiên cứu đã xây dựng khung chỉ số và phương pháp chấm điểm để đánh giá năng lực phục hồi cảng và hạ tầng cảng trước rủi ro khí hậu, qua đó hỗ trợ xác định điểm yếu và ưu tiên phân bổ nguồn lực (Kim, 2021; Mutombo, Ölçer và Kuroshi, 2017).

Tuy vậy, phương pháp này vẫn phụ thuộc nhiều vào đánh giá chủ quan khi gán trọng số và chấm điểm, đồng thời khó phản ánh đầy đủ các yếu tố khó lượng hóa như năng lực lãnh đạo, phối hợp liên tổ chức hay phản ứng của con người. Vì vậy, cần kết hợp với các kỹ thuật định lượng sâu hơn để nâng cao độ tin cậy và tính toàn diện.

3.3. Phương pháp định lượng

Dựa trên tổng quan tài liệu, các phương pháp định lượng trong nghiên cứu năng lực phục hồi cảng biển có thể chia thành 4 nhóm chính: Mạng lưới Bayesian, ra quyết định đa tiêu chí, mô phỏng và mô hình toán học kết hợp tối ưu hóa. Trong đó, mạng lưới Bayesian được sử dụng khá rộng rãi nhờ khả năng mô hình hóa quan hệ nhân quả và xử lý bất định trong các kịch bản gián đoạn như thiên tai, tấn công mạng hay đại dịch (Hosseini và Barker, 2016; Hossain, 2019, 2020; Panahi, 2022; Wang, 2023). Ra quyết định đa tiêu chí lại phù hợp khi cần lựa chọn chiến lược phục hồi trên cơ sở xem xét đồng thời nhiều tiêu chí định tính và định lượng (John, 2014; Cao và Lam, 2019).

Bên cạnh đó, mô phỏng cho phép kiểm tra phản ứng của hệ thống cảng trong các tình huống gián đoạn khác nhau như bão, mất điện, gián đoạn chuỗi cung ứng hay động đất (Folkman, 2021; Zhou, 2021; Loh và Van Thai, 2015; Shafieezadeh và Burden, 2014). Mô hình toán học và tối ưu hóa hỗ trợ lượng hóa năng lực phục hồi và lựa chọn các biện pháp chuẩn bị, phục hồi trong điều kiện ràng buộc nguồn lực (Zhen, Lin và Zhou, 2022; León-Mateos, 2021). Nhìn chung, mỗi nhóm phương pháp có thế mạnh riêng, nhưng để nâng cao độ tin cậy và khả năng ứng dụng, các nghiên cứu cần kết hợp nhiều cách tiếp cận thay vì chỉ dựa vào một phương pháp đơn lẻ.

3.4. Phương hướng nghiên cứu trong tương lai

Các phương pháp đánh giá năng lực phục hồi hiện nay đều có thế mạnh riêng trong việc xử lý tính phức tạp và bất định của hệ thống cảng biển. Tuy nhiên, để nâng cao giá trị phân tích và khả năng ứng dụng, nghiên cứu thời gian tới nên theo hướng tích hợp phương pháp. Những hướng đáng chú ý gồm kết hợp tối ưu hóa ngẫu nhiên với mô phỏng để hỗ trợ phân bổ nguồn lực trong các kịch bản gián đoạn, tích hợp ra quyết định đa tiêu chí với mạng lưới Bayesian để đánh giá toàn diện hơn và phát triển mô hình bản sao kỹ thuật số nhằm theo dõi, thử nghiệm và điều chỉnh các chiến lược

phục hồi trong môi trường mô phỏng.

Bên cạnh đó, việc đưa yếu tố hành vi con người và quá trình ra quyết định vào mô hình cũng cần được quan tâm để phản ánh sát hơn thực tế vận hành cảng trong tình huống khẩn cấp. Dù vậy, điều quan trọng là các mô hình tích hợp này phải được kiểm chứng bằng dữ liệu thực tế để bảo đảm độ tin cậy và giá trị ứng dụng của các khuyến nghị nghiên cứu.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã tổng quan có hệ thống các phương pháp đánh giá năng lực phục hồi của cảng biển thông qua PRISMA, qua đó phân loại 3 nhóm phương pháp chính: Định tính, bán định lượng và định lượng. Kết quả cho thấy lĩnh vực này vẫn đang ở giai đoạn phát triển ban đầu, còn thiếu thống nhất về cách tiếp cận, dữ liệu định lượng và mức độ chuẩn hóa.

Trên cơ sở đó, bài báo đề xuất một số hướng nghiên cứu tiếp theo như kết hợp mô phỏng với tối ưu hóa ngẫu nhiên, tích hợp ra quyết định đa tiêu chí với mạng lưới Bayesian, phát triển mô hình bản sao kỹ thuật số và đưa yếu tố hành vi con người vào phân tích. Nhìn chung, đây là hướng nghiên cứu có ý nghĩa chiến lược đối với quản lý rủi ro và nâng cao hiệu quả hoạt động cảng biển.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong Đề tài mã số DT25-26.119.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] UNCTAD. Review of Maritime Transport. United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD), 2023.

[2] Madhusudan, C. and G. P. Ganapathy. Disaster Resilience of Transportation Infrastructure and Ports - an Overview. International Journal of Geomatics & Geosciences 2 (2), 2011.

[3] Wendler-Bosco, V. and C. Nicholson. Port Disruption Impact on the Maritime Supply Chain: A Literature Review. Sustainable and Resilient Infrastructure 5 (6), 378-394, 2020.

[4] Gu, B. and J. Liu. A Systematic Review of Resilience in the Maritime Transport. International Journal of Logistics: Research & Applications: 122. January, 2023.

[5] Lau et al. Maritime Transport Resilience: A Systematic Literature Review on the Current State of the Art, Research Agenda and Future Research Directions. Ocean & Coastal Management 251 (May), 107086, 2024.

[6] Liu et al. Bibliometric Analysis and Literature Review on Maritime Transport Resilience and Its Associated Impacts on Trade. Maritime Policy & Management: 1-38, June, 2024.

[7] Page et al. The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ, p. n71, 2021.

[8] Hosseini, S., K. Barker and J. E. Ramirez-Marquez. A Review of Definitions and Measures of System Resilience. Reliability Engineering and System Safety 145 (January): 47-61, 2016.

[9] Mansouri, M., R. Nilchiani and A. Mostashari. A Policy Making Framework for Resilient Port Infrastructure Systems. Marine Policy 34 (6): 1125-1134, 2010.

[10] Mostashari et al. A Cognitive Process Architecture Framework for Secure and Resilient Seaport Operations. Marine Technology Society Journal 45 (3): 120-127, 2011.

[11] Almutairi et al. Stakeholder Mapping and Disruption Scenarios with Application to Resilience of a Container Port. Reliability Engineering and System Safety 182 (February): 219-232, 2019.

[12] Rice, J. and K. Trepte. The MIT CTL Port Resilience Survey Report. Cambridge, MA: MIT Center for Transportation & Logistics, 2012.

[13] Trepte, K. and B. R. James. An Initial Exploration of Port Capacity Bottlenecks in the USA Port System and the Implications on Resilience. International Journal of Shipping and Transport Logistics 6 (3): 339, 2014.

[14] Loh, H. S. and V. V. Thai. Management of Disruptions by Seaports: Preliminary Findings. Asia Pacific Journal of Marketing & Logistics 27 (1): 146-162, 2015.

[15] Kim, S., S. Choi and C. Kim. The Framework for Measuring Port Resilience in Korean Port Case. Sustainability 13 (21): 11883, 2021.

[16] Mutombo, K., A. I. Ölçer and L. Kuroshi. A New Approach to Assessing Port Infrastructure Resilience to Climate Risks and Adaptive Solutions Prioritization. Journal of Maritime Research 14 :56-67, 2017.

[17] Hosseini, S. and K. Barker. Modeling Infrastructure Resilience Using Bayesian Networks: A Case Study of Inland Waterway Ports. Computers & Industrial Engineering 93 (March): 252-266, 2016.

[18] Hossain et al. Modeling and Assessing Interdependencies Between Critical Infrastructures Using Bayesian Network: A Case Study of Inland Waterway Port and Surrounding Supply Chain Network. Reliability Engineering and System Safety 198 (June): 106898, 2020.

[19] Panahi, R., N. S. Gargari, Y.-Y. Lau and A. K. Y. Ng. Developing a Resilience Assessment Model for Critical Infrastructures: The Case of Port in Tackling the Impacts Posed by the COVID-19 Pandemic. Ocean & Coastal Management 226 (July): 106240, 2022.

[20] Wang, N., M. Wu and K. F. Yuen. Assessment of Port Resilience Using Bayesian Network: A Study of Strategies to Enhance Readiness and Response Capacities. Reliability Engineering and System Safety 237, 109394, September 2023.

[21] John, A., Z. Yang, R. Riahi and J. Wang. Application of a Collaborative Modelling and Strategic Fuzzy Decision Support System for Selecting Appropriate Resilience Strategies for Seaport Operations. Journal of Traffic & Transportation Engineering 1 (3): 159-179, 2014.

[22] Cao, X. and J. S. L. Lam. A Fast Reaction-Based Port Vulnerability Assessment: Case of Tianjin Port Explosion. Transportation Research Part A: Policy and Practice 128, 11-33, October 2019.

[23] Folkman et al. Port Resiliency and the Effects of Hurricanes on Port Operations. International Journal of Advanced Operations Management 13 (4): 409, 2021.

[24] Zhou et al. Analytics with Digital-Twinning: A Decision Support System for Maintaining a Resilient Port. Decision Support Systems 143, 113496, April 2021.

[25] Loh, H. S. and V. Van Thai. Cost Consequences of a Port-Related Supply Chain Disruption. The Asian Journal of Shipping and Logistics 31 (3): 319-340, 2015.

[26] Shafieezadeh, A. and L. I. Burden. Scenario-Based Resilience Assessment Framework for Critical Infrastructure Systems: Case Study for Seismic Resilience of Seaports. Reliability Engineering and System Safety 132, 207-219, December 2014.

[27] Zhen, L., S. Lin and C. Zhou. Green Port Oriented Resilience Improvement for Traffic-Power Coupled Networks. Reliability Engineering and System Safety 225, 108569, September 2022.

[28] León-Mateos, F., A. Sartal, L. López-Manuel and M. A. Quintás. Adapting Our Sea Ports to the Challenges of Climate Change: Development and Validation of a Port Resilience Index. Marine Policy 130, 104573, August 2021.

■Ngày nhận bài: 08/5/2026 ■Ngày sửa bài: 25/5/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 05/6/2026

Nghiên cứu đánh giá sức kháng cắt của cọc cát trong giải pháp cọc cát xử lý nền đất yếu với một số chỉ tiêu cơ lý thông qua các thí nghiệm trong phòng thí nghiệm

The study evaluates the shear resistance of sand columns used in the sand column ground improvement method for soft soil stabilization, based on selected physical and mechanical properties obtained from laboratory

> THS TRẦN ĐỒNG*, TS NGÔ VIỆT ĐỨC, THS NGUYỄN THU HUYỀN, THS TRẦN HÙNG ANH
Trường Đại học Xây dựng Hà Nội
Email: dongt@huce.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu sức kháng cắt của cọc cát xử lý nền đất yếu thông qua các thí nghiệm trong phòng thí nghiệm. Cọc cát được đầm chặt đến độ chặt K = 0,9 và đánh giá bằng thí nghiệm cắt trực tiếp, xuyên động DCP và nén ba trục. Kết quả cắt trực tiếp cho thấy sức kháng cắt tuân theo tiêu chuẩn Mohr-Coulomb, với lực dính kết không đáng kể và góc ma sát trong lớn, phản ánh cơ chế chịu cắt chủ yếu do ma sát hạt. Kết quả DCP cho thấy chỉ số xuyên động và sức chịu tải quy ước R_o tăng theo chiều sâu, phù hợp với sự gia tăng ứng suất hữu hiệu và độ chặt. Thí nghiệm nén ba trục khẳng định ảnh hưởng của độ chặt đến ứng suất lệch cực đại và khả năng chịu cắt của cọc cát. Kết quả nghiên cứu là cơ sở phục vụ thiết kế và đánh giá hiệu quả giải pháp cọc cát trong xử lý nền đất yếu.

Từ khóa: Nền đất yếu; cọc cát; sức kháng cắt; xử lý nền đất yếu; độ chặt; thí nghiệm xuyên động (DCP); thí nghiệm nén ba trục.

ABSTRACT

This study investigates the shear resistance of sand columns for soft ground improvement based on laboratory tests. Sand columns were compacted to a degree of compaction K = 0.9 and evaluated using direct shear, dynamic cone penetration (DCP) and triaxial compression tests. Direct shear results indicate Mohr-Coulomb behavior with negligible cohesion and a high internal friction angle, confirming a friction-dominated shear mechanism. DCP results show that the dynamic penetration index and equivalent bearing capacity R_o increase with depth, consistent with increasing effective stress and compaction degree. Triaxial tests further demonstrate the significant influence of compaction degree on peak deviator stress and shear resistance.

Keywords: Soft ground; sand column; shear resistance; soft ground improvement; degree of compaction; dynamic cone penetration (DCP); triaxial test.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nền đất yếu có sức kháng cắt thấp gây nhiều thách thức trong thiết kế và thi công công trình, trong đó phương pháp cọc cát được ứng dụng rộng rãi nhờ hiệu quả kỹ thuật và kinh tế. Tuy nhiên, các nghiên cứu hiện nay chủ yếu đánh giá hiệu quả cọc cát thông qua độ lún và sức chịu tải tổng thể, trong khi sức kháng cắt của bản thân cọc cát và mối quan hệ với các chỉ tiêu cơ lý của vật liệu cát vẫn chưa được làm rõ đầy đủ. Nghiên cứu này tập trung đánh giá trực tiếp sức kháng cắt của cọc cát thông qua các thí nghiệm trong phòng thí nghiệm, qua đó làm rõ mối quan hệ định lượng giữa sức kháng cắt và một số chỉ tiêu cơ lý đặc trưng, góp phần bổ sung cơ sở khoa học cho thiết kế giải pháp cọc cát xử lý nền đất yếu.

Đất có tính chất khác rõ rệt với các loại vật liệu khác, do tính phân tán và tính rỗng của chúng. Do sự thay đổi tải trọng bên ngoài và sự thoát nước nền đất có sự thay đổi về độ ẩm và thể tích. Độ chặt, cường độ… và các đặc trưng biến dạng tất cả đều bị thay đổi

[1]. Kết quả thí nghiệm trong phòng như thí nghiệm cắt trực tiếp [2, 3], nén ba trục (ASTM D2850, AASHTO T296, BS 1377: Part 7: 1990: clause 8) [4], nén đơn với sự hỗ trợ của các thí nghiệm cắt quay bỏ túi (TV), chùy rơi (FC), xuyên tĩnh bỏ túi (PP) và cắt cánh trong phòng [5]... hoặc đo trực tiếp từ các thí nghiệm cắt cánh (BS 1377: Part 9:1990:clause 4.4, ASTM D2573, AASHTO T223 và 22TCN 355-2006) [6], [7], thí nghiệm xuyên tiêu chuẩn (SPT) [8, 9], thí nghiệm xuyên tĩnh (CPT, CPTu) [10, 11]… Cho thấy, càng xuống sâu ứng suất do trọng lượng bản thân càng tăng, độ chặt của đất càng tăng. Thiết lập được tương quan giữa độ chặt và sức chống cắt hoàn toàn có thể xác định được từ trạng thái ứng suất.

2. TIẾN HÀNH THÍ NGHIỆM

2.1. Vật liệu

Cát được sử dụng trong nghiên cứu này được lấy từ bãi tập kết vật liệu xây dựng, cung cấp từ các mỏ cát các tỉnh phía Bắc. Cát hạt trung, màu vàng nhạt và không đồng nhất về thành phần hạt theo hệ thống phân loại AASHTO.

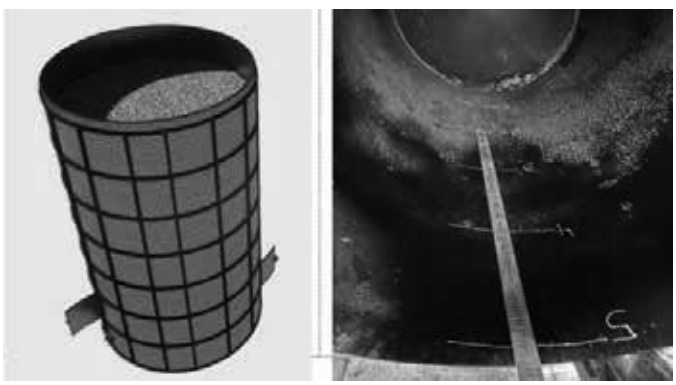
Buồng chứa đất cát được sử dụng ống thép, có độ dày 0,2 mm, đường kính 800 mm và chiều cao 1.500 mm. tấm thép được tạo hình thành hình trụ tròn, gia cố xung quanh bên ngoài bằng hệ thống thanh sắt vuông đặc 10*10, hàn nối dạng ô vuông 150*150 mm (Hình 1).

2.2. Quy trình thí nghiệm

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả tập trung đánh giá sức chống cắt của cọc cát thông qua việc đầm chặt cát ở độ chặt K90. Khối lượng thể tích đơn vị ướt đất cát ở độ ẩm tối ưu (ASTM D 4253) là 1,95 g/cm^3, giá trị khối lượng thể tích đơn vị ướt đất cát ở độ ẩm khô tối ưu tại độ chặt K90 (ASTM D 4254) là 1,75 g/cm^3.

Để đạt độ chặt K90, thí nghiệm được hiệu chuẩn trong khuôn nhỏ (đường kính 750 mm và chiều cao 450 mm) thông qua một số lần thử nghiệm. Buồng chứa chia thành 5 lớp, mỗi lớp dày 300 mm. Trộn đều cát và nước theo tỷ lệ thử nghiệm trên khuôn nhỏ. Hỗn hợp được cho vào buồng chứa bằng xô, sử dụng máy đầm tay thực hiện sao cho chiều dày của mẫu đất về đúng vạch 300 mm đã chia sẵn trong buồng chứa.

Nhóm nghiên cứu thực hiện 3 thí nghiệm trong phòng: Thí nghiệm cắt trực tiếp (cắt phẳng), thí nghiệm xuyên động (DCP) và thí nghiệm nén ba trục.



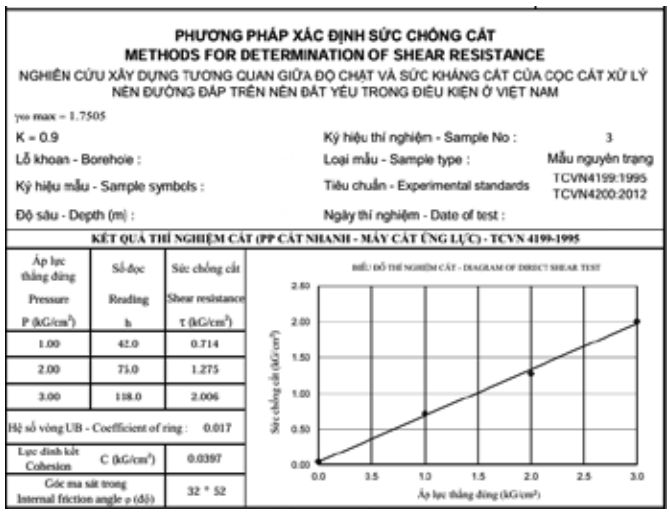
Hình 1. Buồng chứa đất cát được gia công bằng vật liệu thép

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Thí nghiệm cắt trực tiếp (cắt phẳng)

Thông qua thí nghiệm cắt trực tiếp, các tham số quan trọng như góc ma sát trong (φ) và lực dính kết (c) của mẫu cát được đầm chặt trong phòng có thể được xác định một cách trực tiếp, từ đó đánh giá được mức độ cải thiện về mặt cơ học của nền đất sau khi xử lý.

Để đánh giá được sức kháng cắt của đất cát chính xác hơn trong thực tiễn, nhiều nghiên cứu liên quan đến thí nghiệm cắt trực tiếp. Nhóm tác giả Islam et Al. [12] được các kết quả thí nghiệm, quan sát thấy rằng đối với mỗi tập hợp tải trọng, khi kích thước hạt tăng lên, góc ma sát trong cũng như ứng suất cắt ngang tối đa tăng lên đối với cát đồng nhất và tương tự cũng được nhận thấy ở cát có cấp phối không đồng nhất, cấp phối càng tốt hơn thì độ bền cắt cao hơn. Nhóm tác giả Cerato & Lutenegger [13] cho kết quả góc ma sát tăng lên với độ chặt trong đất tăng trong mỗi ba hộp. Góc ma sát dư ở thể tích không đổi có xu hướng giảm hoặc giữ nguyên khi kích thước hộp thí nghiệm tăng, tùy thuộc vào loại cát và độ chặt tương đối.



PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH SỨC CHỐNG CẮT
METHODS FOR DETERMINATION OF SHEAR RESISTANCE
NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG TƯƠNG QUAN GIỮA ĐỘ CHẶT VÀ SỨC KHÁNG CẮT CỦA CỌC CÁT XỬ LÝ NỀN ĐƯỜNG ĐẮP TRÊN NỀN ĐẤT YẾU TRONG ĐIỀU KIỆN Ở VIỆT NAM

γo max = 1.7505
K = 0.9
Ký hiệu thí nghiệm - Sample No : 3
Lỗ khoan - Borehole :
Loại mẫu - Sample type : Mẫu nguyên trạng
Ký hiệu mẫu - Sample symbols :
Tiêu chuẩn - Experimental standards TCVN4199:1995 TCVN4200:2012
Độ sâu - Depth (m) :
Ngày thí nghiệm - Date of test :

KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM CẮT (PP CẮT NHANH - MÁY CẮT ỨNG LỰC) - TCVN 4199-1995

Áp lực thẳng đứng Pressure P (kG/cm^2)	Số đọc Reading h	Sức chống cắt Shear resistance τ (kG/cm^2)
1.00	42.0	0.714
2.00	75.0	1.275
3.00	118.0	2.006

Hệ số vòng UB - Coefficient of ring : 0.017

Lực dính kết Cohesion	C (kG/cm^2)	0.0397
Góc ma sát trong Internal friction angle φ (độ)		32 ° 52

BIỂU ĐỒ THÍ NGHIỆM CẮT - DIAGRAM OF DIRECT SHEAR TEST
Sức chống cắt (kG/cm^2)
Áp lực thẳng đứng (kG/cm^2)

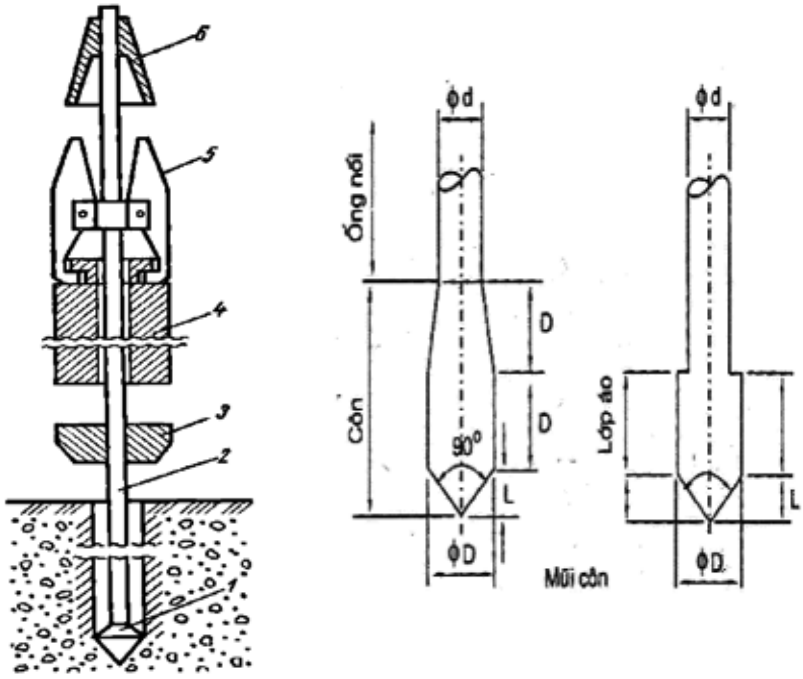
Hình 2. Kết quả thí nghiệm cắt trực tiếp với độ chặt K90

Nhóm nghiên cứu thực hiện thí nghiệm, kết quả thí nghiệm cắt phẳng nhanh cho thấy sức kháng cắt của cọc cát tăng tuyến tính theo ứng suất pháp, phù hợp với tiêu chuẩn phá hoại Mohr-Coulomb. Khi áp lực thẳng đứng tăng từ 1,0 đến 3,0 kG/cm^2, sức kháng cắt tăng từ 0,714 lên 2,006 kG/cm^2. Đường bao phá hoại xác định được lực dính kết rất nhỏ (C ≈ 0,04 kG/cm^2) và góc ma sát trong lớn (φ ≈ 32°52′), chứng tỏ cơ chế chịu cắt chủ yếu của cọc cát là ma sát giữa các hạt. Với hệ số độ chặt K = 0,9 và hệ số rỗng nhỏ, cọc cát thể hiện khả năng cải thiện đáng kể sức kháng cắt của nền đất yếu, tạo cơ sở cho việc áp dụng trong thiết kế và tính toán nền đường đắp tại Việt Nam.

3.2. Thí nghiệm xuyên động (DCP)

Phương pháp xuyên động DCP là phương pháp thí nghiệm được tiến hành bằng cách đưa mũi xuyên hình chóp nón vào đất nhờ năng lượng của búa đóng vào đầu cần xuyên. Giá trị chỉ số DCP được tính bằng cách chia tổng độ sâu thâm nhập tính bằng mm cho số lần gõ (mm/lần gõ) và được báo cáo cho mỗi mẫu.

Theo SNip 448-72[14], sức kháng xuyên động được xác định qua số búa cần thiết (n) để đẩy mũi xuyên đi vào đất một độ sâu nhất định (s =10 cm), từ đó xác định cường độ sức kháng xuyên động giả định (N) và sức kháng xuyên động đơn vị (qd). Theo TCXD 112:1984 và EN ISO 22476-3 [15], sức kháng xuyên động qd được tính theo công thức được gọi là công thức Hà Lan (Sanglerat 1972; Cassan 1988).



Hình 3. Sơ đồ thí nghiệm xuyên động (a) và mũi côn (b)

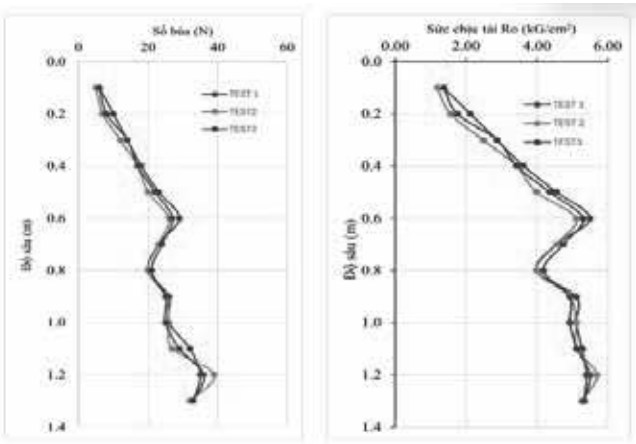
Kết quả sau khi tiến hành thí nghiệm tại phòng thí nghiệm Trường Đại học Mỏ - Địa chất, hiệu chỉnh và xử lý như sau:

Bảng 1. Biểu thí nghiệm xuyên động DCP trong đất cát, độ chặt K90

BIỂU THÍ NGHIỆM XUYÊN ĐỘNG THEO ĐỘ CHẶT K90						
PP thí nghiệm: BS 1377: Part 1: 1990: 3.2						
Chiều sâu (m)	**Thí nghiệm lần 1**		**Thí nghiệm lần 2**		**Thí nghiệm lần 3**	
	Số búa	Sức chịu tải quy ước R0 (kG/cm²)	Số búa	Sức chịu tải quy ước R0 (kG/cm²)	Số búa	Sức chịu tải quy ước R0 (kG/cm²)
0,1	6	1,37	5	1,19	6	1,37
0,2	10	2,12	7	1,56	8	1,75
0,3	14	2,87	12	2,49	14	2,87
0,4	18	3,62	17	3,43	17	3,43
0,5	23	4,55	20	3,99	22	4,36
0,6	29	5,50	26	5,11	27	5,30
0,7	23	4,55	23	4,55	24	4,74
0,8	20	3,99	20	3,99	21	4,18
0,9	26	5,11	25	4,93	25	4,93
1,0	26	5,11	26	5,11	25	4,93
1,1	32	5,27	27	5,12	29	5,14
1,2	35	5,40	39	5,70	36	5,55
1,3	33	5,33	32	5,27	33	5,33

Kết quả thí nghiệm xuyên động DCP cho thấy sự biến thiên tương đối đồng nhất của số búa xuyên theo chiều sâu đối với ba lần thí nghiệm (TEST 1-TEST 3), phản ánh độ tin cậy và tính lặp lại tốt của chương trình thí nghiệm. Trong khoảng độ sâu từ 0,1 đến khoảng 1,2 m, số búa N có xu hướng tăng dần theo chiều sâu, cho thấy mức độ đầm chặt và khả năng kháng xuyên của cọc cát được cải thiện rõ rệt ở các lớp sâu hơn.

Sự phân bố sức chịu tải quy ước R_0 theo chiều sâu có xu hướng tương đồng với kết quả số búa xuyên. Giá trị R_0 tăng dần từ lớp nông xuống lớp sâu, đạt giá trị lớn nhất tại độ sâu khoảng 1,1 - 1,3 m, phản ánh hiệu quả truyền năng lượng đầm chặt và sự gia tăng mức độ chặt của cọc cát theo chiều sâu. Sự sai khác giữa các đường cong R_0 của ba thí nghiệm là không lớn, chứng tỏ tính ổn định của phương pháp thí nghiệm và độ đồng nhất tương đối của mẫu cọc cát.

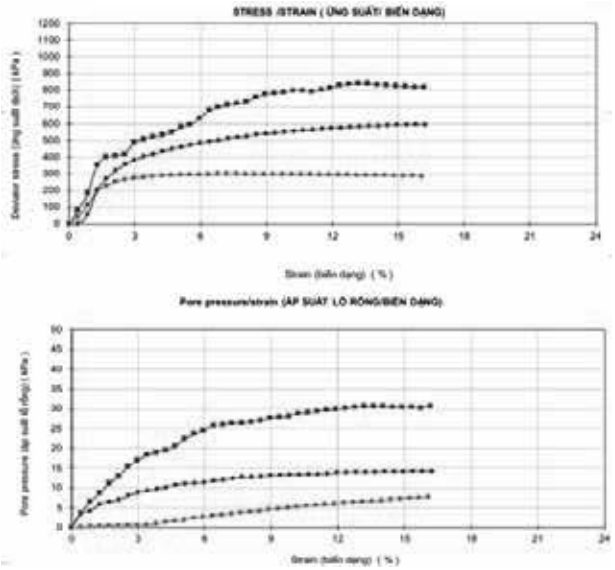


Hình 4. Đồ thị quan hệ giữa số búa - sức chịu tải - độ sâu ở độ chặt K90

3.3. Thí nghiệm nén ba trục

Đối với đất cát, thường áp dụng thí nghiệm CD hoặc CU, vì đất cát có khả năng thoát nước nhanh, phù hợp với điều kiện thoát nước hoàn toàn trong thực tế thi công cọc cát.

Theo nhóm tác giả Đỗ Minh Toàn và Nguyễn Thị Nụ [38], việc thí nghiệm trong phòng với mẫu đất được lấy từ độ sâu nhất định nào đó, quá trình lấy mẫu sẽ làm thay đổi trạng thái ứng suất tự nhiên tương tự như việc dỡ tải trong thí nghiệm cố kết. Tác giả Nguyễn Thu Hà [39] nhận thấy rằng, theo sơ đồ cắt nhanh không thoát nước (UU), nếu thay đổi tốc độ cắt, cắt càng nhanh thì sức kháng cắt của đất càng nhỏ. Thí nghiệm theo sơ đồ cắt nhanh cố kết (CU) và cắt chậm cố kết hoàn toàn (CD) thì khi thay đổi tốc độ cắt không làm ảnh hưởng đến sức kháng cắt của đất.



Hình 5. Đồ thị quan hệ giữa ứng suất - biến dạng - áp suất lỗ rỗng ở độ chặt K90

Các đường cong ứng suất lệch - biến dạng thu được từ thí nghiệm nén ba trục cho thấy cát ở trạng thái đầm chặt cao thể hiện khả năng chịu cắt lớn và biến dạng ổn định. Ứng suất lệch tăng nhanh ở giai đoạn đầu khi biến dạng còn nhỏ, sau đó phát triển chậm dần và đạt giá trị cực đại ở mức biến dạng tương đối lớn, phản ánh đặc trưng chịu cắt của cát đầm chặt. Giá trị ứng suất lệch cực đại tăng rõ rệt khi áp lực bao tăng, cho thấy vai trò chi phối của ma sát trong và sự sắp xếp chặt chẽ của bộ khung hạt.

Diễn biến áp suất lỗ rỗng theo biến dạng cho thấy áp suất lỗ rỗng dương được sinh ra trong suốt quá trình gia tải, song tốc độ tăng tương đối nhỏ, đặc biệt đối với mẫu có độ chặt cao. Điều này chứng tỏ xu hướng giãn nở bị hạn chế và khả năng thoát nước hiệu quả của cát đầm chặt, góp phần duy trì và nâng cao sức chống cắt.

4. KẾT LUẬN

Kết quả ba thí nghiệm trong phòng cho thấy sức kháng cắt của cọc cát có mối quan hệ chặt chẽ với các chỉ tiêu cơ lý đặc trưng, đặc biệt là độ chặt, góc ma sát trong và trạng thái ứng suất.

Kết quả thí nghiệm cắt trực tiếp, xuyên động DCP và nén ba trục cho thấy sức kháng cắt của cọc cát đầm chặt K90 chủ yếu được hình thành từ ma sát trong giữa các hạt, với lực dính kết không đáng kể và góc ma sát trong tương đối lớn.

Các chỉ tiêu kháng xuyên (số búa N, sức chịu tải quy ước R_0) có mối tương quan rõ rệt với trạng thái ứng suất và độ chặt của cọc cát, cho phép sử dụng thí nghiệm DCP như một công cụ đánh giá nhanh sức kháng cắt trong phòng thí nghiệm.

Thí nghiệm nén ba trục cho thấy cát đầm chặt có khả năng duy trì ứng suất hữu hiệu lớn và phát triển áp suất lỗ rỗng ở mức thấp, góp phần nâng cao và ổn định sức chống cắt trong quá trình chịu tải.

Các kết quả nghiên cứu là cơ sở khoa học để xây dựng các mối tương quan thực nghiệm giữa sức kháng cắt và các chỉ tiêu cơ lý của cọc cát, phục vụ thiết kế và đánh giá hiệu quả xử lý nền đất yếu bằng giải pháp cọc cát trong điều kiện Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Tiêu chuẩn ngành 22TCN 262-2000 - Quy trình khảo sát thiết kế nền đường ô tô đắp trên nền đất yếu.

[2] Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 4199-1995 - Đất xây dựng - Phương pháp xác định sức chống cắt trong phòng thí nghiệm ở máy cắt phẳng.

[3] ASTM D3080 - Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions 1, doi: 10.1520/D3080_D3080M-11.

[4] Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 8868:2011 - Thí nghiệm xác định sức kháng cắt không cố kết - không thoát nước và cố kết - thoát nước của đất dính trên thiết bị nén ba trục.

[5] Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 8725-2012 - Đất xây dựng công trình Thủy lợi - Phương pháp xác định sức chống cắt của đất hạt mịn mềm yếu bằng thí nghiệm cắt cánh ở trong phòng.

[6] Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 10184_2021 Đất xây dựng - Thí nghiệm cắt cánh hiện trường cho đất dính.

[7] Tiêu chuẩn ngành 22 TCN 355-06 - Quy trình thí nghiệm cắt cánh hiện trường.

[8] Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 9351:2022 - Đất xây dựng - Phương pháp thí nghiệm hiện trường - Thí nghiệm xuyên tiêu chuẩn (SPT).

[9] Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 9351:2012 - Đất xây dựng: Phương pháp thí nghiệm hiện trường - Thí nghiệm xuyên tiêu chuẩn (SPT).

[10] Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 9352_2012 - Đất xây dựng - Thí nghiệm xuyên tĩnh (CPT).

[11] Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 9846_2013 - Quy trình thí nghiệm xuyên tĩnh có đo nước lỗ rỗng (CPTu).

[12] Islam Mohammad Nurul and Al. Effect of particle size on the shear strength behaviour of sands. Australian Geomechanics, vol. 46 no. 3, pp. 75 - 85, 2011.

[13] A. B. Cerato and A. J. Lutenegger. Specimen Size and Scale Effects of Direct Shear Box Tests of Sands. Geotechnical Testing Journal, vol. 29, no. 6, pp. 507-516, Sep. 2006, doi: 10.1520/GTJ100312.

[14] ASTM D6951-03: Sử dụng thiết bị chùy xuyên động (DCP) cho mặt đường có chiều sâu không lớn.

[15] TCXD 112:1984: Hướng dẫn thực hành khảo sát đất xây dựng bằng thiết bị mới - thí nghiệm xuyên động.

[16] Đỗ Minh Toàn and Nguyễn Thị Nụ. Đặc điểm sức kháng cắt của đất loại sét yếu amQ2 phân bố ở các tỉnh ven biển đồng bằng sông Cửu Long. Tạp chí KHKT Mỏ - Địa chất, số 42/2013, tr. 36-43, 2013.

[17] Nguyễn Thu Hà. Một số kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của tốc độ đắp gia tải đến biến dạng và khả năng chịu tải của nền đường đắp trên đất yếu. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Đà Nẵng, số 11(96), quyển 1, tr. 26-31, 2015.

■Ngày nhận bài: 15/5/2026 ■Ngày sửa bài: 28/5/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 08/6/2026

Đánh giá ảnh hưởng của vị trí đặt tải trọng đến ứng suất, độ võng của tấm bê tông xi măng mặt đường sân bay

Effect of load position on stress and deflection of airport cement concrete pavement slabs

> THS NGUYỄN ĐÌNH QUYẾT[1], TS NGUYỄN VĂN HIẾU[2,*], GS.TS PHẠM CAO THĂNG[3], THS.NCS VÕ TIẾN DŨNG[4]
[1]Công ty ADCC
[2]Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn
[3]Hội Khoa học & Công nghệ Hàng không Việt Nam
[4]Đại học Tổng hợp kỹ thuật Quốc gia giao thông đường bộ Matxcova (MADI)
[*]Email: hieunv@lqdtu.edu.vn

TÓM TẮT

Mặt đường bê tông xi măng (BTXM) có ưu điểm vượt trội về khả năng chịu lực và độ bền, do đó thường được sử dụng rộng rãi trong kết cấu mặt đường sân bay. Tuy nhiên, nhược điểm chính của loại mặt đường này là dễ xuất hiện vết nứt dưới tác dụng đồng thời của tải trọng và ứng suất nhiệt, đặc biệt khi kích thước tấm quá lớn. Để khắc phục, các tấm BTXM trong kết cấu mặt đường sân bay thường được phân chia thành các tấm riêng biệt với kích thước hợp lý nhờ hệ thống khe dọc và khe ngang. Trong quá trình khai thác, dưới tác dụng của tải trọng bánh tàu bay, các vị trí cạnh tấm và góc tấm chịu điều kiện bất lợi nhất.

Bài báo trình bày các lời giải lý thuyết để tính toán chuyển vị (độ võng) và nội lực (mô-men kéo uốn) của tấm BTXM khi đặt tải trọng tại các vị trí khác nhau, dựa trên một số phương pháp phổ biến được sử dụng tại Liên Xô (cũ), Liên bang Nga và Hoa Kỳ. Kết quả tính toán cho thấy, ở tất cả các phương pháp, độ võng lớn nhất đạt được khi tải trọng tác dụng tại góc tấm, trong khi mô-men uốn lớn nhất lại xuất hiện khi tải trọng tác dụng tại cạnh tấm. Tuy vậy, sự sai lệch giữa các phương pháp có thể lên tới 12,19%. Điều này là cơ sở tham khảo hữu ích cho việc nghiên cứu, phát triển, hoàn thiện phương pháp tính toán mặt đường sân bay phù hợp cho điều kiện Việt Nam.

Từ khóa: Hệ số chuyển đổi cạnh tấm; mặt đường cứng sân bay; cạnh tấm; tâm tấm; độ võng; mô-men uốn.

ABSTRACT

Cement concrete pavement is widely used in airport structures for its durability and load-bearing capacity, but it is prone to cracking under traffic and thermal stresses, especially in large slabs. To mitigate this, pavements are divided into appropriately sized slabs with joints. Edges and corners of slabs experience the most critical loads from aircraft wheels.

This study presents theoretical solutions for calculating the displacement (deflection) and internal forces (bending moments) of cement concrete slabs subjected to loads applied at different locations. The analysis uses standard methods from the former Soviet Union, Russia and the United States. Results show that all methods predict maximum deflection at the slab corner and maximum bending moment at the edge. However, discrepancies among methods can reach up to 12.19%. These results serve as a reference for further research and the development of analysis and design methods for Vietnamese airport pavements.

Keywords: Edge load transfer coefficient; rigid airport pavement; slab edge; slab center; deflection; bending moment.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Mặt đường BTXM được sử dụng phổ biến trong kết cấu mặt đường sân bay trên thế giới cũng như tại Việt Nam nhờ khả năng chịu tải trọng lớn, cường độ cao, độ ổn định tốt dưới tác động của thời tiết, tải trọng động và điều kiện khai thác khắc nghiệt. Tại Việt Nam, với sự phát triển mạnh mẽ của ngành Hàng không trong những năm gần đây, nhiều sân bay đã được đầu tư xây dựng mới, nâng cấp và mở rộng. Trong đó, mặt đường BTXM được lựa chọn cho các khu vực chịu tải trọng lớn như đường cất hạ cánh, đường lăn và sân đỗ tàu bay.

Thực tiễn khai thác tại nhiều sân bay ở Việt Nam cho thấy hư hỏng điển hình của mặt đường BTXM như nứt vỡ, bong tróc, lún sụt cục bộ… chủ yếu tập trung tại khu vực cạnh tấm và góc tấm (Hình 1). Điều này xảy ra ở cả các sân bay đã được khai thác lâu năm (như Tân Sơn Nhất, Nội Bài) và các sân bay mới được đưa vào sử dụng (như Vân Đồn, Phú Bài).



Hình 1. Một số hư hỏng tấm BTXM mặt đường sân bay

Nguyên nhân có thể đến từ nhiều yếu tố: Chất lượng thi công, điều kiện nền móng, tải trọng tác dụng lặp, ảnh hưởng của chế độ thủy nhiệt… nhưng một trong những nguyên nhân quan trọng là sự khác biệt giữa phương pháp tính toán và điều kiện chịu lực thực tế của tấm, đặc biệt là việc chưa đánh giá đầy đủ ảnh hưởng của vị trí đặt tải trọng ở cạnh tấm và góc tấm.

Để hạn chế hiện tượng nứt vỡ do tải trọng tác dụng tại cạnh tấm, trong các quy trình thiết kế, người ta thường sử dụng hệ số chuyển đổi để quy đổi nội lực từ trường hợp tải trọng tại tâm tấm sang trường hợp tải tại cạnh, góc tấm, từ đó làm cơ sở xác định chiều dày tấm [1, 2]. Hệ số này phụ thuộc vào nhiều yếu tố như liên kết giữa các tấm, sự bố trí thanh truyền lực, loại khe nối. Tuy nhiên, các hệ số chuyển đổi hiện đang được sử dụng trong thiết kế ở Việt Nam chủ yếu được tham chiếu từ các tiêu chuẩn nước ngoài mà chưa được kiểm chứng và hiệu chỉnh phù hợp với điều kiện khai thác cụ thể của sân bay trong nước.

Trong thiết kế kết cấu mặt đường cứng sân bay, mô hình tính toán thường được sử dụng là bài toán tấm trên nền đàn hồi. Theo lý thuyết của Westergaard (1926) [3] và các phát triển sau đó, tấm BTXM được mô hình hóa như một tấm mỏng đặt trên nền đàn hồi. Trong đó, mô hình nền Winkler được sử dụng phổ biến nhất nhờ tính đơn giản và phù hợp với thực tế đối với các lớp móng gia cố.

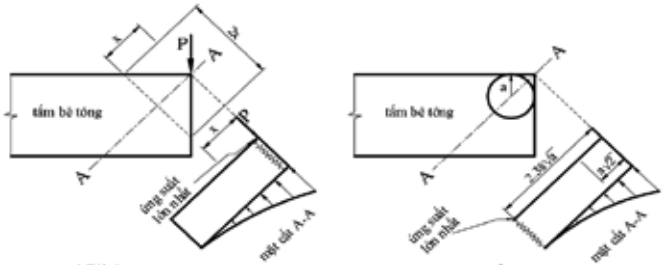
Tuy nhiên, trong thực tế khai thác sân bay, tải trọng bánh tàu bay có thể xuất hiện tại nhiều vị trí khác nhau trên bề mặt tấm, bao gồm tâm tấm, cạnh tấm và góc tấm. Nghiên cứu kinh điển của Westergaard [3, 4, 5] đã đưa ra được các công thức tính độ võng, ứng suất cho các vị trí tải trọng khác nhau. Các kết quả này sau đó được cải tiến thông qua các nghiên cứu bởi Ioannides và cộng sự vào năm 1985 [6]. Như vậy, vị trí đặt tải trọng có ảnh hưởng quyết định đến trạng thái ứng suất - biến dạng của tấm mặt đường cứng.

Tại Việt Nam và trên thế giới đã có nhiều công trình nghiên cứu về tính toán kết cấu mặt đường cứng với nhiều hướng tiếp cận khác nhau, như: Phạm Cao Thăng [7, 8], Nguyễn Quốc Văn [9], Trần Nam Hưng [10], Nguyễn Thị Phương [11], Nguyễn Văn Hiếu [12], Võ Tiến Dũng [13], Qiao Meng and Jagadeesh A. [14, 15]. Các nghiên cứu này tập trung vào phân tích ứng xử cơ học của tấm dưới tác dụng của tải trọng, nhiệt độ, ẩm hoặc đề xuất giải pháp kết cấu và gia cường. Phần lớn các nghiên cứu này đều thừa nhận vai trò quan trọng của vị trí đặt tải trọng, nhưng các phân tích chuyên sâu về sự khác biệt giữa các lời giải lý thuyết khi xét đồng thời cả ba vị trí tải trọng (tâm - cạnh - góc) chưa được quan tâm nhiều. Việc so sánh định lượng sai số giữa các phương pháp tính toán khác nhau, đặc biệt khi tính toán nội lực và độ võng tại các vị trí bất lợi, hầu như chưa được thực hiện một cách hệ thống.

Từ các nội dung nêu trên, nhóm tác giả nghiên cứu, so sánh các lời giải lý thuyết cơ bản tính toán ứng suất và chuyển vị của tấm BTXM mặt đường cứng dưới tác dụng của tải trọng đặt tại các vị trí khác nhau. Kết quả nghiên cứu sẽ góp phần cung cấp luận cứ khoa học để lựa chọn phương pháp tính toán hợp lý, tăng độ tin cậy, góp phần hoàn thiện cơ sở khoa học cho thiết kế và cải tạo mặt đường BTXM sân bay ở Việt Nam.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT TÍNH TOÁN CƯỜNG ĐỘ MẶT ĐƯỜNG CỨNG

Mặt đường cứng bắt đầu được tính toán vào những năm 20 của thế kỷ trước, khi một số nhà nghiên cứu đề xuất các phương pháp gần đúng để xác định độ dày cần thiết của lớp phủ bê tông, điển hình là công thức của Goldbeck [16] và Alder [17]. Công thức dựa trên tải trọng tập trung P được áp dụng ở góc của tấm. Khi giải bài toán này, Goldbeck và Alder dựa trên giả định rằng khi các tấm được gia tải, móng sẽ lún và tách ra khỏi tấm, do đó chỉ có bản thân tấm bê tông hoạt động dưới tải trọng mà không tính đến ảnh hưởng của lớp móng.



a) - Tải trọng tập trung *b) - Tải trọng phân bố*

Hình 2. Mô hình tấm chịu tải trọng ở góc

Khi một tải trọng P được áp dụng ở góc (Hình 2a), ứng suất trong tấm là đối xứng với đường chéo. Đối với mặt cắt ngang ở khoảng cách X từ góc, mô-men uốn cong là P_x và chiều rộng của mặt cắt là 2X. Khi sự hỗ trợ dưới cấp bị bỏ qua và tấm được coi là dầm đúc hẫng, ứng suất kéo trên đỉnh của tấm là:

$$\sigma_c = \frac{P_x}{\frac{1}{6}(2x)h^2} = \frac{3P}{h^2} \quad (1)$$

Trong đó: σ_c là ứng suất do tải góc; P là tải trọng tập trung và h là độ dày của tấm. Lưu ý rằng σ_c độc lập với X. Nói cách khác, mọi mặt cắt ngang, bất kể cách góc bao xa sẽ có cùng ứng suất, như được chỉ ra bởi (1). Nếu tải thật sự là một tải trọng tập trung được áp dụng ở góc, công thức (1) là một giải pháp chính xác, bởi vì, tại một mặt cắt ngang gần tải, với X tiếp cận 0, phản ứng của nền là rất nhỏ và có thể bị bỏ qua.

Những nhược điểm của phương pháp này bao gồm: Không tính đến phản lực của nền; các công thức tính toán bắt nguồn từ lý thuyết uốn dầm, không phải tấm.

Hình 2b biểu diễn trường hợp tải trọng phân bố hình tròn tác dụng gần góc tấm. Do mặt cắt có ứng suất lớn nhất không nằm ngay tại góc nên tổng phản lực của nền đất là khá lớn và không thể bỏ qua.

Tới năm 1926, Harold M. Westergaard [3] đã áp dụng phương

pháp xấp xỉ liên tiếp và thu được các công thức tính ứng suất và độ võng tại cạnh như sau:

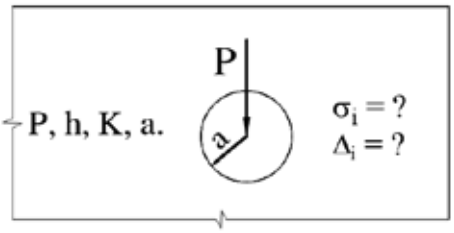
$$\sigma_c = \frac{3P}{h^2}\left[1-\left(\frac{a\sqrt{2}}{\ell}\right)^{0.6}\right] \quad (2)$$

Độ võng:

$$\Delta_c = \frac{P}{kl^2}\left[1.1-0.88\left(\frac{a\sqrt{2}}{\ell}\right)\right] \quad (3)$$

2.1. Phương pháp tính toán cường độ bề mặt cứng của các sân bay theo ICAO

2.1.1. Tải trọng tại tâm tấm (i)



Hình 3. Tải trọng tác dụng tại tâm tấm

Công thức được phát triển bởi Westergaard [3] cho ứng suất bên trong một tấm dưới vùng tải tròn bán kính a như sau:

$$\sigma_i = \frac{3(1+\mu)P}{2\pi h^2}\left(\ln\frac{\ell}{b}+0.6159\right) \quad (4)$$

Trong đó: b - Bán kính tương đương của diện tích chịu tải:

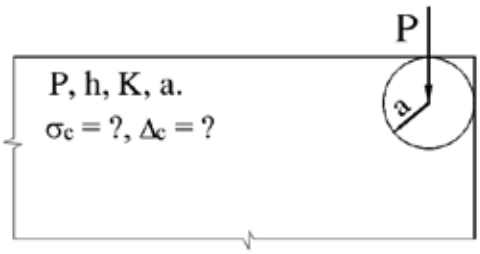
$$b = \begin{cases}\sqrt{1.6a^2+h^2}-0.675h, \text{ if } a<1.724h\\ a, \text{ in all other cases}\end{cases} \quad (5)$$

Khi hệ số Poisson là 0,15, công thức (4) được viết là:

$$\sigma_i = \frac{0.316P}{h^2}\left(4\lg\frac{\ell}{b}+1.069\right) \quad (6)$$

độ võng: $\Delta_i = \frac{P}{8k\ell^2}\left\{1+\frac{1}{2\pi}\left[\ln\left(\frac{a}{2\ell}\right)-0.673\right]\left(\frac{a}{\ell}\right)^2\right\}$.

2.1.2. Tải trọng tác dụng ở góc tấm (c)



Hình 4. Tải trọng tác dụng tại góc tấm

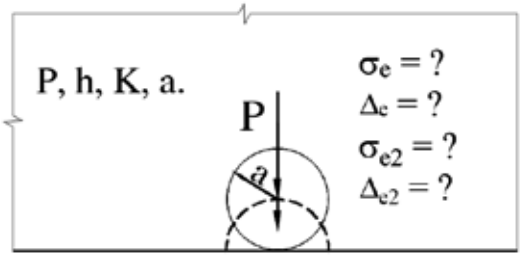
Dựa vào các nghiên của của Westergaard, vào năm 1985, Ioannides và các cộng sự đã áp dụng phương pháp phần tử hữu hạn để đánh giá các giải pháp của Westergaard, họ đề xuất sử dụng các mối quan hệ sau [6]:

$$\sigma_c = \frac{3P}{h^2}\left[1-\left(\frac{c}{\ell}\right)^{0.72}\right], \quad \Delta_c = \frac{P}{k\ell^2}\left[1.205-0.69\left(\frac{c}{\ell}\right)\right] \quad (7)$$

Với $c = 1,772a$

Trong đó: ℓ là đặc trưng đàn hồi của tấm; h là chiều dày tấm bê tông; a là bánh kính hình tròn có diện tích tương đương diện tích tiếp xúc của tải trọng bánh xe; k là hệ số nền.

2.1.3. Tải trọng tác dụng tại cạnh tấm (e)



Hình 5. Tải trọng tác dụng tại cạnh tấm

Ứng suất do tải cạnh đã được Westergaard trình bày trong một số bài báo khác nhau vào các năm 1926b, 1933, 1948 [3, 4, 5] . Trong bài báo năm 1948 của mình, Westergaard đã trình bày các giải pháp tổng quát cho ứng suất và độ võng tối đa được tạo ra bởi các khu vực hình tròn và hình bán nguyệt được đặt ở cạnh tấm, sau đó đã được Ioannides và cộng sự [6] phát triển và đưa ra các công thức sau:

$$\sigma_{e\,(circle)} = \frac{3(1+\mu)P}{\pi(3+\mu)h^2}\left[\ln\left(\frac{Eh^3}{100ka^4}\right)+1.84-\frac{4\mu}{3}+\frac{1-\mu}{2}+\frac{1.18(1+2\mu)a}{\ell}\right] \quad (8)$$

$$\sigma_{e2\,(semicircle)} = \frac{3(1+\mu)P}{\pi(3+\mu)h^2}\left[\ln\left(\frac{Eh^3}{100ka^4}\right)+3.84-\frac{4\mu}{3}+\frac{(1+2\mu)a}{2\ell}\right] \quad (9)$$

$$\Delta_{e\,(circle)} = \frac{P\sqrt{2+1.2\mu}}{\sqrt{Ekh^3}}\left[1-\frac{(0.76+0.4\mu)a}{\ell}\right],$$

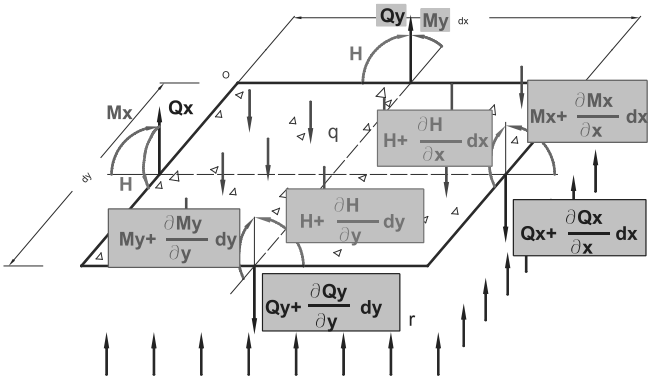
$$\Delta_{e2\,(semicircle)} = \frac{P\sqrt{2+1.2\mu}}{\sqrt{Ekh^3}}\left[1-\frac{(0.323+0.17\mu)a}{\ell}\right].$$

2.2. Phương pháp tính toán cường độ bề mặt cứng của các sân bay theo Liên Xô (cũ) và Liên bang Nga

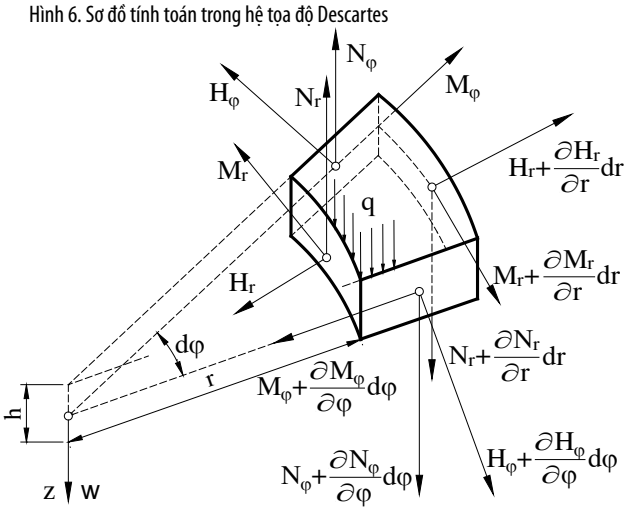
Từ khi các tiêu chuẩn đầu tiên về thiết kế sân bay (CH120-60) [18] có hiệu lực cho đến các tiêu chuẩn hiện nay đang dùng ở Liên bang Nga, thuật toán sau đây được áp dụng để tính đến kết cấu mặt đường sân bay:

- Việc tính toán cường độ được thực hiện theo trạng thái giới hạn về cường độ trong tiết diện thiết kế của tấm bê tông.
- Tấm mặt đường sân bay được coi là một tấm mỏng, vô hạn nằm trên nền đàn hồi theo mô hình Winkler.
- Mô-men tại cạnh tấm thu được theo cách này dưới tác dụng của tải trọng được tính thông qua mô-men uốn tại tiết diện trung tâm của tấm nhân với các hệ số chuyển tiếp K thu được từ thực nghiệm. Các hệ số chuyển tiếp phụ thuộc vào điều kiện cạnh tấm tự do hay có liên kết. Trong các tiêu chuẩn CH120-60, CH120-70 và СНИП-2-47-80 [18, 19, 20], hệ số K được lấy: K = 1,2 đối với mặt đường bê tông và bê tông cốt thép cũng như mặt đường bê tông dự ứng lực nguyên khối chịu nén hai trục. K = 1,0 - dành cho mặt đường đúc sẵn làm từ các tấm bê tông cốt thép ứng suất trước, mặt đường ứng suất trước nguyên khối chịu nén đơn trục. Các tiêu chuẩn sau này, như: СНиП 2.05.08-85, СНиП 32-03-96, СП 121.13330.2012 và СП 121.13330.2019 [2, 21, 22, 23], hệ số K được lấy: K = 1,2 đối với mặt đường bê tông và bê tông cốt thép có liên kết cạnh hoặc cốt thép biên; K = 1,5 đối với mặt đường bê tông và bê tông cốt thép có cạnh tự do, cạnh tấm không có cốt thép biên, -1,5; K = 1,0 đối với tấm bê tông cốt thép ứng suất trước 1,0.

Như vậy, để xác định được mô-men tại tiết diện tính toán, cần tính được mô-men tại tâm tấm khi chịu tải trọng tác dụng. Mô-men uốn tại tiết diện tâm tấm được xác định bằng nghiệm chính xác sử dụng phương pháp cộng tác dụng, trong đó phổ biến là sử dụng sơ đồ tính toán trong hệ tọa độ Đê - cac (Hình 6) và trong hệ tọa độ trụ (Hình 7).



Hình 6. Sơ đồ tính toán trong hệ tọa độ Descartes



Hình 7. Sơ đồ tính toán của tấm trong hệ tọa độ hình trụ

Có thể sử dụng hệ công thức (10) chuyển đổi các công thức để tính toán mô-men uốn trong hệ tọa độ hình trụ thành các công thức cho các mô-men uốn trong hệ tọa độ Descartes:

$$\xi = r.\cos\varphi,\ \ \eta = r.\sin\varphi;$$
$$M_{\xi}(\xi,\eta) = M_r(r).\cos^2\varphi + M_{\tau}(r).\sin^2\varphi; \quad (10)$$
$$M_{\eta}(\xi,\eta) = M_r(r).\sin^2\varphi + M_{\tau}(r).\cos^2\varphi.$$

Vị trí của hệ tọa độ cực, các ký hiệu và ký hiệu cho độ lệch và nội lực phát sinh trong tấm, được thể hiện như trong Hình 7. Do tính đối xứng trục, lực $N_{\varphi}, H_r, H_{\varphi}$ sẽ bằng không. Do đó, phần tử tấm sẽ chịu tác dụng của M_r, M_{φ}, N_r có thể được xác định bằng công thức:

$$\left.\begin{aligned} M_r &= -D\left(\frac{d^2w}{dr^2} + \frac{\mu}{r}\frac{dw}{dr}\right),\\ M_{\varphi} &= -D\left(\mu\frac{d^2w}{dr^2} + \frac{1}{r}\frac{dw}{dr}\right),\\ N_r &= -D\frac{d}{dr}\left(\frac{d^2w}{dr^2} + \frac{1}{r}\frac{dw}{dr}\right), \end{aligned}\right\} \quad (11)$$

Trong đó: μ - Hệ số poisson.

Nếu ký hiệu: $\Delta_r = \frac{d}{dr^2} + \frac{1}{r}\frac{d}{dr}$ Phương trình vi phân của bề mặt đàn hồi của tấm dưới biến dạng đối xứng trục như sau:

$$D\Delta_r\Delta_r w = q - p,$$

Với q là tải tác dụng, p là phản lực nền. Do tấm nằm trên nền đàn hồi Winkle nên $p = k_0 w$ và phương trình của bề mặt đàn hồi có công thức:

$$D\Delta_r\Delta_r w + k_0 w = q. \quad (12)$$

Đặt $\xi = \frac{r}{\ell}$, công thức (12) sẽ có dạng:

$$\left(\frac{d^2}{d\xi^2} + \frac{1}{\xi}\frac{d}{d\xi}\right)^2 w + w = \frac{q\ell^4}{D}. \quad (13)$$

Sau khi biến đổi, thu được hệ hai phương trình vi phân cấp 2:

$$\frac{d^2w}{d\xi^2} + \frac{1}{\xi}\frac{d}{d\xi} \pm iw = 0. \quad (14)$$

Để giải phương trình (14), cần thiết lập mối quan hệ của các hàm này với các hàm Bessel của đối số phức. Để xác định các biến dạng, dịch chuyển và nội lực trong mặt cắt ngang của tấm vô hạn của bề mặt sân bay, cần sử dụng các hàm $u_0, v_0, f_0, g_0, u_1, v_1, f_1, g_1$ được tính toán và thể hiện dưới dạng các hàm Bessel như sau [24, 25]:

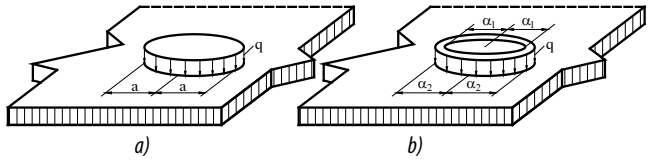
$$\begin{aligned} u_0(\xi) &= \mathrm{Re}\,J_0(\xi\sqrt{i}) = \frac{J_0\left(\xi\sqrt{i}\right) + J_0\left(\xi\sqrt{-i}\right)}{2};\\ v_0(\xi) &= \mathrm{Im}\,J_0(\xi\sqrt{i}) = \frac{J_0\left(\xi\sqrt{i}\right) - J_0\left(\xi\sqrt{-i}\right)}{2i};\\ f_0(\xi) &= \mathrm{Re}\,H_0^{(1)}(\xi\sqrt{i}) = \frac{H_0^{(1)}\left(\xi\sqrt{i}\right) + H_0^{(1)}\left(\xi\sqrt{-i}\right)}{2};\\ g_0(\xi) &= \mathrm{Im}\,H_0^{(1)}(\xi\sqrt{i}) = \frac{H_0^{(1)}\left(\xi\sqrt{i}\right) - H_0^{(1)}\left(\xi\sqrt{-i}\right)}{2i};\\ u_1(\xi) &= \mathrm{Re}\,J_1(\xi\sqrt{i}); \qquad v_1(\xi) = \mathrm{Im}\,J_1(\xi\sqrt{i});\\ f_1(\xi) &= \mathrm{Re}\,H_1^{(1)}(\xi\sqrt{i}); \qquad g_1(\xi) = \mathrm{Im}\,H_1^{(1)}(\xi\sqrt{i}), \end{aligned} \quad (15)$$

Trong đó: $J_0(\xi\sqrt{i}), J_1(\xi\sqrt{i})$ tương ứng với các hàm Bessel bậc không và bậc 1 của đối số $\xi\sqrt{i}$; $H_0^{(1)}(\xi\sqrt{i}), H_1^{(1)}(\xi\sqrt{i})$ tương ứng với các hàm Hankel bậc không và bậc 1 của đối số $\xi\sqrt{i}$. Các ký hiệu Re, Im thể hiện phần thực và phần ảo của chúng.

Các hàm $u_0', v_0', f_0', g_0', u_1', v_1', f_1', g_1'$ được tính thông qua dẫn xuất bởi đối số tương ứng từ các hàm $u_0, v_0, f_0, g_0, u_1, v_1, f_1, g_1$.

Thông qua hệ phương trình (14) kết hợp hàm Bessle, hàm Hankel, tùy thuộc vào loại tải trọng, ta sẽ tính được nội lực trong tấm bê tông vô hạn.

Xét cho trường hợp tấm bê tông vô hạn chịu tác dụng của tải trọng phân bố trên các hình tròn (Hình 8).



Hình 8. Tấm vô hạn chịu tải trọng đối xứng phân bố trên các hình tròn

Để đơn giản hóa việc giải quyết vấn đề này, chúng ta sẽ tính toán cho một tấm chịu tải trọng phân bố đều q_0 trên diện tích của một hình vành khăn được giới hạn bởi hai vòng tròn đồng tâm, bán kính đã cho của chúng được ký hiệu bằng α_1 và $(\alpha_1 < \alpha_2)$ (Hình 8b). Độ võng của tấm bê tông được tính như sau:

при $\xi \le \alpha_1$:

$$w = -\frac{\pi q_0}{2k_0}\left\{\left[\alpha_2 g_0'(\alpha_2) - \alpha_1 g_0'(\alpha_1)\right]u_0(\xi) + \left[\alpha_2 f_0'(\alpha_2) - \alpha_1 f_0'(\alpha_1)\right]v_0(\xi)\right\}, \quad (16)$$

với $\alpha_1 \le \xi \le \alpha_2$:

$$w = -\frac{\pi q_0}{2k_0}\Big[\alpha_2 g_0'(\alpha_2)u_0(\xi) + \alpha_2 f_0'(\alpha_2)v_0(\xi) - \alpha_1 g_0(\xi)u_0'(\alpha_1) - \alpha_1 f_0(\xi)v_0'(\alpha_1) - \frac{2}{\pi}\Big], \quad (17)$$

với $\xi \ge \alpha_2$:

$$w = -\frac{\pi q_0}{2k_0}\left\{\left[\alpha_2 v_0'(\alpha_2) - \alpha_1 v_0'(\alpha_1)\right]f_0(\xi) + \left[\alpha_2 u_0'(\alpha_2) - \alpha_1 f_0'(\alpha_1)\right]g_0(\xi)\right\}. \quad (18)$$

Trong trường hợp $\alpha_1 = 0,\ \alpha_2 = a$, bài toán trở thành tấm vô hạn

chịu tải trọng phân bố đều trên diện tích hình tròn bán kính a (Hình 8a). Từ đó, chúng ta thu được các công thức sau để tính độ võng và mô-men uốn khi tấm chịu tải trọng phân bố đều trên diện tích hình tròn:

$$w(\xi)=\begin{cases}-\dfrac{\pi q a}{2k_0}\left[-\dfrac{2}{\pi a}+g_0'(\alpha)u_0(\xi)+f_0'(\alpha)v_0(\xi)\right] & \text{если } \xi\le\alpha,\\ -\dfrac{\pi q a}{2k_0}\left[v_0'(\alpha)f_0(\xi)+u_0'(\alpha)g_0(\xi)\right] & \text{если } \xi\ge\alpha.\end{cases} \quad (19)$$

$$M_r(\xi)=\begin{cases}\dfrac{\pi q\alpha\ell^2}{2}\left[g_0'(\alpha)v_0^{[M]}(\xi)+f_0'(\alpha)u_0^{[M]}(\xi)\right] & \text{если } \xi\le\alpha,\\ \dfrac{\pi q\alpha\ell^2}{2}\left[v_0'(\alpha)g_0^{[M]}(\xi)+u_0'(\alpha)f_0^{[M]}(\xi)\right] & \text{если } \xi\ge\alpha.\end{cases} \quad (20)$$

$$M_\varphi(\xi)=\begin{cases}\dfrac{\pi q\alpha\ell^2}{2}\left[v_0'(\alpha)\tilde{g}_0^{[M]}(\xi)+u_0'(\alpha)\tilde{f}_0^{[M]}(\xi)\right] & \text{если } \xi\le\alpha,\\ \dfrac{\pi q\alpha\ell^2}{2}\left[g_0'(\alpha)\tilde{v}_0^{[M]}(\xi)+f_0'(\alpha)\tilde{u}_0^{[M]}(\xi)\right] & \text{если } \xi\ge\alpha.\end{cases} \quad (21)$$

Trong đó: q là tải trọng phân bố *κG/cm²*; $\alpha=\dfrac{a}{\ell}$, với a là bán kính vệt bánh xe quy đổi.

Tại tâm tấm, độ võng và mô-men uốn được tính theo công thức:

$$w(0)=\frac{q}{k_0}\left[1-\frac{\pi\alpha}{2}g_0'(\alpha)\right] \quad (22)$$

$$M_r(0)=M_\varphi(0)=-\frac{ql^2}{4}\pi\alpha(1+\mu)f_0'(\alpha). \quad (23)$$

Thông qua mô-men, ta tính được ứng suất theo quan hệ:

$$\sigma_i=\frac{6M}{h^2} \quad (24)$$

3. NGHIÊN CỨU THỬ NGHIỆM SỐ

Để cụ thể hóa cho nghiên cứu này, lời giải được thiết lập cho kịch bản mặt đường bê tông trên nền Winkler chịu tải trọng tác dụng từ máy bay A320-200. Tải trọng bánh tính toán 99,317 N. Thông số kết cấu mặt đường như sau:

Bảng 1. Thông số các lớp kết cấu nền mặt đường

STT	Tên lớp kết cấu	Chiều dày	Thông số vật liệu	Ghi chú
1	Lớp mặt BTXM M350/45	h = 32 cm	E = 310.000, μ = 0,15	
2	Lớp móng CPĐD loại 1 K98	h_1 = 20 cm	C_1 = 300 MN/m³	
3	Lớp nền laterit sỏi sạn K98	h_2 = 30 cm	C_2 = 200 MN/m³	
4	Lớp nền đất tự nhiên	-	C_0 = 60 MN/m³	

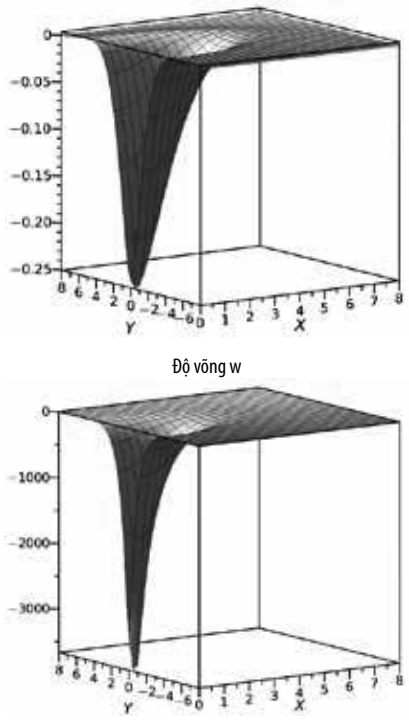
Lớp nền móng từ vật liệu rời được tính toán quy đổi theo công thức sau [7, 8]:

$$C=\frac{C_1+C_2\alpha_2+C_3\alpha_3}{1+\alpha_2+\alpha_3}, \quad (25)$$

$$\alpha_2=\frac{h_2\left[1.6D_r-\left(h_1+0.5h_2\right)\right]}{h_1\left(1.6D_r-0.5h_1\right)};\alpha_3=\frac{0.5\left[1.6D_r-\left(h_1+h_2\right)\right]^2}{h_1\left(1.6D_r-0.5h_1\right)}. \quad (26)$$

Ta xác định được hệ số nền tương đương của lớp nền - móng là: C = 104,3 MN/m³.

Hình 9 thể hiện kết quả tính theo phương pháp của Nga bằng phần mềm Maple.



Hình 9. Đồ thị độ võng, mô-men trong tấm

Kết quả tính độ võng và mô-men theo các phương pháp khác nhau thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 2. Kết quả tính toán độ võng, mô-men theo các phương pháp khác nhau

Phương pháp tính	Độ võng (mm)			Mô-men (daN.cm/cm)		
	Tâm tấm	Cạnh tấm	Góc tấm	Tâm tấm	Cạnh tấm	Góc tấm
Theo TCVN 10907-2015	-	-	-	4.384,64	6.576,96	-
Theo lời giải Westergaard	0,251	0,717	1,665	3.808,13	6.926,57	4.744,86
Theo Ioannides và các cộng sự	0,251	0,717	1,892	3.808,13	6.928,26	4.593,72
Theo Tiêu chuẩn Nga	0,251	0,601	-	3.666,44	6.175,47	-

Qua số liệu ở Bảng 2 ta thấy:

Trong hai phương pháp tính toán theo Westergaard và Ioannides, độ võng mặt đường đạt giá trị lớn nhất khi tải trọng tác dụng tại góc tấm và nhỏ nhất khi tải trọng tác dụng tại tâm tấm. Cụ thể, độ võng tại góc tấm (1,665 mm theo Westergaard và 1,892 mm theo Ioannides) lớn hơn đáng kể so với độ võng tại cạnh tấm (0,717 mm) và tại tâm tấm (0,251 mm).

Đối với vị trí góc tấm, kết quả tính toán của Ioannides cao hơn Westergaard khoảng 13,63% (1,892 mm so với 1,665 mm). Trong khi đó, độ võng tại tâm tấm và cạnh tấm giữa hai phương pháp gần như tương đồng, lần lượt là 0,251 mm và 0,717 mm.

Giá trị mô-men tại tâm tấm giữa các phương pháp theo Ioannides, Westergaard và lý thuyết của Nga có sự chênh lệch không lớn, tối đa chỉ 3,87%, còn độ võng gần như cho kết quả giống nhau. Điều này phản ánh sự tương đồng giữa các phương pháp khi tính toán nội lực cho tấm vô hạn trên nền đàn hồi Winkler.

Theo TCVN 10907-2015, độ võng tại tâm tấm lớn nhất, do có xét đến các yếu tố ảnh hưởng khác.

Trong tất cả các phương pháp được xem xét, mô-men uốn tại cạnh tấm luôn đạt giá trị lớn nhất, cho thấy vị trí cạnh tấm là nguy hiểm nhất khi chịu tác dụng của tải trọng.

Kết quả tính mô-men tại cạnh tấm có sự khác biệt đáng kể giữa các phương pháp. Giá trị thấp nhất được ghi nhận theo phương pháp của Nga, trong khi giá trị cao nhất theo phương pháp Ioannides, chênh lệch giữa hai giá trị này lên tới 12,19%.

4. KẾT LUẬN

Vị trí đặt tải trọng có ảnh hưởng rất lớn đến ứng suất, độ võng của mặt đường cứng nói chung, tấm BTXM mặt đường sân bay nói riêng. Trên thế giới hiện tồn tại nhiều phương pháp tính toán tấm khác nhau. Việc lựa chọn phương pháp tính toán phù hợp phụ thuộc vào điều kiện cụ thể của từng quốc gia.

Qua nghiên cứu và so sánh các phương pháp tính toán nội lực tấm BTXM hiện đang được sử dụng trong các quy trình, tiêu chuẩn của một số nước cho thấy:

- Giá trị độ võng và mô-men khi tải trọng tác dụng tại tâm tấm là tương đồng nhau;
- Độ võng tấm đạt giá trị nhỏ nhất khi tải trọng đặt tại tâm tấm và lớn nhất khi đặt tại góc tấm;
- Mô-men uốn đạt giá trị lớn nhất khi tải trọng tác dụng tại cạnh tấm;
- Sự sai khác giữa các phương pháp tính toán rất lớn, có thể lên tới 12,19%.

Các kết quả trên cho thấy, việc lựa chọn phương pháp tính toán và vị trí tác dụng của tải trọng ảnh hưởng lớn đến kết quả thiết kế chiều dày tấm BTXM. Do đó, cần có các nghiên cứu chuyên sâu nhằm lựa chọn phương pháp phù hợp, đồng thời kết hợp với thực nghiệm để kiểm chứng và hiệu chỉnh trong quá trình tính toán thiết kế mặt đường cứng sân bay cho điều kiện Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] TCVN-10907-2015. Sân bay dân dụng, mặt đường sân bay - Yêu cầu thiết kế, 2015.

[2] СП 121.13330.2019. СНиП 32-03-96 Аэродромы. Министерство строительства и Жилищно-коммунального хозяйства РФ, 2019.

[3] Westergaard H.M. Stresses in Concrete Pavements Computed by Theoretical Analysis. Public Roads, vol. 7, no. 2, pp. 25-35, 1926b.

[4] Westergaard H.M. New Formulas for Stresses in Concrete Pavements of Airfields. Transactions, American Society of Civil Engineers, vol. 113, pp. 425-439, 1948.

[5] Westergaard H.M. Analytical Tools for Judging Results of Structural Tests of Concrete Pavements. Public Roads, vol. 14, no. 10, pp. 185-188, 1933.

[6] Ioannides A.M., Thompson M.R. and Barenberg E.J. Westergaard Solutions Reconsidered. Transportation Research Record 1043, Transportation Research Board, pp. 13-23, 1985.

[7] Phạm Cao Thăng. Tính toán thiết kế mặt đường ô tô và sân bay. NXB. Xây dựng, Hà Nội, 2007.

[8] Phạm Cao Thăng. Tính toán thiết kế các kết cấu mặt đường. NXB. Xây dựng, Hà Nội, 2014.

[9] Trịnh Trung Tiến, Nguyễn Quốc Văn. Ứng xử động lực học của hệ thống 3 tấm BTXM mặt đường cứng trên móng đường chịu tải trọng di động trên mặt đường sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn. Journal of Science and Technique, vol. 07, no. 02, 2024.

[10] Trần Nam Hưng. Mô hình ứng xử nhiệt-cơ của mặt đường cứng nhiều lớp dưới tác động đồng thời của nhiệt độ và tải trọng bánh xe. Tạp chí Giao thông vận tải, tr. 81-84, 2024.

[11] Nguyễn Hữu Giang, Nguyễn Thị Phương, Phạm Hồng Quân. Tính toán tấm mặt đường BTXM trên nền đàn hồi chịu tải trọng tập trung theo lý thuyết biến dạng trượt bậc cao. Tạp chí Cầu đường Việt Nam, 9/2016.

[12] Nguyễn Văn Hiếu. Phân tích trạng thái ứng suất của tấm BTXM mặt đường sân bay chịu tác dụng đồng thời của tải trọng và nhiệt độ trong điều kiện Việt Nam. Tạp chí Cầu đường Việt Nam, ISSN: 1859-459X, 2025.

[13] Tien Dung Vo, Van Hieu Nguyen, Van Thuy Do, Huu Lam Nguyen. Research on application of finite element method to analyze load transfer efficiency according to deflection of airport rigid pavement. Journal of Science and Technique, vol. 07, no. 01, pp. 7-18, 2024, doi: 10.56651/lqdtu.jst.v7.n01.825.sce.

[14] Qiao Meng, Ke Zhong and Mingzhi Sun. Dynamic Response Analysis of Airport Pavement under Impact Loading. Appl. Sci., vol. 13, no. 9, pp. 5723, 2023, doi: 10.3390/app13095723.

[15] Jagadeesh A., Premarathna W.A.A.S., Kumar A., Kasbergen C., Erkens S. Finite element modelling of jointed plain concrete pavements under rolling forklift tire. Engineering Structures, vol. 328, article 119705, 2025, doi: 10.1016/j.engstruct.2025.119705.

[16] Goldbeck A.T. Thickness of Concrete Slabs. Public Roads, 1919.

[17] Older C. Highway Research in Minors. Transactions of the American Society of Civil Engineers, vol. 87, 1924.

[18] СН 120-60. Технические условия проектирования аэродромных покрытий. Государственный комитет совета министров СССР по делам строительства, 1961.

[19] СН 120-70. Указания по проектированию аэродромных покрытий. Государственный комитет Совета Министров СССР по делам строительства (ГОССТРОЙ СССР), 1970.

[20] СНиП II-47-80. Нормы проектирования. Аэродромы. Государственный комитет СССР по делам строительства (Госстрой СССР), 1980.

[21] СНиП 2.05.08-85. Аэродромы. Государственный комитет СССР по делам строительства (Госстрой СССР), 1985.

[22] СНиП 32-03-96. Аэродромы. Министерство строительства РФ (МИНСТРОЙ РОССИИ), 1996.

[23] СП 121.13330.2012. Аэродромы. Министерство регионального развития РФ (Минрегион России), 2012.

[24] Коренев Б.Г. Некоторые задачи теории упругости и теплопроводности, решаемые в бесселевых функциях. М.: Физматгиз, 1960.

[25] Садовой В.Д. Дифференциальное уравнение бесселя. М.: МАДИ, 2019.

■Ngày nhận bài: 29/4/2026 ■Ngày sửa bài: 18/5/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 29/5/2026

Nghiên cứu đề xuất các chỉ tiêu đánh giá cảng biển theo định hướng phát triển xanh

Research proposing evaluation criteria for seaports oriented towards green development

> TS LÊ XUÂN TRƯỜNG[1,*], THS NGUYỄN NHƯ MINH[2]
[1]Trường Đại học Giao thông vận tải
[2]Cục Hàng hải và Đường thủy Việt Nam
[*]Email: lexuantruong@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Tại Việt Nam, phát triển xanh trong lĩnh vực giao thông vận tải trong đó có các cảng biển là một định hướng phát triển quan trọng của ngành. Từ định hướng đó, yêu cầu đối với các hệ thống cảng biển không chỉ là đảm bảo khả năng thông qua của hàng hóa, phát triển kinh tế mà còn đảm bảo phát triển theo định hướng xanh, hạn chế ô nhiễm môi trường. Để đánh giá sự phát triển của các cụm cảng không chỉ cần có hệ thống các tiêu chí và chỉ tiêu đánh giá đầy đủ đảm bảo yêu cầu trên mà còn cần có các tiêu chí, chỉ tiêu đánh giá liên quan đến mục tiêu xanh. Bài báo tập hợp các nghiên cứu trên thế giới về tiêu chí, chỉ tiêu đánh giá sự phát triển của cảng biển, từ đó đề xuất bộ tiêu chí, chỉ tiêu để đánh giá cảng biển Việt Nam theo định hướng xanh. Hệ thống các tiêu chí, chỉ tiêu bao gồm cơ sở hạ tầng trong cảng, hiệu quả vận hành, hiệu quả kinh tế, phát triển theo hướng xanh.

Từ khóa: Phát triển cảng biển xanh; tiêu chí và chỉ tiêu đánh giá cảng biển xanh.

ABSTRACT

The Vietnamese Government has prioritized the development of green transportation infrastructure, with seaports representing a critical component of this strategic initiative. This policy direction mandates that the seaport system simultaneously achieve economic efficiency and maintain cargo throughput capacity while minimizing environmental pollution and advancing sustainable development objectives. To effectively evaluate the performance of seaports against green development targets, a comprehensive and specialized framework of assessment criteria and indicators is essential. This paper synthesizes findings from governmental reports, scholarly articles and empirical research focused on seaport evaluation methodologies. Drawing from documentation that proposes criterion systems specifically designed for Vietnamese seaports, the study identifies four primary evaluation dimensions infrastructure development, operational efficiency, economic performance and environmental sustainability aligned with green development goals.

Keywords: Sustainable green port development; green port assessment criteria and performance indicators.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cảng biển là cửa ngõ giao thông quan trọng của một quốc gia, nơi có khối lượng hàng hóa vận tải, xuất nhập khẩu rất lớn, các loại phương tiện kết nối với cảng rất đa dạng. Do đó, sự phát triển của cảng biển không chỉ đóng vai trò quan trọng cho việc phát triển kinh tế của quốc gia mà còn tạo điều kiện thuận lợi cho hoạt động thương mại quốc tế. Điều đó đặt ra yêu cầu với các cảng biển phải đảm bảo hệ thống cơ sở hạ tầng phục vụ được các tàu biển trọng tải rất lớn, đảm bảo tính kết nối với hệ thống các phương thức vận tải khác, đảm bảo khả năng mở rộng phục vụ phát triển kinh tế, đồng thời đảm bảo phát triển theo định hướng của Nhà nước, trong đó có định hướng phát triển xanh. Điều này đặt ra sự cần thiết phải có hệ thống tiêu chí, chỉ tiêu để đánh giá sự phát triển của các cụm cảng theo các mục tiêu định hướng. Kết quả đánh giá cho từng cụm cảng là cơ sở cho cơ quan quản lý nhà nước, doanh nghiệp khai thác cảng có những giải pháp phát triển cảng, vừa đảm bảo các mục tiêu về kinh tế đồng thời đảm bảo mục tiêu phát triển xanh.

2. NỘI DUNG

Cảng biển là một bộ phận quan trọng của hệ thống giao thông vận tải, đóng vai trò cửa ngõ cho các hoạt động xuất nhập khẩu hàng hóa của quốc gia. Chính phủ Việt Nam đã đặt mục tiêu đến năm 2030 cho các cảng biển đảm bảo phát triển đồng bộ, hiện đại, dịch vụ chất lượng cao, đáp ứng nhu cầu phát triển kinh tế - xã

hội, bảo đảm quốc phòng, an ninh, an toàn hàng hải và bảo vệ môi trường, nâng cao năng lực cạnh tranh của nền kinh tế [1]. Trong những năm gần đây, với việc Chính phủ Việt Nam tham gia các cam kết về ứng phó với biến đổi khí hậu trên thế giới, phát triển giao thông vận tải xanh trong đó có cảng biển là một trong những yêu cầu quan trọng. Bài báo tổng hợp các nghiên cứu đánh giá cảng biển theo hướng xanh trên thế giới, từ đó đề xuất một số tiêu chí, chỉ tiêu cụ thể để đánh giá cảng biển Việt Nam theo hướng phát triển xanh.

2.1. Hệ thống các tiêu chí và chỉ tiêu đánh giá cảng biển

Tổng hợp từ các nghiên cứu [2, 3, 4, 5, 6, 7], các tiêu chí đánh giá sự phát triển của cảng biển được chia thành các nhóm tiêu chí và chỉ tiêu sau:

	Nhóm 1: Tiêu chí về cơ sở hạ tầng	**Nhóm 2: Hiệu quả vận hành**
Các chỉ tiêu	1. Độ sâu của cảng. 2. Số lượng bến, chiều dài từng bến. 3. Diện tích bãi hàng, bãi container. 4. Số lượng cần cẩu tại bến, số lượng cẩu trên bãi, số lượng xe nâng container. 5. Sức chứa kho hàng và trung tâm phân phối.	6. Số lượt tàu cập cảng, trọng tải tàu, khối lượng hàng hóa thông qua. 7. Năng suất của cảng (số tấn hàng hoặc TEU/ mét (chiều dài cầu càng) 8. Thời gian neo đậu và thời gian quay vòng. 9. Tỷ lệ sử dụng thiết bị. 10. Độ tin cậy của dịch vụ và đúng giờ.
	Nhóm 3: Khả năng kết nối và tiếp cận	**Nhóm 4: Tiêu chí kinh tế**
Các chỉ tiêu	11. Hệ thống giao thông trong khu vực cảng. 12. Phạm vi mạng lưới hàng hóa. 13. Khả năng tiếp cận hàng hải (độ sâu luồng lạch, thủy triều). 14. Khả năng vận tải đa phương thức.	15. GDP và khối lượng thương mại khu vực. 16. Cơ cấu hàng hóa và đa dạng hàng hóa vận tải. 17. Thuế quan cảng và chi phí. 18. Mô hình quản lý (công, tư, chủ sở hữu đất). 19. Thị phần và cường độ cạnh tranh.
	Nhóm 5: Tiêu chí về môi trường và phát triển bền vững	**Nhóm 6: Chiến lược và thể chế phát triển**
Các chỉ tiêu	20. Mức tiêu thụ năng lượng và phát thải khí carbon. 21. Tác động chất lượng nước và không khí. 22. Năng lượng xanh (điện bờ, năng lượng tái tạo). 23. Quản lý chất thải và kinh tế tuần hoàn. 24. Tác động tới hệ sinh thái và đa dạng sinh học.	25. Chất lượng quản trị và hiệu quả điều tiết. 26. Đầu tư vào công nghệ mới. 27. Quan hệ lao động và kỹ năng lực lượng lao động. 28. Lập kế hoạch chiến lược và năng lực thích ứng. 29. Sự tham gia của các bên có liên quan.

2.2. Các tiêu chí và chỉ tiêu phát triển cảng biển theo hướng xanh

Đường bờ biển Việt Nam dài 3.260 km với phân loại theo vùng thì hệ thống gồm 5 nhóm cảng biển, phân loại theo quy mô chức năng thì được phân thành 4 nhóm cảng đặc biệt, cảng loại I, cảng loại II, cảng loại III [1]. Với tính chất cửa ngõ quan trọng cho hoạt động vận tải xuất nhập khẩu Việt Nam, nhóm cảng đặc biệt cần dẫn đầu trong sự phát triển theo định hướng xanh, do đó bài báo đề xuất các tiêu chí chỉ tiêu được tổng hợp dưới đây được áp dụng cho nhóm cảng đặc biệt.

Các nghiên cứu trên thế giới đối với cảng cửa ngõ có các yêu cầu về độ sâu mực nước. Nghiên cứu [3] chỉ ra độ sâu của mực nước tại cảng phụ thuộc vào sự phát triển của các thế hệ tàu biển khác nhau. Năm 1956, độ sâu mực nước cảng là dưới 9 m, đến năm 2012 độ sâu tại cảng là 15,5 m. Trong nghiên cứu tại Myanma [7] năm 2018, cảng biển được coi là cảng nước sâu khi độ sâu của mực nước tối thiểu là 13 m đến 14 m, phục vụ được tàu có trọng tải 3.000 đến 4.000 TEU. Nghiên cứu [5] đặt ra yêu cầu độ sâu mực nước tại cảng từ 15,5 m đến 17,5 m. Nghiên cứu [6] đề xuất độ sâu của mực nước là 20 m, trong khi đó báo cáo [9] chỉ ra rằng cảng Rotterdam đạt độ sâu 24 m. Từ các nghiên cứu trên, bài báo đề xuất tiêu chí bổ sung với các cảng đặc biệt của Việt Nam.

** Nhóm tiêu chí về cơ sở hạ tầng đối với các cảng cửa ngõ như Lạch Huyện và Cái Mép - Thị Vải:*

- Độ sâu tối thiểu tại bến là 14 - 18 m đảm bảo phục vụ được các tàu container siêu lớn (Ultra Large Container Vessels (ULCVs)).

- Cầu cảng chịu được tải trọng của tàu container siêu lớn (ULCVs).

- Độ sâu kênh và khu vực quay đầu của tàu phải đảm bảo phục vụ được tàu container siêu lớn (ULCVs).

- Tầm với và khả năng nâng của cần cầu phục vụ được các tàu container siêu lớn(ULCVs).

- Có kết nối vùng hậu phương rộng lớn.

** Tiêu chí đảm bảo phát triển theo mục tiêu xanh cho hệ thống cảng Việt Nam:*

Nội dung 2.1 là các tiêu chí và chỉ tiêu chung được tổng hợp từ nhiều nghiên cứu, các chỉ tiêu này dùng để đánh giá cảng biển ở các nước khác nhau trên thế giới. Để đánh giá sự phát triển của các theo hướng xanh bài báo sử dụng hệ thống các tiêu chí và chỉ tiêu đã tổng hợp và đề xuất một số tiêu chí và chỉ tiêu cụ thể như sau:

Tại Việt Nam, Cục Hàng hải và Đường thủy Việt Nam đã nghiên cứu và có báo cáo "Đề án cảng xanh" [9]. Trong đề án này đã đề xuất 6 nhóm tiêu chí chung trong đó có các tiêu chí chi tiết, tuy nhiên các tiêu chí này có tính chất định hướng chưa bao gồm các chỉ tiêu cụ thể. Nội dung bài báo đề xuất một số chỉ tiêu cụ thể có thể đo lường định lượng để phục vụ đánh giá các cảng như sau:

- Mức tiêu thụ năng lượng hóa thạch trên một tấn hàng hóa hoặc TEU (đối với vận tải container)

- Mật độ ô nhiễm khí carbon;

- Mức độ ô nhiễm tiếng ồn;

- Số vốn đầu tư và các cơ sở hạ tầng xanh;

- Tỷ lệ sử dụng năng lượng tái tạo;

- Kiểm soát xói mòn bờ biển;

- Xử lý rác, nước thải trong cảng;

- Mức độ đa dạng sinh học và hệ sinh thái biển tại cảng.

Đề xuất một số giải pháp cần thực hiện nhanh để đạt được tiêu chí, chỉ tiêu xanh tại cảng cửa ngõ:

- Để đảm bảo các cảng cửa ngõ nhanh chóng chuyển đổi năng lượng sử dụng, kiến nghị các cơ quan quản lý nhà nước cần triển khai nhanh các dự án về phát triển điện bờ.

- Giải pháp về phương tiện vận tải biển, tổ chức hàng hải quốc tế cũng đã có những báo cáo thường niên về phương tiện vận tải biển xanh [10] và chiến lược đối với phương tiện tàu biển xanh [11]. Điều này cũng hỗ trợ cho các cảng biển đạt được mục tiêu xanh, khi một phần hoạt động của tàu biển là ở trong không gian cảng. Việt Nam cũng cần xem xét có những quy định đối với tiêu chí, chỉ tiêu đối với phương tiện tàu biển.

3. KẾT LUẬN

Nội dung bài báo đã tổng hợp các tiêu chí và chỉ tiêu đánh giá cảng của các nghiên cứu trên thế giới, đồng thời đề xuất một số tiêu chí chỉ tiêu cụ thể đánh giá sự phát triển của các cảng biển theo định hướng xanh. Các nghiên cứu tiếp theo có thể ứng dụng cụ thể các tiêu chí và chỉ tiêu cụ thể đã được xây dựng vào việc đánh giá các cảng biển ở Việt Nam.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ và được thực hiện trong Trường Đại học Giao thông vận tải (ĐH GTVT). Xin trân trọng cảm ơn sự tài trợ và sự giúp đỡ của các đồng nghiệp từ Trường Đại học Giao thông vận tải và Cục Hàng hải và Đường thủy Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Quyết định 1579/QĐ-TTg. Quyết định phê duyệt Quy hoạch tổng thể phát triển hệ thống cảng biển Việt Nam thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050, 2021.

[2] A. Pabón-Noguera, M. G. Carrasco-García, J. J. Ruíz-Aguilar, M. I. Rodríguez-García, M. Cerbán-Jimenez and I. J. T. Domínguez. Multicriteria Decision Model for Port Evaluation and Ranking: An Analysis of Container Terminals in Latin America and the Caribbean Using PCA-TOPSIS Methodologies. Applied Sciences (Switzerland), vol. 14, no. 14, Jul. 2024, doi: 10.3390/app14146174.

[3] S. F. Al-Khatib and R. Md Hanafiah. Assessing port readiness for mega vessels: the case of largest terminal seaports. Australian Journal of Maritime and Ocean Affairs, vol. 15, no. 4, pp. 440-463, 2023, doi: 10.1080/18366503.2022.2133203.

[4] Y. Wang and G. T. Yeo. Intermodal route selection for cargo transportation from Korea to Central Asia by adopting Fuzzy Delphi and Fuzzy ELECTRE I methods. Maritime Policy and Management, vol. 45, no. 1, pp. 3-18, Jan. 2018, doi: 10.1080/03088839.2017.1319581.

[5] E. K. Zavadskas, Z. Turskis and V. Bagočius. Multi-criteria selection of a deep-water port in the Eastern Baltic Sea. Applied Soft Computing Journal, vol. 26, pp. 180-192, 2015, doi: 10.1016/j.asoc.2014.09.019.

[6] X. Zhuang, W. Li and Y. Xu. Port Planning and Sustainable Development Based on Prediction Modelling of Port Throughput: A Case Study of the Deep-Water Dongjiakou Port. Sustainability (Switzerland), vol. 14, no. 7, Apr. 2022, doi: 10.3390/su14074276.

[7] M. Oosterwegel. "Connecting Myanmar" - towards a framework for a sustainable and stakeholder-inclusive deep sea port development strategy a case study of ports in Myanmar, 2018.

[8] M. Awad and A. Shahhat. Potentials and challenges for Egypt to achieve blue growth: an Potentials and challenges for Egypt to achieve blue growth: an SDG 14 perspective SDG 14 perspective, 2019. Internet: https://commons.wmu.se/all_dissertations/1179.

[9] Cục Hàng hải Việt Nam. Đề án phát triển cảng xanh tại Việt Nam, 2020.

[10] IMO. At a crossroads annual progress report on green shipping corridors, 2025.

[11] IMO. Strategy on reduction of GHG emissions from ships, 2023.

■Ngày nhận bài: 03/3/2026 ■Ngày sửa bài: 18/3/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 31/3/2026

Quản lý chất lượng công trình đất đắp khu vực Tây Nguyên

Quality management of earthworks in the Central Highlands region Vietnam

> PGS.TS NGUYỄN TRỌNG TƯ
Trường Đại học Thủy lợi; Email: nguyentrongtu@tlu.edu.vn

TÓM TẮT

Điều kiện tự nhiên khu vực Tây Nguyên có những đặc thù tác động lớn đến chất lượng các công trình xây dựng trong vùng, đặc biệt là các công trình đất đắp. Với sự phân hóa rõ rệt giữa mùa mưa và mùa khô, điều kiện thời tiết có thể ảnh hưởng đáng kể đến chất lượng công trình cũng như công tác quản lý chất lượng trong quá trình thi công. Bên cạnh đó, điều kiện địa chất khu vực cũng có những đặc điểm đặc biệt, đòi hỏi các nhà quản lý và chuyên gia kỹ thuật phải quan tâm khi tham gia xây dựng các công trình tại đây. Trên cơ sở đó, bài báo đề xuất các giải pháp trong công tác quản lý chất lượng công trình cũng như các biện pháp kỹ thuật nhằm khắc phục những tác động bất lợi từ đặc tính cơ lý của đất khu vực Tây Nguyên, đáp ứng yêu cầu về chất lượng công trình xây dựng nói chung và công trình đất đắp nói riêng. Công tác quản lý chất lượng công trình đất đắp cần được thực hiện theo quy trình chặt chẽ trong toàn bộ quá trình triển khai. Việc sử dụng xi măng và tro bay với tỷ lệ thích hợp có thể giúp đáp ứng các yêu cầu về chất lượng công trình đất đắp có các tính chất cơ lý đặc thù như trương nở, lún ướt, tan rã và co ngót. Bài báo đánh giá các yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng công trình đất đắp, quy trình thi công và các giải pháp nhằm hạn chế tác động bất lợi do đặc tính cơ lý của đất khu vực Tây Nguyên.

Từ khóa: Đất đắp; đất Tây Nguyên; quản lý chất lượng; đất tan rã; công trình đất.

ABSTRACT

The natural conditions of the Central Highlands, Vietnam present unique characteristics that significantly affect the quality of construction works in the region, particularly earthworks. The distinct two-season climate exerts considerable influence on both construction quality and quality management during implementation. In addition, the geological conditions pose specific challenges that attract the attention of managers and technical experts when undertaking projects in this area. Given these characteristics, this paper proposes approaches for quality management as well as technical solutions to mitigate the adverse impacts of the geotechnical properties of soils in the Central Highlands, thereby ensuring construction quality in general and earthworks in particular. Effective quality management of earthworks requires strict adherence to construction procedures. The application of cement and fly ash in appropriate proportions can improve soil properties and satisfy quality requirements, addressing problematic behaviors such as swelling, wet settlement, disintegration, and shrinkage. The paper also presents assessments of the factors influencing the quality of earthworks, construction processes, and remedial measures to reduce the adverse effects arising from the geotechnical characteristics of soils in the Central Highlands.

Keywords: Earth filling; Central Highlands soil; quality management; disintegration soil; earthwork.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong các công trình xây dựng, để đảm bảo chất lượng các công trình thì công tác quản lý việc tuân thủ các quy trình, quy phạm khi triển khai được đặc biệt coi trọng. Với công trình đất đắp có các yêu cầu quản lý chất lượng đầu vào có tính quyết định đến hiệu quả và chất lượng của việc thi công rất lớn. Việc lựa chọn các thông số của đất đắp khi đưa vào thi công có tác động lớn tới tốc độ thi công, hiệu quả về kinh tế và đáp ứng chất lượng của công trình. Với độ ẩm của đất khi đưa vào đắp nếu khống chế không tốt trong quá trình thi công có thể dẫn tới kéo dài thời gian đầm nén mới đạt được độ chặt theo yêu cầu hoặc có thể không đạt được. Công cụ đầm cũng là một trong những yếu tố chính ảnh hưởng tới chất lượng, tiến độ thi công công trình đất đắp. Chiều dày rải các lớp đất phù hợp với công cụ đầm có thể giảm số lần đầm nén, đẩy nhanh tiến độ thi công và giảm giá thành thi công. Loại công cụ đầm còn cần phù hợp với loại đất, loại công trình đất thuộc giao thông, thủy lợi hoặc công trình dân dụng. Bên cạnh công tác quản lý quy trình thi công và quản lý chất lượng vật liệu đất đắp, việc lựa chọn được giải pháp cải thiện tính chất cơ lý của đất đắp cũng có tác động lớn tới chất lượng của công trình. Với các tính chất đặc biệt của đất đắp khu vực Tây Nguyên, các vị trí làm việc của kết cấu công trình có thể tiếp xúc với nước, hoặc bị khô dẫn tới các hiện tượng nứt nẻ công trình hoặc

thay đổi sức chịu tải làm mất an toàn cho công trình. Bài báo giới thiệu một số giải pháp khắc phục các yếu tố bất lợi do đặc tính cơ lý của đất khu vực Tây Nguyên trong xây dựng công trình.

2. QUẢN LÝ CHẤT LƯỢNG THI CÔNG CÔNG TRÌNH ĐẤT ĐẮP

Các công trình đất đắp được tạo thành từ các vật liệu đất đưa vào công trình. Khi đầm nén đất, dưới tác dụng của đầm, các hạt đất sẽ dịch chuyển vào các khe rỗng làm cho mật độ hạt đất tăng lên, khe rỗng được thu hẹp, dung trọng đất đắp được tăng lên, độ thấm của đất đắp sẽ giảm và đất được đầm chặt. Với các đặc tính cơ lý của đất sẽ có các tác động lớn tới quá trình thi công đảm bảo chất lượng công trình. Qua các nghiên cứu về đầm nén đất cho thấy các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu quả đầm nén của công tác đất có thể được chia thành các yếu tố bên trong và yếu tố bên ngoài. Các yếu tố bên trong chủ yếu bao gồm tính chất vật liệu, loại vật liệu và sức chịu tải của nền hoặc lớp đất bên dưới; các yếu tố bên ngoài chủ yếu bao gồm tải trọng đầm, các thông số đầm, thiết bị lu lèn, loại đầm và phương pháp đầm [1]. Các vật liệu đất đắp có các thông số chính cần chú ý khi đưa vào sử dụng như: thành phần các hạt khoáng chất trong đất, cấp phối thành phần hạt, độ ẩm của đất đắp. Các thành phần khoáng chất trong đất tạo nên các tính chất cơ lý đặc biệt, bên cạnh đó có thể tạo thành hai loại đất cơ bản là đất có tính dính và đất không có tính dính. Trong thành phần hạt đất dính có các hạt bụi, sét và các khoáng chất tạo nên tính dính của đất. Với các loại đất này có ảnh hưởng lớn tới việc lựa chọn loại đất sử dụng cho phù hợp với quá trình làm việc của công trình. Đất có tính dính sẽ có sự liên kết giữa các thành phần cấu tạo trong kết cấu của đất đắp, có hệ số thấm nước nhỏ, có tác dụng ngăn nước thấm qua. Tính dính của đất này cũng góp phần cản trở quá trình nén chặt đất do liên kết giữa các hạt đất làm giảm quá trình dịch chuyển của các hạt đất khi đầm, dẫn tới khó đầm chặt. Tính thoát nước kém của đất dính làm cho quá trình thoát nước trong đất đắp khó được đầm chặt nếu lượng nước trong khối đất lớn, không thoát ra được, các hạt đất không dịch chuyển vào các khe rỗng do nước chiếm chỗ. Tuy nhiên khi đầm đất các hạt đất dịch chuyển sẽ tạo ra lực ma sát giữa các hạt đất, các hạt bụi, hạt khoáng trong đất dính sẽ làm giảm ma sát giữa các hạt đất khi đầm làm cho quá trình đầm đất hiệu quả hơn. Trong khi đó, đất không có tính dính khi đầm chặt cũng có các hiện tượng gây cản trở quá trình dịch chuyển của các hạt đất. Mặc dù không có lực dính liên kết giữa các hạt đất, nước trong khối đất dễ thoát ra ngoài trong quá trình đầm nén, tuy nhiên lực ma sát giữa các hạt đất sẽ lớn, làm hạn chế việc dịch chuyển của các hạt đất nên khó đầm chặt.

Bên cạnh tính chất của đất, thành phần cấp phối hạt có tác động tới quá trình dịch chuyển các hạt đất. Theo nguyên lý đầm nén đất, khi đầm nén, các hạt đất sẽ dịch chuyển làm giảm độ rỗng trong đất làm cho mật độ hạt đất tăng và đất được đầm chặt. Khi cấp phối của đất có thành phần hạt phân tán, khi đầm các hạt đất có kích thước nhỏ dễ dịch chuyển vào khe rỗng của các hạt lớn làm cho khối đất nhanh được đầm chặt. Trong khi đó, nếu thành phần hạt có cấp phối tương đối đồng đều, các hạt đất sẽ khó dịch chuyển để lấp đầy các khe rỗng của các hạt đất khác, làm hạn chế việc thu hẹp khe rỗng của khối đất. Vì vậy với đất có cấp phối thành phần hạt đồng đều khi đầm có độ chặt giảm hơn so với các khối đất có cấp phối phân tán.

Trong các tính chất cơ lý của đất, độ ẩm của đất có ảnh hưởng rất lớn đến hiệu quả đầm nén đất. Độ ẩm của đất có tác dụng làm giảm ma sát giữa các hạt đất trong quá trình dịch chuyển khi đầm nén. Tuy nhiên ở mức độ nào đó, độ ẩm cũng có thể làm cản trở quá trình dịch chuyển của hạt đất khi đầm nén do làm tăng liên kết của hạt đất đối với đất dính, hoặc do áp lực nước lỗ rỗng do lượng nước trong đất quá lớn. Vì vậy để đầm nén đất hiệu quả cần đáp ứng được độ ẩm tốt nhất, khi đó quá trình đầm nén nhanh đạt độ chặt yêu cầu và đỡ tốn công đầm nhất. Muốn đạt được khối lượng thể tích khô lớn nhất, đất đắp phải có độ ẩm tốt nhất. Độ sai lệch về độ ẩm của đất đắp nên dao động như sau: đối với đất dính 10% của độ ẩm tốt nhất, đối với đất không dính 20% của độ ẩm tốt nhất [3].

Lựa chọn công cụ đầm phù hợp cũng đem lại hiệu quả rõ rệt trong quá trình đầm nén. Thiết bị đầm tạo ra lực đầm tác dụng lên đất được đầm nén làm cho đất được đầm chặt. Tùy thuộc vào loại đất để sử dụng loại thiết bị đầm thích hợp sẽ làm cho quá trình đầm nén của đất diễn ra thuận lợi, nhanh đạt yêu cầu của đầm nén. Với công cụ đầm nén đất chủ yếu xác định loại đầm có vấu hay đầm lăn phẳng, đầm bánh thép hay bánh lốp. Bên cạnh tải trọng của đầm, cần chọn loại đầm có lực tĩnh hay lực động, lực xung kích hay lực rung động căn cứ vào loại đất được đầm.

Việc tổ chức thi công công tác đầm nén cần được tính toán để đảm bảo quá trình đầm nén đảm bảo chất lượng, tránh đầm sót. Áp lực đầm nén, tốc độ di chuyển của thiết bị đầm liên quan tới chiều dày lớp đất và số lần cần đầm để đáp ứng được yêu cầu. Trong công tác đầm nén đất, phương án tổ chức và quản lý quá trình thực hiện nhằm đảm bảo sự đồng đều cho khối đất được đầm chặt có ý nghĩa rất quan trọng. Khi đã xác định được các thông số đầm nén liên quan thì trình tự thi công thích hợp sẽ đảm bảo cho khối đất được đầm chặt hết chiều sâu lớp rải, tổ chức đầm theo trình tự sẽ quản lý được việc bỏ sót các vị trí đầm. Các vị trí trong khối đất đắp không đáp ứng được yêu cầu về độ chặt có thể dẫn tới những ảnh hưởng lớn cho công trình khi đưa vào vận hành. Do đó khi đầm nén đất ngoài hiện trường, đơn vị thi công cần phân đoạn thi công cụ thể để tổ chức thi công các lớp theo trình tự và được giám sát chặt chẽ (Hình 1).



Hình 1. Trình tự thi công đầm nén đất

Các công trình đất đắp thường có khối lượng thi công lớn hoặc rất lớn. Xác định được các thông số thi công đầm nén đất phù hợp, áp dụng cho thi công đại trà sẽ đem lại những hiệu quả lớn về thời gian và chi phí thi công đầm nén.

Trong thi công đắp đập theo quy định nhà thầu xây dựng phải tổ chức thí nghiệm đầm nén hiện trường đối với từng loại đất để xác định tối ưu các thông số đầm nén trước khi thi công như chiều dày lớp rải, thiết bị đầm, và số lần đầm để đạt dung trọng khô thiết kế và độ ẩm thích hợp nhất [4].

Công tác thí nghiệm xác định các thông số đầm nén như độ ẩm đầm nén tốt nhất, khối lượng thể tích khô lớn nhất của đất đắp có thể áp dụng theo tiêu chuẩn TCVN 12790-2020 [5] về đầm nén tiêu chuẩn cho các công trình giao thông làm căn cứ để xác định các thông số khác. Khi đắp đất lớp tiếp theo cần đảm bảo độ chặt yêu cầu của lớp đắp bên dưới đã được kiểm tra xác định, đồng thời đảm bảo liên kết giữa hai lớp đất đắp.

3. NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG CÔNG TRÌNH ĐẮP ĐẤT KHU VỰC TÂY NGUYÊN

Bên cạnh quy trình đắp đất như đã trình bày ở trên, với các công trình đất đắp khu vực Tây Nguyên, vật liệu đất đắp thường có các tính chất cơ lý đặc biệt. Khi sử dụng vật liệu cho công trình cần bố trí cho phù hợp với đặc tính của đất đắp để đảm bảo chất lượng cho công trình. Các tính chất cơ lý đặc biệt như tính co ngót, tính tan rã, tính trương nở và tính lún ướt ở mức độ nào đó có thể gây bất lợi cho công trình. Vì vậy khi thi công đất đắp ở khu vực Tây Nguyên cần xác định các thông số để đánh giá đặc tính cơ lý của đất đắp và có các giải pháp xử lý thích hợp cho công trình.

Các công trình đất đắp ở Tây Nguyên thường bị xói lở dưới tác động của dòng chảy mặt hoặc do mưa khi đất đắp có tính tan rã cao.

Sự tan rã của đất là quá trình đất bị phá vỡ kết cấu khi ngâm trong nước [6]. Tan rã là hiện tượng vật lý khi ngâm đất trong nước thì thành phần hạt sét của đất tan ra trong nước dưới dạng keo. Mức độ tan rã phụ thuộc rất nhiều vào độ chặt và độ ẩm ban đầu trước khi bị ngâm nước. Độ chặt càng thấp và đất càng khô thì tan rã càng mạnh. Khi có dòng chảy mặt tác động các thành phần hạt dễ dàng bị cuốn trôi gây xói công trình làm cho chất lượng công trình bị ảnh hưởng. Trong phạm vi bài báo này giới thiệu đặc tính cơ lý của đất đắp tại một số địa điểm có công trình đất đắp bị ảnh hưởng do xói lở bề mặt và đề xuất phương án cải thiện đặc tính cơ lý bất lợi của đất đắp nhằm đảm bảo chất lượng công trình. Các mẫu đất thí nghiệm được thu thập tại thực địa khu vực đập la Mláh, xã Phú Túc và đập Đăk Prong, Xã Chư Prong, tỉnh Gia Lai. Kết quả nghiên cứu vật liệu đất lựa chọn để đắp có các tính chất vật lý cơ học đều đảm bảo yêu cầu về chất lượng đất đắp nư trong Bảng 1, Bảng 2. Vật liệu có tính trương nở yếu, có thể sử dụng làm vật liệu đắp đập. Với đặc trưng tan rã của đất cho thấy vật liệu có tính tan rã cao, khi sử dụng vật liệu này làm đất đắp phải có biện pháp xử lý để tăng chất lượng cho công trình (Bảng 3). Vì vậy đề xuất sử dụng phụ gia có tính kết dính nhằm giảm tính tan rã của đất đắp [2].

Bảng 1. Kết quả thí nghiệm xác định thông số cơ lý của đất

Vị trí lấy mẫu	Độ ẩm tối ưu W_{op} (%)	Khối lượng riêng khô max ρ_{dmax} (g/cm^3)	Góc ma sát trong φ (độ)	Lực dính đơn vị C (kG/cm^2)
Đập la Mláh	19,69	1,80	22^{0}3′	0,276
Đập Đăk Prong	14,40	1,75	21^{0}14′	0,222

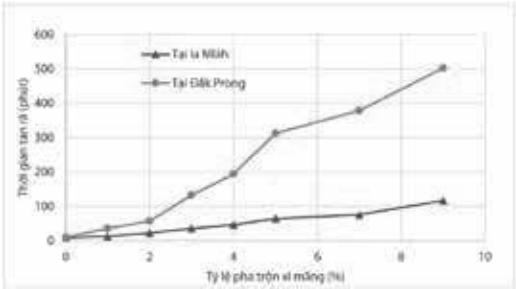
Bảng 2. Kết quả thí nghiệm nén lún

Vị trí lấy mẫu	Hệ số thấm K (cm/s)	Hệ số nén lún a (cm^2/kG)	Modul biến dạng Eo (kG/cm^2)
Đập la Mláh	5,69E-05	0,020	93,56
Đập Đăk Prong	1,63E-05	0,021	124,18

Bảng 3. Kết quả thí nghiệm tính trương nở, tính tan rã của đất

Vị trí lấy mẫu	Độ trương nở thể tích $D_{tr.n}$ %	Độ ẩm trương nở $W_{tr.n}$ %	Áp lực trương nở (kPa)	Độ tan rã D_{tr}%	Thời gian tan rã t(s)
Đập la Mláh	4,15	34,97	7	100	500
Đập Đăk Prong	4,58	27,28	11	100	600

Để giảm khả năng bị tan rã của đất ta cần phải làm giàu các ion dương Ca++ cho đất. Nghiên cứu này đã tiến hành thử nghiệm pha trộn vật liệu với phụ gia Bentonite. Kết quả nghiên cứu cho thấy tính tan rã giảm đi nhưng không đáng kể. Tuy nhiên tính trương nở của vật liệu tăng lên nhanh chóng và đặc biệt cường độ chống cắt của vật liệu suy giảm rất nhanh. Do đó việc sử dụng phụ gia Bentonite là không phù hợp. Vật liệu đất đắp cũng đã được thử nghiệm pha trộn với phụ gia vôi bột. Kết quả nghiên cứu cho thấy tính tan rã giảm đi tương đối nhưng cũng không thỏa mãn về cường độ kháng cắt. Như vậy, việc sử dụng phụ gia vôi là không phù hợp. Khi thử nghiệm pha trộn vật liệu với phụ gia xi măng, cho thấy hiệu quả không những làm giảm tính tan rã, giảm tính trương nở mà cường độ kháng cắt của vật liệu cũng được đảm bảo. Loại xi măng được sử dụng trong nghiên cứu là xi măng Vicem Hoàng Thạch PCB30.



Hình 2. Biểu đồ quan hệ giữa thời gian tan rã của đất đắp và tỷ lệ xi măng pha trộn

Kết quả thí nghiệm cho thấy sự suy giảm của tốc độ tan rã khi gia tăng hàm lượng phụ gia xi măng. Đặc biệt, khi cùng với một tỷ lệ phụ gia xi măng được trộn, thì thời gian tan rã của đất đắp khu vực đập Đăk Prong lớn hơn rất nhiều so với đất đắp khu vực đập la Mláh, như trong Hình 2.

Kết quả nghiên cứu cho thấy, nếu dùng Bentonite hoặc vôi bột làm phụ gia thì có hiệu quả làm giảm tính tan rã nhưng cũng làm giảm tính kháng cắt của đất rất lớn, nên không phù hợp cho việc lựa chọn làm phụ gia. Khi lựa chọn xi măng làm phụ gia thì tính chất tan rã của đất giảm đi rõ rệt, đồng thời các tính chất cơ học của đất vẫn được đảm bảo. Thí nghiệm xác định các tính chất cơ học của đất:

Ngoài ra các tính chất về thấm, biến dạng của đất cũng được kiểm chứng nhằm đánh giá ảnh hưởng của phụ gia xi măng đến tính chất này. Căn cứ vào ảnh hưởng của hàm lượng xi măng đến tính tan rã của đất, đề xuất sử dụng hàm lượng phụ gia xi măng với tỷ lệ tối ưu cho đất đắp đập la Mláh và Đăk Prong lần lượt là 5% và 3%. Vì vậy thí nghiệm kiểm chứng các tính chất cơ học của đất cũng được kiểm tra với tỷ lệ này, kết quả như trong Bảng 4.

Bảng 4. Kết quả xác định tính chất cơ lý của đất đắp sau khi pha trộn phụ gia xi măng

Tỷ lệ phụ gia	Modul biến dạng Eo (kG/cm^2)	Hệ số thấm K (cm/s)	Góc ma sát trong φ (độ)	Lực dính đơn vị C (kG/cm^2)
5% xi măng- tại la Mláh	146,32	1,26E-05	20^{0}41′	0,204
3% xi măng - tại Đắk Prong	149,80	0,72E-05	18^{0}54′	0,225

Kết quả thí nghiệm cho thấy với hàm lượng phụ gia xi măng lựa chọn như trên thì các chỉ tiêu về chống thấm, kháng cắt và biến dạng đều đảm bảo cho công trình đất đắp.

4. KẾT LUẬN

Đất đắp đập khu vực Tây Nguyên có tính cơ lý đặc biệt có thể gây bất lợi cho ổn định của công trình. Để đảm bảo chất lượng công trình đất đắp ở khu vực này, cần triển khai công tác tổ chức thi công theo đúng trình tự, công tác quản lý chất lượng theo đúng quy trình. Quy trình đắp đất được thực hiện theo các phân đoạn và theo thứ tự rải đất, san đất và đầm đất. Công tác theo dõi giám sát nhằm đảm bảo khối đất được đắp đạt yêu cầu và đồng nhất. Việc xác định tính chất cơ lý đặc biệt của đất đắp là cần thiết, từ đó có giải pháp kỹ thuật phù hợp nhằm giảm tác động bất lợi khi sử dụng vật liệu có tính cơ lý này. Với đất đắp khu vực đập la Mláh và Đăk Prong có tính tan rã lớn, đất đắp khu vực này có thể xảy ra hiện tượng xói lở khi khối đất đắp chịu tác động của nước mưa hoặc dòng chảy mặt. Để hạn chế tình trạng xói lở cho khối đắp, khi thi công có thể bổ sung xi măng pha trộn cùng với đất đắp nhằm đảm bảo chất lượng cho công trình với tỷ lệ 5% xi măng cho khu vực la Mláh và 3% xi măng cho đất khu vực Đăk Prong.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Qinglong Zhang, Zaizhan An, Zehua Huangfu and Qingbin Li. A Review on Roller Compaction Quality Control and Assurance Methods for Earthwork in Five Application Scenarios. 15(7), 2610, Materials, 1 April 2022, https://doi.org/10.3390/ma15072610.

[2] Nguyễn Trọng Tư. Nghiên cứu giải pháp sử dụng đất tại chỗ để xây dựng, sửa chữa và nâng cấp đập đất vừa và nhỏ Tây Nguyên. Đề tài nghiên cứu khoa học, Bộ NN&PTNT, 2017.

[3] TCVN 4447:2012. Công tác đất - Thi công và nghiệm thu.

[4] TCVN 8297:2018. Công trình thủy lợi - Đập đất đầm nén - Thi công và nghiệm thu.

[5] TCVN 12790:2020. Đất, đá dăm dùng trong công trình giao thông - Đầm nén Proctor.

[6] TCVN 8718:2012. Đất xây dựng công trình thủy lợi. Phương pháp xác định các đặc trưng tan rã của đất trong phòng thí nghiệm.

■Ngày nhận bài: 04/3/2026 ■Ngày sửa bài: 17/3/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 31/3/2026

Nghiên cứu tổng quan phương pháp dự báo lún nền đường ô tô đắp trên đất yếu

An overview of methods for predicting settlement of highway embankments on soft ground

> THS VŨ ANH TUẤN[1], THS VŨ BÁCH TUẤN[2,*], PGS.TS PHẠM THÁI BÌNH[3], PGS.TS NGUYỄN ĐỨC MẠNH[4]
[1,3]Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải
[4]Trường Đại học Giao thông vận tải
[2]Công ty Cổ phần Đầu tư và Tư vấn thiết kế Số Một
[*]Email: bachtuanc1@gmail.com

TÓM TẮT

Lún nền đường ô tô tại những khu vực đắp trên đất yếu là một trong những vấn đề quan trọng ảnh hưởng tới an toàn khai thác và tuổi thọ công trình. Việc dự báo hay xác định chính xác độ lún để kiểm soát chúng vẫn là một thách thức lớn trong xây dựng giao thông hiện nay ở nước ta, một ví dụ điển hình như tuyến cao tốc Cần Thơ - Cà Mau phải tạm dừng khai thác từ 16/3 - 15/4/2026 để khắc phục sau hơn một tháng đưa vào sử dụng. Bài báo trình bày tổng quan có hệ thống một số phương pháp xác định và dự báo độ lún, mà chủ yếu là lún cố kết thấm của nền đường đắp trên đất yếu hiện nay. Theo đó, ba nhóm chính bao gồm: Dự báo bằng lý thuyết tính toán giải tích; thông qua kết quả quan trắc lún hiện trường và phương pháp trí tuệ nhân tạo (AI). Các phân tích ban đầu cho thấy, cách tiếp cận AI là hướng mới, có thể lựa chọn để dự báo lún với nhiều ưu điểm về độ tin cậy và chính xác hơn, có triển vọng cao để áp dụng trong thời gian tới.

Từ khóa: Nền đường đắp trên đất yếu; dự báo lún; đất yếu; trí tuệ nhân tạo (AI).

ABSTRACT

Settlement of highway embankments constructed on soft ground is a critical issue directly affecting traffic safety and durability of transportation infrastructure. Accurately predicting and determining settlement to ensure effective control remains a major challenge in Vietnam's current transport construction. A typical example is the Can Tho - Ca Mau Expressway, which required a temporary closure from March 16 to April 15, 2026, for remediation after only one month of operation. This paper presents a systematic overview of various methods for determining and predicting settlement, focusing primarily on the consolidation settlement of embankments on soft ground. Accordingly, three main categories are analyzed: (1) theoretical analytical methods; (2) methods based on field monitoring data; and (3) Artificial Intelligence (AI) approaches. Initial analyses indicate that the AI approach represents a novel direction, offering superior reliability and accuracy. It is a promising solution for widespread application in Vietnam in the near future.

Keywords: Embankment on soft ground; settlement prediction; soft soil; Artificial Intelligence (AI).

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Lún nền đường đắp trên đất yếu là một trong những thách thức kỹ thuật trong xây dựng đường ô tô. Đất yếu loại sét nói chung, với đặc trưng địa kỹ thuật bất lợi như hàm lượng nước tự nhiên cao, hệ số rỗng lớn, hệ số thấm và sức chống cắt nhỏ. Khi chịu tải trọng nền đắp không chỉ dễ mất ổn định mà còn lún nhiều, lún kéo dài, dễ dẫn đến những hư hỏng như biến dạng hay nứt mặt đường, lún lệch tại các vị trí chuyển tiếp giữa nền đường và công trình cầu, giảm chất lượng vận hành và gia tăng rủi ro mất an toàn giao thông. Một ví dụ điển hình hiện nay, đoạn tuyến cao tốc Cần Thơ - Hậu Giang dù được thiết kế và kiểm soát thi công theo tiêu chuẩn hiện hành, song vừa đưa vào khai thác cách đây từ 1 đến 4 tháng, đến nay phải tạm dừng khai thác từ 16/3 - 15/4/2026 để sửa chữa liên quan vấn đề lún nhiều và lún không đều nền đường.

Trong nhiều thập kỷ, dự báo lún phát triển từ tính toán giải tích theo lý thuyết cố kết một chiều của Terzaghi (1925, 1943) và phương pháp đàn hồi bán không gian của Tsytovich (1934, 1963) [23, 24], đến các phương pháp quan trắc như Asaoka [1] và Hyperbolic [15]

và gần đây hướng tới ứng dụng AI. Các phương pháp truyền thống tuy đơn giản, dễ áp dụng nhưng bị hạn chế bởi các giả định về biến dạng và tính chất đất. Phương pháp Asaoka khá phù hợp với lún thực tế nhưng nhạy cảm với Δt, giả định tải trọng không đổi và phụ thuộc dữ liệu quan trắc ít tin cậy [6]. Tương tự, phương pháp Hyperbolic [4, 15] chưa phản ánh đầy đủ cố kết thứ cấp, dễ làm giảm ước lượng lún dài hạn và cũng phụ thuộc quá nhiều vào chuỗi dữ liệu quan trắc thu được.

Xu hướng gần đây trong dự báo và xác định độ lún là ứng dụng AI. Các mô hình ML như ANN [3, 15] và DL (LSTM, GRU) [15] cho thấy ưu thế trong xử lý quan hệ phi tuyến. Bên cạnh đó, các mô hình lai như FAGSO-BP [2], HC-LSSVM [5], SVM-AR [26], ANN-GWO [11] đạt hiệu quả cao nhờ tối ưu siêu tham số và hạn chế rơi vào cực trị địa phương.

2. LÚN NỀN ĐƯỜNG VÀ CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG

Lún nền đường (nền đường đắp trên đất yếu) là hiện tượng dịch chuyển theo phương thẳng đứng xuống dưới của bề mặt công trình, gồm quá trình nén chặt khi sắp xếp hạt đất (lún đàn hồi, hay tức thời). Biến dạng lún gồm: Nén chặt hạt đất do thoát nước (cố kết sơ cấp) và biến dạng trượt dẻo (cố kết thứ cấp): (i) Lún tức thời là biến dạng không thoát nước xảy ra ngay khi tải trọng tác dụng, chủ yếu do biến dạng cắt; trong đất sét bão hòa thường nhỏ và có thể ước tính theo lý thuyết đàn hồi với hiệu chỉnh Skempton-Bjerrum [20]; (ii) lún cố kết thấm là quá trình theo thời gian do tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng và tăng ứng suất hữu hiệu, được mô tả bởi lý thuyết cố kết một chiều của K.Terzaghi, phụ thuộc Cv và điều kiện thoát nước; đây là thành phần chủ yếu; (iii) lún cố kết từ biến xảy ra sau khi áp lực nước lỗ rỗng tiêu tán, do biến dạng nhớt của khung kết cấu đất loại sét. Thành phần này đặc biệt đáng kể với đất hữu cơ, bùn có Cα lớn [18, 25].

Các yếu tố ảnh hưởng đến lún nền đường đắp trên đất yếu gồm 4 nhóm: (i) Đặc trưng đất nền [25], gồm hàm lượng nước, giới hạn Atterberg, e, Su, σ'_p; (ii) tải trọng [20] gồm chiều cao đắp, tốc độ chất tải và tải trọng phương tiện; (iii) cấu trúc nền [13] và điều kiện địa chất thủy văn như chiều dày lớp đất yếu, phân bố lớp đất, mực nước ngầm; (iv) biện pháp xử lý [22] như PVD, SD, SCP, VCM, gia tải trước… Sự tương tác của các yếu tố này làm bài toán dự báo lún mang tính phi tuyến, đa tham số, nên AI có nhiều lợi thế trong dự báo.

3. CÁC PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH VÀ DỰ BÁO LÚN

3.1. Xác định độ lún bằng quan trắc

Các quan trắc cho phép xác định độ lún nền đất yếu dưới khối đắp có thể kể tới như lún từ trên mặt (dưới đáy nền đắp) bằng bàn đo lún, lún theo độ sâu trong lớp đất yếu và biến động áp lực nước lỗ rỗng trong nền đất yếu.

Độ lún nền đất yếu dưới tải trọng đắp thường xác định bằng bàn đo lún đặt dưới đáy lớp đắp, là biện pháp quan trắc phổ biến. Phương pháp trắc địa ghi nhận chuyển vị theo thời gian, có ưu điểm đơn giản, chi phí thấp và cung cấp số liệu trực tiếp. Tuy nhiên, độ chính xác phụ thuộc điều kiện thi công, bảo quản mốc, kiểm soát tải và thời tiết, đồng thời không phản ánh lún theo chiều sâu. Đây là biện pháp tối thiểu áp dụng cho các công trình đường bộ, sân bay, kho bãi…, kể cả khi xử lý PVD, VCM, SD…

Để quan trắc lún sâu, phổ biến dùng các nhện từ bố trí trong các lỗ khoan ở các độ sâu khác nhau trong đất yếu. Từ kết quả đo, có thể xác định mức độ đóng góp lún của từng lớp đất tại vị trí quan trắc, qua đó đánh giá độ chính xác của các tính toán ban đầu hoặc kiểm chứng lại đường cong lún.

Phương pháp xác định độ lún chính xác là quan trắc áp lực nước lỗ rỗng bằng (Piezometer) trong đất yếu [22]. Khi áp lực giảm, ứng suất hữu hiệu tăng, đất cố kết và lún tăng. Phương pháp phản ánh trực tiếp trạng thái ứng suất - biến dạng của nền, hỗ trợ hiệu chỉnh mô hình và kiểm soát ổn định công trình.

3.2. Dự báo lún theo số liệu quan trắc

Các dữ liệu quan trắc được từ bàn đo lún, bàn đo áp lực đất, lún sau, áp lực nước lỗ rỗng…, như độ lún mặt, độ lún dưới sâu, biến thiên áp lực nước lỗ rỗng hay áp lực nước lỗ rỗng thặng dư, áp lực đất hay tải tác dụng, áp lực chân không… cùng các đặc trưng đất nền kết hợp số liệu quan trắc được dùng để dự báo độ cố kết, lún theo thời gian và lún cuối cùng. Hiện có 4 nhóm phương pháp gồm: (i) Theo truyền thống như Asaoka, Hyperbolic, hàm mũ, phương pháp ba điểm [1, 4, 7, 17, 21]; (ii) hồi quy (Fitting) như Logistic, Sigmoid [12], Hyperbolic cải tiến [19]; (iii) phân tích ngược bằng quan trắc kết hợp (Observational Method), hiệu chỉnh thông số cố kết từ kết quả thực đo theo lý thuyết Terzaghi và Bayesian Updating [8] để suy ra C_h, C_v, độ cố kết…; (iv) hiện đại - AI như (LSTM), mô hình học máy và lai (ML + FEM) [7, 9].

Hai phương pháp phổ biến đang sử dụng tại Việt Nam trong phân tích và dự báo độ lún cuối cùng và độ cố kết nền đường đắp trên đất yếu được gia tải trước hay xử lý bằng cố kết thoát nước, là Asaoka và Hyperbolic.

Phương pháp Asaoka (1978) [1, 4, 7] là phương pháp thực nghiệm phổ biến để dự báo độ lún cuối cùng của nền đất yếu từ số liệu quan trắc lún theo thời gian. Dựa trên lời giải phương trình vi phân cố kết một chiều của Terzaghi, dưới dạng chuỗi số học. Asaoka đã thiết lập quan hệ tuyến tính giữa độ lún tại các thời điểm cách đều, từ đó xây dựng phương trình sai phân để xác định xu thế cố kết. Sử dụng dãy số liệu quan trắc độ lún S_1, S_2,.., S_n tại các khoảng thời gian cách đều nhau (Δ_t). Mối quan hệ giữa độ lún thời điểm hiện tại (S_i) và trước đó (S_{i-1}) được giả định là tuyến tính: $S_i = \beta_0+\beta_1.S_{i-1}$.

Phương pháp Asaoka dễ áp dụng, phù hợp đất yếu đồng nhất có thoát nước một hoặc hai phía, sử dụng số liệu quan trắc nên độ tin cậy cao khi dữ liệu tốt. Độ lún cuối cùng xác định trực quan, hỗ trợ dự báo nhanh. Tuy nhiên, phương pháp phụ thuộc chuỗi số liệu cách đều, nhạy với sai số đo và kém chính xác khi dữ liệu ngắn hoặc phân tán, đồng thời chỉ xét cố kết 1D nên chưa phản ánh biến dạng ngang hay tải trọng phức tạp. Phương pháp được ứng dụng rộng rãi trong xử lý nền đất yếu (PVD, SD, VCM).

Tương tự Asaoka, phương pháp Hyperbolic [4, 7] sử dụng dữ liệu quan trắc để dự báo độ lún cuối cùng, phù hợp khi độ cố kết đạt 60 - 90%. Quan hệ độ cố kết (U) và thời gian (T) được xấp xỉ bằng hàm hyperbol, từ đó thiết lập quan hệ lún-thời gian. Khi biểu diễn bằng đồ thị $(t-t_0)/(S-S_0)$ theo $(t-t_0)$, ta thu được đường thẳng, cho phép xác định độ lún cuối cùng (S_f) và dự báo diễn biến lún theo thời gian.

Phương pháp Hyperbolic đơn giản, dễ áp dụng, chỉ cần dữ liệu quan trắc và hiệu quả trong dự báo nhanh lún dài hạn, đánh giá xu thế cố kết của nền đất yếu. Nó còn phản ánh rõ quá trình cố kết chính, giúp hiệu chỉnh và đối chiếu với các kết quả mô hình lý thuyết. Phương pháp không xét rõ đến các tham số cố kết cơ bản của đất như hệ số cố kết (Cv) hay chỉ số nén (Cc) và độ chính xác bị hạn chế trong giai đoạn đầu của quá trình cố kết (U < 60%) hoặc khi dữ liệu quan trắc không ổn định. Phương pháp Hyperbolic được ứng dụng rộng rãi trong các công trình đắp trên nền đất yếu có hoặc không được xử lý ở Việt Nam.

Tổng hợp so sánh các phương pháp dự báo lún hay cố kết theo số liệu quan trắc như Bảng 1.

Bảng 1. Một số phương pháp dự báo lún theo số liệu quan trắc cho nền đắp trên đất yếu

Phương pháp	Nguyên lý	Ưu điểm	Nhược điểm	Phạm vi áp dụng
Asaoka (1978)	Quan hệ tuyến tính giữa các giá trị lún liên tiếp S_n và S_{n+1} để suy ra độ lún cuối cùng S_f	Đơn giản, không cần thông số đất, dùng phổ biến, phù hợp dữ liệu thực đo	Nhạy với nhiễu, giả thiết cố kết 1D, cần chuỗi dữ liệu đủ dài	Nền xử lý PVD, VCM, SD, gia tải trước; giai đoạn cố kết thứ cấp chưa chi phối
Hyperbolic (Tan, 1991)	Quan hệ hyperbolic giữa thời gian và giá trị độ lún	Dễ ngoại suy, phù hợp khi chưa cố kết hoàn toàn, xác định được độ cố kết	Sai số khi dữ liệu quan trắc phân tán	Đất yếu dưới nền đắp chịu cố kết chi phối (xử lý PVD, VCM, SD, gia tải trước); số liệu quan trắc liên tục trước lún cố kết từ biến
Hàm mũ (Exponential)	Hàm mũ theo thời gian, $S_{(t)}=S_f(1 - e^{-kt})$	Mô tả toàn bộ quá trình cố kết, ít nhạy cảm với nhiễu	Khó xác định tham số, không phản ánh tốt quá trình cố kết thứ cấp	Đất yếu tương đối đồng nhất, dữ liệu quan trắc liên tục
Ba điểm (Three-point method)	Xác định đường cong lún từ 3 điểm dữ liệu	Nhanh, ít dữ liệu	Độ chính xác thấp, mang tính chủ quan khi chọn điểm	Ước tính sơ bộ giai đoạn đầu cố kết
Logistic/Sigmoid	Đường cong chữ S mô tả quá trình cố kết (đường cong sigmoid)	Chính xác cao; mô tả tốt giai đoạn chuyển tiếp gia tải	Tính toán phức tạp, cần tối ưu các tham số sử dụng	Nền đắp tải trọng lớn, gia tải nhiều giai đoạn
Quan trắc kết hợp (Observational method)	Trên nền lý thuyết cố kết thấm K. Terzaghi hiệu chỉnh từ dữ liệu thực đo kết hợp lý thuyết cố kết	Có cơ sở cơ học rõ ràng, dự báo tốt khi cập nhật liên tục dữ liệu	Cần kỹ sư kinh nghiệm và phụ thuộc mô hình giả định	Công trình quan trọng, quan trắc dài hạn
Bayesian updating	Cập nhật xác suất dự báo lún theo dữ liệu mới	Xét bất định, độ tin cậy cao	Phức tạp toán học, khó áp dụng thực tế phổ thông	Công trình quan trọng, dự án lớn, yêu cầu độ tin cậy cao
Machine Learning (LSTM, AI)	Học chuỗi thời gian lún	Mô tả phi tuyến tốt, độ chính xác cao	Cần nhiều dữ liệu, khó giải thích vật lý	Dự án có hệ thống quan trắc tự động, nghiên cứu hiện đại
Hybrid (FEM + ML)	Kết hợp mô hình số và dữ liệu	Tối ưu cả vật lý và dữ liệu, cho phép dự báo mạnh	Phức tạp, yêu cầu tính toán cao	Dự án lớn, yêu cầu độ lún cho phép nhỏ

3.3. Phương pháp dự báo lún bằng giải tích

Sử dụng giải tích để dự báo độ lún cố kết nền đất yếu có phương pháp phân tầng cộng lún, hay phương pháp lớp tương đương khi dự báo độ lún cuối cùng.

Phương pháp phân tầng cộng lún là phương pháp giải tích phổ biến dựa trên lý thuyết cố kết của Terzaghi, xem nền đất gồm nhiều lớp có các chỉ tiêu khác nhau (Cc, Cr, e_0, σ'). Độ lún tổng được tính bằng cách cộng lún từng lớp, phù hợp với nền phân lớp phức tạp và được dùng rộng rãi trong thiết kế. Tuy nhiên, phương pháp giả định ứng suất phân bố đều, không xét biến dạng ngang và yếu tố thời gian nên có thể gây sai số, thường áp dụng cho nền đường, móng, đê, kè, đặc biệt trong tính toán sơ bộ.

Dự báo lún bằng phương pháp lớp tương đương của N.A. Tsytovich [23, 24] là nền tảng của cơ học đất cổ điển, dựa trên lý thuyết đàn hồi bán không gian, quy đổi nền nhiều lớp thành một lớp "tương đương" (hs) để tính lún nhanh, đơn giản. Tuy nhiên, do giả định đất đàn hồi tuyến tính, đồng nhất nên không phản ánh đúng tính phi tuyến và phân lớp; chỉ xác định lún cuối cùng, không xét theo thời gian và kém chính xác với nền phân tầng mạnh. Phương pháp chủ yếu dùng cho tính toán sơ bộ móng và kiểm tra nhanh trong thiết kế.

4. TIẾP CẬN MỚI TRONG DỰ BÁO ĐỘ LÚN - PHƯƠNG PHÁP AI

AI được áp dụng trong dự báo lún nền đường đắp trên đất yếu hiện có thể phân thành 4 nhóm: (i) Mô hình hồi quy (SVM, RBF, Random Forest) phù hợp dữ liệu vừa, có khả năng giải thích; (ii) mạng nơ-ron (ANN, BP) xấp xỉ phi tuyến tốt nhưng mang tính "hộp đen" [3, 16]; (iii) học sâu (LSTM, GRU, CNN-LSTM) hiệu quả với dữ liệu chuỗi thời gian, ghi nhớ phụ thuộc dài hạn [15]; (iv) mô hình lai kết hợp ML với Metaheuristic (PSO, GWO…) để tối ưu siêu tham số, tránh cực trị địa phương [2, 5, 7, 11, 26].

So với các phương pháp truyền thống, AI có 4 ưu điểm chính: (i) Xử lý tốt quan hệ phi tuyến đa biến; (ii) độ chính xác cao (SVM, ANN thường sai số thấp hơn Asaoka, Hyperbolic); (iii) tận dụng dữ liệu sẵn có, giảm thí nghiệm; (iv) khả năng tổng quát hóa. Tuy nhiên, còn hạn chế: Phụ thuộc mạnh vào dữ liệu; khó giải thích ý nghĩa vật lý; yêu cầu kỹ năng, công cụ chuyên sâu, cần kiến thức lập trình, phần mềm (MATLAB, Python, WEKA, SPSS Modeler…); nếu mô hình quá phức tạp so với dữ liệu, dự báo có thể chính xác cho tập huấn luyện nhưng kém cho dữ liệu mới.

Bài toán dự báo lún theo thời gian bằng AI được xem như chuỗi thời gian có điều kiện. Đầu vào gồm: (i) Biến động theo thời gian (lịch sử lún, gia tăng lún, tải trọng, mực nước ngầm, áp lực nước lỗ rỗng, khoảng cách quan trắc); (ii) biến tĩnh (chỉ tiêu đất, chiều dày lớp yếu, biện pháp xử lý, tải trọng). Dữ liệu tổ chức theo dạng cửa sổ trượt để dự báo lún trong tương lai. Mô hình AI học quan hệ phi tuyến theo thời gian, phục vụ cảnh báo và hỗ trợ quyết định thi công.

Bảng 2. Một số nghiên cứu về dự báo lún theo thời gian sử dụng AI

STT	Tài liệu tham khảo	Phương pháp nghiên cứu	Biến đầu vào	Chỉ số đánh giá	Kết quả
1	Zhai (2022) [26]	SVM-AR-ABC	Thời gian đo lún (ngày)	Lỗi tương đối của mô hình (RE)	RE = 0,09 - 0,41 (%)
2	Yang và Yuan (2022) [14]	PSO-SVM	Thời gian đo lún (ngày)	MSE, RSS, MAD	MSE = 0,0311 RSS = 0,1893 MAD = 1,3027
3	Liang Yuwan et al. (2023) [9]	Deep Learning – LSTM	Chuỗi giá trị lún theo thời gian	RMSE, MAE	RMSE = 45-60%, MAE ≈ 50% so với phương pháp truyền thống

Bảng 2 cho thấy các mô hình lai đạt sai số rất thấp, cho thấy tiềm năng của thuật toán tối ưu (ABC, PSO). Tuy nhiên, số lượng nghiên cứu công bố còn hạn chế và chưa có nhiều nghiên cứu áp dụng LSTM/GRU cho dữ liệu lún nền đường đắp trên đất yếu, đặc biệt trong điều kiện Việt Nam. Đây là khoảng trống nghiên cứu cần được quan tâm.

Ngoài dự báo lún theo thời gian, việc dự báo độ lún cuối cùng được xem là bài toán hồi quy có điều kiện, ước lượng độ lún tiệm cận (lún cuối cùng) sau quá trình cố kết. Các biến đầu vào bao gồm: (i) Đặc trưng địa kỹ thuật và thi công (e_0, Cc, E, chiều dày, thoát nước, PVD, SD, VCM, tải trọng…); (ii) biến quan trắc (lún tích lũy, tốc độ lún,…). Đầu ra là giá trị độ lún ổn định (lún cuối cùng). Mô hình AI học mối quan hệ phi tuyến giữa các yếu tố đầu vào và độ lún cuối cùng, cho phép dự báo nhanh, kiểm soát lún và hỗ trợ ra quyết định trong thi công.

Bảng 3. Một số nghiên cứu về dự báo lún ổn định sử dụng AI

STT	Tài liệu tham khảo	Phương pháp nghiên cứu	Biến đầu vào	Chỉ số đánh giá	Kết quả
1	Binhui Ma (2024) [2]	FAGSO-BP	Chiều cao tải trọng tác dụng lên cọc, áp lực nước lỗ rỗng, chiều cao mực nước ngầm	RMSE, MAE, MAPE	RMSE = 7,68 MAE = 4,3 MAPE = 1,4% MSE = 59,98
2	Rufaizal (2021) [3]	SVM, RBF, SVM-RBF	Chiều cao nền đường, tải trọng, độ dốc taluy	MARE, RMSE	RMSE = 0,007 MARE = 0,048
3	M. N. A. Raja (2021) [11]	ANN-GWO	Tải trọng tác dụng và góc ma sát trong	RMSE, MAE, MAAPE, R^2, RWI, RPD	RMSE = 0,612 MAE = 0,363 MAAPE = 17,5% R2 = 0,962 RWI = 0,920 RPD = 5,18
4	Kim et al. (2024) [10]	C4LRM (Deep Learning model)	Độ ẩm tự nhiên, giới hạn chảy, chỉ số dẻo	MAPE, MSE, RMSE, R^2	MAPE = 25,95 MSE = 0,013 RMSE = 0,116 R2 = 0,905

Bảng 3 tổng hợp một số nghiên cứu về dự báo lún ổn định khi sử dụng AI. Nhiều mô hình đạt $R^2 > 0,90$. Đáng lưu ý, C4LRM (DL) [10] có MAPE = 25,95%, cao hơn đáng kể so với các mô hình khác. Điều này chứng tỏ không phải mọi mô hình DL đều vượt trội, cho thấy hiệu quả phụ thuộc vào kiến trúc, dữ liệu và tối ưu siêu tham số.

Các nghiên cứu cho thấy AI vượt trội trong dự báo lún nhờ xử lý được quan hệ phi tuyến đa biến, cho kết quả tin cậy với các chỉ tiêu đánh giá tốt. Tuy nhiên, chưa có hệ thống phân loại đầy đủ theo từng giải pháp xử lý nền, cấu trúc nền và điều kiện địa phương, cũng như ảnh hưởng của các yếu tố địa môi trường. Dù vậy, AI vẫn mở ra hướng tiếp cận mới hiệu quả trong dự báo độ lún cuối cùng hay lún theo thời gian.

5. KẾT LUẬN

Dự báo lún nền đường đắp trên đất yếu có vai trò quan trọng trong xây dựng giao thông. Tuy nhiên, bài toán này khá phức tạp và mang tính tương đối do phụ thuộc vào các giả thiết và điều kiện biên lý tưởng của từng phương pháp. Các phương pháp Asaoka và Hyperbolic được sử dụng phổ biến hiện nay tại Việt Nam vì dễ áp dụng và phù hợp trong điều kiện dữ liệu hạn chế, nhưng độ tin cậy

chưa cao. Điều này dẫn đến nhiều dự án xử lý nền đất yếu bằng PVD vẫn tiếp tục xảy ra lún lớn sau khi đưa vào khai thác, mặc dù kết quả dự báo từ số liệu quan trắc đạt giá trị lý tưởng 95 - 99%. Phương pháp AI cho thấy hiệu quả trong dự báo độ lún theo thời gian và độ lún cuối cùng của nền đường đắp trên đất yếu với hiệu suất dự báo tốt. Đây là một hướng tiếp cận mới, góp phần nâng cao độ chính xác và độ tin cậy trong phân tích và dự báo độ lún cho xây dựng đường ô tô qua vùng đất yếu tại Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] A Asaoka. Observational procedure of settlement prediction. Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, no. 18, pp. 87-101, 1978.

[2] Binhui Ma et al. FAGSO-BP neural network model for settlement prediction of soft soil foundation. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, no. 1332, pp. 12031, 2024.

[3] CM Rufaizal, R Azuin, HCO Mohd Badrul, Abd. Manan Samad, A.S. Saiful. Application of machine learning for predicting ground surface settlement beneath road embankments. International Journal of Nonlinear Analysis and Applications, no. 12, pp. 1025-1034, 2021, doi: 10.22075/IJNAA.2021.5548.

[4] L M Elmer and R Leo. Estimation of total settlement of embankments by field measurements. Canadian Geotechnical Journal, no. 33, pp.834-841, 1996.

[5] Guangjun Cui, Shenghua Xiong, Cuiying Zhou and Zhen Liu. Research on HC-LSSVM Model for Soft Soil Settlement Prediction Based on Homotopy Continuation Method. Applied Sciences, no. 11, p. 10666, 2021, doi: 10.3390/app112210666.

[6] Trần Quang Học, Nguyễn Thành Lê, Tống Thị Hạnh. Nghiên cứu xây dựng mô hình dự báo lún phù hợp trong phân tích và dự báo lún nền đất yếu từ kết quả quan trắc. Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất, số 58, tr. 93-100, 2017.

[7] T Hua-Ming et al. Machine Learning-guided Observational Method for Prediction of Preloading-induced Consolidation Settlement. Computers and Geotechnics, no. 181, pp. 107140, 2025, doi: 10.1016/j.compgeo.2025.107140.

[8] Huang et al. Settlement Predictions of a Trial Embankment on Ballina Clay. International Journal of Geoengineering Case Histories, no. 6, pp. 101-114, 2021, doi: 10.4417/IJGCH-06-04-07.

[9] Liang Yuwan et al. Ground Settlement Prediction by Vacuum Preloading Based on LSTM. Journal of Shanghai Jiao Tong University, no. 59, p. 340, 2023, doi: 10.16183/j.cnki.jsjtu.2023.340.

[10] M Kim, MA Senturk, RK Tan, E Ordu and J Ko. Deep Learning Approach on Prediction of Soil Consolidation Characteristics. Buildings, no. 14, pp. 450, 2024, doi: 10.3390/buildings14020450.

[11] MN A Raja, SK Shukla. Predicting the settlement of geosynthetic-reinforced soil foundations using evolutionary artificial intelligence technique. Geotextiles and Geomembranes, no. 49, pp. 1280-1293, 2021.

[12] Ming Wu and Jia Lun Niu. Application of Curve Model Fitting Methods to Settlement Prediction. Applied Mechanics and Materials, no. 580, pp. 651-654, 2014.

[13] Nguyễn Bá Phú, Nguyễn Thị Phương Linh. Phân tích ứng xử cố kết nền đất yếu có lớp cát mỏng gia cố bằng bấc thấm. Tạp chí Khoa học và Công nghệ, số 70, tr. 97-107, 2024.

[14] R Yang, S Yuan. Monitoring and predicting highway foundation settlement using PSO and SVM. Mathematical Problems in Engineering, no. 2022, p. 2754965, 2022.

[15] S Hong, MH Lee, BS Yoo, TY Kwak, SR Kim. Application of Deep Learning Algorithms for Predicting Consolidation Settlement. KSCE Journal of Civil Engineering, no. 29, p. 100072, 2025.

[16] S Qi, L Yang, P Chunli. Analysis and prediction of soft foundation settlement for expressway based on BP neural network. Proceedings of ICACE, Atlantis Press, pp. 274-277, 2016.

[17] SG Chung et al. Observational method for field performance of prefabricated vertical drains. Geotextiles and Geomembranes, no. 42, pp. 405-416, 2014.

[18] Shi Baotong and Kong Xiangxing. Study on Methods for Predicting the Settlements of Soft Clay Roadbed. International Congress and Exhibition Sustainable Civil Infrastructures: Innovative Infrastructure Geotechnology, pp. 370-377, 2017.

[19] Siew Ann Tan and Soon Hoe Chew. Comparison of the Hyperbolic and Asaoka Observational Method of Monitoring Consolidation with Vertical Drains. Soils and Foundations, no. 38, pp. 217-237, 1998.

[20] Bùi Trường Sơn. Biến dạng tức thời và lâu dài của nền đất sét bão hòa nước. Science & Technology, no. 9, 2006.

[21] Tong Bing Lei et al. Study on Comparison of Predicting Method on Settlement and Deformation of Unballasted Track in the Button of Tunnel on High Speed Railway. Applied Mechanics and Materials, no. 513, pp. 2647-2650, 2014.

[22] Trinh Dinh Toan. A study on settlements of road embankments on soft ground using vertical drains. Transport and Communications Science Journal, no. 75, pp. 1477-1488, 2024.

[23] N Tsytovich. Soil Mechanics. Mir Publishers Moscow, First published 1970 Revised from the 1973 Russian (second) edition, 1976.

[24] N Tsytovich. Mekhanika gruntov (Kratkiy kurs) [Soil Mechanics (A Short Course)]. Moscow: Vysshaya Shkola, 1963.

[25] Xiong Meng, Jifa Zheng, Biyu Yang. A new method for predicting consolidation settlements of soft ground based on monitoring results. Archives of Civil Engineering, pp. 403-416, 2024.

[26] Jing Zhai. Machine-Learning-Based Road Soft Soil Foundation Treatment and Settlement Prediction Method. Scientific Programming, no. 2022, pp. 3463413, 2022, doi: 10.1155/2022/3463413.

■Ngày nhận bài: 08/5/2026 ■Ngày sửa bài: 25/5/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 05/6/2026

Tổng quan kinh nghiệm quốc tế về thực hiện vùng phát thải thấp và một số khuyến nghị đối với chính sách có liên quan ở Việt Nam

Overview of international experience on low-emission zones and recommendations for relevant policy for Vietnam

> HOÀNG XUÂN HÒA[1,2,*], NGUYỄN ĐỨC LƯỢNG[1,2], BÙI THỊ HIẾU[1,2], NGUYỄN HOÀNG HIỆP[1,2], ỨNG QUỐC TRÁNG[3]
[1]Khoa Kỹ thuật Môi trường, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội
[2]Nhóm nghiên cứu ReCAS, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội
[3]Khoa Cơ khí, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội
[*]Email: hoahx@huce.edu.vn

TÓM TẮT

Ô nhiễm không khí đô thị, đặc biệt từ hoạt động giao thông vận tải, đang là thách thức lớn đối với nhiều quốc gia trên thế giới cũng như tại Việt Nam. Trong bối cảnh đó, vùng phát thải thấp (LEZ) được xem là một giải pháp quản lý hiệu quả nhằm kiểm soát phát thải từ phương tiện giao thông, cải thiện chất lượng không khí và thúc đẩy phát triển đô thị bền vững. Bài báo tập trung tổng quan kinh nghiệm quốc tế về triển khai LEZ, phân tích các cơ chế chính sách, mô hình quản lý, tiêu chuẩn khí thải và hiệu quả thực hiện. Trên cơ sở phân tích kinh nghiệm quốc tế, bài báo cung cấp một số khuyến nghị về thúc đẩy các chính sách, giải pháp thực hiện vùng phát thải thấp ở Việt Nam, bao gồm hoàn thiện khung pháp lý; xây dựng, đồng bộ hệ thống cơ sở dữ liệu đăng kiểm, phát thải của các phương tiện giao thông; tăng cường nguồn lực đầu tư phát triển hạ tầng hỗ trợ triển khai vùng phát thải thấp, hạ tầng giao thông sử dụng năng lượng sạch, hệ thống giao thông công cộng, giao thông xanh; xây dựng và thực hiện các chính sách hỗ trợ xã hội đi kèm, đảm bảo công bằng xã hội, đặc biệt là đối với các nhóm yếu thế và các doanh nghiệp, hộ kinh doanh quy mô nhỏ; tăng cường truyền thông trên các kênh, minh bạch thông tin kết hợp với giáo dục cộng đồng để tạo đồng thuận xã hội; có lộ trình thực hiện từng bước, có giai đoạn chuyển tiếp và thử nghiệm, linh hoạt theo điều kiện thực tế và đối tượng phù hợp.

Từ khóa: Ô nhiễm không khí; vùng phát thải thấp (LEZ); giao thông đô thị bền vững; hạ tầng giao thông công cộng; công bằng xã hội.

ABSTRACT

Urban air pollution, particularly from transportation, is a major challenge for many countries worldwide, including Vietnam. In this context, Low Emission Zones (LEZs) are considered as an effective solution to control vehicle emissions, improve air quality, and promote sustainable urban development. This paper provides an overview of international experience in implementing LEZs, analyzing policy mechanisms, management models, emission standards, and implementation effectiveness. Based on the analysis of international experience, the paper offers several recommendations for promoting policies and solutions for implementing LEZs in Vietnam, including improving the legal framework; building and synchronizing a database system for vehicle registration and emissions; and increasing investment in infrastructure to support the implementation of LEZs, clean energy transportation infrastructure, public transportation systems, and green transportation; develop and implement accompanying social support policies, ensuring social equity, especially for vulnerable groups and small-scale businesses and households; strengthen communication across channels, ensure information transparency combined with community education to create social consensus; have a step-by-step implementation roadmap, with transition and pilot phases, and be flexible according to actual conditions and target groups.

Keywords: Air pollution; Low Emission Zones (LEZs); sustainable urban transport; public transport infrastructure; social equity.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong những năm gần đây, ô nhiễm không khí đô thị đã trở thành một trong những thách thức môi trường nghiêm trọng đối với nhiều quốc gia trên thế giới, đặc biệt tại các đô thị lớn có mật độ giao thông lớn và tốc độ đô thị hóa cao. Ô nhiễm không khí đô thị gây ảnh hưởng tiêu cực đến sức khỏe cộng đồng, chất lượng cuộc sống và sự phát triển bền vững của đô thị. Trong đó, các phương tiện giao thông cơ giới được xác định là một trong những nguồn phát thải chính tại khu vực đô thị, đóng góp đáng kể vào tình trạng ô nhiễm không khí. Để ứng phó với vấn đề này, nhiều quốc gia và thành phố trên thế giới đã triển khai mô hình vùng phát thải thấp (Low Emission Zone - LEZ) như một công cụ quản lý môi trường đô thị hiệu quả. LEZ là khu vực được kiểm soát nhằm hạn chế hoặc cấm lưu thông đối với các phương tiện giao thông có mức phát thải cao, qua đó giảm phát thải các chất ô nhiễm không khí và thúc đẩy chuyển đổi sang các phương tiện giao thông sạch hơn. Mô hình này đã được áp dụng rộng rãi tại nhiều thành phố ở châu Âu như London, Berlin, Paris và tiếp tục được mở rộng tại nhiều quốc gia châu Á như Bắc Kinh, Tokyo hay Seoul. Thực tiễn triển khai cho thấy LEZ góp phần cải thiện chất lượng không khí, giảm phát thải khí nhà kính, thúc đẩy chuyển đổi phương tiện giao thông và nâng cao nhận thức cộng đồng về giao thông bền vững.

Tại Việt Nam, quá trình đô thị hóa nhanh chóng cùng với sự gia tăng mạnh mẽ số lượng phương tiện giao thông cơ giới đang tạo áp lực lớn lên môi trường không khí tại các đô thị lớn như Hà Nội và TP.HCM. Các nghiên cứu và số liệu quan trắc cho thấy ô nhiễm bụi mịn $PM_{2.5}$ tại các khu vực đô thị lớn thường xuyên ở mức cao, trong đó giao thông đường bộ là một nguồn phát thải quan trọng. Trong bối cảnh Chính phủ và các bộ, ngành đã và đang thúc đẩy thực hiện các giải pháp kiểm soát ô nhiễm không khí và tăng cường thực hiện các chính sách phát triển đô thị xanh, giao thông bền vững, việc nghiên cứu và xem xét áp dụng mô hình LEZ là một hướng tiếp cận cần thiết và có ý nghĩa thực tiễn. Tuy nhiên, việc triển khai vùng phát thải thấp tại Việt Nam vẫn còn là vấn đề mới, đòi hỏi phải nghiên cứu đầy đủ về hệ thống pháp lý, công cụ quản lý, cơ chế vận hành, điều kiện thực hiện và các tác động kinh tế - xã hội liên quan. Đồng thời, kinh nghiệm quốc tế cho thấy hiệu quả của LEZ phụ thuộc lớn vào mức độ đồng bộ của chính sách giao thông, môi trường, quy hoạch đô thị và năng lực quản lý thực thi. Xuất phát từ yêu cầu thực tiễn trên, mục tiêu chính của bài báo này là tập trung tổng hợp, phân tích kinh nghiệm triển khai LEZ tại một số quốc gia và đô thị tiêu biểu trên thế giới; đánh giá các cơ chế chính sách, mô hình quản lý và hiệu quả đạt được ở các nước trên thế giới cũng như đánh giá hiện trạng một số chính sách có liên quan ở trong nước; từ đó đề xuất một số khuyến nghị nhằm hỗ trợ quá trình xây dựng và hoàn thiện chính sách liên quan đến vùng phát thải thấp tại Việt Nam trong thời gian tới.

2. TỔNG QUAN KINH NGHIỆM THỰC HIỆN VÙNG PHÁT THẢI THẤP Ở CÁC NƯỚC TRÊN THẾ GIỚI

2.1. Chính sách, giải pháp vùng phát thải thấp ở Bỉ

Chiến lược thiết lập vùng phát thải thấp tại Bỉ là một nỗ lực trọng điểm nhằm cải thiện chất lượng không khí đô thị, tập trung giảm thiểu các chất gây ô nhiễm như NO_2 và bụi (PM_{10}, $PM_{2.5}$). Dựa trên khung pháp lý của EU và quyền tự chủ địa phương, hệ thống này được vận hành thông qua áp dụng công nghệ camera nhận diện biển số tự động (ANPR) để kiểm soát phát thải của phương tiện. Những phương tiện không đạt tiêu chuẩn khí thải nếu muốn lưu thông phải trả phí đặc biệt hoặc chịu phạt. Việc tuân thủ các quy định của vùng phát thải thấp cũng được yêu cầu bắt buộc đối với cả phương tiện biển số nước ngoài.

Ba thành phố đi đầu trong lộ trình này bao gồm Antwerp (triển khai từ 2017), Brussels (từ 2018) và Ghent (từ 2020) với các tiêu chuẩn khắt khe, hướng tới mục tiêu khu vực không phát thải (ZEZ) vào năm 2025. Để đảm bảo tính công bằng và hiệu quả, Chính phủ Bỉ kết hợp chặt chẽ giữa chế tài và giải pháp hỗ trợ như trợ cấp chuyển đổi phương tiện cho hộ thu nhập thấp, miễn trừ tạm thời cho các đối tượng đặc thù (người khuyết tật, phương tiện cổ), cùng hệ thống ứng dụng tra cứu và bảng điện tử công cộng giúp người dân dễ dàng thích ứng.



Hình 1. Khu vực phát thải thấp với diện tích 0,3 km^2 tại trung tâm thành phố Gent của Bỉ (tổng diện tích thành phố Gent là 1,205 km^2) [1]

2.2. Chính sách, giải pháp vùng phát thải thấp ở Đức

Vùng phát thải thấp (Umweltzone) tại Đức là một giải pháp cốt lõi trong chiến lược bảo vệ môi trường không khí - hiện đã được áp dụng tại 47 khu vực đô thị lớn như Berlin, Munich hay Stuttgart. Điểm đặc trưng của hệ thống này là yêu cầu phương tiện (kể cả phương tiện nước ngoài) phải dán thẻ chứng minh mức khí thải hợp lệ khi đi vào vùng lõi, nếu không sẽ đối mặt với mức phạt từ 80 EUR. Tuy nhiên, việc triển khai vẫn vấp phải rào cản về an sinh xã hội do tạo ra áp lực tài chính lên nhóm thu nhập thấp và doanh nghiệp vận tải nhỏ, dẫn đến những tranh chấp pháp lý về quyền tự do đi lại và mâu thuẫn giữa các nhóm lợi ích.

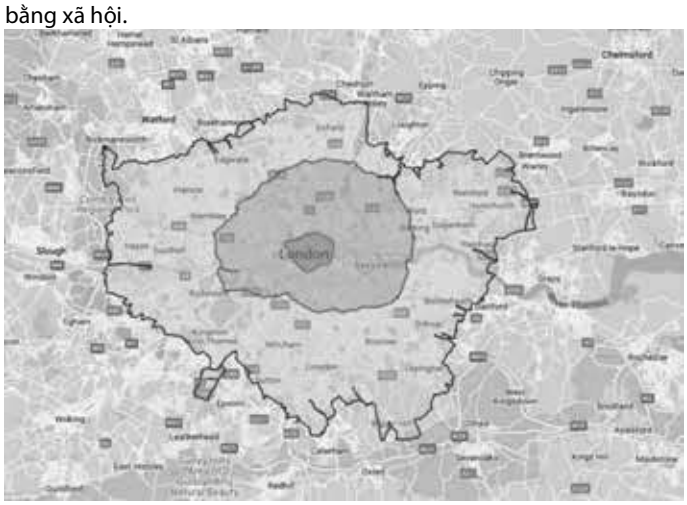
Bên cạnh đó, thách thức còn đến từ sự thiếu đồng bộ trong hạ tầng giao thông thay thế và "hiệu ứng phân tán giao thông" gây ô nhiễm cục bộ tại các vùng đệm. Từ thực tiễn này, bài học kinh nghiệm của Đức chỉ ra rằng LEZ cần được tích hợp vào quy hoạch đô thị tổng thể, chuẩn hóa hệ thống nhận diện khí thải toàn quốc và ứng dụng công nghệ giám sát thông minh. Để đạt được sự đồng thuận cao, chính quyền cần thiết lập lộ trình chuyển tiếp dài hạn, cung cấp các gói hỗ trợ tài chính cho người dân chuyển đổi phương tiện, đồng thời ưu tiên phát triển mạnh mạng lưới giao thông công cộng và hạ tầng bền vững cho xe đạp.



Hình 2. Khu vực phát thải thấp với diện tích ~ 16 km^2 tại trung tâm thành phố Cologne của Đức (tổng diện tích thành phố Cologne là ~ 405 km^2) [2]

2.3. Chính sách, giải pháp vùng phát thải thấp ở Vương quốc Anh

Vương quốc Anh triển khai hệ thống kiểm soát khí thải đa dạng bao gồm LEZ, ULEZ, CAZ và đang thử nghiệm vùng không phát thải (ZEZ), trong đó London sở hữu khu vực phát thải thấp lớn nhất thế giới với các tiêu chuẩn nghiêm ngặt và mức phí cao đối với phương tiện không đạt chuẩn (Euro 4 với phương tiện sử dụng xăng, Euro 6 với phương tiện sử dụng dầu diesel). Tuy nhiên, việc mở rộng các vùng này, đặc biệt là ULEZ tại London vào năm 2023, đã vấp phải sự phản đối từ người dân do gánh nặng tài chính đối với người thu nhập thấp và doanh nghiệp nhỏ. Bên cạnh đó, thách thức về chi phí vận hành hệ thống ANPR khổng lồ và những bất cập trong truyền thông đã tạo ra rào cản lớn, đòi hỏi chính quyền phải cân đối giữa mục tiêu cải thiện chất lượng không khí với tính minh bạch và công bằng xã hội.



Hình 3. Vùng phát thải cực thấp của Đại Luân Đôn - khu vực phát thải thấp lớn nhất thế giới [3]

2.4. Chính sách, giải pháp vùng phát thải thấp ở Trung Quốc

Trung Quốc triển khai hệ thống vùng phát thải thấp nghiêm ngặt tại các đô thị lớn như Bắc Kinh, Thượng Hải và Thâm Quyến, tập trung vào việc hạn chế phương tiện xe tải diesel và phương tiện không đạt tiêu chuẩn quốc gia V/VI thông qua hệ thống ANPR. Dù đạt được những kết quả tích cực trong việc thúc đẩy xe điện thông qua ưu tiên biển số, chính sách này vẫn đối mặt với thách thức từ sự thiếu nhất quán trong quy định giữa các địa phương, lỗ hổng giám sát ban đêm và gánh nặng tài chính đối với các doanh nghiệp vận tải nhỏ. Bài học kinh nghiệm từ Trung Quốc cho thấy LEZ cần được lồng ghép vào chiến lược đô thị toàn diện, đòi hỏi sự điều phối thống nhất từ Trung ương đến địa phương, đi kèm với các chính sách trợ giá cho chuyển đổi phương tiện và ứng dụng công nghệ cảm biến từ xa để đảm bảo tính minh bạch và công bằng xã hội.

2.5. Chính sách, giải pháp vùng phát thải thấp ở Thái Lan

Bangkok (Thái Lan) hiện đang trong giai đoạn thí điểm các biện pháp kiểm soát phát thải giao thông và dự kiến tích hợp mô hình vùng phát thải thấp (LEZ) vào quy hoạch phát triển đô thị trong giai đoạn 2025 - 2030 [4]. Thay vì áp dụng các biện pháp hạn chế nghiêm ngặt ngay từ đầu, thành phố tập trung vào những giải pháp linh hoạt như tăng cường kiểm tra khí thải lưu động, hạn chế xe tải hạng nặng lưu thông trong khu vực nội đô theo khung giờ nhất định và xử phạt nghiêm các phương tiện phát thải khói đen vượt quy chuẩn. Đồng thời, Chính phủ Thái Lan đang thúc đẩy quá trình chuyển đổi đội xe buýt cũ sang xe điện và xe sử dụng khí tự nhiên hóa lỏng (LNG), kết hợp với các chương trình hỗ trợ phương tiện sử dụng năng lượng mới (NEV), nhằm chuẩn bị cho lộ trình hình thành các khu vực không phát thải (ZEZ) trong tương lai. Tuy nhiên, quá trình triển khai vẫn đối mặt với nhiều thách thức do tỷ lệ phương tiện diesel cũ còn cao và hệ thống giao thông công cộng chưa thực sự đồng bộ để đáp ứng nhu cầu đi lại của nhóm dân cư có thu nhập thấp. Từ thực tiễn này, Bangkok cho thấy rằng chính sách LEZ khó đạt hiệu quả nếu thiếu các cơ chế hỗ trợ tài chính phù hợp cho người dân và doanh nghiệp, đồng thời chưa có mạng lưới giao thông công cộng sạch, thuận tiện đóng vai trò thay thế. Kinh nghiệm của thành phố cho thấy việc triển khai LEZ nên bắt đầu từ các khu vực có quy mô nhỏ, được thực hiện theo lộ trình từng bước, kết hợp với hoạt động truyền thông sớm nhằm nâng cao nhận thức cộng đồng và sự phối hợp chặt chẽ giữa các cơ quan liên quan để bảo đảm tính khả thi và bền vững của chính sách.



Hình 4. Vùng phát thải thấp (diện tích ~ 8.4 km^2) thí điểm tại quận Pathumwan của thành phố Bangkok (tổng diện tích thành phố Bangkok là ~ 1.568 km^2) [4].

2.6. Chính sách, giải pháp vùng phát thải thấp tại Indonesia

Jakarta đã bắt đầu hành trình cải thiện chất lượng không khí bằng việc thí điểm vùng phát thải thấp tại khu phố cổ Kota Tua từ năm 2021 [5]. Thay vì thu phí trực tiếp, mô hình này tập trung vào việc hạn chế xe xăng và xe diesel cũ không đạt tiêu chuẩn khí thải, đồng thời ưu tiên các phương tiện thân thiện như hệ thống xe buýt nhanh TransJakarta, xe buýt điện và hạ tầng dành cho người đi bộ. Với mục tiêu mở rộng LEZ sang các trung tâm thương mại lớn như Thamrin - Sudirman và tích hợp thu phí đường bộ điện tử (ERP), Jakarta hướng tới tầm nhìn một đô thị phát thải thấp toàn diện vào năm 2030 [6].

Tuy nhiên, chính sách này đang đối mặt với nhiều rào cản lớn do hạ tầng giao thông công cộng còn yếu, thiếu trạm sạc xe điện và cơ chế kiểm soát phát thải chưa thực sự hiệu quả trước lượng phương tiện cá nhân khổng lồ. Bài học từ Jakarta cho thấy tầm quan trọng của việc "khởi đầu nhỏ" để thử nghiệm hành vi người dân, kết hợp với ứng dụng công nghệ AI và IoT để giám sát dữ liệu không khí minh bạch. Để thực thi một cách bền vững, chính quyền cần chú trọng hơn đến tính công bằng xã hội thông qua các chương trình trợ giá, tham vấn cộng đồng từ sớm và xây dựng lộ trình hỗ trợ chuyển đổi phương tiện cũ cho người dân.

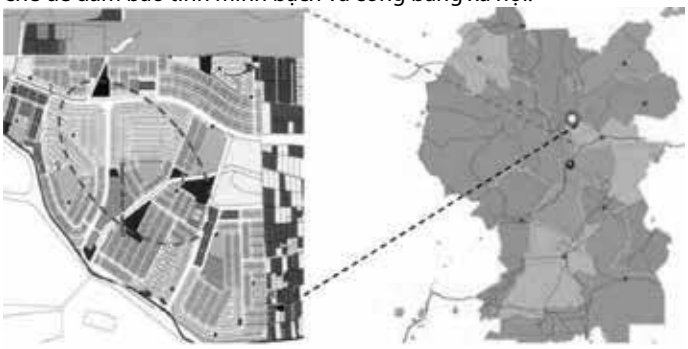


Hình 5. Vùng phát thải thấp (diện tích ~ 0.14 km^2) thí điểm tại khu phố cổ Kota Tua của thành phố Jakarta (tổng diện tích thành phố Jakarta là ~ 661,23 km^2) [7]

2.7. Chính sách, giải pháp vùng phát thải thấp ở Malaysia

Malaysia đã bắt đầu những bước đi đầu tiên trong việc cải thiện chất lượng không khí bằng dự án thí điểm vùng phát thải thấp tại khu đô thị Taman Tun Dr Ismail (Kuala Lumpur) từ cuối năm 2020 [8]. Chương trình tập trung hạn chế các xe diesel cũ và xe không đạt tiêu chuẩn Euro 4 thông qua hệ thống ANPR kết hợp quan trắc khí thải NO_2 và bụi mịn. Thay vì các biện pháp bắt buộc đơn thuần, Malaysia ưu tiên thúc đẩy hệ sinh thái phương tiện sạch như xe điện, xe hybrid và xe máy điện, đồng thời tận dụng mạng lưới giao thông công cộng hiện có để giảm thiểu sự phụ thuộc vào phương tiện cá nhân.

Tuy nhiên, việc triển khai vẫn vấp phải rào cản lớn do hạ tầng trạm sạc xe điện chưa phổ biến, tỷ lệ xe cũ trong ngành logistics còn cao và thói quen sử dụng phương tiện cá nhân của người dân. Từ thực tiễn triển khai tại Malaysia có thể rút ra rằng cần tích hợp LEZ vào chiến lược tổng thể đô thị cacbon thấp, đi kèm với các "gói hỗ trợ tài chính toàn diện" để người dân dễ dàng chuyển đổi phương tiện. Sự thành công của chính sách này phụ thuộc vào việc củng cố giao thông công cộng tiện lợi (như xe buýt miễn phí GoKL), ứng dụng công nghệ giám sát hiện đại và sự phối hợp liên ngành chặt chẽ để đảm bảo tính minh bạch và công bằng xã hội.



Hình 6. Vùng phát thải thấp thí điểm tại khu đô thị Taman Tun Dr Ismail của thành phố Kuala Lumpur (tổng diện tích thành phố Kuala Lumpur là ~ 243 km^2) [9]

2.8. Các bài học từ kinh nghiệm quốc tế

Dựa trên kết quả tổng quan kinh nghiệm quốc tế về thực hiện các chính sách, giải pháp vùng phát thải thấp, một số bài học có thể được tổng hợp (Bảng 1).

Bảng 1. Tổng kết một số bài học từ kinh nghiệm quốc tế về thực hiện các chính sách, giải pháp vùng phát thải thấp.

Bài học	Giải pháp
1. Chính sách & lộ trình thực hiện	• Xây dựng lộ trình rõ ràng, triển khai theo từng giai đoạn (ví dụ: thắt chặt dần tiêu chuẩn Euro 3, Euro 4, Euro 5, v.v.) để người dân và doanh nghiệp có thời gian chuẩn bị. • Cần có khung pháp lý quốc gia hoặc hệ thống liên vùng để điều phối đồng bộ giữa các địa phương. • Triển khai thí điểm tại các khu vực nhỏ (trung tâm, du lịch) trước khi mở rộng áp dụng trên diện rộng.
2. Hỗ trợ Tài chính & công bằng xã hội	• Cung cấp các gói hỗ trợ tài chính, trợ giá chuyển đổi phương tiện cũ sang phương tiện sạch (xe điện) hoặc lắp bộ lọc khí thải cho người thu nhập thấp và doanh nghiệp nhỏ. • Thiết lập các cơ chế miễn trừ đặc biệt cho các phương tiện khẩn cấp và đối tượng yếu thế (người khuyết tật). • Ưu đãi phí đỗ xe, giảm thuế hoặc tặng thẻ giao thông công cộng miễn phí để khuyến khích chuyển đổi.
3. Hạ tầng giao thông thay thế	• Điều kiện tiên quyết: Phải phát triển hệ thống giao thông công cộng (Metro, xe buýt điện/hydrogen) chất lượng cao và mạng lưới xe đạp, đường đi bộ trước khi hạn chế phương tiện cá nhân. • Tích hợp LEZ vào quy hoạch đô thị bền vững và chiến lược giảm phương tiện cá nhân.
4. Công nghệ & giám sát	• Ứng dụng hệ thống camera nhận diện biển số tự động (ANPR) kết hợp phạt nguội để quản lý minh bạch, chính xác. • Sử dụng tem khí thải hoặc website/ứng dụng tra cứu biển số giúp người dân dễ dàng nhận diện phương tiện hợp lệ. • Lắp đặt cảm biến quan trắc không khí theo thời gian thực để đánh giá hiệu quả thực tế của LEZ.
5. Truyền thông & đồng thuận xã hội	• Thực hiện chiến dịch truyền thông sớm (trước 6-12 tháng), đa ngôn ngữ và minh bạch về lợi ích sức khỏe để tạo sự ủng hộ từ cộng đồng. • Tổ chức tham vấn cộng đồng và đối thoại với các hiệp hội vận tải trước khi ban hành quy định.
6. Quản lý & thực thi	• Phối hợp liên ngành chặt chẽ giữa các sở, ban, ngành (Giao thông, Môi trường, Y tế và Cảnh sát…). • Kết hợp các biện pháp kinh tế như thu phí ùn tắc (ERP) và quản lý hạn ngạch phương tiện (VQS) để điều tiết lưu lượng giao thông.

3. MỘT SỐ CHÍNH SÁCH CÓ LIÊN QUAN TẠI VIỆT NAM

Trong bối cảnh tốc độ đô thị hóa diễn ra mạnh mẽ, ô nhiễm không khí từ hoạt động giao thông vận tải đã trở thành một trong những thách thức lớn đối với sức khỏe cộng đồng và sự phát triển bền vững tại các đô thị lớn của Việt Nam. Nhằm từng bước cải thiện chất lượng không khí, Chính phủ cùng chính quyền TP Hà Nội đã ban hành hệ thống văn bản quy phạm pháp luật với mục tiêu không chỉ tăng cường áp dụng tiêu chuẩn khí thải đối với phương tiện đang lưu hành mà còn phát triển một hệ sinh thái giao thông xanh, từ việc chuyển đổi năng lượng cho hệ thống xe buýt đến việc áp dụng thí điểm vùng phát thải thấp.

Lộ trình áp dụng quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về khí thải ô tô

Lộ trình áp dụng quy chuẩn khí thải đối với ô tô đang lưu hành tại Việt Nam được phân loại chặt chẽ theo năm sản xuất và địa bàn hoạt động. Theo các quy định mới, từ ngày 01/01/2026, các phương tiện sản xuất từ năm 2017 sẽ phải đáp ứng Mức khí thải 3 (trên phạm vi toàn quốc) và đặc biệt là Mức 4 đối với phương tiện đăng ký tại Hà Nội và TP.HCM. Đối với các phương tiện đời mới sản xuất từ năm 2022, tiêu chuẩn sẽ còn khắt khe hơn khi phải đạt Mức 4 từ năm 2026 và tiến tới Mức 5 (tương đương tiêu chuẩn cao nhất hiện nay) vào đầu năm 2027 tại hai đô thị lớn này. Riêng đối với phương tiện nhập khẩu và sản xuất mới, Quyết định 19/2024/QĐ-TTg [10] bắt buộc áp dụng Mức 5 ngay từ ngày 01/01/2025 nhằm ngăn chặn nguồn phát thải mới gây ô nhiễm.

Quy chuẩn khí thải đối với phương tiện mô tô và phương tiện gắn máy

Đối với loại hình phương tiện chiếm tỷ lệ lớn nhất là xe mô tô và xe gắn máy, Quy chuẩn QCVN 99:2025/BNNMT [11] đã thiết lập các ngưỡng giới hạn nghiêm ngặt về nồng độ CO và HC trong khí thải. Lộ trình áp dụng bắt đầu từ ngày 30/06/2026, trong đó các phương tiện sản xuất sau tháng 7/2026 bắt buộc phải đạt tiêu chuẩn Mức 4 (nồng độ CO tối đa chỉ 2,0% thể tích). Đáng chú ý, tại Hà Nội và TP.HCM, cơ quan quản lý đề xuất từ năm 2030, toàn bộ xe máy lưu thông trên địa bàn phải đáp ứng tối thiểu Mức khí thải 2. Song song đó, Chính phủ cũng đặt mục tiêu từ năm 2026, các loại xe ba bánh, xe chở người/hàng bốn bánh gắn động cơ sản xuất mới phải đạt

mức phát thải bằng "0", đánh dấu bước ngoặt trong việc khai tử động cơ đốt trong ở các phân khúc này.

Đề án "Vùng phát thải thấp" tại Thủ đô Hà Nội

Một trong những chính sách đột phá nhất của Hà Nội là việc thực hiện Nghị quyết 57/2025/NQ-HĐND [12] về "Vùng phát thải thấp" (LEZ). Theo dự thảo về Đề án vùng phát thải thấp trong khu vực Vành đai 1, giai đoạn 1 (từ ngày 01/7 đến 31/12/2026), thành phố dự kiến triển khai thí điểm mô hình này tại phường Hoàn Kiếm. Dự thảo đề án xác định phạm vi thực hiện vùng phát thải thấp thuộc 9 phường trong khu vực Vành đai 1 gồm: Hoàn Kiếm, Cửa Nam, Ba Đình, Giảng Võ, Ngọc Hà, Hai Bà Trưng, Ô Chợ Dừa, Tây Hồ, Văn Miếu-Quốc Tử Giám. Theo lộ trình, giai đoạn 2 (từ ngày 1/1/2027 đến 31/12/2027), thành phố sẽ mở rộng phạm vi thí điểm ra phường Cửa Nam với 14 tuyến phố bao quanh khu vực lõi. Đến giai đoạn 3 (từ ngày 1/1/2028 đến 31/12/2029), vùng phát thải thấp sẽ được mở rộng trên toàn bộ diện tích Vành đai 1, với quy mô hơn 26 km^2, chu vi khoảng 25 km và dân số khoảng 625.000 người.

4. MỘT SỐ KHUYẾN NGHỊ NHẰM THÚC ĐẨY THỰC HIỆN CÁC CHÍNH SÁCH, GIẢI PHÁP VÙNG PHÁT THẢI THẤP Ở VIỆT NAM

Dựa trên tham khảo kinh nghiệm quốc tế về thực hiện các chính sách, giải pháp vùng phát thải thấp và hiện trạng một số chính sách có liên quan ở Việt Nam, một số khuyến nghị về thúc đẩy các chính sách, giải pháp thực hiện vùng phát thải thấp ở trong nước như sau:

- Hoàn thiện khung pháp lý liên quan đến vùng phát thải thấp.
- Xây dựng, đồng bộ hệ thống cơ sở dữ liệu đăng kiểm, phát thải của các phương tiện giao thông.
- Tăng cường nguồn lực đầu tư phát triển hạ tầng hỗ trợ triển khai vùng phát thải thấp, hạ tầng giao thông sử dụng năng lượng sạch.
- Tăng cường nguồn lực đầu tư cho hệ thống giao thông công cộng, giao thông xanh: Mở rộng và cải thiện chất lượng dịch vụ mạng lưới xe buýt điện, metro, xe đạp công cộng… để tạo lựa chọn thay thế trước khi hạn chế phương tiện cũ, phương tiện có mức phát thải cao.
- Kết hợp đồng bộ các giải pháp quy hoạch đô thị và quy hoạch giao thông bền vững.
- Xây dựng và thực hiện các chính sách hỗ trợ xã hội đi kèm, đảm bảo công bằng xã hội, đặc biệt là đối với các nhóm yếu thế và các doanh nghiệp, hộ kinh doanh quy mô nhỏ: Hỗ trợ tài chính, chuyển đổi phương tiện cũ sang phương tiện sạch cho người nghèo, tài xế công nghệ, người dân thu nhập thấp, người lao động, sinh viên, người ngoại tỉnh; hỗ trợ các doanh nghiệp nhỏ, hộ kinh doanh trong việc chuyển đổi phương tiện…
- Tăng cường truyền thông trên các kênh, minh bạch thông tin kết hợp với giáo dục cộng đồng để tạo đồng thuận xã hội.
- Áp dụng lộ trình thực hiện từng bước, có giai đoạn chuyển tiếp và thử nghiệm, linh hoạt theo điều kiện thực tế và đối tượng phù hợp; xem xét thử nghiệm ở quy mô nhỏ và đánh giá hiệu quả áp dụng thử nghiệm để điều chỉnh và nhân rộng một cách phù hợp theo giai đoạn, theo khu vực.

5. KẾT LUẬN

Vùng phát thải thấp (LEZ) đã và đang trở thành một trong những giải pháp quan trọng nhằm kiểm soát ô nhiễm không khí và thúc đẩy phát triển giao thông bền vững tại nhiều quốc gia trên thế giới. Thông qua tổng quan kinh nghiệm quốc tế về triển khai LEZ, có thể nhận thấy rằng hiệu quả của mô hình này phụ thuộc vào nhiều yếu tố như hệ thống tiêu chuẩn khí thải, cơ chế giám sát và xử phạt, năng lực quản lý đô thị, sự phát triển của giao thông công cộng và mức độ đồng thuận của cộng đồng xã hội. Kinh nghiệm quốc tế cho thấy việc triển khai LEZ cần được thực hiện theo lộ trình phù hợp, có sự phối hợp liên ngành và đi kèm với các chính sách hỗ trợ kinh tế - xã hội nhằm hạn chế các tác động bất lợi đối với người dân và doanh nghiệp.

Đối với Việt Nam, tình trạng ô nhiễm không khí tại các đô thị lớn như Hà Nội và TP.HCM đang đặt ra yêu cầu cấp thiết về việc áp dụng các giải pháp quản lý phát thải giao thông hiệu quả hơn. Trong bối cảnh đó, nghiên cứu và từng bước triển khai LEZ là hướng tiếp cận có tiềm năng và phù hợp với định hướng phát triển đô thị xanh, giao thông bền vững và cải thiện chất lượng không khí. Từ các bài học kinh nghiệm quốc tế, bài báo đề xuất một số khuyến nghị đối với Việt Nam, bao gồm: hoàn thiện khung pháp lý; xây dựng cơ sở dữ liệu và hệ thống giám sát phát thải đồng bộ; tăng cường đầu tư cho giao thông công cộng và hạ tầng giao thông xanh; đồng thời đẩy mạnh công tác truyền thông và nâng cao nhận thức cộng đồng... Bên cạnh đó, cần có các nghiên cứu chuyên sâu hơn về đánh giá tác động môi trường, kinh tế - xã hội và tính khả thi trong điều kiện thực tiễn của Việt Nam nhằm hỗ trợ quá trình xây dựng và triển khai chính sách vùng phát thải thấp trong thời gian tới.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Stad Gent. Low Emission Zone Ghent: Mobility Plan and Evaluation. Department of Environment and Climate, 2020.

[2] City of Cologne (Stadt Köln). Air Quality Plan for Cologne: Extension of the Low Emission Zone. Department of Environment, 2022.

[3] Transport for London (TfL). London Low Emission Zone (LEZ) and Ultra Low Emission Zone (ULEZ) Annual Report, 2023.

[4] Bangkok Metropolitan Administration (BMA). Bangkok Clean Air Plan 2025-2030: Pilot Low Emission Zone in Pathumwan District, 2024. [Official Policy Document].

[5] DKI Jakarta Provincial Government. Implementation of Low Emission Zone (LEZ) in Kota Tua: Evaluation and Future Roadmap, 2021.

[6] World Bank. Jakarta Air Quality Management: Transitioning from Odd-Even Policy to Electronic Road Pricing (ERP), 2022.

[7] ITDP Indonesia. Developing Low Emission Zones in Jakarta: Lessons from Kota Tua Pilot Project. Institute for Transportation and Development Policy, 2022.

[8] Ministry of Environment and Water (KASA), Malaysia. Pilot Projects for Low Emission Zones in Urban Centers, 2020.

[9] Kuala Lumpur City Hall (DBKL). Kuala Lumpur Low Carbon Society Blueprint 2030. Urban Transport.

[10] Quyết định số 19/2024/QĐ-TTg ngày 15/11/2024 quy định lộ trình áp dụng mức tiêu chuẩn khí thải đối với phương tiện cơ giới nhập khẩu và sản xuất, lắp ráp.

[11] Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về khí thải phương tiện mô tô, phương tiện gắn máy tham gia giao thông đường bộ - QCVN 99:2025/BNNMT.

[12] Nghị quyết 57/2025/NQ-HĐND Về việc quy định thực hiện vùng phát thải thấp trên địa bàn TP Hà Nội (thực hiện điểm a khoản 2 Điều 28 Luật Thủ đô).

■Ngày nhận bài: 06/4/2026 ■Ngày sửa bài: 17/4/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 05/5/2026

Ứng dụng dữ liệu địa không gian phân vùng hình thái đô thị theo vùng khí hậu địa phương - Thí điểm tại khu vực mật độ đô thị cao tại phường Long An

Application of geospatial data in classifying urban morphology by local climate zones: A pilot study in a high-density urban area in Long An ward

> THS NGUYỄN TRỌNG NHÂN, TS VĂN NGỌC TRÚC PHƯƠNG, THS LÊ THIÊN BẢO*
Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP Hồ Chí Minh
*Email: ltbao@hcmunre.edu.vn

TÓM TẮT

Đô thị hóa nhanh đã làm thay đổi mạnh mẽ hình thái không gian đô thị và gia tăng các vấn đề vi khí hậu. Trong bối cảnh đó, dữ liệu địa không gian đóng vai trò quan trọng trong việc thu thập, cập nhật và phân tích thông tin bề mặt đô thị một cách đồng bộ, liên tục và có tính không gian cao. Bài báo tích hợp các nguồn dữ liệu địa không gian để tính toán các chỉ số phát triển đô thị (mật độ xây dựng, mật độ dân số), mật độ lớp phủ bề mặt và kết hợp dữ liệu nhiệt độ bề mặt nhằm phân vùng hình thái đô thị theo vùng khí hậu địa phương tại khu vực mật độ xây dựng cao phường Long An. Kết quả phân tích theo hệ thống LCZ cho thấy sự phân hóa rõ rệt giữa các khu vực xây dựng, không gian xanh và bề mặt mặt nước. Các LCZ đô thị (1-5) chiếm tỷ lệ đáng kể, phản ánh mức độ bê tông hóa cao, trong khi LCZ thực vật và mặt nước đóng vai trò quan trọng trong điều hòa vi khí hậu và giảm môi trường nhiệt đô thị. Nghiên cứu khẳng định hiệu quả của dữ liệu địa không gian trong việc phân vùng hình thái đô thị, từ đó cung cấp cơ sở khoa học cho phân tích đánh giá mối quan hệ giữa hình thái đô thị và biến đổi vi khí hậu nhằm thích ứng với bối cảnh biến đổi khí hậu phức tạp.

Từ khóa: Dữ liệu địa không gian; hình thái đô thị; lớp phủ bề mặt; vùng khí hậu địa phương.

ABSTRACT

Rapid urbanization has significantly transformed urban spatial structures and intensified microclimate issues. In this context, geospatial data play a crucial role in collecting, updating and analyzing urban surface information in a synchronized, continuous and spatially explicit manner. This study integrates multiple geospatial data sources to calculate urban development indicators (building density, population density), land cover proportions and combines them with land surface temperature data to classify urban morphology into Local Climate Zones in the high-density built-up area of Long An Ward. The LCZ-based analysis reveals a clear differentiation between built-up areas, green spaces and water surfaces. Urban LCZ classes (1–5) account for a significant proportion, reflecting a high level of concretization, while vegetation and water LCZs play an important role in regulating microclimate conditions and mitigating the urban thermal environment. The study confirms the effectiveness of geospatial data in urban morphological classification, thereby providing a scientific basis for analyzing the relationship between urban form and microclimate variations, contributing to climate change adaptation in increasingly complex environmental contexts.

Keywords: Geospatial data; urban morphology; land cover; Local Climate Zones (LCZ).

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Quá trình đô thị hóa diễn ra mạnh mẽ trong những thập kỷ gần đây đã làm biến đổi đáng kể cấu trúc và hình thái đô thị, đặc biệt tại các khu vực mật độ đô thị cao. Trong bối cảnh đó, phân vùng hình thái đô thị theo vùng khí hậu địa phương trở thành một cách tiếp cận quan trọng, nhằm tổ chức không gian như mật độ

xây dựng, chiều cao công trình, mật độ cây xanh, mặt nước và vật liệu phù hợp với điều kiện khí hậu từng khu vực [1]. Cách tiếp cận này giúp tối ưu vi khí hậu, giảm hiệu ứng đảo nhiệt, tăng thông gió tự nhiên, tiết kiệm năng lượng và nâng cao chất lượng sống, đồng thời tăng khả năng thích ứng với biến đổi khí hậu. Tuy nhiên, sự gia tăng mật độ xây dựng, suy giảm diện tích cây xanh và bề mặt thấm nước, cùng với việc tổ chức không gian đô thị thiếu kiểm soát đã làm gia tăng các vấn đề vi khí hậu đô thị, đặc biệt là gia tăng nhiệt độ bề mặt [2]. Do đó, nghiên cứu hình thái đô thị thích ứng với khí hậu địa phương là yêu cầu cấp thiết nhằm hướng tới phát triển đô thị bền vững.

Các phương pháp tiếp cận truyền thống chủ yếu dựa trên hệ thống chỉ tiêu quy hoạch định sẵn và thường đánh giá đơn lẻ nhưng chưa phản ánh đầy đủ tính biến động theo không gian và thời gian của các yếu tố đô thị. Trong bối cảnh đó, sự phát triển của công nghệ viễn thám và GIS đã mở ra hướng tiếp cận hiệu quả trong việc khai thác, thu thập và phân tích với các nguồn dữ liệu địa không gian. Trên cơ sở tích hợp các chỉ số hình thái đô thị điển hình như mật độ xây dựng, hệ số sử dụng đất, chiều cao công trình, đặc trưng lớp phủ bề mặt và phân bố không gian xanh, có thể phân vùng đô thị thành các khu vực có đặc trưng hình thái - khí hậu tương đồng [1, 3]. Điển hình, trong nghiên cứu của Wang [1], yếu tố hình thái đô thị được xác định bao gồm mật độ xây dựng, hệ số sử dụng đất (Floor Area Ratio - FAR), chiều cao công trình (Building Height - BH), độ che phủ thực vật (Fractional Vegetation Coverage - FVC), hệ số tầm nhìn bầu trời (Sky View Factor - SVF) và tỷ lệ bề mặt không thấm (Impervious Surface Fraction - ISF). Đồng thời, vùng hình thái đô thị theo các vùng khí hậu địa phương (Local Climate Zones - LCZ) được biểu diễn dưới dạng các ô lưới không gian. Các LCZ được phân loại thành các nhóm điển hình như: Khu xây dựng dày đặc (cao tầng, trung tầng, thấp tầng), khu xây dựng mở (cao tầng, trung tầng, thấp tầng), khu vực cây xanh, mặt nước và bề mặt cứng. Mặc dù các yếu tố liên quan đến chiều cao công trình như BH và SVF thường gặp khó khăn trong việc thu thập và cập nhật dữ liệu, đặc biệt tại các khu vực đô thị đang phát triển nhanh. Tuy nhiên, LCZ cho phép đánh giá chi tiết sự khác biệt về đặc trưng hình thái và tác động nhiệt giữa các loại hình sử dụng đất đô thị.

Xuất phát từ những phân tích trên, bài báo tận dụng các nguồn dữ liệu địa không gian, đồng thời đảm bảo tính cập nhật và sự thống nhất về mặt không gian. Tuy nhiên, trong khuôn khổ nghiên cứu có hạn về nguồn dữ liệu miễn phí, bài báo tập trung xác định các đặc trưng hình thái đô thị thông qua các chỉ số phát triển đô thị trong môi trường nhiệt, bao gồm mật độ đất đô thị, mật độ công trình, mật độ dân số và mật độ lớp phủ bề mặt (thực vật, đất trống, mặt nước). Việc ứng dụng dữ liệu địa không gian trong phân vùng hình thái đô thị theo điều kiện khí hậu địa phương LCZ góp phần làm rõ mối quan hệ giữa cấu trúc không gian đô thị và các đặc trưng vi khí hậu. Kết quả nghiên cứu là tiền đề và cơ sở khoa học cho quy hoạch đô thị thích ứng với biến đổi khí hậu, đồng thời đề xuất một hướng tiếp cận mới trong phân tích và quản lý phát triển đô thị bền vững tại Việt Nam.

2. DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Dữ liệu nghiên cứu

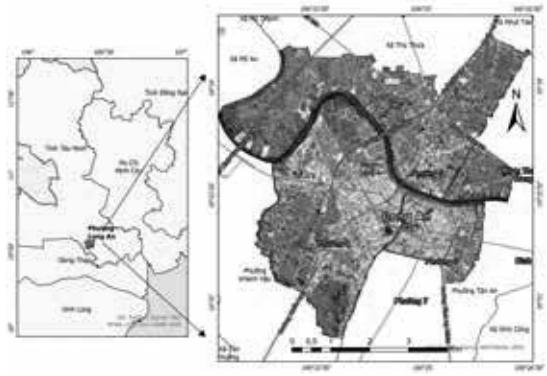
Dữ liệu địa không gian được sử dụng bao gồm ảnh vệ tinh PlanetScope có độ phân giải không gian 3 m được thu thập vào ngày 28/02/2025 với độ phủ mây dưới 5%, từ nền tảng Planet Explorer. Ảnh Planet gồm 8 kênh phổ (Coastal Blue, Blue, Green I, Green, Yellow, Red, Red Edge và Near Infrared) đã được xử lý ở mức Level 3B, bao gồm hiệu chỉnh hình học, hiệu chỉnh khí quyển và đồng thời cung cấp giá trị phản xạ bề mặt. Nhờ đó, chất lượng ảnh được cải thiện đáng kể, góp phần nâng cao độ tin cậy trong quá trình giải đoán và phân loại lớp phủ bề mặt.

Ảnh vệ tinh Landsat 9 được thu thập cùng ngày 28/02/2025 với độ phủ mây dưới 1%, từ tổ chức United States Geological Survey. Dữ liệu ở mức Raw Scenes bao gồm 11 kênh phổ, trong đó các kênh hồng ngoại nhiệt được sử dụng để tính toán chỉ số nhiệt độ bề mặt (Land Surface Temperature - LST), phục vụ phân tích đặc trưng môi trường nhiệt trong điều kiện vi khí hậu đô thị.

Ngoài ra, bài báo còn sử dụng dữ liệu Open Buildings V3 Polygons, cung cấp thông tin chi tiết về các công trình xây dựng dưới dạng vùng, được thu thập vào năm 2023 bởi tổ chức Google Research - Open Buildings. Bên cạnh đó, dữ liệu dân số WorldPop Global Project Population Data được sử dụng nhằm ước tính dân số sinh sống trên lưới (100×100)m với độ phân giải không gian 92,77 m, do tổ chức WorldPop cung cấp.

2.2. Khu vực nghiên cứu

Phường Long An là trung tâm chính trị - kinh tế - văn hóa của địa phương, với mật độ đô thị cao và đóng vai trò quan trọng trong phát triển khu vực (Hình 1). Trong tiến trình phát triển đô thị, năm 2019, khu vực này được công nhận là đô thị loại II và đến năm 2025 đã chính thức sáp nhập thành phường Long An, đánh dấu bước chuyển đổi quan trọng về không gian đô thị. Giai đoạn 2016 - 2025, quá trình đô thị hóa diễn ra mạnh mẽ, kèm với hệ lụy như tăng nhanh quá trình chuyển đổi mục đích sử dụng đất và biến động nhanh chóng của lớp phủ bề mặt, ảnh hưởng đến cơ sở hạ tầng và môi trường [4]. Đồng thời, biến đổi khí hậu tác động trực tiếp đến cấu trúc không gian và hình thái đô thị, do đó cần áp dụng các phương pháp đánh giá không gian đô thị hiệu quả để điều chỉnh quy hoạch phù hợp.

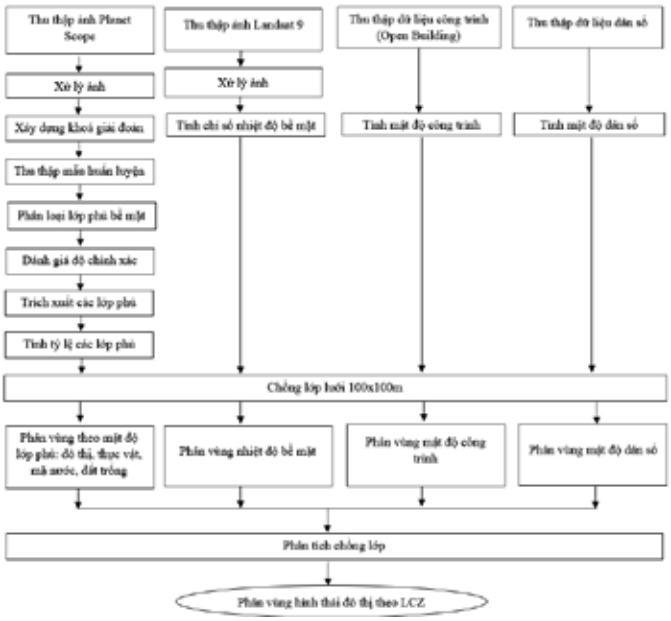


Hình 1. Khu vực nghiên cứu tại phường Long An

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Phân vùng hình thái đô thị tại khu vực có mật độ đô thị cao phường Long An, được nghiên cứu dưới góc độ phát triển đô thị và ảnh hưởng của biến đổi khí hậu. Căn cứ vào việc phân vùng khí hậu địa phương (LCZ) được thực hiện dựa trên khung phân loại của Stewart và Oke [5] bao gồm các LCZ lớp phủ công trình xây dựng và lớp phủ tự nhiên. Tuy nhiên, để triển khai đầy đủ hệ thống LCZ theo chuẩn quốc tế, yêu cầu tiên quyết là phải có dữ liệu chi tiết về hình thái chiều cao công trình, hệ số tầm nhìn bầu trời nhưng trong điều kiện thực tế, chiều cao công trình rất khó xác định theo thời gian. Thay thế vào hạn chế đó, các chỉ số hình thái đô thị được xác định thông qua việc tích hợp các yếu tố định lượng liên quan đến một số chỉ số phát triển đô thị đặc trưng và tỷ lệ lớp phủ bề mặt, điển hình như mật độ đô thị, mật độ dân số, mật độ công trình và mật độ thảm thực vật, bề mặt nước và đất trống [6]. Đồng thời, các chỉ

số này được kết hợp với hệ thống phân vùng khí hậu địa phương (LCZ) nhằm đánh giá mối quan hệ giữa cấu trúc không gian đô thị và phân bố nhiệt [1, 3]. Việc sử dụng LCZ giúp nâng cao độ chính xác trong đánh giá sự khác biệt nhiệt độ giữa các khu vực có đặc điểm hình thái khác nhau, đồng thời hỗ trợ phân tích môi trường nhiệt đô thị và phát triển các chiến lược quy hoạch, thiết kế đô thị hướng đến thích ứng với biến đổi khí hậu. Bên cạnh đó, hình thái đô thị được trực quan hóa thông qua mạng ô lưới (grid-cell), thể hiện sự phân bố không gian của quá trình phát triển đô thị chi tiết hơn so với ranh giới hành chính. Cách tiếp cận này phản ánh tính liên tục của quá trình đô thị hóa bằng giá trị định lượng, giúp đánh giá cấu trúc phân bố, mức độ tập trung và xu thế lan tỏa không gian [7, 8]. Một hệ thống ô lưới đồng nhất được thiết lập nhằm chuẩn hóa đơn vị phân tích không gian, giảm ảnh hưởng của sự không đồng nhất về quy mô và hình dạng của các đơn vị hành chính. Kích thước ô lưới được lựa chọn dựa trên độ phân giải thấp nhất của dữ liệu đầu vào, trong đó dữ liệu dân số có độ phân giải gần 100 m được ưu tiên, do đó bài báo sử dụng lưới ô vuông (100×100)m để trực quan hóa hình thái đô thị, vừa đảm bảo mức độ chi tiết, vừa giữ tính ổn định thống kê.



Hình 2. Quy trình thực hiện phân vùng hình thái đô thị theo LCZ

Các bước thực hiện được thể hiện rõ qua Hình 2, trong đó phân loại lớp phủ bề mặt trên dữ liệu ảnh Planet bằng thuật toán học máy Support Vector Machine (SVM) nhằm trích xuất 4 lớp phủ gồm đất đô thị (các bề mặt xây dựng và vật liệu nhân tạo như nhựa đường, gạch, bê tông; các công trình thương mại, công nghiệp; khu dân cư; cùng hệ thống giao thông: cầu, bãi đỗ xe, đường giao thông chính và đường nông thôn) [9], thảm thực vật, bề mặt nước và đất trống. Với thuật toán SVM hiệu quả với các đối tượng có biên phân lớp phi tuyến nhờ các hàm kernel, tận dụng ranh giới giữa các nhóm dữ liệu, đồng thời nâng cao độ chính xác trong việc xác định ranh giới giữa các lớp có phổ tương đồng [10]. Song song đó, để phân vùng nhiệt độ bề mặt, bài báo tính toán chỉ số nhiệt độ bề mặt (LST) dựa trên kênh nhiệt của ảnh Landsat 9. Đây là chỉ số đặc trưng cho trạng thái nhiệt của bề mặt trái đất, được xác định dựa trên năng lượng bức xạ nhiệt phát ra từ các đối tượng bề mặt và thu nhận tại kênh hồng ngoại nhiệt của ảnh viễn thám quang học. Giá trị LST được suy tính từ nhiệt độ bức xạ đã hiệu chỉnh theo độ phát xạ bề mặt, nhằm phản ánh chính xác đặc tính phát xạ thực tế của từng loại lớp phủ đất [11]. Công thức xác định LST (°C) được biểu diễn qua công thức (1). Trong đó: T_B là nhiệt độ chiếu sáng; λ là bước sóng hồng ngoại nhiệt; ε là độ phát xạ.

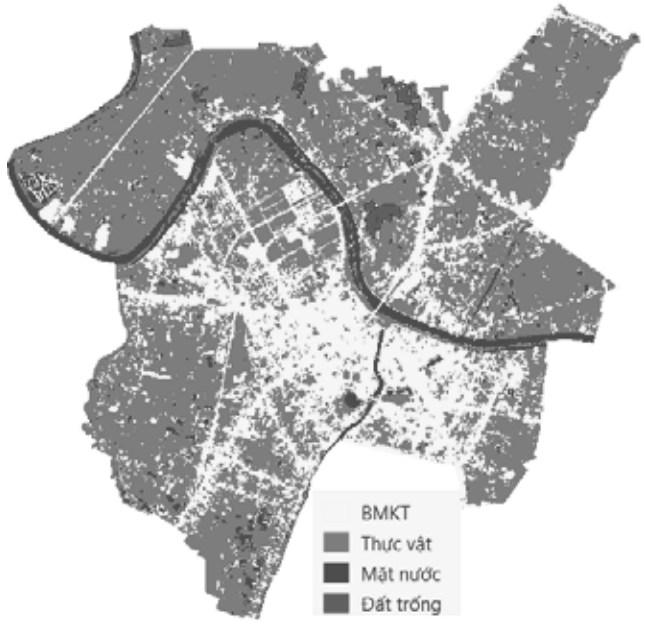
$$LST = \frac{T_B}{1+\frac{\lambda * T_B}{\rho} ln\varepsilon} - 273,15 \quad (1)$$

Tương tự, các lớp dữ liệu còn lại được trích xuất và chuẩn hóa dưới dạng chỉ số định lượng về mật độ. Cụ thể, mật độ công trình xây dựng (nhà, khu công nghiệp, nhà máy, trường học, các cơ quan nhà nước và loại công trình xây dựng khác) được xác định từ dữ liệu Open Buildings, trong khi mật độ dân số được tính toán từ bộ dữ liệu WorldPop. Cuối cùng, quá trình phân vùng được triển khai theo phương pháp phân tích chồng lớp theo ô lưới để xác định tính chất hình thái của các khu vực. Mặt khác, cần chuẩn hóa các yếu tố định lượng thành năm nhóm: Rất cao (High-High: HH), cao (High: H), trung bình (Mean: M), thấp (Low: L) và rất thấp (Low-Low: LL), nhằm trực quan hóa mức độ tập trung và phân bố không gian. Việc kết hợp các yếu tố theo ô lưới tạo ra nhiều kết quả định tính khác nhau. Do đó, các LCZ có tính chất gần giống nhau sẽ được gộp lại, giúp hợp nhất các ô lưới có đặc điểm hình thái tương đồng, giảm nhiễu từ sự phân tán dữ liệu và đảm bảo phân tích phản ánh chính xác đặc trưng hình thái đô thị của từng loại LCZ.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả xử lý, tính toán các yếu tố hình thái

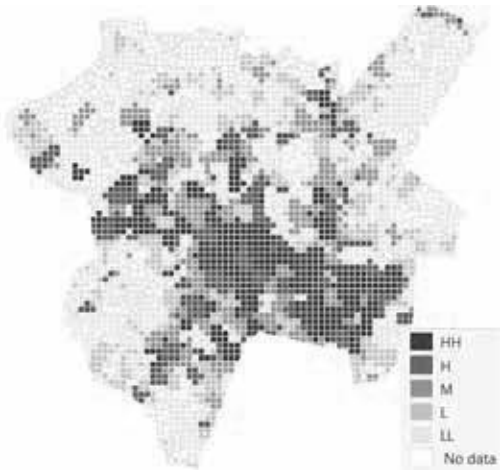
Các lớp phủ bề mặt tại khu vực phường Long An được phân loại bằng thuật toán SVM trên phần mềm ArcGIS Pro, cho phép thể hiện chi tiết sự phân bố không gian của các loại lớp phủ, bao gồm bề mặt không thấm (hay đất đô thị), thảm thực vật, bề mặt nước và đất trống, như minh họa trong Hình 3. Kết quả phân loại thuật toán SVM đạt độ chính xác toàn cục là 88% và hệ số Kappa đạt 0,85, qua đó cho thấy khả năng phân tách tốt giữa các lớp phủ có đặc điểm phổ tương đồng, đặc biệt tại các vùng biên.



Hình 3. Lớp phủ bề mặt tại phường Long An

Đồng thời, bài báo thực hiện tính toán mật độ các yếu tố hình thái từ dữ liệu địa không gian và chồng lớp theo ô lưới (100×100)m, nhằm biểu diễn và phân hóa không gian đô thị ở mức độ chi tiết hơn. Mỗi ô lưới được đánh giá dựa trên mật độ các lớp phủ bao gồm đất đô thị (Hình 4), thảm thực vật (Hình 5), bề mặt nước (Hình 6), đất trống

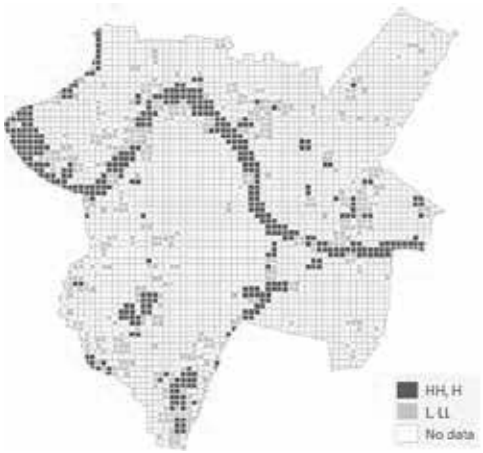
(Hình 7), các chỉ số phát triển đô thị như mật độ xây dựng (Hình 8) và mật độ dân số (Hình 9), cùng với phân vùng nhiệt độ bề mặt (Hình 10, 11). Quá trình này cho phép xác định tỷ lệ định lượng (%) của từng lớp phủ trong mỗi ô lưới, từ đó phản ánh rõ ràng cấu trúc phân bố, mức độ tập trung và xu thế lan tỏa không gian đô thị. Việc phân hóa theo tỷ lệ lớp phủ chồng lớp không chỉ hỗ trợ trực quan hóa hình thái đô thị, mà còn làm cơ sở để liên kết với phân vùng LCZ với chỉ số nhiệt độ bề mặt (LST), từ đó phục vụ cho các phân tích định lượng về mật độ, cường độ mở rộng và đặc trưng hình thái từng khu vực.



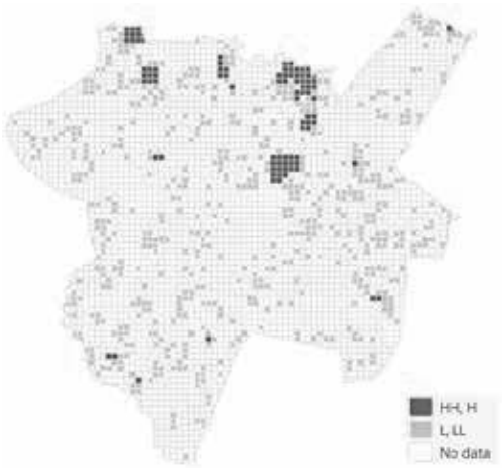
Hình 4. Mật độ đất đô thị



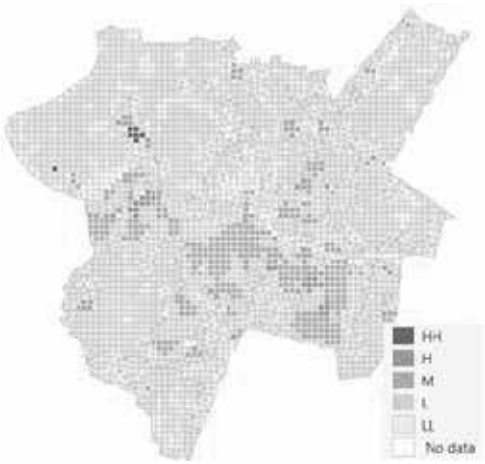
Hình 5. Mật độ thảm thực vật



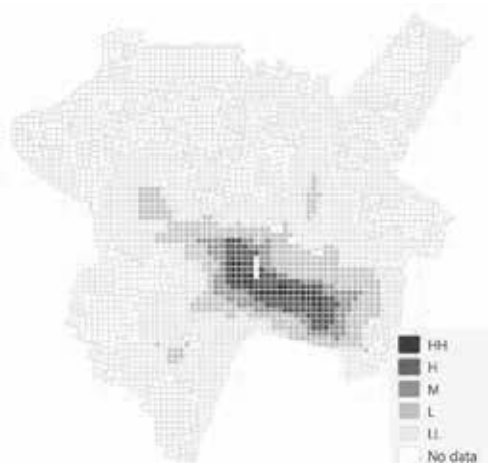
Hình 6. Mật độ bề mặt nước



Hình 7. Mật độ đất trống



Hình 8. Mật độ công trình



Hình 9. Mật độ dân số



Hình 10. Nhiệt độ bề mặt



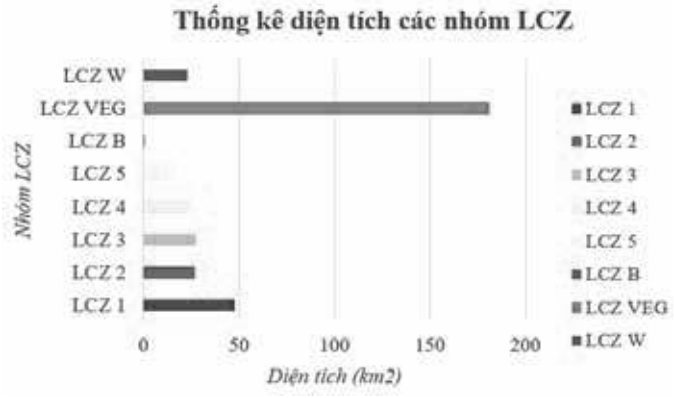
Hình 11. Phân vùng nhiệt độ bề mặt

3.2. Kết quả phân vùng hình thái đô thị theo vùng khí hậu địa phương

Hình thái đô thị được phân theo vùng khí hậu địa phương thành nhiều nhóm LCZ, dựa trên các tiêu chí như mật độ đất đô thị, mật độ công trình, mật độ dân số, mức độ nóng (nhiệt độ bề mặt), mật độ đất trống, mật độ thực vật và mật độ mặt nước. Mỗi nhóm LCZ thể hiện đặc trưng riêng về cấu trúc không gian và điều kiện vi khí hậu, nhưng được kết hợp linh hoạt với nhiều tổ hợp khác nhau giúp tạo ra sự đa dạng trong hình thái đô thị, từ khu vực đô thị đông đúc và nóng bỏng đến vùng đất trống, cây xanh và mặt nước thể hiện qua Hình 12. Trong đó, nhóm LCZ 1 đến LCZ 5 là các khu vực đô thị với mật độ xây dựng và dân số giảm dần từ 1 đến 5; LCZ B là đất trống hoặc chưa phát triển; LCZ VEG là khu vực thực vật, cây xanh. LCZ W là khu vực mặt nước.

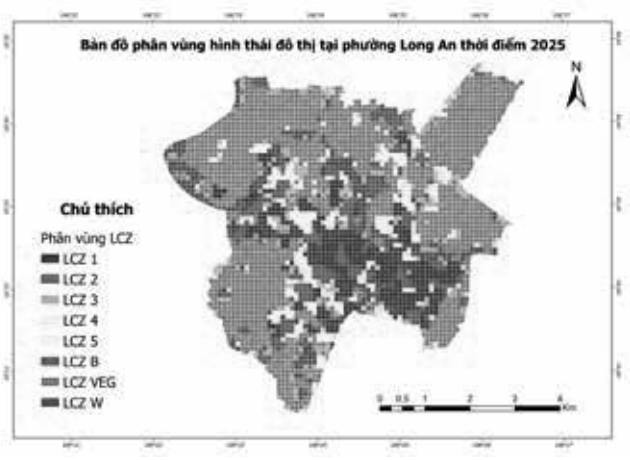
LCZ	Mật độ đất đô thị					Mật độ công trình					Mật độ dân số					Mức độ nóng					Mật độ đất trống		Mật độ thực vật		Mật độ mặt nước	
	HH	H	M	L	LL	HH	H	M	L	LL	HH	H	M	L	LL	HH	H	M	L	LL	HH, H	L, LL	HH, H	L, LL	HH, H	L, LL
1	x	x				x	x				x	x				x	x					x		x		x
2		x	x				x	x				x	x			x	x					x	x	x		x
3			x	x				x	x				x	x			x	x			x		x		x	
4				x	x			x	x				x	x				x	x		x	x	x			x
5					x					x					x		x	x	x		x	x	x		x	
B					x					x					x				x	x	x					
VEG					x					x					x				x	x			x			
W					x					x					x				x	x					x	

Hình 12. Các nhóm vùng khí hậu địa phương



Hình 13. Biểu đồ thống kê diện tích các nhóm vùng khí hậu địa phương

Qua biểu đồ thống kê tại Hình 13 và bản đồ phân vùng hình thái tại Hình 14 cho thấy sự phân bố rõ ràng giữa các khu vực đô thị, cây xanh và mặt nước. Các LCZ đô thị từ 1 đến 5 chiếm tổng cộng khoảng 138,877 km^2, trong đó LCZ 1 là khu đô thị rất dày đặc, mật độ xây dựng và dân số cao, chiếm diện tích lớn nhất trong nhóm đô thị, tiếp theo là các LCZ 2 và 3 với mật độ vừa phải. Những khu vực này thể hiện trung tâm đô thị và các khu dân cư sầm uất, đồng thời phản ánh bề mặt bê tông hóa nhiều, ít cây xanh. Ngược lại, LCZ 4 và 5 - khu đô thị mật độ thấp hoặc rất thấp, tuy diện tích nhỏ hơn nhưng đóng vai trò điều hòa không gian, xen kẽ đất trống và cây xanh, góp phần giảm nhiệt đô thị và cải thiện chất lượng môi trường. Đáng chú ý, LCZ VEG là khu vực thực vật chiếm diện tích lớn nhất với 181,206 km^2, cho thấy đô thị có tỷ lệ cây xanh đáng kể, tạo nguồn điều hòa vi khí hậu, hấp thụ nhiệt và giảm hiệu ứng nhiệt đảo đô thị. Diện tích mặt nước (LCZ W) cũng chiếm 23,197 km^2, bổ sung khả năng điều hòa nhiệt độ và tăng sự đa dạng sinh thái. Trong khi đó, LCZ B ứng với đất trống chưa phát triển, chiếm diện tích rất nhỏ, cho thấy hầu hết đất đô thị đã được sử dụng hoặc quy hoạch. Như vậy, sự phân bố các LCZ phản ánh sự cân bằng tương đối giữa không gian xây dựng, cây xanh và mặt nước trong đô thị. Điều này không chỉ minh họa mức độ phát triển đô thị mà còn thể hiện khả năng duy trì vi khí hậu thuận lợi, từ đó cung cấp cơ sở quan trọng cho việc lập kế hoạch đô thị bền vững và thích ứng với điều kiện khí hậu địa phương.



Hình 14. Bản đồ phân vùng hình thái đô thị theo LCZ tại phường Long An

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã minh chứng việc tích hợp và khai thác hiệu quả dữ liệu địa không gian cho phép nhận diện một số đặc trưng cơ bản trong cấu trúc không gian hình thái đô thị cũng như sự phân hóa vi khí hậu trong môi trường nhiệt đô thị. Kết quả phân vùng theo hệ thống LCZ không chỉ phản ánh mức độ đô thị hóa mà còn làm nổi bật vai trò thiết yếu của các yếu tố tự nhiên như cây xanh và mặt nước trong việc giảm thiểu hiệu ứng đảo nhiệt. Qua đó, nghiên cứu này góp phần làm tiền đề cho công tác quy hoạch và quản lý đô thị theo hướng bền vững, thích ứng với biến đổi khí hậu.

Trong định hướng tiếp theo, nghiên cứu sẽ tập trung tích hợp các thuật toán học máy nhằm làm rõ hơn mối quan hệ phức tạp và phi tuyến giữa hình thái đô thị và môi trường nhiệt, điển hình hiệu ứng đảo nhiệt đô thị. Thông qua khả năng khai thác dữ liệu đa nguồn và đánh giá mức độ ảnh hưởng của từng yếu tố hình thái, các mô hình học máy không chỉ nâng cao độ chính xác trong dự báo nhiệt đô thị mà còn hỗ trợ xây dựng các kịch bản phát triển không gian hiệu quả. Qua đó, nghiên cứu không chỉ dừng lại ở việc mô tả hiện trạng mà còn hướng tới dự báo và tối ưu hóa cấu trúc đô thị, góp phần cải thiện chất lượng môi trường sống và tăng cường khả năng thích ứng trong bối cảnh biến đổi khí hậu ngày càng gia tăng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] C. Wang, H. Zhang, Z. Ma, H. Yang and W. Jia. Urban Morphology Influencing the Urban Heat Island in the High-Density City of Xi'an Based on the Local Climate Zone. Sustainability, vol. 16, no. 10, 2024, doi: 10.3390/su16103946.

[2] A. Mohamed, N. Lorestani and F. Shabani, Impact of urbanization on land surface temperature: A global perspective, Current Research in Environmental Sustainability, vol. 10, no. 1, p.100315, 2025, doi: 10.1016/j.crsust.2025.100315.

[3] B. Liu, X. Guo and J. Jiang. How Urban Morphology Relates to the Urban Heat Island Effect: A Multi-Indicator Study, Sustainability, vol. 15, no. 14, 2023, doi: 10.3390/su151410787.

[4] Nguyễn Trọng Nhân, Huỳnh Ngọc Dung, Văn Ngọc Trúc Phương, Lê Thiên Bảo. Phân tích xu hướng mở rộng bề mặt không thấm trong quá tình đô thị hóa tại phường Long An bằng ảnh Sentinel 2 giai đoạn 2016 - 2025. Tạp chí Trắc địa - Bản đồ, 12 (01), 5-18, 2026.

[5] I. D. Stewart, T. R. Oke, I. D. Stewart and T. R. Oke. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies, Bull. Am. Meteorol. Soc., vol. 93, no. 12, pp. 1879-1900, 2012, doi: 10.1175/BAMS-D-11-00019.1.

[6] T. V. Ramachandra, R. S. Rana, S. Vinay and B. H. Aithal. Urban heat island linkages with the landscape morphology. Scientific Reports 2025 15:1, vol. 15, no. 1, pp. 24488, 2025, doi: 10.1038/s41598-025-09141-5.

[7] H. Hou, R. C. Estoque and Y. Murayama. Spatiotemporal analysis of urban growth in three African capital cities: A grid-cell-based analysis using remote sensing data. Journal of African Earth Sciences, vol. 123, pp. 381-391, 2016, doi: 10.1016/j.jafrearsci.2016.08.014.

[8] M. Ranagalage, T. Morimoto, M. Simwanda and Y. Murayama. Spatial Analysis of Urbanization Patterns in Four Rapidly Growing South Asian Cities Using Sentinel-2 Data. Remote Sensing, vol. 13, no. 8, 2021, doi: 10.3390/rs13081531.

[9] Nguyễn Tấn Lợi, Võ Quốc Tuấn. Phân loại đất đô thị sử dụng các ảnh chỉ số từ ảnh vệ tinh Sentinel-2 - Trường hợp nghiên cứu tại thành phố Long Xuyên, TP Cà Mau và quận Ninh Kiều, Can Tho University Journal of Science, vol. 57, pp. 190-201, 2021.

[10] Nguyễn Thị Ngọc Minh, Trương Thúy Em, Nguyễn Trọng Nhân. Tích hợp công nghệ UAV và thuật toán học máy phục vụ phân loại lớp phủ bề mặt bằng phần mềm ArcGIS Pro. Tạp chí Trắc địa - Bản đồ, 11(4), 14-24, 2025.

[11] Trần Thị Vân, Nguyễn Thị Tuyết Mai, Hà Dương Xuân Bảo, Đinh Thị Kim Phượng và Đặng Thị Mai Nhung. Đặc điểm môi trường nhiệt và diễn biến đảo nhiệt đô thị bề mặt khu vực Bắc TP Hồ Chí Minh. Can Tho University Journal of Science, vol. 49, p. 11, 2017.

■Ngày nhận bài: 23/4/2026 ■Ngày sửa bài: 07/5/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 27/5/2026

Định hướng ứng dụng các phương pháp tính toán kết cấu áo đường mềm có sẵn để thiết kế kết cấu áo đường có lớp móng bằng vật liệu rời gia cố ô địa kỹ thuật

Orientations for the application of existing flexible pavement design methods to geocell-reinforced unbound aggregate bases

> THS.NCS ĐỒNG MINH KHÁNH*, PGS.TS TRẦN THỊ KIM ĐĂNG, TS LÊ THANH HẢI
Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải
*Email: khanhdm@utt.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo đánh giá khả năng áp dụng các phương pháp thiết kế kết cấu áo đường mềm (KCAĐM) hiện hành cho trường hợp sử dụng lớp móng vật liệu rời gia cố bằng ô địa kỹ thuật trong điều kiện Việt Nam. Cơ chế gia cường của ô địa kỹ thuật, bao gồm hiệu ứng hạn chế nở hông và hiệu ứng màng căng, được phân tích nhằm làm rõ khả năng cải thiện phân bố tải trọng và tăng độ cứng của vật liệu rời. Ba nhóm phương pháp thiết kế chính gồm cơ học, kinh nghiệm và cơ học - thực nghiệm được tổng hợp, trong đó ảnh hưởng của ô địa kỹ thuật được xét thông qua hệ số cải thiện mô-đun (MIF).

Từ khóa: Ô địa kỹ thuật; áo đường mềm; vật liệu rời; hệ số cải thiện mô-đun (MIF); thiết kế kết cấu áo đường.

ABSTRACT

This study evaluates the applicability of current flexible pavement design methods to unbound granular base layers reinforced with geocells under Vietnamese conditions. The geocell reinforcement mechanisms, specifically lateral confinement and the tension membrane effect, are analyzed to elucidate their capacity to enhance load distribution and increase the stiffness of granular materials. Furthermore, three primary design approaches-mechanistic, empirical and mechanistic-empirical (M-E) are synthesized, wherein the geocell's contribution is incorporated via the Modulus Improvement Factor (MIF).

Keywords: Geocell; flexible pavement; unbound granular material; modulus improvement factor (MIF); pavement design.

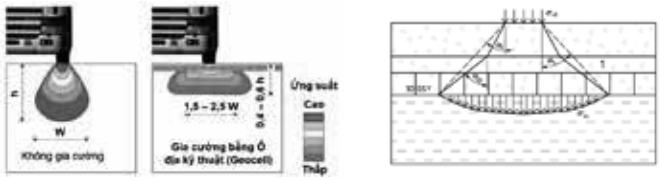
1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ô địa kỹ thuật (Geocell hoặc Neoweb) là hệ thống ngăn giữ dạng tổ ong ba chiều được cấu tạo từ các dải polyme (thường là HDPE), được nghiên cứu và phát triển từ thập niên 1970 bởi Công binh Lục quân Hoa Kỳ. Ban đầu, Geocell được thiết kế như một giải pháp gia cố tạm thời để hỗ trợ các phương tiện quân sự hạng nặng di chuyển trên nền đất yếu và bãi cát ven biển [8]. Qua quá trình cải tiến vật liệu và công nghệ sản xuất, Geocell ngày càng khẳng định hiệu quả trong việc nâng cao khả năng chịu lực của vật liệu rời có chất lượng thấp hoặc vật liệu địa phương, phục vụ xây dựng kết cấu hạ tầng giao thông bền vững.

Về cơ chế cơ học, Geocell hoạt động dựa trên hai hiệu ứng cốt lõi: hạn chế nở hông và màng căng. Việc bao vây vật liệu rời trong các ô lưới giúp ngăn chặn sự dịch chuyển ngang, từ đó gia tăng đáng kể sức kháng cắt và độ cứng tổng thể của lớp móng (Hình 1). Đồng thời, cấu trúc này giúp phân bố tải trọng bánh xe trên một diện tích rộng hơn, làm giảm ứng suất truyền xuống nền đất yếu, hạn chế biến dạng lún và hư hỏng mặt đường (Hình 2). Các nghiên cứu đã minh chứng cơ chế này thông qua cả thực nghiệm (thí nghiệm nén tĩnh, nén lặp để xác định Hệ số cải thiện mô-đun - MIF) lẫn mô phỏng số bằng phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) để phân tích tương tác phức tạp giữa vách ô và cốt liệu.



Hình 1. Cơ chế hạn chế nở hông và và hiệu ứng màng căng của ô địa kỹ thuật [11]



Hình 2. Phân bố tải trọng trên diện tích rộng hơn khi sử dụng ô địa kỹ thuật gia cố móng vật liệu rời [11,19]

Trong thực tiễn thiết kế, KCAĐM có lớp móng gia cố Geocell chủ yếu được tính toán bằng cách điều chỉnh mô-đun đàn hồi thông qua hệ số cải thiện mô-đun (MIF) từ các đoạn thử nghiệm đối chứng. Tuy nhiên, tại Việt Nam, dù Geocell đã bắt đầu được ứng dụng rộng rãi, nhưng việc tích hợp các phương pháp tính toán này vào các tiêu chuẩn thiết kế hiện hành vẫn còn nhiều hạn chế. Sự khác biệt về điều kiện khí hậu nóng ẩm, đặc điểm địa chất và tính chất của các nguồn vật liệu rời địa phương đặt ra yêu cầu cấp thiết về việc đánh giá và chuẩn hóa quy trình thiết kế. Do đó, việc nghiên cứu ứng dụng các phương pháp tính toán sẵn có để xây dựng một quy trình thiết kế phù hợp với điều kiện thực tế tại Việt Nam là hết sức cần thiết, góp phần tối ưu hóa kỹ thuật và kinh phí cho các công trình giao thông.

2. CÁC PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ KCAĐM

Hiện nay, các phương pháp thiết kế KCAĐM trên thế giới và tại Việt Nam được chia thành 3 nhóm chính: Phương pháp cơ học (Analytical/Mechanistic), phương pháp kinh nghiệm - thực nghiệm (Empirical) và phương pháp cơ học - thực nghiệm (Mechanistic-Empirical). Tại Việt Nam, hai phương pháp đầu được áp dụng phổ biến thông qua các tiêu chuẩn thiết kế như 22 TCN 211-06 [6] hay TCCS 38:2022 [18] và AASHTO 1993 [1] hay TCCS 37:2022 [17].

Phương pháp cơ học dựa trên lý thuyết đàn hồi, coi hệ thống áo đường là một tập hợp các lớp vật liệu nằm trên bán không gian vô hạn đàn hồi tuyến tính. Dưới tác dụng của tải trọng bánh xe (thường được giả định là tải trọng tĩnh), phương pháp này tính toán các trạng thái ứng suất và biến dạng tại các vị trí trọng yếu để so sánh với cường độ giới hạn của vật liệu. Tuy có nền tảng toán học chặt chẽ, nhưng giả định đàn hồi tuyến tính là hạn chế lớn, chưa phản ánh đúng tính chất phụ thuộc thời gian, nhiệt độ của vật liệu nhựa và tính phi tuyến của vật liệu rời.

Phương pháp kinh nghiệm - thực nghiệm có nguồn gốc từ các thử nghiệm đường bộ quy mô lớn tại Mỹ (AASHO Road Test) vào cuối thập niên 1950, sử dụng các tương quan thống kê để quy đổi khả năng chịu lực của các lớp vật liệu thành một chỉ số tổng hợp gọi là "Chỉ số kết cấu" (Structural Number - SN) thông qua các hệ số lớp tương đương a_i. Mục tiêu thiết kế là đảm bảo chỉ số phục vụ (PSI) của mặt đường không giảm xuống dưới mức cho phép sau một số lần lặp tải trọng trục tiêu chuẩn (ESALs). Ưu điểm của phương pháp này là quy trình tính toán đơn giản, phù hợp với thực tiễn thi công. Tuy nhiên, do được xây dựng trên các dữ liệu thực nghiệm cụ thể, phương pháp này gặp hạn chế khi áp dụng cho các loại vật liệu mới, điều kiện khí hậu đặc thù hoặc lưu lượng giao thông vượt quá phạm vi thử nghiệm ban đầu.

Phương pháp cơ học - thực nghiệm (Mechanistic-Empirical - ME) [1] được đánh giá là phương pháp tiên tiến nhất hiện nay, kết hợp giữa việc phân tích cơ học để tính toán phản ứng kết cấu với các mô hình thực nghiệm thể hiện bằng các hàm truyền để dự báo sự hình thành hư hỏng theo thời gian. Phương pháp này mô phỏng quá trình tích lũy hư hại như nứt mỏi, lún vệt bánh xe và độ gồ ghề (IRI) dưới tác động của phổ tải trọng thực tế và điều kiện khí hậu theo từng vùng. Cách tiếp cận này cho phép tối ưu hóa kết cấu dựa trên hiệu suất khai thác dài hạn với độ tin cậy xác định. Thách thức lớn nhất khi áp dụng ME là yêu cầu hệ thống dữ liệu đầu vào phức tạp và quá trình hiệu chuẩn công phu các hàm truyền để phù hợp với đặc điểm vật liệu và môi trường tại địa phương.

3. THIẾT KẾ KẾT CẤU MẶT ĐƯỜNG MỀM CÓ LỚP MÓNG VẬT LIỆU RỜI GIA CỐ Ô ĐỊA KỸ THUẬT

Với xuất phát điểm là phương pháp gia cố vật liệu rời: Đất, cát, đá sỏi trong thi công đường công vụ, các nghiên cứu ban đầu đều tập trung để tính toán chiều dày cần thiết của lớp vật liệu rời được gia cố. Trên cơ sở nghiên cứu của nhóm tác giả [12], tính toán chiều dày lớp mặt đường đá sỏi gia cố lớp lưới địa kỹ thuật 2D (công thức 1), Pokharel (2010) [15] đã nghiên cứu hiệu chỉnh đề xuất công thức 2 để tính toán chiều dày khi lớp gia cố là ô địa kỹ thuật 3D.

Công thức tính toán chiều dày lớp mặt đường đá sỏi gia cố lưới địa kỹ thuật 2D [12]:

$$h = \frac{\left[0.868+CF\left(\frac{r}{h}\right)^{1.5}\right]log_{10}N}{\{1+0.204[R_E-1]\}}\left(\sqrt{\frac{\frac{P}{\pi r^2}}{\left(\frac{s}{f_s}\right)\left[1-0.9exp\left[-\left(\frac{r}{h}\right)^2\right]\right]N_cC_u}}-1\right)r \quad (1)$$

Trong đó:

h: Chiều dày lớp cốt liệu (sỏi/đá dăm) đầm chặt yêu cầu, m;

CF: Hệ số hiệu chỉnh do gia cố bằng lưới địa kỹ thuật;

N: Số lần tác dụng tải trọng trục;

R_E: Tỷ số giữa mô-đun lớp vật liệu rời đầm chặt và mô-đun nền;

P: Tải trọng bánh xe, kN;

r: Bán kính vệt bánh xe, m;

s: Chiều sâu lún vệt bánh cho phép, mm;

f_s: Chiều sâu vệt lún bánh xe tham chiếu, mm;

N_c: Hệ số sức chịu tải (3,14 đối với nền không gia cố; 5,14 đối với nền gia cố bằng vải địa kỹ thuật; 5,71 đối với nền gia cố bằng lưới địa kỹ thuật);

C_u: Sức kháng cắt không thoát nước của đất nền;

$P/_{\pi r^2}$: Áp lực tiếp xúc của bánh xe, kPa.

Công thức được hiệu chỉnh bởi Pokharel (2010) [15] để tính chiều dày lớp mặt đường đá sỏi gia cố ô địa kỹ thuật 3D:

$$h = \frac{0,868 + k'\log(N)}{\eta\left(1 + 0,204 * (R_E - 1)\right)} * \left(\sqrt{\frac{P}{\pi * r^2 * m * 5,14 * C_u}} - 1\right) * r \quad (2)$$

Trong đó:

h: Chiều dày lớp cốt liệu (sỏi/đá dăm) đầm chặt yêu cầu, m;

r: Bán kính vệt bánh xe, m;

N: Số lần tác dụng tải trọng trục;

P: Tải trọng bánh xe, kN;

C_u: Sức kháng cắt không thoát nước của đất nền;

R_E: Tỷ số giữa mô-đun lớp vật liệu rời đầm chặt và mô-đun nền;

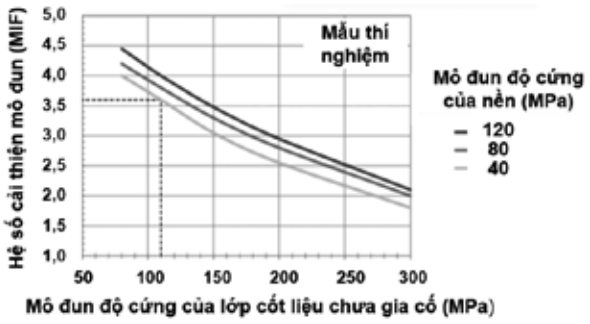
m: Hệ số cải thiện khả năng chịu tải trọng;

η: Hệ số chuyển đổi (0,689 với thí nghiệm nén tấm ép tải trọng lặp và 1,0 đối với thí nghiệm hiện trường);

k': Hệ số hiệu chỉnh ô địa kỹ thuật đối với sản phẩm được sử dụng trong kết cấu.

Để sử dụng hiệu quả hơn đối với các loại kết cấu mặt đường mềm có lớp mặt rải nhựa, nhiều nghiên cứu thử nghiệm khả năng

kháng biến dạng của kết cấu mặt đường có lớp móng vật liệu rời gia cố ô địa kỹ thuật đối chứng với kết cấu mặt đường có lớp móng vật liệu rời tương ứng không gia cố. Thí nghiệm áp dụng cho các nghiên cứu này là thí nghiệm nén tấm ép tĩnh dựa trên các tiêu chuẩn thí nghiệm khác nhau: Thí nghiệm nén tấm ép tĩnh dựa trên tiêu chuẩn thí nghiệm của Nga [13], thí nghiệm nén tấm ép tĩnh của Đức [9], thí nghiệm tấm ép tĩnh theo tiêu chuẩn ASTM [3] hay tiêu chuẩn đo của hãng cung cấp vật liệu ô địa kỹ thuật [16]; thí nghiệm đo bằng quả nặng rơi FWD [4]. Trên cơ sở các nghiên cứu này, hệ số cải thiện mô-đun MIF là tỉ số giữa mô-đun của lớp vật liệu có gia cố và mô-đun lớp vật liệu tương ứng không gia cố được dự tính, phụ thuộc vào chiều dày của lớp vật liệu gia cố, loại vật liệu được gia cố (vật liệu chèn) [7] cho ô địa kỹ thuật gia cố Neoweb, hay tùy thuộc vào loại sản phẩm, mô-đun độ cứng lớp dưới, mô-đun độ cứng cốt liệu chưa gia cố [11] (Hình 3).



Hình 3. Ví dụ biểu đồ hệ số cải thiện mô-đun theo sản phẩm ô địa kỹ thuật và phụ thuộc vào độ cứng nền đường và mô-đun độ cứng của vật liệu chưa được gia cố

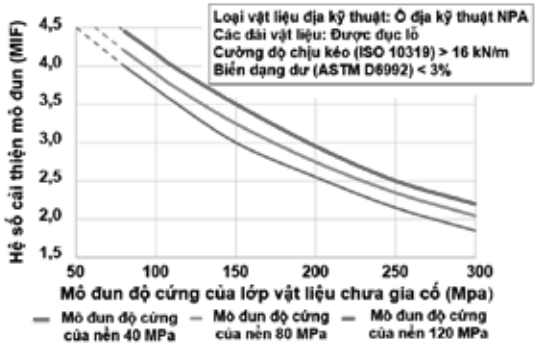
Hình 3 thể hiện mối quan hệ giữa hệ số cải thiện mô-đun (MIF) của lớp vật liệu gia cố ô địa kỹ thuật và mô-đun đàn hồi của vật liệu chưa gia cố, có xét đến ảnh hưởng của mô-đun nền đường. Kết quả cho thấy MIF giảm khi mô-đun lớp vật liệu tăng: Đạt khoảng 3,5 - 4,5 ở vùng 50 - 100 MPa và giảm xuống 2,0 - 2,5 khi vượt 200 MPa. Điều này chứng tỏ hiệu quả gia cố rõ rệt hơn đối với vật liệu có chất lượng thấp. Đồng thời, nền đường có độ cứng lớn hơn sẽ làm tăng MIF, phản ánh sự tương tác tích cực giữa các lớp trong phân bố ứng suất.

Tương tự, theo hướng dẫn kỹ thuật của Nam Phi về việc sử dụng ô địa kỹ thuật loại Geosynthetics trong kết cấu mặt đường [20], hệ số cải thiện mô-đun là tỉ số giữa mô-đun đàn hồi lớp vật liệu gia cố bằng geosynthetic so với mô-đun đàn hồi của vật liệu tương ứng không được gia cố.

Về bản chất, mô-đun lớp gia cố được xác định theo dạng: $E_{gia\ cố} = MIF \times E_{không\ gia\ cố}$.

Trong đó, MIF phản ánh hiệu quả tăng cường độ cứng nhờ cơ chế kìm hãm và phân bố ứng suất của vật liệu địa kỹ thuật (Hình 4).

Hình 4 cho thấy việc sử dụng hệ số quy đổi giúp đơn giản hóa bài toán thiết kế, cho phép tích hợp hiệu quả của geosynthetics vào các mô hình tính toán áo đường hiện hành. Tuy nhiên, giá trị MIF phụ thuộc vào nhiều yếu tố như loại vật liệu, điều kiện nền và cấu hình gia cố, do đó cần được lựa chọn phù hợp với điều kiện thực tế.



Hình 4. Hệ số cải thiện mô-đun của vật liệu gia cố bằng ô địa kỹ thuật Geosynthetic phụ thuộc mô-đun nền và mô-đun của vật liệu không gia cố

Hệ số MIF được dùng để hiệu chỉnh mô-đun lớp vật liệu có gia cố ô địa kỹ thuật, dựa trên mô-đun của vật liệu rời chưa gia cố, phục vụ tính toán KCAĐ theo phương pháp cơ học và cơ học - thực nghiệm. Đối với phương pháp tính toán kết cấu mặt đường theo kinh nghiệm thực nghiệm, hệ số lớp của lớp móng trên a_2 hay lớp móng dưới tương tự cũng được hiệu chỉnh bởi hệ số lớp hoặc chiều dày tương đương. Các hệ số này cũng được xác định trên cơ sở mối tương quan thực nghiệm đã có giữa hệ số lớp của lớp móng với các chỉ tiêu cơ học của vật liệu rời như là mô-đun đàn hồi hay chỉ số CBR.

4. THỰC HIỆN TÍNH TOÁN KẾT CẤU MẶT ĐƯỜNG VÀ PHÂN TÍCH KẾT QUẢ

Các tính toán cụ thể sau đây bao gồm:

Tính toán KCAĐ được đề xuất cho tuyến cao tốc TP. HCM - Long Thành - Dầu Giây, sử dụng ô địa kỹ thuật với hai giải pháp: Gia cố lớp móng dưới kết cấu mặt đường bằng cấp phối đá dăm (CPĐD) và gia cố móng dưới bằng cát [5].

Các kết cấu đã được đề xuất theo [5] trên nền đường có mô-đun đàn hồi E_n = 50,37 MPa.

Tuyến đường có lưu lượng giao thông dự báo được tính toán ra lưu lượng trục xe tiêu chuẩn (100 KN) trung bình ngày đêm/ làn xe thiết kế là 490 trục; tương ứng tổng trục xe tính toán/làn xe 1,5 triệu ESALs. Số liệu của 3 phương án thiết kế KCAĐM được trình bày từ Bảng 1 đến Bảng 3.

Bảng 1. Kết cấu sử dụng móng CPĐD (không gia cố Neoweb) - KC 00

Các lớp kết cấu	Bề dày lớp (cm)	Mô-đun đàn hồi E (MPa)			Cường độ kéo uốn (MPa)	Lực dính C (MPa)	Góc nội ma sát (độ)
		Tính độ võng	Tính trượt	Tính k.uốn			
Đất nền	-	50,37	50,37	50,37	-	0,028	18,78
CPĐD loại 1	85	243,73	243,73	243,73	-	-	-
Hỗn hợp nhựa bán rỗng 25	10	306,20	228,90	735,50	1,75	-	-
Bê tông nhựa nóng chặt 19	7	385,90	257,70	881,70	2,54	-	-
Bê tông nhựa chặt 12,5	5	349,20	243,10	782,60	2,55	-	-

Bảng 2. Kết cấu sử dụng lớp móng CPĐD có gia cố Neoweb - KC 01

Các lớp kết cấu	Bề dày lớp (cm)	Mô-đun đàn hồi E (MPa)			Cường độ kéo uốn (MPa)	Lực dính C (MPa)	Góc nội ma sát (độ)
		Tính độ võng	Tính trượt	Tính k.uốn			
Đất nền	-	50,37	50,37	50,37		0,028	18,78
CPĐD loại 1 gia cố Neoweb	20	560,58	560,58	560,58	-	-	-
CPĐD loại 1	40	243,73	243,73	243,73	-	-	-
Hỗn hợp nhựa bán rỗng 25	10	306,20	228,90	735,50	1,75	-	-
Bê tông nhựa nóng chặt 19	7	385,90	257,70	881,70	2,54	-	-
Bê tông nhựa chặt 12,5	5	349,20	243,10	782,60	2,55	-	-

Bảng 3. Kết cấu sử dụng lớp móng dưới cát gia cố Neoweb - KC 02

Các lớp kết cấu	Bề dày lớp (cm)	Mô-đun đàn hồi E (MPa)			Cường độ kéo uốn (MPa)	Lực dính C (MPa)	Góc nội ma sát (độ)
		Tính độ võng	Tính trượt	Tính k.uốn			
Đất nền	-	50,37	50,37	50,37		0,028	18,78
Neoweb 356-150 chèn cát san lấp tỉ lệ hạt mịn >10% đầm K98	20	270,79	270,79	270,79	-	-	-
CPĐD loại 1	70	243,73	243,73	243,73	-	-	-
Hỗn hợp nhựa bán rỗng 25	10	306,20	228,90	735,50	1,75	-	-
Bê tông nhựa nóng chặt 19	7	385,90	257,70	881,70	2,54	-	-
Bê tông nhựa chặt 12,5	5	349,20	243,10	782,60	2,55	-	-

Tính toán theo TCCS 38: 2022 là phương pháp phân tích cơ học. Mô-đun đàn hồi lớp vật liệu gia cố bởi Neoweb là mô-đun đàn hồi của vật liệu chèn nhân với hệ số cải thiện mô-đun, lấy theo chỉ dẫn kỹ thuật của Hà Lan [11]. Kết quả tính KCAĐ được trình bày từ Bảng 4 đến Bảng 6.

Bảng 4. Kết quả kiểm toán theo độ võng đàn hồi

Mô-đun đàn hồi yêu cầu, MPa	Mô-đun đàn hồi chung, MPa		
	KC 01	KC 02	KC 00
207,9	250,09	249,68	238,88
Mức độ đáp ứng tiêu chuẩn về mô-đun đàn hồi yêu cầu	120,29%	120,10%	114,90%

Bảng 5. Kết quả kiểm toán theo ứng suất kéo uốn dưới đáy các lớp BTN

Cường độ kéo uốn, MPa	Ứng suất kéo uốn, MPa		
	KC 01	KC 02	KC 00
Lớp BTN rỗng thoát nước			
1,057	0,581	0,592	0,607
Mức độ đáp ứng yêu cầu cường độ kéo uốn	181,93%	178,55%	174,14%
Lớp BTNC19			
1,316	0,571	0,581	0,597
Mức độ đáp ứng yêu cầu cường độ kéo uốn	230,47%	226,51%	220,44%
Lớp hỗn hợp bán rỗng 25			
0,907	0,393	0,388	0,398
Mức độ đáp ứng yêu cầu cường độ kéo uốn	230,79%	233,76%	227,89%

Bảng 6. Kết quả kiểm toán theo ứng suất cắt trượt trong đất nền

Cường độ kháng trượt đất nền, MPa	Ứng suất trượt nền đất, MPa		
	KC 01	KC 02	KC 00
0,0214	0,0057	0,0029	0,0037
Mức độ đáp ứng yêu cầu cường độ cắt trượt của đất nền	375,44%	737.93%	578,38%

- Tính toán thực hiện theo AASHTO 93 (TCCS 37:2022) hệ số lớp cải thiện với các lớp có gia cố Neoweb thông qua hệ số cải thiện mô-đun theo chỉ dẫn kỹ thuật của Hà Lan [11]. Cơ sở tính toán như sau:

Mối liên hệ giữa mô-đun đàn hồi và hệ số lớp tương đương của lớp móng trên bằng vật liệu rời (CPĐD) [10]:

$$E_b = 10^{\left(\frac{a_2+0,977}{0,249}\right)} \quad (3)$$

Mô-đun đàn hồi cải thiện của lớp vật liệu sử dụng Neoweb:

$$E' = E * MIF$$

Với:

E' là mô-đun đàn hồi tăng thêm của lớp CPĐD gia cố bằng NEOWEB;

E là mô-đun đàn hồi của vật liệu CPĐD, theo giá trị trung bình của CPĐD là 207 MPa, nằm trong khoảng 138 ÷ 276 MPa theo [10];

MIF là hệ số cải thiện mô-đun đàn hồi, lấy theo [11], là 2,6 tương ứng với mô-đun vật liệu chèn là CPĐD có mô-đun 207 MPa và mô-đun nền bằng 50,37 MPa.

$$E' = 207 * 2,6 = 538,2 \text{ MPa.} = 78.060 \text{ (psi)}$$

Từ công thức (3), ta có:

$$a_2 = 0,249 * log_{10}(E_b) - 0,977$$

Kết quả được a_2 = 0,241 (cho lớp CPĐD gia cố Neoweb).

Tương tự, cũng có mối liên hệ giữa mô-đun đàn hồi và hệ số lớp tương đương của lớp móng dưới bằng vật liệu rời (cát) [10]:

$$E_{sb} = 10^{\left(\frac{a_3+0,839}{0,227}\right)} \quad (4)$$

Mô-đun đàn hồi cải thiện của lớp vật liệu sử dụng Neoweb:

$$E' = E * MIF$$

Với:

E'là mô-đun đàn hồi tăng thêm của lớp cát gia cố bằng NEOWEB;

E là mô-đun đàn hồi của cát, theo giá trị trung bình là 105 MPa, nằm trong khoảng 70 ÷ 140 MPa theo [10];

MIF là hệ số cải thiện mô-đun đàn hồi, lấy theo [11] là 3,7 tương ứng với mô-đun vật liệu chèn là cát có mô-đun 105 MPa và mô-đun nền bằng 50,37 MPa.

$$E' = 105 * 3,7 = 388,5 \text{ MPa} = 56,347 \text{ (psi)}$$

Từ công thức (4), ta có:

$$a_3 = 0,227 * log_{10}(E_b) - 0,839$$

Kết quả được a_3 = 0,239 (cho lớp cát gia cố Neoweb).

Chỉ số kết cấu của lớp móng của 3 phương án kết cấu được tính toán và đối chứng trong Bảng 7.

Bảng 7. Kết quả chỉ số kết cấu SN các lớp móng của 3 phương án kết cấu

Lớp vật liệu	KC 01			KC 02			KC 00		
	Chiều dày, inches	Hệ số lớp	SN móng	Chiều dày, inches	Hệ số lớp	SN móng	Chiều dày, inches	Hệ số lớp	SN móng
CPĐD loại 1 gia cố Neoweb	7,87	0,24	1,90						
Neoweb 356-150 chèn cát san lấp tỉ lệ hạt mịn >10% đầm K98				7,87	0,24	1,88			
CPĐD loại 1	15,75	0,14	2,20	27,56	0,14	3,86	33,46	0,14	4,69
Cộng SN các lớp móng			4,10			5,74			4,69
So sánh với phương án KC 00			87,6%			122,5%			

Căn cứ vào kết quả tính toán kết cấu mặt đường có lớp móng gia cố Neoweb (KC01 và KC02) và đối chứng với kết cấu đề xuất với lớp móng CPĐD (KC00), có thể thấy như sau:

- Khi tính toán theo phương pháp cơ học (TCCS 38:2022), các kết cấu tương đương, với kết quả kiểm toán tương đồng với cả ba trạng thái: Độ võng đàn hồi giới hạn, ứng suất cắt trượt trong nền đất, ứng suất kéo uốn dưới đáy các lớp bê tông nhựa. Cả 3 phương án đều vượt yêu cầu ở mức tương đối cao và chênh lệch không lớn. Hai phương án kết cấu sử dụng Neoweb để gia cố móng (KC01 và KC02) cho hiệu quả cao hơn so với kết cấu đối chứng.

- So sánh SN của các lớp móng đối với 3 phương án kết cấu mặt đường - định hướng tính toán kết cấu mặt đường theo AASHTO 93 (TCCS 37:2022) cho thấy ưu thế rõ ràng của giải pháp gia cố Neoweb với vật liệu chèn có mô-đun thấp (cát) so với vật liệu chèn có mô-đun cao (đá dăm). Theo phương pháp thiết kế này, KC02 có ưu thế nhất với SN móng 5,74 (bằng 122,5% của kết cấu đối chứng KC00), trong khi KC01 có SN móng là 4,1 (chỉ bằng 87,6% của kết cấu đối chứng KC00).

5. VẤN ĐỀ VÀ ĐỊNH HƯỚNG NGHIÊN CỨU TÍNH TOÁN KẾT CẤU MẶT ĐƯỜNG MỀM CÓ LỚP MÓNG GIA CỐ Ô ĐỊA KỸ THUẬT ÁP DỤNG CHO VIỆT NAM

Kết quả đối chứng khác nhau khi tính toán theo hai phương pháp mặc dù hệ số cải thiện mô-đun lớp vật liệu được lấy theo cùng một tiêu

chuẩn [14] xuất phát từ nguyên nhân sau:

Mô-đun đàn hồi của vật liệu chèn được xác định theo hai tiêu chuẩn TCCS 38 và TCCS 37 (AASHTO 93), khác nhau về phương pháp luận và bản chất mô-đun. Trong TCCS 38, mô-đun là giá trị quy ước trong bài toán tải trọng tĩnh, trong khi AASHTO 93 sử dụng mô-đun vật liệu rời liên hệ với CBR, hệ số lớp và thí nghiệm nén ba trục tải trọng lặp. Theo toán đồ xác định MIF [14], hệ số này phụ thuộc vào chất lượng ô địa kỹ thuật, loại vật liệu chèn và mô-đun lớp dưới. Vật liệu có mô-đun thấp cho MIF cao hơn và lớp dưới có mô-đun lớn cũng làm tăng MIF.

Các hướng dẫn hiện có về MIF như trong TCVN [7] và [11] chưa đủ cơ sở để tính toán kết cấu mặt đường có lớp móng vật liệu rời gia cố ô địa kỹ thuật theo tiêu chuẩn Việt Nam. Tài liệu [11] khuyến cáo cần thử nghiệm hiện trường để xác định MIF cho từng giải pháp, nhưng việc này gặp khó khăn về thủ tục, thời gian và chi phí trong điều kiện Việt Nam. Mặt khác, lớp vật liệu rời gia cố ô địa kỹ thuật (đá dăm, CPĐD, cấp phối sỏi đồi, cấp phối sỏi suối, cát, phế thải xây dựng) dù đã chứng minh hiệu quả và có tính ứng dụng cao trong môi trường quốc tế lại trở thành vật liệu "chưa chính thống" trong ứng dụng ở Việt Nam, do chưa có trong các tiêu chuẩn thiết kế kết cấu mặt đường.

Việc nghiên cứu về các chỉ tiêu, đặc biệt là chỉ tiêu phục vụ tính toán kết cấu mặt đường, của lớp vật liệu rời gia cố bằng ô địa kỹ thuật là cần thiết, đặc biệt khi các nguồn vật liệu rời "chính thống" ngày càng hạn chế do nguy cơ nhãn tiền về cạn kiệt tài nguyên và yêu cầu bảo vệ môi trường. Để đưa loại vật liệu này vào áp dụng tại Việt Nam, cần nghiên cứu mô-đun đàn hồi theo các mô hình gia tải khác nhau, sử dụng song hành hai tiêu chuẩn thiết kế theo hai trường phái. Đây là cơ sở quan trọng nhằm thực tiễn hóa việc ứng dụng vật liệu gia cố ô địa kỹ thuật trong điều kiện của Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] AASHTO. Guide for Design of Pavement Structures. American Association of State Highway and Transport Officials, Washington, D.C., 1993.

[2] American Association of State Highway Officials. The AASHO Road Test [report]: Pavement research (No. 816). National Academy of Sciences-National Research Council, 1962.

[3] ASTM D1195-93. Standard test method for repetitive static plate load tests of soils and flexible pavement components, for use in evaluation and design of airport and highway pavements. Philadelphia: American Society for Testing Materials, 2004.

[4] ASTM D4694-09. Standard Test Method for Deflections with a Falling-Weight-Type Impulse Load Device, 2020.

[5] Báo cáo thiết kế của Tổng công ty Tư vấn thiết kế GTVT (TEDI) tuyến cao tốc Hồ Chí Minh - Long Thành.

[6] Bộ Giao thông vận tải (2006). 22 TCN 211-06 - Áo đường mềm - Các yêu cầu và chỉ dẫn thiết kế.

[7] Bộ Khoa học và Công nghệ (2014). TCVN 10544:2014, Ô ngăn hình mạng trong xây dựng hạ tầng - yêu cầu thiết kế thi công và nghiệm thu.

[8] D. Alexiew and W. van Zyl. Cellular Confinement System Reinforcement - Innovation at the Base of Sustainable Pavements, in Proceedings of the 12th Conference Asphalt Pavements for Southern Africa, South Africa 2019.

[9] DIN, D., 18134: Soil-testing procedures and testing equipment-plate load test. Berlin, Germany, 2012.

[10] El-Badawy, S. M., Bayomy, F. M., Santi, M., & Clawson, C. W. Comparison of Idaho pavement design procedure with AASHTO 1993 and MEPDG methods. In Transportation and Development Institute Congress 2011: Integrated Transportation and Development for a Better Tomorrow, pp. 586-595, 2011.

[11] Ewin Vega, Christ van Gurp, Kiwa KOAC, Erik Kwast, Kwast Consult. Geokunststoffen als funderings-wapening in ongebonden funderingslagen, 2018.

[12] Giroud, J. P., & Han, J. Design method for geogrid-reinforced unpaved roads. I. Development of design method. Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, 130(8), 775-786, 2004.

[13] GOST 20276-99. Soils. Field methods for determining the strength and strain characteristics, 2000.

[14] Kief, O., Rajagopal, K., Veeraragavan, A., & Chandramouli, S. Modulus improvement factor for geocell-reinforced bases. Geosynthetics India, 11, 22-24, 2011.

[15] Pokharel, S. K. Experimental study on geocell-reinforced bases under static and dynamic loading, 2010.

[16] PRS Neoloy® Tough-Cells Static Plate Load Test Procedures (PRS-EN-EX-4006, Jan 2023).

[17] Tổng cục Đường bộ Việt Nam. TCCS 37 : 2022/TCĐBVN - Áo đường mềm - Yêu cầu và chỉ dẫn thiết kê theo chỉ số kết cấu, 2022.

[18] Tổng cục Đường bộ Việt Nam. TCCS 38 : 2022/TCĐBVN - Áo đường mềm - Các yêu cầu và chỉ dẫn thiết kế, 2022.

[19] TR, I. S. W. 18228-5. Design Using Geosynthetics-Part 5: Stabilization. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland. Unpublished document under development.

[20] Southern African Bitumen Association (Sabita). Technical Guideline: The Use of Geosynthetics in Pavements - Part C: Design with Geosynthetics, 2020.

■Ngày nhận bài: 06/4/2026 ■Ngày sửa bài: 17/4/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 05/5/2026

Đánh giá khả năng cộng hưởng địa chấn giữa nền đất và công trình trên cơ sở dữ liệu về đặc trưng dao động nền đất ở Hà Nội

Assessing the potential for seismic resonance between ground and structures based on data of ground vibration characteristics in Hanoi

> THS MAI PHÚ GIANG
Viện KHCN và Kinh tế XD Hà Nội

TÓM TẮT

Bài báo sử dụng cơ sở dữ liệu về đặc trưng dao động nền đất ở Hà Nội ứng với Bản đồ phân vùng nhỏ động đất TP Hà Nội, tỷ lệ 1:25.000 để phân tích chu kỳ dao động của nền đất T_s và miền chu kỳ trội của phổ phản ứng gia tốc chuẩn [T_d]. Từ đó, đánh giá khả năng cộng hưởng có thể xảy ra giữa T_s với chu kỳ dao động riêng của công trình T_b. Kết quả nghiên cứu xác định được hai nhóm nền có thể cộng hưởng với những công trình có chiều cao khác nhau và khả năng xảy ra cộng hưởng tam trùng.

Từ khóa: Cơ sở dữ liệu; phổ phản ứng; chu kỳ dao động; cộng hưởng; tam trùng.

ABSTRACT

This paper uses the Hanoi Ground Vibration Characteristics Database, corresponding to the Hanoi City Earthquake Microzoning Map, scale 1:25,000, to analyze the ground vibration period Ts and the dominant periodic region of the standard accelerated response spectrum Td. From this, the potential resonance between Ts and the natural vibration period of the structure Tb is assessed. The research results identified two groups of foundations that can resonate with buildings of different heights and the possibility of triple resonance occurring.

Keywords: Database; response spectrum; vibration cycle; resonance; triple resonance.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tác động của động đất đối với công trình không chỉ phụ thuộc vào độ lớn của động đất mà còn phụ thuộc đáng kể vào điều kiện địa chất khu vực, đặc biệt tại những nơi có khả năng xảy ra hiện tượng cộng hưởng động lực học [9], [11].

Động đất tại Mexico City năm 1985 là trường hợp kinh điển, các nghiên cứu cho thấy nền đất hồ mềm gây khuếch đại mạnh dao động dài chu kỳ [10]. Phổ phản ứng tại khu vực này thể hiện năng lượng lớn trong miền dài chu kỳ, ảnh hưởng đáng kể đến các công trình cao trung bình [10], [11]. Quan sát thực tế cho thấy các công trình từ 5 đến 15 tầng chịu thiệt hại nặng nhất do hiện tượng cộng hưởng giữa dao động nền đất và công trình [8], [11].

TP Hà Nội tuy không phải là khu vực có hoạt động động đất mạnh, nhưng phần lớn diện tích Hà Nội cũ nằm trên các lớp trầm tích Đệ Tứ của đồng bằng sông Hồng, nhiều nơi có chiều dày lên tới vài chục mét [3], nên có khả năng gây khuếch đại địa chấn.

Hiện nay, các nghiên cứu về động đất tại Hà Nội chủ yếu tập trung vào phân vùng gia tốc nền, phân loại nền đất hoặc đánh giá phổ phản ứng đàn hồi, trong khi mối quan hệ giữa chu kỳ dao động nền đất T_s, miền chu kỳ trội của phổ phản ứng gia tốc chuẩn [T_d] và chu kỳ dao động của công trình T_b vẫn chưa được phân tích đầy đủ dưới góc độ cộng hưởng động lực học.

Trên cơ sở dữ liệu về đặc trưng dao động nền đất ở Hà Nội, bài báo này nhằm tập trung phân tích, đánh giá khả năng cộng hưởng dao động giữa nền đất và công trình.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Để đánh giá khả năng xuất hiện cộng hưởng giữa nền đất và công trình tại Hà Nội, nghiên cứu này sử dụng các đại lượng đặc trưng gồm: chu kỳ dao động của nền đất T_s, miền chu kỳ trội của phổ phản ứng [T_d] và chu kỳ dao động của công trình T_b. Các công thức động lực học công trình, gồm năng lượng tác động vào hệ E, phương trình vi phân dao động của hệ 1 bậc tự do SDOF và phổ phản ứng được sử dụng nhằm phân tích điều kiện cộng hưởng và mức độ khuếch đại đáp ứng động của công trình.

- Chu kỳ dao động của công trình [12]: $T_b = C_t H^{3/4}$

Công thức thực nghiệm trên được được sử dụng để ước lượng chu kỳ dao động cơ bản của các công trình theo chiều cao (m).

- Chu kỳ dao động của nền đất [4], [6], [11]: $T_S = 4\sum \frac{H_i}{V_{si}}$

Công thức này được được sử dụng để xác định chu kỳ dao động của toàn bộ nền đất có chiều dày H nằm trên nền cứng (s).

- Phổ phản ứng đàn hồi [12]: Đáng chú ý nhất các đoạn:

* Đoạn từ T_B đến T_C: đoạn phẳng - plateau có giá trị gia tốc nền được khuếch đại lớn nhất, không phụ thuộc theo chu kỳ (s).

* Đoạn từ T_C đến T_D: có giá trị gia tốc nền giảm theo 1/T, sau T_C (s).

- Hệ số khuếch đại động [2,6]: $\beta = \frac{1}{\sqrt{(1-r^2)^2+(2\xi r)^2}}$

Công thức này được được sử dụng để đánh giá mức độ khuếch đại đáp ứng động của công trình khi chịu kích thích động đất.

- Phương trình dao động [6,7] của hệ 1 bậc tự do SDOF:

mu" + cu' + ku = $F_0 \sin\omega t$

Với giả thiết nghiệm điều hòa, ổn định xác định được $tg\varphi = \frac{2\eta r}{1-r^2}$ trong đó $r = \frac{\omega_n}{\omega} = \frac{T_b}{T_s}$.

- Năng lượng truyền vào hệ [2,5,7]: $E = \int_0^T P(t)dt = \int_0^T F(t).u'(t)dt$

Công thức này được được sử dụng để xác định năng lượng truyền vào hệ trong 1 chu kỳ (Nm).

Với giả thiết nghiệm điều hòa xác định được: $E = \pi F_0 U sin\varphi$

Trong đó φ là góc lệch pha giữa các vetor chuyển vị u và lực tác dụng F trên mặt phẳng phức.

Từ cơ sở lý thuyết trên cho thấy đáp ứng động của công trình phụ thuộc đồng thời vào các đặc trưng dao động của nền đất, phổ động đất và dao động riêng của công trình.

3. SỐ LIỆU SỬ DỤNG

Các số liệu sử dụng trong nghiên cứu được trích dẫn từ cơ sở dữ liệu về đặc trưng dao động nền đất ở Hà Nội, ứng với Bản đồ phân vùng nhỏ động đất TP Hà Nội tỷ lệ 1:25.000, thuộc Đề tài nghiên cứu KHCN cấp thành phố: "Nghiên cứu bổ sung và hoàn chỉnh bản đồ phân vùng nhỏ động đất thành phố Hà Nội (cũ) tỷ lệ 1:25.000, lập cơ sở dữ liệu về đặc trưng dao động nền đất ở Hà Nội ứng với bản đồ trên" [3]. Đề tài do Viện Kỹ thuật Xây dựng Hà Nội (nay là Viện KHCN và Kinh tế XD Hà Nội) phối hợp với Viện Vật lý Địa cầu (nay thuộc Viện Các Khoa học Trái đất) thực hiện và hoàn thành năm 2004.

Các số liệu 27 nền đất của TP Hà Nội (cũ) được sử dụng bao gồm các đặc trưng dao động động đất cho mỗi nền cơ bản:

- Cấu trúc nền: chiều dày (m), vận tốc sóng cắt (m/s) của mỗi lớp đất.
- Băng gia tốc tính toán (s, g).
- Phổ phản ứng gia tốc chuẩn (s, g).

Mặc dù cơ sở dữ liệu này được xây dựng từ năm 2004, các đặc điểm địa tầng chính của khu vực Hà Nội nhìn chung ít thay đổi theo thời gian. Tuy nhiên, sự biến động của mực nước ngầm và quá trình đô thị hóa có thể ảnh hưởng cục bộ đến đặc trưng dao động của nền đất và cần được tiếp tục cập nhật trong các nghiên cứu tiếp theo.

4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

4.1. Xác định các chu kỳ T_s, T_d và phân loại nền theo TCVN 9386:2012

Từ yếu tố cấu trúc nền (chiều dày, vận tốc sóng cắt) xác định được chu kỳ dao động của mỗi nền đất T_s (s) theo công thức mục 2. Đồng thời xác định được vận tốc sóng cắt của 30m trên mặt V_{s30} (m/s) của các nền để phân loại nền theo TCVN 9386:2012.

Từ phổ phản ứng gia tốc chuẩn của băng gia tốc tính toán, xác định được miền chu kỳ trội [T_d] (s) của mỗi loại nền tương ứng với đoạn plateau có gia tốc cực đại. Vì phổ phản ứng được xây dựng từ 5 băng gia tốc khác nhau nên miền chu kỳ trội [T_d] tổng hợp của phổ có khoảng giá trị rộng. Các kết quả được trình bày tại Bảng 1.

Bảng 1. Kết quả xác định: Ts, [Td] và phân loại nền theo TCVN 9398:2012

STT	Loại nền	Theo CSDL đề tài Phân vùng nhỏ động đất				Phân loại nền theo TCVN 9386:2012		
		H(m)	Vstb(m/s)	Ts (s)	[Td] (s)	Vs30(m/s)	Loại nền	[TB - TC] (s)
1	I-a-1	60	289	0.83	0.10-0.80	227	C	0.2-0.6
2	I-a-2	65	283	0.92	0.10-0.90	229	C	0.2-0.6
3	I-b-1	65	274	0.95	0.10-0.90	214	C	0.2-0.6
4	I-b-2	65	257	1.01	0.10-0.90	193	C	0.2-0.6
5	I-c-1	65	218	1.19	0.10-0.95	156	D	0.2-0.8
6	I-c-2	65	218	1.19	0.10-0.95	156	D	0.2-0.8
7	I-c-3	70	213	1.32	0.10-0.90	155	D	0.2-0.8
8	I-c-4	69.5	252	1.00	0.10-0.75	179	D	0.2-0.8
9	II-a-1	70	219	1.28	0.10-0.90	162	D	0.2-0.8
10	II-a-2	65	228	1.14	0.10-0.80	168	D	0.2-0.8
11	II-a-3	69.5	259	1.07	0.10-0.75	188	C	0.2-0.6
12	II-b-1	69.5	265	1.05	0.10-0.75	195	C	0.2-0.6
13	II-c-1	60	235	1.02	0.10-0.85	169	D	0.2-0.8
14	II-c-2	35	255	0.55	0.10-1.00	220	C	0.2-0.6
15	II-c-3	30.5	250	0.49	0.10-0.85	248	C	0.2-0.6
16	III-a-1	65	250	1.04	0.10-0.95	185	C	0.2-0.6
17	III-b-1	65	212	1.23	0.10-1.10	150	D	0.2-0.8
18	III-b-2	65	212	1.23	0.10-0.95	144	D	0.2-0.8
19	III-c-1	65	221	1.18	0.10-0.95	153	D	0.2-0.8
20	III-c-2	65	215	1.21	0.10-1.05	146	D	0.2-0.8
21	III-c-3	65	215	1.21	0.10-1.00	147	D	0.2-0.8
22	III-c-4	65	197	1.32	0.10-0.90	130	D	0.2-0.8
23	III-d-1	37.6	212	0.71	0.10-0.75	188	C	0.2-0.6
24	III-d-2	24.2	189	0.51	0.10-0.95	189	C	0.2-0.6
25	III-d-3	20.2	185	0.44	0.10-0.95	185	C	0.2-0.6
26	III-d-4	31.5	147	0.86	0.10-0.90	142	D	0.2-0.8
27	Nền đá phong hóa				0.10-0.75			

Từ các kết quả nghiên cứu trên cho thấy:

4.2. So sánh với phổ phản ứng đàn hồi của TCVN 9386:2012

Tất cả 26 loại nền thuộc 3 khu địa chất công trình I, II và III (trừ khu IV - trên nền đá phong hóa) đều được xếp vào các loại nền C và D theo TCVN 9386:2012. Dựa theo độ dài của chu kỳ dao động nền đất T_s, có thể xếp 26 loại nền này thành hai nhóm:

4.2.1. Nhóm 1

Gồm 4 loại nền thuộc khu II: II-c-2 và II-c-3; thuộc khu III: III-d-2 và III-d-3. Nhóm này có chu kỳ dao động của nền T_s nằm trong đoạn phẳng - plateau của phổ phản ứng đàn hồi.

4.2.2. Nhóm 2

Gồm 22 loại nền còn lại, có chu kỳ dao động của nền T_s đều lớn hơn T_C của phổ phản ứng đàn hồi, thuộc vùng gia tốc giảm 1/T.

4.3. So sánh giữa $[T_d]$ và T_s

- Với 4 loại nền thuộc nhóm 1, có giá trị T_s nằm gần trung điểm của miền $[T_d]$ điều đó cho thấy dao động nền đất có khả năng khuếch đại đáng kể dao động động đất trong dải chu kỳ này. Tuy nhiên do miền $[T_d]$ đáp ứng động lực của công trình không chỉ phụ thuộc vào một giá trị chu kỳ nền cụ thể mà còn chịu ảnh hưởng mạnh của phân bố năng lượng trong phổ động đất đầu vào [4].

- Với 22 nền thuộc nhóm 2, có giá trị T_s nằm gần giá trị cực đại của miền $[T_d]$, $T_s \approx T_d^{max}$, điều đó cho thấy điều kiện đất nền đóng vai trò chi phối trong việc điều chỉnh và khuếch đại tác động động đất.

4.4. Đánh giá khả năng cộng hưởng với công trình

Từ các công thức ở mục 2: Khi $T_b \approx T_s$ $r \to 1$, $tg\varphi \to \infty$ thì $sin\varphi \to 1$. Lúc đó năng lượng tác động vào hệ sẽ đạt cực đại: $E_{max} = \pi F_0 U$

Điều này cho thấy khi chu kỳ dao động riêng của công trình T_b gần với chu kỳ dao động của nền đất T_s, dẫn đến năng lượng dao động truyền vào công trình đạt giá trị lớn nhất, đây chính là cộng hưởng nguy hiểm nhất.

Hệ số khuếch đại động sẽ đạt cực đại $\beta = \frac{1}{2\xi\sqrt{1-\xi^2}}$

Như vậy mức độ nguy hiểm của động đất không chỉ phụ thuộc vào độ lớn của trận động đất mà còn phụ thuộc vào khả năng cộng hưởng dao động giữa nền đất và công trình.

Bài báo tập trung nghiên cứu khả năng cộng hưởng dao động giữa các nền đất của TP Hà Nội và các công trình có chiều cao khác nhau trong khoảng giá trị: $0.8 \le \frac{T_b}{T_s} \le 1.2$.

4.4.1. Xác định chu kỳ dao động của công trình T_b

Từ công thức mục 2, xác định T_b cho các công trình BTCT ở Bảng 2.

Bảng 2. Xác định các chu kỳ T_b theo chiều cao

STT	Số tầng	Chiều cao (m)	T_b (s)
1	1	3.2	0.18
2	2	6.4	0.30
3	3	9.6	0.41
4	4	12.8	0.51
5	5	16	0.60
6	6	19.2	0.69
7	7	22.4	0.77
8	8	25.6	0.85
9	9	28.8	0.93
10	10	32	1.01
11	11	35.2	1.08
12	12	38.4	1.16
13	13	41.6	1.23

4.4.2. Đánh giá khả năng cộng hưởng với các loại nền thuộc nhóm 1

Theo Bảng 2, chu kỳ dao động riêng T_b tương ứng với các công trình BTCT từ 3 đến 5 tầng (từ 0.41 đến 0.60s) gần với chu kỳ dao động riêng T_s của 4 loại nền nhóm 1 (từ 0.44 đến 0.55s). Khả năng cộng hưởng của các loại nền thuộc nhóm 1 với các công trình được xác định, trình bày ở Bảng 3

Bảng 3. Xác định khả năng cộng hưởng của nền nhóm 1 với công trình

STT	Loại nền	T_s (s)	Tỷ số T_b/T_s theo số tầng cao			Khả năng cộng hưởng
			3 tầng	4 tầng	5 tầng	
1	II-c-2	0.55	0.74	0.92	1.09	4,5 tầng
2	II-c-3	0.49	0.83	1.04	1.22	3,4 tầng
3	III-d-2	0.51	0.80	1.00	1.18	3,4,5 tầng
4	III-d-3	0.44	0.93	1.15	1.36	3,4 tầng

Như vậy khả năng cộng hưởng trên nằm trong vùng plateau của phổ phản ứng đàn hồi có gia tốc phản ứng của hệ có thể đạt giá trị lớn nhất, dẫn đến các công trình từ 3 đến 5 tầng có khả năng chịu tác động động đất bất lợi hơn khi xảy ra cộng hưởng với các nền thuộc nhóm 1.

Ngoài ra, miền chu kỳ trội $[T_d]$ của các loại nền nhóm 1 có giá trị rộng từ 0.10 đến 1.00s, bao trùm các giá trị trên: T_s, $T_b \in [T_d]$ vì vậy có thể xảy ra hiện tượng tam trùng $T_s \approx T_d \approx T_b$. Trong trường hợp này, dao động nền đất, phổ động đất và dao động công trình có xu hướng đồng pha, làm tăng hiệu quả truyền năng lượng dao động và có thể dẫn đến đáp ứng động lớn hơn với trường hợp cộng hưởng thông thường ở trên. Tuy nhiên do nghiên cứu hiện tại chỉ tập trung vào đánh giá định tính nguy cơ cộng hưởng trên cơ sở phân tích phổ phản ứng và chưa thực hiện mô phỏng phi tuyến kết cấu, mức độ gia tăng thiệt hại chưa được định lượng hóa cụ thể. Đây sẽ là hướng nghiên cứu tiếp theo cần được xem xét.

4.4.3. Đánh giá khả năng cộng hưởng với các loại nền thuộc nhóm 2

Chu kỳ dao động riêng T_b tương ứng với các công trình BTCT từ 6 đến 13 tầng (từ 0.69 đến 1.23s) gần với chu kỳ dao động riêng T_s (từ 0.71 đến 1.32s).

Khả năng cộng hưởng của các loại nền đất nhóm 2 với các công trình được xác định, trình bày ở Bảng 4.

Bảng 4. Xác định khả năng cộng hưởng của nền nhóm 2 với công trình

STT	Loại nền	T_s (s)	Tỷ số T_b/T_s theo số tầng cao								Khả năng cộng hưởng
			6 tầng	7 tầng	8 tầng	9 tầng	10 tầng	11 tầng	12 tầng	13 tầng	
1	I-a-1	0.83	0.83	0.93	1.03	1.12	1.22	1.31	1.39	1.48	Từ 6-9 tầng
2	I-a-2	0.92	0.75	0.84	0.93	1.01	1.10	1.18	1.26	1.34	Từ 7-11 tầng
3	I-b-1	0.95	0.72	0.81	0.90	0.98	1.06	1.14	1.22	1.29	Từ 7-11 tầng
4	I-b-2	1.01	0.68	0.76	0.85	0.92	1.00	1.07	1.15	1.22	Từ 8-12 tầng
5	I-c-1	1.19	0.58	0.65	0.72	0.78	0.85	0.91	0.97	1.03	Từ 10-13 tầng
6	I-c-2	1.19	0.58	0.65	0.72	0.78	0.85	0.91	0.97	1.03	Từ 10-13 tầng
7	I-c-3	1.32	0.52	0.59	0.65	0.71	0.76	0.82	0.88	0.93	Từ 11-13 tầng
8	I-c-4	1.00	0.69	0.77	0.85	0.93	1.01	1.08	1.16	1.23	Từ 8-12 tầng
9	II-a-1	1.28	0.54	0.60	0.67	0.73	0.79	0.85	0.90	0.96	Từ 11-13 tầng

10	II-a-2	1.14	0.60	0.68	0.75	0.82	0.89	0.95	1.01	1.08	Từ 9-13 tầng
11	II-a-3	1.07	0.64	0.72	0.80	0.87	0.94	1.01	1.08	1.15	Từ 8-13 tầng
12	II-b-1	1.05	0.66	0.74	0.81	0.89	0.96	1.03	1.10	1.17	Từ 8-13 tầng
13	II-c-1	1.02	0.67	0.76	0.84	0.91	0.99	1.06	1.13	1.20	Từ 8-13 tầng
14	III-a-1	1.04	0.66	0.74	0.82	0.90	0.97	1.04	1.11	1.18	Từ 8-13 tầng
15	III-b-1	1.23	0.56	0.63	0.69	0.76	0.82	0.88	0.94	1.00	Từ 10-13 tầng
16	III-b-2	1.23	0.56	0.63	0.69	0.76	0.82	0.88	0.94	1.00	Từ 10-13 tầng
17	III-c-1	1.18	0.58	0.65	0.72	0.79	0.86	0.92	0.98	1.04	Từ 10-13 tầng
18	III-c-2	1.21	0.57	0.64	0.71	0.77	0.83	0.90	0.96	1.02	Từ 10-13 tầng
19	III-c-3	1.21	0.57	0.64	0.71	0.77	0.83	0.90	0.96	1.02	Từ 10-13 tầng
20	III-c-4	1.32	0.52	0.59	0.65	0.71	0.76	0.82	0.88	0.93	Từ 11-13 tầng
21	III-d-1	0.71	0.97	1.09	1.20	1.31	1.42	1.53	1.63	1.73	Từ 6-8 tầng
22	III-d-4	0.86	0.80	0.90	0.99	1.08	1.17	1.26	1.35	1.43	Từ 8-10 tầng

Như vậy các công trình từ 6 đến 13 tầng có thể xảy ra cộng hưởng dao động với các loại nền đất nhóm 2. Nhưng tất cả đều có T_s , $T_b > T_C$ của nền C, D [12], thuộc vùng gia tốc giảm 1/T nên mức độ tác động của động đất sẽ giảm. Tuy nhiên, trong miền chu kỳ dài của phổ phản ứng, chuyển vị phổ có xu hướng tăng theo chu kỳ vì trong hệ SDOF: $a \infty \omega^2 S_U$ và $\omega = \frac{2\pi}{T}$ nên $S_U \infty \frac{S_a T^2}{4\pi^2}$ (trong đó S_U và S_a là phổ chuyển vị và phổ gia tốc).

Do đó đối với các công trình có chu kỳ dao động T_b lớn vẫn cần xem xét ảnh hưởng của dao động nền đất khi đánh giá tác động của động đất.

Ngoài ra, miền chu kỳ trội $[T_d]$ của các loại nền nhóm 2 có giá trị rộng từ 0.10 đến 1.10 s, bao trùm các giá trị trên: $T_s, T_b \in [T_d]$ dẫn đến có thể xảy ra hiện tượng tam trùng $T_s \approx T_d \approx T_b$ làm tăng hiệu quả truyền năng lượng dao động hơn so với cộng hưởng thông thường.

4.5. Đối với những chung cư cũ trên địa bàn Hà Nội

Các chung cư cũ trên địa bàn Hà Nội chủ yếu được xây dựng từ những năm 1960 đến những năm 1980. Trong đó nhiều khu chung cư được xây dựng trên nền đất yếu như Ngọc Khánh, Quỳnh Mai, Giảng Võ, Thành Công... Hiện nay rất nhiều chung cư đã vượt quá tuổi thọ thiết kế (khoảng 50 năm) và không được thiết kế chịu động đất. Với đặc điểm chung kết cấu chủ yếu: khung BTCT, khung lắp ghép hoặc tường gạch chịu lực. Hiện nay, có những chung cư đã bị xuống cấp như: cường độ bê tông giảm, cốt thép lộ ra ngoài bị han rỉ, cùng với quá trình cơi nới gia tăng tải trọng, độ lệch tâm [1] … dẫn đến suy giảm độ cứng làm chu kỳ dao động T_b tăng lên, có thể làm thay đổi điều kiện cộng hưởng so với kết cấu ban đầu.

Các chung cư này cao phổ biến từ 3 đến 5 tầng, tương ứng với các chu kỳ dao động T_b từ 0.41 đến 0.6s. Các giá trị này nằm trong đoạn plateau của phổ phản ứng đàn hồi. Đặc biệt với các chung cư có tồn tại lớp đất yếu như trên, giá trị gia tốc nền lại được gia tăng thêm vì có hệ số nền S lớn [7].

5. KẾT LUẬN

Nhóm 1: Gồm 4 loại nền có T_s nằm trong đoạn plateau của phổ phản ứng đàn hồi theo TCVN 9386:2012 có khả năng cộng hưởng với các công trình thấp tầng (3-5 tầng).

Nhóm 2: Gồm 22 loại nền có $T_s > T_C$ của phổ phản ứng trên, có khả năng cộng hưởng với các công trình cao hơn (6-13 tầng), nhưng nằm trong miền phổ gia tốc phổ giảm theo 1/T. Tuy nhiên chuyển vị phổ có xu hướng tăng, nên cần xem xét.

Kết quả nghiên cứu cho thấy điều kiện nền đất trầm tích mềm tại Hà Nội có thể làm thay đổi đáng kể đặc trưng dao động địa chấn khi xảy ra động đất, dẫn đến khả năng khuếch đại dao động và cộng hưởng giữa nền đất và công trình. Vì vậy, các đặc trưng dao động của nền đất cần được xem xét trong quá trình thiết kế kháng chấn cho các công trình xây dựng. Đồng thời, việc sử dụng cơ sở dữ liệu về đặc trưng dao động nền đất trong quy hoạch và thiết kế công trình có ý nghĩa quan trọng đối với việc đánh giá và giảm thiểu rủi ro động đất tại khu vực Hà Nội.

Các chung cư cũ trên địa bàn Hà Nội có điểm bất lợi do chu kỳ dao động của nhiều công trình T_b nằm trong vùng plateau của phổ phản ứng đàn hồi. Đặc biệt với những chung cư có lớp đất yếu có hệ số nền cao. Đối với những chung cư cũ được xây dựng trên các loại nền thuộc nhóm 1, cần đặc biệt cẩn trọng khi cải tạo vì có nguy cơ cộng hưởng cao.

Giới hạn của nghiên cứu này sử dụng mô hình một bậc tự do (SDOF) và dữ liệu vi địa chấn hiện có tại Hà Nội nhằm đánh giá tổng quát nguy cơ cộng hưởng. Các ảnh hưởng của tương tác nền đất - công trình (SSI), tính phi tuyến của vật liệu và sự thay đổi điều kiện địa chất theo thời gian chưa được xem xét đầy đủ.

Các nghiên cứu tiếp theo cần xem xét mô hình nhiều bậc tự do (MDOF), tương tác nền đất - công trình và cập nhật, mở rộng cơ sở dữ liệu vi địa chấn mới hơn nhằm nâng cao độ chính xác trong đánh giá nguy cơ cộng hưởng địa chấn tại Hà Nội.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Viện Khoa học Công nghệ và Kinh tế Xây dựng Hà Nội. Các kết quả khảo sát, kiểm định đánh giá chất lượng hiện trạng các chung cư cũ trên địa bàn Hà Nội giai đoạn 2016 - 2025.

[2] Chopra, A.K. Dynamics of Structures. Global Edition, 5th Edition in SI Units, pp. 155-158, 2019.

[3] Viện Khoa học Công nghệ và Kinh tế Xây dựng Hà Nội. Nghiên cứu bổ sung và hoàn chỉnh bản đồ phân vùng nhỏ động đất thành phố Hà Nội tỷ lệ 1:25.000, lập cơ sở dữ liệu về đặc trưng dao động nền đất ở Hà Nội ứng với bản đồ trên. Báo cáo tổng kết đề tài nghiên cứu khoa học công nghệ cấp thành phố, tr.57-74; cơ sở dữ liệu tr. 3-30, 2004.

[4] Pankaj, A., Manish, S. Earthquake Resistant Design of Structures. PHI Learning Private Limited, pp. 121-178, 2006.

[5] Akiyama, H. Earthquake-Resistant Limit-State Design for Buildings. University of Tokyo Press, pp. 11-45, 1985.

[6] Kramer, S.L., Stewart, J.P. Geotechnical Earthquake Engineering. CRC Press, 2nd Edition, pp. 120-124; 355-362, 2022.

[7] Den Hartog, J.P. Mechanical Vibrations. Dover Publications, pp. 52-76, 1985.

[8] Encyclopaedia Britannica. Mexico City Earthquake of 1985. Internet: https://www.britannica.com/event/Mexico-City-earthquake-1985, truy cập ngày 29/5/2026.

[9] Braja, M.D., Zhe, L. Principles of Soil Dynamics. Cengage Learning, 3rd Edition, pp. 372-389, 2015.

[10] Seed, H.B., Romo, M.P., Sun, J.I., Jaime, A., Lysmer, J. Relationships Between Soil Conditions and Earthquake Ground Motions in Mexico City in the Earthquake of Sept. 19, 1985. Earthquake Engineering Research Center Report, No.UCB/EERC-87/15, pp. 69-95, 1987.

[11] Jaime, A.P., Sergio, K.S. The 1985 Mexico Earthquake. Seismological Research Letters, Vol.86, No.5, pp. 1185-1194, 2015.

[12] Bộ Xây dựng. TCVN 9386:2012 - Thiết kế công trình chịu động đất. Hà Nội, tr. 24-33; 44-45, 2012.

■Ngày nhận bài: 07/4/2026 ■Ngày sửa bài: 17/4/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 10/5/2026

Nghiên cứu tính toán cột mảnh bê tông cốt thép chịu nén lệch tâm phẳng theo tiêu chuẩn TCVN 5574:2018, EC2:2004 và ACI 318:2019

Research and calculation of slender reinforced concrete columns subjected to uniaxial eccentric compression in accordance with TCVN 5574:2018, EC2:2004 and ACI 318:2019

> TS TRẦN VIỆT TÂM
Nhóm chuyên môn Công trình Bê tông cốt thép, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

TÓM TẮT

Trong kết cấu bê tông cốt thép (BTCT), cột chịu nén lệch tâm là cấu kiện quan trọng, có nhiệm vụ truyền tải trọng xuống móng và đóng vai trò quyết định đối với sự ổn định và khả năng chịu lực của toàn công trình. Khi chiều cao hữu hiệu của cột lớn so với kích thước tiết diện ngang, cột có xu hướng mất ổn định uốn dọc trục, đồng thời hiệu ứng bậc hai (P-Δ) trở nên đáng kể. Cấu kiện cột BTCT như vậy được gọi là cột mảnh (slender columns); việc tính toán và thiết kế loại cột này cần xét đến các hiệu ứng bậc hai nhằm đánh giá chính xác khả năng chịu lực và đảm bảo an toàn cho công trình.

Thực tế thiết kế hiện nay, do yêu cầu về kiến trúc và không gian sử dụng, các dạng cột mảnh như cột sảnh, cột thông tầng được áp dụng ngày càng phổ biến. Tuy nhiên, theo TCVN 5574:2018 [1], độ mảnh của cột nhà bê tông cốt thép được giới hạn không vượt quá 120, giới hạn này khá lớn, điều này đặt ra những thách thức trong việc lựa chọn tiết diện và đánh giá khả năng chịu lực của cột mảnh, đặc biệt đối với các công trình có yêu cầu kiến trúc đặc thù.

Bài báo trình bày phương pháp tính toán cột mảnh bê tông cốt thép theo tiêu chuẩn TCVN 5574:2018, EC2:2004 [5] và ACI 318-2019 [3], đồng thời khảo sát và đề xuất một số khuyến nghị trong thiết kế đối với loại cột này.

Từ khóa: Cột mảnh BTCT; TCVN 5574:2018; EC2:2004; ACI 318:201;,khả năng chịu lực; độ mảnh; hiệu ứng bậc hai; ổn định; lệch tâm; uốn dọc.

ABSTRACT

Eccentrically loaded columns are important structural elements in reinforced concrete structures, responsible for transferring loads to the foundation and ensuring the overall stability and load-carrying capacity of buildings. When the effective height of a column is large relative to its cross-sectional dimensions, second-order effects (P-Δ effects) become significant, leading to flexural instability. Such members are classified as slender columns, and their design requires proper consideration of these effects.

In current design practice, driven by architectural and functional requirements, slender columns such as lobby columns and multi-storey columns are increasingly adopted. However, TCVN 5574:2018 limits the slenderness ratio of reinforced concrete columns to 120, which creates challenges in cross-section selection and strength assessment for structures with demanding architectural layouts.

This paper presents a calculation procedure for slender reinforced concrete columns in accordance with TCVN 5574:2018, EC2:2004 and ACI 318:2019. A comparative evaluation of the two standards is carried out, and practical recommendations are proposed to support the design of slender reinforced concrete columns.

Keywords: Slender reinforced concrete columns; TCVN 5574:2018; EC2:2004; ACI 318:2019 load-carrying capacity; slenderness ratio; second-order effects; stability; eccentric loading; flexural buckling.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cột là cấu kiện chịu lực theo phương đứng trong kết cấu công trình. Theo đặc điểm hình học, cột là cấu kiện có chiều cao tiết diện không lớn hơn bốn lần chiều rộng tiết diện, đồng thời chiều dài cấu kiện ít nhất gấp ba lần chiều cao tiết diện; trong trường hợp ngược lại, cấu kiện có thể được xem là vách. Về cơ bản, cột chủ yếu chịu lực nén dọc trục, tuy nhiên trong nhiều trường hợp còn phải chịu mô men uốn và lực cắt do ảnh hưởng của tải trọng ngang như gió, động đất...

Trong kết cấu khung nhà, cột có nhiệm vụ tiếp nhận tải trọng từ dầm, sàn, tải các tầng phía trên và truyền tải trọng này xuống các tầng phía dưới và nền công trình thông qua kết cấu móng. Do đó,

nếu các cấu kiện chịu nén này không đảm bảo khả năng chịu lực, có thể dẫn đến mất ổn định cục bộ và phá hoại toàn bộ công trình.

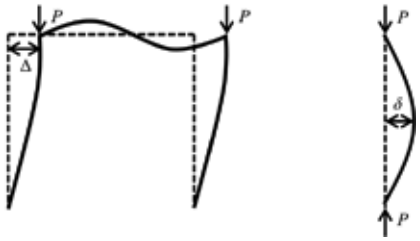
Khi cột BTCT có độ mảnh lớn (cột mảnh BTCT), ảnh hưởng của biến dạng ngang và hiệu ứng bậc hai (P–Δ, P–δ) làm tăng đáng kể nội lực và chuyển vị của cột khi chịu tải trọng nén. Khác với cột ngắn, khả năng chịu lực của cột mảnh không chỉ phụ thuộc vào cường độ vật liệu và tiết diện mà còn phụ thuộc nhiều vào độ cứng, chiều dài tính toán và điều kiện liên kết hai đầu của cột.

Hiện nay, do yêu cầu về kiến trúc và không gian sử dụng, các dạng cột mảnh như cột sảnh, cột thông tầng được áp dụng ngày càng phổ biến. Tuy nhiên, theo TCVN 5574:2018, độ mảnh giới hạn của cột nhà dân dụng là 120, giới hạn này là lớn, đặt ra những thách thức trong việc lựa chọn tiết diện và đánh giá khả năng chịu lực của cột mảnh, đặc biệt đối với các công trình có yêu cầu kiến trúc đặc thù.

Bài báo trình bày phương pháp tính toán cột mảnh BTCT theo tiêu chuẩn TCVN 5574:2018 [1], EC2:2004[5] và ACI 318:2019 [3], khảo sát các trường hợp tính toán, từ đó có những kiến nghị đề xuất khi thiết kế đối với cấu kiện này.

2. SỰ LÀM VIỆC CỦA CỘT MẢNH

Độ mảnh của cấu kiện chịu nén ảnh hưởng đến cả ứng xử ngắn hạn và dài hạn, và gây ra hiệu ứng bậc hai - tức là tăng thêm mô men trong cấu kiện do độ võng. Hiệu ứng này có ảnh hưởng rất đáng kể, vì vậy cần phải xem xét đến chúng khi thiết kế các cấu kiện chịu nén. Hình 1 thể hiện hai loại hiệu ứng bậc hai gồm hiệu ứng tổng thể (P.Δ) và hiệu ứng cục bộ (P.δ).



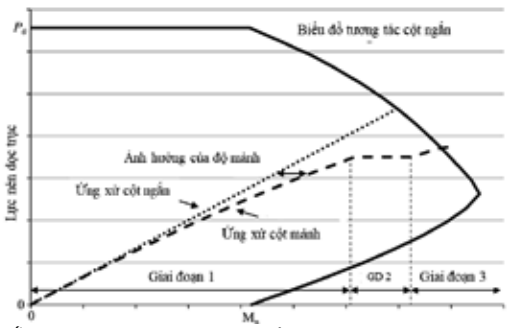
Hình 1. Hiệu ứng bậc 2 tổng thể và cục bộ của cột mảnh

Khi cột mảnh BTCT chịu tải trọng dài hạn, quá trình ứng xử của cột mảnh qua 3 giai đoạn (Hình 2) cụ thể như sau:

- Giai đoạn 1: Dưới tác dụng của tải trọng ban đầu, độ cứng ngắn hạn chi phối ứng xử của cột. Mô men cần thiết (momen demand) đối với cột mảnh sẽ lớn hơn so với cột ngắn khi chịu cùng một tải trọng và độ lệch tâm, do ảnh hưởng của hiệu ứng bậc hai.

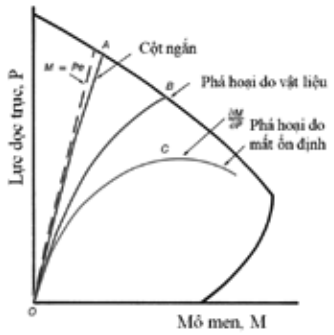
- Giai đoạn 2: Khi cột chịu tải trọng dài hạn, từ biến của bê tông làm giảm độ cứng của cột, từ đó tăng hiệu ứng bậc hai. Do đó, mô men cần thiết tăng lên dù lực dọc trục không đổi.

- Giai đoạn 3: Trong thực tế, các cột thông thường không bị phá hoại ngay dưới tải trọng dài hạn, và ở giai đoạn này, cột vẫn còn khả năng chịu lực dư (residual capacity) sau khi chịu tải trọng dài hạn.



Hình 2. Ứng xử của cột chịu nén lệch tâm phẳng

Đường cong mô men - lực nén tới hạn (biểu đồ tương tác) được vẽ trong Hình 3 cho các cột có độ mảnh khác nhau, các cột này chịu tải như được trình bày trong Hình 2 với cùng độ lệch tâm đầu cột *e*. Đường cong mô men tại điểm *O-A* đối với một cột tương đối ngắn thì gần như giống với đường *P.e*. Đối với một cột có chiều dài vừa phải, đường *O-B*, thì độ lệch trở nên đáng kể, làm giảm tải trọng tới hạn, cột sẽ bị phá hoại khi đường cong mô men - tải trọng cắt biểu đồ tương tác tại điểm *B*. Cột khi đó bị **"Phá hoại do vật liệu"** và đây là dạng phá hoại của các cột trong hệ kết cấu khung giằng. Nếu cột quá mảnh, biến dạng uốn Δ có tiến tới vô hạn. Khi đó cột trở nên không ổn định vì biến dạng uốn lớn, dạng phá hoại này được biết như là **"Phá hoại do mất ổn định"** xuất hiện với những cột giằng quá mảnh hoặc những cột mảnh trong các khung không có hệ giằng.



Hình 3 Sự phá hoại do vật liệu và do mất ổn định của cột

3. TÍNH TOÁN CỘT MẢNH THEO CÁC TIÊU CHUẨN

3.1. Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 5574-2018 [1]

Tiêu chuẩn TCVN 5574:2018 không đưa ra khái niệm về cột mảnh, chỉ có điều kiện hạn chế về độ mảnh, tiêu chuẩn quy định độ mảnh cột $\lambda \le \lambda_{gh}$ (λ_{gh} là giới hạn độ mảnh cho phép với cột, nhà dân dụng là 120, và cột trong các công trình khác là 200). Việc kể đến ảnh hưởng của độ mảnh (uốn dọc) đến khả năng chịu lực của cột bằng cách nhân giá trị độ lệch tâm e_0 với hệ số η.

+ Khi $\lambda \le 14$ có thể bỏ qua ảnh hưởng của uốn dọc, lấy η=1;

+ Khi $\lambda > 14$ tính η như sau: $\eta = \frac{1}{1-\frac{N}{N_{cr}}}$ (1)

Trong đó:

- N_{cr}: lực tới hạn quy ước, được xác định theo công thức $N_{cr} = \frac{\pi^2 D}{L_0^2}$ (2)

- D: độ cứng của cấu kiện BTCT ở trạng thái giới hạn về độ bền $D = k_b E_b I + k_s E_s I_s$. (3)

- I, I_s: mô men quán tính của tiết diện bê tông và của toàn bộ cốt thép dọc đối với trọng tâm tiết diện ngang. Với tiết diện chữ nhật bố trí cốt thép với hàm lượng μ (%) thì: $I=bh^3/12$; $I_s = \mu b h_0 (0{,}5h_0-a)^2$.

- k_s: Hệ số của cốt thép lấy bằng 0.7; $k_b = \frac{0.15}{\varphi_L(0.3+\delta_e)}$. (4)

- δ_e Hệ số kể đến độ lệch tâm tương đối của lực dọc $\delta_e=e_0/h$ lấy trong khoảng 0,15 và 1,5.

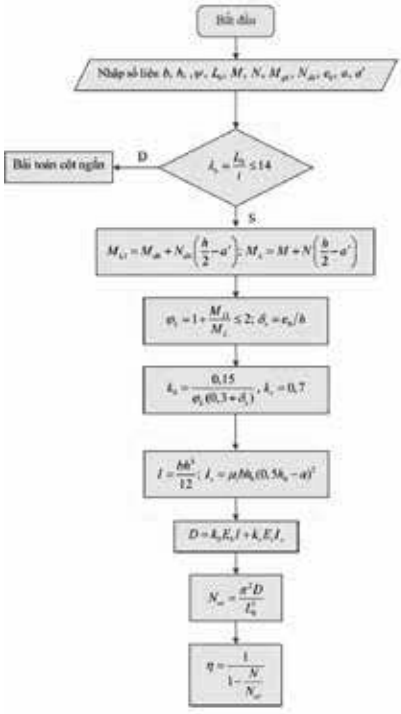
- φ_L Hệ số kể đến ảnh hưởng của thời hạn tác dụng của tải trọng $\varphi_L = 1 + \frac{M_{L1}}{M_L} < 2$. (5)

- M_L, M_{L1}: Các mô men đối với trọng tâm của thanh thép chịu kéo nhiều nhất hoặc chịu nén ít nhất (khi toàn bộ tiết diện chịu nén) do tác dụng của toàn bộ tải trọng (tải trọng thường xuyên và tạm thời dài hạn).

$$M_{L1} = M_{dh} + N_{dh}\left(\frac{h}{2} - a'\right) \quad (6)$$

$$M_L = M + N\left(\frac{h}{2} - a'\right) \quad (7)$$

Sơ đồ khối tính các bước tính hệ số ảnh hưởng uốn dọc η của cột chịu nén lệch tâm phẳng như hình 4, tính toán cốt thép và kiểm tra khả năng chịu lực của cột bạn đọc xem trong tài liệu tham khảo [8].



Hình 4. Sơ khối tính hệ số ảnh hưởng uốn dọc η của cột theo TCVN 5574:2018

3.2. Tiêu chuẩn châu Âu EC2:2004 [5]

Tiêu chuẩn EC2 tính cột được coi là cột mảnh (slender column) khi $\lambda > \lambda_{min}$, còn lại là cột ngắn (short column). Độ mảnh giới hạn λ_{min} của cột được xác định theo công thức:

$\lambda_{lim} = \frac{20A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}}$ (8)

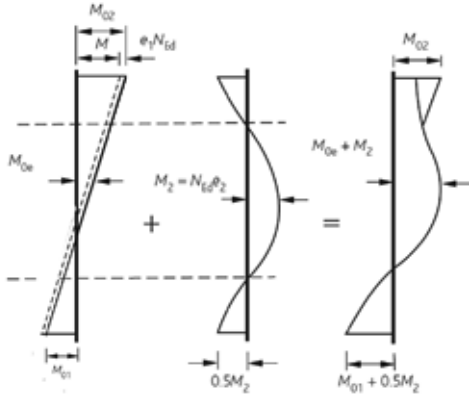
Trong đó: *- A, B, C:* Các hệ số được xác định theo công thức:

$A = \frac{1}{1+0,2\phi_{ef}}$; $B = \sqrt{1+2\omega}$; $C = 1,7 - r_m$ (9)

- φ_{ef} *:* là hệ số từ biến

- $r_m = \frac{M_{01}}{M_{02}} n = \frac{N_{Ed}}{A_c f_{cd}} \omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}}$ (10)

- M_{01}, M_{02}*:* là Mômen 2 đầu cột.



a) Mômen bậc nhất *b) Mômen thứ cấp* *c) Mô men tổng*

Hình 5. Biểu đồ mô men trong cột mảnh

Mô men uốn làm cho cấu kiện chuyển vị theo phương vuông góc với trục dọc tạo ra mô men thứ cấp M_2. Xét 1 cột chịu nén có mô men 2 đầu cột là M_{bot} và M_{top} thì mô men thiết kế M_{Ed} được lấy như sau:

M_{Ed}=max (M_{02}; M_{0e}+M_2; M_{01}+0,5M_2). (11)

M_{01}=min (M_{bot}; M_{top}) + $e_a N_{Ed}$. (12)

M_{02}=max (M_{bot}; M_{top}) + $e_a N_{Ed}$. (13)

M_{0e}=$e_0 N_{Ed}$; M_2=$e_2 N_{Ed}$. (14)

Trong đó:

e_a: Độ lệch tâm ngẫu nhiên e_a=max (0,5vL_0; h/30; 20mm) với $v = \frac{1}{100\sqrt{L}} \geq \frac{1}{200}$. (15)

e_{01}: Độ lệch tâm tĩnh học e_{01}= M_{01}/N_{Ed}. (16)

e_2: Độ lệch ở trạng thái phá hoại $e_2 = K_1 K_2 \frac{l_0^2}{\pi^2} (\frac{\varepsilon_{yd}}{0,45d})$.(17)

K_1: Hệ số $K_1 = 1 + (0,35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda}{150})\phi_{ef}$. (18)

ϕ_{ef}: Hệ số từ biến hiệu quả tính theo $\phi_{ef} = \phi(\infty, t_0) \frac{M_{0Eqp}}{M_{0Ed}}$.(19)

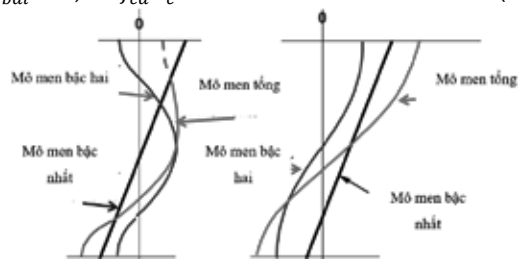
$\phi(\infty,t_0)$*:* hệ số từ biến cuối cùng, ($t = \infty$) khi tải trọng tác dụng ở thời điểm t_0.

M_{0Ed}*:* mô men uốn trong tổ hợp tải trọng ở trạng thái giới hạn về cường độ.

K_2: Hệ số $K_2 = \frac{N_{ud} - N_{Ed}}{N_{ud} - N_{bal}} \leq 1$. (20)

N_{ud}: lực tới hạn của cấu kiện khi chịu nén đúng tâm: $N_{ud} = f_{cd}A_c + f_{yd}A_{sc}$. (21)

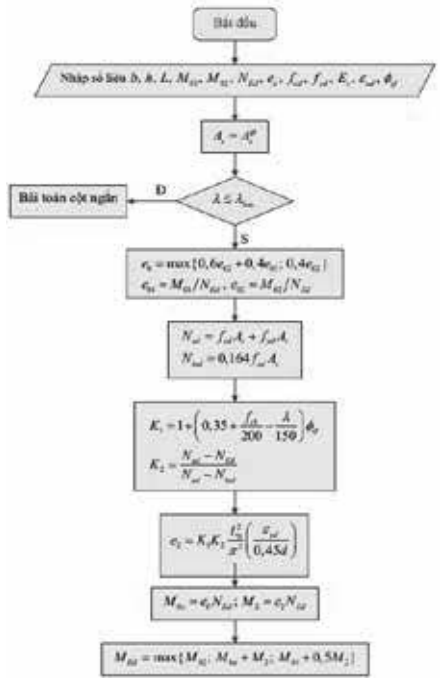
N_{bal} khi cốt thép bố trí đối xứng có thể tính theo công thức gần đúng: $N_{bal} = 0,164 f_{cd} A_c$. (22)



a) Cột trong khung giằng *b) Cột trong khung không giằng*

Hình 6. Biểu đồ mô men trong cột mảnh

Sơ đồ khối tính các bước tính mô men thiết kế M_{Ed} đã tăng do ảnh hưởng của độ mảnh của cột như hình 7, tính toán cốt thép và kiểm tra khả năng chịu lực của cột bạn đọc xem trong tài liệu tham khảo [8]



Hình 7. Sơ khối tính mô men tăng thêm của cột mảnh theo EC2: 2004

3.3. Tiêu chuẩn ACI 318-19 [3]

3.3.1. Điều kiện về độ mảnh của cột

- Đối với cấu kiện chịu nén có giằng chống chuyển vị ngang: $\frac{k\ell_u}{r} \le 34 + 12(\frac{M_1}{M_2})\ \frac{k\ell_u}{r} \le 40$ (23)
- Đối với cấu kiện chịu nén không có giằng chống chuyển vị ngang: $\frac{k\ell_u}{r} \le 22$ (24)

Trong đó:

K: Hệ số chiều dài của cột; l_u: là chiều dài (thông thủy) của cột;

r: là bán kính quán tính; M_1và M_2 là mô men 2 đầu cột.

3.3.2. Tính toán mô men tăng thêm trong cột mảnh

- Đối với cột trong khung giằng

Các cột phải được thiết kế cho tổ hợp các tải trọng dọc trục có hệ số P_u và các mô men có hệ số đã khuếch đại $M_c = \delta_{ns}M_2$(25)

Trong đó:

δ_{ns}: Hệ số khuếch đại mô men dùng để tính đến các hiệu ứng bậc hai được xác định theo công thức:

$$\delta_{ns} = \frac{C_m}{1-\frac{P_u}{\phi P_c}} \ge 1.0 \quad (26)$$

C_m: Hệ số liên quan đến biểu đồ mô men thực tế và biểu đồ mô men tương đương phân bố đều:

$$C_m = 0{,}6 - 0.4\frac{M_1}{M_2} \quad (27)$$

- Đối với cột trong khung không giằng

$$M_1 = M_{1ns} + \delta_s M_{1s} \quad (28)$$

$$M_2 = M_{2ns} + \delta_s M_{2s} \quad \delta_s = \frac{1}{1-\frac{P_u}{\phi P_c}} \quad (29)$$

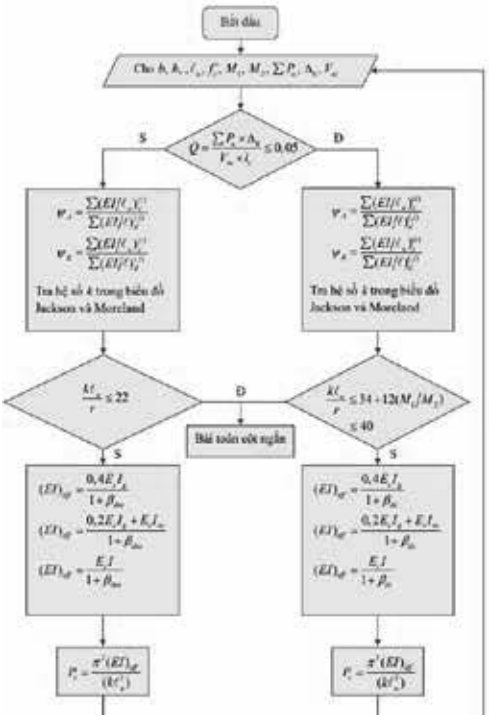
Trong đó:

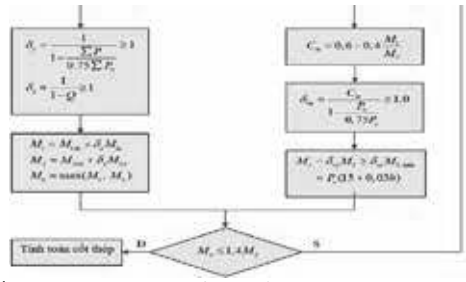
M_{1ns}, M_{2ns},: Mô men 2 đầu cột của trường hợp tải trọng không gây chuyển vị ngang đầu cột (Tĩnh tải, hoạt tải sử dụng…);

M_{1s}, M_{2s},: Mô men 2 đầu cột của trường hợp tải trọng gây chuyển vị ngang đầu cột (Gió, động đất…);

δ_s- hệ số ảnh hưởng uốn dọc làm tăng mô men của cột.

Sơ đồ khối tính các bước tính Mô men thiết kế M_c đã tăng do ảnh hưởng của độ mảnh của cột như hình 8, tính toán cốt thép và kiểm tra khả năng chịu lực của cột bạn đọc xem trong tài liệu tham khảo [8]

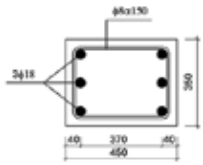




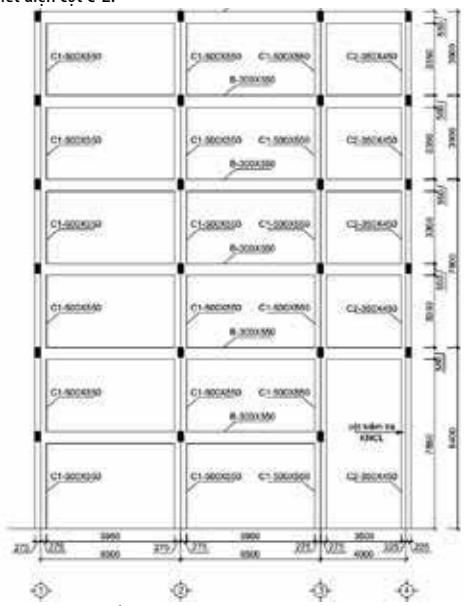
Hình 8. Sơ khối tính mô men tăng thêm của cột mảnh theo ACI 318:2019

4. KHẢO SÁT KHẢ NĂNG CHỊU LỰC CỦA CỘT MẢNH THEO CÁC TIÊU CHUẨN

4.1. Bài toán 1



Hình 9. Tiết diện cột C-2.

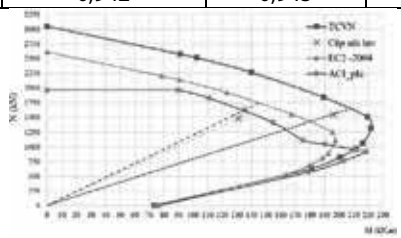


Hình 10. Sơ đồ khung phẳng BTCT

Kiểm tra khả năng chịu lực của cột C-2 có tiết diện và bố trí cốt thép như hình 9 thuộc khung phẳng BTCT (Hình 10), vật liệu khung bê tông B30; nhóm cốt thép CB400-V theo 3 tiêu chuẩn TCVN 5574:2018, EC2:2004 và ACI 318:2019. Tải trọng gió được tính theo TCVN 2737-2023, hệ số tổ hợp tải trọng được lấy tương ứng với TCVN 2737-2023, ACI 318, ASCE 7-22 và EC0-2002.

Bảng 1. Tỷ số khả năng chịu lực của cột (D/C) bài toán 1

Tiêu chuẩn	TCVN 5574:2018	ACI 318:2019	EC2:2004
Hệ số D/C	0,942	0,943	0,935



Hình 11. Biểu đồ tương tác của cột bài toán 1

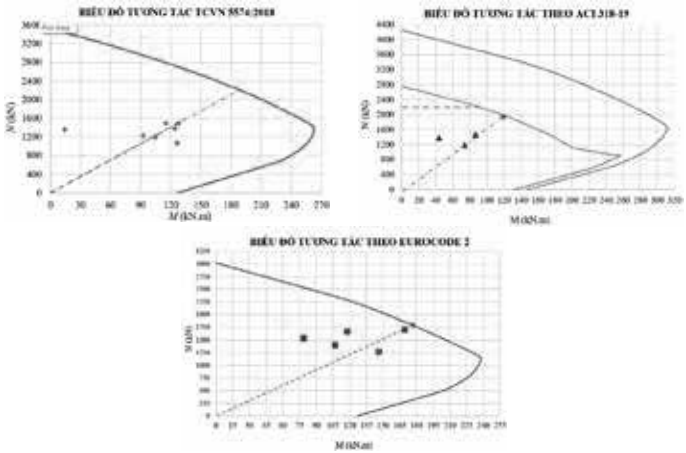
Từ Bảng 1 và Hình 11 cho thấy kết quả kiểm tra khả năng chịu lực của cột thông qua tỷ số Demand/Capacity (D/C) giữa các tiêu chuẩn có sai khác nhỏ.

4.2. Bài toán 2

Sơ đồ khung và tiết diện thép cột giống bài toán 1; điểm khác là tải trọng gió và hệ số tổ hợp tải trọng được lấy tương ứng với TCVN 2737-2023, ACI 318, ASCE 7-22 và EC0-2002.

Bảng 2. Tỷ số khả năng chịu lực của cột (D/C) bài toán 2

Tiêu chuẩn	TCVN 5574:2018	ACI 318-19	EC2-2004
Hệ số D/C	0,676	0,733	0,960



Hình 12. Biểu đồ tương tác của cột bài toán 2

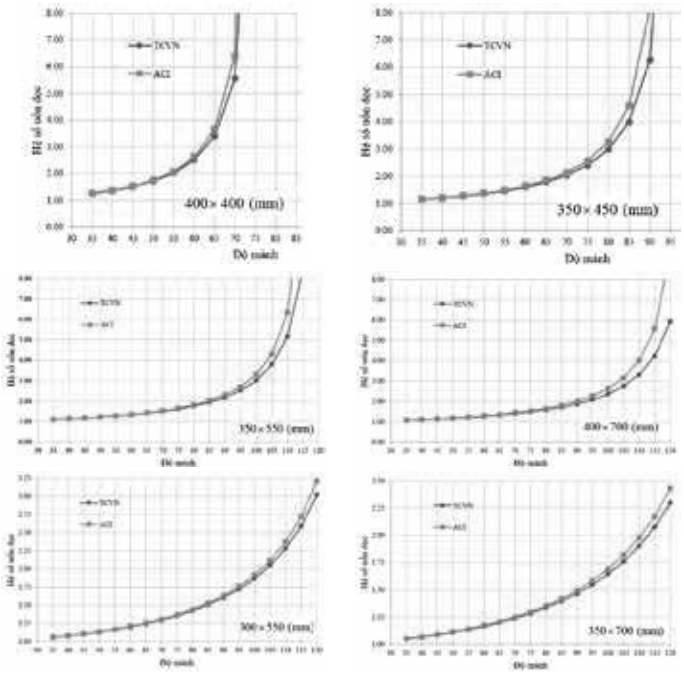
Kết quả kiểm tra khả năng chịu lực của cột cho thấy tính theo tiêu chuẩn EC2-2004 cho tỷ số D/C lớn hơn TCVN 5574-2018 là 29,58% và ACI 318-19 là 23,65 % có nguyên nhân chính là khi tính gió theo EC1-4-2002, hệ số ce(z) lớn hơn so với TCVN 2737-2023 và ASCE 7:2022.

4.3. Bài toán 3

Lập bảng tính và khảo sát cột mảnh BTCT chịu nén lệch tâm phẳng theo tiêu chuẩn TCVN 5574:2018; ACI 318:2019 với lực nén dọc trục lần lượt P=(0,7;0,5;0,3)P_{max} với P_{max} là khả năng chịu lực của cột ngắn nén đúng tâm, độ lệch tâm e=0,25h, độ mảnh thay đổi từ 35 đến 120. Cột sử dụng vật liệu bê tông B30, cốt thép CB300-V,

Bảng 3. Kết quả khảo sát quan hệ giữa độ mảnh (λ) và hệ số ảnh hưởng uốn dọc (η)

TT	Tiết diện	Tỷ lệ h/b	Hàm lượng thép (%)	η không quá 1,4	Lực tới hạn đạt giá trị P_{cr}
1	400 ×400	1,00	2,11%	λ=40; 45; 60	λ=75; 90; 115
2	350 ×450	1,29	1,75%	λ=50; 60; 75	λ=95; 110; >120
3	350 ×550	1,57	1,70%	λ=60; 75; 95	λ=115; >120; >120
4	400 ×700	1,75	1,19%	λ=65; 80; 100	λ >120
5	300 ×550	1,83	1,99%	λ=75; 90; 115	λ >120
6	350 ×700	2,00	1,70%	λ=80; 95; 120	λ >120



Hình 13. Biểu đồ quan hệ độ mảnh và hệ số uốn dọc (khuếch đại mô men)

- Hệ số uốn dọc η tăng dần theo độ mảnh λ.
- Với cột vuông, theo TCVN 5574-2018 mô men do ảnh hưởng uốn dọc kiểm tra tăng không quá 1,4 (theo điều kiện ACI 318:2019 [3]) thì độ mảnh giới hạn tương ứng là là λ=40; 45; 60.
- Theo TCVN 5574-:018 và ACI 318:2019 lực tới hạn đạt giá trị P_{cr} thì độ mảnh giới hạn là λ=75; 90; 115.

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã đưa ra được quy trình và sơ đồ khối tính toán hệ số ảnh hưởng uốn dọc (hệ số khuếch đại mô men) khi tính toán cột mảnh BTCT theo 3 tiêu chuẩn TCVN 5574:2018. EC2:2004 và ACI 318:2019. Qua khảo sát số cho thấy theo TCVN 5574:2018 với cột mảnh BTCT tiết diện vuông, theo điều kiện $P<P_{cr}$ thì độ mảnh giới hạn của cột nên lấy nhỏ hơn 75, còn nếu để hệ số tăng mô men do ảnh hưởng uốn dọc không tăng quá 1,4 (theo điều kiện ACI 318:2019 [3]) thì độ mảnh giới hạn nên lấy nhỏ hơn 40.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] TCVN 5574:2018. Thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép. NXB. Xây dựng, Hà Nội, 2018.

[2] TCVN 2737:2023. Tải trọng và tác động. NXB. Xây dựng, Hà Nội, 2023.

[3] ACI 318-19. Building Code Requirements for Structural Concrete. American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 2019.

[4] ASCE/SEI 7-22. Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures. Reston, Virginia, 2022.

[5] Eurocode 2 (EC2). Design of Concrete Structures - Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings. Brussels, Belgium, 2004.

[6] Eurocode 1 (EC1). Actions on Structures - Part 1-4: General Actions - Wind Actions. Brussels, Belgium, 2002.

[7] Phan Quang Minh, Ngô Thế Phong, Nguyễn Trường Thắng, Võ Mạnh Tùng. Kết cấu bê tông cốt thép - Phần cấu kiện cơ bản. NXB. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2021.

[8] Phạm Thanh Tùng, Trần Việt Tâm. Tính toán cột bê tông cốt thép theo tiêu chuẩn TCVN 5574:2018, EC2-2004 và ACI 318-2019. NXB. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2022.

■Ngày nhận bài: 07/4/2026 ■Ngày sửa bài: 10/5/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 25/5/2026

Nghiên cứu của khối lượng di động đến đặc điểm dao động của tấm làm bằng vật liệu cơ tính biến thiên trên nền đàn hồi

Influence of moving mass on the oscillation characteristics of functionally graded plate resting on elastic medium

> TRẦN THĂNG LONG[1,*], NGUYỄN THẾ GIỚI[2]
[1]Khoa Ô tô, Trường Đại học Trần Đại Nghĩa
[2]Khoa Kỹ thuật Ô tô, Trường Cao đẳng Giao thông vận tải
[*]Email: tranthanglong@tdnu.edu.vn

TÓM TẮT

Dựa trên lý thuyết cắt bậc nhất Mindlin và phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH), bài báo tập trung nghiên cứu đặc điểm dao động của tấm vật liệu cơ tính biến thiên (FGM) đặt trên nền đàn hồi Winkler dưới tác dụng đồng thời của nhiều khối lượng di động. Sử dụng phần tử tấm 4 nút với 5 bậc tự do tại mỗi nút, các ma trận độ cứng, ma trận khối lượng, ma trận cản và véc tơ lực được xây dựng một cách hệ thống. Độ chính xác của mô hình đề xuất đã được khẳng định thông qua sự trùng khớp với các kết quả công bố trước đó. Ngoài ra, bài báo còn khảo sát một cách toàn diện ảnh hưởng của các tham số vật liệu, nền đàn hồi và tải trọng di động đến đáp ứng động lực học của tấm. Những kết quả này không chỉ có ý nghĩa khoa học mà còn mang tính thực tiễn cao, làm cơ sở quan trọng cho việc tính toán và thiết kế kết cấu tấm FGM trong điều kiện chịu tải trọng động phức tạp.

Từ khóa: Dao động cưỡng bức; tải di động; nền đàn hồi; phần tử hữu hạn.

ABSTRACT

Based on Mindlin's first-order shear theory and the finite element method, this paper focuses on studying the vibration characteristics of a functionally graded material (FGM) plate placed on a Winkler elastic foundation under the simultaneous action of multiple moving masses. Using a 4-node plate element with 5 degrees of freedom at each node, the stiffness matrix, mass matrix, damping matrix, and force vector are systematically constructed. The accuracy of the proposed model has been confirmed through its agreement with previously published results. In addition, the paper comprehensively investigates the influence of material parameters, the elastic foundation, and moving loads on the dynamic response of the plate. These results are not only scientifically significant but also highly practical, providing an important basis for the calculation and design of FGM plate structures under complex dynamic loading conditions..

Keywords: Forced vibration; moving load; foundations; finite element method.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong những năm gần đây, vật liệu cơ tính biến thiên (Functionally Graded Materials - FGM) đã được các nhà nghiên cứu phát triển nhằm cải thiện tính chất cơ nhiệt của các kết cấu làm việc trong môi trường nhiệt độ cao, điển hình như trong lĩnh vực hàng không vũ trụ và kỹ thuật hạt nhân [1]. Đặc trưng nổi bật của loại vật liệu này là sự biến đổi liên tục các tính chất theo không gian, qua đó khắc phục được hiện tượng tập trung ứng suất thường xuất hiện trong vật liệu composite nhiều lớp. Chính nhờ ưu điểm này, các nghiên cứu về uốn tĩnh, ổn định, dao động tự do và dao động cưỡng bức dưới tác dụng của tải trọng khác nhau đối với dầm, tấm và vỏ FGM đã ngày càng trở nên quan trọng trong những thập kỷ qua [2-3]. Phần lớn các nghiên cứu kể trên tập trung vào ứng xử động lực học của dầm FGM chịu tải trọng di động. Bên cạnh đó, trên thế giới cũng đã có nhiều công trình phân tích tấm FGM chịu tác dụng của tải trọng di động, tiêu biểu như các nghiên cứu [4-6].

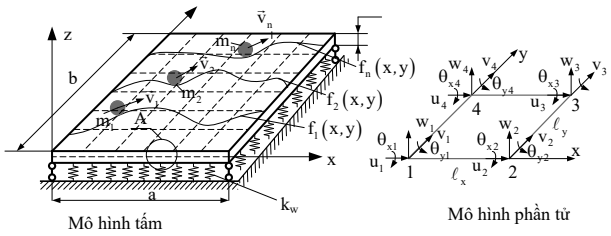
Tuy nhiên, hầu hết các công bố hiện nay mới chỉ dừng lại ở mô hình tấm chịu tác dụng của một khối lượng di động và chưa xét đến sự có mặt đồng thời của nền đàn hồi. Do đó, việc nghiên cứu kết cấu tấm FGM chịu tác dụng của nhiều khối lượng di động trên nền đàn hồi mang ý nghĩa khoa học và giá trị thực tiễn. Trong bài báo này, phương pháp PTHH được sử dụng dựa trên lý thuyết tấm Reissner-Mindlin với phần tử đẳng tham số 4 nút, mỗi nút có 5 bậc tự do

2. MÔ HÌNH NGHIÊN CỨU

Khảo sát tấm hình chữ nhật mỏng làm bằng vật liệu cơ tính biến thiên FGM (Hình 1), tấm được đặt trên nền đàn hồi chịu tác dụng đồng thời của hệ khối lượng di động trên mặt phẳng của tấm với

quỹ đạo được cho trước, chúng có khối lượng lần lượt là m_i và vận tốc tương ứng là v_i. Toàn bộ kết cấu tấm được đặt trên nền đàn hồi Winkler với hệ số độ cứng là k_w. Các thành phần cơ tính của vật liệu FGM được cho như sau [6]:

$$\begin{cases} E(z) = E_m + (E_c - E_m)\left(\dfrac{z}{h} + 0.5\right)^k; \\ \rho(z) = \rho_m + (\rho_c - \rho_m)\left(\dfrac{z}{h} + 0.5\right)^k; \\ \nu(z) = \nu = const. \end{cases} \quad (1)$$



Hình 1. Mô hình tấm FGM trên nền đàn hồi chịu tác dụng của nhiều khối lượng di động

3. CƠ SỞ TOÁN HỌC

Đối tượng nghiên cứu theo các nghiên cứu [7], [8] ta có phương trình vi phân mô tả dao động của hệ:

$$[M].\{\ddot{q}\} + [C].\{\dot{q}\} + [K].\{q\} = \{P(t)\} \quad (2)$$

trong đó

$$[M] = \sum_{j=1}^{m}\left[M^e\right]_j,\ [C] = \sum_{j=1}^{m}\left[C^e\right]_j,\ [K] = \sum_{j=1}^{m}\left[K^e\right]_j \quad (3)$$

Chú ý rằng dấu $\sum_{j=1}^{m}$ là tổng quy ước, ta có thể hiểu là phép cộng có sắp xếp khi ghép nối m phần tử của kết cấu tấm, j là ký hiệu phần tử thứ j của tấm.

- $\{P(t)\}$ là các véctơ tải trọng nút tổng thể được xác định từ véctơ tải trọng nút phần tử

- $\{q\},\ \{\dot{q}\},\ \{\ddot{q}\}$ tương ứng là vectơ chuyển vị nút, vectơ vận tốc, vectơ gia tốc nút

Xét phần tử hình chữ nhật 4 nút, mỗi nút có 5 bậc tự do, có kích thước $\ell_x x \ell_y$, chiều dày h (Hình 1b).Vì bài báo tính toán tấm chịu tác dụng đồng thời của nhiều khối lượng di động, nên trước hết ta tính các ma trận bổ sung do khối lượng thứ m_i gây ra. Ta có các thành phần ma trận do tải trọng động di chuyển gây ra như sau:

$$[M_P]_i = \sum_{i=1}^{N}\left[M_P^e\right]_i,\ [C_P]_i = \sum_{i=1}^{N}\left[C_P^e\right]_i,\ [K_P]_i = \sum_{i=1}^{N}\left[K_P^e\right]_i \quad (4)$$

$$\left\{P_i^e(t)\right\} = -\left[N(\xi_i,\eta_i)\right]^T.\left(P_i(t) + m_i g\right) \quad (5)$$

$$\left[M_P^e\right]_i = m_i\left(\left[N(\xi_i,\eta_i)\right]^T\left[N(\xi_i,\eta_i)\right]\right) \quad (6)$$

$$\left[C_P^e\right]_i = 2m_i\left[N(\xi_i,\eta_i)\right]^T\left(\left[N_x(\xi_i,\eta_i)\right]\dot{x}_i + \dot{y}_i\left[N_y(\xi_i,\eta_i)\right]\right) \quad (7)$$

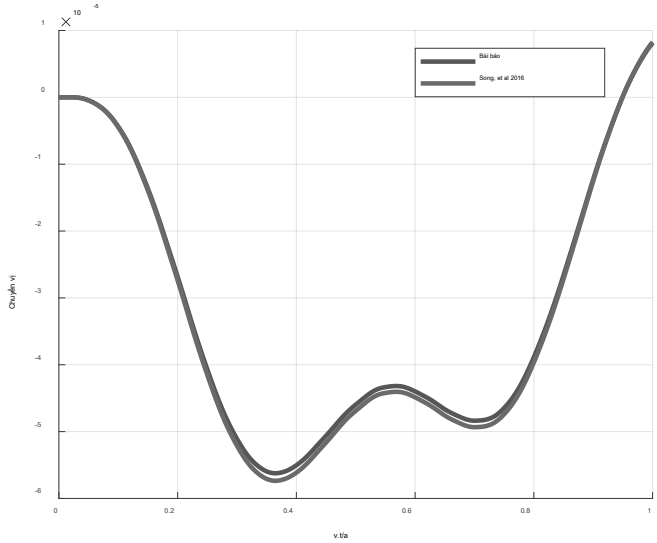
$$\left[K_p^e\right]_i = m_i\left[N(\xi_i,\eta_i)\right]^T\begin{pmatrix}\left[N_{xx}(\xi_i,\eta_i)\right]\dot{x}_i^2 + \left[N_{yy}(\xi_i,\eta_i)\right]\dot{y}_i^2 + \\ +2\left[N_{xy}(\xi_i,\eta_i)\right]\dot{x}_i\dot{y}_i + \\ +\left[N_x(\xi_i,\eta_i)\right]\ddot{x}_i + \left[N_y(\xi_i,\eta_i)\right]\ddot{y}_i\end{pmatrix} \quad (8)$$

Các ma trận do các khối lượng khác gây ra, đến phần tử nào, ta cộng vào hệ phương trình vi phân mô tả dao động và chương trình tính đến đó. Giải hệ phương trình (2) bằng phương pháp tích phân trực tiếp Newmark-beta [8] ta sẽ nhận được chuyển vị, vận tốc và gia tốc của các nút trên kết cấu.

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

4.1. Bài toán kiểm chứng

Dựa trên nghiên cứu của Thơm và cộng sự [5], số lượng phần tử tấm được sử dụng là 16x16 sẽ cho sự hội tụ và kết quả số chính xác. Đầu tiên, trên Hình 2, mô tả đáp ứng động lực học của tấm tựa đơn trên hai cạnh dài và hai cạnh ngắn để tự do, chịu tác dụng của khối lượng di động và được so sánh với nghiên cứu của Song [6]. Các kích thước tấm được cho là $a = b = 1(m);\ h = 0{,}01a(m)$, đặc trưng vật liệu $E = 206{,}8GPa;\ \mu = 0{,}29;\ \rho = 7820 kg/m^3$. Tấm chịu tải trọng khối lượng di động có m=2,3 kg, di chuyển đi qua đường thẳng giữa tấm (y = b/2) với vận tốc 10m/s. Có thể thấy rằng, các kết quả do bài báo thu được hoàn toàn tương đồng với kết quả đã được công bố.



Hình 2. Đáp ứng chuyển vị tại điểm giữa tấm chịu tác dụng của khối lượng di động

4.2. Sự thay đổi của hệ số mũ vật liệu

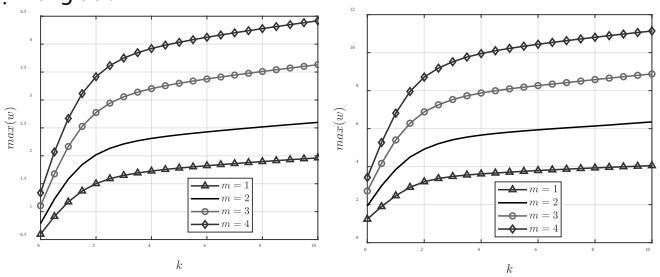
Xét tấm làm bằng vật liệu Al/Al_2O_3 có a=b=1 m, h=0,02 m chịu liên kết ngàm (CCCC) và tựa đơn (SSSS) trên tất cả các cạnh. Các thuộc tính cơ học của vật liệu gồm: $Ec = 380GPa; Em = 70GPa;$ $\rho_c = 3800 kg/m^3; v_c = 0{,}3;\ \rho_m = 2702 kg/m^3; v_m = 0{,}3$, k_w = 10e5 (N/m^3), có k = 0,5. Tấm chịu tác dụng đồng thời của 4 khối lượng di động có khối lượng tương ứng là $m_i = 10.0(kg)$ và vận tốc $v_{0i} = 5$ m/s trên các quỹ đạo trong hai trường hợp .

TH1: chuyển động cùng quỹ đạo với quy luật $x_i = v_{0i}(t - t_{0i});\ y_i = \dfrac{b}{2}$.

TH2: chuyển động trên các quỹ đạo khác nhau với quy luật $x_i = v_{0i}(t - t_{0i}),\ y_i = i\dfrac{b}{S\lg(m)}$, (Slg(m) là số lượng khối lượng di động trên tấm). Với mỗi tải trọng chuyển động cách nhau với khoảng thời gian cách nhau $\Delta t_i = 0.05s;\ t \in [0,\ T];\ T = \dfrac{a}{v_{0i}} + \sum_{i=1}^{so_n-1}\Delta t_i$.

- Chuyển vị tại giữa tấm không thứ nguyên: $w = \dfrac{h^3.Ec}{P_1 a^4} w_c\left(\dfrac{a}{2},\ \dfrac{b}{2}\right)$.

Bài báo thay đổi chỉ số mũ vật liệu k từ 0 đến 10, ta vẽ được đồ thị biến đổi của chuyển vị tại điểm giữa tấm phụ thuộc vào sự biến đổi của số mũ k thể hiện như trên Hình 3. Các kết quả cho thấy khi hệ số vật liệu k tăng từ 0 đến 2, chuyển vị lớn nhất không thứ nguyên biến đổi nhiều và tăng lên ở các điều kiện biên khác nhau. Khi k tăng từ 2 đến 10 thì sự biến đổi của chuyển vị lớn nhất không đáng kể và dần tiến đến một giá trị không đổi.

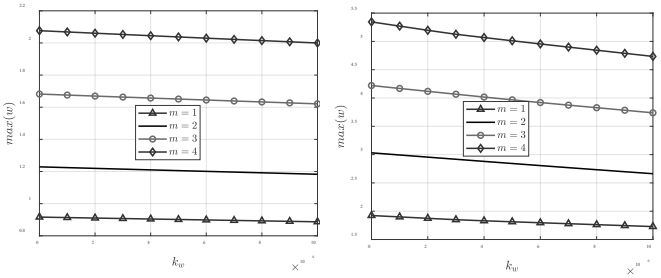


a) CCCC b) SSSS

Hình 3. Đáp ứng động tại điểm giữa tấm theo thời gian khi số mũ vật liệu thay đổi

4.3. Sự thay đổi của hệ số độ cứng nền đàn hồi

Ở đây, bài báo khảo sát ảnh hưởng của độ cứng nền đàn hồi đến độ võng lớn nhất của tấm dưới tác dụng của các khối lượng di động khác nhau và được trình bày như trên hình 4. Dễ dàng nhận thấy ra rằng, khi độ cứng nền đàn hồi tăng lên sẽ làm cho đáp ứng độ võng giảm xuống vì lúc này độ cứng tổng thể của tấm lớn hơn.



a) CCCC b) SSSS

Hình 4. Đáp ứng động tại điểm giữa tấm theo thời gian độ cứng nền đàn hồi thay đổi

5. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày thuật toán PTHH nhằm phân tích ứng xử động lực học của tấm FGM chịu tác dụng đồng thời của nhiều khối lượng di động. Trên cơ sở thuật toán đã đề xuất và chương trình tính toán được xây dựng, các khảo sát tham số được thực hiện nhằm đánh giá ảnh hưởng của số lượng tải trọng, vận tốc di chuyển, hệ số nền đàn hồi và chỉ số mũ thể tích vật liệu đến đáp ứng động của tấm. Kết quả phân tích cho thấy các yếu tố kể trên đều có ảnh hưởng rõ rệt đến chuyển vị và trạng thái ứng suất trong tấm, với các mức độ tác động khác nhau. Đây là cơ sở trong tính toán tối ưu hệ kết cấu chịu tải trọng phức tạp trong kỹ thuật và đời sống xã hội.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Birman V, Byrd LW. Modeling and analysis of functionally graded materials and structures. ASME Appl Mech Rev, no. 60, pp. 195-216, 2007.

[2] Chu Quốc Thắng. Phương pháp phần tử hữu hạn. NXB. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 1997.

[3] Đỗ Anh Cường, Tạ Hữu Vinh. Tương tác giữa kết cấu hệ thanh và tải trọng di động có liên kết đàn hồi và giảm chấn. Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật, số 106, tr. 60-67, 2004.

[4] Vũ Đỗ Long, Trịnh Thị Hiền, Khúc Văn Phú. Tính toán dao động tấm chữ nhật FGM có gân gia cường trên nền đàn hồi. Tuyển tập Hội nghị khoa học toàn quốc "Vật liệu và kết cấu Composite Cơ học, Công nghệ và Ứng dụng", NXB. Xây dựng, Hà Nội, tr. 424 - 431, 2016.

[5] Đỗ Văn Thơm, Phạm Tiến Đạt. Phân tích động lực học tấm FGM có gân gia cứng. Tuyển tập Hội nghị khoa học toàn quốc kỷ niệm 35 năm thành lập Viện Cơ học, tr. 403 - 408, 2014.

[6] Qinghua Song, Jiahao, Zhangqiang Liu, Yi Wan. Dynamic analysis of rectangular thin plates of arbitrary boundary conditions under moving load. International Journal of Mechanical Sciences, no. 117, pp.16-29, 2016.

[7] A.R. de Faria, D.C.D. Finite element analysis of the dynamic response of plate under traversing load using adaptive meshes, Thin - Walled Structures, no. 42, pp. 1481-1493, 2004.

[8] Zienkiewicz. The finite element method. McGraw - Hill, New York, 1998.

■Ngày nhận bài: 06/4/2026 ■Ngày sửa bài: 17/4/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 05/5/2026

Thiết kế kết cấu bê tông cốt thép đảm bảo khả năng chịu lửa theo quy chuẩn và tiêu chuẩn kỹ thuật quốc gia

Fire-resistant design of reinforced concrete structures to national technical regulations and design standards

> NGUYỄN TUẤN NINH[1], NGUYỄN KIM QUẢNG[2], ĐẶNG VIỆT HƯNG[3], NGUYỄN TRƯỜNG THẮNG[3]
[1]Công ty CP Công nghệ Xây dựng, Tư vấn và Thiết kế RD
[2]Công ty TNHH Tư vấn Đại học Xây dựng
[3]Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

TÓM TẮT

Bài báo này giới thiệu các quy định về thiết kế đảm bảo khả năng chịu lửa cho kết cấu bê tông cốt thép (BTCT) trong quy chuẩn và tiêu chuẩn kỹ thuật quốc gia (viết tắt tương ứng là QCVN và TCVN). Nghiên cứu tổng quan cho thấy trong số các quy chuẩn và tiêu chuẩn của các nước tiên tiến trên thế giới, các tiêu chuẩn thiết kế kết cấu chịu lửa của Liên bang Nga và của châu Âu có thể được sử dụng phổ biến tại Việt Nam. Sau khi điểm qua những điều khoản quy định cho kết cấu BTCT trong Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về an toàn cháy cho nhà và công trình QCVN 06:2022/BXD, và Sửa đổi 01:2023 QCVN 06:2022/BXD, các tác giả giới thiệu một số nội dung liên quan trong TCVN 14014:2025 - Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Nguyên tắc đảm bảo khả năng chịu lửa và khả năng bảo toàn sau cháy. Nội dung thảo luận trong bài báo cho thấy việc chuẩn bị hành lang kỹ thuật về thiết kế kết cấu BTCT chịu lửa là theo đúng định hướng và có thể được áp dụng hiệu quả trong thực tế tại Việt Nam.

Từ khóa: Thiết kế; kết cấu; bê tông cốt thép; khả năng chịu lửa; quy chuẩn; tiêu chuẩn.

ABSTRACT

This paper introduces the requirements on the fire-resistant design of reinforced concrete (RC) structures specified in national technical codes and design standards (abbreviated as QCVN and TCVN, respectively). A literature review indicates that among the various codes and standards of advanced nations worldwide, the fire-resistant structural design standards of the Russian Federation and the European countries (Eurocodes) are highly applicable and can be widely adopted in Vietnam. After reviewing design provision for RC structures in QCVN 06:2022/BXD and its Amendment 01:2023 QCVN 06:2022/BXD, the authors introduce the key relevant contents from TCVN 14014:2025 - Concrete and reinforced concrete structures – Principles for ensuring of fire resistance and post-fire capacity. The discussions in this paper demonstrate that establishing this technical framework for fire-resistant RC structural design aligns with the current strategic orientations and can be effectively implemented in practice in Vietnam.

Keywords: Design; structure; reinforced concrete; fire resistance; code; standard.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Kết cấu BTCT là một trong những loại kết cấu thông dụng nhất trên thế giới, các công trình nghiên cứu về giới hạn chịu lửa của chúng đã sớm được thực hiện tại các nước Bắc Mỹ, châu Âu và các quốc gia khác, với nhiều yếu tố được khảo sát như đường gia nhiệt, loại cốt liệu, tính chất cơ lý ở nhiệt độ cao của bê tông và cốt thép, quan hệ ứng suất - biến dạng, hình dáng kích thước tiết diện ngang, sự phân phối lại nội lực, v.v… Kết quả nghiên cứu đã được sử dụng để cập nhật cho các yêu cầu kỹ thuật và cải tiến các phương pháp tính toán được giới thiệu trong các tiêu chuẩn thiết kế tương ứng. Tại Hoa Kỳ, tiêu chuẩn ACI 216.14 [1] mô tả các phương pháp có thể chấp nhận được để xác định khả năng chống cháy của các cấu kiện bê tông cốt thép và khối xây cũng như các bộ phận kết cấu. Các phương pháp này được sử dụng cho mục đích thiết kế và phân tích và phải dựa trên khả năng tiếp xúc với lửa và các tiêu chí áp dụng đường gia nhiệt theo ASTM E119 [2]. Tại các nước trong Liên minh châu Âu, tiêu chuẩn EN 1992-1-2 [3] đưa ra các quy định chung cho thiết kế kết cấu BTCT chịu lửa, gồm ba phương pháp tính toán là: (i) Phương pháp bảng tra; (ii) Phương pháp tính toán đơn giản hóa; và (iii) Phương pháp tính toán nâng cao. Đối tượng và phạm vi áp dụng của ba phương pháp này được liệt kê trong Bảng 1. Cần chú ý rằng hệ thống tiêu chuẩn châu Âu áp dụng đường gia nhiệt tiêu chuẩn theo ISO 834 [4].

Bảng 1. Các phương pháp tính toán chịu lửa của tiêu chuẩn EN 1992-1-2 [3]

	Phương pháp bảng tra	Phương pháp tính toán đơn giản hóa	Phương pháp tính toán nâng cao
Phân tích một cấu kiện	Có thể áp dụng cho đường gia nhiệt tiêu chuẩn	Có thể áp dụng cho đường gia nhiệt tiêu chuẩn	Chỉ đưa ra các nguyên tắc
Phân tích một nhóm cấu kiện	Không đề cập	Có thể áp dụng cho đường gia nhiệt tiêu chuẩn	Chỉ đưa ra các nguyên tắc
Phân tích cả hệ kết cấu	Không đề cập	Không đề cập	Chỉ đưa ra các nguyên tắc

Tại các quốc gia khác, các yêu cầu nhằm đảm bảo khả năng chịu lửa cho kết cấu BTCT được đưa ra trong các tiêu chuẩn thiết kế của Australia (AS 3600) [5], Trung Quốc (GB 20016) [6] Singapore (Quy chuẩn thực hành phòng cháy cho công trình nhà) [7]. Với kết cấu BTCT, Singapore sử dụng phiên bản của Vương quốc Anh (BS EN 1992-1-2) với bộ Phụ lục quốc gia NA SS to EN 1992-1-2. Tại Liên Bang Nga, Tiêu chuẩn SP 468.1325800.2019 [8] cung cấp thông tin về thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép chịu lửa đầy đủ và đồng bộ với các phiên bản năm 2018 của tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông và BTCT ở nhiệt độ thường SP 63.13300 [9], là tài liệu cơ sở để soạn thảo TCVN 5574:2018 [10].

Tại Việt Nam, Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về an toàn cháy cho nhà và công trình QCVN 06 được Bộ Xây dựng liên tục cập nhật trong thời gian gần đây [11-15]. Quy chuẩn quy định giới hạn chịu lửa của cấu kiện BTCT thông qua các bảng số liệu về giá trị nhỏ nhất của kích thước tiết diện ngang và chiều dày lớp bê tông bảo vệ cốt thép chịu lực chính. Tuy nhiên, Quy chuẩn không đưa ra hướng dẫn cho việc tính toán chi tiết giới hạn chịu lửa của cấu kiện BTCT. Do vậy, rất cần thiết ban hành sớm tiêu chuẩn thiết kế cũng như hướng dẫn thiết kế cho vấn đề này tại Việt Nam. Trên thực tế, một số lượng lớn các tiêu chuẩn quốc gia của Việt Nam (TCVN) được biên soạn dựa trên các tiêu chuẩn tương ứng của Liên Xô (cũ) trước đây và Liên bang Nga ngày nay. Trong khí đó, trong vòng hơn một thập kỷ gần đây, Liên bang Nga cũng liên tục chuyển đổi và cập nhật hệ thống tiêu chuẩn xây dựng theo hướng hài hòa với hệ thống tiêu chuẩn châu Âu và với một phần của tiêu chuẩn ISO để đáp ứng các hiệp định thương mại và giảm thiểu rào cản kỹ thuật nhằm thúc đẩy giao thương với các nước trong khu vực châu Âu. Như vậy đến năm 2030, việc cập nhật và biên soạn TCVN theo các tiêu chuẩn mới của Liên bang Nga có thể được xem và một hình thức song hành và một bước đệm hợp lý cho việc chuyển đổi hoàn toàn sang hệ thống tiêu chuẩn châu Âu từ năm 2030 theo định hướng trong văn bản gần đây của chính phủ Việt Nam [16].

Năm 2023, Bộ Xây dựng ban hành Sửa đổi 1:2023 QCVN 06:2022/BXD [15] trong đó quy định một số sửa đổi về an toàn cháy cho nhà và công trình liên quan chủ yếu tới các lĩnh vực Kiến trúc và Cơ Điện, các nội dung không nêu tại phiên bản sửa đổi này sẽ được tiếp tục áp dụng theo QCVN 06:2022/BXD [14,15]. Bài báo này giới thiệu tóm tắt các quy định cho việc xác định giới hạn chịu lửa cho kết cấu BTCT theo QCVN 06:2022/BXD [14] và TCVN 14104:2025 - Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Nguyên tắc đảm bảo khả năng chịu lửa và khả năng bảo toàn sau cháy [17], từ đó đưa ra một số kiến nghị về việc áp dụng vào tình hình thực tế thiết kế kết cấu BTCT chịu lửa tại Việt Nam hiện nay.

2. QUY CHUẨN KỸ THUẬT QUỐC GIA VỀ AN TOÀN CHÁY CHO NHÀ VÀ CÔNG TRÌNH

Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về an toàn cháy cho nhà và công trình QCVN 06:2022/BXD [14] quy định các yêu cầu chung về an toàn cháy cho gian phòng, nhà và các công trình xây dựng và bắt buộc áp dụng trong tất cả các giai đoạn xây dựng mới, cải tạo, sửa chữa hay thay đổi công năng, đồng thời quy định phân loại kỹ thuật về cháy cho các nhà, phần và bộ phận của nhà, cho các gian phòng, cấu kiện xây dựng và vật liệu xây dựng.

Trong QCVN 06:2022/BXD [14], thuật ngữ cơ bản "bậc chịu lửa của nhà, công trình và khoang cháy" được xác định bởi giới hạn chịu lửa của các kết cấu, cấu kiện sử dụng để xây dựng nhà, công trình và khoang cháy đó và được phân từ bậc I đến bậc V. Cần chú ý rằng so với QCVN 06:2021/BXD [12], có một sự khác biệt quan trọng trong việc xác định bậc chịu lửa hiện nay với việc cập nhật QCVN 03:2022/BXD [18] trong đó lược bỏ quy định bậc chịu lửa công trình phụ thuộc vào cấp công trình dùng cho quản lý (phân thành các cấp Đặc biệt, I, II, III và IV). Thay vào đó, bậc chịu lửa của nhà, công trình và khoang cháy được xác định theo diện tích khoang cháy, nhóm nguy hiểm cháy theo công năng và vào số tầng, hay chiều cao phòng cháy chữa cháy (PCCC) của công trình, được định nghĩa là: (i) Khoảng cách lớn nhất tính từ mặt đường cho xe chữa cháy tiếp cận đến mép dưới của lỗ cửa (cửa sổ) mở trên tường ngoài của tầng trên cùng; hoặc (ii) Một nửa tổng khoảng cách tính từ mặt đường cho xe chữa cháy tiếp cận đến mặt sàn và đến trần của tầng trên cùng - khi không có lỗ cửa (cửa sổ); hoặc (iii) Khoảng cách lớn nhất tính từ mặt đường cho xe chữa cháy tiếp cận đến mép trên của tường bao của mái, khi mái nhà được khai thác sử dụng [14].

Quy chuẩn quy định rằng khi thiết kế công trình nhà phải có các giải pháp kết cấu, bố trí mặt bằng - không gian và kỹ thuật công trình để đảm bảo khi xảy ra cháy, nhà vẫn duy trì được tính ổn định tổng thể và tính bất biến hình trong một khoảng thời gian nhất định, được quy định bằng bậc chịu lửa của nhà.

Bên cạnh đó, một thuật ngữ quan trọng khác là "giới hạn chịu lửa" được định nghĩa là khoảng thời gian (tính bằng giờ hoặc bằng phút) từ khi bắt đầu thử chịu lửa theo chế độ nhiệt tiêu chuẩn các mẫu thử cho tới khi xuất hiện một trong các trạng thái giới hạn của kết cấu và cấu kiện. Giới hạn chịu lửa yêu cầu của các cấu kiện xây dựng cụ thể được quy định trong quy chuẩn này và trong các quy chuẩn kỹ thuật cho từng loại công trình và được biểu thị bằng các ký hiệu REI, EI, RE hoặc R kèm theo các chỉ số tương ứng về thời gian chịu tác động của lửa tính bằng phút. Ví dụ cấu kiện có giới hạn chịu lửa yêu cầu là REI 120 nghĩa là cấu kiện phải duy trì được đồng thời cả khả năng chịu lực, tính toàn vẹn và tính cách nhiệt trong 120 phút chịu tác động nhiệt tiêu chuẩn; Cấu kiện có giới hạn chịu lửa yêu cầu là R 60 thì chỉ phải duy trì khả năng chịu lực trong thời gian 60 phút, nhưng không yêu cầu về khả năng cách nhiệt và tính toàn vẹn. Cần chú ý rằng so với QCVN 06:2021/BXD [13], QCVN 06:2022/BXD [14] bổ sung thêm tiêu chí W về mất khả năng hạn chế bức xạ nhiệt do thông lượng nhiệt ở khoảng cách quy định từ bề mặt không bị đốt nóng của cấu kiện đạt giá trị giới hạn.

Mục 2.2.2.2 của Quy chuẩn quy định tiêu chí đảm bảo yêu cầu về giới hạn chịu lửa của một cấu kiện xây dựng liên quan đến một trong những yếu tố sau: (i) Cấu kiện có đặc điểm cấu tạo kỹ thuật tương tự như mẫu thử nghiệm chịu lửa; (ii) Cấu kiện có đặc điểm cấu tạo kỹ thuật phù hợp với cấu kiện nêu trong Phụ lục F; và (iii) Giới hạn chịu lửa của cấu kiện được xác định bằng tính toán theo tiêu chuẩn thiết kế chịu lửa áp dụng không nhỏ hơn giới hạn chịu lửa của cấu kiện đó. Mối quan hệ giữa bậc chịu lửa và giới hạn chịu lửa của cấu kiện xây dựng của nhà, công trình và khoang cháy được biểu thị trong Bảng 2.

Bảng 2. Bậc chịu lửa và giới hạn chịu lửa cho công trình [14]

Bậc chịu lửa của nhà, công trình và khoang cháy	Giới hạn chịu lửa của cấu kiện, không nhỏ hơn						
	Các cấu kiện chịu lực	Tường ngoài không chịu lực	Sàn tầng (bao gồm cả sàn tầng áp mái và sàn trên tầng hầm)	KC mái không có tầng áp mái		Buồng thang bộ	
				Tấm lợp (kể cả tấm lợp có lớp cách nhiệt)	Giàn, dầm, xà gồ	Tường trong	Bậc thang và chiếu thang
I	R 120	E 30	REI 60	RE 30	R 30	REI 120	R 60
II	R 90	E 15	REI 45	RE 15	R 15	REI 90	R 60
III	R 45	E 15	REI 45	RE 15	R 15	REI 60	R 45
IV	R 15	E 15	REI 15	RE 15	R 15	REI 45	R 15
V	Không quy định						

Phụ lục A của QCVN 06:2022/BXD [14] cung cấp các quy định bổ sung về an toàn cháy cho một số nhóm nhà cụ thể, trong đó mục A.2 dành các nhà có chiều cao PCCC từ trên 50 m đến 150 m thuộc các nhóm F1.2, F4.2 và F4.3, với các giá trị giới hạn chịu lửa tối thiểu của một số cấu kiện kết cấu BTCT điển hình được cho trong Bảng 3.

Bảng 3. Giới hạn chịu lửa tối thiểu cho cấu kiện kết cấu theo Phụ lục A.2 [14]

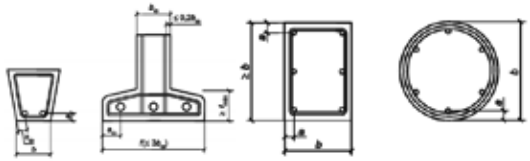
Tên cấu kiện (bộ phận nhà)	Giới hạn chịu lửa tối thiểu cho nhà có chiều cao PCCC, m	
	50-100	100-150
1. Cột chịu lực, tường chịu lực, hệ giằng, vách cứng, giàn, các bộ phận của sàn giữa các tầng và sàn mái của nhà không có tầng áp mái (dầm, xà, bản sàn) (*)	R 150	R 180
2. Tường ngoài không chịu lực	E 60	E 60
3. Sàn giữa các tầng (bao gồm cả sàn tầng mái và sàn tầng hầm)	REI 120	REI 120
4. Các bộ phận của mái *4.1. Tấm lợp* *4.2 Dầm, xà, xà gồ, khung, giàn*	 RE 30 R 30	 RE 30 R 30
5. Các bộ phận của mái dành cho việc thoát nạn, cứu nạn *5.1 Tấm lợp* *5.2 Dầm, xà, xà gồ, khung, giàn*	 RE 120 R 150	 RE 120 R 180
6. Kết cấu buồng thang bộ *6.1 Tường trong* *6.2 Bản thang và chiếu thang*	 REI 150 R 60	 REI 180 R 60

Phụ lục F của QCVN 06:2022 [14] cung cấp các giá trị giới hạn chịu lửa danh định của một số cấu kiện BTCT đơn lẻ của công trình nhà bao gồm vách, tường ngăn trong (không chịu lực), tường bao ngoài (không chịu lực), dầm BTCT và dầm bê tông ứng lực trước, cột (bị tác động nhiệt từ một mặt và từ bốn mặt), sàn (bê tông sử dụng cốt liệu đá vôi hoặc gốc silic). Cần chú ý rằng giá trị giới hạn chịu lửa cho trong các bảng trên chỉ áp dụng cho các kết cấu tĩnh định do được tham khảo từ kết quả của thử nghiệm cháy tiêu chuẩn thực hiện trên các cấu kiện riêng lẻ (isolated members). Trong khi đó, giới hạn chịu lửa của các kết cấu siêu tĩnh phổ biến trong hệ kết cấu thực có thể được tính toán theo các tiêu chuẩn thiết kế được áp dụng. Mặc dù QCVN 06:2022/BXD [14] chỉ cung cấp các số liệu bảng tra, Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia này đề cập tới việc phát triển tiêu chuẩn thiết kế TCVN theo các phương pháp tính toán với điều kiện phù hợp và tương thích với hệ thống hiện hành của Việt Nam.

3. TIÊU CHUẨN QUỐC GIA VỀ ĐẢM BẢO KHẢ NĂNG CHỊU LỬA CHO KẾT CẤU BTCT

Chính phủ Việt Nam đã ban hành định hướng cân nhắc tham khảo áp dụng tiêu chuẩn châu Âu cho hệ thống tiêu chuẩn thiết kế xây dựng của Việt Nam [16]. Một số công trình nghiên cứu về kết cấu BTCT khi cháy đã được thực hiện bởi các nhà khoa học Việt Nam và trong khu vực, tuy nhiên cần thiết phải có thêm những chương trình nghiên cứu dài hạn để đạt được sự tương thích của việc áp dụng tiêu chuẩn châu Âu cho điều kiện Việt Nam. Do vậy, việc tận dụng các tiêu chuẩn thiết kế mới được cập nhật của Liên bang Nga như một bước đệm chuyển tiếp trong ngắn hạn là phù hợp với các lý do sau: (i) Một số lượng lớn các tiêu chuẩn thiết kế hiện tại của Việt Nam đã được biên soạn dựa trên các tiêu chuẩn tương ứng của Liên bang Nga; và (ii) Trong thời gian gần đây, các tiêu chuẩn thiết kế của Liên bang Nga được cập nhật hài hòa hơn với hệ thống tiêu chuẩn châu Âu - một trong những thí dụ điển hình là việc chấp nhận giả thuyết tiết diện phẳng và đưa ra các mô hình biến dạng phi tuyến cho vật liệu trong tính toán kết cấu bê tông cốt thép. Trong xu thế đó, tiêu chuẩn thiết kế kết cấu BTCT chịu lửa của Liên bang Nga SP 468.1325800.2019 [8] gần đây đã được sử dụng làm cơ sở để nghiên cứu áp dụng tính toán kết cấu BTCT trong điều kiện Việt Nam [19-22]. Cuối năm 2025, TCVN 14104:2025 - Kết cấu bê tông và BTCT - Nguyên tắc đảm bảo khả năng chịu lửa và khả năng bảo toàn sau cháy [17] đã được ban hành với 13 mục và 3 phụ lục, cung cấp khá đầy đủ các quy định cần thiết cho việc tính toán kết cấu BTCT chịu lửa - bao gồm phân tích nhiệt kỹ thuật và phân tích kết cấu, các tính chất của vật liệu bê tông và cốt thép khi cháy, các bảng tra, các nguyên tắc tính toán đơn giản hóa và phương pháp tính toán nâng cao.

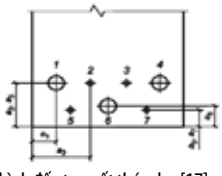
Trong TCVN 14104:2025, thuật ngữ "khoảng cách đến trục cốt thép *a*" được định nghĩa là khoảng cách tính từ bề mặt bị nung nóng gần nhất của cấu kiện đến trọng tâm các cốt thép dọc (Hình 1). Đây là thuật ngữ được sử dụng rất thông dụng trong các tiêu chuẩn thiết kế của nhiều quốc gia khác trên thế giới [3], [5], [6], [8].



Hình 1. Định nghĩa về khoảng cách đến trục cốt thép dọc *a* [17]

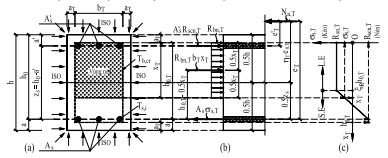
Trong trường hợp cốt thép dọc được bố trí tại các lớp và vị trí khác nhau trong tiết diện cấu kiện bê tông cốt thép (Hình 2), thuật ngữ "chiều dày trung bình của lớp bê tông bảo vệ cốt thép chịu lực" chưa được định nghĩa một cách rõ ràng trong QCVN 06. Trong khi đó, TCVN 14101:2025 quy định khoảng cách trung bình đến trục cốt thép dọc *a* được xác định có kể đến các diện tích tiết diện (ký hiệu A_1, A_2,…A_n) cùng các khoảng cách tương ứng (a_1, a_2, …a_n) đến trục của thanh cốt thép dọc tương ứng, đo từ bề mặt bị đốt nóng gần nhất (mặt dưới hoặc mặt bên) của cấu kiện, theo biểu thức:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^{n} A_i a_i}{\sum_{i=1}^{n} A_i} \quad (1)$$

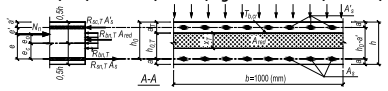


Hình 2. Khoảng cách trung bình đến trục cốt thép dọc [17]

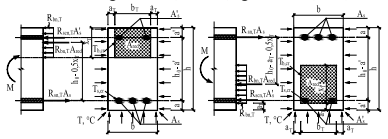
Hình 3, Hình 4 và Hình 5 lần lượt biểu diễn các phép phân tích trên tiết diện thẳng góc (sectional analysis) được TCVN 14104:2025 quy định lần lượt cho các cấu kiện cột, tường và dầm BTCT chịu uốn và chịu nén lệch tâm phẳng khi chịu tác động của chế độ nhiệt tiêu chuẩn (gọi tắt là tác động lửa) từ một hoặc một số mặt của tiết diện.



Hình 3. Phân tích tiết diện cột BTCT chịu tác động lửa từ bốn mặt tiết diện [17]



Hình 4. Phân tích tiết diện tường BTCT chịu tác động lửa từ một mặt [17]



Hình 5. Phân tích tiết diện dầm BTCT khi chịu tác động lửa từ ba mặt tiết diện [17]

Có thể thấy rằng các phép phân tích trong các Hình 3-5 đều dựa trên các nguyên tắc cơ học cơ bản tương tự với phép phân tích trong điều kiện nhiệt độ thường của TCVN 5574:2018 [10], nhưng áp dụng các tính chất đặc thù của vật liệu và sự suy giảm kích thước hình học của tiết diện trong điều kiện cháy, qua đó tạo cơ sở thực hiện tính toán đơn giản hóa và nâng cao để xác định một cách tường minh khả năng chịu lực khi cháy cho các cấu kiện dầm và cột, cũng như các dạng cấu kiện BTCT cơ bản khác trong công trình.

Cần lưu ý rằng, khác với kết cấu tĩnh định, đối với kết cấu siêu tĩnh BTCT, việc không đảm bảo điều kiện độ bền tại một tiết diện có thể chưa gây phá hủy kết cấu ngay do sự hình thành khớp dẻo tại tiết diện này có khả năng phân phối lại nội lực và lần lượt tạo ra các khớp dẻo tại các vị trí khác trong kết cấu cho đến khi hình thành cơ cấu sụp đổ. Như vậy về nguyên tắc, giới hạn chịu lửa của kết cấu siêu tĩnh là cao hơn so với giới hạn chịu lửa của kết cấu tĩnh định có cùng tính chất hình học và vật liệu.

Cũng cần nhấn mạnh rằng cả SP 468.125800.2019 [8] và TCVN 14104:2025 [17] đều sử dụng đường gia nhiệt theo tiêu chuẩn ISO 834 [4] cho chế độ nhiệt tiêu chuẩn, tương tự như với tiêu chuẩn châu Âu EN 1992-1-2 [3].

4. KẾT LUẬN

Nội dung trình bày trong bài báo cho thấy cùng với các quy định mang tính tiền định trong các Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về an toàn cháy cho nhà và công trình QCVN 06:2022/BXD và Sửa đổi 01:2023 QCVN 06:2022/BXD, bao gồm các bảng tra dựa trên cơ sở các thử nghiệm chịu lửa tiêu chuẩn trên cấu kiện tĩnh định, cần thiết phải sớm biên soạn các tiêu chuẩn thiết kế kết cấu nói chung và kết cấu bê tông cốt thép nói riêng tại Việt Nam với các phương pháp tính toán đơn giản hóa và nâng cao, có tích hợp những tính chất làm việc thực tế khi cháy của vật liệu và kết cấu. Việc ban hành TCVN 14104:2025 - Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Nguyên tắc đảm bảo khả năng chịu lửa và khả năng bảo toàn sau cháy, do vậy đã đáp ứng được yêu cầu cấp bách của thực tế. Bên cạnh đó, đây là một bước chuẩn bị hợp lý trong ngắn hạn do tính tương thích của tiêu chuẩn thiết kế này với quy chuẩn quốc gia và với tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông và BTCT ở nhiệt độ thường TCVN 5574:2018, vốn được biên soạn dựa trên cơ sở các tiêu chuẩn gốc của Liên bang Nga. Mặt khác, đây cũng là một bước quá độ để Việt Nam chuẩn bị cho việc áp dụng tiêu chuẩn châu Âu trong dài hạn, do trong thời gian qua hệ thống tiêu chuẩn của Liên bang Nga cũng đã dần hài hòa và tiệm cận hơn với các tiêu chuẩn của các nước tiên tiến trên thế giới.

Tuy nhiên, trong thời gian tới cần tiếp tục chú trọng đầu tư cho các nghiên cứu thực nghiệm trong điều kiện Việt Nam và các nghiên cứu trên mô hình số để thiết lập thư viện dữ liệu phục vụ cho biên soạn các tiêu chuẩn thiết kế, cũng như cho các phương pháp phân tích theo yêu cầu về tính năng để áp dụng cho kết cấu BTCT chịu lửa, làm cơ sở để tiếp tục hoàn thiện hệ thống theo hướng giữ lại những yêu cầu bắt buộc mang tính nguyên tắc chung ở cấp độ Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia (QCVN) và đưa các vấn đề có tính chất chi tiết hóa về các tiêu chuẩn quốc gia (TCVN) tương ứng để phản ánh một cách linh hoạt các yêu cầu thực tế trong hoạt động xây dựng vào công tác thiết kế kết cấu BTCT đảm bảo khả năng chịu lửa tại Việt Nam.

Lời cảm ơn: Bài báo này được thực hiện trong khuôn khổ đề tài khoa học công nghệ mã số 42-2025/KHXD-TĐ của Trường Đại học Xây dựng Hà Nội.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] ACI. Code Requirements for Determining Fire Resistance of Concrete and Masonry Construction Assemblies (ACI 216.1-14). American Concrete Institute, 2019.

[2] ASTM. Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Material (ASTM E119). American Society for Testing and Materials, 2020.

[3] European Committee for Standardization (CEN). Eurocode 2: Design of Concrete Structures - Part 1-2: General Rules - Structural Fire Design (EN 1992-1-2:2004), 2004.

[4] International Organization for Standardization (ISO). Fire Resistance Tests - Elements of Building Construction (ISO 834-1). ISO, Geneva, 1999.

[5] Standards Australia. Concrete Structures (AS 3600:2018). Standards Australia, 2018.

[6] National Standard of the People's Republic of China. Code for Fire Protection in Buildings (GB 50016-2014/2018). China Standards Press, 2016.

[7] Singapore Civil Defence Force (SCDF). Code of Practice for Fire Safety Precautions in Buildings. Singapore, 2023.

[8] Ministry of Regional Development of the Russian Federation. Concrete and Reinforced Concrete Structures - Principal Rules for Structural Fire Resistance and Fire Safety (SP 468.1325800.2019). Moscow, 2019 (in Russian).

[9] Ministry of Regional Development of the Russian Federation. Concrete and Reinforced Concrete Structures - Design Standard (SP 63.13330.2018). Moscow, 2018 (in Russian).

[10] Bộ Khoa học và Công nghệ. TCVN 5574:2018 - Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế. Hà Nội, 2018.

[11] Bộ Xây dựng. QCVN 06:2010/BXD - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về an toàn cháy cho nhà. Hà Nội, 2010.

[12] Bộ Xây dựng. QCVN 06:2020/BXD - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về an toàn cháy cho nhà và công trình. Hà Nội, 2020.

[13] Bộ Xây dựng. QCVN 06:2021/BXD - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về an toàn cháy cho nhà và công trình. Hà Nội, 2021.

[14] Bộ Xây dựng. QCVN 06:2022/BXD - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về an toàn cháy cho nhà và công trình. Hà Nội, 2022.

[15] Bộ Xây dựng. Sửa đổi 1:2023 QCVN 06:2022/BXD - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về an toàn cháy cho nhà và công trình, Hà Nội, 2023.

[16] Bộ Xây dựng. Quyết định số 390/QĐ-BXD về phê duyệt định hướng và kế hoạch ban hành, hoàn thiện hệ thống tiêu chuẩn xây dựng quốc gia, Hà Nội, 2022.

[17] Bộ Khoa học và Công nghệ. TCVN 14104:2025 - Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Nguyên tắc đảm bảo khả năng chịu lửa và khả năng bảo toàn sau cháy, Hà Nội, 2025.

[18] Bộ Xây dựng. QCVN 03:2022/BXD - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về phân cấp công trình và kết cấu phục vụ thiết kế, Hà Nội, 2022.

[19] Thang, N.T., Viet, N.H. Simplified calculation of flexural strength deterioration of T-beams exposed to ISO 834 standard fire. Journal of Science and Technology in Civil Engineering (HUCE), 15(4), 123-135, 2021.

[20] Thang, N.T., Kien, N.T. Calculation of reinforced concrete beams' shear strengths at ambient and fire conditions according to Russian design standards. Journal of Science and Technology in Civil Engineering (HUCE), 15(4), 157-171, 2021.

[21] Hung, D.V., Quan, B.L., Tung, B.T., Thang, N.T. Tính toán giới hạn chịu lửa của dầm bê tông cốt thép tiết diện chữ nhật theo tiêu chuẩn thiết kế SP 468.1325800.2019. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Xây dựng (HUCE), 16(5V), 57-73, 2022.

[22] Hung, D.V., Hang, N.T.N., Linh, N.V., Thang, N.T. Calculation of fire-resistant limit of rectangular concrete beams according to design standard SP 468.1325800.2019. Journal of Science and Technology in Civil Engineering (HUCE), 17(2), 21-34, 2023.

■Ngày nhận bài: 04/5/2026 ■Ngày sửa bài: 19/5/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 01/6/2026

Một số vấn đề đối với tiếng ồn dòng xe trên đường ô tô cao tốc

Some issues related to traffic noise on expressways

> TS NGUYỄN THANH SANG*, PGS.TS HOÀNG QUỐC LONG
Học viện Kỹ thuật Quân sự
*Email: thanhsang.ktqs@lqdtu.edu.vn

TÓM TẮT

Tiếng ồn giao thông trên đường ô tô cao tốc đang trở thành một vấn đề môi trường cấp bách trong bối cảnh mạng lưới hạ tầng giao thông tại Việt Nam phát triển nhanh chóng. Bài báo tập trung phân tích các nguồn gây ồn chính gồm động cơ, tương tác lốp - mặt đường và khí động học. Nghiên cứu làm rõ ảnh hưởng của lưu lượng, thành phần dòng xe, tốc độ khai thác, kết cấu mặt đường và điều kiện địa hình đến sự lan truyền tiếng ồn. Đồng thời, bài báo tổng hợp các phương pháp dự báo, đánh giá và phân tích hiệu quả của các giải pháp giảm thiểu như mặt đường ít ồn, tường chống ồn, tổ chức giao thông và quy hoạch sử dụng đất. Kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học cho việc kiểm soát tiếng ồn, hướng tới phát triển giao thông bền vững.

Từ khóa: QCVN 26:2025/BNNMT; tiếng ồn giao thông; đường ô tô cao tốc; tường chống ồn.

ABSTRACT

Traffic noise on expressways is becoming an urgent environmental issue in the context of the rapid development of transportation infrastructure networks in Vietnam. This paper focuses on analyzing the primary noise sources, including engine noise, tire-pavement interaction and aerodynamic effects. The study clarifies the influence of traffic volume, traffic composition, operating speed, pavement structure and terrain conditions on noise propagation. Furthermore, the paper synthesizes methods for prediction and assessment and evaluates the effectiveness of mitigation measures such as low-noise pavements, noise barriers, traffic management strategies and land-use planning. The research results provide a scientific basis for noise control, contributing to the advancement of sustainable transportation development.

Keywords: QCVN 26:2025/BNNMT; traffic noise; expressway; noise barriers.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong những năm gần đây, hệ thống đường ô tô cao tốc tại Việt Nam phát triển mạnh mẽ để đáp ứng nhu cầu vận tải và kết nối vùng. Tuy nhiên, sự gia tăng về chiều dài mạng lưới và lưu lượng phương tiện đã làm nảy sinh vấn đề ô nhiễm tiếng ồn nghiêm trọng. Tiếng ồn từ dòng xe cao tốc có đặc trưng khác biệt so với đường bộ thông thường do tốc độ khai thác cao, lưu lượng lớn, thành phần dòng xe phức tạp với các xe tải nặng, xe khách và xe container trong thành phần dòng xe.

Việc kiểm soát tiếng ồn hiện nay đối mặt với nhiều thách thức do quá trình đô thị hóa nhanh, quỹ đất dọc tuyến bị khai thác mạnh. Mặc dù quốc tế đã có nhiều nghiên cứu, nhưng tại Việt Nam, các nghiên cứu chuyên sâu về tiếng ồn cao tốc trong điều kiện khí hậu, địa hình và dòng xe đặc thù vẫn còn hạn chế. Bài báo phân tích đặc điểm phát sinh, lan truyền tiếng ồn và đề xuất các giải pháp kiểm soát hiệu quả cho các tuyến đương ô tô cao tốc tại Việt Nam.

2. THỰC TRẠNG XÂY DỰNG CÁC TUYẾN ĐƯỜNG CAO TỐC VÀ GIẢI PHÁP CHỐNG ỒN TRÊN CÁC TUYẾN CAO TỐC TẠI VIỆT NAM

2.1. Thực trạng xây dựng các tuyến đường cao tốc

Mạng lưới đường ô tô cao tốc quốc gia đang được đầu tư mạnh mẽ qua nhiều hình thức (đầu tư công, PPP, BOT) với các tuyến huyết mạch như cao tốc Bắc - Nam, Hà Nội - Hải Phòng, TP.HCM - Long Thành - Dầu Giây. Tính đến tháng 6/2026, cả nước đã hoàn thành 3.803 km đường cao tốc (Hình 1).



Hình 1. Bản đồ các tuyến đường bộ cao tốc Việt Nam

Tuy nhiên, tốc độ khai thác lớn (80 - 120 km/h) cùng thành phần xe tải nặng, xe container chiếm tỷ trọng cao khiến mức độ phát sinh tiếng ồn vượt ngưỡng cho phép tại nhiều khu vực dân cư và đô thị dọc tuyến. Đặc biệt, khoảng cách từ mép đường đến khu dân cư tại một số dự án chưa đủ lớn, gây ảnh hưởng trực tiếp đến môi trường sống.

2.2. Một số giải pháp chống ồn trên đường cao tốc

Các giải pháp tại Việt Nam hiện mới chỉ tập trung vào một số đoạn tuyến nhạy cảm, chia thành ba nhóm chính.

2.2.1. Giải pháp sử dụng mặt đường ít ồn

Áp dụng bê tông nhựa chặt, bê tông nhựa rỗng hoặc polymer để giảm ma sát lốp - mặt đường. Tuy nhiên, chi phí cao và yêu cầu bảo trì phức tạp là rào cản lớn (Hình 2).



Mặt đường BTNR DA Biên Hòa - Vũng Tàu



Mặt đường bê tông nhựa polymer

Hình 2. Mặt đường có khả năng giảm tiếng ồn sử dụng trong các tuyến cao tốc

2.2.2. Giải pháp xây dựng tường chống ồn

Sử dụng tấm composite hoặc vật liệu hấp thụ âm. Mặc dù hiệu quả trực tiếp nhưng hình thức còn đơn điệu, chi phí lớn và chưa được tiêu chuẩn hóa đầy đủ về thiết kế. Một số tuyến trước đây dùng cây xanh nhưng hiện nay giải pháp này ít được tái áp dụng trong các dự án mới (Hình 3).



Tường chống ồn trên tuyến cao tốc Hàm Nghi - Vũng Áng



Hình ảnh tường chống ồn hay dùng hiện nay trên các tuyến cao tốc

Hình 3. Tường chống ồn thường được sử dụng trong các dự án đường cao tốc hiện nay

Thực tế tại Việt Nam, một số tuyến đường sử dụng cây xanh như là tường chống ồn (Hình 4). Tuy nhiên, theo Cục Đường bộ Việt Nam thì từ năm 2020 đến nay không có dự án cao tốc nào quay lại phương án trồng cây.



Cây xanh trên Đại lộ Thăng Long



Cây xanh trên cao tốc Cầu Giẽ - Ninh Bình

Hình 4. Sử dụng cây xanh như tường chống ồn trên đường cao tốc

Nhận xét: Trên các tuyến cao tốc hiện nay, các tuyến đã có sử dụng tường chống ồn, tuy nhiên hình thức còn khá đơn điệu và sử dụng ít loại tường chống ồn. Điều này chưa phù hợp với đặc điểm và tính chất của các tuyến đường cao tốc khác nhau.

2.2.3. Giải pháp tổ chức giao thông và quy hoạch sử dụng đất

Hạn chế tốc độ, phân luồng xe tải và quy hoạch dải cây xanh đệm. Thực tế cho thấy công tác ĐTM (đánh giá tác động môi trường) ban đầu đôi khi chưa sát, dẫn đến việc phải bổ sung tường chống ồn sau khi đưa vào khai thác, như trường hợp dự án Hoài Nhơn - Quy Nhơn phải đề xuất thêm 20 vị trí trên tuyến (Hình 5).



Đoạn Km1+932 – Km2+00 (phải tuyến)



Đoạn Km2+446 – Km2+568 (phải tuyến)



Đoạn Km4+140 – Km4+250 (phải tuyến)



Đoạn Km8+900 – Km9+375 (phải tuyến)



Km54+900 – Km54+930 (phải tuyến)



Km55+00 – Km55+020 (phải tuyến)



Km58+690 - Km59+200 (phải tuyến)



Km59+380 - Km59+450 (phải tuyến)

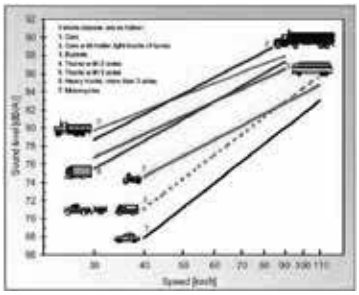
Hình 5. Một số vị trí cần bố trí tường chống ồn trên tuyến Hoài Nhơn - Quy Nhơn

3. ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC YẾU TỐ GIAO THÔNG, KẾT CẤU VÀ ĐIỀU KIỆN KHÔNG GIAN ĐẾN TIẾNG ỒN GIAO THÔNG TRÊN ĐƯỜNG Ô TÔ CAO TỐC

Tiếng ồn giao thông trên đường ô tô cao tốc là kết quả tổng hợp từ nhiều yếu tố kỹ thuật và môi trường.

3.1. Ảnh hưởng của mật độ, lưu lượng và thành phần dòng xe

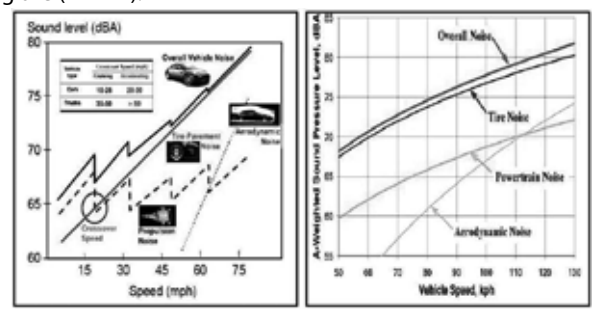
Mức ồn tăng theo quy luật logarit của lưu lượng. Xe tải nặng và container gây ồn lớn hơn xe con do công suất động cơ và tải trọng trục cao. Hình 6 minh họa cho mức độ tiếng ồn gây ra bởi các phương tiện giao thông đường bộ khác nhau.



Hình 6. Mức độ tiếng ồn của các loại phương tiện tùy theo tốc độ [3]

3.2. Ảnh hưởng của điều kiện tổ chức giao thông và tốc độ khai thác

Điều kiện tổ chức giao thông như phân làn xe, kiểm soát tốc độ, điều tiết dòng xe tại các nút giao hoặc trạm thu phí có tác động trực tiếp đến sự ổn định của dòng xe và mức độ phát sinh tiếng ồn. Tốc độ khai thác là yếu tố quan trọng chi phối thành phần tiếng ồn. Ở tốc độ thấp, tiếng ồn động cơ chiếm ưu thế. Trong khi đó, khi tốc độ tăng cao (trên 60 - 80 km/h), tiếng ồn do tương tác lốp xe - mặt đường và tiếng ồn khí động học trở thành nguồn chủ yếu. Trên các tuyến cao tốc Việt Nam với tốc độ khai thác phổ biến từ 80 - 120 km/h, tiếng ồn ma sát và khí động học đóng vai trò chi phối mức ồn tổng thể (Hình 7).



Hình 7. Nguồn ồn và mối tương tác với tốc độ, mối quan hệ tốc độ - tiếng ồn [4]

3.3. Ảnh hưởng của đặc trưng kết cấu và độ nhám mặt đường

Kết cấu và trạng thái khai thác của mặt đường có ảnh hưởng trực tiếp đến mức độ phát sinh tiếng ồn. Độ nhám lớn hoặc mặt đường hư hỏng làm tăng rung động và ma sát. Với khí hậu nóng ẩm Việt Nam, mặt đường dễ xuống cấp, làm gia tăng mức ồn theo thời gian.

3.4. Ảnh hưởng của hình học tuyến (bình đồ và trắc dọc)

Hình học tuyến đường cao tốc, bao gồm yếu tố bình đồ và trắc dọc, ảnh hưởng đến chế độ vận hành của phương tiện và do đó tác động đến mức phát sinh tiếng ồn. Các đoạn đường cong bán kính nhỏ, dốc lớn (khiến xe tăng công suất hoặc dùng phanh động cơ) và các đoạn cầu cạn trên cao làm tăng phạm vi lan truyền âm thanh.

3.5. Ảnh hưởng của điều kiện địa hình và không gian xung quanh

Địa hình và cấu trúc không gian xung quanh tuyến cao tốc có vai trò quan trọng trong quá trình truyền âm. Địa hình bằng phẳng giúp âm thanh truyền xa hơn. Sự xuất hiện của các tòa nhà cao tầng có thể gây hiện tượng cộng hưởng hoặc dội âm. Khoảng cách không đảm bảo kết hợp với thiếu vật cản làm gia tăng ô nhiễm tiếng ồn theo các tiêu chuẩn tại QCVN 26:2025/BNNMT.

3.6. Ảnh hưởng của khoảng cách đến khu dân cư

Khoảng cách từ nguồn phát ồn (tim tuyến hoặc mép mặt đường) đến khu dân cư là yếu tố quyết định mức độ ảnh hưởng của tiếng ồn giao thông đến cộng đồng. Theo quy luật suy giảm âm thanh trong không gian mở, mức ồn giảm dần theo khoảng cách. Tuy nhiên, tốc độ suy giảm phụ thuộc vào nhiều yếu tố như địa hình, vật cản, điều kiện mặt đất và cấu trúc công trình. Theo [1], giá trị tối đa cho phép đối với mức ồn phát sinh từ phương tiện giao thông được đưa ra trong Bảng 1.

Bảng 1. Giá trị tối đa cho phép đối với mức ồn phát sinh từ phương tiện giao thông

Đơn vị: dBA

Khu vực bị ảnh hưởng	Giới hạn cho phép	
	Ban ngày (06:00 ~ trước 22:00)	Ban đêm (22:00 ~ trước 06:00)
1. Đường bộ		
Khu vực A, B, C	68	58
Khu vực D, E	73	63
2. Đường sắt		
Khu vực A, B, C	70	60
Khu vực D, E	75	65

Nhận xét: Từ các phân tích trên có thể thấy rằng tiếng ồn giao thông trên đường ô tô cao tốc tại Việt Nam chịu ảnh hưởng tổng hợp của nhiều yếu tố kỹ thuật và không gian. Việc nghiên cứu định lượng mức độ ảnh hưởng của từng yếu tố trong điều kiện khai thác thực tế là cần thiết để xây dựng các mô hình dự báo phù hợp và đề xuất các giải pháp kiểm soát tiếng ồn hiệu quả.

4. PHƯƠNG PHÁP DỰ BÁO VÀ ĐÁNH GIÁ TIẾNG ỒN

4.1. Các chỉ tiêu đánh giá và phương pháp đo đạc tiếng ồn giao thông

Chỉ tiêu quan trọng nhất là mức ồn tương đương liên tục (LAeq), phản ánh năng lượng âm trung bình trong một khoảng thời gian. Đo đạc tiếng ồn thực địa là cơ sở quan trọng để xây dựng và hiệu chỉnh các mô hình dự báo. Việc đo đạc thực địa cần tuân thủ nghiêm ngặt về vị trí (cách vật phản xạ tối thiểu 3,5 m, cao 1,2 - 1,5 m) và thời gian (tối thiểu 15 phút hoặc đủ 50 giá trị đo) để đảm bảo tính chính xác.

Mức ồn tương đương ($L_{Aeq,T}$) là mười lần logarit cơ số 10 của tỷ số giữa trung bình thời gian của bình phương áp suất âm p_a trong khoảng thời gian đo T với bình phương áp suất âm tham chiếu p_0.

$$L_{Aeq,T} = 10\lg\frac{\frac{1}{T}\int_{t_1}^{t_2} p_A^2(t)dt}{p_0^2} \text{ dBA} \quad (1)$$

Trong đó:

$p_A(t)$ là áp suất âm tức thời theo trọng số A, tại thời điểm t;

$p_0 = 20$ μPa;

T là thời gian đo mức ồn (bắt đầu tại t_1 và kết thúc tại t_2);

$L_{Aeq,T}$ là mức áp suất âm tương đương theo trọng số A.

4.2. Các mô hình dự báo tiếng ồn giao thông

Các mô hình dự báo tiếng ồn giao thông trên đường cao tốc có thể được phân thành ba nhóm chính: Mô hình thực nghiệm, mô hình bán thực nghiệm và mô hình vật lý.

- Mô hình thực nghiệm: Dựa trên thống kê lưu lượng, tốc độ; dễ áp dụng nhưng phụ thuộc vào dữ liệu đầu vào.

- Mô hình bán thực nghiệm: Kết hợp lý thuyết phát sinh tiếng ồn của từng loại xe và các hệ số hiệu chỉnh (khoảng cách, che chắn). Đây là loại mô hình phổ biến trong thiết kế và đánh giá tác động môi trường đối với các dự án cao tốc.

- Mô hình vật lý và mô phỏng số: Sử dụng các phương pháp như ray tracing, phần tử hữu hạn để dự báo trường âm 3D. Yêu cầu năng lực tính toán cao nhưng cho kết quả chi tiết về hiệu quả tường chắn.

Nhận xét: Thách thức hiện nay tại Việt Nam là thiếu hệ thống dữ liệu quan trắc dài hạn và mô hình chuẩn phù hợp với điều kiện khí hậu nội địa.

5. MỘT SỐ GIẢI PHÁP GIẢM THIỂU TIẾNG ỒN GIAO THÔNG TRÊN ĐƯỜNG Ô TÔ CAO TỐC

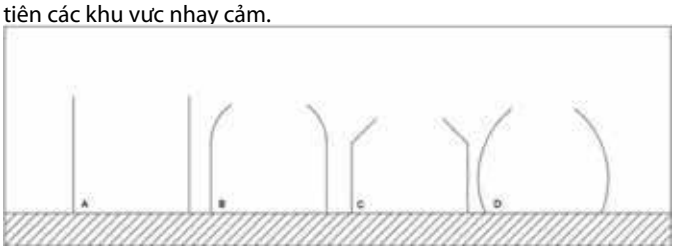
Việc kiểm soát và giảm thiểu tiếng ồn cần được xem xét theo cách tiếp cận tổng hợp, bao gồm các giải pháp kỹ thuật tại nguồn phát, giải pháp công trình trên tuyến và các giải pháp quản lý không gian - giao thông.

- Giải pháp sử dụng mặt đường với các loại BTN có tính năng giảm tiếng ồn:

Tại nguồn phát: Sử dụng các loại bê tông nhựa rỗng hoặc polymer có cấu trúc hấp thụ âm thanh và giảm hiện tượng "bơm khí" giữa lốp và mặt đường. Cần nghiên cứu thêm về độ bền của loại vật liệu này trong điều kiện mưa nhiều tại Việt Nam.

- Giải pháp xây dựng tường chống ồn:

Xây dựng tường chống ồn với vật liệu hấp thụ âm (bê tông, kim loại, composite) (Hình 8, Hình 9). Hiệu quả phụ thuộc vào chiều cao và tính liên tục của tường. Cần phân tích chi phí - lợi ích để ưu tiên các khu vực nhạy cảm.



Hình 8. Cấu tạo hình dạng một số loại tường chống ồn



Hình 9. Một số loại tường chống ồn trên thế giới sử dụng cho đường cao tốc [5]

- Giải pháp tổ chức giao thông hợp lý và quy hoạch sử dụng đất:

Trên đường truyền: Xây dựng tường chống ồn với vật liệu hấp thụ âm (bê tông, kim loại, composite). Hiệu quả phụ thuộc vào chiều cao và tính liên tục của tường. Cần phân tích chi phí - lợi ích để ưu tiên các khu vực nhạy cảm.

Quản lý vận hành: Ứng dụng hệ thống giao thông thông minh (ITS) để ổn định dòng xe, hạn chế việc tăng/giảm tốc đột ngột, từ đó giảm tiếng ồn động cơ và ma sát.

Quy hoạch lâu dài: Bố trí các khu vực ít nhạy cảm (kho bãi, công nghiệp) gần cao tốc và đẩy các khu dân cư, trường học ra xa hoặc ngăn cách bằng hành lang cây xanh nhiều tầng

Nhận xét: Các giải pháp giảm thiểu tiếng ồn giao thông trên đường ô tô cao tốc cần được triển khai theo hướng tích hợp nhiều biện pháp khác nhau, từ kiểm soát nguồn phát, hạn chế lan truyền đến quản lý đối tượng chịu ảnh hưởng. Việc lựa chọn giải pháp phù hợp cần căn cứ vào điều kiện cụ thể của từng tuyến, bao gồm đặc điểm dòng xe, địa hình, quỹ đất và khả năng đầu tư. Trong bối cảnh phát triển hệ thống cao tốc tại Việt Nam theo hướng hiện đại và bền vững, việc nghiên cứu và áp dụng đồng bộ các giải pháp giảm thiểu tiếng ồn có ý nghĩa quan trọng trong việc nâng cao chất lượng môi trường sống và hiệu quả khai thác công trình giao thông.

6. KẾT LUẬN

Từ các kết quả phân tích trên rút ra các kết luận như sau:

- Sự phát triển nhanh chóng của hệ thống đường ô tô cao tốc tại Việt Nam đã đưa đến các vấn đề về môi trường phát sinh trong quá trình khai thác, trong đó tiếng ồn giao thông của dòng xe là một trong những tác động tiêu cực rất đáng quan tâm.

- Kết quả tổng hợp và phân tích cho thấy tiếng ồn giao thông trên đường ô tô cao tốc là hiện tượng mang tính tổng hợp, chịu ảnh hưởng đồng thời của nhiều nhóm yếu tố như mật độ và thành phần dòng xe, tốc độ khai thác và điều kiện tổ chức giao thông, đặc trưng kết cấu và trạng thái mặt đường, hình học tuyến, điều kiện địa hình - không gian xung quanh và khoảng cách đến khu dân cư.

- Các phương pháp dự báo như mô hình thực nghiệm, bán thực nghiệm và mô hình vật lý - mô phỏng số đều có khả năng ứng dụng trong điều kiện Việt Nam nếu được hiệu chỉnh trên cơ sở dữ liệu đo đạc thực địa. Tuy nhiên, hiện nay hệ thống dữ liệu quan trắc tiếng ồn dài hạn còn hạn chế, trong khi các mô hình dự báo chuyên biệt cho điều kiện giao thông và khí hậu Việt Nam chưa được phát triển đầy đủ. Đây là thách thức cần được quan tâm trong các nghiên cứu tiếp theo nhằm nâng cao độ chính xác của công tác đánh giá và đề xuất giải pháp giảm thiểu phù hợp.

- Trên cơ sở phân tích thực trạng và các yếu tố ảnh hưởng, một số nhóm giải pháp giảm thiểu tiếng ồn đã được đề xuất theo hướng tiếp cận tổng hợp, bao gồm sử dụng mặt đường ít ồn nhằm kiểm soát nguồn phát sinh tiếng ồn, xây dựng tường chống ồn để hạn chế lan truyền âm thanh đến khu vực lân cận, tổ chức giao thông hợp lý nhằm ổn định dòng xe và quy hoạch sử dụng đất dọc hành lang tuyến nhằm giảm số lượng đối tượng chịu ảnh hưởng trực tiếp.

- Kết quả nghiên cứu của bài báo góp phần bổ sung cơ sở khoa học phục vụ công tác quy hoạch, thiết kế và khai thác hệ thống đường cao tốc tại Việt Nam, đồng thời là tài liệu tham khảo hữu ích cho các nhà quản lý, kỹ sư và nhà quy hoạch trong việc kiểm soát hiệu quả tiếng ồn giao thông và nâng cao chất lượng môi trường sống của cộng đồng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] QCVN 26:2025/BNNMT. Quy chuẩn quốc gia QCVN 26:2025/BNNMT - Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về tiếng ồn, 2025.

[2] Hà Văn. Hết năm 2025, cả nước sẽ có 3.345 km tuyến chính cao tốc. Internet: https://baochinhphu.vn/het-nam-2025-ca-nuoc-se-co-3345-km-tuyen-chinh-cao-toc-102251209123525529.htm (truy cập tháng 12/2025).

[3] Sandberg U. Work Package 1.1. Vehicle Categories for Description of Noise Sources, HARMONOISE, Contract Number: IST 2000: 28419, 2003.

[4] Lu, X. Kang và nnk. A comprehensive review of tire-pavement noise: generation mechanism, measurement methods and quiet asphalt pavement. Journal of Cleaner Production, pp. 125056, 2019.

[5] F. Leccese, F. Fantozzi and G. Salvadori. Analysis of in situ acoustical performance of concrete noise barriers. Proceedings of the Acoustics 2012 Nantes Conference, 2012.

■Ngày nhận bài: 05/4/2026 ■Ngày sửa bài: 08/5/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 22/5/2026

Một số đánh giá về thực hiện mô hình thông tin công trình (BIM) ở TP Hồ Chí Minh theo Nghị định 175/2024/NĐ-CP và Quyết định số 258/QĐ-TTg

Some assessments on the implementation of building information modeling (BIM) in Ho Chi Minh City under Decree No. 175/2024/ND-CP and Decision No. 258/QD-TTg

> TRẦN MAI PHƯƠNG
NCS Trường Đại học Thủy lợi; Email: phuongmaitran1985@gmail.com

TÓM TẮT

Bài báo phân tích thực trạng công tác đánh giá việc thực hiện mô hình thông tin công trình (BIM) dưới lăng kính của hai văn bản pháp quy trọng yếu là Nghị định số 175/2024/NĐ-CP và Quyết định số 258/QĐ-TTg. Trọng tâm nghiên cứu là những lợi ích và khó khăn trong việc thực hiện lộ trình BIM bắt buộc, chất lượng thông tin của tệp mô hình, cũng như các đề xuất cho giai đoạn vận hành, bảo trì trong tương lai.

Theo "Một số nhân tố ảnh hưởng khi ứng dụng BIM trong quản lý dự án xây dựng tại Việt Nam" (tác giả: TS Thái Ngọc Thắng, Lê Văn Chính, Bùi Ngọc Toàn), nghiên cứu chỉ ra rằng nếu năng lực quản lý của tổ chức không theo kịp, việc áp dụng BIM có thể dẫn đến "tình trạng quá tải công việc, rủi ro tài chính và mất hiệu quả", thay vì mang lại lợi ích tối ưu. Bằng phương pháp phân tích văn bản quy phạm pháp luật, kết hợp tổng hợp dữ liệu từ khoảng 20 hồ sơ thực hiện BIM giai đoạn 2023 - 2025 tại TP.HCM và khảo sát thực tế tại một số dự án điển hình, nghiên cứu đã thu được một số kết quả. Cụ thể, khoảng 95% doanh nghiệp xây dựng xem việc triển khai BIM là một gánh nặng thủ tục; các mô hình BIM chưa cung cấp đầy đủ thông tin phi hình học; thông tin chưa được khai thác hiệu quả trong giai đoạn chuyển giao từ thiết kế cơ sở sang thiết kế kỹ thuật thi công; đồng thời gần như chưa được sử dụng trong giai đoạn vận hành, bảo trì.

Trên cơ sở đó, bài báo làm rõ ưu điểm và hạn chế của việc thực hiện BIM hiện nay; đồng thời đề xuất một số giải pháp cho doanh nghiệp xây dựng như tập trung vào các khu vực ưu tiên của công trình, đẩy mạnh quy trình phối hợp làm việc, gán thông tin có chọn lọc và xây dựng hướng dẫn chi tiết về biểu mẫu, quy trình. Về phía nhà nước, bài báo đề xuất cơ chế phê duyệt một cửa, đẩy mạnh chuyển đổi số thông qua BIM-IoT phục vụ vận hành, bảo trì và quản lý chất lượng công trình, cũng như tham khảo có chọn lọc kinh nghiệm quốc tế.

Từ khóa: Mô hình thông tin công trình (BIM); Nghị định 175/2024/NĐ-CP; Quyết định số 258/QĐ-TTg.

ABSTRACT

This paper analyzes the current status of assessing the implementation of Building Information Modeling (BIM) through the lens of two critical legal instruments: Decree No. 175/2024/ND-CP and Decision No. 258/QD-TTg. The study focuses on the benefits and challenges of implementing the mandatory BIM roadmap, the quality of information contained in model files, and proposals for the future operation and maintenance phase.

"According to the study 'Factors Affecting the Application of BIM in Construction Project Management in Vietnam' by Dr. Thai Ngoc Thang, Le Van Chinh, and Bui Ngoc Toan, if an organization's managerial capabilities fail to keep pace, BIM implementation will directly lead to 'work overload, financial risks, and inefficiency' rather than yielding optimal benefits".Using legal document analysis combined with the synthesis of data from approximately 20 BIM dossiers in Ho Chi Minh City during the 2023-2025 period and field surveys of several representative projects, the results indicate that about 95% of construction enterprises perceive BIM implementation as an additional procedural burden;

current BIM models still lack sufficient non-geometric information; information is not effectively used in the transition from basic design to technical construction design; and it is almost not exploited during the operation and maintenance phase.

Accordingly, the paper clarifies the strengths and limitations of current BIM implementation and proposes several solutions for construction enterprises, such as focusing on priority project areas, improving coordination workflows, selectively assigning information, and establishing detailed guidance on forms and procedures. For state management, the paper recommends a one-stop approval mechanism, accelerated digital transformation through BIM-IoT for operation, maintenance and quality management, as well as selective reference to international experience.

Keywords: Building Information Modeling (BIM) Internet of Things (IoT); Decree No. 175/2024/ND-CP; Decision No. 258/QD-TTg,

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngành Xây dựng toàn cầu đang trải qua một cuộc chuyển đổi số mạnh mẽ, trong đó BIM được xác định là công nghệ nền tảng. Các quốc gia phát triển đã ban hành lộ trình BIM quốc gia và khung pháp lý rõ ràng nhằm thúc đẩy áp dụng rộng rãi.

Việt Nam không thể đứng ngoài xu thế này nếu muốn nâng cao năng lực cạnh tranh và hội nhập quốc tế. Chủ trương áp dụng BIM đã từng bước được cụ thể hóa bằng Quyết định số 258/QĐ-TTg ngày 17/03/2023 của Thủ tướng Chính phủ về phê duyệt lộ trình áp dụng mô hình thông tin công trình trong hoạt động xây dựng [1], và tiếp tục được tăng cường bằng Nghị định số 175/2024/NĐ-CP ngày 30/12/2024 của Chính phủ quy định chi tiết một số điều và biện pháp thi hành Luật Xây dựng về quản lý hoạt động xây dựng [2].

Trong những năm gần đây, Nhà nước đã ban hành nhiều văn bản pháp luật nhằm thúc đẩy chuyển đổi số, nâng cao hiệu quả quản lý hoạt động xây dựng và từng bước đưa BIM vào thực tiễn. Theo lộ trình của Quyết định số 258/QĐ-TTg, từ năm 2023 BIM được áp dụng bắt buộc đối với công trình cấp đặc biệt, cấp I; từ năm 2025 mở rộng xuống công trình cấp II. Nghị định số 175/2024/NĐ-CP tiếp tục cụ thể hóa yêu cầu nộp dữ liệu mô hình BIM trong quy trình thẩm định báo cáo nghiên cứu khả thi và thiết kế xây dựng triển khai sau thiết kế cơ sở.

Về mặt lý thuyết, các quy định này góp phần xóa bỏ tâm lý "làm cho có" hoặc "làm để diễn họa", buộc các đơn vị tư vấn thiết kế và nhà thầu phải coi BIM là công cụ sản xuất chính, thay vì công cụ dựng lại mô hình sau khi đã thiết kế bằng CAD. Tuy nhiên, khoảng cách giữa quy định và thực tiễn áp dụng vẫn còn khá lớn, đặt ra nhiều câu hỏi về mức độ hiệu quả khi triển khai và những điểm nghẽn cần tháo gỡ.

Mục tiêu của bài báo là: (i) phân tích cơ sở pháp lý và nội dung cốt lõi của việc thực hiện mô hình thông tin công trình (BIM) qua hai văn bản nêu trên; (ii) đánh giá thực trạng triển khai BIM trên cơ sở dữ liệu thực tế; (iii) làm rõ mối quan hệ bổ trợ giữa định hướng chính sách và thực tiễn triển khai; và (iv) đề xuất một số giải pháp, đặc biệt là định hướng BIM-IoT nhằm mở rộng giá trị sử dụng của BIM trong giai đoạn vận hành công trình.

2. CƠ SỞ PHÁP LÝ VÀ KHUNG LÝ THUYẾT VỀ THỰC HIỆN BIM

2.1. Lộ trình thực hiện mô hình BIM theo Quyết định số 258/QĐ-TTg

Quyết định số 258/QĐ-TTg [1] phê duyệt lộ trình và định hướng chung cho hai giai đoạn áp dụng BIM trong hoạt động xây dựng. Về tính chất pháp lý, đây là văn bản định hướng quan trọng, xác lập bước đi bắt buộc theo cấp công trình và tạo cơ sở để các chủ thể tham gia hoạt động xây dựng chuẩn bị nguồn lực nhân sự, công nghệ và quy trình.

Theo nội dung của quyết định, BIM được yêu cầu cung cấp trong các bước như thẩm định báo cáo nghiên cứu khả thi, thẩm định thiết kế xây dựng triển khai sau thiết kế cơ sở, cấp phép xây dựng và nghiệm thu. Tuy nhiên, văn bản này chưa quy định chi tiết định dạng tệp, dung lượng tệp hoặc cấu trúc dữ liệu cụ thể; yêu cầu chủ yếu dừng ở việc phải có dữ liệu mô hình BIM trong hồ sơ thiết kế hoặc hồ sơ hoàn thành công trình.

Về bản chất, Quyết định số 258/QĐ-TTg đóng vai trò là bước chuyển chính sách từ giai đoạn khuyến khích sang giai đoạn bắt buộc có lộ trình. Điều này có ý nghĩa quan trọng vì giúp định hình tư duy số hóa trong toàn bộ chuỗi hoạt động xây dựng, song cũng làm nảy sinh nhu cầu cần có các hướng dẫn kỹ thuật chi tiết hơn để bảo đảm tính thống nhất trong thực hiện.

2.2. Lộ trình áp dụng BIM theo hướng dẫn cụ thể của Nghị định số 175/2024/NĐ-CP

Nghị định số 175/2024/NĐ-CP [2] có tính chất là văn bản quy định chi tiết thi hành, do đó mức độ bắt buộc về kỹ thuật và thủ tục hành chính rõ nét hơn so với Quyết định số 258/QĐ-TTg. Phạm vi áp dụng hướng đến các dự án nhóm B trở lên trong giai đoạn chuẩn bị dự án và tập trung bắt buộc đối với công trình cấp II trở lên thuộc các dự án đó.

Khác với quyết định mang tính khung, Nghị định số 175/2024/NĐ-CP được hiểu là đã cụ thể hóa hơn yêu cầu về dữ liệu mô hình thông qua việc gắn trách nhiệm cung cấp mô hình BIM cùng hồ sơ thẩm định. Trong thực tiễn triển khai, các đơn vị thiết kế thường nộp đồng thời tệp gốc và tệp ở định dạng mở nhằm tạo điều kiện thuận lợi cho cơ quan thẩm định tiếp cận, đối chiếu và lưu trữ.

Từ góc độ quản lý, nghị định này góp phần đưa BIM ra khỏi phạm vi "khuyến khích áp dụng" để trở thành thành phần có ý nghĩa trong hồ sơ pháp lý của dự án. Đây là thay đổi quan trọng, vì nó tác động trực tiếp đến cách thức tổ chức công việc của doanh nghiệp tư vấn, nhà thầu và cơ quan quản lý nhà nước.

2.3. So sánh với thông lệ quốc tế

Việc Việt Nam chuyển từ "khuyến khích" sang "bắt buộc" đối với BIM có nhiều điểm tương đồng với kinh nghiệm của một số quốc gia đi trước như Singapore, Vương quốc Anh hay Brazil, đặc biệt ở chỗ sử dụng lộ trình pháp lý để thúc đẩy thay đổi hành vi trên phạm vi toàn ngành. Tuy nhiên, trong khi Singapore đã tiến xa hơn với hệ thống nộp mô hình BIM phục vụ cấp phép xây dựng và từng bước tự động hóa kiểm tra tuân thủ, thì Việt Nam hiện vẫn ở giai đoạn đầu của việc chuẩn hóa định dạng, nội dung và quy trình tiếp nhận dữ liệu. Sự thiếu vắng hướng dẫn chi tiết cho từng loại công trình vì vậy vẫn là một điểm nghẽn lớn đối với thực tiễn áp dụng.

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu áp dụng cách tiếp cận kết hợp giữa phân tích định tính và định lượng, gồm ba nhóm phương pháp chính.

Thứ nhất, phương pháp phân tích tài liệu pháp luật được sử dụng để làm rõ nội dung, phạm vi và ý nghĩa quản lý của Quyết định số 258/QĐ-TTg [1], Nghị định số 175/2024/NĐ-CP [2] và một số quy định liên quan đến quản lý chất lượng, hồ sơ hoàn công, bảo trì công trình [3].

Thứ hai, nghiên cứu tổng hợp dữ liệu thực tiễn từ khoảng 20 bộ hồ sơ BIM được trình thẩm định tại TP.HCM và một số địa phương lân cận trong giai đoạn 2023 - 2025.

Thứ ba, phương pháp phân tích và so sánh được sử dụng để thống kê tỷ lệ hồ sơ có hoặc không có dữ liệu tổng hợp cần thiết, đánh giá mức độ đầy đủ và tính khoa học của mô hình, đồng thời đối chiếu thực trạng triển khai ở Việt Nam với một số kinh nghiệm quốc tế.

4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

4.1. Thực trạng thực hiện BIM theo Quyết định số 258/QĐ-TTg

4.1.1. Đối tượng áp dụng

Kết quả khảo sát cho thấy khoảng 95% công trình thuộc đối tượng nghiên cứu đã nộp tệp BIM trong hồ sơ thẩm định. Điều này phản ánh tác động bước đầu của lộ trình áp dụng BIM đối với các công trình quy mô lớn và có tính chất kỹ thuật phức tạp.

4.1.2. Loại tệp BIM được nộp

Thực tế triển khai cho thấy Quyết định số 258/QĐ-TTg mới dừng ở yêu cầu "phải cung cấp tệp tin BIM", nên trong giai đoạn đầu đã xuất hiện sự lúng túng về loại tệp phải nộp. Trong mẫu khảo sát, khoảng 45% hồ sơ sử dụng tệp Revit, 55% sử dụng NWD, trong khi chưa ghi nhận tệp chuẩn mở IFC.

4.1.3. Kích thước và mức độ hoàn thiện của tệp BIM

Nhiều tệp BIM mới chỉ thể hiện ở mức sơ bộ, thậm chí còn sai khác về kích thước công trình. Khoảng 10% tệp có xu hướng mô hình hóa quá nhiều chi tiết cấu kiện không cần thiết cho mục đích thẩm định, làm tăng dung lượng và gây khó khăn cho các máy tính có cấu hình RAM dưới 16 GB.

4.1.4. Nội dung mô hình

Khoảng 85% mô hình thể hiện được vị trí, hình dạng không gian 3D, các kích thước chủ yếu và các bộ phận chính, tọa độ công trình của công trình. Còn 100% mô hình chưa cung cấp đầy đủ thông tin phi hình học cần thiết để phục vụ giai đoạn vận hành.

4.2. Thực trạng thực hiện BIM sau khi có Nghị định số 175/2024/NĐ-CP

4.2.1. Đối tượng áp dụng

Trong nhóm hồ sơ khảo sát thuộc đối tượng của Nghị định số 175/2024/NĐ-CP, 100% công trình cấp II trở lên thuộc dự án nhóm B đã nộp tệp BIM trong hồ sơ thẩm định.

4.2.2. Loại tệp BIM được nộp

Ở giai đoạn này, thực tiễn cho thấy các đơn vị tư vấn đã có xu hướng nộp tệp ở định dạng mở IFC 4.0 kèm theo tệp gốc. Cách làm này tạo điều kiện thuận lợi hơn cho cơ quan nhà nước trong việc đọc dữ liệu mà không phụ thuộc tuyệt đối vào một phần mềm chuyên biệt.

4.2.3. Kích thước và dung lượng tệp BIM

Các tệp BIM trong mẫu khảo sát đều được kiểm soát để có dung lượng phù hợp hơn cho việc tiếp nhận và lưu trữ. Đây là tín hiệu cho thấy doanh nghiệp đã bắt đầu quan tâm hơn đến tính thực dụng của dữ liệu nộp kèm hồ sơ.

4.2.4. Nội dung mô hình

100% mô hình trong mẫu khảo sát thể hiện được vị trí, hình dạng không gian 3D, các kích thước chủ yếu và các bộ phận chính. Khoảng 95% hồ sơ đã thể hiện tọa độ công trình. Tuy nhiên, phần thông tin phi hình học vẫn chưa được thực hiện đầy đủ, do đó chưa đáp ứng tốt yêu cầu phục vụ vận hành và bảo trì công trình.

4.3. So sánh thực hiện tệp BIM giữa Quyết định số 258/QĐ-TTg và Nghị định số 175/2024/NĐ-CP

Kết quả so sánh tổng hợp một số tiêu chí cơ bản giữa hai giai đoạn được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. So sánh thực hiện tệp BIM giữa Quyết định số 258/QĐ-TTg và Nghị định số 175/2024/NĐ-CP

Tiêu chí	Tệp BIM theo Quyết định số 258/QĐ-TTg	Tệp BIM theo Nghị định số 175/2024/NĐ-CP
Phạm vi bắt buộc	Giai đoạn 1 (từ năm 2023): công trình cấp I, cấp đặc biệt. Giai đoạn 2 (từ năm 2025): công trình cấp II trở lên.	Áp dụng cho dự án nhóm B trở lên trong giai đoạn chuẩn bị dự án; bắt buộc đối với công trình cấp II trở lên thuộc dự án đó.
Loại tệp	Chưa quy định cụ thể.	Thực tiễn triển khai cho thấy có xu hướng nộp tệp mở kèm tệp gốc để đối chiếu.
Kích thước, dung lượng	Chưa quy định cụ thể.	Được kiểm soát chặt chẽ hơn để phục vụ tiếp nhận và lưu trữ hồ sơ.
Nội dung	Yêu cầu chung là có tệp BIM trong hồ sơ thiết kế hoặc hồ sơ hoàn thành công trình.	Yêu cầu dữ liệu mô hình gắn chặt hơn với hồ sơ thẩm định; mô hình phải thể hiện được vị trí, hình dạng không gian 3D, kích thước chủ yếu và các bộ phận chính.
Điểm yếu chung	Thiếu hướng dẫn chi tiết về loại tệp, nội dung, dung lượng và tiêu chí kiểm tra mô hình.	Chưa có hướng dẫn đầy đủ về chi phí thực hiện, đầu mối kiểm tra mô hình và khai thác dữ liệu BIM cho giai đoạn vận hành.

5. THẢO LUẬN

5.1. Những điểm tích cực của khung chính sách hiện hành

Việc ban hành Quyết định số 258/QĐ-TTg và Nghị định số 175/2024/NĐ-CP cho thấy tầm nhìn chiến lược của Chính phủ trong việc coi dữ liệu số là tài sản quan trọng của ngành xây dựng. Đây là tiền đề để từng bước hình thành cơ sở dữ liệu xây dựng phục vụ quản lý nhà nước, quản trị dự án và phát triển đô thị thông minh.

Khung chính sách mới cũng tạo sức ép tích cực đối với thị trường tư vấn thiết kế và thi công, buộc đội ngũ kỹ sư, kiến trúc sư và nhà thầu phải nâng cao năng lực số, tiệm cận nhanh hơn với các chuẩn mực quốc tế như ISO 19650.

5.2. Những hạn chế, vướng mắc trong thực tiễn triển khai

Một trong những vướng mắc lớn hiện nay là khoảng cách giữa hồ sơ pháp lý truyền thống và bản chất dữ liệu số của BIM. Ví dụ, Thông tư số 26/2016/TT-BXD [3] về quản lý chất lượng và bảo trì công trình xây dựng vẫn được xây dựng chủ yếu trên nền tảng hồ sơ, tài liệu giấy và bản vẽ 2D, trong khi BIM là cơ sở dữ liệu số đa chiều.

Bên cạnh đó, năng lực tiếp nhận, đọc và thẩm định mô hình BIM của một số cơ quan quản lý còn chưa đồng đều. Việc nộp mô hình BIM với dung lượng lớn cũng đặt ra yêu cầu về hạ tầng máy chủ, lưu trữ, bảo mật dữ liệu và quy trình phối hợp liên thông giữa các cơ quan quản lý nhà nước.

Ngoài ra, phần lớn mô hình BIM hiện nay mới tập trung vào giai đoạn thiết kế và thẩm định, trong khi dữ liệu cho giai đoạn vận hành, bảo trì vẫn bị xem nhẹ. Điều này dẫn đến nguy cơ lãng phí tài nguyên dữ liệu và chưa khai thác được trọn vẹn giá trị vòng đời của BIM.

6. MỘT SỐ GIẢI PHÁP VÀ KIẾN NGHỊ

6.1. Về phía nhà nước

6.1.1. Hoàn thiện khung pháp lý và hướng dẫn chi tiết

Cần sớm bổ sung quy định rõ hơn về giá trị pháp lý của mô hình BIM, loại tệp được chấp nhận, mức độ thông tin tối thiểu, cách thức lưu trữ và cơ chế kiểm tra. Việc ban hành hướng dẫn chi tiết theo loại công trình sẽ giúp giảm sự lúng túng trong thực hiện và nâng cao tính thống nhất giữa các địa phương.

6.1.2. Tăng cường tư duy "tiền kiểm" và thẩm định số

Cần từng bước cho phép cơ quan quản lý nhà nước thực hiện thẩm định số thông qua tệp mô hình và hồ sơ xuất trực tiếp từ mô hình, thay vì tiếp tục phụ thuộc hoàn toàn vào quy trình xử lý bản vẽ 2D truyền thống. Đồng thời, nên phát triển các công cụ hỗ trợ kiểm tra trước đối với các yêu cầu cơ bản của quy chuẩn, tiêu chuẩn và hồ sơ thiết kế.

6.1.3. Đẩy mạnh chuyển đổi số một cửa liên thông

Việc xây dựng cổng thông tin tiếp nhận dữ liệu BIM theo cơ chế một cửa sẽ giúp giảm tình trạng chủ đầu tư phải nộp lặp đi lặp lại cho nhiều cơ quan khác nhau, đồng thời nâng cao tính đồng bộ trong phản hồi và quản lý dữ liệu.

6.1.4. Quy định mô hình hoàn công và định hướng BIM-IoT cho vận hành

Cần quy định rõ tiêu chuẩn nghiệm thu mô hình hoàn công, từng bước yêu cầu dữ liệu tài sản số hóa phục vụ bảo trì, vận hành và quản lý công trình. Đây là cơ sở để mở rộng BIM sang giai đoạn vận hành thông qua các giải pháp BIM-IoT, kết nối các cảm biến (sensors) vào mô hình BIM, đo biến dạng, chuyển vị, rung động, độ ẩm, nhiệt độ, áp lực nước, lưu lượng, ăn mòn, tình trạng tiêu thụ năng lượng... có thể giúp cập nhật mô hình thời gian thực, giúp dữ liệu cảm biến được liên kết với BIM, nhà quản lý có thể nhận diện sớm cấu kiện rủi ro cao và ra quyết định bảo trì trước khi sự cố xảy ra.

6.2. Về phía doanh nghiệp

6.2.1. Xác định mức độ chi tiết hợp lý

Doanh nghiệp cần lựa chọn mức độ chi tiết phù hợp với mục tiêu của từng giai đoạn, tránh mô hình hóa quá mức làm tăng thời gian thực hiện và dung lượng tệp nhưng không tạo thêm giá trị cho công tác thẩm định hoặc quản lý.

6.2.2. Tập trung vào các khu vực ưu tiên của công trình

Nguồn lực nên được ưu tiên cho các khu vực có nguy cơ xung đột kỹ thuật cao như tầng hầm, phòng kỹ thuật, trục kỹ thuật hoặc các vị trí giao cắt phức tạp của kết cấu và hệ thống MEP.

6.2.3. Chuẩn hóa quy trình phối hợp và gán thông tin có chọn lọc

Doanh nghiệp cần xây dựng quy trình phối hợp rõ ràng giữa các bộ môn, chuẩn hóa việc trao đổi dữ liệu và chỉ gán các thông tin thực sự cần thiết theo yêu cầu quản lý, nhằm bảo đảm mô hình gọn, hữu dụng và dễ kiểm soát.

6.3. Định hướng nghiên cứu tiếp theo

Các nghiên cứu tiếp theo cần tập trung vào việc phân tách và bổ sung thông tin cho từng giai đoạn của vòng đời công trình trên mô hình BIM, đồng thời đánh giá khả năng tích hợp BIM-IoT vào vận hành, kết hợp với lý thuyết độ tin cậy, nhằm bảo trì thiết bị cũng như nâng cao chất lượng khai thác công trình và chất lượng sống của người sử dụng trên địa bàn TP.HCM.

7. KẾT LUẬN

Bài báo đã phân tích cơ sở pháp lý và thực trạng triển khai việc thực hiện BIM ở TP.HCM thông qua Quyết định số 258/QĐ-TTg và Nghị định số 175/2024/NĐ-CP. Kết quả khảo sát cho thấy Nhà nước đã chính thức bắt buộc nộp mô hình BIM đối với các công trình có quy mô và cấp công trình phù hợp, qua đó thúc đẩy chuyển đổi số trong ngành xây dựng.

Những thay đổi này có ý nghĩa quan trọng trong việc hình thành kho dữ liệu số, nâng cao tính minh bạch, hỗ trợ kiểm soát xung đột thiết kế và từng bước nâng tầm năng lực của đội ngũ kỹ sư xây dựng Việt Nam. Tuy nhiên, hệ thống quy định hiện nay vẫn cần được hoàn thiện thêm, đặc biệt đối với yêu cầu cập nhật thông tin sống cho mô hình, tiêu chuẩn mô hình hoàn công và việc khai thác BIM ở giai đoạn vận hành, bảo trì.

Việc sớm bổ sung hệ thống văn bản hướng dẫn, tăng cường kiểm tra và hoàn thiện cơ chế thực thi sẽ là điều kiện quan trọng để BIM-IoT thực sự trở thành công cụ số có giá trị trong toàn bộ vòng đời công trình.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

I. Văn bản pháp lý, Tiêu chuẩn và Hướng dẫn quản lý (Legal Documents & Standards)

[1] Thủ tướng Chính phủ. Quyết định số 258/QĐ-TTg ngày 17/03/2023 về việc phê duyệt lộ trình áp dụng Mô hình thông tin công trình (BIM) trong hoạt động xây dựng. Internet: https://vanban.chinhphu.vn/?docid=207592&pageid=27160 (truy cập ngày 23/3/2026).

[2] Chính phủ. Nghị định số 175/2024/NĐ-CP ngày 30/12/2024 quy định chi tiết một số điều và biện pháp thi hành Luật Xây dựng về quản lý hoạt động xây dựng. Internet: https://vanban.chinhphu.vn/?docid=212166&pageid=27160 (truy cập ngày: 23/03/2026).

[3] Bộ Khoa học và Công nghệ. TCVN 14177-1:2024 - Tổ chức và số hóa thông tin về công trình xây dựng, bao gồm mô hình hóa thông tin công trình (BIM) - Phần 1: Quản lý thông tin. NXB. Khoa học kỹ thuật, Hà Nội, 2024.

[4] Chính phủ Việt Nam. Nghị định số 175/2023/NĐ-CP về quản lý dự án đầu tư xây dựng, Hà Nội, Việt Nam, 2023. Internet: https://vanban.chinhphu.vn/?pageid=27160&docid=212166 27160 (truy cập ngày: 16/5/2026).

[5] Bộ Xây dựng. Thông tư số 26/2016/TT-BXD ngày 26/10/2016 quy định chi tiết một số nội dung về quản lý chất lượng và bảo trì công trình xây dựng. Internet: https://vanban.chinhphu.vn/default.aspx?docid=187774&pageid=27160 (truy cập ngày: 23/3/2026).

II. Các nghiên cứu, tài liệu về BIM, IOT

[1] https://vawr.org.vn/Upload/BaibaoKH/thai-ngoc-thang-81-2023.pdf (truy cập ngày: 15/5/2026).

[2] TS Nguyễn Văn Sơn. Lý thuyết độ tin cậy trong quản lý xây dựng. Trường Đại học Thủy lợi, Hà Nội, 2025.

[3] H. Lu, Y. Wu, W. Chang, and X. Li. Development of BIM software in China: History, trends and future directions. Journal of Civil Engineering and Management, vol. 27, no. 1, pp. 1-14, 2021.

[4] Z. Liu, T. Ma, Y. Wang and J. Wang. Government-oriented BIM implementation in China: Policy analysis and practical insights. Engineering, Construction and Architectural Management, pp. vol. 29, no. 9, pp. 2932-2948, 2022.

[5] Attarzadeh, Nath and Tiong. Identifying key factors for building information modelling adoption in Singapore. Management, Procurement and Law, pp. 220-231, http://dx.doi.org/10.1680/mpal.15.00030, 2015.

[6] G V Hoang, D K T Vu, N H Le and T P Nguyen. Benefits and challenges of BIM implementation for facility management in operation and maintenance face ofbuildings in Vietnam. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020.

[7] ISO 19650. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works - Information management using building information modelling. ISO, 2018.

[8] B. Succar, W. Sher and A. Williams. An integrated approach to BIM competency assessment, acquisition and application. Automation in Construction, pp. vol. 35, pp. 174-189, 2023.

[9] D. Cao, H. Li, G. Wang, H. Luo and W. Zhang. Building Smart: A Review on Integrating BIM with Emerging Digital Technologies. J. Constr. Eng. Manage, pp. vol. 149, no. 4, 2023.

[10] M. Arashpour, R. Wakefield, A. Blismas and M. Minas. Designing BIM-Based Collaborative Construction Process: A Conceptual Model. Buildings, pp. vol. 11, no. 7, pp. 1-19, 2021.

[11] D. Cao, H. Li, G. Wang, H. Luo and W. Zhang. Building Smart: A Review on Integrating BIM with Emerging Digital Technologies. J. Constr. Eng. Manage, pp. vol. 149, no. 4, 2023.

[12] M. Arashpour, R. Wakefield, A. Blismas and M. Minas. Designing BIM-Based Collaborative Construction Process: A Conceptual Model. Buildings, pp. vol. 11, no. 7, pp. 1-19, 2021.

■Ngày nhận bài: 05/4/2026 ■Ngày sửa bài: 28/4/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 25/5/2026

Đối chiếu dự báo sức chịu tải móng băng trên đá phong hóa bằng FEM với Eurocode 7 trong không gian độ tin cậy hai chiều

Benchmarking FEM-based bearing capacity predictions of strip footings on weathered rock against Eurocode 7 in 2D reliability space

> THS NGUYỄN TỔNG
Khoa Xây dựng, Trường Đại học Công nghệ Kỹ thuật TP.HCM
Email: tongn@hcmute.edu.vn

TÓM TẮT

Quá trình phong hóa làm thay đổi đặc tính của khối đá, gây khó khăn cho việc dự báo sức chịu tải của móng băng bằng các công thức giải tích truyền thống. Nghiên cứu này sử dụng cách tiếp cận tất định số (DNA) thông qua phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) để dự báo sức chịu tải cực hạn của móng băng trên nền đá phong hóa khác nhau (I-IV), kết hợp tiêu chuẩn phá hủy Hoek-Brown tổng quát để mô phỏng sự suy giảm cường độ phi tuyến của khối đá. Mười hai mô hình số tất định được xây dựng với ba kịch bản tham số (lạc quan, trung vị và bi quan) cho mỗi cấp phong hóa, được xây dựng và đối chiếu với cách tiếp cận giải tích xác suất (PAA) song hành sử dụng mô phỏng Monte Carlo (MCS) theo công thức ở Phụ lục B.16, tiêu chuẩn Eurocode 7 (EC7). Quá trình đối chiếu này được thực hiện trong không gian độ tin cậy hai chiều (|β|, BR) nhằm đặc trưng hóa mức độ tương đồng giữa DNA và PAA. Kết quả chỉ ra rằng: (i) Các chỉ số trung bình cho thấy sự phân kỳ tăng dần theo mức độ phong hóa (|β| tăng 375%, *P*(Overestimate) tăng từ 35% lên 83%, *P*(Within ±10%) giảm từ 16% xuống 4%); (ii) Thiết lập hệ thống phân loại gồm 5 vùng trạng thái để xác định mức độ tương đồng thông qua các ngưỡng |β| = 1 và 2, và BR = 0,9 và 1,1; (iii) Ba kịch bản diễn tiến theo các quỹ đạo riêng biệt, xác nhận sự tương tác phi tuyến giữa cấp phong hóa và kịch bản tham số; (iv) Grade IV đóng vai trò "điểm gãy", nơi các kịch bản thay đổi hành vi tùy thuộc trạng thái ban đầu; (v) Tồn tại sự bất đối xứng nội tại sau điểm gãy, khi các kịch bản biên trên tiến tới mức bất đồng cực đoan, trong khi các kịch bản biên dưới thì không. Khung phân tích này cung cấp logic minh bạch để kết nối các kết quả số tất định với logic xác suất cho móng băng trên nền đá phong hóa khi thiếu dữ liệu thực nghiệm.

Từ khóa: Sức chịu tải cực hạn; móng băng; đá phong hóa; FEM; Eurocode 7; không gian độ tin cậy hai chiều; phương pháp Gwizdala.

ABSTRACT

Weathering alters rock mass characteristics, thereby challenging the prediction of strip footing bearing capacity through traditional analytical formulas. This study employs a deterministic numerical approach (DNA) using the Finite Element Method (FEM) to predict the ultimate bearing capacity of strip footings on rock masses (grades I-IV), integrating the Generalized Hoek-Brown failure criterion to capture non-linear strength degradation. Twelve deterministic models, comprising three parameter scenarios (optimistic, mean, and pessimistic) for each grade, were developed and benchmarked against a parallel probabilistic analytical approach (PAA) using Monte Carlo simulations (MCS) based on Eurocode 7 (EC7) Annex B.16 formulas. This benchmarking was conducted within a two-dimensional reliability space (|β|, BR) to characterize the agreement between the DNA and PAA. Results indicate: (i) Mean indices show increasing divergence as weathering progresses (|β| increases by 375%, P(Overestimate) rises from 35% to 83%, and P(Within ±10%) drops from 16% to 4%); (ii) A five-level classification scheme was established to categorize the state of agreement through |β| thresholds (1, 2) and BR thresholds (0.9, 1.1); (iii) The three scenarios followed distinct trajectories, confirming a nonlinear coupling between weathering grades and parameter

scenarios; (iv) Grade IV serves as a "breaking point" where scenarios shift behavior depending on initial states; (v) an intrinsic asymmetry was discovered beyond the breaking point, where upper-bound scenarios escalate toward extreme disagreement, whereas lower-bound scenarios do not. This framework provides a transparent logic to bridge deterministic and probabilistic estimates for strip foundations on weathered rock when empirical verification is unavailable.

Keywords: Ultimate bearing capacity; strip foundation; weathered rock; FEM; Eurocode 7; 2D reliability space; Gwizdala method.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Quá trình phong hóa làm suy giảm đồng thời độ bền và mô đun đàn hồi của khối đá, đồng thời thúc đẩy sự chuyển đổi từ cơ chế phá hoại giòn sang dẻo. Các nghiên cứu của Gupta và Rao (1996, 2000) [1], [2] thông qua thí nghiệm nén một trục trên đá granit, bazan, thạch anh, cùng quan sát của Gu và các cộng sự (2008) [3] trên đá bazan và bụi kết, đã xác nhận σ_{ci} và E luôn giảm một cách hệ thống theo mức độ phong hóa. Gần đây, Wang và các cộng sự (2024) [4] dựa trên thí nghiệm nén ba trục và phân tích vi mô đá granit đã làm rõ sự suy giảm lực dính và góc ma sát do biến đổi khoáng vật, khẳng định tính tất yếu của việc tích hợp các đặc tính suy giảm này vào tiêu chuẩn bền và mô hình ứng suất-biến dạng khi thiết kế nền móng.

Những phức tạp trong đáp ứng ứng suất - biến dạng của đá phong hóa khiến các giả định đồng nhất và đàn hồi tuyến tính truyền thống trở nên kém hiệu quả, đòi hỏi một tiêu chuẩn phá hủy có khả năng mô tả chính xác sự suy giảm đặc tính khối đá. Nghiên cứu của Marques và cộng sự (2021) [5] trên đá gneiss đã chứng minh tiêu chuẩn Hoek-Brown [6] là công cụ phù hợp để nắm bắt ứng xử này thông qua sự suy giảm có hệ thống của các thông số m_i, s, a và σ_{ci} theo từng cấp độ phong hóa. Để cụ thể hóa các biến đổi cơ học đó vào mô hình số, chỉ dẫn về GSI của Marinos và Carter (2018) [7] đóng vai trò quan trọng trong việc định lượng tình trạng bề mặt khe nứt và mức độ phân cắt cấu trúc. Việc kết hợp này giúp chuyển đổi các quan sát thực nghiệm thành bộ tham số đầu vào có hệ thống, phản ánh sát thực tế sự suy thoái cường độ của nền đá trong bài toán dự báo sức chịu tải.

Dựa trên tiêu chuẩn Hoek-Brown, các phương pháp giải tích từ cân bằng giới hạn của Wyllie (2017) [8], phương pháp đặc trưng của Serrano và Olalla (1994) [9], đến các lời giải cận dưới (Yang và cộng sự, 2003) [10] và cận trên (Yang và Yin, 2005) [11] đã thiết lập nền tảng quan trọng để dự báo sức chịu tải móng trên đá. Dù vậy, các lời giải này thường giả định khối đá đồng nhất với cơ chế phá hoại định trước, nên khó phản ánh chính xác sự suy thoái vật liệu và tính phi tuyến phức tạp trong đá phong hóa. Để mở rộng khả năng áp dụng trong điều kiện bất định, mô phỏng Monte Carlo thường được kết hợp để lan truyền sự biến động thông số qua các phương trình giải tích, giúp dự báo sức chịu tải dưới dạng phân phối xác suất thay vì giá trị đơn lẻ. Tuy nhiên, cách tiếp cận này vẫn chưa thể mô tả tường minh sự phân bố lại ứng suất và biến dạng phi tuyến, dẫn đến sự cần thiết phải sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) để nắm bắt toàn diện ứng xử của nền đá phong hóa.

Để khắc phục rào cản trong việc mô tả ứng xử phi tuyến, mô hình số được ưu chuộng nhờ khả năng mô phỏng tường minh quá trình phá hoại lũy tiến mà không cần giả định trước cơ chế sụp đổ. Sử dụng tiêu chuẩn Hoek-Brown, Jaiswal và Chauhan (2024) [12] đã dùng FEM chứng minh các thông số GSI, σ_{ci}, m_i và D ảnh hưởng quyết định đến hình thái phá hoại và giá trị q_u được diễn giải từ điểm có độ dốc thay đổi đột ngột trên đường cong tải trọng - độ lún. Tương tự, Mansouri và cộng sự (2019) [13] qua phân tích FEM 3D đã làm rõ sự phụ thuộc của sức chịu tải vào hình dạng móng, trong đó điểm 'thất bại' được xác định khi vùng dẻo phát triển hoàn toàn dưới đáy móng. Những nghiên cứu này minh chứng FEM là công cụ tối ưu cho nền đá phong hóa, cho phép áp dụng các phương pháp diễn giải toán học như Gwizdala [14] để xác định một cách khách quan dựa trên toàn bộ diễn tiến biến dạng thay vì chỉ dựa vào các giá trị cường độ đơn lẻ.

Dù tiêu chuẩn Hoek-Brown có thể nắm bắt sự suy giảm cường độ phi tuyến của đá phong hóa, các lời giải giải tích truyền thống vẫn bị giới hạn bởi giả định cơ chế phá hoại đơn giản, khiến việc kết hợp mô phỏng Monte Carlo chỉ là giải pháp tình thế để lượng hóa bất định tham số. Phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) khắc phục được nhược điểm này nhờ khả năng mô tả tường minh quá trình phá hoại lũy tiến, song các dự báo tất định từ mô hình số vẫn cần một quy trình kiểm chứng chặt chẽ trước khi áp dụng. Trong bối cảnh thiếu hụt dữ liệu thực nghiệm tại hiện trường, một khoảng trống nghiên cứu đã nảy sinh về việc xác lập độ tin cậy cho mô hình số khi không có một "chân lý" thực tế để đối chiếu. Nghiên cứu này giải quyết vấn đề đó bằng cách thực hiện đối chiếu giữa dự báo từ mô hình FEM và lời giải giải tích xác suất theo Eurocode 7 [8], [15] trên vị thế ngang hàng, dựa trên sự biến thiên của bộ tham số. Mục tiêu cốt lõi của bài báo là thiết lập một không gian tin cậy hai chiều (|β|, BR) để định lượng mức độ tương đồng giữa hai cách tiếp cận thông qua việc kết hợp phương pháp diễn giải Gwizdala và mô phỏng Monte Carlo. Khung đánh giá này hướng tới xây dựng một quy trình kiểm chứng minh bạch, giúp chuẩn hóa các dự báo sức chịu tải cho móng băng trên nền đá phong hóa trong điều kiện bất định.

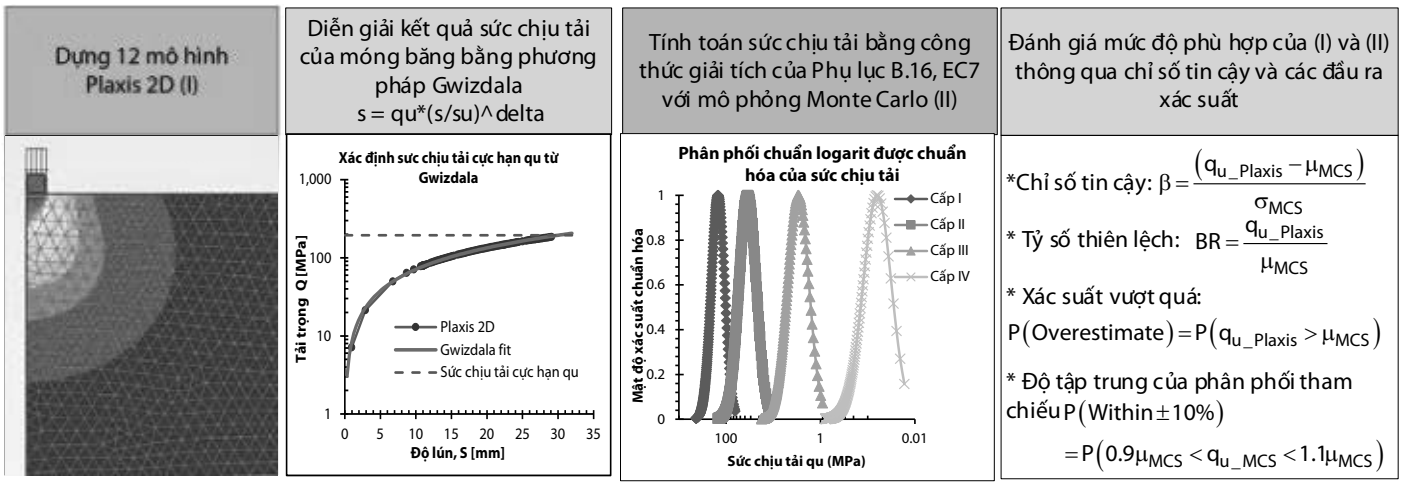
2. THÀNH LẬP BÀI TOÁN

Bảng 1. Thông số của khối đá với các cấp phong hóa khác nhau phục vụ lời giải giải tích và mô phỏng Monte Carlo

Thông số	Phân bố xác suất	Grade I	Grade II	Grade III	Grade IV
GSI	Chuẩn bị chặn [0;100]	μ=75; σ=4	μ=62,5; σ=5	μ=45; σ=5	μ=27,5; σ=4
σ_{ci} (MPa)	Log-normal	μ=100; CoV=0,25	μ=60; CoV=0,30	μ=25; CoV=0,35	μ=8; CoV=0,40
m_i	Beta	[18; 25], Beta(α=2; β=2)	[12; 20]; Beta(α=2; β=2)	[7; 12]; Beta(α=2; β=2)	[3; 6]; Beta(α=2; β=2)
D	Đều	U(0,0; 0,1)	U(0,1; 0,3)	U(0,3; 0,6)	U(0,6; 1,0)
E (GPa)	Log-normal	μ=30; CoV=0,25	μ=20; CoV=0,30	μ=10, CoV=0,35	μ=4, CoV=0,40

Bảng 2. Thông số của đá phong hóa với 12 kịch bản cho phân tích FEM (mô hình Plaxis 2D)

Cấp phong hóa	Kịch bản	GSI	σ_{ci} (MPa)	m_i	D	E (GPa)	γ (kN/m³)	ν	E_m (GPa)
Grade I	OPT	78	110	24,0	0,02	35,0	26,0	0,25	29,573
Grade I	MED	75	100	20,0	0,05	30,0	26,0	0,25	23,563
Grade I	PESS	70	80	18,0	0,10	25,0	26,0	0,25	16,748
Grade II	OPT	68	75	18,0	0,10	22,0	25,0	0,25	13,891
Grade II	MED	62	60	15,0	0,20	18,0	25,0	0,25	8,092
Grade II	PESS	56	45	12,0	0,30	15,0	25,0	0,25	4,328
Grade III	OPT	52	35	11,0	0,35	12,0	22,5	0,25	2,524
Grade III	MED	45	25	9,0	0,45	10,0	22,5	0,25	1,142
Grade III	PESS	38	18	7,0	0,55	8,0	22,0	0,25	0,509
Grade IV	OPT	33	12	6,0	0,65	6,0	20,0	0,30	0,258
Grade IV	MED	28	8	4,5	0,80	4,0	20,0	0,30	0,123
Grade IV	PESS	22	5	3,5	0,95	2,5	20,0	0,30	0,061



Hình 1. Lưu đồ phương pháp phân tích theo hướng tiếp cận tất định - xác suất

Với mục tiêu thiết lập một khung đánh giá sức chịu tải vừa đảm bảo độ chính xác kỹ thuật vừa khả thi về mặt tính toán, nghiên cứu thay thế mô phỏng ngẫu nhiên FEM bằng cách tiếp cận kịch bản với ba bộ tham số đại diện: Lạc quan (OPT), Trung vị (MED) và Bi quan (PESS). Bài toán được cụ thể hóa qua 12 mô hình số tất định tương ứng với 4 cấp độ phong hóa (Grade I-IV), mô tả có hệ thống sự suy giảm cường độ và quá trình chuyển tiếp ứng xử cơ học từ đá sang đất. Các thông số đầu vào này được tổng hợp từ các nghiên cứu [1], [2], [3], [4], [5] (Bảng 1 và 2), đồng thời được gán các phân bố thống kê trong mô phỏng Monte Carlo kết hợp lời giải giải tích từ Phụ lục B.16 của Eurocode 7 để lượng hóa sự biến động đặc trưng khối đá. Cấu trúc này hình thành một quy trình đối chiếu tất định - xác suất chặt chẽ, cho phép kiểm chứng mức độ tương đồng giữa dự báo số và nghiệm giải tích tiêu chuẩn trong điều kiện bất định của nền đá.

Nghiên cứu sử dụng phần mềm Plaxis 2D [16] để mô phỏng móng băng (B = 2 m) trên nền đá theo mô hình Hoek-Brown tổng quát, với lưới phần tử được làm mịn dưới đáy móng nhằm mô tả chính xác sự tập trung ứng suất và diễn biến vùng dẻo. Sức chịu tải cực hạn (q_u) được xác định từ đường cong tải trọng - độ lún bằng phương pháp Gwizdala. Song song đó, lời giải giải tích theo Phụ lục B.16 của Eurocode 7 được áp dụng để tính toán sức chịu tải dựa trên tiêu chuẩn phá hủy Hoek-Brown cho nền đá. Để xét đến tính bất định của các đặc tính cơ lý, mô phỏng Monte Carlo được thực hiện bằng cách gán các phân bố thống kê cho bộ tham số GSI, σ_{ci}, m_i, D theo từng cấp độ phong hóa. Sự kết hợp giữa mô hình số tất định và giải tích xác suất này giúp thiết lập một khung tham chiếu toàn diện, phản ánh rõ mức độ biến động và độ tin cậy của các dự báo sức chịu tải.

Để khắc phục hạn chế khi so sánh trực tiếp giá trị tất định từ FEM với phân phối xác suất giải tích, nghiên cứu đề xuất một không gian đánh giá hai chiều dựa trên chỉ số độ tin cậy $|\beta|$ và tỷ lệ thiên lệch BR. Trong đó, $|\beta|$ đóng vai trò đo lường biên độ khác biệt chuẩn hóa, còn BR xác định hướng sai lệch của dự báo số so với giá trị trung bình giải tích. Ngoài ra, các xác suất phụ trợ như *P*(Overestimate) và *P*(Within ±10%) cũng được thiết lập để làm rõ mức độ tương đồng và tin cậy giữa hai cách tiếp cận trong bài toán sức chịu tải.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Xác minh mức độ nhất quán của hai cách tiếp cận

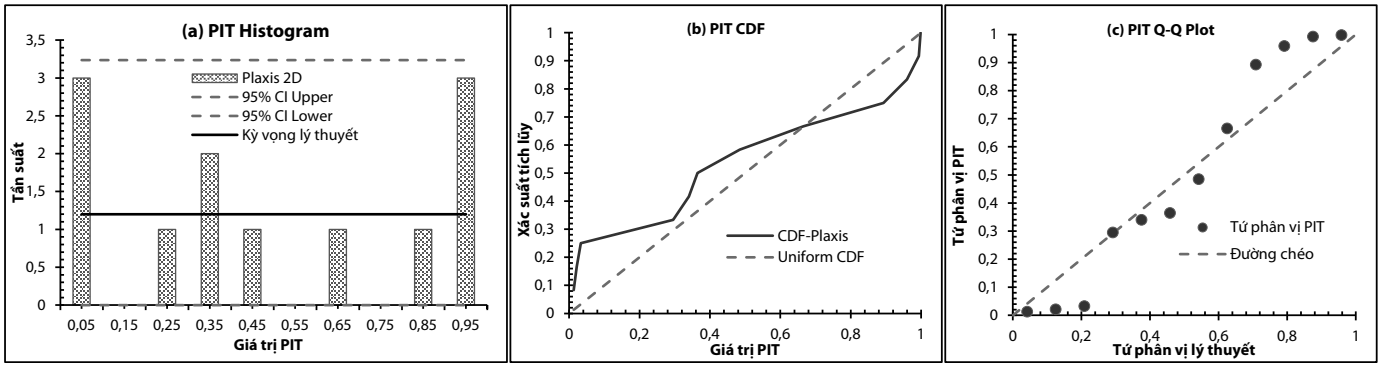
Để kiểm chứng mô hình số trong điều kiện thiếu dữ liệu thực nghiệm, việc so sánh với các công thức giải tích như Phụ lục B.16 của Eurocode 7 là lựa chọn tối ưu. Tuy nhiên, thay vì coi lời giải giải tích là chuẩn tuyệt đối, nghiên cứu này đặt phương pháp mô hình số và giải tích ở vị thế ngang hàng để đánh giá mức độ tương đồng. Quá trình đối chiếu này tập trung vào việc xác nhận tính nhất quán giữa hai cách tiếp cận

cả về đặc trưng thống kê lẫn cơ sở vật lý của nền đá phong hóa. Đây là bước đệm cần thiết để đảm bảo độ tin cậy của kết quả trước khi đi sâu vào các phân tích tiếp theo.

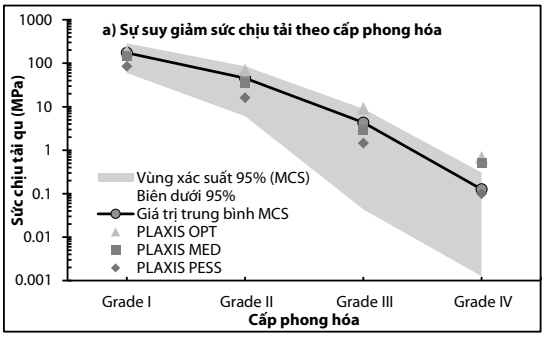
Để kiểm định tính nhất quán thống kê giữa mô hình số tất định và lời giải giải tích xác suất, phương pháp biến đổi tích phân xác suất (PIT) [17] với bộ ba biểu đồ tại Hình 2 đã được sử dụng. Kết quả cho thấy phân phối PIT có dạng chữ U nhẹ, cho thấy dự báo số tập trung gần hai đuôi của phân phối giải tích nhưng tất cả các giá trị vẫn nằm trong khoảng tin cậy 95%. Các đường CDF thực nghiệm và biểu đồ Q-Q đều bám sát đường chéo 45 độ, mặc dù có sai lệch nhỏ ở các phân vị biên nhưng không đủ để bác bỏ giả thuyết về phân phối đều. Sự hội tụ này xác nhận rằng các giá trị sức chịu tải từ mô hình Plaxis nằm phù hợp trong không gian xác suất do lý thuyết định nghĩa. Do đó, hai cách tiếp cận được coi là nhất quán và có thể so sánh trực tiếp với nhau về mặt thống kê.

Kết quả tại Hình 3 xác nhận sự nhất quán về xu hướng vật lý khi sức chịu tải (q_u) từ cả mô hình số và giải tích đều giảm mạnh hơn 99% theo mức độ phong hóa tăng dần từ Grade I đến Grade IV. Cụ thể, giá trị trung bình μ giảm từ 174,05 MPa xuống 0,13 MPa, tương ứng với đà suy giảm của các kịch bản Plaxis từ mức cao nhất 189,56 MPa (OPT) xuống mức thấp nhất 0,1 MPa (PESS). Trong khi kịch bản OPT và PESS thể hiện rõ thiên lệch cấu trúc "lạc quan" và "thận trọng" so với μ, thì kịch bản MED đóng vai trò "neo trung dung" với giá trị bám sát kết quả giải tích nhất. Dù có sự khác biệt về trị số tuyệt đối, việc tất cả các phương án đều dự báo q_u giảm cùng chiều, không có nghịch lý tăng khi đá phong hóa nặng hơn, đã chứng minh tính đúng đắn về mặt cơ học của mô hình. Sự tương đồng này khẳng định việc so sánh giữa mô phỏng số và lời giải xác suất là hoàn toàn có cơ sở thực tiễn.

Như vậy, mô hình số tất định nhất quán cả về mặt thống kê lẫn yếu tố vật lý với phương pháp giải tích kết hợp mô phỏng Monte Carlo. Điều đó đảm bảo được độ tin cậy cho các bước diễn giải tiếp theo.



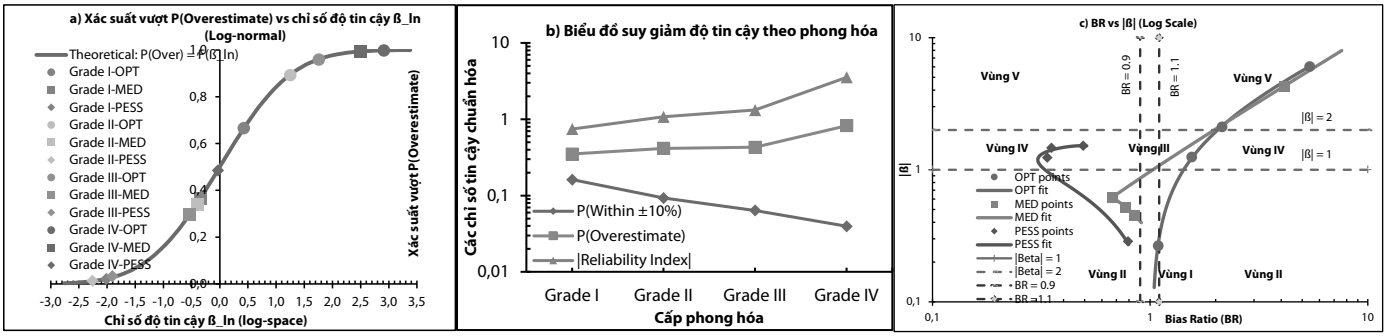
Hình 2. Các biểu đồ kiểm định độ chuẩn xác xác suất giữa các dự báo của phương pháp giải tích và phương pháp số



Cấp phong hóa	Kịch bản	qu_Plaxis (Mpa)	μ_MCS (Mpa)	σ_MCS (Mpa)	P(Overestimate)	P(Underestimate)	Chỉ số tin cậy, β	P(Within ±10%)	Hệ số thiên lệch BR
Grade I	OPT	189,56	174,05	58,23	0,666	0,334	0,266	0,227	1,089
Grade I	MED	147,60	174,05	58,23	0,365	0,635	-0,454	0,225	0,848
Grade I	PESS	85,79	174,05	58,23	0,022	0,978	-1,516	0,033	0,493
Grade II	OPT	70,99	45,73	20,23	0,893	0,107	1,249	0,085	1,552
Grade II	MED	35,27	45,73	20,23	0,340	0,660	-0,517	0,178	0,771
Grade II	PESS	16,08	45,73	20,23	0,013	0,987	-1,465	0,016	0,352
Grade III	OPT	9,30	4,35	2,34	0,960	0,040	2,112	0,036	2,137
Grade III	MED	2,91	4,35	2,34	0,296	0,704	-0,616	0,128	0,668
Grade III	PESS	1,46	4,35	2,34	0,033	0,967	-1,232	0,028	0,337
Grade IV	OPT	0,69	0,13	0,09	0,999	0,001	6,044	0,002	5,407
Grade IV	MED	0,52	0,13	0,09	0,993	0,007	4,295	0,006	4,132
Grade IV	PESS	0,10	0,13	0,09	0,485	0,515	-0,287	0,111	0,791

Hình 3. a) Biểu đồ biểu diễn sự suy giảm sức chịu tải qu theo cấp phong hóa; b) Kết quả đánh giá mức độ phù hợp của phương pháp số và phương pháp giải tích kết hợp mô phỏng Monte Carlo

3.2. Đánh giá mức độ phù hợp giữa sức chịu tải cực hạn từ mô hình tất định (Plaxis 2D) và từ mô phỏng ngẫu nhiên (giải tích kết hợp mô phỏng Monte Carlo)



Hình 4. (a) Biểu đồ xác suất vượt P(Overestimate) vs chỉ số độ tin cậy β_ln; (b) Biểu đồ suy giảm độ tin cậy theo phong hóa; (c) Biểu đồ BR-|β|

Trước khi sử dụng chỉ số độ tin cậy β như một thước đo độ lệch, cần xác nhận rằng nó phản ánh đúng vị trí của dự báo mô hình số trong phân phối giải tích. Nếu β là một thước đo hợp lệ, mối quan hệ giữa β và xác suất dự báo vượt *P*(Overestimate) phải tuân theo lý thuyết phân phối chuẩn logarit. Kết quả từ Hình 4a cho thấy tất cả các điểm dữ liệu từ dự báo của mô hình số đều nằm rất sát đường cong lý thuyết *P*(Overestimate) = F(β_ln) với độ lệch từ 0.1 đến 0.5%. Điều này xác nhận rằng: (i) Phân phối xác suất giải tích được xác định chính xác với các tham số μ và σ phù hợp; (ii) Chỉ số độ tin cậy β là một thước đo chuẩn hóa hợp lệ cho vị trí của dự báo mô hình số trong phân phối đó; (iii) Với mỗi giá trị β có thể xác định chính xác xác suất của mô hình số vượt giá trị trung bình giải tích. Vì vậy, biểu đồ β và *P*(Overestimate) xác nhận rằng chỉ số tin cậy β là một thước đo độ lệch chuẩn hợp lệ. Do đó, có thể sử dụng β để đánh giá mức độ tương đồng giữa dự báo mô hình số tất định và giải tích xác suất trong các phân tích tiếp theo.

Kết quả ở Hình 4b cho thấy xu hướng tổng thể khi cấp phong hóa tăng từ Grade I đến Grade IV, thể hiện qua các giá trị trung bình của ba kịch bản: khoảng cách |β| nới rộng mạnh mẽ từ 0,75 lên 3,54. Sự chuyển dịch hệ thống về phía "lạc quan" được ghi nhận khi xác suất dự báo vượt *P*(Overestimate) trung bình tăng từ 0,35 lên 0,83, trong khi độ tập trung của phân phối tham chiếu P(Within ±10%) sụt giảm từ 16% xuống chỉ còn 4%. Mối tương quan chặt chẽ giữa |β| với P(Overestimate) (r = 0,975) và P(Within ±10%) (r = -0,941) khẳng định bộ ba chỉ số này phản ánh đồng nhất một sự phân kỳ tổng thể ngày càng lớn giữa hai cách tiếp cận. Những kết quả này thiết lập một cái nhìn toàn cảnh về sự tách rời giữa mô hình số và giải tích theo mức độ phong hóa của đá trước khi đi sâu vào phân tích sự tương tác chi tiết của từng kịch bản cụ thể.

Tuy nhiên, sự gia tăng độ phân tán của |β| với độ lệch chuẩn tăng từ 0,631 (Grade I) lên mức xấp xỉ giá trị trung bình là 2,907 (Grade IV) cho thấy xu hướng tổng thể đang che khuất sự phân hóa sâu sắc giữa các nhóm tham số. Dữ liệu từ Hình 3b minh chứng rằng khi phong hóa tăng, biên độ phân kỳ mở rộng mạnh mẽ ở kịch bản OPT (|β| tăng từ 0,226 lên 6,044) và MED (|β| tăng từ 0,454 lên 4,295), nhưng lại thu hẹp dần ở kịch bản PESS (|β| giảm từ 1,516 xuống 0,287). Hướng thiên lệch cũng khẳng định tính bền vững theo kịch bản khi OPT luôn duy trì xu hướng lạc quan (BR > 1), PESS giữ mức thận trọng (BR < 1), còn MED chỉ "đứt gãy" từ vùng tiệm cận trung bình sang mức cao vượt trội tại Grade IV (BR = 4,132). Sự tương phản này xác nhận rằng hướng và biên độ khác biệt là thuộc tính đặc trưng của từng kịch bản tham số, buộc nghiên cứu phải tách biệt các phân tích chi tiết thay vì chỉ dựa trên các giá trị trung bình cấp độ.

Để khắc phục hạn chế của các chỉ số trung bình, bài báo xây dựng bản đồ trạng thái tại Hình 4c thông qua việc kết hợp |β| (ngưỡng 1 và 2) và BR (ngưỡng 0,9 và 1,1) nhằm định lượng chính xác mức độ tương đồng giữa hai cách tiếp cận. Bản đồ này phân định năm khu vực đặc trưng gồm: Vùng I (Tương đồng lý tưởng: |β| < 1, 0,9 < BR < 1,1), Vùng II (Tương đồng hình thức: |β| < 1, BR ngoài dải 0,9–1,1), Vùng III (Dao động ngẫu nhiên: 1 < |β| < 2, 0,9 < BR < 1,1), Vùng IV (Bất đồng cấu trúc: 1 < |β| < 2, BR ngoài dải 0,9–1,1) và Vùng V (Bất đồng cực đoan: |β| > 2). Kết quả định vị cho thấy sự phân hóa sâu sắc khi Grade I-OPT thuộc Vùng I; Grade I, II, III-MED và Grade IV-PESS thuộc Vùng II; các cấp Grade I, II, III của kịch bản PESS thuộc Vùng IV; trong khi Grade III, IV-OPT và Grade IV-MED rơi vào Vùng V. Hệ thống phân loại này cho phép nhận diện đầy đủ các tương tác hai chiều với ý nghĩa thống kê và kỹ thuật rõ ràng, điều mà một chỉ số đơn lẻ không thể thực hiện được.

Bằng cách kết nối các điểm cùng kịch bản trên bản đồ trạng thái, nghiên cứu xác lập được ba quỹ đạo phân kỳ rõ rệt, phản ánh sự tương tác phi tuyến giữa mức độ phong hóa và vị trí lựa chọn tham số. Kịch bản OPT thể hiện quỹ đạo cong mở rộng nhanh chóng từ tương đồng lý tưởng đến bất đồng cực đoan (I → IV → V → V), chứng tỏ phản ứng cực kỳ nhạy cảm khi mỗi cấp phong hóa đều đẩy dự báo số sang một vùng trạng thái mới. Ngược lại, kịch bản MED (II → II → II → V) và PESS (IV → IV → IV → II) cho thấy sự ổn định tương đối trong ba cấp phong hóa đầu trước khi thay đổi bản chất tại Grade IV. Sự khác biệt hình dạng giữa ba quỹ đạo này minh chứng rằng tác động của phong hóa không đồng nhất: cùng một mức biến động của các tham số giải tích (μ_MCS, σ_MCS), các lựa chọn kịch bản tham số khác nhau sẽ tạo ra những phản ứng cơ học và thống kê hoàn toàn khác biệt.

Quan sát các quỹ đạo trên bản đồ trạng thái cho thấy một "điểm gãy" hành vi đồng loạt tại ngưỡng chuyển tiếp từ Grade III sang Grade IV, nơi cả ba kịch bản thay đổi trạng thái theo những hướng đối nghịch tùy thuộc vào vị trí xuất phát. Nhận định này được minh chứng qua sự phân hóa về chất: kịch bản OPT lún sâu vào vùng bất đồng cực đoan với |β| tăng vọt từ 2,112 lên 6,044, trong khi PESS lại ghi nhận sự hội tụ bất ngờ khi rời vùng IV để tiến vào vùng tương đồng hình thức (Vùng II) với |β| chỉ còn 0,287. Diễn giải định lượng cho thấy hiện tượng này bắt nguồn từ việc σ_MCS tại Grade IV sụt giảm nghiêm trọng (0,092), khiến sai lệch tuyệt đối |qu_Plaxis - μ_MCS| ở kịch bản thấp đạt mức cực tiểu (0,027) gây ra sự hội tụ, trái ngược với sai lệch lớn ở các kịch bản cao dẫn đến sự tách rời hoàn toàn. Kết quả này xác nhận một quy luật tại điểm gãy: tính nhất quán giữa hai phương pháp bị phân cực khi chất lượng đá suy thoái nặng, nơi chỉ kịch bản biên thấp mới tìm thấy sự tương đồng với không gian xác suất tham chiếu.

Mặc dù định nghĩa Vùng V (bất đồng cực đoan) cho phép tỷ lệ thiên lệch BR nhận giá trị bất kỳ khi |β| > 2, nhưng thực tế chỉ có các kịch bản phía cao như OPT và MED mới rơi vào vùng này, trong khi kịch bản PESS không bao giờ chạm tới ngưỡng phân kỳ đó. Hình 3a minh chứng rõ nét sự bất đối xứng này khi cả OPT và MED tại Grade IV đều nằm ngoài biên bất định tham số (vùng nền xanh), trong khi giá trị q_u của PESS vẫn duy trì sự nhất quán bên trong không gian xác suất giải tích. Điều này chứng tỏ rằng sự khác biệt giữa hai cách tiếp cận ở kịch bản phía thấp không bao giờ đạt mức cực đoan về mặt thống kê, ngay cả khi đá bị phong hóa mạnh nhất. Nói cách khác, tồn tại một sự bất đối xứng nội tại giữa hai phía của phân phối: các kịch bản biên cao có xu hướng phân kỳ và tách rời hệ quy chiếu mạnh hơn nhiều so với kịch bản ở phía thấp.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này thiết lập khung đánh giá chuẩn tích hợp tất định - xác suất để xác định sức chịu tải móng băng trên nền đá phong hóa, trong đó mô hình số FEM (Plaxis 2D) và lời giải giải tích (Eurocode 7) được đối chiếu ngang hàng qua không gian xác suất chuẩn hóa. Các kết luận chính được rút ra như sau:

Thứ nhất, sự phân kỳ tăng dần theo mức độ phong hóa: Hai cách tiếp cận ngày càng tách rời khi cấp phong hóa tăng từ Grade I đến Grade IV. Các chỉ số trung bình ghi nhận khoảng cách |β| tăng 375% (từ 0,745 lên 3,542), xác suất dự báo vượt *P*(Overestimate) tăng từ 35% lên 83%, và độ tập trung của phân phối tham chiếu P(Within ± 10%) giảm mạnh từ 16% xuống còn 4%. Mối tương quan rất mạnh (|r| > 0,94) giữa các chỉ số này khẳng định tính hệ thống của xu hướng phân kỳ.

Thứ hai, bản đồ phân vùng tương đồng hai chiều: Một hệ thống phân loại gồm 5 vùng trạng thái đã được thiết lập dựa trên các ngưỡng thống kê |β| = {1; 2} và ngưỡng kỹ thuật BR = {0,9; 1,1}. Bản đồ này cho phép định lượng mức độ tương đồng từ "Tương đồng ý tưởng" (Vùng I) đến "Bất đồng cực đoan" (Vùng V), đồng thời phân biệt biên độ khác biệt và hướng thiên lệch mà các chỉ số đơn lẻ không thể phản ánh hết.

Thứ ba, quỹ đạo tương tác phi tuyến: Sự kết nối các điểm cùng kịch bản làm lộ rõ ba quỹ đạo khác biệt: OPT dịch chuyển liên tục từ tương đồng lý tưởng đến bất đồng cực đoan; MED ổn định trước khi sụp đổ tại vùng bất đồng cực đoan; và PESS ổn định rồi cải thiện về phía tương đồng hình thức. Điều này chứng minh tác động của phong hóa phụ thuộc chặt chẽ vào vị trí lựa chọn tham số ban đầu trong khoảng bất định.

Thứ tư, điểm gãy hành vi tại Grade IV: Đây là ngưỡng tới hạn nơi cả ba kịch bản đồng loạt thay đổi hành vi theo hướng đối nghịch tùy vào vị trí xuất phát. OPT từ kịch bản tương đồng nhất ở Grade I trở thành bất đồng nhất ở Grade IV, trong khi PESS diễn biến ngược lại. Sự nhảy vọt của kịch bản MED tại điểm gãy này khẳng định không có bộ tham số vạn năng; việc lựa chọn kịch bản đối chiếu phải căn cứ vào cấp phong hóa: OPT cho Grade I, MED cho Grade II-III và chỉ PESS mới đảm bảo tính nhất quán cho Grade IV.

Thứ năm, bất đối xứng nội tại: Sau điểm gãy Grade IV, một sự bất đối xứng xuất hiện khi chỉ các kịch bản biên cao (OPT, MED) mới đạt tới vùng bất đồng cực đoan (Vùng V), còn kịch bản biên thấp (PESS) luôn duy trì sự hội tụ nhất định với hệ quy chiếu xác suất. Hiện tượng này khẳng định sự khác biệt giữa hai cách tiếp cận có bản chất cấu trúc, xác lập giới hạn phân định khả năng hội tụ giữa mô hình số và giải tích khi chất lượng đá suy thoái nặng.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Công nghệ Kỹ thuật TP.HCM thông qua đề tài nghiên cứu khoa học mã số T2025-247.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] A.S. Gupta, K. Seshagiri Rao. Engineering Behaviour and Classification of Weathered Rocks, in Indian Geotechnical Conference, madras, 1996.

[2] A.S. Gupta, K. Seshagiri Rao. Weathering eVects on the strength and deformational behaviour of crystalline rocks under uniaxial compression state. Engineering Geology 56, 257-274, pp. 257-274, 2000.

[3] Gu, N., Tamblyn, W., Lamb, I., & Ramsey, N. Effect of weathering on strength and modulus of basalt and siltstone, in The 42nd U.S. Rock Mechanics Symposium (USRMS), San Francisco, California, 2008.

[4] Yizhao Wang, Ruiling Jia, Yadong Li, KezhengYang, Jie Cui and Yi Shan. Study on the mechanical properties and microscopic evolution mechanisms of weathered granite. Scientific Reports, 2024.

[5] Eduardo Antonio Gomes Marques, Eurıpedes do Amaral Vargas Junior, Luana Claudia Pereira, Marcio Fernandes Leao. Influence of Weathering on the Strength and Hoek-Brown Parameters of a Kinzigite Gneiss. Geotech Geol Eng, pp. 3995-4008, 2021.

[6] E. Hoek, C. Carranza-Torres and B. Corkum. Hoek-Brown failure criterion - 2002 Edition, in Proc. NARMS-TAC Conference, Toronto, Canada, 2002.

[7] V. Marinos, T.G. Carter. Maintaining geological reality in application of GSI for design of engineering structures in rock. Engineering Geology, 2018.

[8] D. Wyllie. Rock Slope Engineering. Civil Applications, 5th ed., FL, USA: CRC Press: Boca Raton, 2017.

[9] Serrano, Olalla. Ultimate Bearing Capacity of Rock mass. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. vol. 31, no. 2, pp. 93-106, 1994.

[10] Xiaoli Yang, Jian-Hua Yin and Liang Li. Influence of a nonlinear failure criterion on the bearing capacity of a strip footing resting on rock mass using a lower bound approach. Can. Geotech. J. 40, pp. 722-707, 2003.

[11] Xiao-Li Yanga, Jian-Hua Yin. Upper bound solution for ultimate bearing capacity with a modified Hoek-Brown failure criterion. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 42, p. 550-560, 2005.

[12] Sagar Jaiswal, Vinay Bhushan Chauhan. Ultimate bearing capacity of strip footing resting on rock mass using adaptive finite element method. Journal of King Saud University - Engineering Sciences, p. 235-248, 2024.

[13] Mehdi Mansouria, Meysam Imania, Ahmad Fahimifar. Ultimate bearing capacity of rock masses under square and rectangular footings. Computers and Geotechnics, pp. 1-9, 2019.

[14] Kazimierz Gwizdała, Paweł Więcławski. Displacement piles - classification and new methods for the calculation of bearing capacity. Scientific Review - Engineering and Environmental Sciences, vol. 29, no. 3, pp. 308-318, 2020.

[15] E. 1997-3. Geotechnical Design-Part 3: Geotechnical Structures. European Committee for Standardization, Bruxelles, Belgium, 2025.

[16] Bentley Systems, Incorporated. PLAXIS 2D tutorial Manual CONNECT edition V20, 2019.

[17] J. E. ANGUS. The Probability Integral Transform And Related Results. Society for Industrial and Applied Mathematics, pp. 652-654, 1994.

[18] E. Hoek, E.T. Brown. The Hoek-Brown failure criterion and GSI - 2018 edition. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, pp. 445-463, 2019.

■Ngày nhận bài: 02/4/2026 ■Ngày sửa bài: 15/5/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 23/5/2026

Nghiên cứu ảnh hưởng của khoảng cách trục đến tính năng động lực học giá chuyển hướng toa xe khách

Study on the influence of wheelbase on the dynamic performance of passenger coach bogies

> NGUYỄN TRUNG HIẾU
Trường Đại học Giao thông vận tải; Email: hieudmtx@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu ảnh hưởng của khoảng cách trục trong giá chuyển hướng đến tính năng động lực học toa xe khách như chỉ tiêu êm dịu, chỉ tiêu ổn định chống trật bánh và khả năng thông qua đường cong. Thông qua việc thay các khoảng cách trục đối với từng loại giá chuyển hướng để tìm ra khoảng cách trục hợp lý cho các loại giá chuyển hướng đó và tiến tới quy chuẩn hóa khoảng cách trục cho các toa xe khách trên đường sắt Việt Nam. Từ đó đề xuất khoảng cách trục phù hợp cho giá chuyển hướng toa xe khách có tốc độ thiết kế 120 km/h vận dụng trên Đường sắt Việt Nam.

Từ khóa: Khoảng cách trục; toa xe khách; tính năng động lực học; độ êm dịu; ổn định chống trật bánh.

ABSTRACT

This paper investigates the influence of bogie wheelbase on the dynamic performance of passenger coaches, including ride comfort, derailment stability, and curving performance. By varying the wheelbase for different types of bogies, the study aims to determine the optimal wheelbase for each bogie type and move toward the standardization of bogie wheelbase for passenger coaches in the Vietnam railway system. Based on the results, a suitable wheelbase is proposed for bogies used in passenger coaches with a design speed of 120 km/h operating on the Vietnam railway.

Keywords: Bogie wheelbase; passenger coach; dynamic performance; derailment stability, ride comfort.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Khoảng cách trục là một trong những yếu tố rất quan trọng liên quan trực tiếp đến an toàn, ảnh hưởng tới dao động của toa xe đặc biệt là khi toa xe thông qua đường cong và gián tiếp ảnh hưởng tới chất lượng vận tải hành khách, quyết định sự thoải mái hay mệt mỏi của hành khách khi đi tàu [1]. Hiện nay trên đường sắt Việt Nam đang sử dụng khoảng 10 loại giá chuyển hướng toa xe khách khác nhau, có loại khoảng cách trục giống nhau, tuy nhiên có nhiều loại khoảng cách trục khác nhau và nó dao động từ 1.800 mm đến 2.600 mm. Điều đó cũng có nghĩa là chất lượng vận hành của từng loại toa xe cũng khác nhau. Từ đó nảy sinh ra một vấn đề là lựa chọn khoảng cách trục phù hợp cho các toa xe khách vận dụng trên đường sắt Việt Nam. Hiện nay hầu hết các giá chuyển hướng toa xe khách đều được đóng mới trong nước. Đường sắt Việt Nam đang hướng tới nâng tốc độ chạy tàu lên 120 km/h, khi đó việc thiết kế giá chuyển hướng với các thông số phù hợp và an toàn là là bước đầu tiên và quan trọng nhất. Vì vậy nghiên cứu và đánh giá ảnh hưởng của khoảng cách trục tới tính năng động lực học của giá chuyển hướng là cần thiết để lựa chọn khoảng cách trục phù hợp và thống nhất cho toa xe khách vận dụng trên Đường sắt Việt Nam.

2. NỘI DUNG

2.1. Thông số toa xe khách dùng tính toán

Giả thiết lựa chọn một loại thùng toa xe khách thế hệ 2 lắp giá chuyển hướng Ấn Độ để tính toán. Tiếp theo là cho khoảng cách trục thay đổi từ 1800 mm đến 3000 mm để kiểm tra khoảng cách trục thay đổi sẽ ảnh hưởng tới giao động và độ êm dịu của toa xe như thế nào.

Bảng 1. Thông số kỹ thuật toa xe khách thế hệ 2

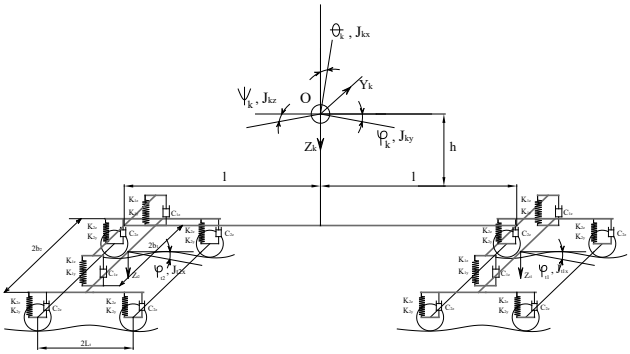
TT	Tên thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị	Ghi chú
1	Khối lượng thùng xe	M_k	Kg	30000	
2	Mô men quán tính khối lượng thân xe	J_{ky}	$Kg.m^2$	1061600	Trục Y
3	Mô men quán tính khối lượng thân xe	J_{kz}	$Kg.m^2$	1045000	Trục Z
4	Mô men quán tính khối lượng thân xe	J_{kx}	$Kg.m^2$	61000	Trục X
5	Khoảng cách tâm cối chuyển	2l	m	14000	

Bảng 2. Thông số kỹ thuật giá chuyển hướng Ấn Độ

TT	Tên thông số	Ký hiệu	Đơn vị	giá trị	Ghi chú
1	Khối lượng 1 bộ giá chuyển hướng	M_t	kg	4000	
2	Khoảng cách giãn cách của lò xo TW	$2b_1$	m	1.57	
3	Khoảng cách trục trong 1 GCH	$L_t = 2l_t$	m	1.8÷2.6	
4	Độ cứng 1 tổ lò xo TW phương Z	K_{1z}	N/m	1340000	
5	Độ cứng 1 tổ lò xo TW phương Y	K_{1y}	N/m	3350000	
6	Hệ số cản giảm chấn TW phương Z	C_{1z}	Ns/m	72 000	
7	Độ cứng 1 tổ lò xo HTrục phương Z	K_{2z}	N/m	832 156	
8	Độ cứng 1 tổ lò xo HTrục phương Y	K_{2y}	N/m	2080390	
9	Hệ số cản giảm chấn HT phương Z	C_{2z}	Ns/m	40 000	
10	Khoảng cách lò xo hộp trục	$2b_2$	m	1.498	

2.2. Ảnh hưởng của khoảng cách trục đến chỉ tiêu êm dịu toa xe khách

Sử dụng lý thuyết dao động toa xe khách theo mô hình không gian [3] Hình 1 để thành lập hệ phương trình vi phân dao động toa xe khách và ứng dụng phần mềm matlab giải xác định dao động và chỉ tiêu êm dịu toa xe khách với các khoảng cách trục khác nhau từ 1.800 mm đến 3.000 mm.



Hình 1. Sơ đồ tính tổng quát dao động cưỡng bức toa xe khách

$\eta_1, \eta_2, \eta_3, \eta_4$: là lượng biến dạng thẳng đứng tại các vị trí tiếp xúc giữa ray với đôi trục bánh thứ 1, 2, 3, 4.

$\theta_k, \varphi_k, \Psi_k$: Dao động góc của thùng xe quanh trục x, y, z.

$\theta_{k1}, \varphi_{k1}, \Psi_{k1}$: Dao động góc của giá chuyển i quanh trục x, y, z.

Z_k, Y_k: dịch chuyển thẳng đứng và ngang thùng xe.

Z_{T1}, Z_{T2}: Dịch chuyển nổi của trọng tâm giá chuyển trước và sau.

φ_{T1}, φ_{T2}: Dịch chuyển góc (gật đầu) của giá chuyển trước và sau.

J_{kx}, J_{ky}, J_{kz}: Mô men quán tính của thùng xe với trục OX_k, OY_k, OZ_k.

J_{T1x}, J_{T1y}, J_{T1z}: Mô men quán tính của giá chuyển đối với trục: x, y, z.

m_k (P_k): Khối lượng (trọng lượng) thùng xe.

$m_{T1} = m_{T2} = m_T$ (P_t): trọng lượng giữa hai hệ lò xo của giá chuyển hướng.

$2b_1$, $2b_2$: Khoảng cách theo chiều ngang của lò xo trung ương và lò xo bầu dầu ở một giá chuyển.

$Z_I, Z_{II}, Z_{III}, Z_{IV}$: Tổng dịch chuyển thẳng đứng của thùng xe tại các điểm I, II, III, IV.

$Z_{1t}, Z_{2t}, Z_{3t}, Z_{4t}$: dịch chuyển thẳng đứng tại các điểm tựa lò xo bầu dầu phía trái của các đôi trục bánh thứ 1, 2, 3, 4 do chuyển động rắn bò gây ra.

$Z_{1f}, Z_{2f}, Z_{3f}, Z_{4f}$: dịch chuyển thẳng đứng tại các điểm tựa lò xo bầu dầu phía phải của các đôi trục bánh thứ 1, 2, 3, 4 do chuyển động rắn bò gây ra.

$y_I, y_{II}, y_{III}, y_{IV}$: Tổng dịch chuyển ngang của thùng xe tại các điểm I, II, III, IV.

y_1, y_2, y_3, y_4 : dịch chuyển ngang tại lò xo bầu dầu do chuyển động rắn bò gây ra của các đôi trục bánh 1, 2, 3, 4.

Hệ phương trình vi phân của dao động cưỡng bức sẽ là:

(1) $$\ddot{Z}_k + b_{11}\dot{Z}_k + b_{16}\dot{Z}_{T1} + b_{17}\dot{Z}_{T2} + a_{11}Z_k + a_{16}Z_{T1} + a_{17}Z_{T2} = 0$$

(2) $$\ddot{\phi}_k + b_{22}\dot{\phi}_k + b_{26}\dot{Z}_{T1} + b_{27}\dot{Z}_{T2} + a_{22}\phi_k + a_{26}Z_{T1} + a_{27}Z_{T2} = 0$$

(3) $$\ddot{Z}_{T1} + b_{66}\dot{Z}_{T1} + b_{61}\dot{Z}_k + b_{62}\dot{\phi}_k + a_{66}Z_{T1} + a_{61}Z_k + a_{62}\phi_k = \\ = \frac{2K_{2z}}{m_T}(\eta_1 + \eta_2) + \frac{2C_{2z}}{m_T}(\dot{\eta}_1 + \dot{\eta}_2) = 0$$

(4) $$\ddot{Z}_{T2} + b_{77}\dot{Z}_{T2} + b_{71}\dot{Z}_k + b_{72}\dot{\phi}_k + \\ + a_{77}Z_{T2} + a_{71}Z_k + a_{72}\phi_k = \frac{2K_{2z}}{m_T}(\eta_3 + \eta_4) + \frac{2C_{2z}}{m_T}(\dot{\eta}_3 + \dot{\eta}_4) = 0$$

(5) $$\ddot{\phi}_{T1} + b_{88}\dot{\phi}_{T1} + a_{88}\phi_{T1} = \frac{2K_{2z}}{J_T}l_T(\eta_1 - \eta_2) + \frac{2C_{2z}}{J_T}l_T(\dot{\eta}_1 - \dot{\eta}_2) = 0$$

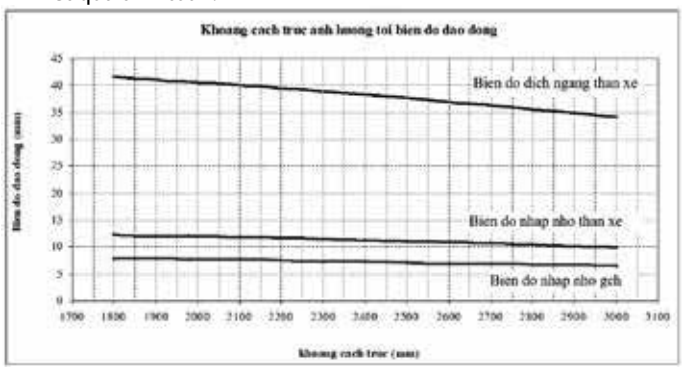
(6) $$\ddot{\phi}_{T2} + b_{99}\dot{\phi}_{T2} + a_{99}\phi_{T2} = \frac{2K_{2z}}{J_T}l_T(\eta_3 - \eta_4) + \frac{2C_{2z}}{J_T}l_T(\dot{\eta}_3 - \dot{\eta}_4) = 0$$

(7) $$\ddot{y}_k + b_{33}\dot{y}_k + b_{34}\dot{\theta}_k + a_{33}y_k + a_{34}\theta_k = \\ = \frac{K_y}{m_k}(y_1 + y_2 + y_3 + y_4) + \frac{C_y}{m_k}(\dot{y}_1 + \dot{y}_2 + \dot{y}_3 + \dot{y}_4) = 0$$

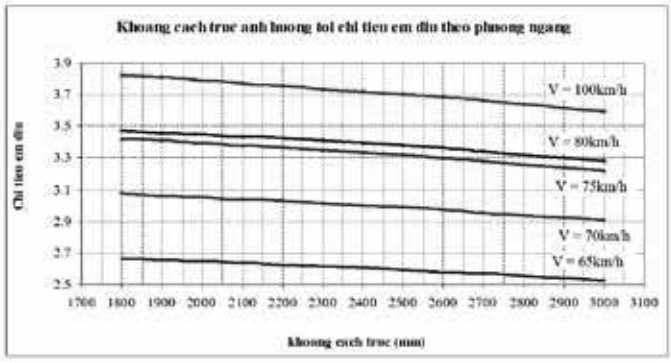
(8) $$\ddot{\theta}_k + b_{44}\dot{\theta}_k + b_{43}\dot{y}_k + a_{44}\theta_k + a_{43}y_k = \frac{b_1^2K_z}{2J_xb_2}\begin{bmatrix}(Z_{1t} + Z_{2t} + Z_{3t} + Z_{4t}) \\ +(Z_{1f} + Z_{2f} + Z_{3f} + Z_{4f})\end{bmatrix} \\ + \frac{b_1^2C_z}{J_{kx}}\begin{bmatrix}(\dot{Z}_{1t} + \dot{Z}_{2t} + \dot{Z}_{3t} + \dot{Z}_{4t}) + \\ (\dot{Z}_{1f} + \dot{Z}_{2f} + \dot{Z}_{3f} + \dot{Z}_{4f})\end{bmatrix} + \frac{K_yh}{J_x}\begin{bmatrix}(y_1 + y_2) \\ -(y_3 + y_4)\end{bmatrix} + \frac{C_yh}{J_{kx}}\begin{bmatrix}(\dot{y}_1 + \dot{y}_2) \\ -(\dot{y}_3 + \dot{y}_4)\end{bmatrix} = 0$$

(9) $$\ddot{\psi}_k + b_{55}\dot{\psi}_k + a_{55}\psi_k = \frac{lK_y}{J_{kz}}\begin{bmatrix}(y_1 + y_2) \\ -(y_3 + y_4)\end{bmatrix} + \frac{lC_y}{J_{kz}}\begin{bmatrix}(\dot{y}_1 + \dot{y}_2) \\ -(\dot{y}_3 + \dot{y}_4)\end{bmatrix} = 0$$

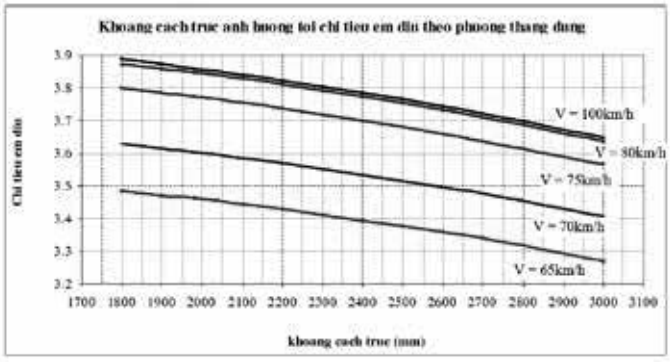
Kết quả tính toán:



Hình 2. Đồ thị biểu diễn quan hệ giữa khoảng cách trục với biên độ dao động max



Hình 3. Đồ thị biểu diễn quan hệ giữa khoảng cách trục với chỉ tiêu êm dịu theo phương ngang



Hình 4. Đồ thị biểu diễn quan hệ giữa khoảng cách trục với chỉ tiêu êm dịu theo phương thẳng đứng

Qua các kết quả tính toán ta thấy, khi khoảng cách trục càng tăng (từ 1.800 mm đến 3.000 mm) thì cùng một chủng loại xe lắp cùng một loại giá chuyển hướng có tất cả các thông số kỹ thuật như nhau thì khi khoảng cách trục tăng lên sẽ làm cho các loại dao động có biên độ tương ứng giảm đi và chỉ tiêu êm dịu tốt hơn. Vậy từ đó ta có thể thấy được rằng chỉ tiêu êm dịu sẽ tốt hơn khi ta tăng khoảng cách trục.

2.3. Ảnh hưởng của khoảng cách trục tới chuyển động rắn bò

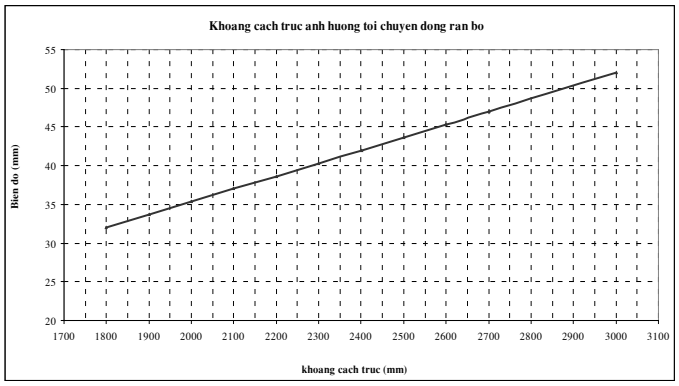
Bước sóng chuyển động rắn bò của trục bánh được xác định theo công thức Boedecker [1]. Ông nghiên cứu chuyển động rắn bò của toa xe hai trục và của giá chuyển hướng hai trục có định vị cứng. Xét tới các lực ngang tác dụng giữa ray và bánh xe là các lực ma sát Cu lông và bỏ qua ảnh hưởng của các yếu tố quán tính. Kết quả là ông đã đưa ra công thức tính bước sóng chuyển động rắn bò của giá chuyển như sau:

$$L = 2\pi\sqrt{\frac{r_0 s}{\lambda}\left(1+\frac{l^2}{s^2}\right)}$$

Trong đó: λ là độ côn mặt lăn bánh xe;

r_0 là bán kính danh nghĩa của vòng lăn bánh xe;

2s là khoảng cách giữa hai vòng lăn của mặt lăn bánh xe.



Hình 5. Đồ thị biểu diễn quan hệ giữa khoảng cách trục với bước sóng của chuyển động rắn bò

Dựa vào đồ thị ta thấy, khoảng cách trục càng tăng thì bước sóng chuyển động rắn bò càng lớn và ngược lại khoảng cách trục càng giảm thì bước sóng chuyển động rắn bò càng bé. Bước sóng chuyển động rắn bò càng bé không những làm giảm độ êm dịu của toa xe mà còn có thể làm cho biên độ chuyển động rắn bò tăng gây ra lực đạp ray lớn dễ dẫn đến toa xe bị trật bánh và gây nguy hiểm. Điều này càng đặc biệt nghiêm trọng khi toa xe chuyển động với tốc độ cao.

2.4. Ảnh hưởng của khoảng cách trục khi toa xe thông qua đường cong

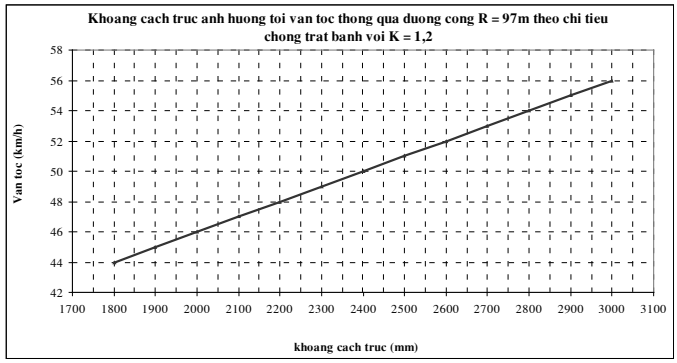
Khoảng cách trục ảnh hưởng đến lực dẫn hướng hay chính là ảnh hưởng đến chỉ tiêu ổn định chống trật bánh và khả năng thông qua đường cong về hình học của toa xe [2], [3], [4].

Chỉ tiêu chống trật bánh được đánh giá theo chỉ tiêu:

$$\frac{Y}{P_b} < 1{,}2$$

Trong đó: Y là lực dẫn hướng của bánh dẫn khi vào đường cong; Pb là lực thẳng đứng tác dụng vào bánh dẫn.

Lực dẫn hướng được tính theo phương pháp cộng lực của Heümann [4]. Cho khoảng cách trục thay đổi và xác định vận tốc khi chỉ tiêu chống trật bánh bằng 1,2 khi qua đường cong 97 m qua tính toán ta được kết quả:



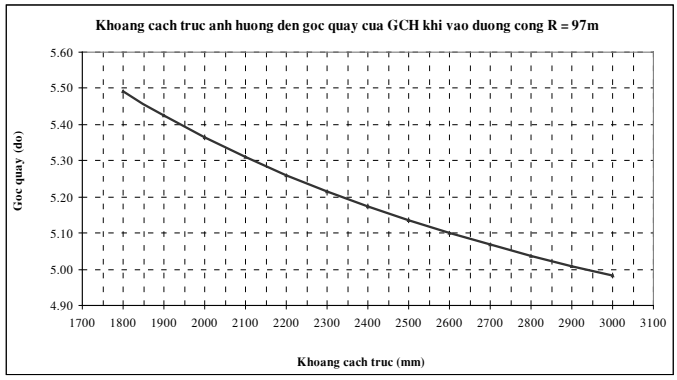
Hình 6. Đồ thị biểu diễn quan hệ giữa khoảng cách trục với vận tốc gây trật bánh

Dựa vào đồ thị ta thấy, tại hệ số ổn định chống trật bánh cho phép K = 1,2 thì khoảng cách trục càng tăng thì giá chuyển hướng thông qua đường cong nhỏ bán kính R = 97 m với vận tốc càng cao. Hay nói cách khác giá chuyển hướng có khoảng cách trục càng lớn thì thông qua đường cong nhỏ với tốc độ lớn hơn so với giá chuyển hướng có khoảng cách trục bé nếu xét về chỉ tiêu ổn định chống trật bánh.

Góc quay của giá chuyển hướng khi thông qua đường cong:

Khi thông qua đường cong giá chuyển sẽ quay tương đối so với thân xe góc quay của giá chuyển hướng được xác định theo công thức [2], [3], [4]: $\psi = \psi_1 + \psi_2 + \psi_3 = \frac{e}{2l_t} + \frac{l}{R} + \frac{e}{4l}$

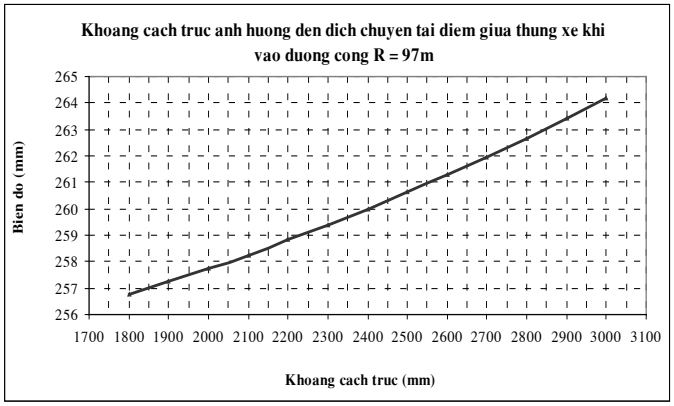
e: là tổng các khe hở giữa gờ bánh với mặt hông ray sau khi đã mài mòn trên đường cong



Hình 7. Đồ thị biểu diễn quan hệ giữa khoảng cách trục với góc quay giá chuyển hướng

Từ đồ thị ta thấy, khoảng cách trục càng tăng thì góc quay của giá chuyển hướng khi vào đường cong càng nhỏ. Hay nói cách khác khoảng cách trục càng tăng thì làm cho giá chuyển hướng khó thông qua đường cong hơn còn khoảng cách trục càng bé thì thông qua đường cong càng dễ dàng hơn. Nếu góc quay mà nhỏ nghĩa là độ cựa của giá chuyển hướng khi đi vào đường cong sẽ rất khó khăn dẫn đến gờ lợi bánh xe sẽ bị mài mòn rất nhanh. Ngược lại nếu góc quay lớn thì độ cựa của giá chuyển hướng khi đi vào đường cong sẽ dễ dàng hơn. Góc quay hợp lý là từ 5,1 đến 5,4 độ ứng với khoảng cách trục từ 1.950 mm đến 2.600 mm là các khoảng cách trục hiện vẫn đang có và được vận dụng tốt tại Việt Nam, nếu lớn quá thì sẽ bất lợi về mặt động lực học và khả năng thông qua đường cong với tốc độ cao sẽ không tốt ngược lại nếu bé quá sẽ khó thông qua đường cong về mặt hình học và làm gờ lợi mòn nhanh.

Khi thông qua đường cong cũng phải xét đến độ dịch chuyển tại điểm giữa toa xe theo công thức: $y_{tr} = \frac{l^2 + l_t^2}{2.R}$



Hình 8. Đồ thị biểu diễn quan hệ giữa khoảng cách trục với dịch chuyển tại điểm giữa toa xe

Từ đồ thị ta thấy, khoảng cách trục càng tăng thì dịch chuyển tại điểm giữa thùng xe so với tim đường càng lớn, hay nói cách khác khả năng vi phạm khổ giới hạn kiến trúc càng cao. Khoảng cách trục càng tăng thì góc quay của giá chuyển hướng khi vào đường cong càng nhỏ, dịch chuyển tại điểm giữa thùng xe so với tim đường càng lớn dẫn đến gờ lợi bánh xe sẽ bị mài mòn rất nhanh và khả năng vi phạm khổ giới hạn đầu máy toa xe càng cao.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Dựa vào các yếu tố ảnh hưởng của khoảng cách trục ta thấy việc lựa chọn khoảng cách trục hợp lý cũng là một bài toán kinh tế đòi hỏi những người làm kỹ thuật phải cân nhắc. Bởi vì ngoài việc khoảng cách trục càng tăng thì tính năng động lực học của giá chuyển hướng càng tốt ta còn thấy nếu khoảng cách trục càng tăng thì khả năng thông qua về mặt hình học càng kém, làm cho góc quay hay là độ cựa của giá chuyển hướng bé đi gây mòn gờ lợi bánh xe nhanh hơn. Chính vì vậy tác giả đưa ra dải khoảng cách trục từ 1.950 mm đến 2.600 mm là hoàn toàn phù hợp vơi Đường sắt Việt Nam. Trước đây Đường sắt Việt Nam chủ yếu đóng loại giá chyển GAK1, GAK2 có khoảng cách trục là 1,98 m để dễ thông qua đường cong và dễ đóng, tuy nhiên sau khi tính toán tính năng động lực học và đã có thêm các cải tiến thì Đường sắt Việt Nam đã tiến hành đóng mới giá chuyển hướng lò xo không khí có khoảng cách trục là 2,2 m và đây là loại giá chuyển chủ lực của ngành Đường sắt tại thời điểm hiện tại. Sau này hãng Bombardier đã sản xuất cho Đường sắt Việt Nam một đôi giá chuyển hướng lò xo không khí Bombardier có khoảng cách trục là 2,6 m và vẫn vận hành rất tốt.

Hiện nay đối với toa xe khách lựa chọn khoảng cách trục nhỏ hơn 2 m là rất lạc hậu, với xu thế để tăng tải trọng trục, nâng cao tốc độ chạy tàu thì khoảng cách trục ngày càng được mở rộng. Tuy nhiên không phải là mở rộng không có giới hạn mà nó sẽ nằm trong một phạm vi hợp lý. Theo thông lệ quốc tế thì khoảng cách này sẽ là 2,4 ÷ 2,6 m do bán kính đường cong không bé như ở Việt Nam. Để khắc phục nhược điểm đường cong quá bé (97 m) thì trên giá chuyển sẽ cải tiến lắp thêm biên dẫn hướng ngang trung ương hoặc hộp trục để tăng tính tự lựa khi đi vào các đường cong. Tốt nhất hiện nay ta nên chế tạo thêm cơ cấu khớp mềm ở hộp trục để đảm bảo dẫn hướng cho giá chuyển có khoảng cách trục dài để thông qua đường cong tốt hơn. Còn về mặt động lực học thì khoảng cách trục càng dài, tính năng động lực của toa xe càng tốt. Tuy nhiên để kết hợp hài hòa giữa tính kinh tế và tính kỹ thuật thì lựa chọn khoảng cách trục 2,2 ÷ 2,4 m là hợp lý đối với Đường sắt Việt Nam và có lắp thêm các khớp mềm để dẫn hướng khi đi vào đường cong.

4. KẾT LUẬN

Khoảng cách trục tăng thì các biên độ dao động lớn nhất của thùng xe và giá chuyển hướng sẽ giảm.

Khoảng cách trục tăng sẽ làm cho các loại dao động có biên độ tương ứng giảm đi và chỉ tiêu êm dịu tốt hơn.

Khoảng cách trục càng lớn thì khả năng ổn định chống trật bánh càng tốt.

Khoảng cách trục càng lớn thì thông qua đường cong với tốc độ lớn hơn so với giá chuyển hướng có khoảng cách trục bé về mặt động lực học.

Khoảng cách trục càng tăng thì góc quay của giá chuyển hướng khi vào đường cong càng nhỏ. Nếu góc quay mà nhỏ nghĩa là độ cựa của giá chuyển hướng khi đi vào đường cong sẽ rất khó khăn dẫn đến gờ lợi bánh xe sẽ bị mài mòn rất nhanh. Ngược lại nếu góc quay lớn thì độ cựa của giá chuyển hướng khi đi vào đường cong sẽ dễ dàng hơn.

Khoảng cách trục càng tăng thì dịch chuyển tại điểm giữa thùng xe so với tim đường càng lớn, hay nói cách khác khả năng vi phạm khổ giới hạn kiến trúc càng cao.

Sau khi nghiên cứu ta thấy, khoảng cách trục hợp lý nhất nên lựa chọn cho đặc thù của ĐSVN là 2,2 ÷ 2,4 m. Tuy nhiên để nâng được khoảng cách trục lên 2,4 hay xa hơn nữa là 2,6 m như thế giới thì:

- Đường sắt Việt Nam nên có chiến lược nâng cấp và cải tạo lại tuyến đường sắt Bắc Nam.
- Tập trung cải tạo triệt để những cung đường có bán kính cong nhỏ dưới 150 m để nhằm nâng cao tốc độ khi đi qua các cung đường này, giảm mài mòn gờ bánh và tăng tính hiệu quả.
- Tích cực tìm hiểu và nghiên cứu các loại giá chuyển hướng hiện đại phù hợp với khổ đường 1000mm của Việt Nam.
- Khi hoàn thành việc cải tạo đường cong lên trên 150 m thì thử nghiệm đóng mới một số đôi giá chuyển hướng lò xo không khí có cự ly trục 2,4m để thử nghiệm cho dòng xe thế hệ 3 mà dự kiến tốc độ lữ hành lên tới 90km/h, tốc độ lớn nhất 120 km/h. Rút ngắn thời gian chạy tàu Bắc Nam xuống còn 24 giờ 24 phút.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Lê Văn Doanh, Nguyễn Trung Hiếu. Nghiên cứu ảnh hưởng của tham số kết cấu và tham số động học tới tính ổn định chuyển động rắn bò của giá chuyển hướng toa xe khách. Đề tài nghiên cứu khoa học cấp trường, mã số T2013-CK-27, 2013.

[2] Nguyễn Trung Hiếu. Nghiên cứu ảnh hưởng của các tham số hình học và động học đến an toàn chống trật ray đầu máy toa xe vận dụng trên đường sắt Việt Nam. Đề tài nghiên cứu khoa học cấp trường, mã số T2015-CK-32, 2015.

[3] Lê Văn Doanh. Động lực học đoàn tàu nâng cao. Bài giảng cao học, Trường Đại học Giao thông Vận tải, 2004.

[4] Nguyễn Hữu Dũng. Giải bài toán thông qua đường cong của đầu máy toa xe trên máy tính bằng phương pháp cộng lực. Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải, số 5, 2003.

■Ngày nhận bài: 02/4/2026 ■Ngày sửa bài: 15/5/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 23/5/2026

Ứng dụng trí tuệ nhân tạo và dữ liệu hình ảnh trong xử lý phiếu chấm công công trình xây dựng: Khung thiết kế phục vụ quản lý nhân công và thanh toán lương

AI-assisted processing of construction site attendance sheets from image data: A design framework for labor management and payroll payment control

> THS TRẦN TUẤN KIỆT[1], THS TRẦN MINH LONG[2], TS ĐẶNG NGỌC CHÂU[3,*], THS NGUYỄN KHẮC QUÂN[4,5]
[1]Khoa Xây dựng, Trường Đại học Công nghệ TP.HCM
[2]Công ty Cổ phần Chính Thắng, TP.HCM
[3]Khoa Xây dựng, Trường Công nghệ Văn Lang, Trường Đại học Văn Lang, TP.HCM
[*]Corresponding author, Email: chau.dn@vlu.edu.vn
[4]Bộ môn Quản lý xây dựng, Khoa Xây dựng, Trường Đại học Mở Thành phố Hồ Chí Minh
[5]Trung tâm nghiên cứu ứng dụng và chuyển giao công nghệ xây dựng (REATTEC), Khoa Xây dựng, Trường Đại học Mở Thành phố Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Nghiên cứu này đề xuất một khung thiết kế và đánh giá quy trình trí tuệ nhân tạo có con người kiểm tra để xử lý ảnh phiếu chấm công tại công trình xây dựng thành dữ liệu có cấu trúc. Khác với các nghiên cứu thị giác máy tính tập trung vào nhận diện cảnh thi công, nghiên cứu này tiếp cận phiếu chấm công như một nguồn dữ liệu hành chính hiện trường có giá trị cho hai hướng ứng dụng: quản lý nhân công và thanh toán lương. Sản phẩm thiết kế nghiên cứu gồm luồng tiếp nhận ảnh, tác tử trí tuệ nhân tạo đọc dữ liệu, bước lọc thông tin, chuẩn hóa bằng mã JavaScript, xuất dữ liệu JSON, xuất bảng tính Excel và kiểm tra của người duyệt. Nghiên cứu đề xuất bộ chỉ số đánh giá gồm độ chính xác theo trường, độ chính xác theo dòng, độ chính xác dữ liệu số, độ chính xác tên hoặc mã công nhân, thời gian xử lý, tỷ lệ sửa thủ công, tỷ lệ loại phiếu, chi phí mỗi phiếu, độ chính xác đối soát lương và tỷ lệ truy vết. Đóng góp của bài báo là làm rõ cách dữ liệu chấm công từ ảnh có thể chuyển hóa thành bằng chứng quản trị phục vụ điều phối nhân lực, đối chiếu lương và kiểm soát chi phí nhân công tại công trình.

Từ khóa: Trí tuệ nhân tạo; dữ liệu hình ảnh; phiếu chấm công; quản lý nhân công; thanh toán lương; dữ liệu JSON; bảng tính Excel; con người trong vòng kiểm soát.

ABSTRACT

This study proposes a design and evaluation framework for a human-in-the-loop artificial intelligence workflow that converts construction site attendance-sheet images into structured data. Unlike conventional construction computer vision studies that focus mainly on scene recognition, this study treats attendance sheets as field-level administrative evidence for two operational purposes: labor management and payroll payment control. The designed artifact includes image intake, an AI agent for data extraction, information filtering, JavaScript-based normalization, JSON output, Excel generation and human review. The proposed evaluation metrics include field accuracy, row accuracy, numeric accuracy, name accuracy, processing time, manual correction rate, rejection rate, cost per sheet, payroll reconciliation accuracy and traceability rate. The paper contributes a focused framework showing how image-based attendance records can become auditable management evidence for workforce coordination, wage reconciliation and construction labor-cost control.

Keywords: Artificial intelligence; image data; attendance sheet; labor management; payroll payment; JSON; Excel; human-in-the-loop.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Phiếu chấm công tại công trình xây dựng là chứng từ vận hành có ý nghĩa kép. Ở phương diện quản lý nhân công, phiếu phản ánh sự hiện diện của lao động theo công trình, đội thi công, tuần làm việc và từng dòng công nhân. Ở phương diện thanh toán lương, phiếu là căn cứ ban đầu để kiểm tra ngày công, mức lương, phụ cấp, đề xuất chi và các khoản điều chỉnh trước khi kế toán hoặc cấp quản lý phê duyệt. Trong thực tế, loại chứng từ này thường được lập trên giấy hoặc được chụp lại bằng điện thoại và gửi qua nhiều kênh trao đổi khác nhau. Khi số lượng công trình và đội thi công tăng, việc đọc lại từng dòng, nhập vào bảng tính và đối chiếu thủ công dễ làm phát sinh thời gian xử lý lớn, sai số nhập liệu và khó khăn trong truy vết hồ sơ.

Các nghiên cứu về trí tuệ nhân tạo, học máy, học sâu và thị giác thông minh trong xây dựng đã chứng minh tiềm năng của dữ liệu hình ảnh đối với giám sát tiến độ, an toàn, năng suất và tài liệu hóa hiện trường (Baduge et al., 2022; Kim, 2020). Tuy nhiên, phần lớn nghiên cứu ở mảng này tập trung vào ảnh công trường như một nguồn dữ liệu cảnh quan, nghĩa là nhận diện công nhân, máy móc, vật liệu, hành động hoặc trạng thái thi công. Trong khi đó, ảnh phiếu chấm công là một dạng dữ liệu khác: ảnh của tài liệu bán cấu trúc có chữ viết tay, chữ in sẵn, ô bảng, số liệu ngày công và thông tin tiền lương. Loại dữ liệu này không nhằm nhận diện cảnh thi công mà nhằm chuyển đổi chứng từ hiện trường thành dữ liệu quản trị có thể kiểm tra.

Bài báo tập trung vào một phạm vi hẹp nhưng có giá trị thực tiễn rõ ràng: thiết kế quy trình trí tuệ nhân tạo có con người kiểm tra để chuyển đổi ảnh phiếu chấm công thật tại công trình xây dựng thành dữ liệu có cấu trúc và bảng tính đầu ra. Trọng tâm nghiên cứu không mở rộng sang toàn bộ quản lý công trường bằng trí tuệ nhân tạo, mà xem phiếu chấm công như một đối tượng dữ liệu riêng, nơi yêu cầu kỹ thuật và yêu cầu quản trị giao thoa trực tiếp. Cách tiếp cận này phù hợp với bối cảnh doanh nghiệp xây dựng vừa và nhỏ tại Việt Nam, nơi phiếu giấy, ảnh chụp hiện trường và bảng tính vẫn là thành phần quen thuộc trong quy trình quản lý nhân công và thanh toán lương.

Từ đó, nghiên cứu đặt ra bốn câu hỏi. Thứ nhất, có thể thiết kế một quy trình trí tuệ nhân tạo có con người trong vòng kiểm soát để chuyển ảnh phiếu chấm công công trình thành dữ liệu có cấu trúc phục vụ cả quản lý nhân công và thanh toán lương hay không? Thứ hai, độ chính xác của hệ thống cần được đo như thế nào theo trường dữ liệu, dòng công nhân, nhóm dữ liệu số và nhóm tên hoặc mã công nhân? Thứ ba, quy trình trí tuệ nhân tạo có thể được so sánh với quy trình nhập bảng tính thủ công theo thời gian xử lý, tỷ lệ sửa thủ công, tỷ lệ loại phiếu và chi phí mỗi phiếu như thế nào? Thứ tư, dữ liệu đầu ra có thể tạo giá trị quản trị gì cho điều phối nhân lực, đối soát lương và truy vết hồ sơ nhân công?

2. TỔNG QUAN VÀ KHOẢNG TRỐNG NGHIÊN CỨU

2.1. Trí tuệ nhân tạo, thị giác thông minh và dữ liệu hình ảnh trong xây dựng

Trong xây dựng số, trí tuệ nhân tạo và thị giác thông minh được xem là nhóm công nghệ giúp xử lý dữ liệu quy mô lớn, nhận diện mẫu, hỗ trợ ra quyết định và tăng mức độ tự động hóa trong vòng đời công trình. Tổng quan của Baduge et al. (2022) cho thấy các ứng dụng trí tuệ nhân tạo trong xây dựng trải rộng từ thiết kế, vật liệu, kết cấu, chế tạo ngoài công trường, quản lý thi công, giám sát tiến độ, an toàn, vận hành công trình đến vòng đời và kinh tế tuần hoàn. Điểm chung của các ứng dụng này là nhu cầu thu thập, làm sạch, lưu trữ và phân tích dữ liệu để biến thông tin phân tán thành tri thức quản trị.

Tuy vậy, việc đưa trí tuệ nhân tạo vào môi trường công trường thường gặp rào cản về tính không đồng nhất của dữ liệu, chất lượng ảnh, quy trình hiện trường và khả năng tích hợp với công cụ doanh nghiệp đang dùng. Điều này đặc biệt rõ trong các quy trình hành chính hiện trường như chấm công, nơi biểu mẫu, chữ viết tay, cách ghi ngày công và chất lượng ảnh có thể thay đổi theo từng đội. Các tổng quan về phát hiện đối tượng trong ảnh cũng cho thấy sai lệch đặc trưng, sai lệch không gian, biến đổi góc nhìn và cấu trúc nền ảnh vẫn là thách thức lớn của học sâu thị giác (Wang et al., 2025). Vì vậy, với ảnh phiếu chấm công, chất lượng ảnh, góc chụp, độ nghiêng, độ rõ và cấu trúc bảng cần được xem là một phần của thiết kế thực nghiệm, không chỉ là điều kiện kỹ thuật phụ trợ.

2.2. Giám sát hiện trường, tiến độ và tài liệu hóa bằng hình ảnh

Kim (2020) nhấn mạnh rằng giám sát và tài liệu hóa cấp tác nghiệp dựa trên thị giác máy tính có thể hỗ trợ nhà quản lý nhận diện hoạt động, năng suất, an toàn và tài liệu hóa hiện trường. Dữ liệu camera, ảnh chụp hoặc video giúp giảm phụ thuộc vào quan sát thủ công và mở ra khả năng ghi nhận thông tin vận hành liên tục. Các nghiên cứu về mô hình ngôn ngữ thị giác quy mô lớn cũng cho thấy khả năng phân tích ảnh xây dựng, nhận diện giai đoạn, vật liệu và máy móc, dù vẫn còn hạn chế về định vị chính xác và phân đoạn đối tượng (Ersoz, 2024).

Các nghiên cứu này cung cấp nền tảng quan trọng cho trí tuệ nhân tạo trong xây dựng, nhưng chưa trực tiếp giải quyết bài toán đọc ảnh biểu mẫu chấm công. Ảnh phiếu chấm công không đòi hỏi mô hình phải hiểu toàn bộ cảnh công trường, mà đòi hỏi khả năng đọc, tách dòng, chuẩn hóa bảng, hiểu ngữ cảnh trường dữ liệu và bảo toàn logic thanh toán. Về phương pháp, điều này gần với quan điểm đánh giá theo miền dữ liệu: bộ dữ liệu và tiêu chí kiểm tra phải phản ánh môi trường thật thay vì chỉ dựa vào bộ kiểm chuẩn tổng quát (Cai et al., 2023).

2.3. Tạo chú thích ảnh, báo cáo ngày và diễn giải thông tin xây dựng

Nghiên cứu về tạo chú thích ảnh trong quản lý xây dựng chứng minh rằng mô hình học sâu có thể sinh mô tả văn bản từ ảnh xây dựng và trích xuất thông tin đối tượng, hoạt động từ câu mô tả (Xiao et al., 2022). Ở bình diện rộng hơn, các mô hình tạo chú thích ảnh cũng cho thấy việc chuyển hình ảnh thành ngôn ngữ cần xử lý đồng thời đặc trưng thị giác và cấu trúc ngôn ngữ (Tan & Chan, 2017). Nhánh nghiên cứu này gần với mục tiêu chuyển ảnh thành dữ liệu ngôn ngữ, nhưng khác về bản chất đầu ra. Tạo chú thích ảnh thường tạo câu mô tả linh hoạt, trong khi xử lý phiếu chấm công cần tạo dữ liệu cố định theo lược đồ, đúng trường, đúng dòng, đúng số và đúng ánh xạ sang bảng tính.

Sự khác biệt này có ý nghĩa phương pháp luận. Với báo cáo ngày hoặc chú thích ảnh, sai số có thể được đánh giá bằng các chỉ số chuyên biệt cho ngôn ngữ tự nhiên như BLEU, METEOR, ROUGE, CIDEr, SPICE hoặc độ đúng của phần tử mô tả. Với phiếu chấm công, các chỉ số cần bám vào dữ liệu chuẩn đối chiếu dạng bảng: độ chính xác theo trường, độ chính xác theo dòng, độ chính xác dữ liệu số, độ chính xác tên hoặc mã công nhân và lỗi ánh xạ sang bảng tính Excel. Do đó, nghiên cứu không chỉ cần mô hình đọc ảnh, mà còn cần quy trình kiểm tra và khung đánh giá phù hợp với chứng từ hiện trường.

2.4. Trí tuệ nhân tạo xử lý tài liệu, trích xuất thông tin và khoảng trống về dữ liệu chấm công

Các nghiên cứu về trích xuất thông tin cho thấy thông tin trong tài liệu phi cấu trúc hoặc bán cấu trúc thường khó tái sử dụng nếu chỉ được lưu dưới dạng văn bản hoặc ảnh. Công cụ trích xuất thông tin trong tài liệu khoa học như MatSciE minh họa cách mô hình có thể nhận diện thực thể, phương pháp, tham số và cấu trúc để chuyển tài liệu thành cơ sở dữ liệu có thể truy vấn (Guha et al., 2021). Ở bình diện kỹ thuật, các nghiên cứu về nhắc lệnh cho mô hình nền tảng cũng cho thấy cùng một

mô hình có thể được định hướng sang nhiều nhiệm vụ thông qua cấu trúc đầu vào và nhãn đầu ra, nhưng chất lượng kết quả vẫn phụ thuộc vào cách định nghĩa nhiệm vụ, ràng buộc đầu ra và cơ chế kiểm tra (Chang et al., 2024). Luận điểm này phù hợp với bài toán phiếu chấm công: câu lệnh đọc ảnh, lược đồ JSON và bước kiểm tra của người duyệt phải được thiết kế đồng bộ.

Khoảng trống nghiên cứu nằm ở chỗ các tài liệu hiện có ít xem phiếu chấm công công trình như một đối tượng nghiên cứu độc lập. Vấn đề chấm công thường được nhìn như nghiệp vụ nội bộ hoặc quy trình bảng tính, chưa được mô hình hóa thành một sản phẩm thiết kế nghiên cứu có lược đồ dữ liệu, dữ liệu chuẩn đối chiếu, nhật ký theo từng nút xử lý và chỉ số đánh giá lặp lại. Hơn nữa, các nghiên cứu về trí tuệ nhân tạo trong xây dựng ít liên kết trực tiếp giữa dữ liệu trích xuất từ ảnh biểu mẫu với hai mục tiêu quản lý cụ thể: điều phối nhân công và thanh toán lương.

Từ cơ sở tổng quan và khoảng trống nghiên cứu, Bảng 1 khái quát hai hướng ứng dụng chính của dữ liệu phiếu chấm công sau khi được trích xuất và chuẩn hóa. Nội dung chính gồm: hướng ứng dụng, dữ liệu trọng tâm, đầu ra quản trị và ý nghĩa nghiên cứu.

Bảng 1. Hai hướng ứng dụng của dữ liệu phiếu chấm công sau khi trích xuất

Hướng ứng dụng	Dữ liệu trọng tâm	Đầu ra quản trị	Ý nghĩa nghiên cứu
Quản lý nhân công	Công trình, đội thi công, tuần, danh sách công nhân, ngày công theo từng ngày, tổng công và ghi chú hiện trường.	Bảng tổng hợp nhân lực theo công trình, đội, tuần và dòng công nhân; nhật ký trạng thái phiếu; cơ sở đối chiếu kế hoạch nhân lực.	Chuyển phiếu giấy thành dữ liệu vận hành có thể truy vết, hỗ trợ điều phối nhân lực và chuẩn hóa báo cáo hiện trường.
Thanh toán lương	Mức lương, tổng công, phụ cấp, đề xuất chi, ghi chú khấu trừ hoặc bổ sung, bảng tính Excel đầu ra theo mẫu công ty.	Bảng lương hoặc bảng đề xuất thanh toán có thể kiểm tra/ đối chiếu với ảnh gốc, dữ liệu JSON, bảng tính Excel và xác nhận của người duyệt.	Giảm rủi ro sai số khi nhập liệu, tăng khả năng kiểm toán nội bộ và kiểm soát chi phí nhân công theo kỳ thanh toán.

Nguồn: Nhóm tác giả

3. KHUNG NGHIÊN CỨU HAI HƯỚNG: QUẢN LÝ NHÂN CÔNG VÀ THANH TOÁN LƯƠNG

Để tránh mở rộng quá mức, nghiên cứu xác định hai hướng ứng dụng nhưng cùng dùng một lõi dữ liệu. Hướng thứ nhất là quản lý nhân công. Ở hướng này, dữ liệu sau trích xuất được dùng để chuẩn hóa thông tin công trình, đội thi công, danh sách công nhân, ngày công theo tuần và ghi chú hiện trường. Kết quả giúp người quản lý biết phiếu nào đã nhận, đội nào đã có dữ liệu, số công nhân và ngày công được ghi nhận ra sao, dữ liệu nào cần kiểm tra lại. Trọng tâm không phải giám sát con người theo thời gian thực, mà là chuẩn hóa hồ sơ nhân lực từ chứng từ chấm công.

Hướng thứ hai là thanh toán lương và đối soát chi phí nhân công. Ở hướng này, dữ liệu ngày công, mức lương, phụ cấp, đề xuất chi và tổng công được xem là biến nghiệp vụ ảnh hưởng trực tiếp đến số tiền thanh toán. Vì vậy, yêu cầu chính không chỉ là đọc đúng ký tự mà còn là bảo toàn logic bảng lương, đối chiếu công thức, phát hiện ô nghi ngờ và duy trì quan hệ truy vết giữa ảnh gốc, đầu ra JSON, bảng tính Excel đầu ra và xác nhận của người duyệt.

Hai hướng ứng dụng có mối liên hệ chặt chẽ nhưng không đồng nhất. Quản lý nhân công ưu tiên khả năng tổng hợp, phân loại, theo dõi trạng thái và lập báo cáo theo công trình hoặc đội. Thanh toán lương ưu tiên độ chính xác của trường số, tính đúng của công thức, kiểm soát quyền duyệt và khả năng kiểm toán. Vì vậy, một quy trình xử lý đạt yêu cầu nghiên cứu cần được đánh giá bằng cả chỉ số kỹ thuật và chỉ số nghiệp vụ.

4. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

4.1. Cách tiếp cận nghiên cứu khoa học thiết kế

Nghiên cứu sử dụng cách tiếp cận nghiên cứu khoa học thiết kế vì mục tiêu chính là xây dựng và đánh giá một sản phẩm thiết kế nghiên cứu trong bối cảnh quản lý xây dựng. Theo Hevner et al. (2008), nghiên cứu khoa học thiết kế không chỉ mô tả hiện tượng mà còn tạo ra sản phẩm nhằm mở rộng năng lực của con người và tổ chức. Trong nghiên cứu này, sản phẩm thiết kế là quy trình xử lý ảnh phiếu chấm công, gồm tập hợp nút xử lý, lược đồ dữ liệu, quy trình kiểm tra của con người, nhật ký xử lý và tệp bảng tính Excel đầu ra. Cách tiếp cận về dòng thông tin trong hệ thống xây dựng cũng cho thấy việc chuẩn hóa quan hệ giữa dữ liệu đầu vào, bước xử lý và đầu ra là điều kiện quan trọng để tích hợp công nghệ vào quy trình tác nghiệp (Oyediran et al., 2024).

Chu trình nghiên cứu gồm năm bước. Bước một là xác định vấn đề thực tiễn: phiếu chấm công giấy gây chậm trễ, sai sót và khó truy vết trong quản lý nhân công và thanh toán lương. Bước hai là thiết kế sản phẩm nghiên cứu: xác định luồng tiếp nhận ảnh, câu lệnh hướng dẫn mô hình đọc phiếu, lược đồ dữ liệu JSON, bước lọc, bước chuẩn hóa, tệp bảng tính đầu ra và cơ chế duyệt. Bước ba là xây dựng dữ liệu chuẩn đối chiếu từ dữ liệu nhập tay. Bước bốn là chạy thử nghiệm thí điểm trên ảnh phiếu thật đã ẩn danh. Bước năm là đánh giá bằng các chỉ số độ chính xác, thời gian, chi phí, mức sửa thủ công và khả năng truy vết.

4.2. Dữ liệu nghiên cứu và nguyên tắc đạo đức

Dữ liệu nghiên cứu gồm ảnh phiếu chấm công thật tại công trình xây dựng đã ẩn thông tin nhạy cảm, tệp dữ liệu chuẩn đối chiếu nhập tay, đầu ra JSON từ hệ thống trí tuệ nhân tạo, tệp bảng tính Excel đầu ra, nhật ký theo từng nút xử lý, bảng đánh giá độ chính xác, thời gian, chi phí và phân loại lỗi. Trước khi đưa vào thử nghiệm, dữ liệu ảnh cần được kiểm tra theo các biến chất lượng như độ mờ, thiếu góc, bóng đổ, độ nghiêng, độ che khuất và độ đọc được của hàng, cột. Tư duy này tương thích với các nghiên cứu đánh giá chất lượng thị giác, trong đó chất lượng đầu vào được xem là yếu tố ảnh hưởng trực tiếp đến độ tin cậy của kết quả phân tích (Xu et al., 2019).

Dữ liệu chuẩn đối chiếu được tạo bằng cách nhập tay độc lập từ ảnh phiếu gốc. Khi có sai khác giữa đầu ra của hệ thống trí tuệ nhân tạo và dữ liệu chuẩn đối chiếu, người kiểm tra ghi nhận loại lỗi, trường lỗi, dòng lỗi và cách xử lý. Đối với trường liên quan đến tiền lương, nghiên cứu cần có cơ chế kiểm tra riêng vì sai số nhỏ có thể tạo tác động trực tiếp đến quyền lợi người lao động và chi phí doanh nghiệp.

Trên cơ sở dữ liệu nghiên cứu và nguyên tắc đạo đức nêu trên, Hình 1 trình bày chuỗi xử lý được triển khai trong môi trường thử nghiệm. Quy trình thể hiện luồng dữ liệu từ điểm nhận ảnh, tác tử đọc biểu mẫu, nút lọc thông tin, khối chuẩn hóa bằng mã lệnh đến nút trả kết quả cho hệ thống tiếp nhận.

Để làm rõ mối quan hệ giữa lược đồ dữ liệu và hai hướng ứng dụng, Bảng 2 trình bày các nhóm trường dữ liệu chủ yếu cùng vai trò quản trị tương ứng.

4.3. Thiết kế quy trình xử lý và lược đồ dữ liệu đầu ra

Quy trình thử nghiệm gồm năm nhóm chức năng chính. Thứ nhất, điểm nhận dữ liệu tiếp nhận ảnh phiếu và thông tin mô tả từ biểu mẫu. Thứ hai, tác tử đọc dữ liệu chuyển nội dung trên ảnh thành lược đồ dữ liệu có cấu trúc. Thứ ba, nút lọc thông tin loại bỏ trường rỗng, kiểm tra cấu trúc và tách phần bảng công nhân khỏi ghi chú đề xuất chi. Thứ tư, khối mã JavaScript chuẩn hóa số, tiền, ngày công, tổng công và tên trường. Thứ năm, nút phản hồi trả kết quả để tạo bảng tính, lưu nhật ký và chuyển cho người duyệt.

Lược đồ dữ liệu đầu ra cần được giữ ổn định để liên kết hai hướng quản lý nhân công và thanh toán lương. Các nhóm trường tối thiểu gồm công trình, địa điểm, đội thi công, tuần, đề xuất chi, họ tên công nhân, mức lương, ngày công, tổng công, phụ cấp và ghi chú. Việc duy trì cấu trúc này giúp đối chiếu với dữ liệu chuẩn, kiểm tra công thức bảng tính và truy vết sai lệch ở từng bước xử lý.

4.4. Kiểm tra của con người và nguyên tắc không thay thế con người

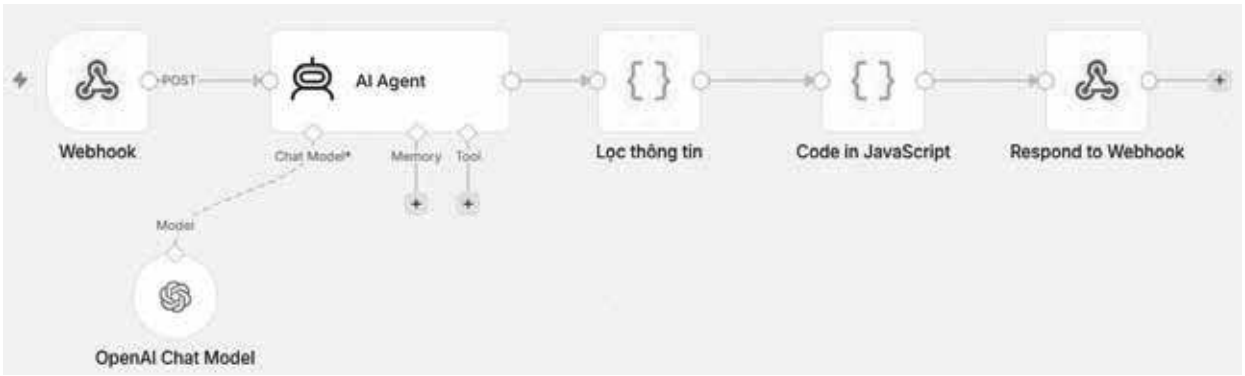
Quy trình được thiết kế theo hướng hỗ trợ con người thay vì thay thế hoàn toàn người kiểm tra. Đầu ra của hệ thống trí tuệ nhân tạo chỉ được xem là dữ liệu đề xuất trước khi người duyệt xác nhận. Bước kiểm tra của con người có ba nhiệm vụ: kiểm tra trường nghi ngờ, sửa lỗi đọc hoặc lỗi ánh xạ và xác nhận dữ liệu đủ điều kiện xuất bảng cuối. Nguyên tắc này đặc biệt quan trọng đối với dữ liệu lương vì đây là nhóm dữ liệu có tác động trực tiếp đến quyền lợi người lao động. Cách tiếp cận có người kiểm tra cũng phù hợp với các cảnh báo về độ bền của thị giác máy, khi sai lệch nhỏ ở dữ liệu đầu vào có thể làm kết quả nhận dạng trở nên không ổn định trong những bối cảnh nhạy cảm (Brendel et al., 2019).

Trong thực nghiệm, mỗi phiếu cần có trạng thái xử lý như đã nhận, đang đọc, cần chụp lại, cần sửa, đã duyệt và đã xuất bảng tính. Trạng thái này tạo cơ sở đo tỷ lệ truy vết, tỷ lệ loại phiếu và tỷ lệ sửa thủ công. Với cách tổ chức như vậy, nghiên cứu có thể phân biệt lỗi của ảnh đầu vào, lỗi đọc của mô hình, lỗi chuẩn hóa dữ liệu và lỗi kiểm tra nghiệp vụ.

5. KHUNG ĐÁNH GIÁ THỰC NGHIỆM THÍ ĐIỂM

Đánh giá thực nghiệm cần so sánh quy trình trí tuệ nhân tạo với quy trình nhập bảng tính thủ công trên cùng một bộ ảnh phiếu và cùng một tệp dữ liệu chuẩn đối chiếu. Trước khi có số liệu thí điểm, bài báo không giả định trước tỷ lệ chính xác hoặc mức tiết kiệm thời gian. Các giá trị định lượng cần được đo từ nhật ký hệ thống, thời gian thao tác thực tế và kết quả kiểm tra của người duyệt. Kinh nghiệm từ các ngành vận hành khác cho thấy báo cáo thủ công tuy dễ tiếp cận nhưng thường hạn chế về độ chính xác do tổng hợp theo chu kỳ và có nguy cơ lỗi con người (Sharma et al., 2025). Do đó, giá trị học thuật của nghiên cứu này nằm ở việc đo được sai số, phân loại lỗi và lượng hóa mức sửa thủ công, thay vì chỉ chứng minh rằng quy trình có thể tự động hóa.

Đối với quản lý nhân công, đánh giá tập trung vào khả năng bảo toàn dòng công nhân, tổng hợp đúng theo công trình, đội thi công, tuần và mức độ truy vết. Đối với thanh toán lương, đánh giá tập trung vào độ chính xác dữ liệu số, đối soát lương, mức sửa thủ công và liên kết giữa ảnh gốc, dữ liệu đầu ra, bảng tính và xác nhận của người duyệt. Trên cơ sở đó, Bảng 3 tổng hợp các chỉ số cần đo cho hai hướng ứng dụng. Bên cạnh chỉ số định lượng, Bảng 4 đề xuất phân loại lỗi để phục vụ phân tích nguyên nhân và xác định bước cần can thiệp trong quá trình kiểm tra của người duyệt.



Hình 1. Quy trình xử lý ảnh phiếu chấm công bằng chuỗi nút tự động hóa

Nguồn: Nhóm tác giả xây dựng từ quy trình thử nghiệm trên nền tảng n8n

Bảng 2. Nhóm trường dữ liệu và vai trò trong quản lý nhân công, thanh toán lương

Nhóm trường	Trường dữ liệu	Vai trò quản lý nhân công	Vai trò thanh toán lương
Siêu dữ liệu công trình	Công trình, địa điểm, đội thi công, tuần	Phân loại dữ liệu theo công trình, đội thi công và kỳ báo cáo.	Xác định đúng kỳ lương, đội nhận lương và nơi phát sinh chi phí.
Thông tin công nhân	Họ tên hoặc mã ẩn danh, ghi chú	Theo dõi danh sách lao động theo đội và nhận diện biến động nhân sự.	Xác định đúng đối tượng nhận lương hoặc cần kiểm tra lại.
Dữ liệu ngày công	Ngày công trong tuần, tổng công	Đo số ngày làm việc, phân tích phân bổ nhân lực theo tuần.	Là biến số trực tiếp để tính lương, phụ cấp hoặc đề xuất thanh toán.
Dữ liệu thanh toán	Mức lương, phụ cấp, đề xuất chi, số tiền	Cung cấp tín hiệu chi phí nhân công theo đội và công trình.	Tính toán, kiểm tra và đối soát bảng lương trước khi kế toán duyệt.
Dữ liệu truy vết	Mã ảnh, mã dữ liệu JSON, mã bảng tính Excel, nhật ký nút xử lý, trạng thái duyệt	Cho phép kiểm tra nguồn gốc dữ liệu khi phát sinh sai khác.	Tạo dấu vết kiểm toán từ phiếu ảnh đến bảng thanh toán cuối cùng.

Nguồn: Nhóm tác giả

Bảng 3. Bộ chỉ số đánh giá theo hai hướng ứng dụng

Nhóm chỉ số	Công thức hoặc cách đo	Liên hệ quản lý nhân công	Liên hệ thanh toán lương
Độ chính xác theo trường	Số trường khớp dữ liệu chuẩn đối chiếu / Tổng số trường kiểm tra	Đo độ tin cậy của dữ liệu công trình, đội, ngày công và ghi chú.	Đo độ tin cậy của mức lương, phụ cấp, đề xuất và trường số tiền.
Độ chính xác theo dòng	Số dòng công nhân đúng toàn bộ trường bắt buộc / Tổng số dòng trong dữ liệu chuẩn	Kiểm tra khả năng bảo toàn từng dòng công nhân trên phiếu.	Giảm nguy cơ trả thiếu, trả thừa hoặc gán sai công nhân.
Độ chính xác dữ liệu số	Số giá trị số khớp / Tổng giá trị số cần kiểm tra	Đánh giá độ đúng của số ngày công và tổng công theo tuần.	Đánh giá độ đúng của các biến trực tiếp ảnh hưởng số tiền thanh toán.
Tỷ lệ sửa thủ công	Số trường do người duyệt sửa / Tổng trường hệ thống xuất ra	Đo mức can thiệp cần thiết trước khi dùng dữ liệu cho quản lý.	Đo rủi ro nghiệp vụ trước khi chuyển dữ liệu sang kế toán.
Thời gian xử lý	Thời gian từ nhận ảnh đến dữ liệu JSON, bảng tính Excel và trạng thái duyệt	So sánh tốc độ tổng hợp nhân lực so với nhập tay.	So sánh tốc độ lập bảng lương hoặc đề xuất thanh toán.
Tỷ lệ truy vết	Số phiếu có đủ mã ảnh, mã dữ liệu JSON, mã bảng tính Excel và nhật ký xử lý / Tổng số phiếu	Đảm bảo hồ sơ nhân công có thể tra cứu lại.	Đảm bảo bảng thanh toán có căn cứ đối chiếu khi kiểm toán.
Độ chính xác đối soát lương	Số bảng thanh toán khớp dữ liệu chuẩn sau kiểm tra công thức / Tổng số bảng kiểm tra	Xác định mức độ tin cậy khi tổng hợp ngày công theo đội.	Đo mức khớp giữa ngày công, mức lương, phụ cấp, đề xuất chi và số tiền thanh toán.

Nguồn: Nhóm tác giả

Bảng 4. Phân loại lỗi cần ghi nhận trong giai đoạn thí điểm

Mã lỗi	Mô tả lỗi	Tác động chính	Cách xử lý trong bước kiểm tra của người duyệt
E1	Không đọc được ảnh do mờ, nghiêng, thiếu góc hoặc bị che khuất.	Làm giảm tỷ lệ chấp nhận phiếu và tăng tỷ lệ loại phiếu.	Yêu cầu chụp lại, ghi nhận lý do loại phiếu.
E2	Sai siêu dữ liệu công trình, đội thi công hoặc tuần.	Dữ liệu bị phân loại sai kỳ hoặc sai công trình.	Đối chiếu với thông tin ứng dụng web và danh mục công trình.
E3	Sai tên hoặc mã công nhân.	Ảnh hưởng danh sách nhân lực và đối tượng nhận lương.	Đối chiếu danh mục công nhân đã ẩn danh hoặc mã nội bộ.
E4	Sai ngày công, tổng công hoặc ô số bị nhầm.	Ảnh hưởng trực tiếp đến tổng ngày công và số tiền lương.	Kiểm tra lại từng cột ngày và công thức cộng tổng.
E5	Sai mức lương, phụ cấp, đề xuất hoặc số tiền.	Ảnh hưởng trực tiếp đến thanh toán lương và kiểm soát chi phí.	Bắt buộc người duyệt xác nhận trước khi xuất bảng cuối.
E6	Dữ liệu JSON hợp lệ nhưng ánh xạ sang bảng tính Excel sai cột.	Làm sai đầu ra dù dữ liệu đọc ban đầu đúng.	Kiểm tra kịch bản chuyển đổi và nhật ký nút JavaScript.

Nguồn: Nhóm tác giả.

6. THẢO LUẬN

6.1. Các đóng góp về mặt học thuật

Đóng góp học thuật thứ nhất của nghiên cứu là định vị phiếu chấm công công trình như một đối tượng dữ liệu riêng trong trí tuệ nhân tạo xây dựng. Thay vì xem ảnh công trường chỉ là nguồn nhận diện cảnh thi công, nghiên cứu xem ảnh phiếu chấm công là chứng từ bán cấu trúc có thể chuyển đổi thành dữ liệu quản trị. Điều này mở rộng góc nhìn từ giám sát tiến độ bằng thị giác máy tính sang xử lý tài liệu bằng trí tuệ nhân tạo phục vụ quản lý xây dựng.

Đóng góp thứ hai là mô hình hóa hai hướng ứng dụng trên cùng một quy trình xử lý: quản lý nhân công và thanh toán lương. Sự phân tách này giúp hệ thống chỉ số không dừng ở độ chính xác kỹ thuật, mà liên hệ trực tiếp với giá trị quản trị. Một trường sai trong siêu dữ liệu có thể làm lệch báo cáo nhân lực; một trường sai trong nhóm số có thể làm lệch thanh toán lương.

Đóng góp thứ ba là đề xuất khung đánh giá có con người trong vòng kiểm soát, trong đó độ chính xác thô của hệ thống trí tuệ nhân tạo được tách khỏi độ chính xác sau duyệt, tỷ lệ sửa thủ công và khả năng truy vết. Cách tiếp cận này phản ánh thực tế triển khai tại doanh nghiệp xây dựng, nơi dữ liệu đầu ra cần người thật kiểm tra trước khi trở thành căn cứ quản lý hoặc thanh toán.

6.2. Các đóng góp về mặt thực tiễn

Ở góc độ quản lý nhân công, quy trình xử lý giúp biến phiếu chấm công rời rạc thành dữ liệu có thể tổng hợp theo công trình, đội thi công, tuần và dòng công nhân. Khi dữ liệu được chuẩn hóa, người quản lý có thể nhanh chóng xác định phiếu đã nhận, phiếu chưa đạt, số công nhân được ghi nhận, tổng ngày công theo đội và các dòng cần kiểm tra lại. Giá trị chính nằm ở khả năng biến chứng từ hiện trường thành dữ liệu vận hành có thể truy xuất.

Ngoài ra, dữ liệu chấm công có cấu trúc có thể liên kết với kế hoạch thi công, nhật ký ngày và báo cáo tiến độ để tạo bức tranh vận hành rõ hơn. Nghiên cứu không khẳng định dữ liệu chấm công thay thế chỉ số năng suất, nhưng dữ liệu này là một lớp bằng chứng quan trọng cho việc hiểu quy mô nhân lực, phân bổ đội thi công và sự liên tục của lao động tại công trình.

Ở góc độ thanh toán lương, quy trình xử lý giúp giảm rủi ro nhập sai dữ liệu từ phiếu ảnh sang bảng tính Excel, đặc biệt ở các trường ngày công, tổng công, mức lương, phụ cấp và đề xuất chi. Khi mỗi bảng tính đầu ra được liên kết với ảnh gốc, đầu ra JSON và nhật ký xử lý, kế toán hoặc quản lý có thể kiểm tra lại căn cứ thanh toán khi phát sinh sai khác. Đây là điểm có ý nghĩa đối với kiểm soát nội bộ vì chi phí nhân công thường biến động theo đội, công trình và giai đoạn thi công.

Tuy vậy, hệ thống không nên được triển khai như công cụ tự động duyệt lương. Vai trò phù hợp của trí tuệ nhân tạo là đọc, chuẩn hóa, gợi ý và tạo dữ liệu ban đầu; vai trò của con người là kiểm tra, xác nhận và chịu trách nhiệm nghiệp vụ. Cách phân vai này vừa tận dụng được tốc độ xử lý của công nghệ, vừa hạn chế rủi ro đạo đức và rủi ro tài chính khi dữ liệu liên quan đến người lao động.

6.3. Hạn chế và điều kiện triển khai

Hạn chế chính của nghiên cứu nằm ở chất lượng ảnh, biến thể biểu mẫu, chữ viết tay và quy ước ghi ngày công giữa các đội. Nếu ảnh mờ, thiếu góc, nghiêng quá mức hoặc có ghi chú đè lên ô bảng, hệ thống có thể đọc sai hoặc bỏ sót. Nếu mẫu phiếu thay đổi liên tục, lược đồ dữ liệu và cách ánh xạ sang bảng tính Excel cũng cần cập nhật. Các nghiên cứu triển khai thị giác máy tính trong bối cảnh thực địa cho thấy hệ thống chỉ có ý nghĩa quản trị khi vừa thu thập được dữ liệu thường xuyên, vừa gắn dữ liệu với chỉ số đánh giá và kịch bản vận hành cụ thể (Ratnayake et al., 2023). Do đó, triển khai thực tế cần bắt đầu bằng thử nghiệm thí điểm có kiểm soát, chuẩn hóa cách chụp ảnh, chuẩn hóa danh mục công trình, mã công nhân và quy trình duyệt dữ liệu.

Đối với mục tiêu công bố học thuật, bước tiếp theo là thu thập đủ số ảnh phiếu đã ẩn danh, tạo dữ liệu chuẩn đối chiếu độc lập, chạy quy trình trên từng phiếu, ghi nhật ký theo từng nút xử lý và báo cáo kết quả định lượng. Chỉ khi có số liệu thực nghiệm, bài báo mới có thể kết luận về mức chính xác, mức tiết kiệm thời gian, chi phí mỗi phiếu và hiệu quả giảm sửa thủ công so với nhập bảng tính thủ công.

7. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã định vị bài toán xử lý phiếu chấm công công trình theo hai hướng ứng dụng rõ ràng: quản lý nhân công và thanh toán lương. Trên cơ sở nghiên cứu khoa học thiết kế, nghiên cứu đề xuất một quy trình trí tuệ nhân tạo có con người trong vòng kiểm soát để chuyển ảnh phiếu chấm công thành dữ liệu có cấu trúc, bảng tính đầu ra và hồ sơ có thể truy vết. Khung nghiên cứu nhấn mạnh rằng dữ liệu chấm công không chỉ là dữ liệu nhập lương, mà còn là bằng chứng vận hành hỗ trợ chuẩn hóa quản lý nhân lực tại công trình.

Về đóng góp, nghiên cứu làm rõ khoảng trống giữa các nghiên cứu thị giác máy tính trong xây dựng và nhu cầu xử lý chứng từ hành chính hiện trường. Bài báo đề xuất lược đồ dữ liệu, vai trò kiểm tra của con người, bộ chỉ số đánh giá và phân loại lỗi phù hợp với dữ liệu phiếu chấm công. Để hoàn thiện theo chuẩn bài báo thực nghiệm, nghiên cứu cần tiếp tục chạy thử nghiệm thí điểm trên ảnh phiếu thật đã ẩn danh, điền số liệu vào bảng kết quả, so sánh với quy trình nhập bảng tính thủ công và phân tích lỗi theo từng nhóm nghiệp vụ.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu được tài trợ bởi Trường Đại học Văn Lang với mã số đề tài VLU-2604-DT-VLT-KXD-GV-0086.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Baduge, S.K., Thilakarathna, S., Perera, J.S., Arashpour, M., Sharafi, P., Teodosio, B.,… & Mendis, P. Artificial intelligence and smart vision for building and construction 4.0: achine and deep learning methods and applications. Automation in Construction, 141, 104440, 2022.

[2] Brendel, W., Rauber, J., Kurakin, A., Papernot, N., Veliqi, B., Mohanty, S.P., Laurent, F.,... & Zhang, H. Adversarial vision challenge. The NeurIPS'18 Competition: From Machine Learning to Intelligent Conversations, 129-153, 2019.

[3] Cai, L., McGuire, N.E., Hanlon, R., Mooney, T.A. & Girdhar, Y. Semi-supervised visual tracking of marine animals using autonomous underwater vehicles. International Journal of Computer Vision, 131(6), 1406-1427, 2023.

[4] Chang, K.W., Wu, H., Wang, Y.K., Wu, Y.K., Shen, H., Tseng, W.C.,... & Lee, H.Y. Speechprompt: Prompting speech language models for speech processing tasks. IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, 32, 3730-3744, 2024.

[5] Ersoz, A.B. Demystifying the potential of ChatGPT-4 Vision for construction progress monitoring. The 8th International Project and Construction Management Conference, 1-10, 2024.

[6] Guha, S., Mullick, A., Agrawal, J., Ram, S., Ghui, S., Lee, S.C.,... & Goyal, P. MatScIE: An automated tool for the generation of databases of methods and parameters used in the computational materials science literature. Computational Materials Science, 192, 110325, 2021.

[7] Hevner, A.R., March, S.T., Park, J. & Ram, S. Design science in information systems research. Management Information Systems Quarterly, 28(1), 75-106, 2008.

[8] Kim, J. Visual analytics for operation-level construction monitoring and documentation: State-of-the-art technologies, research challenges, and future directions. Frontiers in Built Environment, 6, 1-20, 2020.

[9] Oyediran, H., Turner, W., Kim, K. & Barrows, M. Integration of 4d bim and robot task planning: Creation and flow of construction-related information for action-level simulation of indoor wall frame installation. arXiv preprint arXiv:2402.03602, 2024.

[10] Ratnayake, M.N., Amarathunga, D.C., Zaman, A., Dyer, A.G. & Dorin, A. Spatial monitoring and insect behavioural analysis using computer vision for precision pollination. International Journal of Computer Vision, 131(3), 591-606, 2023.

[11] Sharma, A., Altan, D., Marijan, D. & Maressa, A. From high-frequency sensors to noon reports: Using transfer learning for shaft power prediction in maritime. International Joint Conference on Computational Intelligence, 723-741, 2025.

[12] Tan, Y.H. & Chan, C.S. Phrase-based image captioning with hierarchical LSTM model. arXiv:1711.05557, 2017.

[13] Wang, K., Wang, Z., Li, Z., Su, A., Teng, X., Pan, E., Liu, M. & Yu, Q. Oriented object detection in optical remote sensing images using deep learning: A survey. Artificial Intelligence Review, 58, 350, 2025.

[14] Xiao, B., Wang, Y. & Kang, S.C. Deep learning image captioning in construction management: A feasibility study. Journal of Construction Engineering and Management, 148(7), 04022049, 2022.

[15] Xu, M., Li, C., Chen, Z., Wang, Z. & Guan, Z. Assessing visual quality of omnidirectional videos. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 29(12), 3516-3530, 2018.

■Ngày nhận bài: 02/4/2026 ■Ngày sửa bài: 12/5/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 23/5/2026

Ứng dụng trí thông minh nhân tạo trong xây dựng: Trường hợp giám sát năng lượng công trình xây dựng

Artificial intelligence applications in construction: A case study of building energy monitoring

> NGUYỄN THANH PHONG[1,2], PHAN ĐÌNH PHÚC[3,4], TRƯƠNG ĐÌNH NHẬT[5,*]
[1]Nhóm nghiên cứu liên ngành về QLDA & Tri thức chuyên nghiệp (K2P), Trường Đại học Mở Thành phố Hồ Chí Minh
[2]Bộ môn Quản lý xây dựng, Khoa Xây dựng, Trường Đại học Mở Thành phố Hồ Chí Minh
[3]Khoa Đào tạo Sau đại học, Trường Đại học Mở Thành phố Hồ Chí Minh
[4]TT Quản lý Dịch vụ & Lưu trú sinh viên, Trường Đại học Ngân hàng TP.HCM
[5]Khoa Xây dựng, Trường Đại học Kiến trúc TP.HCM
[*]Email: nhat.truongdinh@uah.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu này đề xuất ứng dụng trí thông minh nhân tạo (mô hình học máy) nhằm dự báo phụ tải điện siêu chính xác và ổn định, tập trung vào các tòa nhà ký túc xá đại học. Việc giám sát và quản lý năng lượng trong các tòa nhà, đặc biệt tại các cơ sở giáo dục, là vô cùng cấp thiết do chúng là nơi tiêu thụ năng lượng lớn và cần thiết để thúc đẩy hành vi tiết kiệm năng lượng trong sinh viên. Nghiên cứu này nhằm giải quyết hạn chế của các mô hình học máy truyền thống như Mạng lưới thần kinh Nhân tạo (ANNs), nơi việc tinh chỉnh tham số không tối ưu dễ dẫn đến hiện tượng quá khớp, làm giảm nghiêm trọng hiệu suất trên dữ liệu mới. Để khắc phục vấn đề này, nghiên cứu đã phát triển một phương pháp kết hợp nâng cao, sử dụng thuật toán ANN với chiến lược Tối ưu hóa 2 giai đoạn dựa trên quy trình lặp và Hàm Mục tiêu Kết hợp. Giai đoạn 1 tối ưu hóa độ chính xác thô: kết quả cho thấy mô hình đạt MAPEtest thấp nhất (3.79%) nhưng bị quá khớp rõ rệt với độ lệch 48% so với MAPElearn. Do đó, Giai đoạn 2 áp dụng Hàm Mục tiêu Kết hợp Objective= max(Mapelearn,Mapetest)+|Mapelearn—Mapetest|. Hàm này đảm bảo rằng mô hình cuối cùng không chỉ chính xác mà còn có độ ổn định, tính tổng quát cao bằng cách giảm thiểu sự khác biệt giữa lỗi huấn luyện và lỗi kiểm tra. Mô hình tối ưu cuối cùng (Delay=9, Số nút ẩn=19) đạt MAPE test là 3.99%. Thành công nổi bật của nghiên cứu là đã giảm thiểu độ lệch tuyệt đối giữa MAPEtest và MAPElearn xuống chỉ còn 0.69%, chứng minh mô hình không bị quá khớp và có khả năng khái quát hóa vượt trội. Mức độ chính xác và ổn định này được đánh giá là xuất sắc và rất cạnh tranh, cung cấp công cụ dự báo đáng tin cậy cho công tác giám sát và quản lý năng lượng công trình trong thực tiễn.

Từ khóa: Tối ưu hóa; độ ổn định; mô hình học máy lai; quá khớp; mạng lưới thần kinh nhân tạo; dự báo phụ tải điện; chiến lược tối ưu hóa 2 giai đoạn; hàm mục tiêu kết hợp; ký túc xá đại học; giám sát năng lượng.

ABSTRACT

This study proposes applying artificial intelligence (machine learning models) for ultra-accurate and stable electricity load forecasting, specifically targeting university dormitory buildings. Energy monitoring and management in educational institutions is critical due to their status as major energy consumers, and the necessity of promoting energy-saving behavior among students. The research aims to overcome a common limitation of traditional ML models, such as Artificial Neural Networks (ANNs), where suboptimal parameter tuning often leads to overfitting, significantly degrading performance on new data. To address this, the study developed an enhanced hybrid method that combines an ANN model with a two-stage optimization approach, which involves an iterative process and a combined objective function metaheuristic strategy. Stage 1 focused on optimizing crude accuracy (Minimizing MAPEtest), but the configuration yielding the lowest MAPEtest (3.79%) suffered from clear overfitting, showing a large deviation of 48%. Therefore, Stage 2 applied the Combined Objective

Function defined as: Objective= max(Mapelearn,Mapetest) + |Mapelearn—Mapetest|. This function ensures that the final model is not only accurate but also possesses high reliability and generalization capability by minimizing the absolute difference between the training error and the test error. The resulting optimal model (Delay=9, Hidden Nodes=19) achieved a MAPEtest of 3.99%. The research's notable success lies in minimizing the absolute deviation between MAPEtest and MAPElearn to only 0.69%, confirming that the model does not suffer from overfitting and has superior generalization ability. This level of accuracy and stability is evaluated as excellent and highly competitive, providing a reliable forecasting tool for practical energy monitoring and management.

Keywords: Optimization; reliability; hybrid machine learning model; overfitting; Artificial Neural Network (ANN); load forecasting; Two-stage optimization; combined objective function; University dormitories; energy monitoring.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

1.1. Bối cảnh và Tính cấp thiết của Vấn đề Năng lượng

Năng lượng là nguồn tài nguyên có hạn với chi phí và nhu cầu sử dụng ngày càng tăng cao (Javed et al., 2025) [1]. Lĩnh vực xây dựng đóng một vai trò cực kỳ quan trọng trong tiêu thụ năng lượng toàn cầu. Cụ thể, các tòa nhà chịu trách nhiệm cho hơn một phần ba tổng mức tiêu thụ năng lượng trên thế giới (Huang & Wan, 2025; Li et al., 2024) [2], [3]. Ở các khu vực như Hoa Kỳ và châu Âu, các tòa nhà thương mại và cư dân chiếm tới 40% tổng năng lượng sử dụng và 36% tổng lượng khí thải CO_2 (Tran et al., 2020) [4].

Tính cấp thiết của việc sử dụng năng lượng hiệu quả càng trở nên rõ rệt hơn ở các khu vực nhiệt đới, nơi tiêu thụ năng lượng của các tòa nhà cao hơn các vùng khí hậu khác do nhiệt độ, độ ẩm cao và sự phụ thuộc đáng kể vào điều hòa không khí (Huang & Wan, 2025) [2]. Với dự báo dân số và Tổng sản phẩm quốc nội (GDP) toàn cầu sẽ tăng mạnh, nhu cầu năng lượng được dự đoán sẽ tăng vọt (Chou & Truong, 2021) [5], cho thấy chỉ tập trung vào việc tăng nguồn cung năng lượng là không đủ để đảm bảo tính bền vững (Li et al., 2024) [3].

1.2. Sự thay đổi trọng tâm từ Công nghệ sang Hành vi

Các biện pháp tiết kiệm năng lượng liên quan đến công nghệ (ECMs) đang có xu hướng ngày càng tốn kém khi các biện pháp không tốn kém hoặc chi phí thấp đã cạn kiệt. Do những hạn chế này, việc áp dụng các biện pháp ECMs liên quan đến hành vi là điều cần thiết để đạt được tiết kiệm năng lượng hơn nữa. Khuyến khích các cá nhân tiết kiệm năng lượng, có thể giúp tiêu thụ năng lượng của tòa nhà giảm tới 9.5% với việc cải thiện hành vi vừa phải và tới 21.0% với việc cải thiện hành vi tích cực (He et al., 2021) [6].

Đối với doanh nghiệp (bao gồm cả các tổ chức giáo dục), tăng cường hiệu quả năng lượng là một việc làm thiết thực, tiết kiệm và là một khoản đầu tư sinh lời ngay lúc này, không cần chờ đợi những tiến bộ công nghệ đột phá.

1.3. Tập trung vào các Tòa nhà Ký túc xá đại học

Các trường Đại học là những công trình tiêu thụ năng lượng lớn, đóng góp khoảng 8% tổng mức tiêu thụ năng lượng xã hội. Trong đó, các tòa nhà ký túc xá là những thực thể phức tạp độc đáo, nơi năng lượng phải được cung cấp để đáp ứng nhu cầu sinh hoạt hàng ngày, cũng như các yêu cầu làm việc và học tập. Do đó, lượng điện tiêu thụ của ký túc xá chiếm một tỷ lệ đáng kể trong tổng sử dụng năng lượng của các tòa nhà đại học (Yu et al., 2024) [7].

Mặc dù là công trình tiêu thụ năng lượng lớn với mật độ cao, các tòa nhà ký túc xá lại ít được chú ý. Việc quản lý sử dụng năng lượng hiệu quả tại ký túc xá giúp giảm chi phí vận hành, nâng cao hiệu quả hoạt động và tăng hình ảnh của nhà trường (Yang et al., 2023) [8].

Tại Việt Nam, hệ thống giáo dục đại học có quy mô lớn với gần 400 cơ sở và gần 1,9 triệu sinh viên. Thế hệ trẻ, bao gồm sinh viên, đối mặt với thách thức lớn trong việc chống lại biến đổi khí hậu và cần những thay đổi hành vi cấp tiến để đạt mục tiêu không carbon vào năm 2050 (Bích, 2023) [9].

Việc nghiên cứu và thúc đẩy hành vi tiết kiệm năng lượng trong sinh viên, cùng với việc thu thập dữ liệu (phục vụ cho việc dự báo tiêu thụ năng lượng), sẽ là cơ sở khoa học giúp các nhà quản lý hiểu rõ nhu cầu thực tế và đề xuất các chính sách, chương trình giáo dục phù hợp, đặc biệt tại khu vực phía Nam nơi khí hậu ảnh hưởng đáng kể đến mức tiêu thụ điện (Wan et al., 2025) [10].

Nghiên cứu này có đóng góp vào lĩnh vực nghiên cứu về năng lượng bền vững, giúp tạo ra các phương pháp quản lý năng lượng hiệu quả và tiết kiệm.

2. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU

2.1. Nghiên cứu dự báo năng lượng trong tòa nhà xây dựng

Trong bối cảnh mức phát thải CO2 liên quan đến năng lượng toàn cầu đã đạt kỷ lục 37,4 tỷ tấn vào năm 2023 (IEA, 2023) [11], việc quản lý và tiết kiệm năng lượng trong môi trường xây dựng là rất cần thiết. Sự chuyển dịch từ giải pháp công nghệ sang giải pháp hành vi được liên kết chặt chẽ với nhu cầu về dữ liệu và dự báo chính xác (Huang & Wan, 2025) [2]. Nhiều nghiên cứu đã tập trung vào việc dự báo năng lượng tòa nhà, từ đó phân tích hành vi cư dân và đưa ra chính sách phù hợp.

Các phương pháp dự đoán và quản lý năng lượng tòa nhà truyền thống bao gồm:

• Phương pháp kỹ thuật (Engineering methods): Sử dụng các công cụ mô phỏng năng lượng tòa nhà phức tạp và chi tiết như EnergyPlus, DOE-2, phù hợp cho các tính toán chính xác. Tuy nhiên, chúng thường khó thực hiện trên thực tế do độ phức tạp và thiếu thông tin đầu vào cần thiết, và chỉ hoạt động tốt với các hệ thống năng lượng có hành vi ổn định (Liu et al., 2023) [12].

• Phương pháp thống kê (Statistical methods): Dễ phát triển hơn, bao gồm các mô hình dựa trên hồi quy như Phân tích nhu cầu có điều kiện (CDA) và mô hình ARIMA. Tuy nhiên, các phương pháp này có xu hướng kém chính xác và thiếu linh hoạt (Chou & Truong, 2021) [5].

• Gần đây, các phương pháp mô hình hóa dựa trên dữ liệu đã thu hút sự quan tâm đáng kể để ước tính năng lượng tiêu thụ trong các tòa nhà (Li et al., 2024) [3].

2.2. Nghiên cứu dự báo năng lượng trong môi trường giáo dục

Việc thúc đẩy tiết kiệm năng lượng trong môi trường học đường, đặc biệt là tại ký túc xá sinh viên, có ý nghĩa vô cùng quan trọng đối với Việt Nam. Ký túc xá là nơi sinh hoạt và học tập cộng đồng, tập trung đông đảo thanh niên tri thức – lực lượng đang trong giai đoạn hình thành các thói quen và thái độ dài hạn. Việc nghiên cứu hành vi tiết kiệm năng lượng tại các ký túc xá góp phần đáng kể vào mục tiêu tiết kiệm năng lượng quốc gia (Bích, 2023) [9].

Đối với các loại tòa nhà cụ thể như ký túc xá đại học, việc tiêu thụ năng lượng bị ảnh hưởng bởi cả các yếu tố khí tượng và lịch trình giảng dạy. Điều này tạo ra chuỗi thời gian phức tạp hơn nhiều so với các tòa nhà dân cư thông thường, khiến các phương pháp

truyền thống trở nên không phù hợp (Yu et al., 2024; Zhang et al., 2024) [7], [13].

2.3. Xu hướng sử dụng AI trong dự báo thể hiện tính ưu việt hơn các phương pháp khác

Trí tuệ nhân tạo (AI) đã được áp dụng rộng rãi trong việc dự báo mức tiêu thụ năng lượng của các tòa nhà, thể hiện hiệu suất vượt trội so với các phương pháp truyền thống (Javed et al., 2025) [1].

• Mạng lưới thần kinh nhân tạo (ANNs): Mô phỏng hoạt động của nơ-ron não bộ và là một trong những kỹ thuật AI hay được sử dụng. ANNs hoạt động tốt với các mô hình tiêu thụ năng lượng có tính phi tuyến tính cao, có khả năng tự học, và đã chứng minh hiệu suất dự đoán rất mạnh mẽ (Tran et al., 2020) [4].

• Máy học véc tơ hỗ trợ (SVMs): Rất hiệu quả trong việc giải quyết các vấn đề phi tuyến tính, ngay cả với lượng dữ liệu đào tạo nhỏ. SVM đã được chứng minh có khả năng dự đoán chính xác hơn so với các phương pháp khác trong việc dự đoán mức tiêu thụ năng lượng hàng năm trong các tòa nhà (Wan et al., 2025) [10].

• Mô hình tổ hợp AI (Ensemble AI models): Kỹ thuật học máy tiên tiến này kết hợp sức mạnh của nhiều mô hình để cung cấp ước tính chính xác hơn và giảm thiểu sai sót so với việc sử dụng một thuật toán học đơn lẻ. Do độ chính xác dự đoán cao hơn, mô hình tổ hợp đã trở thành phương pháp thường được các nhà nghiên cứu sử dụng rộng rãi trong lĩnh vực năng lượng tòa nhà (Javed et al., 2025) [1].

Tóm lại, các phương pháp AI (như ANNs và SVMs), mặc dù yêu cầu lượng dữ liệu lịch sử lớn, nhưng hiệu quả trong việc giải quyết các vấn đề phi tuyến tính và đạt độ chính xác cao.

2.4. Khoảng trống nghiên cứu

Xu hướng phát triển kỹ thuật kết hợp (hybrid techniques) nhằm cải thiện độ chính xác bằng cách kết hợp các mô hình tuyến tính và phi tuyến tính. Tuy nhiên, việc kết hợp không tối ưu có thể làm giảm hoặc làm suy yếu hiệu suất của hệ thống (Chou & Truong, 2021) [5].

Nghiên cứu chỉ ra rằng các mô hình học máy như ANNs, mặc dù hiệu quả, lại rất phức tạp trong việc tinh chỉnh tham số (parameter). Khi áp dụng các kỹ thuật kết hợp (hybrid techniques) để cải thiện độ chính xác, một vấn đề phổ biến là lỗi huấn luyện thường không được tối ưu hóa tối đa, dẫn đến hiện tượng quá khớp (overfitting) (Wan et al., 2025) [10]. Quá khớp làm giảm nghiêm trọng hiệu suất tổng thể khi mô hình áp dụng vào dữ liệu mới, điều này đặt ra nhu cầu cấp thiết về các chiến lược thông minh hơn để tìm kiếm các tham số tối ưu (hyperparameters) (Tran et al., 2020) [4].

Nghiên cứu này nhằm lấp đầy khoảng trống bằng cách phát triển một phương pháp kết hợp nâng cao, kết hợp thuật toán học máy (ANN) với chiến lược tối ưu hóa siêu hình (metaheuristic optimization strategy) tức là quy trình lặp và Hàm Mục tiêu kết hợp chứ không đơn thuần là kết hợp hai thuật toán dự báo, để xử lý các đặc điểm dữ liệu phức tạp của ký túc xá đại học, tập trung vào việc tối ưu hóa để đảm bảo độ chính xác và tính tổng quát.

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

3.1. Mô hình Sliding window

Trong các nghiên cứu về dự báo năng lượng tòa nhà, nơi tiêu thụ năng lượng là một chuỗi thời gian phức tạp đơn biến (x1, x2, …, xn), mô hình cửa sổ trượt là nền tảng để chuyển đổi dữ liệu chuỗi thời gian thành bài toán học máy có giám sát, giúp trích xuất các đặc điểm từ quá khứ (lịch sử tiêu thụ) để dự báo tương lai. Các mô hình mạng nơ-ron (ANN), máy học vector hỗ trợ (SVM) hay các mô hình học sâu như mạng nơ ron bộ nhớ ngắn hạn-dài hạn (LSTM) đòi hỏi dữ liệu đầu vào phải được cấu trúc lại thành các cặp "đầu vào - đầu ra" (Chou & Truong, 2021). Kỹ thuật này cho phép mô hình "học" được các quy luật lặp lại như tính mùa vụ hoặc hành vi sử dụng theo chu kỳ, đóng vai trò là "bộ chuyển đổi" (Data Transformer). Nó di chuyển một cửa sổ có độ dài cố định (w) dọc theo chuỗi thời gian để trích xuất thông tin (Li et al., 2024) gồm các tham số cơ bản:

Look-back Window (Lag-w): khoảng thời gian quá khứ được sử dụng để học.

Forecast Horizon (Delay- d): khoảng cách đến thời điểm cần dự báo.

Mô hình window chuyển đổi chuỗi dữ liệu một chiều thành ma trận các cặp:

$$[X\ Y] = \begin{bmatrix} x_1\ x_2 & \cdots & x_L & \| & x_{L+D} \\ \vdots & \ddots & & & \vdots \\ x_i\ x_{i+1} & \cdots & x_{i+L-1} & \| & x_{i+L+D-1} \end{bmatrix} \quad (1)$$

với:

X: Ma trận đầu vào, kích thước [Rx L].

Y: Ma trận đầu ra (mục tiêu), kích thước [R x 1].

R: là số lượng cặp mẫu huấn luyện được tạo ra được tính dựa trên số mẫu N ban đầu theo công thức R=N-L-D+1

3.2. Tiếp cận nghiên cứu: **Chiến lược tối ưu hóa 2 Giai đoạn**

Nghiên cứu sử dụng phương pháp dự báo chuỗi thời gian (Time Series Forecasting) dựa trên Mô hình lai Hybrid (kết hợp) (ANN) được tối ưu hóa. Để đảm bảo độ chính xác và độ vững chắc của mô hình, nghiên cứu đã thực hiện chiến lược tối ưu hóa tham số lặp qua hai giai đoạn, nhằm giải quyết triệt để vấn đề quá khớp.

Giai đoạn 1: Tối ưu hóa Độ chính xác Thô (Minimizing MAPE test) Giai đoạn này tìm kiếm sự kết hợp tối ưu giữa Delay (độ trễ) và Số Nơ-ron trong lớp ẩn để đạt MAPE test thấp nhất. Tuy nhiên, kết quả từ giai đoạn này chỉ được coi là sơ bộ, vì việc chỉ chọn MAPE test thấp nhất không đảm bảo tính tổng quát và độ ổn định.

Giai đoạn 2: Tối ưu hóa Độ ổn định và Tính Tổng quát (Sử dụng Hàm Mục tiêu Kết hợp) Để khắc phục hiện tượng quá khớp thường gặp trong Giai đoạn 1, nghiên cứu áp dụng phân tích độ nhạy dựa trên Hàm Mục tiêu Kết hợp (Objective Function). Hàm mục tiêu này hoạt động như một bộ lọc chất lượng nội bộ

Quá trình này lặp lại cho đến khi tất cả các cấu hình Delay và số Nơ-ron được thử nghiệm. Cấu hình cho ra giá trị Objective nhỏ nhất sẽ được chọn làm mô hình tối ưu cuối cùng, đảm bảo cả độ chính xác và tính tổng quát

3.3. Đánh giá mô hình

Nghiên cứu sử dụng 4 tiêu chí để đánh giá mô hình gồm:

Hệ số căn bậc hai của sai số bình phương trung bình (RMSE - Root mean square error) được xác định bằng công thức sau:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y' - y)^2} \quad (2)$$

Trong đó:

y - là giá trị thực tế

y′ - là giá trị dự đoán

n - là số mẫu của bộ dữ liệu

Hệ số sai số trung bình tuyệt đối (MAE - Mean absolute error) được tính theo công thức sau:

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|y - y'| \quad (3)$$

Trong đó:

y - là giá trị thực tế

y′ - là giá trị dự đoán

n - là số mẫu của bộ dữ liệu

Hệ số phần trăm sai số trung bình tuyệt đối (MAPE - Mean absolute percentage error):

Hệ số MAPE là một phép đo thống kê để đánh giá hiệu suất của

các mô hình dự báo bởi vì nó mang lại các giá trị tương đối được tính theo công thức sau:

$$MAPE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{y - y'}{y}\right| \quad (4)$$

Trong đó:

y – là giá trị thực tế

y' – là giá trị dự đoán

n – là số mẫu của bộ dữ liệu

Hệ số đánh giá tổng hợp SI:

Chỉ số tổng hợp (SI – synthesis index) được phát triển và đề xuất bởi Jui Sheng Chou là một công cụ đo lường hiệu suất toàn diện của hệ thống dự đoán. Nó kết hợp các thước đo thống kê quan trọng (RMSE, MAE và MAPE) để tính toán độ chính xác dự báo tổng thể. Chỉ số tổng hợp (SI) được tính bằng cách lấy trung bình của ba thước đo trên, mang lại một thước đo duy nhất và toàn diện về hiệu suất của hệ thống.

Bằng cách chuẩn hóa hiệu suất dự báo, các mô hình có thể được so sánh với nhau bằng cách sử dụng cùng một đường cơ sở. Giá trị SI là từ 0 đến 1 vì vậy càng gần bằng 0 là mô hình dự báo có tính chính xác cao (Chou & Truong, 2021). Chỉ số SI được thể hiện theo công thức sau:

$$SI = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{P_i - P_{min,i}}{P_{max,i} - P_{min,i}}\right) \quad (5)$$

Trong đó

n : số lượng các biện pháp thực hiện

Pi : Là thước đo hiệu suất thứ i

Pmin,i : Là thước đo hiệu suất nhỏ nhất thứ i

Pmax,i : Là thước đo hiệu suất lớn nhất thứ i

3.4. Thu thập dữ liệu

Dữ liệu đầu vào là lịch sử tiêu thụ điện thực tế hàng tháng. Quá trình lấy mẫu được thực hiện định kỳ, nơi Ban quản lý Ký túc xá theo dõi và ghi lại số liệu tiêu thụ từng phòng ở, sau đó tổng hợp lại. Tổng số mẫu dữ liệu lịch sử được sử dụng là 38 mẫu, tương ứng 38 tháng từ giai đoạn sau dịch covid tháng 03/2022 đến tháng 04/2025.



Hình 1. Thu thập dữ liệu sử dụng điện hàng tháng



Hình 2. Chuỗi chỉ số tiêu thụ điện 38 tháng

3.5. Tối ưu hóa mô hình lai Hybrid (kết hợp) (ANN)

Quá trình tối ưu hóa này giống như việc hiệu chỉnh một kính viễn vọng phức tạp. Thay vì chỉ nhìn thấy vật thể (dự đoán) rõ nhất qua một ống kính (cấu hình tham số) nhưng có thể bị biến dạng (overfitting), chúng ta điều chỉnh đồng thời hai yếu tố (Delay và Số Nơ-ron) để đảm bảo hình ảnh không chỉ sắc nét mà còn phản ánh chân thực vật thể đó (tính tổng quát).

a.Xác định Tham số cốt lõi

• Lag: Đây là tham số dùng để tái cấu trúc chuỗi thời gian thành tập dữ liệu hồi quy, ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu suất dự báo của mô hình học máy. Giá trị Lag được xác định thông qua phân tích độ nhạy (sensitivity analysis) để tối đa hóa độ chính xác. Dựa trên tính chu kỳ 12 tháng của dữ liệu, Lag được cố định là 12 tháng.

• Delay: Là số bước thời gian từ giá trị đầu vào cuối cùng đến giá trị đầu ra cần dự đoán. Delay tối ưu là giá trị cho phép mạng nơ-ron nhận diện mối liên hệ mạnh mẽ nhất giữa quá khứ và tương lai, từ đó đạt được hiệu suất dự báo cao nhất.

Quá trình tối ưu hóa mô hình giới hạn giá trị Delay tối đa là 10. Việc lựa chọn này là cần thiết với tổng số mẫu dữ liệu có giới hạn (38 mẫu). Nếu chọn Delay lớn hơn, số cặp dữ liệu huấn luyện và kiểm tra khả dụng sẽ không đủ để mạng học tập và đưa ra đánh giá chính xác.

b. Quy trình Tối ưu hóa tham số lặp

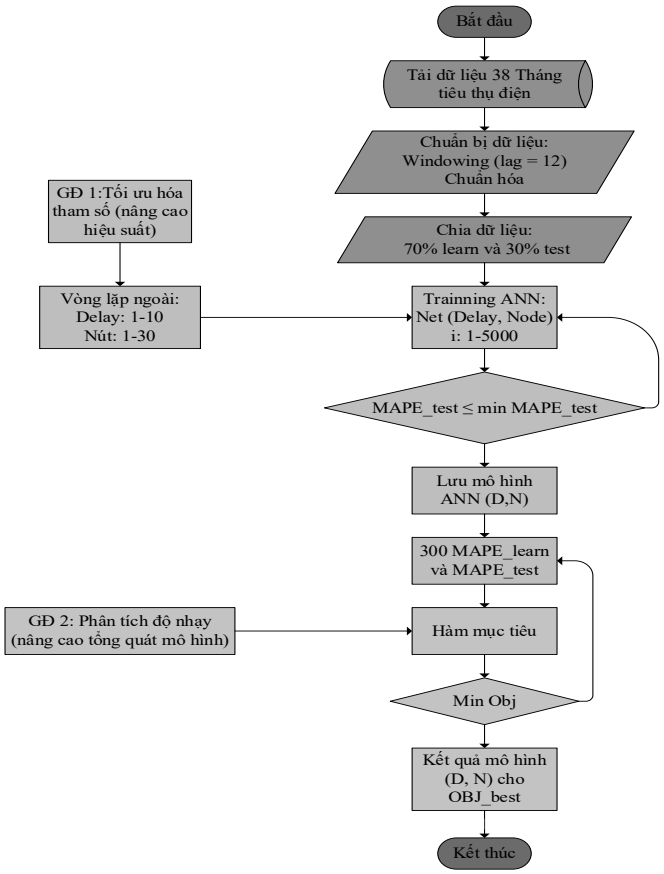
Nghiên cứu thực hiện một quy trình lặp tự động, tìm kiếm sự kết hợp tối ưu giữa Delay (d) (từ 1 đến 10) và số Nơron (nnode) (từ 1 đến 30) trong lớp ẩn của mạng ANN.

• Bước 1: Chuẩn bị dữ liệu: Dữ liệu 38 tháng được xử lý bằng kỹ thuật "tạo cửa sổ" (windowize) để biến đổi thành các cặp (Input-Output) phù hợp cho việc huấn luyện. Dữ liệu sau đó được chia thành hai phần: 70% dùng để huấn luyện (X, Y) và 30% được giữ lại làm dữ liệu kiểm tra (Xt, Ytt) (Chou & Truong, 2021) [5].

• Bước 2: Huấn luyện Mạng Nơ-ron: Một mạng nơ-ron mới được tạo (newff) với cấu trúc được xác định bởi số lượng nơ-ron lớp ẩn. Thuật toán 'trainlm', một thuật toán phổ biến và mạnh mẽ, được chọn để huấn luyện mạng (Noor, 2025). Quá trình huấn luyện kéo dài 5000 lần lặp, trong đó mạng tự điều chỉnh các kết nối bên trong để giảm thiểu Sai số Bình phương Trung bình (mse).

• Bước 3: Kiểm tra và Đánh giá Sơ bộ: Sau khi huấn luyện, mạng được dùng để dự đoán kết quả cho dữ liệu kiểm tra (Xt). Sai số được tính toán bằng chỉ số Sai số Dự đoán Trung bình Phần trăm (MAPE). Giá trị MAPE càng thấp chứng tỏ mô hình dự đoán càng chính xác .

• Bước 4: Nâng cao tính tổng quát, hạn chế hiện tượng Overfitting: Do việc chỉ chọn MAPE kiểm tra MAPE_test thấp nhất không đảm bảo tính tổng quát và có thể dẫn đến hiện tượng quá khớp (overfitting), nghiên cứu tiếp tục phân tích dựa trên Hàm Mục tiêu kết hợp. Hàm mục tiêu được định nghĩa là: Objective = max(Mape_test, Mape_learn) + |Mape_test - Mape_learn|. Mục tiêu là tìm tổ hợp tham số cho ra giá trị Objective nhỏ nhất, đảm bảo hai điều kiện: (1) Cả MAPE_test và MAPE_learn đều thấp (mô hình chính xác); và (2) Khác biệt giữa MAPE_test và MAPE_learn thấp (mô hình không bị overfit hoặc underfit).



Hình 3. Lưu đồ tối ưu hóa tham số

4. KẾT QUẢ

4.1. Phân tích kết quả tối ưu hóa sơ bộ và đánh giá tính tổng quát

Nghiên cứu đã thực hiện tối ưu hóa mô hình dự báo trong Giai đoạn 1 dựa trên tiêu chí tối thiểu hóa Sai số phần trăm tuyệt đối trung bình trên tập kiểm tra (MAPE test). Phần lớn các tổ hợp tham số đã đạt được MAPE test dưới 8%, một mức độ chính xác được coi là rất tốt trong lĩnh vực dự báo.

Bảng 1. Kết quả Sai số phần trăm tuyệt đối trung bình của các nhóm tổ hợp trong mô hình

delay	nút ẩn	Min (Mape test)	Mape learn tương ứng
1	21	0.066859	0.0378
2	28	0.059524	0.0508
3	24	0.054979	0.2264
4	03	0.054216	0.0377
5	22	0.054281	0.0539
6	25	0.037984	0.0785
7	08	0.040525	0.5138
8	26	0.041064	0.2247
9	20	0.038373	0.1433
10	19	0.044339	0.1625

Cấu hình tối ưu theo tiêu chí MAPE test thuần túy tại cấu hình Delay=6 và Số nút ẩn=25, đạt MAPE test 3.79%.

Mặc dù đạt MAPE test thấp nhất, mô hình Delay=6, Số nút ẩn=25 lại có MAPE learn tương ứng là 7.85%. Sự chênh lệch này khá lớn, là một dấu hiệu xác nhận mô hình đã bị quá khớp (overfitting) trên tập dữ liệu huấn luyện. Hiện tượng lệch lớn giữa tập huấn luyện và kiểm tra cũng được quan sát thấy ở các cấu hình khác như Delay= 3, 7, 8, 9, và 10.

Cho thấy việc chỉ dựa vào MAPE test thấp nhất (cạm bẫy của độ chính xác thô) không đảm bảo tính tổng quát và độ tin cậy.

4.2. Tối ưu hóa độ ổn định và xác định mô hình tối ưu cuối cùng

Do việc chỉ chọn MAPE test thấp nhất không đảm bảo tính tổng quát và độ tin cậy, nghiên cứu tiếp tục Giai đoạn 2 bằng cách áp dụng phương pháp phân tích độ nhạy với Hàm Mục tiêu kết hợp (Objective Function). Mục tiêu của Hàm Mục tiêu kết hợp là tìm kiếm tổ hợp tham số cho ra giá trị Objective nhỏ nhất, đồng thời đảm bảo rằng cả MAPE học & MAPE kiểm tra đều thấp, và khác biệt giữa chúng cũng thấp để tránh hiện tượng overfit hoặc underfit.

Kết quả tối ưu hóa theo tiêu chí độ bền đã xác định mô hình tối ưu cuối cùng là Delay = 9 và Số nút ẩn = 19. Mô hình này đạt được các chỉ số hiệu suất quan trọng sau:

Giá trị Objective: 0.05367.

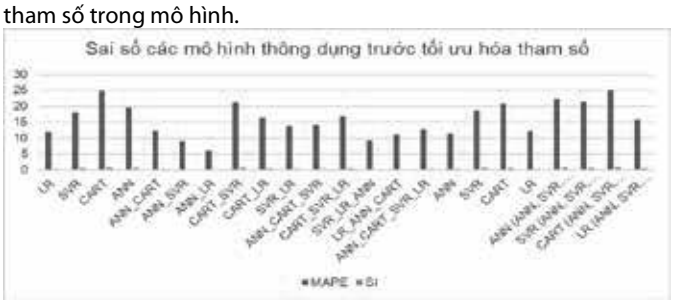
MAPE test: 3.99%.

MAPE learn: 4.68%.

Độ lệch tuyệt đối giữa Test và Learn (|Test−Learn|): 0.69%.

4.3. So sánh với các mô hình hình học máy thông dụng

Hầu hết các Sai số phần trăm tuyệt đối trung bình MAPE đều cho kết quả >10 %, điều đó cho thấy sự cần thiết trong tối ưu hóa các tham số trong mô hình.



Hình 4. Kết quả sai số của các mô hình không tối ưu hóa tham số

5. THẢO LUẬN

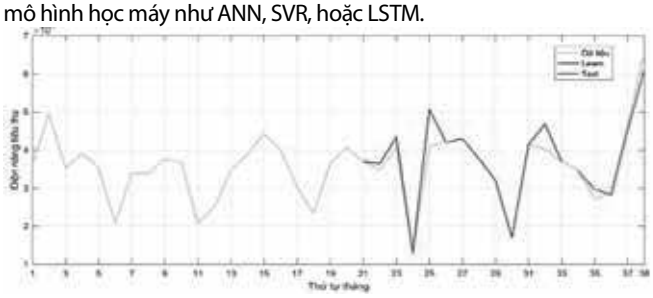
5.1. Độ ổn định và khả năng khái quát hóa

Đánh giá mô hình tối ưu cuối cùng cho thấy sự ổn định vượt trội. Sự khác biệt giữa MAPE trên tập Kiểm tra (3.99%) và MAPE trên tập Huấn luyện (4.68%) chỉ là 0.69%. Độ lệch cực kỳ nhỏ này là bằng chứng rõ ràng xác nhận mô hình không bị quá khớp. Việc MAPE trên tập Kiểm tra có lỗi thấp hơn một chút so với tập Huấn luyện (dù hiếm gặp) củng cố nhận định rằng mô hình có khả năng khái quát hóa (generalization) rất tốt trên dữ liệu chưa từng thấy. Mức độ ổn định và tin cậy của mô hình được đánh giá là cao do hiệu suất gần như đồng đều trên cả hai tập dữ liệu huấn luyện và kiểm tra

Việc hy sinh một chút độ chính xác tuyệt đối (từ 3.79% xuống 3.99%) để đổi lấy sự cải thiện đáng kể về độ ổn định (giảm độ lệch từ 48% xuống 0.69%) là một thành công lớn về mặt khoa học, khẳng định tính hiệu quả của phương pháp tối ưu hóa dựa trên tiêu chí kết hợp

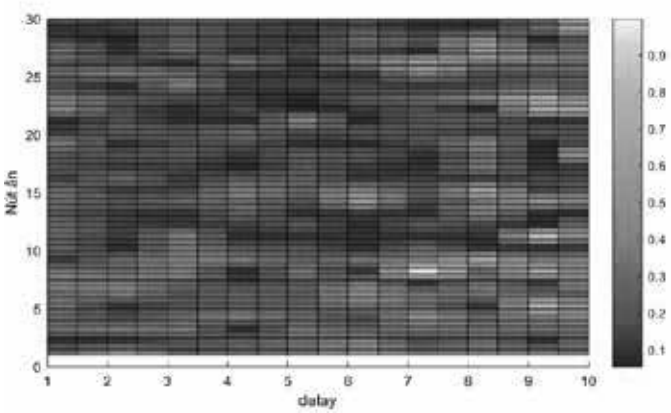
5.2. So sánh hiệu suất và ý nghĩa thực tiễn

Kết quả MAPE test là 3.99% của nghiên cứu này nằm ở ngưỡng rất cạnh tranh so với các nghiên cứu dự báo phụ tải điện trước đây sử dụng các mô hình học máy như ANN, SVR, hoặc LSTM.



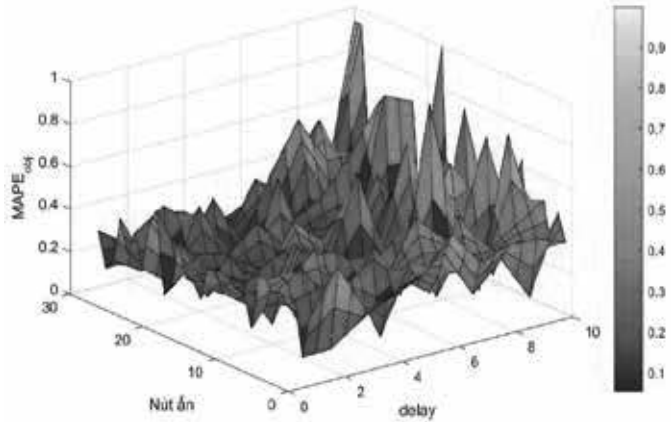
Hình 5. Kết quả dự báo của mô hình tối ưu

Cụ thể, các nghiên cứu thành công trong dự báo ngắn hạn (theo giờ/ngày) thường đạt MAPE trong khoảng 1.5% đến 4%, trong khi dự báo trung hạn (theo tuần/tháng) thường có MAPE từ 3% đến 8% (Liu et al., 2023). Với MAPE 3.99% và độ ổn định cao (độ lệch 0.69%), mô hình nghiên cứu này được xếp vào nhóm xuất sắc cho cả dự báo ngắn hạn và trung hạn. Điều này khẳng định tính ứng dụng và hiệu quả thực tiễn cao của mô hình đã được phát triển.



Hình 6. Mặt bằng MAPE mô hình tối ưu (Delay - Nút ẩn)

Mô hình cuối cùng, được tối ưu dựa trên tiêu chí kết hợp, hoạt động như một hệ thống kiểm soát chất lượng nội bộ: nó không chỉ tìm kiếm kết quả dự báo chính xác mà còn đảm bảo rằng độ chính xác đó là đồng nhất trên cả tập dữ liệu đã biết và chưa biết, tránh được "cạm bẫy" của việc chỉ học thuộc lòng dữ liệu huấn luyện.



Hình 7. Mô hình 3D của MAPE của mô hình tối ưu

Với dự báo phụ tải đáng tin cậy theo kết quả nghiên cứu, Ban Quản lý ký túc xá có thể tối ưu vận hành các hệ thống thiết bị sử dụng điện theo lịch dự báo, điều chỉnh biểu giá mua điện, hoặc phát hiện sớm bất thường khi phụ tải thực tế lệch khỏi dự báo.

Trong nghiên cứu này, các tác giả chưa xem xét về thời tiết (nhiệt độ, độ ẩm theo mùa), lịch hoạt động và mức độ sử dụng của ký túc xá giữa kỳ học và kỳ nghỉ, v.v. Người đọc có thể thực hiện các nghiên cứu tương lai liên quan việc xem xét các yếu tố ảnh hưởng để nâng cao tính tổng quát của mô hình đề xuất. Phương pháp đề xuất cũng cần được thử nghiệm trên các tập dữ liệu khác từ nhiều công trình để khẳng định tính khái quát hóa.

6. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã khẳng định tính hiệu quả vượt trội của việc áp dụng mô hình học máy lai được tối ưu hóa dựa trên tiêu chí độ tin cậy trong dự báo phụ tải năng lượng. Bằng cách sử dụng Hàm Mục tiêu Kết hợp, nghiên cứu đã xác định thành công mô hình tối ưu cuối cùng (Delay=9, Số nút ẩn=19) đạt khả năng khái quát hóa cao. Mô hình này đạt MAPE test là 3.99% và điều quan trọng là chỉ có độ lệch giữa tập kiểm tra và huấn luyện rất nhỏ, chỉ 0.69%, qua đó chứng minh mô hình không bị quá khớp và có độ tin cậy cao.

Kết quả so sánh: mức độ chính xác 3.99% này được đánh giá là xuất sắc và rất cạnh tranh so với các nghiên cứu dự báo tải điện ngắn và trung hạn trước đây. Do đó, mô hình này cung cấp một công cụ dự báo ổn định và chính xác, có thể áp dụng hiệu quả trong quản lý năng lượng tòa nhà, hỗ trợ phát hiện các mô hình tiêu thụ bất thường và thúc đẩy các sáng kiến tiết kiệm năng lượng tại các cơ sở giáo dục.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được Bộ Giáo dục và Đào tạo tài trợ trong đề tài mã số B2025-MBS-03.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Javed, H., Eid, F., El-Sappagh, S., & Abuhmed, T. Sustainable energy management in the AI era: a comprehensive analysis of ML and DL approaches. Computing, 107(6), 132, 2025, doi: 10.1007/s00607-025-01485-0.

[2] Huang, G., & Wan, H. Enhancing building energy forecasting with advanced ML techniques: An in-depth study of model performance, parameter optimization and predictive accuracy. Journal of Mechanical Science and Technology, 39(10), pp. 6347-6362, 2025, doi: 10.1007/s12206-025-0959-x.

[3] Li, G., Wu, Y., Yan, C., Fang, X., Li, T., Gao, J., Wang, Z. An improved transfer learning strategy for short-term cross-building energy prediction using data incremental. Building Simulation, 17(1), pp. 165-183, 2024, doi: 10.1007/s12273-023-1053-x.

[4] Tran, D.-H., Luong, D.-L., & Chou, J.-S. Nature-inspired metaheuristic ensemble model for forecasting energy consumption in residential buildings. Energy, 191, 116552, 2020, doi: 10.1016/j.energy.2019.116552.

[5] Chou, J. S., & Truong, D. N. Multistep energy consumption forecasting by metaheuristic optimization of time-series analysis and machine learning. International Journal of Energy Research, 45(3), pp. 4581-4612 2021, doi: 10.1002/er.6125.

[6] He, Z., Hong, T., & Chou, S. K. A framework for estimating the energy-saving potential of occupant behaviour improvement. Applied Energy, 287, 116591, 2021, doi: 10.1016/j.apenergy.2021.116591.

[7] Yu, Y., Zhang, C., Wang, G., Wang, X., & Yang, L.. Short-term energy consumption prediction for university dormitory buildings based on energy consumption grouping by considering meteorological factors and teaching schedules. Energy and Buildings, 312, 114219, 2024, doi: 10.1016/j.enbuild.2024.114219.

[8] Yang, Y., Gang, W., Yuan, J., Zhang, Z., & Tian, C. Energy Consumption Patterns and Characteristics of College Dormitory Buildings Based on Unsupervised Data Mining Method. Buildings, 13(3), 2023, doi: 10.3390/buildings13030666.

[9] Bích, N. L. Ảnh hưởng của dân số tới phát triển giáo dục sau khi Việt Nam vượt qua "mốc" quy mô dân số đạt 100 triệu người. Tạp chí Kinh tế và Phát triển (315), tr. 26-34, 2023.

[10] Wan, H., Huang, G., Huang, Y., & Ghadimi, N. Energy consumption prediction in buildings using LSTM and SVR modified by developed Henry gas solubility optimization. Scientific Reports, 15(1), pp. 38037, 2025, doi: 10.1038/s41598-025-21835-4.

[11] IEA. CO_2 Emissions in 2023, A new record high, but is there light at the end of the tunnel? CO_2 Emissions in 2023, IEA, Paris, 2023.

[12] Liu, J., Zhang, R., & Xiong, J. Machine learning approach for estimating the human-related VOC emissions in a university classroom. Building Simulation, 16(6), pp. 915-925, 2023, doi: 10.1007/s12273-022-0976-y.

[13] Zhang, Y., Zhang, B., & Hou, J. Simulation Study on Student Residential Energy Use Behaviors: A Case Study of University Dormitories in Sichuan, China. Buildings, 14(5), 2024, doi: 10.3390/buildings14051484.

[14] Noor, U. A. Advances in Machine Learning for Structural Seismic Response Prediction: A Comprehensive Review. Archives of Computational Methods in Engineering, 2025, doi: 10.1007/s11831-025-10395-5.

■Ngày nhận bài: 29/4/2026 ■Ngày sửa bài: 13/5/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 27/5/2026

Đánh giá tác động của ứng dụng công nghệ số đối với hiệu quả kiểm soát chi phí trong hệ thống kế toán quản trị tại Việt Nam

Assessing the impact of digital technology adoption on the effectiveness of cost control in the management accounting system in Vietnam

> THS PHẠM VĂN TÂN*, TS NGUYỄN DUY THANH
Đại học Quốc tế Hồng Bàng
*Email: tanpv@hiu.vn

TÓM TẮT

Ứng dụng công nghệ số trong kế toán quản trị đang trở thành động lực quan trọng giúp doanh nghiệp nâng cao hiệu quả kiểm soát chi phí trong bối cảnh chuyển đổi số tại Việt Nam. Dữ liệu được thu thập từ 450 đối tượng là kế toán quản trị, kế toán chi phí, nhà quản lý tài chính và nhân sự công nghệ, được xử lý bằng phần mềm SPSS 20.0 thông qua các phương pháp Cronbach's Alpha, phân tích nhân tố khám phá (EFA) và hồi quy tuyến tính. Kết quả cho thấy, các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu quả kiểm soát chi phí được xếp theo mức độ giảm dần: Công nghệ số (β = 0,312); năng lực phân tích (β = 0,294); chất lượng thông tin (β = 0,225); tốc độ cung cấp thông tin (β = 0,185). Qua đó, nghiên cứu khẳng định vai trò then chốt của công nghệ số và năng lực phân tích trong việc tối ưu hóa hệ thống kế toán quản trị và nâng cao hiệu quả kiểm soát chi phí tại doanh nghiệp Việt Nam.

Từ khóa: Ứng dụng công nghệ; hiệu quả kiểm soát chi phí; hệ thống kế toán quản trị.

ABSTRACT

The application of digital technologies in management accounting is becoming a key driver enabling enterprises to enhance cost control efficiency in the context of digital transformation in Vietnam. Data were collected from 450 respondents, including management accountants, cost accountants, financial managers, and IT personnel and were processed using SPSS 20.0 through Cronbach's Alpha, Exploratory Factor Analysis (EFA) and linear regression methods. The results indicate that the factors influencing cost control efficiency are ranked in descending order as follows: Digital Technology (β = 0.312); analytical Capability (β = 0.294); information Quality (β = 0.225) and Information Timeliness (β = 0.185). Accordingly, the study confirms the pivotal role of digital technology and analytical capability in optimizing management accounting systems and improving cost control efficiency in Vietnamese enterprises.

Keywords: Technology application; cost control efficiency; management accounting system.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh cuộc cách mạng công nghiệp 4.0 đang lan tỏa sâu rộng, công nghệ số đã trở thành động lực then chốt thúc đẩy sự đổi mới trong quản trị doanh nghiệp, đặc biệt là trong lĩnh vực kế toán. Tại Việt Nam, chuyển đổi số không chỉ là xu thế tất yếu mà còn là yêu cầu cấp thiết nhằm nâng cao hiệu quả hoạt động và năng lực cạnh tranh. Trong tiến trình đó, hệ thống kế toán quản trị - với vai trò cung cấp thông tin phục vụ lập kế hoạch, kiểm soát và ra quyết định - đang chịu tác động mạnh mẽ từ việc ứng dụng các công nghệ hiện đại như Big Data, AI và điện toán đám mây, qua đó góp phần nâng cao chất lượng và tốc độ xử lý thông tin [1, 2].

Về bản chất, kiểm soát chi phí là chức năng cốt lõi của kế toán quản trị, nhưng trong mô hình truyền thống, hoạt động này còn tồn tại nhiều hạn chế như độ trễ thông tin và khả năng phân tích chưa cao. Sự xuất hiện của công nghệ số đã làm thay đổi căn bản cách thức kiểm soát chi phí thông qua tự động hóa, tích hợp dữ liệu theo thời gian thực và hỗ trợ phân tích dự báo, giúp doanh nghiệp phản ứng kịp thời với các biến động và nâng cao hiệu quả quản trị [3]. Điều này cho thấy mối liên hệ chặt chẽ giữa mức độ ứng dụng công nghệ số và hiệu quả kiểm soát chi phí. Tuy nhiên, thực tiễn tại Việt Nam cho thấy, việc ứng dụng công nghệ số trong kế toán quản trị vẫn chưa đồng đều, đặc biệt ở các doanh nghiệp nhỏ và

vừa, nơi việc triển khai còn hạn chế do rào cản về hạ tầng, chi phí và nguồn nhân lực [4, 5]. Khoảng cách giữa tiềm năng của công nghệ số và hiệu quả thực tế trong kiểm soát chi phí vì vậy vẫn còn đáng kể. Nghiên cứu này không chỉ góp phần làm rõ cơ chế tác động của công nghệ số mà còn cung cấp cơ sở khoa học cho doanh nghiệp trong việc nâng cao hiệu quả quản trị và năng lực cạnh tranh trong bối cảnh chuyển đổi số hiện nay.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ ĐỀ XUẤT MÔ HÌNH NGHIÊN CỨU

2.1. Ảnh hưởng của công nghệ số đối với kiểm soát chi phí trong hệ thống kế toán quản trị

Ứng dụng công nghệ số giúp nâng cao chất lượng thông tin theo hướng chính xác và minh bạch, đồng thời tăng tốc độ cung cấp thông tin theo thời gian thực, tạo điều kiện cho nhà quản trị phản ứng kịp thời với biến động chi phí. Bên cạnh đó, các công cụ số còn thúc đẩy năng lực phân tích, cho phép doanh nghiệp phát hiện sai lệch, dự báo xu hướng và đưa ra quyết định tối ưu.

- *Công nghệ số:* Công nghệ số đang tạo ra bước chuyển căn bản trong hệ thống kế toán quản trị, đặc biệt đối với chức năng kiểm soát chi phí. Thay vì phụ thuộc vào dữ liệu quá khứ và xử lý thủ công, các công nghệ như Big Data, AI và điện toán đám mây giúp thông tin chi phí được thu thập, xử lý và phân tích theo thời gian thực, từ đó nâng cao độ chính xác và tính kịp thời của quyết định quản trị [6, 7]. Nhờ đó, kiểm soát chi phí không còn mang tính phản ứng mà chuyển sang chủ động và dự báo. Các nghiên cứu gần đây chỉ ra rằng việc ứng dụng phân tích dữ liệu và công nghệ số giúp cải thiện đáng kể chất lượng thông tin kế toán và năng lực phân tích của nhà quản trị, tạo nền tảng cho việc kiểm soát chi phí hiệu quả hơn [6]. Đồng thời, sự phát triển của các hệ thống số hóa và tự động hóa còn góp phần nâng cao mức độ trưởng thành của hệ thống kiểm soát quản trị, giúp doanh nghiệp theo dõi sai lệch chi phí và điều chỉnh kịp thời [8].

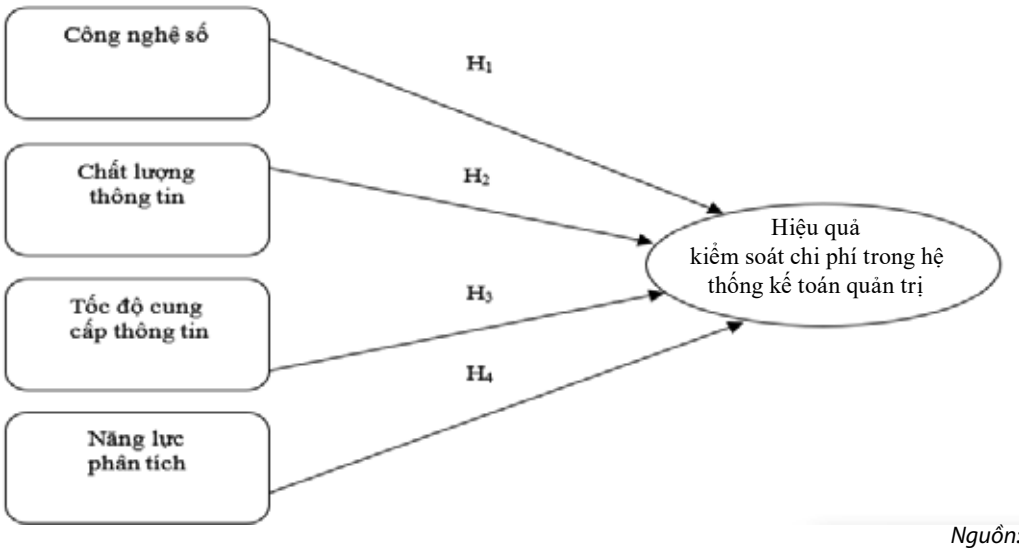
- *Chất lượng thông tin:* Chất lượng hệ thống thông tin kế toán và thông tin phi tài chính có ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng ra quyết định và hiệu quả hoạt động doanh nghiệp [9]. Đồng thời, chất lượng thông tin tài chính càng cao thì mức độ hữu ích trong lập dự toán, phân tích sai lệch và kiểm soát chi phí càng được nâng cao [10]. Điều này khẳng định rằng chất lượng thông tin không chỉ là yêu cầu kỹ thuật mà còn là nền tảng của quản trị chi phí hiệu quả. Hệ thống kế toán quản trị chỉ thực sự phát huy vai trò khi cung cấp thông tin phù hợp với nhu cầu ra quyết định, qua đó giúp doanh nghiệp chuyển từ kiểm soát chi phí thụ động sang chủ động [11]. Trong bối cảnh dữ liệu lớn, chất lượng thông tin còn phụ thuộc vào năng lực hệ thống và khả năng xử lý dữ liệu, từ đó nâng cao tính minh bạch và độ tin cậy của thông tin chi phí [12]. Đặc biệt, việc ứng dụng công nghệ hiện đại giúp cải thiện tốc độ và độ chính xác của thông tin, khắc phục tình trạng chậm trễ và sai lệch trong tính toán chi phí [13].

- *Tốc độ cung cấp thông tin:* Việc ứng dụng Business Intelligence và phân tích dữ liệu giúp rút ngắn thời gian xử lý và cung cấp thông tin, từ đó nâng cao chất lượng ra quyết định trong kế toán quản trị [6]. Đồng thời, Big Data Analytics cho phép doanh nghiệp tiếp cận và khai thác dữ liệu gần thời gian thực, hỗ trợ kiểm soát chi phí một cách chủ động và linh hoạt hơn [15]. Sự phát triển của công nghệ số và trí tuệ nhân tạo còn góp phần tự động hóa quy trình kế toán, giảm độ trễ trong thu thập và xử lý thông tin, qua đó nâng cao hiệu quả quản trị chi phí [16]. Tốc độ tiếp cận thông tin nhanh giúp cải thiện năng lực dự báo và chất lượng quyết định, tạo điều kiện cho doanh nghiệp nhận diện sớm xu hướng biến động chi phí và điều chỉnh kế hoạch kịp thời [17]. Các hệ thống kế toán số và tự động hóa quy trình cũng góp phần giảm thời gian xử lý thủ công, hạn chế sai sót và tăng tính minh bạch trong kiểm soát chi phí [18].

- *Năng lực phân tích:* Năng lực phân tích, đặc biệt thông qua Business Intelligence và phân tích dữ liệu giúp cải thiện chất lượng thông tin và hỗ trợ ra quyết định quản trị chính xác hơn [19]. Đồng thời, trong môi trường số hóa, năng lực này cho phép doanh nghiệp chuyển từ kiểm soát chi phí thụ động sang chủ động, khi có thể phát hiện xu hướng và rủi ro ngay từ giai đoạn sớm [21, 22]. Việc kết hợp năng lực phân tích với hệ thống kiểm soát quản trị giúp chuyển hóa kết quả phân tích thành hành động cụ thể, qua đó nâng cao hiệu quả kiểm soát chi phí [23]. Sự phát triển của trí tuệ nhân tạo và học máy còn mở rộng khả năng phân tích, hỗ trợ dự báo và mô hình hóa chi phí với độ chính xác cao hơn [24], đồng thời cải thiện chất lượng ước tính chi phí trong các môi trường sản xuất phức tạp [25].

2.2. Mô hình nghiên cứu ảnh hưởng của ứng dụng công nghệ số đối với hiệu quả kiểm soát chi phí trong hệ thống kế toán quản trị

Dựa trên nền tảng các nghiên cứu về ứng dụng công nghệ số đối với hiệu quả kiểm soát chi phí trong hệ thống kế toán quản trị, kết hợp với phỏng vấn và xin ý kiến của các chuyên gia đề xuất mô hình nghiên cứu trong Hình 1.



Nguồn: Tác giả tổng hợp.

Hình 1. Mô hình ảnh hưởng của ứng dụng công nghệ số đối với hiệu quả kiểm soát chi phí trong hệ thống kế toán quản trị

Trong đó, các giả thuyết được đề xuất như sau:

H1: Công nghệ số tác động cùng chiều với hiệu quả kiểm soát chi phí trong hệ thống kế toán quản trị.

H2: Chất lượng thông tin tác động cùng chiều với hiệu quả kiểm soát chi phí trong hệ thống kế toán quản trị.

H3: Tốc độ cung cấp thông tin tác động cùng chiều với hiệu quả kiểm soát chi phí trong hệ thống kế toán quản trị.

H4: Năng lực phân tích tác động cùng chiều với hiệu quả kiểm soát chi phí trong hệ thống kế toán quản trị.

Nghiên cứu này được triển khai trên nhóm đối tượng khảo sát là những cá nhân trong doanh nghiệp có liên quan trực tiếp đến việc ứng dụng công nghệ số và khai thác thông tin kế toán quản trị trong kiểm soát chi phí, bao gồm kế toán quản trị, kế toán chi phí, nhà quản lý tài chính và nhân sự phụ trách hệ thống công nghệ, với quy mô mẫu đạt 450 quan sát. Dữ liệu thu thập được kiểm tra, làm sạch, mã hóa và xử lý bằng phần mềm SPSS 20.0: Mô tả mẫu, đánh giá thang đo bằng hệ số Cronbach›s Alpha, phân tích nhân tố khám phá (EFA), phân tích hồi quy.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Đánh giá thang đo bằng hệ số tin cậy Cronbach's Alpha

Kết quả Cronbach's Alpha loại biến DIG_6 do nhỏ hơn 0,3, còn lại các thang đo điều > 0,6, các hệ số tương quan biến tổng của các biến quan sát của các thang đo đều lớn hơn 0,3 và không có trường hợp loại bỏ biến quan sát có thể làm cho Cronbach's Alpha của thang đo lớn hơn. Vì vậy, tất cả các biến quan sát đều được sử dụng trong phân tích nhân tố EFA tiếp theo [19].

Bảng 1. Tóm tắt kết quả kiểm định Cronbach's Alpha

INF	Ký hiệu	Thành phần	Số biến	Cronbach's Alpha	Hệ số tương quan biến - tổng thấp nhất
1	INF	Chất lượng thông tin	5	0,926	0,759
2	ANA	Năng lực phân tích	4	0,924	0,779
3	SPD	Tốc độ cung cấp thông tin	5	0,887	0,836
4	DIG	Công nghệ số	5	0,941	0,808
5	EFF	Hiệu quả kiểm soát chi phí	4	0,910	0,817

Nguồn: Kết quả phân tích dữ liệu của tác giả.

3.2. Phân tích nhân tố khám phá EFA

Phân tích nhân tố khám phá EFA lần 1 có biến INF4 không đảm bảo tính phân biệt nên phải loại bỏ. Tiến hành phân tích nhân tố EFA sau khi loại biến với 18 biến quan sát của 4 nhân tố (INF; ANA; SPD; DIG) được đưa vào phân tích nhân tố EFA bằng phương pháp trích Principal Component và phép quay Varimax. Kết quả kiểm định BartleINF's Test = 0,000 (sig < 0,05) chứng tỏ các biến quan sát có tương quan với nhau. Hệ số KMO bằng 0,912 nên phân tích nhân tố là phù hợp, phương sai trích là 72,165% (> 50%) chứng tỏ 72,165% biến thiên của dữ liệu được giải thích bởi 4 nhân tố [19]. Mô hình hồi quy sẽ có 5 biến độc lập (Bảng 2).

Kết quả phân tích EFA với biến quan sát EFF bằng phương pháp Principal Axis Factoring với phép xoay Pro-max, với 4 biến quan sát và phương sai trích tích lũy được là 71,802% (> 50%), giá trị Eigenvalue là 2,626 (> 1), KMO là 0,853 (>0,5) thỏa mãn yêu cầu, kiểm định BartleINFs có ý nghĩa thống kê (Sig = 0,000) nên các biến quan sát có tương quan với nhau trong tổng thể.

Bảng 2. Kết quả phân tích nhân tố khám phá EFA các biến độc lập

Hệ số tải nhân tố				
	Component			
	1	2	3	4
DIG4	0,784			
DIG2	0,780			
DIG3	0,768			
DIG5	0,735			
DIG1	0,714			
SPD3		0,814		
SPD2		0,745		
SPD5		0,730		
SPD4		0,725		
SPD1		0,709		
ANA3			0,844	
ANA2			0,835	
ANA4			0,771	
ANA1			0,758	
INF3				0,761
INF5				0,746
INF1				0,741
INF2				0,718

Nguồn: Kết quả phân tích dữ liệu của tác giả.

3.3. Phân tích tương quan và phân tích hồi quy

Ma trận tương quan Pearson cho thấy rằng mức ý nghĩa của các hệ số rất nhỏ (sig < 0,50) nên các hệ số tương quan có ý nghĩa thống kê, đồng thời đủ điều kiện để đưa vào phân tích hồi quy. Phân tích hồi quy tuyến tính bội được thực hiện bằng việc sử dụng phương pháp lựa chọn biến Enter cho kết quả như trong Bảng 3.

Bảng 3. Kết quả phân tích hồi quy

Mô hình	Hệ số chưa chuẩn hóa		Hệ số đã chuẩn hóa	Giá trị t	Mức ý nghĩa (Sig.)	Đa cộng tuyến	
	B	Sai số chuẩn	Beta			Độ chấp nhận	VIF
Hằng số C	0,720	0,184		4,227	0,000		
DIG	0,306	0,075	0,312	7,982	0,000	0,702	2,145
SPD	0,119	0,064	0,185	4,249	0,000	0,711	1,876

ANA	0,263	0,055	0,294	4,955	0,000	0,852	2,254
INF	0,196	0,048	0,225	0,268	0,000	0,770	2,032
Biến phụ thuộc: EFF							
R^2 hiệu chỉnh: 0,695							
Thống kê F (ANOVA): 90,021							
Mức ý nghĩa (Sig. của ANOVA): 0,000							
Durbin-Watson: 1,763							

Nguồn: Kết quả phân tích dữ liệu của tác giả.

Kết quả phân tích phương sai ANOVA cho thấy trị thống kê F = 90,021 với giá trị sig = 0,000 chứng tỏ mô hình hồi quy phù hợp với tập dữ liệu. Chỉ số Durbin-Watson bằng 1,818 < 3 cho thấy không có sự tương quan giữa các biến trong mô hình. Hệ số VIF của các biến đều < 10 chứng tỏ không xảy ra hiện tượng đa cộng tuyến. Hệ số R^2 hiệu chỉnh bằng 0,505 cho thấy 50,5% sự biến thiên của biến phụ thuộc được giải thích bởi các biến độc lập. Phương trình hồi quy chuẩn hóa: EFF = 0,312*DIG + 0,225*INF + 0,294*ANA + 0,185*SPD. Các giả thuyết H_1, H_2, H_3, H_4, đều được chấp nhận ở độ tin cậy 95%.

4. CÁC HÀM Ý QUẢN TRỊ ĐỀ XUẤT

Để nâng cao hiệu quả kiểm soát chi phí trong hệ thống kế toán quản trị tại Việt Nam trong bối cảnh chuyển đổi số, các giải pháp cần được triển khai đồng bộ giữa công nghệ, dữ liệu và con người. Trước hết, doanh nghiệp cần ứng dụng công nghệ số (ERP, Big Data, AI, điện toán đám mây) để tích hợp hệ thống, tự động hóa quy trình và cung cấp dữ liệu chi phí theo thời gian thực, đồng thời lựa chọn giải pháp phù hợp với quy mô để đảm bảo hiệu quả đầu tư.

Nâng cao chất lượng thông tin thông qua chuẩn hóa quy trình thu thập và xử lý dữ liệu, đảm bảo tính chính xác, đầy đủ và kịp thời, kết hợp thông tin tài chính với phi tài chính để phản ánh đúng bản chất chi phí; cải thiện tốc độ cung cấp thông tin bằng cách tự động hóa báo cáo, sử dụng dashboard và hệ thống cảnh báo sớm nhằm giúp nhà quản trị phản ứng nhanh với biến động chi phí.

Phát triển năng lực phân tích cho đội ngũ kế toán và quản lý là yếu tố quyết định, giúp khai thác dữ liệu hiệu quả, nâng cao khả năng dự báo và hỗ trợ ra quyết định. Việc kết hợp năng lực con người với công cụ phân tích hiện đại sẽ giúp doanh nghiệp kiểm soát chi phí chủ động và tối ưu hóa nguồn lực.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] N. T. Nhung. The impact of digital transformation on the development of management accounting practices in Vietnamese enterprises. Int. J. Adv. Multidiscip. Res. Stud., 2024.

[2] N. T. T. Trang et al. Digital transformation in the accounting sector of Vietnamese SMEs, 2025.

[3] N. T. H. Yen. The impact of digital transformation on the accounting and auditing sector in Vietnam, 2025.

[4] A. Adeleke and O. Omotesho. The intersection of management accounting and digital technologies. Int. J. Res. Innov. Soc. Sci. (IJRISS), 2026.

[5] Factors affecting the organization of accounting work in the digital transformation period in Vietnam, 2025.

[6] P. Rikhardsson and O. Yigitbasioglu. Business intelligence and analytics in management accounting research: Status and future focus. Int. J. Accounting Inf. Syst., vol. 29, pp. 37-58, 2018.

[7] J. Moll and O. Yigitbasioglu.The role of internet-related technologies in shaping the work of accountants: New directions for accounting research. Brit. Accounting Rev., vol. 51, no. 6, 2019.

[8] L. Broccardo, R. Culasso and S. Mauro. Steering digitalization and management control maturity in small and medium enterprises. Technol. Forecast. Soc. Change, 2024.

[9] A. P. Monteiro, J. Vale, E. Leite, M. Lis and J. Kurowska-Pysz. The impact of information systems and non-financial information on company success. Int. J. Accounting Inf. Syst., 2022.

[10] A. P. Monteiro, J. Vale, E. Leite and M. Lis. Linking quality of accounting information system and financial reporting to non-financial performance: The role of women managers. Int. J. Accounting Inf. Syst., vol. 54, Art. no. 100692, 2024.

[11] K. Chang, A. A. Lasyoud, and D. Osman. Management accounting system: Insights from decision-making theories. Soc. Sci. Humanit. Open, 2023.

[12] N. Nurhayati. The predictors of the quality of accounting information system: Do big data analytics moderate this conventional linkage? J. Open Innov.: Technol. Market Complex, 2023.

[13] H. Liang. Modern technology's role in accounting cost calculation of industrial enterprises: Informatization as a key strategy to improve management efficiency. Heliyon, 2025.

[14] S. Dehbi, A. Talea and A. Hajoui. Big data analytics and management control. Procedia Comput. Sci., vol. 203, pp. 729-734, 2022.

[15] K. Abbas. Management accounting and artificial intelligence: A comprehensive literature review and recommendations for future research. Brit. Accounting Rev., 2025.

[16] S. Chatterjee et al. Assessing the impact of big data analytics on decision-making processes, forecasting and firm performance. Technol. Forecast. Soc. Change, 2023.

[17] Y. L. Qiu. Research on cost management optimization of financial sharing service center based on RPA. Procedia Comput. Sci., 2020.

[18] J. F. Hair, W. C. Black, B. J. Babin and R. E. Anderson. Multivariate Data Analysis. 7th ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Pearson Prentice Hall, 2010.

■Ngày nhận bài: 23/3/2026 ■Ngày sửa bài: 03/4/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 14/4/2026

Nghiên cứu sử dụng tế bào tự động và thuật toán cửa sổ trượt để phát hiện hoạt động bất thường của tàu thuyền

Study on the application of cellular automata and sliding window algorithm for detecting anomalous ship behavior

> THS NGUYỄN THANH TÙNG*, THS NGUYỄN THANH DIỆU, THS QUÁCH THANH CHUNG
Trường Đại học Hàng hải Việt Nam
*Email: tungnt@vimaru.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo đề xuất một mô hình lai kết hợp tế bào tự động (Cellular Automata - CA) và thuật toán cửa sổ trượt (Sliding Window) để phát hiện các hành vi bất thường như xâm nhập vùng cấm, dừng đỗ trái phép, đi lệch tuyến hay hoạt động đánh cá bất hợp pháp. Sử dụng CA để mô hình hóa không gian hàng hải thành lưới các ô động với trạng thái thay đổi theo mật độ và mức độ trật tự của tàu, cho phép phân tích bối cảnh không gian tập thể. Thuật toán cửa sổ trượt phân tích hành vi từng tàu qua các đặc trưng động học như biến động tốc độ, gia tốc, tốc độ quay và độ phức tạp lộ trình. Thực nghiệm trên dữ liệu mô phỏng đa dạng kịch bản bất thường cho thấy hệ thống đạt độ chính xác 0,91, độ nhạy 0,87 và điểm F1 0,89. Đặc biệt, hệ thống cung cấp khả năng giải thích rõ ràng cho mỗi cảnh báo, hỗ trợ hiệu quả công tác giám sát và ra quyết định.

Từ khóa: Phát hiện bất thường; dữ liệu AIS; tế bào tự động; cửa sổ trượt.

ABSTRACT

This paper proposes a hybrid model combining Cellular Automata (CA) and Sliding Window algorithm to detect abnormal behaviors such as prohibited area intrusion, illegal anchoring, route deviation, or illegal fishing activities. The CA module models maritime space as a dynamic grid of cells with states changing according to vessel density and orderliness, enabling collective spatial context analysis. The Sliding Window module analyzes individual vessel behavior through kinematic features including speed variation, acceleration, turning rate and trajectory complexity. Experiments on simulated data with diverse anomaly scenarios show that the system achieves precision of 0.91, recall of 0.87 and F1-score of 0.89. Notably, the system provides clear explainability for each warning, effectively supporting monitoring and decision-making processes.

Keywords: Anomaly detection; AIS data; Cellular Automata; Sliding Window.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh hoạt động hàng hải ngày càng gia tăng về mật độ và mức độ phức tạp, việc giám sát và phát hiện kịp thời các hành vi bất thường của tàu thuyền như xâm nhập vùng cấm, dừng đỗ trái phép, đi lệch tuyến hay hoạt động đánh cá bất hợp pháp trở thành nhiệm vụ cấp thiết. Hệ thống nhận dạng tự động (Automatic Identification System - AIS) cung cấp nguồn dữ liệu phong phú về vị trí, tốc độ, hướng đi của tàu theo thời gian thực, tạo cơ sở cho các giải pháp giám sát tự động. Tuy nhiên, khối lượng dữ liệu lớn và tính chất phức tạp của môi trường hàng hải đòi hỏi các phương pháp xử lý thông minh, có khả năng thích ứng với nhiều tình huống khác nhau.

Các phương pháp phát hiện bất thường hiện có tồn tại một số hạn chế đáng kể. Phương pháp dựa trên ngưỡng cố định, tuy đơn giản nhưng thiếu linh hoạt, dễ gây cảnh báo sai khi điều kiện môi trường thay đổi. Các kỹ thuật học máy, học sâu như SVM, Random Forest, LSTM đạt độ chính xác cao nhưng đòi hỏi lượng lớn dữ liệu huấn luyện và thường hoạt động như "hộp đen" khó giải thích, hạn chế khả năng ứng dụng thực tế khi cần truy nguyên nguyên nhân cảnh báo [1, 2, 3].

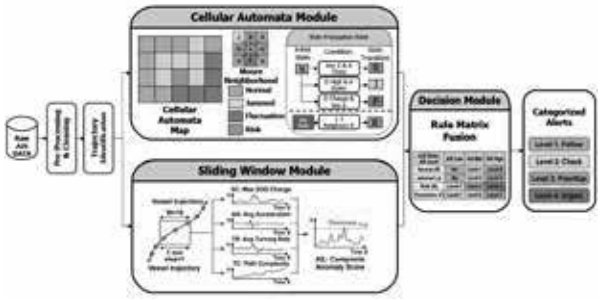
Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đề xuất một mô hình lai kết hợp hai hướng tiếp cận bổ sung cho nhau. Thứ nhất, phương pháp Tế bào tự động (Cellular Automata - CA) được sử dụng để mô hình hóa không gian hàng hải như một hệ thống động, nơi trạng thái của mỗi ô lưới phản ánh bối cảnh giao thông tập thể và thay đổi theo các quy tắc cục bộ. Thứ hai, thuật toán cửa sổ trượt (Sliding Window) được áp dụng để phân tích hành vi cá nhân của từng tàu qua các đặc trưng động học trích xuất từ chuỗi thời gian, cho phép

phát hiện các bất thường tinh vi trong hành trình.

Tính mới của nghiên cứu nằm ở sự lai ghép có chủ đích giữa mô hình hóa không gian dựa trên quy tắc và phân tích chuỗi thời gian dựa trên đặc trưng, tạo ra hệ thống vừa có độ chính xác cao, vừa có khả năng giải thích rõ ràng. Khác với các phương pháp học sâu phức tạp, mỗi cảnh báo từ hệ thống đều có thể truy nguyên về trạng thái môi trường hoặc các chỉ số hành vi cụ thể, đáp ứng yêu cầu thực tiễn của công tác giám sát hàng hải.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ PHƯƠNG PHÁP

Hệ thống đề xuất có kiến trúc xử lý song song hai luồng thông tin. Luồng thứ nhất (CA) phân tích bối cảnh không gian tập thể, luồng thứ hai (cửa sổ trượt) phân tích hành vi cá nhân theo thời gian. Kết quả từ hai luồng được tổng hợp bằng ma trận quy tắc để đưa ra cảnh báo phân cấp từ cấp độ 1 (theo dõi) đến cấp 4 (khẩn cấp).



Hình 1. Kiến trúc tổng thể của hệ thống đề xuất

2.1. Phương pháp Tế bào tự động (CA) trong mô hình hóa không gian hàng hải

Phương pháp CA là mô hình toán rời rạc gồm một lưới các ô (cells) với mỗi ô có trạng thái xác định và thay đổi theo quy tắc cập nhật dựa trên trạng thái của chính nó và các ô lân cận [4, 5]. Trong nghiên cứu này, không gian hàng hải được chia thành lưới các ô vuông có kích thước ô phụ thuộc vào khu vực và mục đích giám sát. Kích thước này được xác định dựa trên mật độ giao thông trung bình và khoảng cách an toàn điển hình:

- Khu vực eo biển, luồng hàng hải, gần cảng: Kích thước ô 0,5×0,5 hải lý (khoảng 900×900 m) để có độ phân giải cao, phát hiện các tương tác phức tạp.

- Khu vực ven bờ, ngư trường: Kích thước ô 1×1 hải lý (khoảng 1,85×1,85 km).

- Khu vực đại dương mở: Kích thước ô 5×5 hải lý trở lên, phù hợp với mật độ thưa và mục tiêu giám sát chiến lược.

Mỗi ô $C_{x,y}$ tại thời điểm t được đặc trưng bởi vector trạng thái:

$$State_{(x,y)}(t)=(D_t,A_t) \quad (1)$$

Trong đó:

D_t - Mật độ: Số lượng tàu trong ô, được chuẩn hóa thành ba mức: Thấp (L), Trung bình (M), Cao (H) dựa trên ngưỡng lịch sử của khu vực. Ví dụ, ngưỡng mức Cao có thể là phân vị của 80% của phân bố mật độ.

A_t - Trật tự: Phản ánh độ đồng nhất về hướng đi và tốc độ của các tàu trong ô, nhận hai giá trị: Ổn định (S) hoặc Hỗn loạn (C). Giá trị này được xác định dựa trên độ lệch chuẩn của hướng đi σ_θ và tốc độ σ_v của các tàu trong ô. Cụ thể như sau:

+ Ô đạt giá trị Ổn định khi: $\sigma_\theta < \tau_\theta$ và $\sigma_v < \tau_v$. Các tàu di chuyển theo luồng ổn định.

+ Ô đạt giá trị Hỗn loạn khi: $\sigma_\theta > \tau_\theta$ hoặc $\sigma_v > \tau_v$. Các tàu chuyển động lộn xộn, thiếu trật tự.

Các ngưỡng τ_θ và τ_v được xác định dựa trên loại tàu và khu vực. Ví dụ, với tàu container trong luồng hàng hải chính, τ_θ có thể là 15 độ, trong khi ở ngư trường, ngưỡng này có thể cao hơn (30 độ) do tính chất hoạt động đa dạng của tàu cá.

Dựa trên hai chỉ số này, 4 trạng thái ô chính được xác định như Bảng 1, mỗi trạng thái mô tả một tình huống hàng hải điển hình:

Bảng 1. Phân loại trạng thái ô lưới dựa trên mật độ và trật tự

Mật độ (D)	Trật tự (A)	Trạng thái ô	Mô tả ý nghĩa
Thấp (L)	Ổn định (S)	Bình thường (N)	Khu vực thông thoáng, giao thông ổn định
Cao (H)	Ổn định (S)	Tắc nghẽn (J)	Mật độ cao nhưng có trật tự (trong luồng, chờ cảng)
Bất kỳ	Hỗn loạn (C)	Nguy cơ (R)	Chuyển động hỗn loạn, thiếu trật tự
Thay đổi nhanh	Bất kỳ	Biến động (F)	Mật độ tăng/giảm đột ngột

Quy tắc cập nhật trạng thái:

Trạng thái của ô tại thời điểm *t+1* được xác định dựa trên trạng thái của chính nó và các ô lân cận tại thời điểm *t*. Chúng tôi sử dụng mô hình lân cận Moore (8 ô xung quanh).

$$State_{(x,y)}(t+1)= f_{CA}(State_{(x,y)}(t),N_{(x,y)}(t)) \quad (2)$$

Trong đó: $N_{xy}(t)$: Trạng thái của tất cả các ô lân cận.

Quy tắc "Lan truyền nguy cơ" được xác định như sau:

- Điều kiện kích hoạt: Nếu ô $C_{i,j}$ ở trạng thái Nguy cơ (R) và có ít nhất k ô lân cận (ví dụ: 3 ô) cũng ở trạng thái R hoặc Biến động (F).

- Hành động: Các ô lân cận đang ở trạng thái Bình thường (N) sẽ có xác suất α (ví dụ: 0,6) chuyển sang trạng thái Nguy cơ (R). Quy tắc này mô phỏng hiệu ứng lan truyền của một sự cố từ khu vực này sang khu vực lân cận.

2.2. Phương pháp Cửa sổ trượt

Phần này tập trung vào từng hành trình tàu riêng lẻ. Một cửa sổ thời gian có độ dài W điểm dữ liệu (tương ứng khoảng 10 phút, với tần suất AIS điển hình là 1 điểm/phút) trượt dọc hành trình với bước nhảy 1 điểm, quá trình này tạo ra một chuỗi các đoạn hành trình chồng lấn, đảm bảo không bỏ sót các sự kiện ngắn.

2.2.1. Trích xuất đặc trưng

Tại mỗi vị trí cửa sổ i, vector đặc trưng F_i được tính toán từ tập hợp các điểm $P_i=\{p_i,p_{i+1},...,p_{i+W}\}$, mỗi điểm p chứa thông tin tốc độ (SOG) và hướng đi (COG).

Bốn đặc trưng động học được trích xuất:

Biến động tốc độ cực đại (Speed Change - SC): Giá trị lớn nhất của sự thay đổi tốc độ giữa hai điểm liên tiếp trong cửa sổ.

$$SC_i = \max(|SOG_j - SOG_{j-1}|) \quad (3)$$

với *j* chạy từ *i+1* đến *i+W*.

Đặc trưng này phản ánh những cú "phanh gấp" hoặc "tăng tốc đột ngột" của tàu.

Gia tốc trung bình (Average Acceleration - AA): Mức độ thay đổi tốc độ trung bình trong toàn bộ cửa sổ.

$$AA_i = \frac{SOG_{i+W} - SOG_i}{t_{i+W} - t_i} \quad (4)$$

Giá trị dương thể hiện xu hướng tăng tốc, giá trị âm thể hiện giảm tốc.

Tốc độ quay trung bình (Turning Rate - TR): Mức độ thay đổi hướng đi trung bình (độ/phút).

$$TR_i = \frac{1}{W}\sum_{j=i}^{i+W-1}\frac{|COG_{j+1} - COG_j|}{t_{j+1} - t_j} \quad (5)$$

Đặc trưng này quan trọng để phát hiện các hành vi lượn vòng, tránh né.

Độ phức tạp lộ trình (Trajectory Complexity - TC): Tỷ lệ giữa số điểm sau khi nén bằng thuật toán Ramer-Douglas-Peucker (RPD) [6] và tổng số điểm trong cửa sổ. Giá trị càng thấp thể hiện lộ trình càng

phức tạp.

2.2.2. Tính toán điểm bất thường (Anomaly Score - AS)

Từ 4 đặc trưng trên, ta có được vector đặc trưng cho cửa sổ thứ i là $\vec{F}_i = [SC_i, AA_i, TR_i, TC_i]$.

Với mỗi loại tàu trong một khu vực, một hồ sơ hành vi bình thường được xây dựng gồm giá trị trung bình $\vec{\mu}$ và độ lệch chuẩn $\vec{\sigma}$. Điểm bất thường cho cửa sổ mới được tính bằng:

$$AS_i = \sum_{f=1}^{4} w_f \cdot \frac{|F_{i,f} - \mu_f|}{\sigma_f} \quad (6)$$

Trong đó: w_f là trọng số phản ánh tầm quan trọng của từng đặc trưng ($\sum w_f = 1$).

Một cửa sổ được coi là bất thường nếu AS_i vượt ngưỡng τ_{AS} (ví dụ phân vị 95% của phân phối AS trên dữ liệu chuẩn).

2.3. Kết hợp CA và cửa sổ trượt trong phát hiện bất thường

Mô hình lai gồm hai lớp hoạt động song song: lớp CA cung cấp bối cảnh không gian, lớp cửa sổ trượt phân tích hành vi cá nhân. Kết quả được tổng hợp qua ma trận quy tắc (Bảng 2). Bốn cấp cảnh báo được định nghĩa:

Cấp 1 (Theo dõi): Ghi nhận, không cần hành động ngay.

Cấp 2 (Kiểm tra): Gửi thông báo đến trạm giám sát khu vực.

Cấp 3 (Ưu tiên): Yêu cầu can thiệp của cơ quan chức năng.

Cấp 4 (Khẩn cấp): Kích hoạt giao thức ứng phó khẩn cấp.

Bảng 2. Ma trận quy tắc tổng hợp và phân loại cảnh báo

Trạng thái ô (CA)	Điểm AS thấp (AS < 1,5)	Điểm AS trung bình (1,5 ≤ AS < 2,5)	Điểm AS cao (AS ≥ 2,5)
Bình thường (N)	Bình thường	Cảnh báo cấp 1	Cảnh báo cấp 2
Tắc nghẽn (J)	Bình thường	Cảnh báo cấp 2	Cảnh báo cấp 3
Nguy cơ (R)	Cảnh báo cấp 1	Cảnh báo cấp 3	Cảnh báo cấp 4
Biến động (F)	Cảnh báo cấp 1	Cảnh báo cấp 2	Cảnh báo cấp 3

Cơ chế tổng hợp này cho phép hệ thống không chỉ phát hiện mà còn định tính và định lượng mức độ rủi ro của một tình huống, cung cấp công cụ hỗ trợ ra quyết định có giá trị cao cho các cơ quan giám sát hàng hải.

3. THỰC NGHIỆM VÀ PHÂN TÍCH KẾT QUẢ

3.1. Thiết lập thực nghiệm

Do thiếu bộ dữ liệu AIS thực có gắn nhãn đầy đủ, nhóm nghiên cứu đã xây dựng bộ dữ liệu mô phỏng dựa trên đặc tính thống kê của dữ liệu AIS thực tế từ Vịnh Hạ Long:

- Khu vực mô phỏng: 20×20 hải lý, gồm luồng hàng hải chính, khu vực chờ cảng, ngư trường
- Số lượng tàu: 50 tàu (30 tàu hàng, 20 tàu cá);
- Thời gian mô phỏng: 30 ngày (20 ngày huấn luyện, 10 ngày kiểm tra);
- Nhiễu dữ liệu: Nhiễu Gaussian vị trí σ = 0,001°, tỷ lệ mất tin nhắn 5%.

Mười kịch bản bất thường được mô phỏng, mỗi kịch bản xuất hiện 10 lần trong 10 ngày kiểm tra: Dừng đỗ bất thường, đi lệch tuyến, xâm nhập vùng cấm, tàu cá đánh bắt trong vùng cấm, hành vi tránh né hỗn loạn cá thể, hành vi hỗn loạn tập thể, chạy quá tốc độ, mất tín hiệu AIS có chủ đích, tín hiệu AIS giả mạo, hội tụ bất thường. Các tham số mô phỏng được trình bày trong Bảng 3.

Bảng 3. Tham số mô phỏng dữ liệu AIS

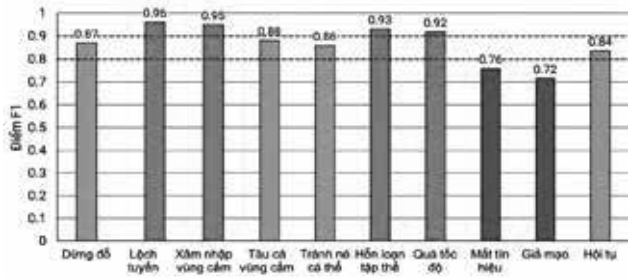
Tham số	Giá trị	Mục đích
Thời gian mô phỏng	30 ngày	Tạo đủ dữ liệu huấn luyện và kiểm tra
Số lượng tàu	50 tàu (30 hàng, 20 cá)	Mô phỏng mật độ vừa phải
Tuyến đường	5 tuyến chính + khu vực đánh cá	Tạo mẫu hình chuyển động chuẩn
Nhiễu dữ liệu	Nhiễu Gauss (±0,001°, ±0,5 knot)	Mô phỏng sai số đo đạc
Tỷ lệ mất mát	5% điểm bị xóa ngẫu nhiên	Mô phỏng mất tín hiệu tạm thời

3.2. Kết quả

Bảng 4. Hiệu năng tổng thể của hệ thống CA-SW

Chỉ số	Giá trị	Giải thích
Độ chính xác (Precision)	0,89	Trong 100 cảnh báo, 89 cảnh báo là đúng
Độ nhạy (Recall)	0,86	Trong 100 sự kiện bất thường, 86 sự kiện được phát hiện
Điểm F1	0,875	Trung bình điều hòa giữa độ chính xác và độ nhạy
Thời gian xử lý	5,3s/giờ	Đáp ứng yêu cầu giám sát gần thời gian thực

Độ chính xác 0,89 cho thấy hệ thống có tỷ lệ cảnh báo sai thấp (khoảng 11%). Điều này đặc biệt quan trọng trong thực tế, vì cảnh báo sai gây mất uy tín hệ thống và làm giảm hiệu quả giám sát. Độ nhạy 0,86 cho thấy hệ thống bỏ sót khoảng 14% sự kiện bất thường - tỷ lệ có thể chấp nhận được và có thể cải thiện bằng cách điều chỉnh ngưỡng tùy theo ưu tiên của người dùng.



Hình 2. Kết quả chi tiết đối với các loại kịch bản

Hiệu suất rất cao (F1 > 0,90): Lệch tuyến (0,96), xâm nhập vùng cấm (0,95), hỗn loạn tập thể (0,93), quá tốc độ (0,92).

Hiệu suất trung bình (F1 0,80-0,90): Dừng đỗ (0,87), tàu cá trong vùng cấm (0,88), tránh né cá thể (0,86), hội tụ (0,84).

Hiệu suất thấp (F1 < 0,80): Mất tín hiệu (0,76), giả mạo (0,72).

Các kịch bản đạt hiệu suất cao là những trường hợp mà sự kết hợp CA-SW phát huy tối đa sức mạnh: Mô-đun CA cung cấp ngữ cảnh không gian rõ ràng, mô-đun cửa sổ trượt phát hiện hành vi bất thường với độ nhạy cao. Các kịch bản liên quan chất lượng dữ liệu (mất tín hiệu, giả mạo) đạt hiệu suất thấp, cho thấy giới hạn của phương pháp và hướng phát triển cần tích hợp đa nguồn dữ liệu.

3.3. Phân tích độ nhạy

Để đánh giá tính bền vững của hệ thống, chúng tôi tiến hành phân tích độ nhạy bằng cách thay đổi lần lượt ba tham số quan trọng: Kích thước ô lưới CA, độ dài cửa sổ thời gian W và mức nhiễu dữ liệu. Mỗi tham số được thay đổi trong một khoảng giá trị hợp lý,

trong khi các tham số khác giữ nguyên giá trị tối ưu. Điểm F1 được sử dụng làm chỉ số đánh giá.

Kích thước ô CA: Thử nghiệm với bốn kích thước: 0,25; 0,5; 1,0; 2,0 hải lý. Kết quả cho thấy kích thước 0,5 HL cho F1 cao nhất (0,875). Khi ô quá nhỏ (0,25 HL), trạng thái ô thay đổi quá thất thường do nhiễu vị trí, làm tăng cảnh báo sai (F1=0,82). Khi ô quá lớn (2 HL), các đặc điểm không gian bị mờ đi, khó phân biệt các vùng nguy cơ nhỏ (F1=0,81).

Độ dài cửa sổ W: Thử nghiệm với W = 5, 10, 15, 20 phút. Kết quả tối ưu tại W = 10 phút (F1=0,875). Cửa sổ ngắn hơn (5 phút) quá nhạy với nhiễu, dễ phát hiện sai các biến động ngẫu nhiên (F1=0,83). Cửa sổ dài hơn (20 phút) làm trơn các hành vi bất thường ngắn (ví dụ tránh né khẩn cấp kéo dài 5 - 7 phút), khiến độ nhạy giảm (F1=0,84).

Mức nhiễu dữ liệu: Tăng dần độ lệch chuẩn của nhiễu vị trí từ 0,001° (khoảng 100 m) lên 0,005° (khoảng 500 m). Hệ thống CA-SW duy trì F1 ổn định (giảm từ 0,875 xuống 0,86), trong khi các phương pháp so sánh khác giảm mạnh hơn. Điều này chứng tỏ các chỉ số động học và trạng thái ô dựa trên quy tắc ít bị ảnh hưởng bởi nhiễu vị trí.

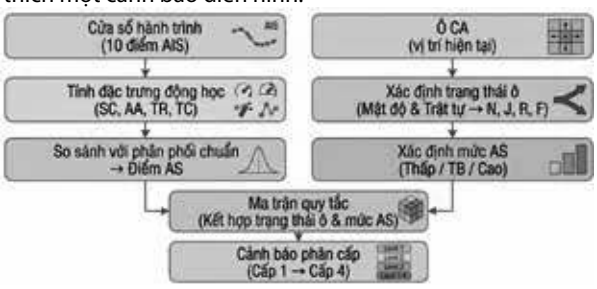
Bảng 5. Tổng hợp kết quả phân tích độ nhạy

Tham số	Giá trị thử nghiệm	Giá trị tối ưu	Mức giảm F1 khi thay đổi
Kích thước ô (HL)	0,25 - 2,0	0,5	0,065
Độ dài cửa sổ (phút)	5 - 20	10	0,045
Mức nhiễu (độ)	0,001 - 0,005	0,001	0,015

Mức giảm F1 nhỏ ở cả ba tham số cho thấy hệ thống có độ bền vững tốt, không quá nhạy cảm với việc lựa chọn tham số.

3.4. Khả năng giải thích

Một ưu điểm quan trọng của mô hình CA-SW là tính minh bạch và khả năng giải thích. Mỗi cảnh báo đều có thể được truy nguyên từ hai nguồn: (1) Các chỉ số động học trong cửa sổ trượt (SC, AA, TR, TC) và (2) trạng thái của ô CA tại vị trí tàu. Hình 3 minh họa quy trình giải thích một cảnh báo điển hình.



Hình 3. Minh họa quy trình giải thích cảnh báo

Ví dụ một cảnh báo thực tế từ hệ thống:

Cảnh báo Cấp 3 - Ưu tiên can thiệp

Tàu: CMA CGM FIDELIO (container), MMSI 123456789

Thời gian: 10:45, ngày 15/3/2024

Vị trí: Ô [25,18] - khu vực gần ngư trường.

Kịch bản: Khi tàu di chuyển trong luồng vào khu vực ô thì xuất hiện 1 tàu đi lại gần, đồng thời gần đó có 1 tàu cá đánh cá, khiến cho trong khu vực lân cận xuất hiện mật độ 3 tàu/ô. Tàu phải chủ động chuyển hướng để tránh khỏi khu vực nguy hiểm, các tàu trong ô có hướng chuyển động khác nhau (>45 độ). Hệ thống từ các thông tin này sẽ bắt đầu đánh giá các chỉ số TR,TC,SC,AA và so sánh với chỉ số AS tổng hợp và đưa ra cảnh báo.

Giải thích từ cửa sổ trượt:

Tốc độ quay trung bình TR = 28°/phút (cao hơn 99,5% dữ liệu chuẩn của tàu container: μ_{TR}=5°/phút, σ_{TR}=3 °/phút).

Độ phức tạp lộ trình TC = 0,35 (thấp hơn 98% dữ liệu chuẩn: μ_{TC}=0,85, σ_{TC}=0,15).

Điểm AS tổng hợp = 3,45 (ngưỡng τ_{high}=2,8).

Giải thích từ CA:

Mật độ ô tăng đột ngột từ 1 lên 3 tàu trong 10 phút → ô chuyển trạng thái Biến động (F).

Độ lệch hướng đi của tàu trong ô σ_θ = 45° (ngưỡng τ_θ=20°) → ô đạt trạng thái Nguy cơ (R)

Kết luận: Tàu có hành vi rẽ gấp bất thường (TR cao, TC thấp) trong khu vực đang có mật độ tăng đột biến và chuyển động hỗn loạn (ô R). Đây là tình huống nguy cơ cao, cần liên lạc xác minh và cảnh báo các tàu lân cận.

Nhờ cơ chế giải thích này, sĩ quan giám sát không chỉ nhận được cảnh báo mà còn hiểu rõ nguyên nhân, từ đó có thể quyết định hành động phù hợp (ví dụ: chỉ theo dõi, kiểm tra qua VHF hay triển khai ứng phó khẩn cấp). Đây là điểm khác biệt quan trọng so với các mô hình học sâu "hộp đen" [7].

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã đề xuất thành công mô hình lai CA-SW phát hiện hoạt động bất thường của tàu thuyền từ dữ liệu AIS. Mô hình kết hợp phân tích bối cảnh không gian (CA) và hành vi thời gian (cửa sổ trượt), đạt hiệu suất cao (F1=0,875) với khả năng giải thích rõ ràng, thời gian xử lý nhanh, phù hợp ứng dụng thực tế.

Hạn chế: Dữ liệu mô phỏng chưa phản ánh đầy đủ phức tạp thực tế; hiệu năng phụ thuộc tham số cần hiệu chỉnh theo khu vực; phát hiện bất thường liên quan chất lượng dữ liệu còn hạn chế.

Hướng phát triển: Thực nghiệm trên dữ liệu AIS thực; tích hợp đa nguồn dữ liệu (radar, ảnh vệ tinh); tự động hóa hiệu chỉnh tham số; mở rộng mô hình CA với yếu tố thời tiết, địa hình; phát triển hệ thống dự báo sớm nguy cơ.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong Đề tài mã số: DT25-26.05.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Malhotra, P., Ramakrishnan, A., Anand, G., Vig, L., Agarwal, P., & Shroff, G. LSTM-based Encoder-Decoder for Multi-sensor Anomaly Detection. ICML Anomaly Detection Workshop, 2016, doi: 10.48550/arXiv.1607.00148.

[2] Stach, T., Kinkel, Y., Constapel, M. and Burmeister, H. Maritime Anomaly Detection for Vessel Traffic Services: A Survey. Journal of Marine Science and Engineering, 11(6), 1174. 2023, doi: 10.3390/jmse11061174.

[3] Pallotta, G., Vespe, M. and Bryan, K. Vessel pattern knowledge discovery from AIS data: A framework for anomaly detection and route prediction. Entropy, 15(6), 2218-2245, 2013, doi: 10.3390/e15062218.

[4] Nagel, K., & Schreckenberg, M. A cellular automaton model for freeway traffic. Journal de physique I, 2(12), 2221-2229, 1992, doi: 10.1051/jp1:1992277.

[5] Liu, Y., Liu, J., Zhang, Q., Liu, Y., & Wang, Y. Effect of dynamic safety distance of heterogeneous traffic flows on ship traffic efficiency: A prediction and simulation approach. Ocean Engineering, 294, 116660, 2024, doi: https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.116660.

[6] Ramer, U. An iterative procedure for the polygonal approximation of plane curves. Computer Graphics and Image Processing, 1(3), 244-256, 1972, doi: 10.1016/S0146-664X(72)80017-0.

[7] Olesen, K. V., Boubekki, A., Kampffmeyer, M. C., Jensen, R., Christensen, A. N., Hørlück, S., & Clemmensen, L. H. A Contextually Supported Abnormality Detector for Maritime Trajectories. Journal of Marine Science and Engineering, 11(11), 2085, 2023, doi: 10.3390/jmse11112085.

■Ngày nhận bài: 05/3/2026 ■Ngày sửa bài: 19/3/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 31/3/2026

Ứng dụng mô hình thông tin công trình (BIM) trong công trình bến cảng: Tổng quan thế giới và thực trạng tại Việt Nam

Application of Building Information Modeling (BIM) in port infrastructure: Global overview and current status in Vietnam

> TS NGUYỄN THỊ HỒNG HẠNH
Trường Đại học Hàng hải Việt Nam
Email: honghanh.ctt@vimaru.edu.vn

TÓM TẮT

Mô hình thông tin công trình (BIM) đang trở thành xu hướng tất yếu trong ngành Xây dựng toàn cầu, bao gồm lĩnh vực cảng biển. Bài báo trình bày tổng quan hệ thống các nghiên cứu và ứng dụng BIM trong công trình bến cảng trên thế giới, đồng thời phân tích thực trạng triển khai tại Việt Nam. Phương pháp nghiên cứu gồm tổng hợp tài liệu từ Scopus, Web of Science kết hợp báo cáo kỹ thuật từ PIANC và buildingSMART International. Kết quả cho thấy BIM được ứng dụng xuyên suốt vòng đời công trình cảng, trong đó tích hợp BIM-GIS, mô phỏng 4D/5D và Digital Twin là các xu hướng chủ đạo. Tại Việt Nam, dù đã có lộ trình BIM bắt buộc theo Quyết định 258/QĐ-TTg (2023), việc áp dụng cho công trình cảng vẫn ở giai đoạn thí điểm, đối mặt nhiều rào cản về tiêu chuẩn, nhân lực và dữ liệu.

Từ khóa: Mô hình thông tin công trình; BIM; bến cảng; Digital Twin; BIM-GIS.

ABSTRACT

Building Information Modelling (BIM) has emerged as an essential trend in the global construction industry, including maritime and hydraulic engineering. This paper presents a systematic review of BIM research and applications in port infrastructure worldwide, while analyzing the current implementation status in Vietnam. Results show BIM is applied throughout the port lifecycle; BIM-GIS integration, 4D/5D simulation and Digital Twin are dominant trends. In Vietnam, despite Decision 258/QD-TTg (2023) on mandatory BIM, application to port works remains in the pilot phase, facing barriers in standards, human resources, and data.

Keywords: Building Information Modeling; BIM; port infrastructure; Digital Twin; BIM-GIS.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Công trình bến cảng là loại công trình thủy công đặc biệt phức tạp, bao gồm kết cấu bến, đê chắn sóng, luồng hàng hải và hạ tầng kỹ thuật sau cảng. Tác động của sóng, thủy triều, ăn mòn clorua và nền đất yếu đòi hỏi công tác thiết kế, thi công và vận hành phải đạt độ chính xác và tích hợp thông tin cao. Tuy nhiên, ngành xây dựng cảng truyền thống vẫn phụ thuộc nhiều vào bản vẽ 2D và trao đổi thông tin rời rạc, dẫn đến sai sót, chậm tiến độ và phát sinh chi phí.

BIM nổi lên như giải pháp chuyển đổi số toàn diện, tích hợp thông tin đa chiều: Không gian (3D), tiến độ (4D), chi phí (5D), bền vững (6D) và quản lý vòng đời (7D) [1, 2]. Trên thế giới, Anh, Mỹ, Singapore, Hàn Quốc đã áp dụng BIM bắt buộc cho hạ tầng cảng. PIANC thành lập Nhóm công tác WG-238 về BIM cho hạ tầng cảng [3]; buildingSMART International phát hành IFC4.3 mở rộng sang lĩnh vực cảng và đường thủy [4]. Tại Việt Nam, Quyết định số 258/QĐ-TTg (2023) đánh dấu bước ngoặt quan trọng về chính sách BIM [5], song chưa có tổng quan hệ thống nào đánh giá thực trạng áp dụng BIM trong công trình cảng.

Mục tiêu của bài báo này là: (1) Tổng hợp nghiên cứu BIM trong công trình bến cảng trên thế giới; (2) đánh giá thực trạng tại Việt Nam; (3) đề xuất hướng phát triển trong tương lai.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Bài báo sử dụng phương pháp tổng quan tài liệu có hệ thống (Systematic Literature Review- SLR) kết hợp với phân tích nội dung. Tài liệu được thu thập từ các cơ sở dữ liệu học thuật Scopus, Web of Science và Google Scholar. Bên cạnh đó, báo cáo kỹ thuật từ PIANC, buildingSMART, Port Authority of New York and New Jersey và các

tổ chức cảng quốc tế cũng được thu thập và phân tích.

Bảng 1. Tiêu chí lựa chọn và loại trừ tài liệu tổng quan

Tiêu chí	Bao gồm	Loại trừ
Thời gian	2015 - 2025	Trước 2015
Ngôn ngữ	Tiếng Anh, tiếng Việt	Ngôn ngữ khác
Loại tài liệu	Bài báo ISI/Scopus, báo cáo kỹ thuật PIANC/ buildingSMART	Trang web, luận văn không công bố
Nội dung	BIM áp dụng cho cảng, bến, đê chắn sóng, luồng hàng hải	BIM cho công trình dân dụng không liên quan
Nguồn	Scopus, WoS, Google Scholar, PIANC	Blog, tài liệu chưa kiểm duyệt

Các tài liệu được phân loại theo: Giai đoạn vòng đời công trình (thiết kế, thi công, vận hành) lĩnh vực ứng dụng (kết cấu, địa kỹ thuật, quan trắc, bảo trì) và mức độ tích hợp công nghệ (BIM thuần túy, BIM-GIS, Digital Twin, IoT).

3. TỔNG QUAN ỨNG DỤNG BIM TRONG CÔNG TRÌNH BẾN CẢNG TRÊN THẾ GIỚI

3.1. Bức tranh chung và sự phát triển theo thời gian

BIM được đề xuất nghiêm túc cho lĩnh vực cảng từ năm 2015, khi PANYNJ phát hành tiêu chuẩn BIM đầu tiên cho hạ tầng cảng [6]. Từ 2018 đến nay, số lượng nghiên cứu tăng trưởng mạnh theo nhu cầu thực tiễn của vận tải biển toàn cầu. Ứng dụng BIM trong cảng tập trung vào 4 nhóm chính: (1) Thiết kế và mô phỏng kết cấu; (2) quản lý thi công; (3) vận hành và quản lý tài sản; (4) tích hợp với GIS, Digital Twin và IoT



Hình 1. Sơ đồ các lĩnh vực ứng dụng BIM trong vòng đời công trình bến cảng

3.2. BIM trong giai đoạn thiết kế và quy hoạch

BIM cho phép mô hình hóa 3D chi tiết các kết cấu bến như cầu tàu cọc, tường cừ, đê chắn sóng và mô phỏng va chạm tàu vào kết cấu bến để tối ưu hóa thiết kế [7]. Portcoast ứng dụng BIM-GIS mô phỏng thủy văn, dòng chảy và thiết kế luồng tuyến cho cụm cảng Hải Phòng, cho phép đưa ra quyết định quy hoạch tối ưu [8]. Tại Tây Ban Nha, BIM bắt buộc cho toàn bộ hệ thống cảng quốc doanh từ 2022, tích hợp với dữ liệu khảo sát địa hình và địa chất [9]; cảng A Coruña là ví dụ điển hình về triển khai BIM toàn diện từ thiết kế đến bảo trì tài sản

3.3. BIM trong giai đoạn thi công

Ứng dụng 4D-BIM và 5D-BIM giúp theo dõi tiến độ thực tế so với kế hoạch, phát hiện sớm xung đột kỹ thuật và kiểm soát chi phí hiệu quả [10]. Dự án Cảng Container Busan New Port (Hàn Quốc) được KRISO chọn làm thí điểm tích hợp BIM/GIS, mô phỏng 4D và khảo sát drone [11]. Kết quả cho thấy tiềm năng lớn trong đổi mới thi công và quản lý dự án cảng biển

Bảng 2. Một số công trình cảng biển điển hình trên thế giới ứng dụng BIM

STT	Công trình / Tổ chức	Quốc gia	Lĩnh vực ứng dụng	Công nghệ tích hợp
1	Port Authority NY/NJ	Mỹ	Tiêu chuẩn BIM toàn diện	BIM toàn vòng đời
2	Cảng Hamburg	Đức	Quản lý hạ tầng, thực tế ảo (VR)	BIM + VR
3	Cảng Busan New Port	Hàn Quốc	Thi công, mô phỏng 4D	BIM/GIS, Drone
4	Cảng A Coruña	Tây Ban Nha	Bảo trì dựa trên dữ liệu	BIM + FM
5	Cảng Hải Phòng	Việt Nam	Quy hoạch, hoàn công	BIM-GIS, UAV, TLS
6	Cảng Nhật Bản (tổng quát)	Nhật Bản	Tiêu chuẩn CIM cảng	CIM (Civil BIM)

3.4. BIM trong vận hành, bảo trì và quản lý tài sản

Đây là giai đoạn đang thu hút sự quan tâm nghiên cứu ngày càng nhiều. Môi trường biển khắc nghiệt khiến bảo trì hạ tầng cảng tốn kém và nguy hiểm. Casals và cộng sự (2021) đề xuất tích hợp UAV, photogrammetry và BIM để tạo công cụ quản lý tài sản cho hạ tầng cảng, giải quyết vấn đề thiếu hồ sơ as-built [12]. Cảng Hamburg ứng dụng BIM kết hợp thực tế ảo (VR) để quản lý mô hình số hóa toàn bộ cảng và phối hợp các bên liên quan [13]. Digital Twin - bản sao số thời gian thực - đang được coi là bước phát triển tiếp theo: Müller và cộng sự (2024) nhấn mạnh vai trò của IoT và tối ưu hóa trong nâng cao hiệu quả vận hành cảng [14].

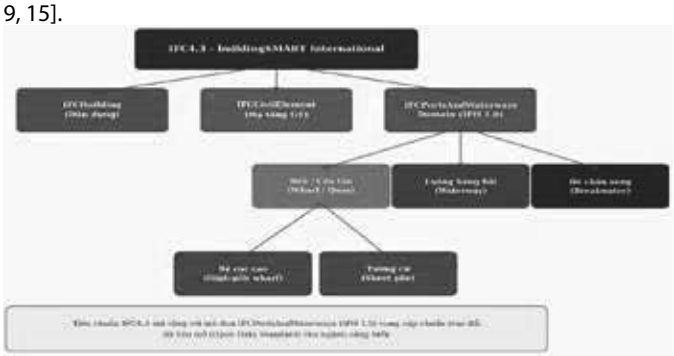
3.5. Tiêu chuẩn và hướng dẫn quốc tế

Sự thiếu hụt tiêu chuẩn chuyên biệt từ lâu là rào cản lớn cho việc áp dụng BIM trong lĩnh vực cảng. Các bước tiến quan trọng gần đây bao gồm:

- IFC4.3 - IFC for Ports & Waterways (IPH 1.0): IFC4.3 - IPH 1.0: buildingSMART International hoàn thành chuẩn trao đổi dữ liệu mở cho ngành cảng biển [4], là cơ sở cho khả năng tương tác giữa các phần mềm BIM khác nhau.

- PIANC WG-238: Nhóm công tác PIANC MarCom WG-238 phát hành hướng dẫn sử dụng BIM cho hạ tầng cảng và đường thủy, bao gồm các ca nghiên cứu điển hình [3].

- Tiêu chuẩn BIM cảng quốc gia: Anh (BS EN ISO 19650), Mỹ (PANYNJ BIM Standard), Tây Ban Nha, Hàn Quốc và Nhật Bản đều đã ban hành hướng dẫn BIM chuyên biệt cho hạ tầng hàng hải [6, 9, 15].



Hình 2. Sơ đồ cấu trúc tiêu chuẩn IFC4.3 mở rộng cho lĩnh vực cảng và đường thủy

Nguồn: Tổng hợp từ buildingSMART International.

3.6. Xu hướng tích hợp BIM với công nghệ mới

Xu hướng nổi bật nhất hiện nay là tích hợp BIM với Hệ thống

thông tin địa lý (GIS) thành nền tảng BIM-GIS thống nhất, cho phép phân tích không gian ở tỷ lệ lớn (quy hoạch vùng, luồng hàng hải) kết hợp với chi tiết kết cấu ở tỷ lệ nhỏ [16]. Sự hợp tác giữa Autodesk và Esri - mang tên GeoBIM - đại diện cho bước tiến đáng kể trong tích hợp GIS và BIM, hỗ trợ cải thiện quy hoạch, thiết kế, xây dựng và quản lý hạ tầng cảng.

Bên cạnh đó, ứng dụng quét laser 3D (Terrestrial Laser Scanning - TLS), thiết bị bay không người lái (UAV/drone) và tàu khảo sát không người lái (Unmanned Survey Vessel - USV) để tạo lập đám mây điểm (Point Cloud) và tái tạo mô hình BIM as-built đang ngày càng phổ biến, đặc biệt hữu ích cho các công trình cảng cũ thiếu tài liệu kỹ thuật [17].

4. THỰC TRẠNG ỨNG DỤNG BIM TRONG CÔNG TRÌNH BẾN CẢNG TẠI VIỆT NAM

4.1. Bối cảnh và chính sách BIM tại Việt Nam

Quyết định số 258/QĐ-TTg ngày 17/3/2023 của Thủ tướng Chính phủ [5] phê duyệt lộ trình áp dụng BIM bắt buộc theo ba giai đoạn:

- Giai đoạn 1 (từ 2023): BIM bắt buộc cho công trình cấp I và đặc biệt thuộc dự án đầu tư công.
- Giai đoạn 2 (từ 2025): Mở rộng áp dụng bắt buộc cho công trình từ cấp II trở lên.
- Từ 2026: Áp dụng bắt buộc cho công trình cấp II thuộc dự án vốn ngoài nhà nước.

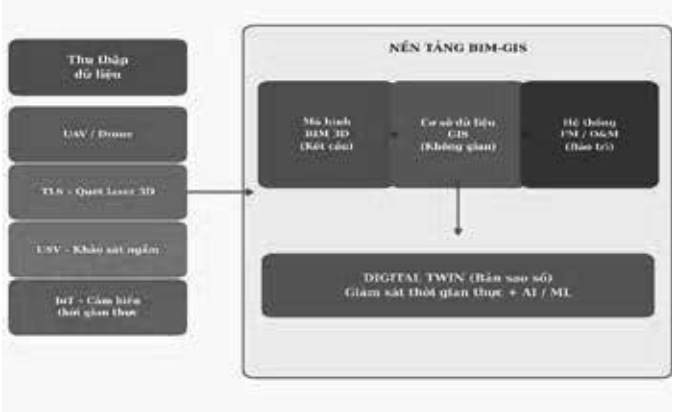
Công trình bến cảng biển thường được phân loại từ cấp II đến cấp đặc biệt tùy quy mô, do đó hoàn toàn nằm trong phạm vi điều chỉnh của lộ trình này. Tuy nhiên, chưa có hướng dẫn kỹ thuật chi tiết hay bộ tiêu chuẩn BIM chuyên biệt cho công trình thủy công và cảng biển tại Việt Nam.

4.2. Các nghiên cứu và ứng dụng thực tiễn tiêu biểu

Tích hợp BIM-GIS cho quy hoạch cảng Hải Phòng: Portcoast công bố nghiên cứu tại PIANC 2024, mô phỏng tăng trưởng lưu lượng hàng hóa (dự báo tăng gấp đôi đến 2030) và lưu lượng tàu (tăng 150%), phục vụ quy hoạch mở rộng luồng và bến [8]. Đây là ứng dụng BIM-GIS toàn diện nhất cho cảng biển được công bố từ Việt Nam đến nay.

Hoàn công tích hợp BIM-GIS: Nghiên cứu (2024 - 2025) đề xuất quy trình hoàn công mới tích hợp BIM với GIS, quét laser 3D và đám mây điểm [18], nhấn mạnh việc áp dụng BIM-GIS trong hoàn công vẫn chưa được tiêu chuẩn hóa tại Việt Nam.

Đánh giá kết cấu cầu cảng sau va chạm: Trần Phúc Minh Khôi và cộng sự (2024) ứng dụng UAV, TLS và USV thu thập dữ liệu hiện trạng, tích hợp vào mô hình BIM-GIS phục vụ phân tích và lập phương án sửa chữa [7]. Nghiên cứu trình bày tại PIANC 2024 thể hiện năng lực ứng dụng công nghệ cao của kỹ sư cảng Việt Nam.



Hình 3. Quy trình tích hợp BIM-GIS và các công nghệ tiên tiến trong quản lý thông tin công trình bến cảng

4.3. Những rào cản và thách thức

Dựa trên tổng hợp tài liệu và thực tiễn ngành, các rào cản chính trong việc áp dụng BIM cho công trình cảng biển tại Việt Nam thể hiện trong Bảng 3.

Bảng 3. Các rào cản áp dụng BIM trong công trình cảng biển tại Việt Nam và giải pháp tiếp cận

STT	Rào cản	Mức độ ảnh hưởng	Giải pháp đề xuất
1	Thiếu tiêu chuẩn BIM chuyên biệt cho công trình thủy công, cảng biển	Cao	Xây dựng bộ tiêu chuẩn quốc gia BIM cho công trình cảng, tham chiếu IFC4.3
2	Hạn chế nhân lực có kỹ năng BIM trong lĩnh vực cảng biển	Cao	Đào tạo chuyên ngành tại các trường kỹ thuật, tổ chức chương trình chứng chỉ
3	Chi phí đầu tư phần mềm, phần cứng và đào tạo lớn	Trung bình	Hỗ trợ chính sách, chia sẻ nền tảng dùng chung
4	Thiếu dữ liệu as-built số hóa cho công trình cảng hiện hữu	Cao	Triển khai quét laser 3D và UAV để tạo lập cơ sở dữ liệu
5	Tư duy và thói quen làm việc theo bản vẽ 2D truyền thống	Trung bình	Thay đổi quy trình quản lý, tăng cường truyền thông
6	Chưa có yêu cầu cụ thể về Level of Development (LOD) cho cảng	Trung bình	Ban hành hướng dẫn LOD cho các loại công trình cảng

5. XU HƯỚNG NGHIÊN CỨU VÀ PHÁT TRIỂN TRONG TƯƠNG LAI

5.1. Digital Twin cho cảng biển

Digital Twin (bản sao số) là xu hướng tất yếu trong quản lý cảng biển thế hệ mới. Khác với BIM tĩnh, Digital Twin kết nối mô hình BIM với cảm biến IoT thời gian thực, hệ thống giám sát kết cấu, dữ liệu tàu bè và hoạt động khai thác, tạo ra bản sao số sống động của cảng [19]. Tài liệu trắng về Digital Twin cho cảng và bến (2025) của tổ chức TIC 4.0 phân loại các cấp độ trưởng thành của Digital Twin cảng từ cơ bản đến tiên tiến. Các cảng lớn như Hamburg, Rotterdam, Singapore đang dẫn đầu trong triển khai Digital Twin toàn diện.

5.2. Tích hợp AI và học máy với BIM

Trí tuệ nhân tạo (AI) và học máy (Machine Learning) ngày càng được tích hợp với BIM cảng để: Dự đoán nhu cầu bảo trì kết cấu, tối ưu hóa lịch tàu và phân bổ cầu bến, phát hiện sự cố tự động qua phân tích ảnh UAV, và hỗ trợ ra quyết định trong thiết kế tối ưu [10, 20].

5.3. Mở rộng IFC4.3 và khả năng tương tác

Tiêu chuẩn IFC4.3 với mô-đun IFC for Ports & Waterways (IPH 1.0) sẽ tiếp tục được phát triển trong phiên bản tiếp theo (IPH vNext), tăng cường mô tả ngữ nghĩa cho các kết cấu thủy công đặc thù như cừ ván thép, cọc bê tông ly tâm, đê chắn sóng mái nghiêng… [4]. Điều này sẽ tạo cơ sở cho sự tương tác liền mạch giữa các phần mềm BIM khác nhau trong chuỗi cung ứng thiết kế - thi công - quản lý cảng.

5.4. Định hướng cho Việt Nam

Trong bối cảnh Việt Nam đẩy mạnh đầu tư cảng biển theo Quy hoạch 2021 - 2030 tầm nhìn 2050, các hướng ưu tiên nghiên cứu và triển khai gồm:

- Xây dựng Bộ tiêu chuẩn BIM quốc gia cho công trình thủy công và cảng biển.
- Phát triển thư viện đối tượng BIM (BIM Object Library)

chuyên dụng cho các loại kết cấu cảng phổ biến ở Việt Nam;

- Thiết lập Môi trường dữ liệu chung (Common Data Environment - CDE) cho các dự án cảng lớn;

- Nghiên cứu tích hợp BIM với hệ thống quan trắc sức khỏe kết cấu (Structural Health Monitoring - SHM) đặc thù cho môi trường biển Việt Nam.

6. KẾT LUẬN

BIM được ứng dụng ngày càng rộng rãi trong toàn bộ vòng đời công trình bến cảng với sự hỗ trợ của các tiêu chuẩn quốc tế ngày càng hoàn thiện (IFC4.3, PIANC WG-238). Tích hợp BIM-GIS, ứng dụng UAV/TLS/USV tạo lập đám mây điểm và phát triển Digital Twin là ba xu hướng chủ đạo toàn cầu. Tại Việt Nam, dù đã có bước đi pháp lý quan trọng với Quyết định số 258/QĐ-TTg (2023), việc áp dụng BIM cho công trình cảng vẫn ở giai đoạn thí điểm với khoảng trống lớn về tiêu chuẩn kỹ thuật, nhân lực và cơ sở dữ liệu. Để thúc đẩy BIM trong cảng biển Việt Nam, cần triển khai đồng bộ: Ban hành tiêu chuẩn BIM chuyên biệt cho thủy công, tăng cường đào tạo nhân lực, số hóa hạ tầng cảng hiện hữu và xây dựng các dự án thí điểm BIM toàn diện tại các cảng lớn.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong Đề tài mã số: DT25-26.109

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K.. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors (3rd ed.). John Wiley & Sons, 2018.

[2] Whyte, J. Digital buildings - Challenges and opportunities. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Civil Engineering, 172(6), 25-31, 2019, https://doi.org/10.1680/jcien.18.00025.

[3] PIANC MarCom Working Group 238. Terms of Reference: Guidelines for Use of BIM in Infrastructure for Ports and Waterways. PIANC, 2021.

[4] buildingSMART International. IFC for Ports & Waterways - IFC4.3 Standard, 2023. Internet: https://www.buildingsmart.org/standards/domains/infrastructure/ifc-for-ports-waterways/ (truy cập tháng 02/2026).

[5] Thủ tướng Chính phủ Việt Nam. Quyết định số 258/QĐ-TTg ngày 17/3/2023 về phê duyệt lộ trình áp dụng mô hình thông tin công trình (BIM) trong hoạt động xây dựng, 2023.

[6] Port Authority of New York and New Jersey (PANYNJ). Building Information Modeling Standard for Port Authority Projects (Rev. 3.0), 2021.

[7] Tran, P. M. K., Nguyen, H. N., & Le, T. P. Application of BIM-GIS in assessing and re-designing of wharf structures after vessel collision. PIANC World Congress 2024 Proceedings, Melbourne, Australia, 2024.

[8] Portcoast Consultants Corporation.. BIM-GIS integration for port planning: case study of Hai Phong port cluster in Northern Vietnam. PIANC World Congress 2024 Proceedings, Melbourne, Australia, 2024.

[9] Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible de España. BIM Implementation in Spanish State-owned Port System - Technical Report 2024. Madrid, Spain, 2024.

[10] Eastman, W., et al. Digitalization in Infrastructure Construction Projects: A PRISMA-Based Review of Benefits and Obstacles. arXiv preprint, arXiv:2405.16875, 2024.

[11] Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering (KRISO). A Study on the Advanced Technology for Construction Innovation of Port Development. Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers, 36(3), 120-132, 2024, https://doi.org/10.9765/kscoe.2024.36.3.120.

[12] Casals, M., Gangolells, A., Forcada, N., Macarulla, M., & Fuertes, A. Implementation of facility management for port infrastructure through the use of UAVs, photogrammetry and BIM. Sustainability, 13(20), 11437, 2021, https://doi.org/10.3390/su132011437.

[13] Hamburg Port Authority (HPA). Port of Hamburg - Virtual Reality for model-based port infrastructure management. Sustainable World Ports Technical Report, Hamburg, Germany, 2019.

[14] Müller, C., Winkel, M., & Fischer, T. Digital Twins in the Context of Seaports and Terminal Facilities. Maritime Economics & Logistics, 26(2), 310-335, 2024, https://doi.org/10.1057/s41278-024-00296-8.

[15] National Institute for Land and Infrastructure Management (NILIM). Annual Report on BIM/CIM Application to Port and Coastal Infrastructure. Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism of Japan, 2024.

[16] Hartmann, T., Fruchter, B., & Fischer, H. Building Information Modeling and Infrastructure: A Systematic Review. Journal of Construction Engineering and Management, 148(5), 1-15, 2022, https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002316.

[17] Portcoast Consultants Corporation. Integrating BIM into Web-GIS to enhance visualization of port infrastructure. International Conference on Civil and Building Engineering Informatics (ICCBEI) 2023, Osaka, Japan, 2023.

[18] Tran, P. M. K., et al. Ứng dụng mô hình thông tin BIM-GIS kết hợp công nghệ cao trong quy trình hoàn công dự án cảng biển tại Việt Nam. Tạp chí Hàng hải Việt Nam, 10(4), 45-58, 2024.

[19] TIC 4.0. White Paper: Digital Twin Classes for Ports and Terminals. TIC 4.0 Technology and Innovation for Cargo, (2025). Internet: https://tic40.org/wp-content/uploads/2025/11/White-Paper-Digital-Twin-Classes-for-Ports-Terminals-1.pdf (accessed: 02/2026).

[20] Sánchez-Rodríguez, M., & González-García, C. BIM in the Spanish state-owned port system: challenges and achievements. Revista del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, Special Issue, 48-59, 2024.

■Ngày nhận bài: 06/4/2026 ■Ngày sửa bài: 17/4/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 05/5/2026

Ứng dụng công nghệ viễn thám và GIS đánh giá biến động đất xây dựng tại Hóc Môn, TP Hồ Chí Minh giai đoạn 1994 - 2024 bằng thuật toán học máy

Application of remote sensing and GIS in assessing built-up land changes in Hoc Mon, Ho Chi Minh City (1994 - 2024) using machine learning algorithms

> TS PHẠM VĂN TÙNG[1,*], TS PHẠM VĂN TUYÊN[2]
[1]Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP Hồ Chí Minh
[2]Trường Đại học Thành Đông
[*]Email: pvtung@hcmunre.edu.vn

TÓM TẮT

Trong ba thập kỷ qua, Hóc Môn - cửa ngõ Tây Bắc của TP. HCM - đã trải qua quá trình đô thị hóa mạnh mẽ, dẫn đến sự thay đổi sâu sắc trong cấu trúc sử dụng đất. Nghiên cứu này ứng dụng công nghệ viễn thám và GIS nhằm định lượng sự biến động đất xây dựng giai đoạn 1994 - 2024. Dữ liệu sử dụng bao gồm chuỗi ảnh vệ tinh Landsat 5 TM và Landsat 8 OLI/TIRS đa thời gian. Ba thuật toán phân loại gồm Xác suất cực đại (MLC), Cây ngẫu nhiên (RT) và Máy vector hỗ trợ (SVM) đã được thực nghiệm để so sánh hiệu năng. Kết quả cho thấy thuật toán SVM đạt độ chính xác cao nhất với độ chính xác tổng thể qua các năm luôn đạt trên 90,6% và chỉ số Kappa > 0,86. Kết quả phân tích biến động định lượng cho thấy diện tích đất xây dựng tại huyện Hóc Môn gia tăng đột biến từ 13,82% (năm 1994) lên 50,96% (năm 2024). Quá trình này gắn liền với việc chuyển đổi mạnh mẽ từ đất thực vật và đất trống sang đất xây dựng, đặc biệt dọc theo các trục giao thông huyết mạch như Quốc lộ 22 và Quốc lộ 1A. Nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học tin cậy cho công tác quản lý tài nguyên và quy hoạch đô thị bền vững.

Từ khóa: Viễn thám; GIS; biến động đất xây dựng; Hóc Môn; máy vector hỗ trợ; ảnh vệ tinh Landsat.

ABSTRACT

Over the past three decades, Hoc Mon - the northwestern gateway of Ho Chi Minh City has undergone intensive urbanization, leading to profound shifts in land-use structure. This study utilizes remote sensing technology and GIS to quantify the dynamics of built-up land from 1994 to 2024. The dataset comprises multi-temporal satellite imagery from Landsat 5 TM and Landsat 8 OLI/TIRS. Three classification algorithms, including Maximum Likelihood Classification (MLC), Random Trees (RT) and Support Vector Machine (SVM), were tested to compare performance. The results indicate that the SVM algorithm achieved the highest accuracy, with overall accuracy consistently exceeding 90.6% and Kappa indices > 0.86 across all years. Quantitative change analysis reveals a dramatic surge in built-up area in Hoc Mon District, rising from 13.82% in 1994 to 50.96% in 2024. This process is characterized by a massive conversion of vegetation and vacant land into built-up surfaces, particularly along vital transportation axes such as National Highway 22 and National Highway 1A. The study provides a reliable scientific basis for resource management and sustainable urban planning.

Keywords: Remote sensing; GIS; built-up land change; Hoc Mon; Support vector machine (SVM), Landsat.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Quá trình công nghiệp hóa và hiện đại hóa tại Việt Nam đã thúc đẩy tốc độ đô thị hóa diễn ra mạnh mẽ, đặc biệt tại các vùng đệm đô thị. Hóc Môn, với vị trí chiến lược kết nối TP. HCM với các tỉnh miền Đông và miền Tây Nam Bộ đã chuyển mình từ một vùng ngoại ô thuần nông thành một khu vực đô thị năng động. Sự thay đổi này kéo theo nhu cầu cấp thiết về việc theo dõi, đánh giá biến động lớp phủ đất để phục vụ quản lý tài nguyên và quy hoạch bền vững.

Việc ứng dụng công nghệ viễn thám và Hệ thống thông tin địa lý (GIS) kết hợp với các thuật toán học máy (Machine Learning) hiện

nay là giải pháp tối ưu. Các mô hình Machine Learning như Random Forest (RF), Support Vector Machine (SVM) đã được sử dụng hiệu quả trong nhiều nghiên cứu [1-9]. So với các phương pháp thống kê truyền thống thường có độ trễ lớn và chi phí cao, công nghệ viễn thám kết hợp với Hệ thống thông tin địa lý (GIS) cho phép trích xuất thông tin biến động bề mặt ở quy mô rộng với độ chính xác cao [1]. Tuy nhiên, việc lựa chọn thuật toán phân loại tối ưu để tách lọc các lớp phủ có phổ tương đồng trong môi trường đô thị phức tạp vẫn là một bài toán kỹ thuật cần được giải quyết. Nghiên cứu này tập trung ứng dụng và so sánh các thuật toán học máy (RT, SVM) và truyền thống (MLC) để đánh giá thực trạng biến động đất xây dựng tại Hóc Môn qua 4 thời điểm: 1994, 2004, 2014 và 2024, từ đó cung cấp căn cứ khoa học cho định hướng quy hoạch bền vững.

2. DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Dữ liệu đầu vào

Nghiên cứu sử dụng chuỗi dữ liệu ảnh vệ tinh Landsat đa thời gian được thu thập từ Cục Khảo sát Địa chất Hoa Kỳ (USGS) vào mùa khô (tháng 1 và tháng 2) để hạn chế ảnh hưởng của mây và sự thay đổi độ ẩm bề mặt (Bảng 1).

Bảng 1. Dữ liệu ảnh vệ tinh sử dụng trong nghiên cứu

Năm	Cảm biến	Ngày thu nhận	Độ phân giải (m)
1994	Landsat 5 TM	14/01/1994	30
2004	Landsat 5 TM	27/02/2004	30
2014	Landsat 8 OLI	21/01/2014	30
2024	Landsat 8 OLI	02/02/2024	30

2.2. Quy trình tiền xử lý ảnh

Để đảm bảo độ tin cậy, các cảnh ảnh được hiệu chỉnh bức xạ và khí quyển. Đối với ảnh Landsat 5, giá trị số (DN) được chuyển đổi sang bức xạ phổ (L_λ) và phản xạ phổ (ρ_λ) theo công thức (1) và (2):

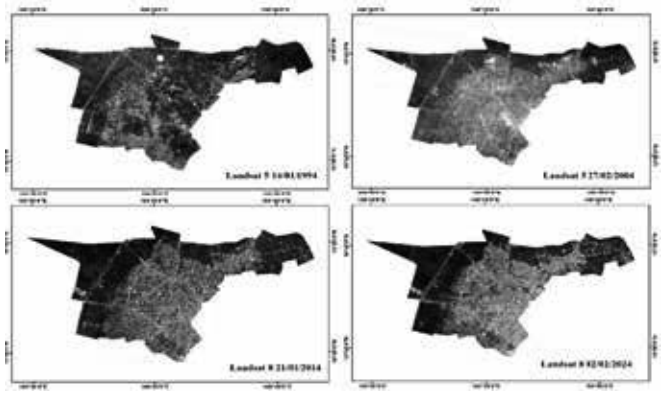
$$L_\lambda = \frac{L_{max} - L_{min}}{DN_{max} - DN_{min}}(DN - DN_{min}) + L_{min} \quad (1)$$

$$\rho_\lambda = \frac{\pi L_\lambda d^2}{ESUN_\lambda \cos\theta} \quad (2)$$

Đối với ảnh Landsat 8, giá trị phản xạ phổ được tính trực tiếp từ hệ số tỉ lệ trong tệp Metadata theo công thức (3):

$$\rho_\lambda = \frac{M_\rho Q_{CAL} + A_\rho}{\sin\theta} \quad (3)$$

Trong đó: L_λ là bức xạ phổ; ρ_λ là phản xạ phổ; *d* là khoảng cách trái đất - mặt trời; $ESUN_\lambda$ là cường độ bức xạ mặt trời; θ là góc cao độ mặt trời.



Hình 1. Ảnh Landsat sau khi tiền xử lý ảnh

2.3. Hệ thống phân loại lớp phủ

Dựa trên đặc điểm thực địa và mục tiêu quản lý đô thị, hệ thống phân loại gồm 4 lớp: (1) Đất xây dựng: Khu dân cư, công nghiệp, hạ tầng; (2) Đất trống: Đất chưa sử dụng, đất chuẩn bị xây dựng; (3) Thực vật: Đất nông nghiệp, cây xanh; (4) Mặt nước: Sông, kênh rạch.

3. LÝ THUYẾT VÀ TÍNH TOÁN

3.1. Các chỉ số viễn thám chiết xuất thông tin

Để hỗ trợ thuật toán phân loại, nghiên cứu tính toán các chỉ số phổ đặc trưng nhằm tách lọc đối tượng:

- Chỉ số đất xây dựng (NDBI): NDBI=(SWIR1−NIR)/(SWIR1+NIR)
- Chỉ số thực vật (NDVI): NDVI=(NIR−RED)/(NIR+RED)
- Chỉ số đất trống (MBI): MBI=(SWIR1−SWIR2−NIR)/(SWIR1+SWIR2+NIR)+f
- Chỉ số mặt nước (MNDWI): MNDWI=(GREEN−SWIR1)/(GREEN+SWIR1)

3.2. Thuật toán phân loại ảnh

Nghiên cứu so sánh ba phương pháp:

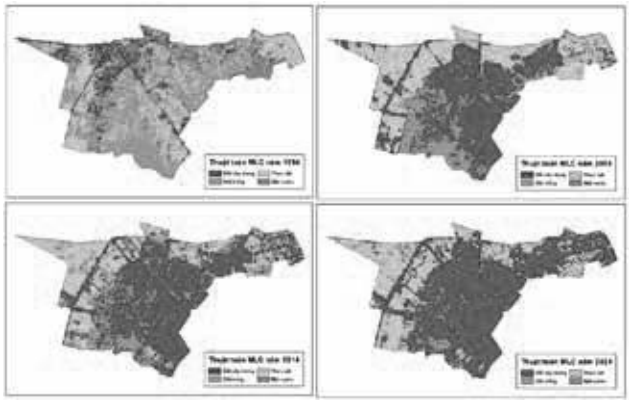
1) Maximum Likelihood Classifier (MLC): Dựa trên xác suất cực đại và phân bổ chuẩn của điểm ảnh.

2) Random Trees (RT): Thuật toán tập hợp nhiều cây quyết định, giảm thiểu sự tương quan giữa các biến.

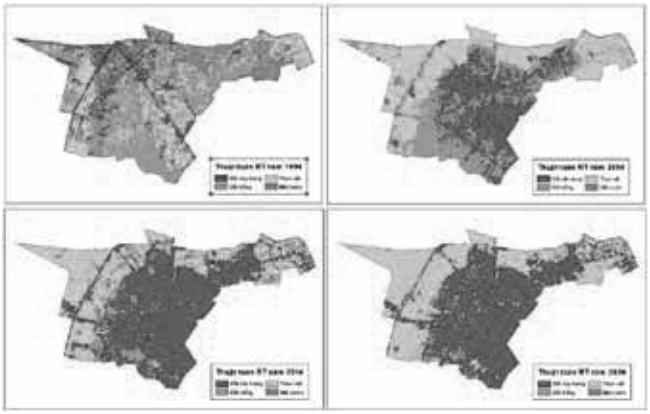
3) Support Vector Machine (SVM): Tìm kiếm siêu phẳng tối ưu để phân tách các lớp dữ liệu. SVM đặc biệt hiệu quả trong việc phân biệt các đối tượng có phản xạ phổ tương đồng như đất xây dựng và đất trống trong điều kiện độ phân giải 30 m.

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

4.1. Kết quả phân loại lớp phủ bề mặt



Hình 2. Kết quả phân loại lớp phủ tại Hóc Môn bằng thuật toán MLC



Hình 3. Kết quả phân loại lớp phủ tại Hóc Môn bằng thuật toán RT



Hình 4. Kết quả phân loại lớp phủ tại Hóc Môn bằng thuật toán SVM

4.2. Độ chính xác các thuật toán

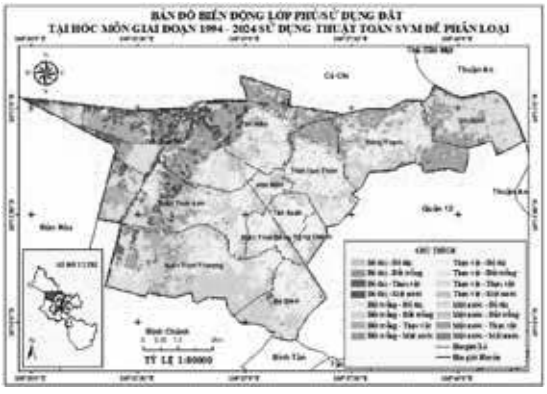
Qua 4 thời điểm nghiên cứu, thuật toán SVM luôn cho kết quả vượt trội so với MLC và RT (Bảng 2). Sự vượt trội của SVM (độ chính xác > 91%) xuất phát từ việc thuật toán này không phụ thuộc vào giả thiết phân bố chuẩn của dữ liệu như MLC. Trong điều kiện bề mặt đô thị Hóc Môn, nơi đất xây dựng và đất trống thường có giá trị phản xạ phổ rất gần nhau, khả năng tìm kiếm siêu phẳng tối ưu của SVM giúp giảm thiểu tối đa sai số thực hiện. Kết quả này tương đồng với các nghiên cứu của Phạm Văn Tùng [2] và Hamidreza Keshtkar [4].

Bảng 2. So sánh độ chính xác tổng thể (OA) và chỉ số Kappa (K) của các thuật toán

Năm	Chỉ số	Thuật toán		
		MLC	RT	SVM
1994	OA (%)	88,24	90,69	91,18
	Kappa	0,829	0,859	0,873
2004	OA (%)	89,22	89,71	90,69
	Kappa	0,838	0,847	0,861
2014	OA (%)	88,73	92,16	93,14
	Kappa	0,827	0,876	0,889
2024	OA (%)	92,64	94,12	94,61
	Kappa	0,836	0,877	0,890

4.3. Hiện trạng và biến động lớp phủ đất xây dựng (1994 - 2024)

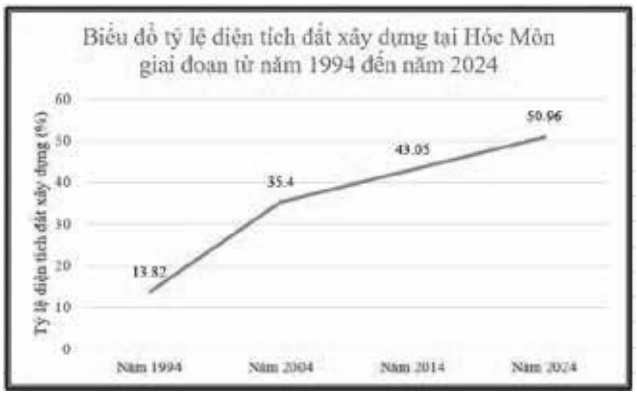
Sử dụng kết quả từ thuật toán SVM, diện tích đất xây dựng tại Hóc Môn đã gia tăng không ngừng qua 30 năm (Bảng 3).



Hình 5. Bản đồ biến động lớp phủ bề mặt đất tại Hóc Môn giai đoạn 1994 - 2024

Bảng 3. Thống kê diện tích các lớp phủ giai đoạn 1994 - 2024

Lớp phủ	1994 (ha)	%	2004 (ha)	%	2014 (ha)	%	2024 (ha)	%
Đất xây dựng	1.507,55	13,82	3.862,27	35,40	4.696,74	43,05	5.560,52	50,96
Đất trống	3.514,26	32,20	2.337,57	21,43	997,43	9,14	491,84	4,51
Thực vật	4.267,70	39,11	4.567,72	41,87	4.944,53	45,32	4.727,19	43,33
Mặt nước	1.620,28	14,85	142,61	1,30	271,35	2,49	131,16	1,20



Hình 6. Biểu đồ tỷ lệ diện tích đất xây dựng tại Hóc Môn giai đoạn từ năm 1994 đến năm 2024

4.4. Phân tích ma trận biến động

Bảng 4. Ma trận biến động lớp phủ bề mặt đất giai đoạn 1994 - 2004

Lớp phủ Đất xây dựng		Năm 2004				
		Đất trống	Thực vật	Mặt nước	Tổng diện tích	
Năm 1994	Đất xây dựng	685,64	230,9	567,05	19,43	1.503,01
	Đất trống	1.056,03	1.582,49	859,82	12,72	3.511,06
	Thực vật	2.089,72	487,08	1.677,9	10,34	4.265,07
	Mặt nước	26,87	34,91	1.457,8	97,66	1.617,23
	Tổng diện tích	3.858,26	2.335,38	4.562,6	140,15	10.896,4

Bảng 5. Ma trận biến động lớp phủ bề mặt đất giai đoạn 2004 - 2014

Lớp phủ đất xây dựng		Năm 2014				
		Đất trống	Thực vật	Mặt nước	Tổng diện tích	
Năm 2004	Đất xây dựng	3.331,31	160,86	358,13	10,48	3.860,78
	Đất trống	888,99	697,87	741,02	7,04	2.334,92
	Thực vật	465,86	134,47	3.789,2	173,77	4.563,34
	Mặt nước	8,43	3,6	50,19	77,491	139,71
	Tổng diện tích	4.694,59	996,8	4.938,6	268,78	10.898,8

Bảng 6. Ma trận biến động lớp phủ bề mặt đất giai đoạn 2014 - 2024

Lớp phủ đất xây dựng		Năm 2024				
		Đất trống	Thực vật	Mặt nước	Tổng diện tích	
Năm 2014	Đất xây dựng	4.401,92	81,83	208,04	3,3	4.695,09
	Đất trống	392,5	262,45	339,06	2,95	996,96
	Thực vật	750,85	145,1	4.004,9	38,931	4.939,79
	Mặt nước	12,69	2,16	170,69	83	268,54
	Tổng diện tích	5.557,96	491,54	4.722,7	128,18	10.900,4

Dữ liệu từ các ma trận biến động (Bảng 4, 5, 6) cho thấy các giai đoạn chuyển đổi đặc trưng:

- Giai đoạn 1994 - 2004: Là thời kỳ bùng nổ đô thị hóa mạnh nhất. Diện tích đất xây dựng "thêm mới" đạt 3.172,63 ha. Đáng chú ý, có tới 2.089,72 ha đất thực vật đã chuyển đổi trực tiếp sang đất xây dựng do sự hình thành các khu dân cư mới.

- Giai đoạn 2004 - 2014: Đất xây dựng tiếp tục tăng thêm 1.363,28 ha. Trong giai đoạn này, đất trống (đất dự kiến xây dựng) đóng vai trò là "nguồn dự trữ" chính với 888,99 ha đất trống chuyển sang đất xây dựng.

- Giai đoạn 2014 - 2024: Quá trình đô thị hóa duy trì ổn định, đất xây dựng tăng thêm 1.156,04 ha, chủ yếu lấn dần vào các khu vực thực vật còn lại (750,85 ha).

4.5. Thảo luận về sự biến động lớp phủ đất xây dựng

Sự gia tăng diện tích đất xây dựng từ 13,82% lên 50,96% phản ánh rõ nét tác động của các dự án hạ tầng. Không gian đô thị lan tỏa mạnh mẽ dọc theo Quốc lộ 22 (đường Xuyên Á), Quốc lộ 1A và các trục lộ như Lê Văn Khương, Nguyễn Văn Bứa. Thuật toán SVM cho thấy ưu thế vượt trội trong việc tách lọc các pixel "đô thị hỗn hợp", nơi mà phản xạ phổ của bê tông và đất trống thường bị nhầm lẫn trên ảnh Landsat.

5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Nghiên cứu khẳng định hiệu quả của việc tích hợp công nghệ viễn thám, GIS và thuật toán SVM trong đánh giá biến động đô thị. Trong 30 năm, Hóc Môn đã chuyển dịch từ một địa phương thuần nông với tỷ lệ đất xây dựng thấp sang một khu vực đô thị hóa cao (chiếm hơn 50% diện tích tự nhiên). Kết quả này là minh chứng cho tốc độ đô thị hóa nhanh chóng tại vùng ven TP.HCM.

Kiến nghị cho các nghiên cứu tiếp theo: (1) Ứng dụng dữ liệu Sentinel-2 hoặc SPOT để có độ phân giải cao hơn; (2) sử dụng các mô hình dự báo không gian như CLUE-S hoặc mạng Neural nhân tạo (ANN) để xây dựng các kịch bản quy hoạch bền vững cho giai đoạn sau năm 2030.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Lâm Văn Hạo, Lê Thị Pha Mi. Ứng dụng viễn thám và GIS theo dõi quá trình đô thị hóa tại TP Hồ Chí Minh giai đoạn 1989 - 2019. Tạp chí Khí tượng thủy văn, 2020.

[2] Phạm Văn Tùng. Nghiên cứu công nghệ viễn thám và GIS trong dự báo sự biến động bề mặt không thấm khu vực TP Hồ Chí Minh. Luận án Tiến sĩ, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, 2024.

[3] Zha, Yong, et al. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. International Journal of Remote Sensing, 24(3), 583-594, 2003.

[4] Hamidreza Keshtkar, et al. Land-cover classification and analysis of change using machine-learning classifiers and multi-temporal remote sensing imagery. Arabian Journal of Geosciences, 2017.

[5] Nguyễn Văn Thái và các cộng sự. Ứng dụng viễn thám và GIS xác định quá trình đô thị hóa khu vực TP Phủ Lý, tỉnh Hà Nam giai đoạn 2010 - 2020. Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ, 2023.

[6] McFeeters, S.K. The Use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the Delineation of Open Water Features. International Journal of Remote Sensing, 17, 1425-1432, 1996.

[7] Vũ Trọng Thủy. Nghiên cứu biến động lớp phủ mặt đất huyện Từ Liêm trên cơ sở ứng dụng công nghệ viễn thám và GIS. Luận văn Thạc sĩ, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, 2010.

[8] Chander, G., Markham, B. Revised landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens, 41, 2674-2677, 2003.

[9] Di Gregorio, A., Jansen, L.J.M. Land Cover Classification System (LCCS): Classification Concepts and User Manual. FAO, 1998.

■Ngày nhận bài: 04/3/2026 ■Ngày sửa bài: 19/3/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 31/3/2026

Nghiên cứu ứng dụng công nghệ GIS trong hiệu chỉnh và nâng cao độ chính xác biên tập dữ liệu địa hình đáy biển từ ảnh vệ tinh Landsat kết hợp số liệu đo sâu thực địa

Research on the application of GIS technology in correcting and enhancing the accuracy of seafloor topographic data from Landsat imagery combined with bathymetric data

> THS NGUYỄN QUANG HUY*, TS NGUYỄN XUÂN THỊNH
Trường Đại học Hàng hải Việt Nam
*Email: huynq.ctt@vimaru.edu.vn

TÓM TẮT

Trong nghiên cứu và quản lý tài nguyên biển, dữ liệu địa hình đáy biển đóng vai trò nền tảng phục vụ quy hoạch và bảo đảm an toàn hàng hải. Các phương pháp đo sâu truyền thống tuy chính xác nhưng tốn kém và khó bao phủ diện rộng. Nghiên cứu này đề xuất quy trình ứng dụng công nghệ GIS để tích hợp và hiệu chỉnh dữ liệu độ sâu ước tính từ ảnh vệ tinh Landsat bằng số liệu đo sâu thực địa. Thông qua việc xây dựng mô hình hồi quy và phân tích phổ ảnh trong môi trường GIS, nghiên cứu nhằm mục đích tạo ra bề mặt địa hình đáy biển vừa đảm bảo độ phủ rộng của ảnh viễn thám, vừa nâng cao độ tin cậy nhờ các điểm khống chế thực tế. Kết quả nghiên cứu được đánh giá thông qua các chỉ số thống kê sai số, tạo tiền đề cho việc thành lập bản đồ địa hình đáy biển hiệu quả và kinh tế hơn.

Từ khóa: Công nghệ GIS; ảnh vệ tinh Landsat; địa hình đáy biển; đo sâu.

ABSTRACT

Seabed topographic mapping is fundamental to maritime safety and coastal management. However, traditional bathymetric methods are often constrained by high costs and limited coverage, particularly in shallow waters. This study proposes a GIS-based workflow to integrate and correct Satellite Derived Bathymetry from Landsat imagery using field data. The methodology combines the Log-Ratio algorithm for preliminary depth estimation with regression modeling and error interpolation techniques to enhance accuracy. Experimental results demonstrate a significant reduction in Root Mean Square Error (RMSE) and an increased correlation coefficient (R^2), validating the potential of this approach for rapid and cost-effective seabed topography updates.

Keywords: GIS Technology; landsat Imagery; seabed topography; bathymetry.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bản đồ địa hình đáy biển là tài liệu cơ bản và quan trọng trong công tác bảo đảm an toàn hàng hải, thiết kế công trình ven bờ và quản lý tài nguyên biển. Hiện nay, công tác thành lập bản đồ địa hình đáy biển chủ yếu dựa trên phương pháp đo sâu truyền thống sử dụng máy đo sâu hồi âm đơn chùm tia hoặc đa chùm tia. Mặc dù phương pháp này mang lại độ chính xác cao, nhưng nhược điểm là chi phí vận hành lớn, tốn nhiều thời gian và khó triển khai phủ trùm trên một diện tích rộng, đặc biệt là ở những khu vực nước nông hoặc địa hình phức tạp. Trong bối cảnh đó, dữ liệu viễn thám, cụ thể là ảnh vệ tinh Landsat, nổi lên như một giải pháp tiềm năng nhờ khả năng bao phủ diện rộng, tần suất cập nhật cao và chi phí thấp [2, 7]. Các mô hình phân tích phổ ảnh cho phép ước tính độ sâu từ độ phản xạ phổ của nước. Tuy nhiên, độ chính xác của dữ liệu độ sâu trích xuất từ ảnh vệ tinh thường bị ảnh hưởng bởi độ đục, tính chất đáy và các yếu tố khí quyển, do đó cần thiết phải có sự hiệu chỉnh bằng số liệu thực tế để đảm bảo độ tin cậy [2, 3, 5].

Nhằm nghiên cứu tính toán và đánh giá hiệu quả của việc kết hợp dữ liệu ảnh viễn thám với số liệu thực địa trong biên tập bản đồ biển, trong nghiên cứu này tác giả đã sử dụng phần mềm ArcGIS for Desktop cùng các thuật toán tỷ lệ kênh phổ và mô hình hồi quy

thực nghiệm nhằm xây dựng bề mặt địa hình đáy biển từ ảnh vệ tinh Landsat, từ đó đưa ra đánh giá độ chính xác của dữ liệu sau khi được hiệu chỉnh bằng số liệu đo sâu.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Nguyên lý xác định độ sâu từ ảnh vệ tinh

Cơ sở lý thuyết của việc xác định độ sâu từ ảnh vệ tinh dựa trên sự suy giảm của năng lượng bức xạ ánh sáng khi truyền qua cột nước. Theo định luật Beer-Lambert, cường độ ánh sáng suy giảm theo hàm số mũ của độ sâu và hệ số suy giảm của môi trường nước.

Trong nghiên cứu này, tác giả áp dụng thuật toán tỷ lệ logarit các kênh phổ được đề xuất bởi Stumpf et al. (2003) [1]. Đây là phương pháp phổ biến và ổn định đối với các vùng đáy biển có độ phản xạ thay đổi. Công thức tổng quát được xác định như sau:

$$Z = m_1 \times \frac{\ln(n.R_w(\lambda_i))}{\ln(n.R_w(\lambda_j))} - m_0 \quad (1)$$

Trong đó:

- Z: Độ sâu cần xác định;
- $R_w(\lambda_i)$ và $R_w(\lambda_j)$: Giá trị phản xạ phổ của kênh sóng ngắn (thường là kênh xanh dương - blue) và kênh sóng dài hơn (thường là kênh xanh lá - green) có khả năng xuyên thấu nước. Đối với Landsat 8/9, đây là Band 2 và Band 3;
- m_1 và m_0: Các hằng số thực nghiệm được xác định thông qua hồi quy tuyến tính với dữ liệu đo sâu thực tế;
- n: Hằng số cố định (thường chọn n = 1.000) để đảm bảo giá trị logarit dương và tuyến tính mối quan hệ.

Phương pháp này giả định rằng tỷ lệ hấp thụ ánh sáng giữa hai kênh phổ là hằng số đối với độ sâu, giúp giảm thiểu ảnh hưởng của các thay đổi về tính chất đáy biển [7].

2.2. Phương pháp hiệu chỉnh sai số trong GIS

Dù sử dụng thuật toán tỷ lệ logarit các kênh phổ nhưng sai số hệ thống và ngẫu nhiên vẫn tồn tại do biến động môi trường. Để nâng cao độ chính xác, quy trình hiệu chỉnh trong GIS được thực hiện theo nguyên lý phân tích phần dư.

Giả sử độ sâu thực đo tại vị trí tọa độ (x,y) bất kỳ là Z(x,y) và độ sâu ước tính sơ bộ từ ảnh vệ tinh Landsat là $Z_{landsat}$(x,y). Sai số tại vị trí điểm đó được xác định bằng công thức:

$$\Delta Z(x,y) = Z(x,y) - Z_{landsat}(x,y) \quad (2)$$

Từ tập hợp các giá trị sai số tại các điểm khống chế thực đo, áp dụng thuật toán nội suy không gian (Kriging) để xây dựng một bề mặt sai số liên tục $\Delta Z_{Kriging}$ (x,y) phủ trùm toàn khu vực [4, 8]. Cuối cùng, bề mặt địa hình đáy biển hoàn chỉnh Z_{final} được thành lập bằng cách cộng giá trị bề mặt sai số vào mô hình sơ bộ ban đầu:

$$Z_{final}(x,y) = Z_{landsat}(x,y) + \Delta Z_{Kriging}(x,y) \quad (3)$$

2.3. Phương pháp đánh giá độ chính xác dữ liệu độ sâu

Để đánh giá hiệu quả của mô hình trước và sau khi hiệu chỉnh, nghiên cứu tính toán các giá trị sai số để đánh giá độ chính xác dữ liệu:

- Sai số trung phương tương đối (RMSE - Root Mean Square Error):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{n}(Z_k - Z_{landsat})^2}{n}} \quad (4)$$

- Giá trị sai số tuyệt đối trung bình (MAE - Mean Absolute Error):

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}(|Z_k - Z_{landsat}|) \quad (5)$$

- Hệ số R^2 thể hiện sự tương quan giữa 2 tệp dữ liệu:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{k=1}^{n}(Z_k - Z_{landsat})^2}{\sum_{k=1}^{n}(Z_k - \bar{z})^2} \quad (6)$$

Trong đó: Z_k là giá trị độ sâu thực tế của điểm thứ k; $Z_{landsat}$ là giá trị độ sâu của điểm thứ k được trích xuất từ mô hình độ sâu sơ bộ (tính toán từ ảnh vệ tinh) trước và sau khi hiệu chỉnh; $\bar{Z}$ là giá trị trung bình của những điểm độ sâu thực tế; n là số lượng điểm kiểm tra.

3. NGUỒN DỮ LIỆU THỰC NGHIỆM

3.1. Dữ liệu đo sâu thực địa

Dữ liệu thực nghiệm sử dụng để tính toán, phân tích trong bài báo là dữ liệu đo sâu khảo sát phục vụ dự án nạo vét luồng đảm bảo giao thông bãi cạn tuyến sông Nghèn (Km00+000 - Km03+500), khu vực Cửa Sót tại xã Thạch Khê, tỉnh Hà Tĩnh. Khu vực này địa hình đáy biển có nhiều chỗ biến đổi phức tạp, tại vùng cửa biển, đáy biển khá bằng phẳng tuy nhiên khi luồng vào sâu bên trong thì xuất hiện nhiều bãi cạn với sự thay đổi lớn về địa hình đáy. Dữ liệu độ sâu thực nghiệm được thu thập bằng máy đo sâu hồi âm đơn chùm tia 1 tần số Hydrotrac II của hãng Teledyne Odom, Mỹ có độ chính xác đo sâu là 1 cm ± 0,1% giá trị độ sâu (sau khi đã hiệu chỉnh vận tốc âm) khi sử dụng sóng âm có tần số 200 kHz.



Hình 1. Dữ liệu độ sâu tại khu vực Cửa Sót, Hà Tĩnh

3.2. Dữ liệu ảnh vệ tinh viễn thám

Nghiên cứu sử dụng ảnh vệ tinh quang học đa phổ Landsat 8 (Sensor: OLI/TIRS) được thu thập từ Cục Khảo sát Địa chất Hoa Kỳ (USGS). Ảnh được lựa chọn bao phủ trùm khu vực Cửa Sót và tuyến sông Nghèn, đảm bảo chất lượng quang học tốt nhất với các thông số cụ thể như sau:

- Ngày chụp: Tháng 6/2025 (tương ứng với khoảng thời gian khảo sát thực địa).
- Độ phủ mây (Cloud Cover): 8% (ưu tiên dưới 10%).

Dữ liệu ảnh được chọn ở cấp độ xử lý Level 2 - Surface Reflectance để giảm thiểu các tác động của khí quyển và đảm bảo giá trị phản xạ phổ của cột nước là chính xác nhất.



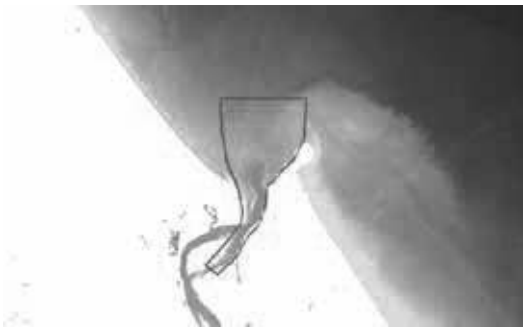
Hình 2. Ảnh viễn thám vệ tinh Landsat 8 tại khu vực nghiên cứu

4. KẾT QUẢ PHÂN TÍCH DỮ LIỆU

4.1. Kết quả xử lý ảnh vệ tinh

Trước khi tích hợp với số liệu đo sâu thực địa, ảnh vệ tinh Landsat khu vực nghiên cứu được xử lý để tách lọc đối tượng. Chỉ

số chênh lệch nước chuẩn hóa (NDWI) được áp dụng trên kênh phổ xanh lá và hồng ngoại gần nhằm loại bỏ hoàn toàn nhiễu tín hiệu từ đất liền và thảm thực vật ven bờ [2]. Trên nền dữ liệu khu vực nước đã tách lọc được, nghiên cứu sử dụng thuật toán tỷ lệ logarit đối với cặp kênh phổ có khả năng xuyên thấu tốt nhất là blue (xanh lam) và green (xanh lục).

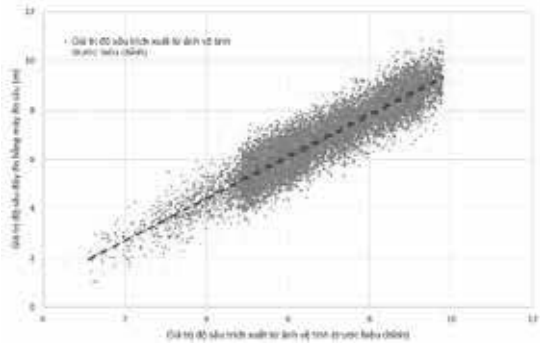


Hình 3. Biểu đồ tỷ lệ kênh phổ phân tích được từ ảnh vệ tinh tại khu vực khảo sát

4.2. Thiết lập mô hình hồi quy và xác định độ sâu tương đối

Từ tập dữ liệu ảnh vệ tinh đã được xử lý ở trên, nghiên cứu đã xác định mối tương quan giữa tỷ số phản xạ phổ của ảnh Landsat và độ sâu thực tế. Kết quả phân tích hồi quy cho thấy mối quan hệ tuyến tính nghịch đảo giữa tỷ số kênh phổ và độ sâu: Khi độ sâu tăng, tỷ số phản xạ phổ giảm dần. Phương trình hồi quy thực nghiệm cho khu vực Cửa Sót - Sông Nghèn được xác định cụ thể, với hệ số tương quan R^2 đạt xấp xỉ 0,72.

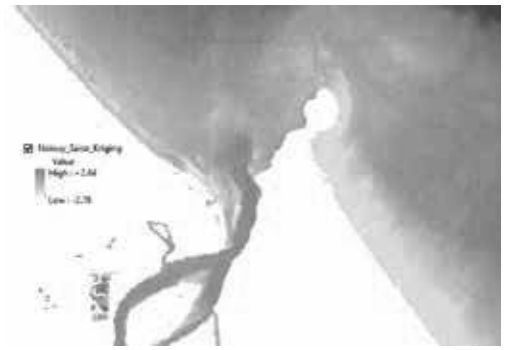
Dựa trên phương trình này, bề mặt độ sâu sơ bộ của khu vực nghiên cứu được thành lập. Tuy nhiên, kết quả ban đầu cho thấy tại các khu vực tiếp giáp bờ hoặc nơi có dòng chảy thay đổi, mô hình vẫn tồn tại sai số, nguyên nhân có thể do độ đục cục bộ của nước.



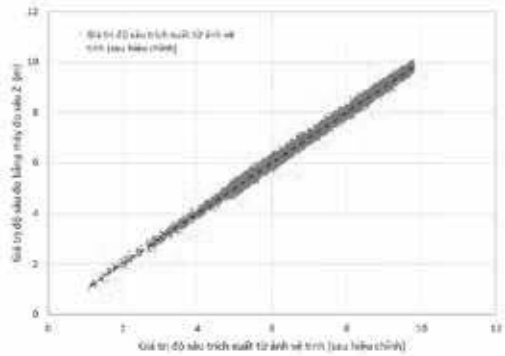
Hình 4. Biểu đồ phân tán của tập dữ liệu điểm độ sâu sơ bộ được trích xuất từ ảnh vệ tinh viễn thám Landsat

4.3. Hiệu chỉnh giá trị độ sâu bằng ArcGIS

Mô hình độ sâu sơ bộ được thiết lập từ phương trình hồi quy tuyến tính thường tồn tại sai số cục bộ do các yếu tố nhiễu từ môi trường nước. Để triệt tiêu các sai số này, nghiên cứu tiến hành quy trình hiệu chỉnh bề mặt thông qua các công cụ phân tích không gian trong ArcGIS. Trước tiên, tại các vị trí có dữ liệu khảo sát thực địa, sai số được tính toán bằng hiệu số giữa độ sâu thực (đo bằng máy đo sâu) và độ sâu ước tính từ mô hình sơ bộ. Tiếp theo, áp dụng thuật toán nội suy Kriging trên tập sai số này nhằm xây dựng một bề mặt sai số liên tục phủ trùm toàn bộ khu vực, đồng thời dự báo sai số tại những vị trí không có điểm đo [8]. Cuối cùng, thông qua công cụ Raster Calculator, bề mặt sai số này được cộng vào mô hình ban đầu để tạo ra mô hình độ sâu hoàn chỉnh theo công thức ở Mục 2.2.



Hình 5. Giá trị sai số được nội suy trên toàn vùng bằng kỹ thuật nội suy Kriging



Hình 6. Biểu đồ phân tán của tập dữ liệu độ sâu trích xuất từ ảnh vệ tinh viễn thám sau khi hiệu chỉnh trong ArcGIS

4.4. Đánh giá độ chính xác độ sâu sau hiệu chỉnh

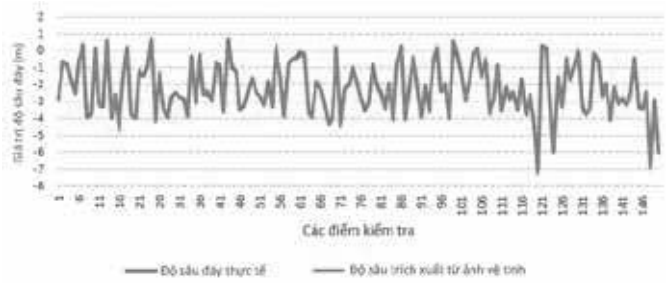
Để kiểm tra tính hiệu quả của quy trình tích hợp và phân tích trong GIS, nghiên cứu sử dụng 150 điểm kiểm tra độc lập. Giá trị độ sâu được trích xuất từ hai mô hình: (1) Mô hình độ sâu sơ bộ (chưa hiệu chỉnh) và (2) Mô hình độ sâu hoàn chỉnh (đã tính bù sai số bằng thuật toán Kriging trong ArcGIS). Kết quả tính toán các chỉ số sai số (MAE, RMSE) và hệ số R^2 được thể hiện tại Bảng 1. Số liệu cho thấy, sau khi áp dụng kỹ thuật nội suy sai số trong ArcGIS, độ chính xác của mô hình đã được cải thiện đáng kể. Sai số trung phương (RMSE) giảm mạnh, đồng thời hệ số R2 cải thiện đáng kể đạt 0,8424, chứng tỏ sự phù hợp cao giữa mô hình và thực tế.



Hình 7. Vị trí 150 điểm kiểm tra trên toàn bộ khu vực khảo sát

Bảng 1. Các giá trị tham số đánh giá mức độ chính xác của tập dữ liệu độ sâu trích xuất từ ảnh vệ tinh trước và sau khi hiệu chỉnh

Dữ liệu đánh giá	MAE (m)	RMSE (m)	R^2
Dữ liệu độ sâu trích xuất từ ảnh vệ tinh trước hiệu chỉnh	0,0493	0,089	0,7268
Dữ liệu độ sâu trích xuất từ ảnh vệ tinh sau hiệu chỉnh	0,0286	0,051	0,8424



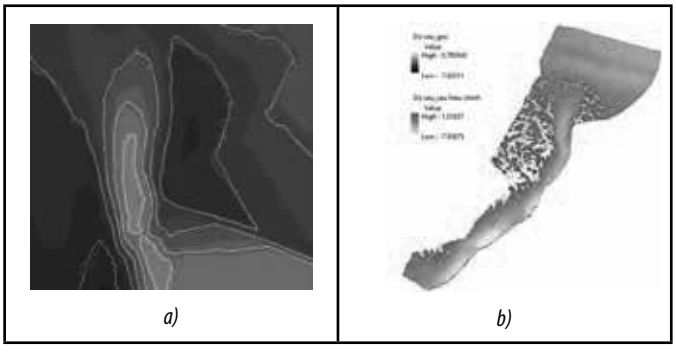
Hình 8. Đường cong sai số giữa độ sâu thực tế và độ sâu trích xuất từ ảnh vệ tinh tại vị trí của 150 điểm kiểm tra

4.5. Đánh giá độ chính xác thông qua đường đẳng sâu và mô hình dữ liệu 3D

Bên cạnh các chỉ số thống kê, nghiên cứu sử dụng phương pháp so sánh, đánh giá độ "khớp" của đường đẳng sâu cũng như xếp chồng mô hình 3D để đánh giá mức độ phù hợp về mặt địa hình.

Hình 9a thể hiện sự chồng xếp giữa đường đẳng sâu gốc (đo bằng máy hồi âm - nét liền màu trắng) và đường đẳng sâu chiết xuất từ ảnh vệ tinh sau hiệu chỉnh (nét đứt màu trắng). Kết quả cho thấy tại các khu vực bãi cạn và luồng lạch, các đường đẳng sâu từ mô hình độ sâu (tính toán từ ảnh vệ tinh) bám sát và thể hiện đúng xu hướng địa hình của dữ liệu gốc. Các hiện tượng gấp khúc hoặc sai lệch vị trí được giảm thiểu tối đa nhờ bước xử lý không gian trong GIS.

Hình 9b trực quan hóa sự so sánh mô hình 3D của bề mặt DEM được tạo bởi dữ liệu độ sâu phân tích từ ảnh viễn thám vệ tinh sau hiệu chỉnh, được xếp chồng trực tiếp lên bề mặt DEM tham chiếu của dữ liệu gốc. Sự tương đồng và xu hướng biến đổi địa hình của hai mô hình được thể hiện chi tiết thông qua các thang giá trị độ sâu trong phần chú giải. Đặc biệt, tại các vùng chuyển tiếp địa hình có độ dốc lớn, hai lớp dữ liệu không xuất hiện các khoảng hở hình học hay sự phân tầng rõ rệt. Bằng việc xếp chồng các bề mặt 3D, có thể thấy 2 mô hình 3D DEM có sự tương đồng cao, thể hiện tốt các đặc trưng địa hình phức tạp tại khu vực Cửa Sót mà không xuất hiện các điểm nhiễu bất thường về địa hình.



Hình 9. a) - So sánh đường đẳng sâu gốc (nét liền màu trắng) và đường đẳng sâu từ dữ liệu độ sâu phân tích từ ảnh vệ tinh (nét đứt màu trắng) và b) - Xếp chồng bề mặt DEM 3D của bề mặt độ sâu gốc và bề mặt độ sâu phân tích từ ảnh vệ tinh

5. KẾT LUẬN

Việc ứng dụng công nghệ GIS kết hợp với dữ liệu ảnh viễn thám vệ tinh Landsat mở ra hướng đi hiệu quả cho công tác thành lập bản đồ địa hình đáy biển. Dữ liệu độ sâu được trích xuất từ ảnh vệ tinh còn tồn tại sai số do các yếu tố môi trường, nhưng khi được tích hợp với thuật toán nội suy sai số (Kriging) trong ArcGIS thì độ chính xác đã được nâng cao rõ rệt.

Kết quả thực nghiệm tại tuyến luồng Cửa Sót - Sông Nghèn, Hà Tĩnh cho thấy mô hình sau hiệu chỉnh đạt độ chính xác cao (RMSE thấp, $R^2 > 0,84$), các đường đẳng sâu và mô hình 3D có sự tương đồng lớn với dữ liệu đo đạc trực tiếp. Quy trình này không chỉ tận dụng được ưu thế bao phủ rộng của ảnh vệ tinh mà còn cung cấp giải pháp tối ưu về kinh phí và thời gian cho công tác khảo sát, đặc biệt tại các vùng nước nông ven bờ có địa hình phức tạp.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong Đề tài mã số: DT25-26.90.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] R. P. Stumpf, K. Holderied and M. Sinclair. Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types. Limnology and Oceanography, vol. 48, no. 1, pp. 547-556, 2003, doi: 10.4319/lo.2003.48.1_part_2.0547.

[2] A Pacheco, J Horta, C Loureiro. Retrieval of nearshore bathymetry from Landsat 8 images: A tool for coastal monitoring in shallow waters. Remote Sensing of Environment, vol. 159, pp. 102-116, 2015, doi: 10.1016/j.rse.2014.12.004.

[3] E Evagorou, et al. Evaluation of Satellite-Derived Bathymetry from High and Medium-Resolution Sensors Using Empirical Methods. Remote Sensing, vol. 14, no. 3, p. 772, 2022, doi: 10.3390/rs14030772.

[4] J Li, AD Heap. A review of comparative studies of spatial interpolation methods in environmental sciences: Performance and impact factors. Ecological Informatics, vol. 6, no. 3-4, pp. 228-241, 2011, doi: 10.1016/j.ecoinf.2010.12.003.

[5] S Pe'eri, C Parrish, C Azuike. Satellite-derived bathymetry: A reconnaissance tool for hydrography. International Hydrographic Review, no. 11, pp. 16-25, 2013.

[6] ESRI. ArcGIS Desktop: Spatial Analyst. Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, 2012.

[7] D. Traganos, D. Poursanidis, B. Aggarwal, N. Chrysoulakis and P. Reinartz. Estimating Satellite-Derived Bathymetry (SDB) with the Google Earth Engine and Sentinel-2. Remote Sensing, vol. 10, no. 6, p. 859, 2018, doi: 10.3390/rs10060859.

[8] E. Alcaras, C. Parente, A. Vallario. Kriging interpolation of bathymetric data for 3D model of the Bay of Pozzuoli (Italy). IMEKO TC-19 International Workshop on Metrology for the Sea, pp. 1-5, 2020.

■Ngày nhận bài: 02/3/2026 ■Ngày sửa bài: 13/3/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 31/3/2026

Nghiên cứu phát triển thuật toán lập tuyến đường cho tàu tự hành trong vùng nước hạn chế

Research on developing path planning algorithms for autonomous ships in restricted waters

> TS LƯƠNG TÚ NAM, THS PHẠM QUANG THỦY, PGS.TS TRẦN VĂN LƯỢNG*
Trường Đại học Hàng hải Việt Nam
*Email: tranvanluong@vimaru.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo đề xuất một phương pháp lập kế hoạch chuyển động tiên tiến cho tàu tự hành điều động trong vùng nước bị hạn chế sử dụng phương pháp tiếp cận cửa sổ động được cải tiến. Để đảm bảo an toàn và tuân thủ quy định trong môi trường phức tạp, một hàm mục tiêu đa chiều toàn diện được thiết kế để đánh giá các quỹ đạo dự đoán. So với phương pháp truyền thống, phương pháp đề xuất tích hợp 7 thành phần chi phí khác nhau, mỗi thành phần được trọng số hóa bằng các hệ số cụ thể để cân bằng các ưu tiên hoạt động khác nhau. Hiệu quả của phương pháp này được xác thực qua mô phỏng số. Kết quả cho thấy hàm mục tiêu cho phép tàu thực hiện các thao tác mượt mà hơn, không va chạm trong khi tuân thủ nghiêm ngặt quy tắc phòng ngừa đâm va, ngay cả trong các khu vực giao thông mật độ cao. Phương pháp lập kế hoạch toàn diện chứng tỏ tính mạnh mẽ và khả năng thích ứng cao, cung cấp một giải pháp đáng tin cậy cho hoạt động của tàu tự hành trong môi trường phức tạp, hạn chế.

Từ khóa: Tàu tự hành; đâm va tàu biển; nguy cơ đâm va; lập tuyến đường; an toàn hàng hải.

ABSTRACT

This paper introduces an advanced motion-planning technique for autonomous ship navigation in restricted waters that utilizes an improved Dynamic Window Approach. To ensure safety and regulatory compliance in complex environments, a comprehensive multi-objective function is designed to evaluate predicted trajectories. Compared to traditional methods, the approach involves seven different cost terms, each weighted by specific coefficients to balance various operational priorities. The effectiveness of this method is demonstrated through numerical simulations. Results indicate that the seven-term weighted objective function enables the ship to perform smoother, collision-free maneuvers while strictly adhering to COLREGS, even in high-density traffic zones. Overall, this comprehensive planning method proves to be robust and adaptable, providing a reliable solution for autonomous ship operations in challenging, restricted environments.

Keywords: Autonomous ship; ship collision; collision risk; path planning; maritime safety.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Khu vực luồng lạch hẹp, vùng nước cảng biển hoặc vùng nước hạn chế là môi trường hàng hải đặc biệt phức tạp đối với tàu tự hành do đồng thời tồn tại giới hạn của luồng, mật độ phương tiện cao, chướng ngại vật tĩnh, động và ảnh hưởng của các yếu tố khí tượng thủy văn. Trong điều kiện này, quỹ đạo tránh va không chỉ cần an toàn mà còn phải giữ được tính khả thi trong điều động và phù hợp với quy tắc COLREGs [1-3]. Các tổng quan gần đây đều cho thấy đây là một trong những bối cảnh khó nhất đối với bài toán điều hướng tự động trên biển.

Để lập tuyến đường cho tàu tự hành, các thuật toán tìm kiếm trên đồ thị như A*, Theta* hay các dạng kết hợp đều có ưu điểm là xây dựng quỹ đạo toàn cục rõ ràng, thuận lợi khi bản đồ môi trường đã biết. Tuy nhiên, khả năng phản ứng trực tiếp với mục tiêu động còn hạn chế [5, 9]. Các phương pháp phản ứng cục bộ như APF, VO và DWA có ưu điểm tính toán nhanh, phù hợp để tránh va theo thời gian thực. Tuy nhiên, APF dễ rơi vào cực tiểu cục bộ, VO thường bảo thủ trong vùng nước chật hẹp, còn DWA nguyên bản chưa phản ánh đầy đủ động lực học của tàu [2, 4, 8]. Trong khi đó, MPC và học tăng cường có khả năng dự báo và ra quyết định linh hoạt hơn, nhưng thường làm tăng chi phí tính toán, phụ thuộc vào chất lượng mô hình hoặc dữ liệu huấn luyện [6, 7, 10, 11].

Mặc dù đã có nhiều hướng tiếp cận, hạn chế chung của các nghiên cứu hiện nay là chưa đồng thời thỏa mãn tốt các yêu cầu: Bám tuyến toàn cục, phản ứng cục bộ theo thời gian thực, xét đến đặc tính động lực học của tàu và tuân thủ COLREGs trong các tình huống nhiều mục tiêu. Đặc biệt, một đánh giá quy mô lớn gần đây cho thấy chưa có thuật toán nào đạt mức tuân thủ đầy đủ các quy

tắc vận hành cốt lõi của COLREGs trong tập công trình được khảo sát, cho thấy khoảng cách vẫn còn đáng kể giữa kết quả mô phỏng và khả năng ứng dụng thực tế [2, 3].

Từ đó, bài báo đề xuất một thuật toán DWA nâng cao cho tàu tự hành trong luồng hẹp, kết hợp mô hình động lực học 3 bậc tự do với hàm mục tiêu đa tiêu chí. Thuật toán không chỉ xét hướng đích và tránh va mà còn tích hợp bám tuyến, độ mượt điều khiển, mật độ chướng ngại vật cục bộ và mức độ tuân thủ COLREGs, nhằm nâng cao chất lượng quyết định tránh va trong môi trường hàng hải hạn chế.

2. THUẬT TOÁN LẬP TUYẾN ĐƯỜNG CHO TÀU TỰ HÀNH TRONG VÙNG NƯỚC HẠN CHẾ

2.1. Mô hình toán học chuyển động của tàu

Chuyển động của tàu được mô tả bằng mô hình điều khiển phi tuyến ba bậc tự do (3-DOF) tiêu chuẩn, bao gồm chuyển động theo trục dọc tàu (surge), chuyển động dịch chuyển ngang (sway) và chuyển động xoay (yaw). Vị trí của tàu trong hệ quy chiếu cố định với trái đất được xác định như sau:

$$\eta = [x, y, \psi]^T \quad (1)$$

Trong đó: *x* là quãng đường chuyển động theo trục dọc tàu; *y* là độ dạt; *ψ* là hướng mũi tàu.

Vector tốc độ của tàu theo hệ quy chiếu gắn với tàu được biểu thị như sau:

$$\boldsymbol{\nu} = [u, v, r]^T \quad (2)$$

Trong đó: *u* là tốc độ theo trục dọc tàu; *v* là tốc độ dạt ngang; *r* là tốc độ quay.

Mối quan hệ động học giữa vị trí của tàu theo hệ quy chiếu cố định với trái đất và vận tốc theo hệ quy chiếu gắn với tàu được thể hiện thông qua ma trận chuyển đổi $\boldsymbol{R}(\psi)$ như sau:

$$\dot{\eta} = \boldsymbol{R}(\psi)\boldsymbol{\nu} \quad (3)$$

Để mô phỏng chuyển động của tàu dưới tác động của nhiễu ngoại cảnh, phương trình ba bậc tự do tổng quát bỏ qua chuyển động theo trục thẳng đứng (heave), chuyển động lắc ngang (roll) và chuyển động lắc dọc (pitch) được sử dụng như sau:

$$\boldsymbol{M}_{RB}\dot{\boldsymbol{\nu}} + \boldsymbol{M}_A\dot{\boldsymbol{\nu}}_R + \boldsymbol{C}_{RB}(\boldsymbol{\nu})\boldsymbol{\nu} + \boldsymbol{C}_A(\boldsymbol{\nu}_R)\boldsymbol{\nu}_R + D(\boldsymbol{\nu}_R)\boldsymbol{\nu}_R = \boldsymbol{\tau} + \boldsymbol{\tau}_{wind} + \boldsymbol{\tau}_{current} \quad (4)$$

Trong đó:

$\boldsymbol{M}_{RB}$ là ma trận quán tính của tàu; $\boldsymbol{M}_A$ là ma trận quán tính do khối lượng tăng thêm;

$\boldsymbol{C}_{RB}(\boldsymbol{\nu})$ là ma trận Coriolis và hướng tâm cố định; $\boldsymbol{C}_A(\boldsymbol{\nu}_R)$ là ma trận Coriolis và hướng tâm do khối lượng tăng thêm;

$D(\boldsymbol{\nu}_R)$ là ma trận giảm chấn thủy động lực học;

τ là vector lực và mô-men điều khiển gây ra bởi các cơ cấu chấp hành của tàu;

τ_{wind} và $\tau_{current}$ là vector lực và mô-men điều khiển gây ra bởi nhiễu ngoại cảnh bao gồm gió và dòng chảy.

2.2. Thuật toán lập tuyến đường áp dụng phương pháp tiếp cận cửa sổ động cải tiến

Phương pháp tiếp cận cửa sổ động (Dynamic Window Approach - DWA) truyền thống được sử dụng để xác định các lệnh điều khiển tối ưu (thường là vận tốc theo trục dọc của tàu và tốc độ quay), giúp tàu di chuyển đến điểm đích một cách an toàn và hiệu quả theo lộ trình đã được hoạch định sẵn. Quy trình thực hiện của phương pháp này bao gồm hai giai đoạn chính.

- Thu hẹp không gian tìm kiếm: Giới hạn phạm vi vận tốc khả thi dựa trên các đặc tính động học của tàu (như khả năng tăng tốc, quán tính lớn) và các chướng ngại vật thực tế.

- Tối ưu hóa lựa chọn: Tìm kiếm và trích xuất cặp vận tốc tốt nhất trong "cửa sổ động" (Dynamic Window) đó thông qua việc tối thiểu hóa hàm chi phí, nhằm đảm bảo tàu đi đúng hướng, duy trì tốc độ và giữ khoảng cách an toàn với các phương tiện khác.

2.2.1. Không gian tìm kiếm

Các vận tốc có thể điều khiển trong không gian tìm kiếm được cắt giảm theo 3 bước sau:

- Vận tốc cho phép V_a là chuỗi các giá trị vận tốc *(u, r)* nằm trong khoảng giữa giá trị nhỏ nhất và lớn nhất, thể hiện các giới hạn vật lý của bộ truyền động tàu.

$$V_a = \{(u, r) | u \in [u_{min}, u_{max}], r \in [r_{min}, r_{max}]\} \quad (5)$$

Trong đó: u_{min} và u_{max} biểu thị vận tốc theo trục dọc tàu tối thiểu và tối đa cho phép, r_{min} và r_{max} biểu thị giới hạn tốc độ quay tương ứng. Tập hợp này đảm bảo chỉ xem xét các vận tốc nằm trong khả năng cơ học và vận hành của tàu.

- Vận tốc động V_d là chuỗi các giá trị vận tốc *(u, r)* thể hiện vận tốc có thể đạt được, có tính đến các ràng buộc gia tốc của tàu trong khoảng thời gian Δt.

$$V_d = \{(u, r) | u \in [u_c \pm \dot{u}_{max} \cdot \Delta t], r \in [r_c \pm \dot{r}_{max} \cdot \Delta t]\} \quad (6)$$

Trong đó: u_c và r_c lần lượt là vận tốc theo trục dọc tàu và tốc độ quay hiện tại, trong khi $_{max}$ và $_{max}$ biểu thị gia tốc tiến theo trục dọc tàu và gia tốc quay tối đa có thể đạt được. Ràng buộc này đảm bảo tính khả thi động bằng cách đảm bảo rằng các lệnh vận tốc lấy ra có thể đạt được trong một chu kỳ điều khiển.

- Vận tốc an toàn V_s là chuỗi các giá trị vận tốc *(u, r)* mà quỹ đạo dự đoán tương ứng không xâm nhập vào miền an toàn của chướng ngại vật.

$$V_s = \{(u, r) | d_{min}(T(u, r), O) \geq d_{safe}\} \quad (7)$$

Trong đó: T(u,r) là quỹ đạo dự đoán của tàu khi áp dụng cặp điều khiển (u,r); O là tập chướng ngại vật trong môi trường; d_{min}(T(u,r), O) là khoảng cách nhỏ nhất từ toàn bộ quỹ đạo dự đoán tới các chướng ngại vật; d_{safe} là biên độ an toàn được xác định trước. Điều kiện này đảm bảo rằng điều kiện an toàn được kiểm tra trực tiếp trên toàn bộ quỹ đạo.

Không gian tìm kiếm cuối cùng V_{dw} được xác định bằng giao điểm:

$$V_{dw} = V_a \cap V_d \cap V_s \quad (8)$$

Không gian này xác định tập hợp các vận tốc khả thi về mặt động lực học, an toàn và khả năng cho phép để được đánh giá bởi mô phỏng quỹ đạo và hàm chi phí. Công thức này cho phép lập kế hoạch chuyển động tránh va chạm trong thời gian thực, đồng thời tuân thủ cả các ràng buộc động lực học và ràng buộc của bộ chấp hành của tàu.

2.2.2. Tối ưu hóa lựa chọn

Tác động điều khiển tối ưu (u^*, r^*) được xác định thông qua việc giải bài toán tối ưu hóa hàm chi phí tổng quát trên không gian tìm kiếm V_{dw}.

$$(u^*, r^*) = arg \min_{(u,r) \in V_{dw}} G(u, r) \quad (9)$$

Trong đó, hàm mục tiêu *G(u,r)* được cấu thành từ 7 thành phần chi phí cốt lõi, phản ánh sự cân bằng giữa hiệu suất hành trình và an toàn hàng hải. Điểm cải tiến trọng tâm trong nghiên cứu này là việc đề xuất một hàm mục tiêu đa tiêu chí hệ thống hơn, không chỉ dừng lại ở các yếu tố cơ bản như phương pháp truyền thống chỉ bao gồm 3 thành phần. Việc tích hợp đồng thời các yếu tố này cho phép thuật toán không chỉ đưa ra quyết định nhanh nhất hay ngắn nhất, mà là quyết định phù hợp nhất với thực tế trên biển. Hàm mục tiêu được xác định như sau:

$$G(u, r) = w_1 \cdot C_{heading} + w_2 \cdot C_{collision} + w_3 \cdot C_{velocity} + w_4 \cdot C_{path} + w_5 C_{COLREGS} + w_6 \cdot C_{smoothness} + w_7 \cdot C_{count} \quad (10)$$

Ngoài ra, do các thành phần chi phí C_i đơn vị và thang đo khác nhau nên cần được đưa về cùng một khoảng giá trị [0,1] trước khi tính tổng trọng số. Công thức chuẩn hóa min-max được áp dụng như sau:

$$n_{C_i} = \frac{C_i - C_{i,min}}{C_{i,max} - C_{i,min} + \varepsilon} \quad (11)$$

Việc chuẩn hóa này giúp hàm mục tiêu không bị lệch về phía các biến có giá trị số học lớn, đảm bảo thuật toán phản xạ chính xác

các ưu tiên điều khiển mong muốn.

- Chi phí hướng đích ($C_{heading}$) đo lường mức độ sai lệch giữa hướng mũi tàu tại điểm cuối quỹ đạo dự đoán và hướng từ điểm đó đến điểm đích mục tiêu:

$$C_{heading} = \frac{|\theta|}{\pi} \quad (12)$$

Trong đó: θ là giá trị tuyệt đối của góc lệch giữa hướng tàu hiện tại (ψ_N) và góc phương vị đến đích:

$$\theta = |wrapTo\pi(\psi_N - atan2(y_g - y_N, x_g - x_N))| \quad (13)$$

Trong đó: (x_N, y_N, ψ_N) là trạng thái của tàu tại điểm cuối quỹ đạo dự đoán, còn (x_g, y_g) là tọa độ điểm đích.

- Chi phí tránh va ($C_{collision}$) là sự kết hợp giữa việc tránh chướng ngại vật tĩnh và động:

$$C_{collision} = w_s C_{static} + w_d \frac{1}{N_d} \sum_{i=1}^{N_d} C_{dynamic,i} \quad (14)$$

Trong đó, các hệ số trọng số w_s và w_d lần lượt điều chỉnh mức độ ảnh hưởng của các thành phần chi phí tĩnh và động trong tổng chi phí. chi phí tránh vật cản tĩnh (C_{static}) dựa trên khoảng cách ngắn nhất đến vật cản ($d_{min,static}$) và chi phí tránh vật cản động ($C_{dynamic}$) được tính toán dựa trên DCPA và TCPA lần lượt như sau:

$$C_{static} = \frac{1}{d_{min,static} + \varepsilon} \quad (15)$$

$$C_{dynamic,i} = \begin{cases} \frac{\alpha}{|DCPA_i| + \varepsilon} + \frac{\beta}{|TCPA_i| + \varepsilon}, TCPA_i \geq 0 \\ 0, \ TCPA_i < 0 \end{cases} \quad (16)$$

Trong đó: α và β là các hệ số hiệu chỉnh.

- Chi phí vận tốc ($C_{velocity}$) khuyến khích tàu duy trì vận tốc lớn nhất có thể trong phạm vi an toàn để rút ngắn thời gian hành trình:

$$C_{velocity} = 1 - \frac{u_N}{u_{max}} \quad (17)$$

Trong đó: u_N là vận tốc dọc trục của tàu tại điểm cuối quỹ đạo dự đoán.

- Chi phí bám quỹ đạo (C_{path}) đánh giá mức độ lệch của quỹ đạo cục bộ so với tuyến đường toàn cục đã được hoạch định trước:

$$C_{path} = d((x_N, y_N), P_{global}) \quad (18)$$

Trong đó: $d((x_N, y_N), P_{global})$ là khoảng cách ngắn nhất từ điểm cuối quỹ đạo dự đoán tới tuyến đường toàn cục P_{global}.

- Chi phí tuân thủ COLREGs ($C_{COLREGS}$) bắt buộc tàu phải thực hiện các hành động tránh va theo đúng quy tắc phòng ngừa đâm va trên biển:

$$C_{COLREGS} = \frac{1}{N_d} \sum_{i=1}^{N_d} \phi(S_i, u, r) \quad (19)$$

Trong đó: S_i là kiểu tình huống tương tác với mục tiêu động thứ i, bao gồm các trường hợp đối hướng, cắt hướng và vượt. ϕ là hàm đánh giá, nhận giá trị nhỏ khi quỹ đạo ứng viên phù hợp với hướng hành động được khuyến nghị bởi COLREGs và nhận giá trị lớn khi quỹ đạo đó dẫn đến hành động không phù hợp hoặc làm gia tăng nguy cơ vi phạm quy tắc.

- Chi phí độ mượt ($C_{smoothness}$) đánh giá mức độ thay đổi lệnh điều khiển so với trạng thái điều khiển hiện tại:

$$C_{smoothness} = \frac{|u - u_c|}{\dot{u}_{max} \Delta t + \varepsilon} + 0.6 \frac{|r - r_c|}{\dot{r}_{max} \Delta t + \varepsilon} \quad (20)$$

- Chi phí số lượng chướng ngại vật (C_{count}) thực hiện đếm số lượng chướng ngại vật xuất hiện trong hai phân vùng đối xứng ở mạn trái (port) và mạn phải (starboard), giới hạn trong góc ±30 độ so với trục dọc của tàu.

$$C_{count} = \frac{N(u,r)}{N_{port} + N_{starboard} + \varepsilon} \quad (21)$$

Trong đó: N(u,r) là số vật cản nằm về phía điều động được lựa chọn bởi ứng viên (u,r).

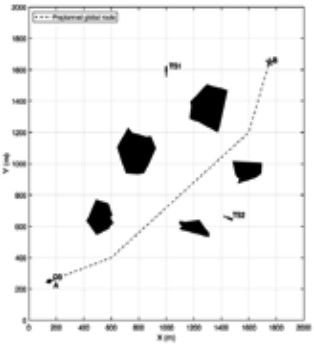
Sau khi tính toán, cặp vận tốc (u^*,r^*) phải thỏa mãn các giới hạn vật lý của tàu. Việc áp dụng phép giới hạn này nhằm đảm bảo rằng các lệnh điều khiển được thực thi không vượt quá khả năng động lực học và các ràng buộc vận hành của tàu.

$$\begin{cases} u^* = \text{clamp}\,(u^*, u_{\min}, u_{\max}) \\ u^* = \text{clamp}\,(r^*, r_{\min}, r_{\max}) \end{cases} \quad (22)$$

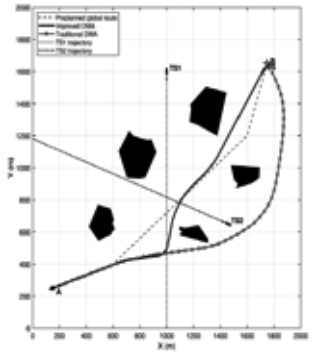
3. MÔ PHỎNG SỐ

Để kiểm chứng hiệu quả của thuật toán đề xuất, một mô phỏng số được thực hiện như sau: Trong vùng nước hạn chế có kích thước (2.000x2.000)m với các đảo nhỏ là các chướng ngại vật tĩnh, tàu chủ xuất phát từ điểm A(150, 250), với hướng ban đầu 72°, vận tốc ban đầu 7,39 kn và hành trình tới điểm đích B(1750, 1650). Đồng thời, hai tàu mục tiêu động tàu mục tiêu TS1 có vị trí ban đầu (1000,1600), chuyển động theo hướng 180° với vận tốc 6,80 kn; tàu mục tiêu TS2 có vị trí ban đầu (1460,650), chuyển động theo hướng 290° với vận tốc 7,3 kn, tạo nên tình huống tránh va phức tạp. Một tuyến đường toàn cục được xác lập trước trong điều kiện chỉ xét đến các chướng ngại vật tĩnh. Mục tiêu của mô phỏng là đánh giá khả năng của tàu chủ trong việc tránh va với các tàu mục tiêu, không xâm nhập vùng cấm của vật cản tĩnh, đồng thời duy trì quỹ đạo hành trình hợp lý để tiếp cận đích một cách an toàn và liên tục. Trên cùng kịch bản này, hai phương pháp DWA cải tiến và DWA truyền thống được áp dụng để so sánh khả năng tránh va, bám tuyến và hiệu quả hành trình của tàu chủ. Tàu chủ được mô hình hóa theo nền tảng CyberShip II, là mô hình tàu thử nghiệm đã được sử dụng trong nhiều nghiên cứu điều khiển và điều động tàu biển [12].

Từ kịch bản mô phỏng trên, Hình 1 trình bày lần lượt trạng thái ban đầu của các tàu (a) và kết quả quỹ đạo thu được trên cùng một môi trường mô phỏng (b). Trên cơ sở đó, Bảng 1 tổng hợp các chỉ tiêu định lượng nhằm so sánh hiệu quả giữa phương pháp DWA cải tiến và DWA truyền thống.



a) - Trạng thái ban đầu



b) - Kết quả tuyến đường

Hình 1. Mô phỏng lập tuyến đường cho tàu

Bảng 1. So sánh hiệu quả

Tiêu chí so sánh	DWA cải tiến	DWA truyền thống
S (m)	2.238,5	2.596,4
t (s)	925	982
$d_{min, static}$ (m)	41,1	3,9
$d_{min, dynamic}$ (m)	124,1	32
e_{max} (m)	180,1	457,5
v_{avg} (kn)	4,7	5,2
r_{max} (rad/s)	0,0811	0,0065

Kết quả so sánh định lượng tại Bảng 1 cho thấy cả DWA cải tiến và DWA truyền thống đều đưa được tàu chủ đến đích. Tuy nhiên, phương pháp đề xuất cho hiệu quả tốt hơn. Cụ thể, DWA cải tiến tạo ra quỹ đạo ngắn hơn (2.238,52 m so với 2.596,43 m) và đạt thời gian đến đích nhỏ hơn (925s so với 982s). Đồng thời, phương pháp này duy trì khoảng cách an toàn lớn hơn đối với cả vật cản tĩnh (41,1 m so với 3,9 m) và mục tiêu động (124,1 m so với 32 m). Ngoài ra, độ lệch lớn nhất khỏi tuyến toàn cục của DWA cải tiến cũng nhỏ hơn đáng kể (180,1 m so với 457,5 m), cho thấy khả năng bám tuyến tốt hơn. Nhìn chung, các kết quả này khẳng định DWA cải tiến phù hợp hơn cho bài toán điều hướng tàu tự hành trong vùng nước hạn chế có đồng thời vật cản tĩnh và mục tiêu động.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã đề xuất phát triển phương pháp DWA cải tiến để lập tuyến đường cho tàu tự hành trong vùng nước hạn chế có sự xuất hiện đồng thời của vật cản tĩnh và mục tiêu động. Trên cơ sở kết hợp giữa tuyến đường toàn cục và cơ chế lập kế hoạch cục bộ, phương pháp đề xuất cho phép tàu chủ lựa chọn quỹ đạo hợp lý hơn trong các tình huống môi trường phức tạp, đồng thời duy trì khả năng tránh va và tiến tới đích an toàn. Kết quả mô phỏng cho thấy phương pháp đề xuất có khả năng hỗ trợ tàu chủ tránh va, bám tuyến và duy trì hành trình hợp lý hơn so với phương pháp truyền thống trong khu vực hạn chế. Trong thời gian tới, nghiên cứu có thể được phát triển theo hướng mở rộng mô hình môi trường và xem xét thêm các yếu tố ảnh hưởng thực tế nhằm nâng cao khả năng ứng dụng của thuật toán.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Y. Wu, T. Wang and S. Liu. A Review of Path Planning Methods for Marine Autonomous Surface Vehicles. Journal of Marine Science and Engineering, vol. 12, no. 5, p. 833, 2024.

[2] X. Cao, Y. Wang et al. A Review of Research on Autonomous Collision Avoidance Performance Testing and an Evaluation of Intelligent Vessels. Journal of Marine Science and Engineering, vol. 13, no. 8, p. 1570, 2025.

[3] A. Sánchez-González and S. R. Rodrigues-Tomé. Reliability of Maritime Collision Avoidance Systems Algorithms in the Implementation of COLREGs. Reliability Engineering & System Safety, vol. 267, p. 111840, 2025.

[4] S. Liu, X. Wang, Y. Wu, Q. Li, J. Yan and E. Levin. Path Planning Method for USVs Based on Improved DWA and COLREGs. Intelligence & Robotics, vol. 4, no. 4, pp. 385-405, 2024.

[5] C. Li, L. Yao and C. Mi. Fusion Algorithm Based on Improved A* and DWA for USV Path Planning. Journal of Marine Science and Application, vol. 24, no. 1, pp. 224-237, 2025.

[6] H. Zhang, Y. Cao, Q. Shan and Y. Sun. Collision Avoidance for Maritime Autonomous Surface Ships Based on Model Predictive Control Using Intention Data and Quaternion Ship Domain. Journal of Marine Science and Engineering, vol. 13, no. 1, p. 124, 2025.

[7] Z. Han, D. Wu, J. Zhang, T. Huang et al. COLREGs-Adaptive Trajectory Planning and Decision-Making in Maritime Autonomous Surface Ships. Ocean Engineering, vol. 312, p. 119308, 2024.

[8] K. Liu, S. Ding, L. Yan, J. Sun, S. Wu, S. Han, F. Li and L. Zhou. COLREGs-Compliant Autonomous Collision Avoidance and Improved Adaptive LOS-Based Motion Control for USVs in Complex Waters. Ocean Engineering, vol. 318, p. 120127, 2025.

[9] Y. Cao, G. Zhang, Y. Liu, S. Zhu, W. Sun and Z. Luo. A Collision Avoidance Decision-Making System for Autonomous Vessels in Constrained Waterways Based on Velocity Obstacles. Ocean Engineering, vol. 342, p. 123013, 2025.

[10] Z. Cui, W. Guan, X. Zhang and G. Zhang. Autonomous Collision Avoidance Decision-Making Method for USV Based on ATL-TD3 Algorithm. Ocean Engineering, vol. 312, p. 119297, 2024.

[11] Q. Zhao, T. Yang, C. Mu, Q. Chen, T. Luo, M. Liu and X. Wang. COLREGs-Compliant Ship Collision Avoidance Strategy Based on Proximal Policy Optimization Algorithm. Frontiers in Marine Science, vol. 12, 2025.

[12] R. Skjetne, Ø. Smogeli and T. I. Fossen. Modeling, identification, and adaptive maneuvering of CyberShip II: A complete design with experiments. IFAC Proceedings Volumes, vol. 37, no. 10, pp. 203-208, 2004.

■Ngày nhận bài: 02/3/2026 ■Ngày sửa bài: 17/3/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 31/3/2026

Thuật toán điều khiển học lặp cho hệ thống lái tàu thủy tự động

A study on an iterative learning controller for the ship course keeping control system

> THS NGUYỄN VĂN THỊNH, PGS.TS NGUYỄN VĂN SƯỚNG*, THS PHẠM QUANG THỦY
Trường Đại học Hàng hải Việt Nam
*Email: nguyenvansuong@vimaru.edu.vn

TÓM TẮT

Trong tương lai, để tự động hoàn toàn việc điều khiển các tàu thủy, hệ thống lái tự động đòi hỏi phải có độ chính xác và khả năng thích ứng cao hơn so với các hệ thống lái PID hiện nay vốn còn nhiều hạn chế khi đối mặt với nhiễu môi trường và sai số trong mô hình tàu. Trong nghiên cứu này, chúng tôi đề xuất thuật toán điều khiển học lặp (ILC) nhằm nâng cao hiệu suất giữ hướng cho các hệ thống lái tàu thủy. Khác với thuật toán PID truyền thống, thuật toán ILC sử dụng thông tin từ các chu kỳ vận hành trước đó để điều chỉnh tín hiệu điều khiển bánh lái, từ đó triệt tiêu sai số bám một cách hiệu quả trong các bước lặp tiếp theo. Để kiểm nghiệm thuật toán đề xuất, các mô phỏng được thực hiện trên MATLAB. Kết quả mô phỏng cho thấy thuật toán ILC cho hiệu quả cao hơn trong việc giữ hướng tàu thủy so với bộ điều khiển PID truyền thống. Nghiên cứu này cung cấp một hướng tiếp cận mới cho việc phát triển các thế hệ lái tàu tự hành thông minh trong tương lai.

Từ khóa: Tàu thủy tự hành; hệ thống lái tàu thủy; điều khiển học lặp; mô hình động lực học tàu thủy.

ABSTRACT

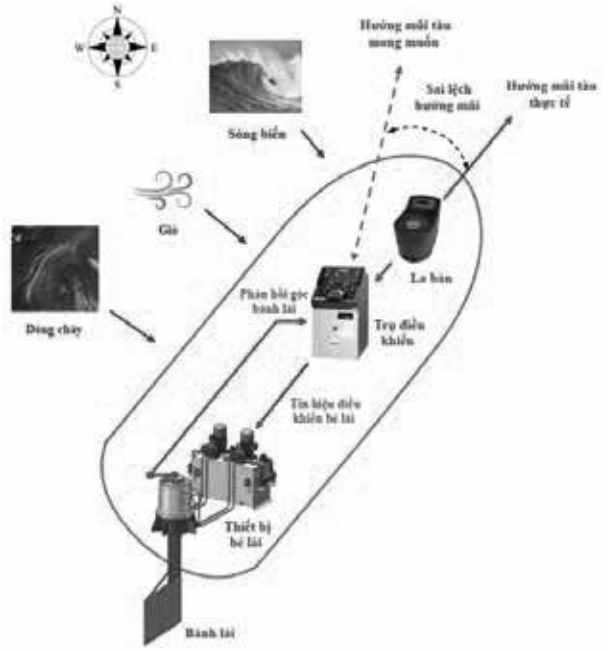
In the future, to achieve fully autonomous ship control, autopilot systems will require higher precision and adaptability than current PID steering systems, which face significant limitations when dealing with environmental disturbances and modeling uncertainties. In this study, we propose an Iterative Learning Control (ILC) algorithm to enhance the course-keeping performance of ship steering systems. Unlike traditional PID algorithms, ILC utilizes information from previous operating cycles to adjust the rudder control signals, effectively eliminating tracking errors in subsequent iterations. To validate the proposed algorithm, simulations were conducted on MATLAB. The results demonstrate that the ILC algorithm achieves superior course-keeping efficiency compared to traditional PID controllers. This research provides a new approach for developing the next generation of intelligent autonomous ship steering systems.

Keywords: Autonomous ship; ship steering system; iterative learning control; ship dynamic model.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong những năm gần đây, các nghiên cứu về tàu thủy tự hành không người lái đã thu hút được sự quan tâm của nhiều nhà nghiên cứu, nhiều quốc gia trên thế giới như một lĩnh vực hót về đóng tàu và vận tải hàng hải. Trong tương lai, các tàu thủy tự hành không người lái có thể thực hiện các nhiệm vụ quan trọng như: Tìm kiếm cứu nạn ở các vùng biển có thời tiết khắc nghiệt; thực hiện các công việc ngầm dưới mặt nước phức tạp; bảo vệ môi trường biển… Để có thể điều khiển được các tàu thủy tự hành cần thiết phải có hệ thống lái tàu (Hình 1) có đủ hiệu quả cần tính toán đến các yếu tố ngoại cảnh, độ sâu, lực cản…, do vậy nghiên cứu và phát triển các hệ thống lái luôn nhận được sự quan tâm của các nhà nghiên cứu.

Xét về lý thuyết, để thiết kế được hệ thống lái tàu tự động cần thiết phải biết được mô hình toán học của đối tượng điều khiển, từ mô hình toán sẽ phát sinh ra các bài toán khác nhau về tự động điều khiển. Trong nghiên cứu [3, 4], các bộ điều khiển PID đã được đề xuất cho hệ thống lái tàu thủy, ưu điểm của hệ thống điều khiển là đơn giản, dễ hiệu chỉnh. Tuy nhiên, với bộ điều khiển này thường xuyên sẽ có những lượng quá điều chỉnh và thời gian đi vào ổn định dài gây chất lượng chưa được tốt trong quá trình điều khiển. Bên cạnh đó, khi tham số của hệ thống điều khiển thay đổi, chất lượng điều khiển của hệ thống cũng không được tốt. Dựa trên tiếp cận điều khiển thích nghi theo mô hình mẫu [5], một hệ thống điều khiển đã được đề xuất cho hệ thống lái tàu thủy tự hành kết hợp với logic mờ.



Hình 1. Sơ đồ tổng quan hệ thống lái tàu thủy

Phương pháp điều khiển mô hình dự đoán [6] được nghiên cứu mang lại những kết quả tích cực. Trong nghiên cứu [7], một hệ thống điều khiển tự động đã được đề xuất cho hệ thống lái tàu thủy tự hành để cập đến hai chong chóng động lực. Nghiên cứu [8] ứng dụng bộ điều khiển thích nghi logic mờ, trong nghiên cứu này logic mờ được đề cập để giải quyết bài toán tính không chắc chắn của mô hình tàu và nhiễu ngoài tác dụng. Mặt khác, các nghiên cứu [9, 10, 11] đề xuất các bộ điều khiển cuốn chiếu để giải bài toán lái tàu tự động giữ hướng, tuy nhiên việc sử dụng phương pháp điều khiển này sẽ gặp phải bài toán phức tạp khi phải tính tín hiệu ảo trên nhiều bước, do vậy gây ra sự phức tạp trong hệ thống điều khiển. Ngoài ra, điều khiển trượt trong [12] cũng được ứng dụng trong hệ thống lái tàu thủy tự động với những ưu điểm nhất định. Hạn chế của bộ điều khiển này là tồn tại hiện tượng rung có thể gây ra ảnh hưởng tiêu cực đến hệ thống.

Mặc dù những nghiên cứu nêu trên đã thu được nhiều kết quả đáng kể, tuy nhiên việc ứng dụng các luật điều khiển hiện đại như trên vào thực tiễn gặp nhiều thách thức vì yêu cầu phải trang bị nhiều loại cảm biến hiện đại và khối lượng tính toán phức tạp. Do đó, trong nghiên cứu này, chúng tôi đề xuất một thuật toán điều khiển dựa trên lý thuyết điều khiển học lặp cho hệ thống lái tàu thủy tự động. Bộ điều khiển với thuật toán đề xuất cho phép nâng cao hiệu quả giữ hướng tàu thủy tự động so với bộ điều khiển PID truyền thống nhờ khả năng học lặp. Bên cạnh đó, việc ứng dụng thuật toán điều khiển này là khả thi với các tàu biển hiện nay cũng như các tàu thủy tự hành trong tương lai.

2. MÔ HÌNH ĐỘNG LỰC HỌC HỆ THỐNG LÁI TÀU THỦY

Để thiết kế hệ thống tự động lái tàu theo hướng, cần phải biết được mô hình động lực học (mô hình toán học) của con tàu. Cho đến nay, mô hình nổi tiếng nhất được dùng để xây dựng hệ thống máy lái tàu thủy tự động là mô hình Nomoto [2, 13], cụ thể mô hình thể hiện mối quan hệ động học giữa góc bẻ bánh lái (δ) và góc hướng mũi tàu (Ψ) ở dạng hàm truyền:

$$\frac{\psi(s)}{\delta(s)} = \frac{K(1+T_3 s)}{s(1+T_1 s)(1+T_2 s)} \quad (1)$$

Trong đó, các tham số K, T_1, T_2, T_3 đặc trưng cho động học của tàu, với mỗi tàu khác nhau các tham số động học này sẽ khác nhau. Để đơn giản hóa trong việc thiết kế bộ điều khiển cho máy lái tự động tàu thủy, người ta thường xuyên sử dụng mô hình động học dưới đây:

$$\frac{\psi(s)}{\delta(s)} = \frac{K}{s(1+Ts)} \quad (2)$$

Trong mô hình (2) này, các hệ số K và T này cũng là các tham số động lực học. Để tìm các tham số này, người ta có thể xây dựng mô hình vật lý thu nhỏ của con tàu hoặc sử dụng tàu thực. Bằng cách cho tàu quay trở hết một vòng với điều kiện cho góc bẻ bánh lái δ cố định và ghi lại tất cả các giá trị góc hướng tàu (Ψ) thay đổi theo thời gian, sau đó sử dụng phương pháp bình phương nhỏ nhất để khớp các bộ dữ liệu thu được sẽ tính toán được các hệ số K và T này.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng mô hình (2) để thiết kế luật điều khiển học lặp cho hệ thống lái tàu thủy tự động. Cần chuyển mô hình (2) sang dạng không gian trạng thái và rời rạc hóa theo các bước thời gian.

3. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN VÀ PHÂN TÍCH TÍNH HỘI TỤ

Đặt $x_1 = \psi, x_2 = \dot{\psi} = r$, mô hình (2) được chuyển sang dạng không gian trạng thái và rời rạc như sau:

$$\begin{cases} \underline{x}(\tau+1) = A\underline{x}(\tau) + \underline{b}u(\tau) \\ y(\tau) = \underline{c}^T \underline{x}(\tau) \end{cases} \quad (3)$$

Trong đó: $\underline{x} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}, \underline{b} = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix}, \underline{c} = \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \end{pmatrix}$. Mô hình (3) là mô hình rời rạc của mô hình hàm truyền (2) với $\tau = 0, 1, \ldots N$, trong đó N là tỉ số T/T_S có T_S là chu kỳ lấy mẫu tín hiệu. Như vậy, tại lần thử thứ k, ánh xạ $f(\,)$ mô tả quan hệ vào ra của hệ là:

$$f(): u_k(\tau) \mapsto \underline{c}^T A^\tau \underline{x}_k(0) + \sum_{i=0}^{\tau-1} \underline{c}^T A^{\tau-i-1} \underline{b} u_k(i) \quad (4)$$

Sử dụng hàm học tuyến tính kiểu PD cho hệ thống (3) như sau:

$$u_{k+1}(i) = u_k(i) + K_P e_k(i) + K_d e_k(i+1) \quad (5)$$

Thay hàm học (5) vào hệ thống (3) ở lần thử thứ k, sai lệch bám hướng tàu sẽ là:

$$e_{k+1}(\tau) = (1 - \underline{c}^T \underline{b} K_d) e_k(\tau) - \sum_{i=0}^{\tau-1} \underline{c}^T A^{\tau-i-1} \underline{b} K_P e_k(i) - \sum_{i=0}^{\tau-2} \underline{c}^T A^{\tau-i-1} \underline{b} K_d e_k(i+1) \quad (6)$$

Từ (6), ta suy ra:

$$\begin{pmatrix} e_{k+1}(0) \\ e_{k+1}(1) \\ \ldots\ldots\ldots \\ e_{k+1}(N) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 - \underline{c}^T \underline{b} K_d & 0 & \ldots & 0 \\ \underline{c}^T \underline{b} K_P & 1 - \underline{c}^T \underline{b} K_d & \ldots & 0 \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ -\underline{c}^T A^{N-1} \underline{b} K_P & -\underline{c}^T A^{N-2} (K_P + A K_d) \underline{b} K_d & \ldots & 1 - \underline{c}^T \underline{b} K_d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e_k(0) \\ e_k(1) \\ \ldots\ldots\ldots \\ e_k(N) \end{pmatrix} \quad (7)$$

Hay viết dưới dạng:

$$\underline{e}_{k+1}^{Pd} = (I - \phi_{Pd}) \underline{e}_k^{Pd} \quad (8)$$

Trong đó:

$$\underline{e}_k^{Pd} = \begin{pmatrix} e_k(0) \\ e_k(1) \\ \ldots\ldots\ldots \\ e_k(N) \end{pmatrix}$$

và $\phi_{Pd} = \left(\varphi_{ij}^{Pd}\right)$, i, j = 1, 2, ..., N+1 là ma trận vuông có các phần tử φ_{ij}^{Pd} được xác định theo hệ thức:

$$\varphi_{ij}^{Pd} = \begin{cases} 0 & \text{khi } i < j \\ \underline{c}^T \underline{b} K_d & \text{khi } i = j \\ \underline{c}^T A^{i-j-1} (K_P + A K_d) \underline{b} & \text{khi } i > j \end{cases} \quad (9)$$

Từ hệ thức (8), ta suy ra:

$$\left\| \underline{e}_{k+1}^{Pd} \right\| \le \left\| (I - \phi_{Pd}) \right\| \left\| \underline{e}_k^{Pd} \right\| \quad (10)$$

Để có được $\left\| \underline{e}_{k+1}^{Pd} \right\| \le \left\| \underline{e}_k^{Pd} \right\|$ ta cần điều kiện như sau:

$$\left\| (I - \phi_{Pd}) \right\| < 1 \quad (11)$$

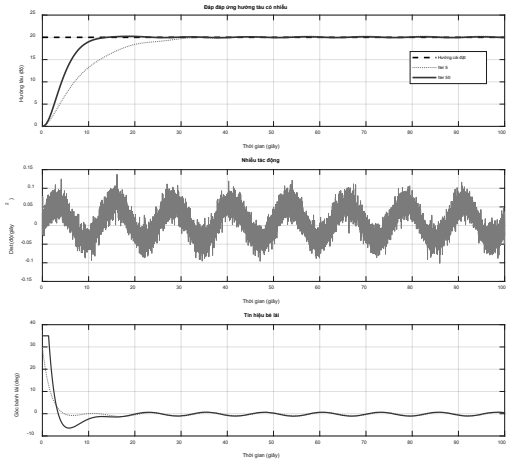
Theo điều kiện (11), hệ thống điều khiển tàu thủy tự động với bộ điều khiển học lặp theo kiểu PD sẽ đảm bảo hội tụ, tức là các sai số sẽ tiến về 0 với các bước học đủ lớn.

Như vậy, có thể thấy rằng, với thuật toán điều khiển học lặp đề xuất trong hệ thức (5), bộ điều khiển có cấu trúc đơn giản và dễ dàng được cài đặt trong các hệ thống lái tàu thủy tự động ngày nay.

4. MÔ PHỎNG SỐ

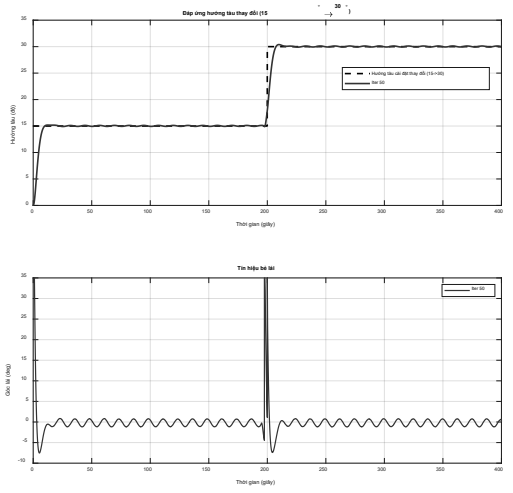
Để kiểm chứng tính khả thi của thuật toán điều khiển học lặp cho hệ thống lái tàu thủy tự động, mô phỏng số được thực hiện trên MATLAB. Tham số mô hình động lực học hệ thống [2] lần lượt là K = 0,5 và T = 10. Hàm học được lựa chọn theo kiểu PD với các tham số: K_p = 1,5; K_d = 1,2; nhiễu tác động tổng hợp bởi hàm d = 0,05. sin(0,5t)+0,02.w(t) + 0,01 với w(t) là nhiễu trắng với phương sai 1. Góc bánh lái được giới hạn 35 độ về hai phía. Mô phỏng được thực hiện với hai kịch bản giữ hướng và thay đổi hướng, cụ thể:

Kịch bản 1: Tàu được yêu cầu giữ hướng 20 độ, thời gian mô phỏng là 100 giây, thời gian lấy mẫu là 0,01 giây. Hình 2 chỉ ra kết quả bám hướng đi cài đặt theo yêu cầu, theo đó hiệu quả bám hướng đạt tốt nhất tại lần học 50 với thời gian ổn định tại 14 giây so với 32 giây của lần học thứ 5.



Hình 2. Kết quả điều khiển tàu thủy giữ hướng 20 độ với bộ điều khiển ILC

Kịch bản 2: Tàu được yêu cầu thay đổi hướng từ 15 độ sang 30 độ, thời gian mô phỏng là 400 giây, thời gian lấy mẫu là 0,01 giây như kịch bản 1. Hình 3 chỉ ra kết quả bám khi thay đổi hướng bám ở lần học thứ 50, theo đó ở giai đoạn 1 khi tàu bám hướng 15 độ, hiệu quả bám tốt, trong khi khi chuyển sang bám hướng 30 độ ở giây thứ 200 có xu hướng bị quá điều chỉnh một lượng nhỏ.



Hình 3. Kết quả điều khiển đổi hướng từ 15 độ sang 30 độ với bộ điều khiển ILC

Từ các kết quả trên, có thể thấy rằng hiệu quả điều khiển lái tàu thủy tự động bằng thuật toán điều khiển học lặp là rất tốt ngay cả khi nhiễu ngoại cảnh cũng như sai số trong mô hình tác động. Vì luật điều khiển học lặp phụ thuộc vào sai số bám hướng tàu thực tế ở những bước học trước, do vậy nó hoạt động không phụ thuộc hoàn toàn vào mô hình của hệ thống. Ngoài ra, so với các thuật toán trước đây, thuật toán cũng không yêu cầu quá nhiều cảm biến và khối lượng tính toán phức tạp, do vậy thuật toán điều khiển học lặp có tính khả thi để áp dụng trên các tàu thủy cũng như tàu thủy tự hành không người lái trong tương lai.

5. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đã đề xuất một bộ điều khiển học lặp cho hệ thống lái tàu thủy tự động. Bộ điều khiển học lặp có thể học và chỉnh định tín hiệu điều khiển sau mỗi bước học để đưa sai số bám hướng tàu về bằng 0. Vì tính đơn giản và thông minh của thuật toán điều khiển, bộ điều khiển có tính khả thi để được ứng dụng trong các tàu thủy hiện tại cũng như tàu thủy không người lái trong tương lai. Kết quả mô phỏng số đã kiểm chứng được hiệu quả của bộ điều khiển đề xuất. Trong những nghiên cứu tiếp theo, chúng tôi sẽ thực hiện tích hợp các kỹ thuật hiện đại khác như: thích nghi, bộ quan sát… vào luật điều khiển học lặp để giải quyết các bài toán khác nhau trong hệ thống tự động lái tàu thủy.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong Đề tài mã số: DT.25-26.04.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Nguyễn Thu Hà, Nguyễn Hoài Nam, Nguyễn Doãn Phước. Điều khiển học lặp. NXB. Đại học Bách khoa Hà Nội, 2021.

[2] TS Nguyễn Văn Sướng. Tự động điều khiển tàu thủy. NXB. Đại học Hàng hải, 2021.

[3] Roberts GN, Sutton R, Zirilli A, et al. Intelligent ship autopilots: a historical perspective. Mechatronics 2003; 13: 1091-1103.

[4] Das S and Talole SE. Robust steering autopilot design for marine surface vessels. IEEE J Oceanic Eng, 41: 913-922, 2016.

[5] Yang Y, Zhou C and Ren J. Model reference adaptive robust fuzzy control for ship steering autopilot with uncertain nonlinear systems. Appl Soft Comp J, 3: 305-316, 2003.

[6] Park JH, Shim HW, Jun BH, et al. A model estimation and multi-variable control of an unmanned surface vehicle with two fixed thrusters. In: Oceans, Sydney, NSW, Australia, 24-27, pp. 1-5, New York: IEEE, May 2010.

[7] Sharma SK, Sutton R, Motwani A, et al. Non-linear control algorithms for an unmanned surface vehicle. Proc IMechE, Part M: J Engineering for the Maritime Environment, 228: 146-155, 2014.

[8] Wang N, Er MJ, Sun JC, et al. Adaptive robust online constructive fuzzy control of a complex surface vehicle system. IEEE T Cybernetics, 46: 1511-1523, 2015.

[9] Xia G, Wu H and Shao X. Adaptive filtering backstepping for ships steering control without velocity measurements and with input constraints. Math Probl Eng, 1-9, 2014.

[10] Witkowska A and S´ mierzchalski R. Designing a ship course controller by applying the adaptive backstepping method. Int J Appl Math Comp, 22: 985-997, 2012.

[11] Liao YL, Pang YJ and Zhuang JY. Backstepping adaptive sliding mode control for unmanned surface vessel course tracking with water-jet-propelled. Appl Res Comp, 29: 82-84. 2012.

[12] Liu Z. Ship adaptive course keeping control with nonlinear disturbance observer. IEEE Access 2017, 5:17567-17575.

[13] Fossen. Thor. I.. Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and motion control. John Wiley & Sons Ltd, 2011.

■Ngày nhận bài: 16/3/2026 ■Ngày sửa bài: 31/3/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 08/4/2026

Áp dụng thiết bị đo lưu lượng khối lượng Corilois trên tàu biển để phục vụ công tác chuyển đổi số cho ngành Hàng hải

Applying mass flowmeter Corilois technology in Vietnam's ship to support digital transformation in Maritime services

> PGS.TS TRẦN HỒNG HÀ*, TS PHAN TRUNG KIÊN, THS ĐỖ THỊ HIỀN
Trường Đại học Hàng hải Việt Nam
*Email: tranhongha@vimaru.edu.vn

TÓM TẮT

Chuyển đổi số là nền tảng trong chiến lược của Việt Nam nhằm nâng cao hiệu quả vận tải và tính bền vững của ngành Hàng hải. Trọng tâm của quá trình chuyển đổi này là việc giám sát tiêu thụ nhiên liệu theo thời gian thực - một yếu tố thiết yếu để tối ưu hóa kinh tế và môi trường. Nghiên cứu này khảo sát việc ứng dụng công nghệ đồng hồ đo lưu lượng khối lượng dựa trên nguyên lý Coriolis để thiết lập cơ sở dữ liệu có độ trung thực cao cho các mô hình dự báo tiêu thụ nhiên liệu. Khác với các hệ thống đo thể tích truyền thống, công nghệ Coriolis cung cấp các phép đo khối lượng trực tiếp, đóng vai trò là đầu vào đáng tin cậy cho các mô hình học máy. Việc tích hợp dữ liệu của đồng hồ đo vào các nền tảng kỹ thuật số giúp giảm đáng kể sự sai lệch trong vận hành và loại bỏ các lỗi báo cáo thủ công. Kết quả nghiên cứu cho thấy các tham số thu được từ thiết bị Coriolis giúp tăng cường độ chính xác của mô hình rừng ngẫu nhiên (RF), cho phép tối ưu hóa hành trình và theo dõi phát thải một cách chính xác. Nghiên cứu này cung cấp một lộ trình thực tiễn cho việc chuyển đổi số tích hợp MFM-IoT trong hạ tầng hàng hải của Việt Nam.

Từ khóa: Thiết bị đo lưu lượng khối lượng; mô hình rừng ngẫu nhiên; IoT.

ABSTRACT

Digitalization is a cornerstone of Vietnam's strategy to enhance maritime operational efficiency and sustainability. Central to this transformation is real-time fuel consumption monitoring, which is essential for economic and environmental optimization. This study investigates the application of Coriolis-based Mass Flowmeter (MFM) technology to establish a high-fidelity data baseline for fuel consumption predictive models. Unlike traditional volumetric systems, Coriolis technology provides direct mass measurements, serving as robust inputs for machine learning models. Integrating MFM data into digital platforms significantly reduces operational discrepancies and eliminates manual reporting errors. Our findings demonstrate that Coriolis-derived parameters enhance the accuracy of Random Forest (RF) models, enabling precise voyage optimization and emissions tracking. This research provides a practical roadmap for the MFM-IoT integrated digital transformation of Vietnam's maritime infrastructure.

Keywords: Mass flowmeter; random forest; IoT.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Vận tải hàng hải Việt Nam là xương sống của nền kinh tế đất nước, ngành vận tải hàng hải Việt Nam chịu trách nhiệm vận chuyển hơn 90% lượng hàng hóa xuất nhập khẩu. Trong bối cảnh chuyển dịch toàn cầu hướng tới cuộc cách mạng công nghiệp 4.0, Chính phủ đã thiết lập yêu cầu chuyển đổi số cho tất cả các ngành vận tải nhằm nâng cao năng lực cạnh tranh, giảm phát thải và tuân thủ các tiêu chuẩn hàng hải quốc tế. Việc giám sát tiêu thụ nhiên liệu tàu biển hiện vẫn chưa phổ biến trong hoạt động khai thác tàu tại Việt Nam. Các loại máy đo lưu lượng thể tích điển hình hoặc phương pháp đo thủ công thường gặp sai số do sự thay đổi nhiệt độ, tỷ trọng và độ nhớt của nhiên liệu hàng hải. Hạn chế này là nguyên nhân dẫn đến quản lý nhiên liệu kém hiệu quả, gây ra các tranh chấp trong hoạt động cấp dầu (bunkering) và các vấn đề về theo dõi

phát thải. Máy đo lưu lượng khối lượng (MFM), đặc biệt là hệ thống dựa trên nguyên lý Coriolis, cung cấp một phương thức đáng tin cậy và chính xác để đo khối lượng nhiên liệu theo thời gian thực.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Trong lĩnh vực quản lý năng lượng hàng hải, các máy đo lưu lượng thể tích truyền thống thường bộc lộ hạn chế do quy trình chuyển đổi gián tiếp sang lưu lượng khối lượng qua các hệ số hiệu chỉnh nhiệt độ và tỷ trọng. Các nghiên cứu gần đây chỉ ra rằng phương pháp này có độ nhạy rất cao đối với sự giãn nở nhiệt, hiện tượng xâm thực khí, biến thiên độ nhớt và sai lệch hiệu chuẩn, dẫn đến độ không đảm bảo đo lớn và sai số hệ thống trong dữ liệu tiêu thụ thực tế [1-3]. Ngược lại, máy đo lưu lượng khối lượng (MFM) dựa trên nguyên lý Coriolis được đánh giá là công nghệ ưu việt nhất nhờ khả năng đo trực tiếp thông qua độ lệch pha của ống rung, giúp duy trì tính ổn định bất chấp biến động về áp suất, nhiệt độ và đặc tính chất lỏng [4-7]. Đặc tính này đặc biệt quan trọng trong môi trường vận hành động của tàu biển, nơi tải trọng thay đổi liên tục gây ra sự biến thiên nhanh chóng của dòng nhiên liệu. Với độ chính xác đạt dưới 0,5% ngay cả trong điều kiện dòng đa pha hoặc nhiễu loạn cơ học [6, 9, 12], công nghệ Coriolis đã được chuẩn hóa theo các khung API và ISO nhằm phục vụ giao nhận thương mại và giám sát hydrocacbon [8-11]. Bên cạnh đó, việc tích hợp cảm biến nhiệt độ và phân tích tần số cộng hưởng cho phép bù nhiệt tự động và xác định tỷ trọng thời gian thực [7, 13]. Sự kết hợp giữa dữ liệu MFM chính xác và các nền tảng kỹ thuật số hiện đại (2021 - 2025) không chỉ hỗ trợ tối ưu hóa hiệu quả nhiên liệu và tuân thủ các quy định phát thải IMO DCS/CII, mà còn là công cụ đắc lực trong việc phát hiện sớm các bất thường như rò rỉ hoặc thất thoát nhiên liệu [14-15].



Hình 1. Tàu Navigator



Hình 2. Hệ thống đo nhiên liệu trên tàu

3. HỆ THỐNG ĐO LƯỜNG VÀ GIÁM SÁT NHIÊN LIỆU

3.1. Hệ thống đo lường nhiên liệu

Tàu MV. Navigator như Hình 1 được trang bị máy đo lưu lượng khối lượng (Mass Flowmeter - MFM) để giám sát tiêu thụ nhiên liệu của máy chính. Điểm ưu việt của thiết kế này nằm ở khả năng tính toán lưu lượng khối lượng theo thời gian thực, cho phép xác định chính xác lượng nhiên liệu thực tế tại mọi thời điểm vận hành. Khác với các phương pháp truyền thống, công nghệ MFM tự động triệt tiêu các sai số do biến động nhiệt độ, áp suất và độ nhớt của nhiên liệu trong thời gian dài, cung cấp nguồn dữ liệu đầu vào có độ tin cậy cao cho hệ thống.

Thiết bị đo lưu lượng khối lượng (Mass Flowmeter - MFM) là thiết bị đo trực tiếp khối lượng chất lưu trên một đơn vị thời gian. So với máy đo thể tích truyền thống, MFM Coriolis ưu việt hơn nhờ khả năng đo lường chính xác mà không phụ thuộc vào các biến số về nhiệt độ, áp suất hay độ nhớt. Đây là công nghệ then chốt trong hàng hải và hàng không nhằm tối ưu hóa hiệu suất động cơ và kiểm soát phát thải. Thiết bị hoạt động dựa trên hiệu ứng lực Coriolis phát sinh khi chất lưu chuyển động trong một hệ quy chiếu dao động (ống đo).

Lực Coriolis Fc: Khi chất lưu có khối lượng m di chuyển với vận tốc v trong ống rung có vận tốc góc tức thời Ω, lực Coriolis được xác định theo công thức:

$$F_c = -2m (\Omega \times v) \quad (1)$$

Độ lệch pha Δt: Lực Coriolis tác động ngược chiều nhau tại đầu vào và đầu ra của ống, tạo ra mô-men xoắn τ và gây ra sự trễ thời gian (lệch pha) giữa các điểm dao động. Lưu lượng khối lượng m tỷ lệ thuận với độ lệch pha này:

$$\dot{m} = C\Delta t \quad (2)$$

Ngoài đo lưu lượng, thiết bị còn xác định tỷ trọng chất lưu ρ dựa trên tần số dao động tự nhiên (f) của ống đo. Hệ thống được xem như một mô hình lò xo - khối lượng, nơi tần số cộng hưởng thay đổi nghịch biến với tổng khối lượng chất lưu trong ống:

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m_{tube} + m_{fluid}}} \quad (3)$$

Trong đó: f là tần số rung cộng hưởng (Hz); k là độ cứng của ống; m_{tube} là khối lượng của ống rỗng; m_{fluid} là khối lượng của chất lỏng trong ống.

3.2. Phần mềm giám sát nhiên liệu

Lưu lượng nhiên liệu được xác định chính xác bởi thiết bị đo lưu lượng khối lượng như trong Hình 3, sau đó dữ liệu được truyền qua giao thức RS-485 về bộ ghi dữ liệu (data logger/hộp đen) tại phòng điều khiển trung tâm (Hình 4). Với chu kỳ lấy mẫu 5 giây/lần, hệ thống đảm bảo tính duy trì và liên tục trong công tác giám sát. Thông qua cổng kết nối IoT Gateway, dữ liệu được đồng bộ hóa theo thời gian thực lên máy chủ trên bờ.

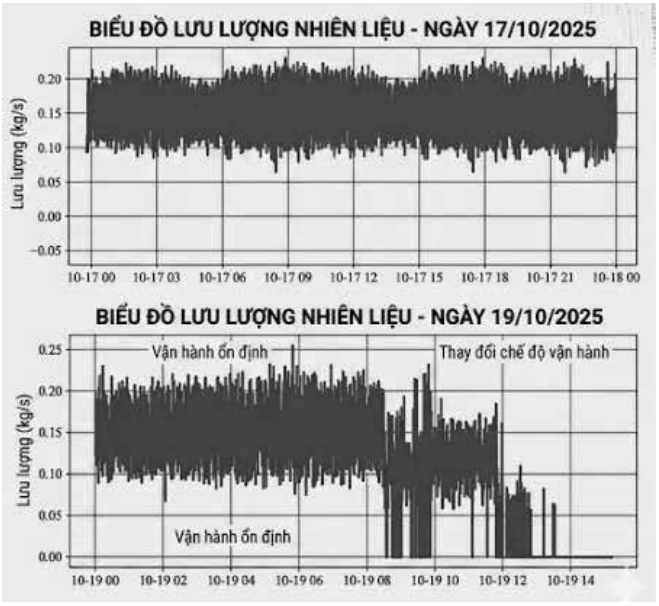
Quá trình chuyển đổi số và truyền dẫn dữ liệu từ tàu Navigator về trung tâm giám sát trên bờ đối mặt với các nguy cơ về an ninh mạng. Để bảo vệ tính toàn vẹn của dữ liệu nhiên liệu phục vụ báo cáo tuân thủ IMO DCS và CII, hệ thống áp dụng chiến lược bảo mật đa tầng. Toàn bộ dữ liệu từ IoT Gateway được đóng gói và mã hóa bằng giao thức TLS (Transport Layer Security) trước khi truyền qua vệ tinh hoặc mạng di động. Sử dụng giao thức MQTT kết hợp với chứng chỉ xác thực X.509 để đảm bảo chỉ các thiết bị được cấp phép mới có quyền gửi dữ liệu lên máy chủ. Hệ thống quản trị trên bờ áp dụng cơ chế xác thực hai lớp (2FA) cho người dùng truy cập phần mềm giám sát. Mọi thay đổi hoặc can thiệp vào cấu hình thiết bị đo đều được ghi lại trong nhật ký hệ thống để phục vụ công tác hậu kiểm của các tổ chức đăng kiểm. Dữ liệu thu thập tại hộp đen trên tàu được gán nhãn thời gian và mã băm để đảm bảo không bị chỉnh sửa trước khi đồng bộ hóa lên hệ thống Cloud. Điều này giúp loại bỏ hoàn toàn các sai số do can thiệp thủ công, tạo lập "nguồn sự thật duy nhất" cho công tác quản lý năng lượng.



Hình 3. Thiết bị đo lưu lượng khối lượng



Hình 4. Phần mềm giám sát nhiên liệu



Hình 5. Dữ liệu đo theo thời gian thực

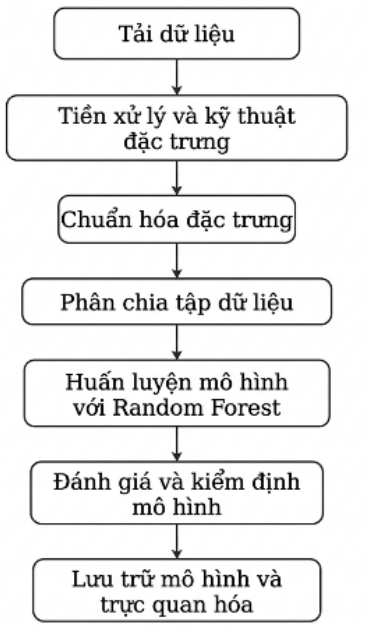
Hình 5 minh họa hồ sơ tiêu thụ nhiên liệu của tàu trong giai đoạn tiếp cận cảng và đi vào luồng hàng hải. Dữ liệu cho thấy sự sụt giảm rõ rệt trong mức tiêu thụ, tương quan thuận với quá trình giảm tốc độ tàu và vòng quay động cơ RPM. Trong giai đoạn điều động nội cảng, tàu duy trì vận tốc thấp ổn định cho đến khi dừng hẳn. Việc ghi lại và trực quan hóa dữ liệu liên tục trong suốt hành trình không chỉ đảm bảo tính nhất quán mà còn cung cấp cơ sở dữ liệu độ phân giải cao để theo dõi sát sao định mức tiêu hao thực tế.

4. DỰ BÁO TIÊU THỤ NHIÊN LIỆU

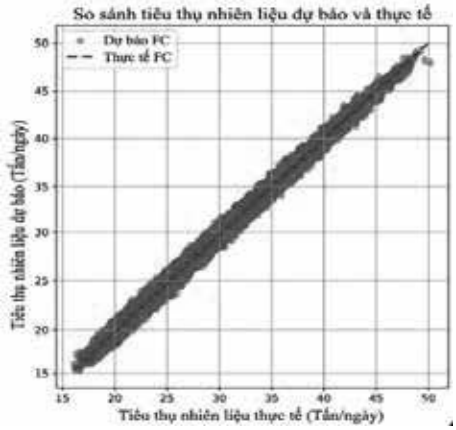
4.1. Xây dựng mô hình dự báo nhiên liệu

Mức độ sử dụng năng lượng nhiên liệu của tàu chở hàng trong mỗi giai đoạn hành trình được dự báo bằng khung học máy hướng dữ liệu dựa trên thuật toán rừng ngẫu nhiên (Random Forest - RF). Mô hình được huấn luyện trên cơ sở dữ liệu vận hành với hơn 100.000 bản ghi từ nhật ký tàu, thu thập dọc theo các tuyến vận tải container Bắc - Nam. Mỗi bản ghi trong tập dữ liệu bao gồm các điều kiện hành trình chi tiết và các thông số vận hành liên quan (tốc độ tàu, tải trọng động cơ, thời tiết môi trường, trạng thái biển, cường độ dòng chảy và khối lượng hàng hóa). Để mô hình hóa các mối quan hệ phi tuyến tính giữa các điều kiện này, mô hình Random Forest đã được sử dụng để đưa ra các ước tính đáng tin cậy về mức tiêu thụ năng lượng nhiên liệu cho các chuyến hành trình tiếp theo.

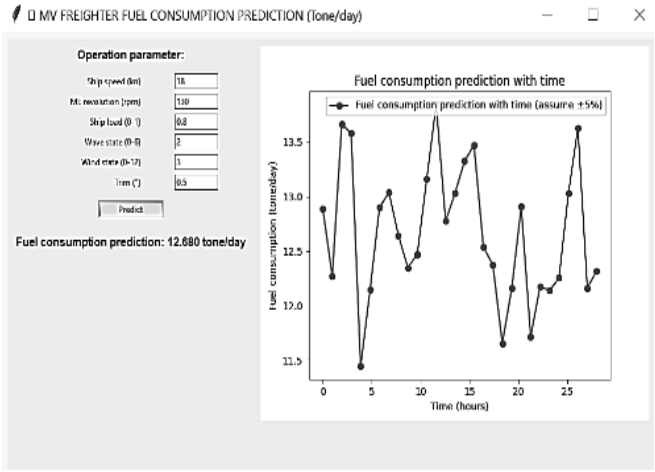
Hệ thống có cấu trúc này cho phép đảm bảo tính tin cậy, khả năng tái lập và tính diễn giải của hệ thống ước tính tiêu thụ nhiên liệu trong các điều kiện hàng hải khác nhau. Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã sử dụng mô hình hồi quy Random Forest với khả năng dự báo tốt để dự đoán mức tiêu thụ nhiên liệu của tàu biển. Các thước đo định lượng để đánh giá dữ liệu được rút ra từ quá trình kiểm định chéo (cross-validation) và các tập dữ liệu kiểm thử độc lập. Bài báo trình bày việc sử dụng mô hình để dự báo mức tiêu thụ nhiên liệu hàng ngày dựa trên các điều kiện môi trường vận hành. Tham số mục tiêu là lượng nhiên liệu (tấn/ngày). Các biến dự báo bao gồm tốc độ tàu (speed, knots), vòng quay máy chính (RPM), tỷ suất tải (load ratio), trạng thái biển, cấp gió và độ chúi (trim).



Hình 6. Lưu đồ thuật toán



Hình 7. Kết quả huấn luyện



Hình 8. Phần mềm dự báo nhiên liệu

4.2. Phương pháp thu thập và tiền xử lý dữ liệu

Việc giám sát lưu lượng khối lượng trực tiếp thông qua công nghệ Coriolis trong phân tích động lực học tàu thủy là yếu tố thiết yếu để đạt được dữ liệu nhiên liệu có độ trung thực cao, thay thế cho các phép đo thể tích truyền thống. Chúng tôi ưu tiên máy đo lưu lượng Coriolis vì chúng thu thập trực tiếp lưu lượng khối lượng bằng cách khai thác độ lệch pha của các ống rung - một nguyên lý cơ bản không bị ảnh hưởng bởi sự biến động của các đặc tính vật lý của nhiên liệu.

Trên tàu, các biến số như sự thay đổi tỷ trọng do nhiệt độ và thay đổi độ nhớt thường làm giảm độ chính xác của các cảm biến truyền thống. Bằng cách cung cấp chỉ số dựa trên khối lượng liên tục, hệ thống Coriolis loại bỏ nhu cầu bù tỷ trọng thủ công, đảm bảo rằng mối tương quan giữa tốc độ tàu và định mức nhiên liệu được dựa trên các phép đo vật lý tuyệt đối thay vì thể tích ước tính. Hiệu chỉnh tín hiệu và tinh lọc tập dữ liệu: Dữ liệu thô từ buồng máy hiếm khi ở trạng thái "sẵn sàng phân tích" do môi trường rung động cao và các trạng thái vận hành nhất thời đặc thù của vận tải biển.

4.3. Huấn luyện mô hình

Để xây dựng một khung dự báo mạnh mẽ, tập dữ liệu đã tinh lọc được phân chia theo chiến lược kiểm định 80/20 (Hold-out validation), đảm bảo khối lượng dữ liệu đủ lớn để huấn luyện mô hình trong khi vẫn giữ lại một phần có ý nghĩa thống kê để đánh giá hiệu suất khách quan, các bước huấn luyện như trong lưu đồ. Kiến trúc dự báo cốt lõi sử dụng mô hình hồi quy rừng ngẫu nhiên (Hình 6), một kỹ thuật học máy tập hợp (ensemble learning) được lựa chọn vì khả năng phục hồi vốn có trước tính phi tuyến tính đa chiều đặc trưng của dữ liệu vận hành hàng hải. Cấu hình mô hình bao gồm 200 cây quyết định cá thể, mỗi cây được xây dựng thông qua quá trình lấy mẫu tái lập. Bằng cách huấn luyện mỗi cây trên một tập con dữ liệu duy nhất được lấy mẫu ngẫu nhiên có thay thế, thuật toán đưa vào một yếu tố ngẫu nhiên giúp loại bỏ sự tương quan giữa các bộ học cá thể. Phương pháp này cực kỳ quan trọng để giảm thiểu hiện tượng quá khớp, một lỗi phổ biến khi xử lý các biến số phức tạp và phụ thuộc lẫn nhau của hệ thống đẩy tàu.

4.4. Đánh giá mô hình

Sử dụng thư viện joblib, mô hình đã huấn luyện và bộ chuẩn hóa liên quan được tuần tự hóa để phục vụ mục tiêu tái lập và triển khai trong tương lai. Để đánh giá độ chính xác, một biểu đồ phân tán so sánh mức tiêu thụ nhiên liệu thực tế với dự báo đã được lập; các điểm dữ liệu nằm dọc theo đường chéo (y = x) cho thấy sự đồng nhất giữa dữ liệu dự báo và dữ liệu quan sát. Hình 7 trình bày biểu đồ phân tán giữa tiêu thụ nhiên liệu dự báo và thực tế. Trục hoành (x) là lượng nhiên liệu tiêu thụ thực tế và trục tung (y) là lượng nhiên liệu dự báo (tấn/ngày). Các điểm dữ liệu bám sát đường đứt nét màu đỏ, đại diện cho trường hợp lý tưởng khi dự báo trùng khớp hoàn toàn với thực tế, cho thấy mô hình đạt độ chính xác rất cao. Sai số tuyệt đối trung bình (MAE) thu được từ quá trình kiểm định chéo 5 lớp và dữ liệu kiểm thử độc lập là 0,084 tấn/ngày. Điều này có nghĩa là, tính trung bình, khoảng cách dự báo so với mức tiêu thụ thực tế thấp hơn 0,1 tấn/ngày. Sai số cực thấp này xác nhận mô hình có tính bền vững và nhất quán ngay cả trên các phân đoạn dữ liệu chưa từng quan sát. Hệ số xác định (R^2) đạt 0,97, đồng nghĩa với việc gần 97% sự biến thiên của giá trị tiêu thụ nhiên liệu thực tế hiện tại có thể được giải thích bởi các đầu vào gồm: Tốc độ tàu, vòng quay động cơ, tỷ suất tải, trạng thái biển, cấp gió và góc chúi. Giá trị R^2 này khẳng định hiệu suất vượt trội của mô hình Random Forest trong việc tái hiện những mối quan hệ phi tuyến tính phức tạp giữa dữ liệu vận hành và môi trường.

5. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Dự báo mức tiêu thụ nhiên liệu được ước tính theo từng ngày và theo chuyến hành trình, dựa trên các yếu tố: Tải trọng, vòng quay máy chính, tốc độ tàu, độ chúi và điều kiện thời tiết biển (Hình 8). Sự biến thiên của tiêu thụ nhiên liệu theo tốc độ tàu. Kết quả dự báo khi so sánh với số liệu thực tế từ máy đo lưu lượng khối lượng chỉ chênh lệch khoảng 0,2 - 0,3%. Điều này chứng minh phần mềm có độ chính xác dự báo rất hợp lý. Phần mềm dự báo nhiên liệu đóng vai trò then chốt trong việc nâng cao chức năng vận hành và hiệu suất tàu trong mọi kịch bản môi trường. Thông qua các cảm biến thời gian thực (bao gồm tải trọng động cơ, tốc độ tàu, mớn nước, trạng thái sóng, tốc độ gió và hướng dòng chảy), phần mềm có thể cung cấp các ước tính tiêu thụ nhiên liệu tin cậy cho từng giai đoạn của chuyến đi. Ngoài ra, hệ thống có thể áp dụng các thuật toán học máy và mô hình hiệu suất lịch sử để mô phỏng các kịch bản vận hành khác nhau với tốc độ, tuyến đường, thời tiết và tải trọng hàng hóa khác nhau. Tính năng này cho phép thuyền viên và các quản lý kỹ thuật đánh giá các phương án hành trình thay thế để chọn ra chế độ vận hành kinh tế và hiệu quả nhất. Hơn nữa, khả năng dự báo của phần mềm cho phép nhận diện sớm các đặc điểm tiêu thụ nhiên liệu bất thường hoặc sự suy giảm hiệu suất vận hành, từ đó chủ động điều chỉnh kỹ thuật và lập kế hoạch bảo trì. Các kết quả phân tích nhấn mạnh vào việc tối ưu hóa hành trình, giảm phát thải carbon và tuân thủ các tiêu chuẩn hiệu quả năng lượng quốc tế, bao gồm Chỉ số Hiệu quả Năng lượng đối với tàu hiện có (EEXI) và Chỉ số Cường độ Carbon (CII).

Để kiểm tra tính phù hợp và độ tin cậy của chương trình dự báo, một thử nghiệm có cấu trúc đã được thực hiện bằng cách thay đổi các tham số như tốc độ tàu, góc chúi hoặc mớn nước trong khi giữ nguyên các điều kiện vận hành khác. Những thay đổi rời rạc này cho thấy phần mềm đại diện chính xác cho đặc tính nhiên liệu thực tế ở quy mô thế giới khi các tham số cụ thể sai lệch đáng kể so với mức cơ sở. Tiếp theo, chúng tôi kiểm chứng kết quả dự báo với các phép đo thực tế từ máy đo lưu lượng trên tàu để đánh giá tính bền vững, độ nhạy và giá trị thực tiễn của mô hình dự báo.

Bảng 1. Các thông số vận hành và định mức tiêu thụ nhiên liệu tương ứng tại các tốc độ tàu khác nhau

NO	Ship speed (Knot)	ME revolution (rpm)	Ship load (%)	Wave state	Wind state	Trim	Fuel consumption (T/hrs.)
1	12	140	0.8	3	3	0.5	11.725
2	12.5	140	0.8	3	3	0.5	11.819
3	13	140	0.8	3	3	0.5	11.830
4	13.5	140	0.8	3	3	0.5	11.861
5	14	140	0.8	3	3	0.5	11.925
6	14.5	140	0.8	3	3	0.5	12.256
7	15	140	0.8	3	3	0.5	12.281
8	15.5	140	0.8	3	3	0.5	12.282
9	16	140	0.8	3	3	0.5	12.376
10	16.5	140	0.8	3	3	0.5	12.410

Bảng 2. Các thông số vận hành và định mức tiêu thụ nhiên liệu tương ứng tại các độ chúi (trim) khác nhau

NO	Ship speed (Knot)	ME revolution (rpm)	Ship load (%)	Wave state	Wind state	Trim	Fuel consumption (T/hrs.)
1	14	140	0.8	3	3	0	11.907
2	14	140	0.8	3	3	0.1	11.906
3	14	140	0.8	3	3	0.2	11.906
4	14	140	0.8	3	3	0.3	11.911
5	14	140	0.8	3	3	0.4	11.921
6	14	140	0.8	3	3	0.5	11.925
7	14	140	0.8	3	3	-0.1	11.908
8	14	140	0.8	3	3	-0.2	11.905
9	14	140	0.8	3	3	-0.3	11.909
10	14	140	0.8	3	3	-0.4	11.917
11	14	140	0.8	3	3	-0.5	11.923

Bảng 1 trình bày định mức tiêu thụ nhiên liệu dự báo của tàu trong các điều kiện tốc độ khai thác khác nhau với các thông số vận hành không đổi: Vòng quay máy chính 140 RPM, tải trọng tàu 80%, trạng thái sóng cấp 3, cấp gió 3 và độ chúi (trim) 0,5 m. Dữ liệu từ Bảng 1 cho thấy mức tiêu thụ nhiên liệu tăng nhẹ từ 11,725 T/giờ tại tốc độ 12 hải lý lên 11,925 T/giờ tại 14 hải lý, cho thấy nhu cầu nhiên liệu chỉ tăng ở mức khiêm tốn trong dải tốc độ từ thấp đến trung bình. Tuy nhiên, mức tiêu thụ tăng vọt khi tốc độ vượt quá 14 hải lý, đạt 12,356 T/giờ tại 15 hải lý và tiếp tục tăng nhanh lên 12,410 T/giờ tại 16,5 hải lý. Hình 10 tiết lộ rằng xu hướng này không tuyến tính, trong khi mức tiêu thụ nhiên liệu tăng chậm theo tốc độ tàu ở dải thấp, nó sẽ tăng đáng kể khi tàu vượt ngưỡng 14 - 15 hải lý. Phát hiện này hoàn toàn phù hợp với các đặc tính chung của sức cản thủy động lực học. Kết quả tổng thể cho thấy mức tiêu thụ nhiên liệu cực kỳ nhạy cảm với sự gia tăng tốc độ ở dải vận hành cao, khẳng định nhu cầu tối ưu hóa tốc độ hành trình để đạt được sự cân bằng giữa hiệu suất vận hành và chi phí nhiên liệu.

Bảng 2 trình bày hồ sơ tiêu thụ nhiên liệu của tàu ở tốc độ khai thác không đổi 14 hải lý với cùng mức tải trọng, vòng quay máy chính và điều kiện môi trường. Chỉ có thông số độ chúi (trim) được điều chỉnh để khảo sát tác động đến hiệu suất đẩy. Kết quả cho thấy một xu hướng hệ thống: Mức tiêu thụ nhiên liệu có xu hướng giảm xuống giá trị tối thiểu 11,898 T/giờ sau khi hiệu chỉnh độ chúi từ 0,0 m xuống khoảng -0,3 m. Vượt qua điểm tối ưu này, mức tiêu thụ nhiên liệu leo thang, đạt 11,923 T/giờ tại độ chúi -0,5 m. Những kết quả này chỉ ra rằng một độ chúi đuôi nhỏ giúp tăng cường hiệu suất thủy động lực học trong điều kiện vận hành này, nhiều khả năng là do cải thiện sức cản tổng thể. Các phát hiện này nhấn mạnh việc tối ưu hóa độ chúi là giải pháp then chốt để nâng cao hiệu suất nhiên liệu ở tốc độ ổn định.

6. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã minh họa khả năng triển khai công nghệ máy đo lưu lượng khối lượng (MFM) và phần mềm dự báo nhiên liệu trên đội tàu của Việt Nam. Giải pháp này là sự kết hợp giữa đo lường lưu lượng độ chính xác cao và mô hình dự báo thông minh, giúp giám sát và dự đoán chính xác mức tiêu thụ nhiên liệu trong các điều kiện vận hành và môi trường khác nhau. Kết quả tiêu thụ nhiên liệu được tính toán theo mô hình dự báo tương thích rất tốt với các giá trị đo thực tế từ MFM trong hầu hết các phép đo; mức tiêu thụ nhiên liệu tính toán có độ lệch trung bình chỉ từ 0,2 - 0,3%, cho thấy hệ thống đề xuất có tính hợp lệ và ổn định cao.

Việc thu thập dữ liệu liên tục và phân tích theo thời gian thực giúp phát hiện sớm các dấu hiệu sử dụng nhiên liệu bất thường, tối ưu hóa hiệu suất động cơ và nâng cao hiệu quả tổng thể của chuyến hành trình. Vượt ra ngoài tính khả thi về mặt kỹ thuật, các công nghệ này khi được tích hợp sẽ cho phép ra quyết định dựa trên dữ liệu và quản lý năng lượng minh bạch, giúp giảm phát thải carbon cũng như hỗ trợ đáp ứng các tiêu chuẩn quốc tế về tuân thủ EEXI và CII. Hệ thống còn mang lại những lợi ích đáng kể từ góc độ an toàn vận hành, hiệu quả kinh tế và tính bền vững lâu dài trong lĩnh vực vận tải hàng hải.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam với Đề tài mã số DT25-26.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Smith, J. et al. Uncertainty analysis in volumetric fuel measurement. Journal of Marine Engineering, 2018.

[2] Brown, A. Metrological challenges in maritime fuel systems. Metrologia, 2020.

[3] Johnson, R. Systematic bias in shipboard fuel reporting. Maritime Policy & Management, 2016.

[4] Miller, T. Coriolis flowmeters: Principles and industrial applications. Flow Measurement and Instrumentation, 2019.

[5] Garcia, M. et al. Experimental validation of Coriolis meters in marine environments. Marine Technology, 2021.

[6] Zhao, Y. Uncertainty assessment of mass flow measurement under transient flow. Measurement, 2022.

[7] White, S. Density and temperature compensation in modern MFMs. Sensors & Actuators, 2023.

[8] Lee, K. Vibration effects on Coriolis meter performance on offshore platforms. Ocean Engineering, 2020.

[9] Park, D. Robustness of fuel monitoring systems under shipboard flow disturbances. International Journal of Naval Architecture, 2021.

[10] Thompson, L. Field performance of Coriolis mass flowmeters in oil & gas custody transfer. Journal of Petroleum Science, 2018.

[11] ISO 22192. Bunkering of marine fuel using the Coriolis mass flow meter (MFM) system, 2021.

[12] Nguyen, V. et al. Calibration of high-precision MFMs for the Vietnamese fleet. Journal of Maritime Research, 2024.

[13] Synology Inc. Data Logger Technical Specifications for Marine IoT, 2025.

[14] IMO DCS & CII Guidelines. Standardization of fuel data collection for global emissions compliance, 2023.

[15] Chen, H. IoT-based energy management systems for smart shipping. IEEE Internet of Things Journal, 2024.

■Ngày nhận bài: 11/3/2026 ■Ngày sửa bài: 24/3/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 09/4/2026

Nghiên cứu xây dựng chương trình xác định vị trí tàu bằng phương pháp thiên văn đáp ứng tiêu chuẩn STCW 78/2010

Study on developing a ship positioning program astronomical methods meeting STCW 78/2010 standards

> PGS.TS NGUYỄN THÁI DƯƠNG*, THS NGUYỄN ĐÌNH HẢI, THS NGUYỄN ANH TUẤN
Trường Đại học Hàng hải Việt Nam
*Email: nguyenthaiduong@vimaru.edu.vn

TÓM TẮT

Xu hướng hàng hải hiện đại, tàu biển sẽ trang bị hai hệ thống thông tin và hiển thị hải đồ điện tử ECDIS. Xác định vị trí tàu bằng phương pháp thiên văn là phương pháp định vị dự phòng khi hàng hải xa bờ, mất tín hiệu GNSS. Trong các trường hợp khẩn cấp này, yêu cầu đối với việc xác định vị trí tàu bằng phương pháp thiên văn là: Đơn giản, nhanh chóng và có độ chính xác chấp nhận được. Trong bài báo, nhóm tác giả tập trung nghiên cứu, đề xuất chương trình xác định vị trí tàu bằng phương pháp thiên văn dựa trên hệ công thức mới, đáp ứng các yêu cầu thực tiễn và các tiêu chuẩn của Công ước STCW 78/2010.

Từ khóa: Vị trí dự đoán; vị trí dự tính; vị trí xác định; vị trí thiên văn; phương pháp hiệu độ cao thiên thể.

ABSTRACT

In modern navigation trends, ships are equipped with two Electronic Chart and Display and Information Systems (ECDIS). Celestial navigation is a backup method for offshore navigation when The Global Navigation Satellite System (GNSS) signals are lost. In these emergency situations, the requirements for celestial navigation are simplicity, speed and acceptable accuracy. This paper focuses on researching and proposing a program for determining ship position using celestial bodies based on a new formular systems, meeting practical requirements and the standards of the STCW 78/2010 Convention.

Keywords: Dead reckoning DR; estimated position EP; fix position FP; Astronomical Vessel Position AVP; intercept method.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nội dung sửa đổi năm 2010 của Công ước Quốc tế về tiêu chuẩn đào tạo, chứng nhận và trực ca cho thuyền viên (STCW 78/2010) có bổ sung thêm Mục 19, Phần B-II/1, Chương II về "Huấn luyện nghiệp vụ hàng hải thiên văn" [1]. Sự bổ sung này xuất phát từ thực tế, khi xu hướng tàu biển chạy tuyến quốc tế sẽ bỏ hải đồ giấy, sử dụng hai hệ thống thông tin và hiển thị hải đồ điện tử (ECDIS) độc lập. Để hoạt động, hệ thống ECDIS cần có kết nối tiếp nhận vị trí xác định từ hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu (GPS).

Trong trường hợp tàu hành trình xa bờ, mất tín hiệu GPS, hệ thống ECDIS buộc phải chuyển chế độ thủ công (Manual), sử dụng vị trí dự đoán (DP). Vị trí dự đoán DP sai số lớn và sai số có tính tích lũy, do vậy cần có vị trí xác định để kiểm tra chéo, hiệu chỉnh vị trí dự đoán. Tuy nhiên, trong trường hợp này, không có mục tiêu địa văn nên vị trí tàu xác định bằng phương pháp thiên văn là thật sự cần thiết.

Một vấn đề khác cần quan tâm trong giai đoạn gần đây là hiện tượng gây nhiễu và giả mạo tín hiệu GPS (GPS Spoofing), khi tàu biển đi qua khu vực như: Biển Đỏ, biển Sudan, Đông Địa Trung Hải, biển Đen, vùng biển ven bờ Trung Quốc và Vịnh Ba Tư (các vùng biển này thường nằm gần các khu vực đang có xung đột địa chính trị). Khi xảy ra hiện tượng này, tàu biển có thể bị mất tín hiệu GPS hoặc vị trí GPS không tin cậy. Do vậy, cần phải có phương pháp xác định vị trí tàu độc lập để kiểm tra chéo vị trí GPS, đặc biệt là vị trí GPS nhận được lại sau khi mất tín hiệu một khoảng thời gian nhất định. Sau khoảng thời gian mất tín hiệu GPS (ví dụ 1 ca biển 4 giờ), máy thu GPS có tín hiệu trở lại. Tuy nhiên, vị trí nhận được có độ tin cậy không cao vì không thể xác định được hệ thống có bị ảnh hưởng

của hiện tượng nhiễu và giả mạo hay không. Trong trường hợp đặc biệt này, vị trí tàu xác định bằng phương pháp thiên văn là duy nhất và thật sự cần thiết khi hàng hải ở vùng biển xa bờ, ngoài tầm hoạt động của radar hàng hải.

2. PHƯƠNG PHÁP HIỆU ĐỘ CAO THIÊN THỂ (INTERCEPT METHOD)

Bài toán thiên văn xác định vị trí tàu truyền thống bao gồm các bước cơ bản sau:

2.1. Xác định thời điểm quan trắc

Thời điểm quan trắc cần phải đạt được hai yêu cầu để có thể đo độ cao thiên thể bằng Sextant.

- Thiên thể xuất hiện trên bầu trời và thuận lợi cho việc quan trắc;
- Đường chân trời phải rõ nét.

Đây là thời điểm bình minh và hoàng hôn hàng hải, khoảng thời gian này được xác định dựa vào lịch thiên văn hàng hải. Về lý thuyết, khoảng thời gian này là 24 phút, tuy nhiên, thực tế cho phép quan trắc thiên thể vào khoảng 30 phút.

2.2. Lập bầu trời sao và chọn sao

Khoảng thời gian bình minh và hoàng hôn hàng hải không quá 30 phút, chỉ đủ để đo độ cao thiên thể. Do vậy, trước khi đến thời điểm quan trắc thiên thể, sĩ quan hàng hải phải lập bầu trời sao và chọn sao để xác định trước các thông tin sau:

- Các thiên thể trên bầu trời có thể quan trắc được vào thời điểm xác định vị trí tàu (bình minh/hoàng hôn hàng hải): Để thực hiện yêu cầu này có thể sử dụng đĩa tìm sao hoặc phần mềm Star Finder [2].

- Lựa chọn các thiên thể sẽ đo độ cao để xác định vị trí tàu: Thiên thể dùng để xác định vị trí tàu phải có độ sáng đảm bảo dễ quan trắc và góc phương vị tới các thiên thể, vào khoảng 30^0 - 120^0, trường hợp xác định bằng hai sao - góc kẹp 90^0 là tốt nhất, ba sao - góc kẹp 120^0 tốt nhất. Trên đĩa tìm sao hỗ trợ dấu hiệu các sao cấp 1, 2, 3, lựa chọn sao cấp 1 hoặc cấp 2, nếu không được có thể dùng sao cấp 3, việc lựa chọn góc phương vị tương tự như mục tiêu địa văn [3].

- Xác định độ cao và phương vị gần đúng của các thiên thể sẽ quan trắc: Tọa độ các thiên thể trên đĩa phụ được thiết lập trên cơ sở sử dụng hệ tọa độ chân trời nên có thể xác định độ cao và phương vị gần đúng của các thiên thể sẽ quan trắc bằng cách đo đạc trực tiếp [4].

Ví dụ: Lập bầu trời sao, lựa chọn và xác định độ cao và phương vị gần đúng của 3 sao.

Bảng 1. Độ cao và phương vị gần đúng thiên thể

Star	Approx. Azimuth	Approx. Altitude
Arturus	105^0	60^0
Alioth	160^0	40^0
Vega	220^0	55^0

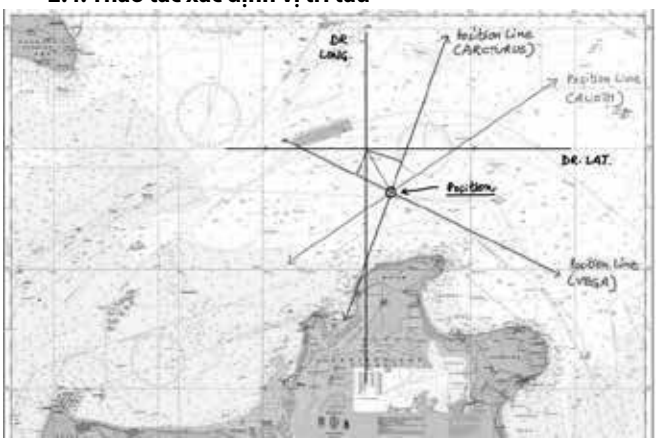
2.3. Đo độ cao thiên thể

Đến thời điểm Bình minh/Hoàng hôn hàng hải, tiến hành đo độ cao thiên thể, hiệu chỉnh độ cao đo để có độ cao thật (hs). Sử dụng bảng toán hàng hải hoặc lịch thiên văn xác định độ cao (hc) và phương vị tính (Ac) [5].

Các yếu tố vẽ đường cao vị trí được xác định:

- Vị trí dự đoán DR;
- Hiệu độ cao: $\Delta h = h_s - h_c$;
- Phương vị tới thiên thể: Ac.

2.4. Thao tác xác định vị trí tàu



Hình1. Vị trí tàu xác định bằng 3 sao đồng thời

3. PHƯƠNG PHÁP THIÊN VĂN XÁC ĐỊNH VỊ TRÍ TÀU KHÔNG SỬ DỤNG HIỆU ĐỘ CAO THIÊN THỂ

3.1. Công thức tính độ cao và phương vị thiên thể khi áp dụng phương pháp hiệu độ cao

Thiên văn truyền thống, yêu cầu về độ chính xác của vị trí tàu xác định bằng quan trắc độ cao thiên thể là vấn đề được đặt lên hàng đầu. Tuy nhiên, hàng hải hiện đại ngày nay, việc xác định vị trí tàu bằng phương pháp thiên văn với mục tiêu là có vị trí tàu độc lập để kiểm tra chéo, nâng cao độ tin cậy của vị trí dự đoán DP hoặc vị trí GPS nên việc xác định vị trí tàu nhanh chóng và đơn giản cũng không kém phần quan trọng [6].

Để đáp ứng tiêu chí mới theo tiêu chuẩn trong Công ước STCW 78/2010, bài báo tập trung nghiên cứu phương pháp tính toán trực tiếp tọa độ vị trí tàu dựa trên kết quả quan trắc thiên thể trực tiếp bằng Sextant hoặc sử dụng độ cao thiên thể gần đúng từ phần mềm chọn sao (Star Finder). Trên cơ sở đó, xây dựng chương trình tính toán xác định vị trí tàu trên máy tính nhanh chóng, đơn giản, phù hợp với điều kiện làm việc của sĩ quan trực ca trên tàu biển [7].

Phương pháp Hiệu độ cao (Intercept Method) chọn vị trí giả định (AP) gần vị trí xác xuất nhất (MPP) là vị trí tham chiếu xác định độ cao tính (Hc) và phương vị tính (Ac) của thiên thể. Áp dụng hệ công thức thiên văn sinh, cotA tính độ cao và phương vị thiên thể (độ cao và phương vị thật) [8].

$$\sinh_c = \sin\varphi.\sin\delta + \cos\varphi.\cos\delta.\cos t_L \quad (1)$$

$$tanAc = \frac{\sin t_L}{\cos\varphi.\tan\delta - \sin\varphi.\cos t_L} \quad (2)$$

3.2. Hệ công thức xác định các yếu tố đường vị trí không sử dụng hiệu độ cao

Thực tế, phương trình (1) và (2) thường được sử dụng để lập bảng toán hàng hải (Sight reduction table) phục vụ công tác dẫn tàu, ví dụ Bảng toán No. 229. Vị trí giả định (AP) để tra bảng toán là phần nguyên của kinh vĩ độ vị trí tàu tuân thủ cấu trúc của bảng toán. Quá trình tính toán bắt đầu bằng việc lựa chọn vị trí tham khảo ban đầu là: Vị trí dự đoán (Dead Reckoning - DR) hoặc vị trí dự tính (Estimated Position - EP). Việc chọn vị trí giả định (AP) cần đảm bảo khoảng cách từ vị trí giả định (AP) đến vị trí thật của tàu không được vượt quá 30 hải lý. Sử dụng phương pháp tính phù hợp, yêu cầu trên có thể được giải quyết và độ chính xác của vị trí thiên văn (AVP) được

nâng cao bằng phương pháp lặp. Đó là, khi khoảng cách từ vị trí xác định (AVP) đến vị trí giả định (AP) lớn hơn 30 hải lý, coi vị trí xác định (AVP) là vị trí giả định (AP) và tiến hành xác định lại vị trí tàu. Phương pháp tính toán cho phép xác định phương vị tới thiên thể và đường vị trí vuông góc với phương vị tính có thể xác định bằng các công thức lượng giác cầu đã có. Như vậy, đường phương vị tới thiên thể và đường vị trí LOP có thể thao tác từ vị trí tham chiếu. Nói cách khác, phương pháp đề xuất có thể thao tác đường vị trí LOP không cần hiệu độ cao (Intercept). Phương pháp tính toán thực hiện theo các bước sau [9]:

Hệ công thức tính toán thao tác đường vị trí LOP không cần hiệu độ cao:

$$sint_L = \frac{cosh_S.sinAc}{cos\delta} \quad (3)$$

$$sinh_S = sin\varphi.sint_L + cos\varphi.cos\delta.cost_L \quad (4)$$

Trong công thức (3) và (4), A_c : Phương vị tính xác định theo phương trình (2); t_L: Góc giờ địa phương của thiên thể tính theo công thức (3); φ: Vĩ độ vị trí tàu tính theo công thức (4) [10].

Chia hai vế của phương trình (4) cho sinδ:

$$\frac{sinh_S}{sin\delta} = sin\varphi + \frac{cos\varphi.cost_L}{tan\delta} \quad (5)$$

Đặt:

$$tan\theta = \frac{cost_L}{tan\delta} \quad (6)$$

Thay (6) vào (5) và nhân cả hai vế với cosθ, rút gọn ta có:

$$\sin(L+\theta) = \frac{sinh_S.cos\theta}{sin\delta} \quad (7)$$

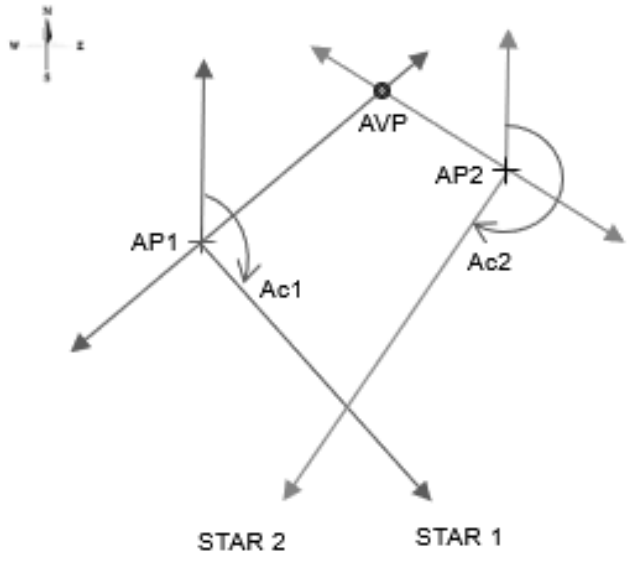
Bài toán xác định đường vị trí thiên văn không cần tính hiệu độ cao thiên thể tiến hành theo các bước sau [11]:

Bước 1: Phương vị tính xác định theo phương trình (2).

Bước 2: Kinh độ vị trí tàu (AVP) tính theo phương trình (1).

Bước 3: Vĩ độ vị trí tàu (AVP) tính theo phương trình (1) và (7).

Bước 4: Từ vị trí thiên văn AVP xác định theo bước 2 và bước 3 vẽ đường phương vị Ac tính trong bước 1. Đường vị trí LOP là đường qua AVP và vuông góc với phương vị Ac.



Hình 2. Vị trí thiên văn xác định bằng hai sao

4. KẾT LUẬN

Trong bài báo, nhóm tác giả đã nghiên cứu, đánh giá về độ chính xác, thời gian, khả năng thực hiện của phương pháp xác định vị trí tàu bằng quan trắc thiên thể truyền thống (phương pháp Saint Hilaire), trên cơ sở các tiêu chuẩn trong nội dung sửa đổi năm 2010 của Công ước Quốc tế về tiêu chuẩn huấn luyện, cấp chứng chỉ và trực ca cho thuyền viên 1978 sửa đổi 2010; đồng thời tìm hiểu yêu cầu hiện nay về vị trí thiên văn, trong điều kiện thực tế, hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu (GNSS) đã phát triển vượt bậc. Trên cơ sở nghiên cứu, nhóm tác giả nhận định yêu cầu đối với vị trí thiên văn khác trước đây, vấn đề quan trọng là phải có vị trí nhanh, thực hiện đơn giản, độ chính xác chấp nhận được. Đặc biệt là trong tình hình hiện nay, chiến tranh xảy ra tại nhiều khu vực trên toàn thế giới. Do vậy, các hệ thống định vị vệ tinh không có tính độc lập, sóng vệ tinh bị gây nhiễu, đặc biệt nguy hiểm khi có hiện tượng tín hiệu vệ tinh giả do các mục đích khác nhau. Góp phần giải quyết vấn đề này, nhóm tác giả đã nghiên cứu, đề xuất hệ công thức toán học và xây dựng chương trình xác định vị trí tàu bằng phương pháp thiên văn nhanh chóng, đơn giản và hiệu quả.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong Đề tài mã số DT25-26.01.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] IMO. International Convention on Standards of Training. Certification and Watchkeeping for Seafarers, 1978, as amended in 2010.

[2] Bowditch, N. American Practical Navigator. DMAH/TC, Washington, 2002.

[3] Robin-Jouan, Y. The Method of Coplanar Vertices for Astronomical Positioning: Present Applications and Future Extensions. NAVIGATION, Journal of The Institute of Navigation, 46, 235-248. 1999.

[4] Chen, C. L. New Computational Approaches for Solving the Great Circle Sailing and Astronomical Vessel Position. Ph.D. Dissertation, Institute of Civil Engineering, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, 2003.

[5] Nathaniel Bowditch. The American Practical Navigator. National Imagery and Mapping Agency, Bethesda, Maryland, 2002.

[6] David Burch. Celestial Navigation. Starpath Publications, 2010.

[7] Thai Duong Nguyen. Evaluation of the accuracy of the ship location determined by GPS global positioning system on a given sea area. Journal of Physics: Conference Series, vol. 1515, 2020.

[8] Nguyễn Cảnh Sơn, Nguyễn Thái Dương. Thiên văn hàng hải. NXB. Hàng hải.

[9] Steven J. Miller. The Method of Least SquaresMathematics. Department Brown University Providence, RI 02912.

[10] Nguyễn Thái Dương. Xác định vị trí tàu bằng phương pháp bình phương nhỏ nhất hiệu độ cao thiên thể. Tạp chí Khoa học công nghệ hàng hải, số 65, tháng 01/2021.

[11] Nguyễn Thái Dương. Nghiên cứu phương pháp xác định vị trí tàu bằng quan trắc đồng thời độ cao và phương vị Mặt Trời. Tạp chí Khoa học Công nghệ hàng hải, số 66, tháng 4/2021.

■Ngày nhận bài: 11/3/2026 ■Ngày sửa bài: 24/3/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 09/4/2026

Phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu quả vận hành TBM qua tuyến ĐSĐT Nhổn - Ga Hà Nội

Analysis of factors affecting the operational efficiency of TBM on the Nhon - Hanoi Station metro line

> TS ĐOÀN TÙNG
Trường Đại học Xây dựng Hà Nội; Email: tungd@huce.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo phân tích các yếu tố kỹ thuật và địa chất ảnh hưởng đến hiệu quả vận hành máy khoan hầm cân bằng áp lực đất (EPB TBM) sử dụng tại dự án đường sắt đô thị (ĐSĐT) Nhổn - Ga Hà Nội. Kết quả cho thấy cấu hình TBM còn bộc lộ hạn chế khi làm việc trong điều kiện mặt gương hỗn hợp. Sự thiếu hụt mô-men xoắn và năng lực phun rửa trung tâm làm gia tăng hiện tượng bết dính trong các đới sét dẻo, đồng thời làm giảm tốc độ đào khi gặp đới cát sỏi và sỏi cuội có tính mài mòn cao. Trên cơ sở phân tích điều kiện địa chất, thông số thiết bị và dữ liệu vận hành, bài báo tổng hợp các điều chỉnh vận hành tại hiện trường và đề xuất một số hướng cải tiến thiết kế, giám sát và bảo dưỡng, gồm tăng mô-men xoắn, nâng cấp hệ thống xịt rửa và nâng cao tính linh hoạt của cụm dao cắt, nhằm nâng cao hiệu quả và độ an toàn cho các dự án hầm ngầm sau này.

Từ khóa: Máy khoan hầm TBM; cân bằng áp lực đất (EPB); gương đào hỗn hợp; mài mòn dao cắt; bết dính; Nhổn - Ga Hà Nội.

ABSTRACT

This paper analyzes the technical and geological factors affecting the operational efficiency of the Earth Pressure Balance Tunnel Boring Machine (EPB TBM) used in the Nhon - Hanoi Station Metro Line project. The results show that the TBM configuration still exhibited certain limitations when operating under mixed-face ground conditions. Insufficient torque and inadequate central flushing capacity increased the risk of clogging in plastic clay zones, while also reducing excavation speed in abrasive sand-gravel and cobble-bearing strata. Based on an analysis of geological conditions, machine specifications, and operational data, the paper summarizes the on-site operational adjustments adopted during construction and proposes several directions for improving design, monitoring, and maintenance, including increasing torque capacity, upgrading the flushing system, and enhancing the flexibility of the cutting tool arrangement, in order to improve efficiency and safety for future underground projects.

Keywords: Tunnel Boring Machine (TBM); Earth Pressure Balance (EPB); Mixed-face ground; Cutter wear; Clogging; Nhon - Hanoi Station.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Thi công hầm bằng khiên đào TBM hiện là giải pháp chủ đạo cho các tuyến ĐSĐT đi ngầm. Tuy nhiên, tại dự án Nhổn - Ga Hà Nội, tuyến hầm đi qua nền địa chất phân tầng xen kẹp phức tạp và chịu áp lực nước ngầm lớn. Trong thực tế thi công, khi gặp trạng thái mặt gương hỗn hợp giữa đất sét dẻo và sỏi cuội cứng, TBM phát sinh nhiều sự cố như mòn phẳng dao cắt, kẹt mâm cắt và giảm tốc độ đào. Nguyên nhân không chỉ nằm ở tính chất phức tạp của địa tầng mà còn ở độ chênh giữa điều kiện thực tế và năng lực cơ học của thiết bị. Việc vận hành một cỗ máy thiên về đất mềm trong môi trường xen kẹp vì vậy đòi hỏi phải điều chỉnh liên tục. Bài báo tập trung phân tích mối quan hệ giữa điều kiện địa chất và giới hạn công suất của TBM [7], [9], [11].

Việc cả hai máy TBM hoàn thành khoan hầm và về đích an toàn là kết quả đáng ghi nhận của dự án. Dù vậy, với tính chất là một trong những công trình hầm ngầm bằng khiên đào đầu tiên tại Hà Nội, quá trình vận hành thực tế khó tránh khỏi những vướng mắc. Mục tiêu của bài báo là nhìn lại các khó khăn đã phát sinh, làm rõ nguyên nhân sự cố và đánh giá hiệu quả của các giải pháp vận hành hiện có. Từ những bài học đó, nghiên cứu đề xuất định hướng cải tiến cấu hình thiết bị cho các dự án hầm ngầm tiếp theo tại Hà Nội.

2. TỔNG QUAN DỰ ÁN VÀ THÔNG SỐ TBM

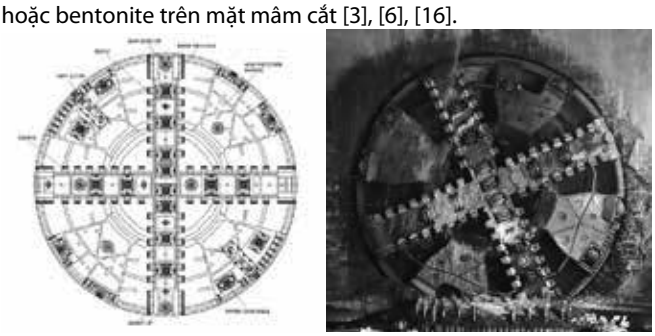
2.1. Tổng quan dự án Nhổn - Ga Hà Nội

Dự án ĐSĐT Nhổn - Ga Hà Nội (tuyến số 3) là công trình hạ tầng trọng điểm của Hà Nội, dài khoảng 12,5 km, gồm 8 ga trên cao và 4 ga ngầm. Đoạn đi ngầm dài khoảng 3,6 - 4,0 km đi qua khu vực nội đô đông dân cư và được thi công bằng TBM trong điều kiện địa chất phức tạp, đồng thời phải kiểm soát chặt chẽ lún bề mặt, tiếng ồn và ảnh hưởng đến công trình lân cận [17], [18], [19].

2.2. Cấu tạo đầu cắt (Cutterhead)

Đầu cắt của máy có đường kính 6.580 mm, tỷ lệ mở (opening ratio) khoảng 40% - 42%. Hệ thống dao đào gồm 14 răng cào (ripper teeth), 6 răng cào biên (ripper teeth gauge), 52 răng cạo (scraper) và 8 gầu vớt (bucket lip), đều phù hợp cho đất mềm (Hình 1). Ổ giữ dao được thiết kế linh hoạt, cho phép thay bằng dao đĩa lăn (cutting disc) khi gặp địa chất cứng hoặc khi đào qua tường vây nhà ga. Các

dụng cụ cắt được bọc hợp kim các-bua vonfram, còn các vị trí chịu mài mòn lớn trên đầu cắt được gia cường bằng thép WNM400 và HARDOX. Hệ thống xịt rửa gồm 1 vòi trung tâm cùng 8 vòi phun bọt hoặc bentonite trên mặt mâm cắt [3], [6], [16].



Hình 1. Đầu cắt TBM Tuyến ĐSĐT Nhổn - Ga Hà Nội: Bản vẽ cấu tạo và hình ảnh thực tế. Nguồn: [3], [5]

2.3. Thông số động lực học

Lực đẩy (thrust) và mô-men xoắn (torque) là hai thông số quyết định khả năng cắt gọt địa tầng và vượt qua ma sát. Tại dự án này, TBM có lực đẩy thiết kế tối đa 42.575 kN từ 32 xi-lanh, mỗi xi-lanh đạt 1.330 kN, trong khi lực đẩy tính toán cần thiết vào khoảng 20.509 kN. Mô-men xoắn định mức của máy là 3.663 kNm, có thể tăng lên 5.018 kNm trong trường hợp ngoại lệ và đạt 5.384 kNm ở chế độ đột phá, nhờ hệ dẫn động gồm 8 động cơ điện với tổng công suất 1.280 kW. Tốc độ quay mâm cắt tối đa đạt 4,5 - 4,55 vòng/phút; tốc độ đào lý thuyết là 60 mm/phút, nhưng tốc độ trung bình thực tế chỉ khoảng 25 mm/phút [4], [5], [6].

2.4. Chế độ vận hành và hệ thống xả thải

Để bảo đảm ổn định nền đất trong khu vực đô thị, TBM phải làm việc với áp lực vận hành tối đa 4,0 bar tại trục hầm. Áp lực hỗ trợ gương đào cần thiết để cân bằng áp lực đất và nước được ước tính khoảng 400 kN/m^2. Với diện tích gương đào 34,0 m^2, mỗi vòng vỏ hầm tạo ra khoảng 51,0 m^3 đất đào, được vận chuyển qua hệ thống vít tải công suất 416 m^3/h và băng tải [4], [5], [6].

Để đáp ứng tiến độ, TBM được vận hành liên tục 24 giờ/ngày, chia 3 ca. Cường độ làm việc cao làm giảm thời gian bảo dưỡng, khiến hệ thống cơ điện và cụm dao cắt luôn trong trạng thái chịu tải lớn, từ đó làm gia tăng hao mòn khi máy đi vào các vùng địa chất phức tạp.

2.5. Bảng tổng hợp thông số TBM

Các thông số kỹ thuật chính của TBM sử dụng tại dự án được tổng hợp trong Bảng 1.

Bảng 1. Các thông số TBM tuyến ĐSĐT Nhổn - Ga Hà Nội

Nhóm thông số	Tên thông số cụ thể	Giá trị / Đặc điểm chi tiết
Đầu cắt	Đường kính mâm cắt	6.580 mm
	Tỷ lệ mở	40% - 42%
	Hệ thống dao đào đất mềm	14 răng cào, 6 răng cào biên, 52 răng cạo, 8 gầu vớt
	Vật liệu gia cố	Hợp kim các-bua vonfram; thép WNM400 và HARDOX
	Tốc độ quay tối đa	4,5 - 4,55 vòng/phút (rpm)
Hệ thống Động lực	Số lượng xi-lanh lực đẩy	32 xi-lanh
	Lực đẩy thiết kế tối đa	42.575 kN (tại áp suất 350 bar)
	Lực đẩy danh định mỗi xi-lanh	1.330 kN
	Mô-men xoắn định mức	3.663 kNm
	Mô-men xoắn cực đại (Peak)	5.018 kNm
	Mô-men xoắn đột phá (Breakout)	5.384 kNm
	Tổng công suất động cơ điện	1.280 kW (8 động cơ)
Vận hành & Địa chất	Áp lực vận hành tối đa	4,0 bar tại trục hầm
	Lực hỗ trợ gương đào yêu cầu	400 kN/m^2
	Tốc độ đào lý thuyết tối đa	60 mm/phút
	Tốc độ đào trung bình ước tính	25 mm/phút
Xả thải & Cải tạo đất	Diện tích gương đào	34,0 m^2
	Thể tích đất đào mỗi vòng (ring)	51,0 m^3
	Công suất xả vít tải (danh định)	416 m^3/h
	Công suất băng tải xả	450 m^3/h
	Hệ thống phun dung dịch	8 vòi phun bọt/bentonite và 1 vòi xịt trung tâm

3. ĐIỀU KIỆN ĐỊA CHẤT VÀ THÁCH THỨC MẶT GƯƠNG HỖN HỢP

3.1. Đặc điểm phân tầng địa chất dọc tuyến

Dọc tuyến hầm, địa tầng phân bố rất không đồng nhất, với nhiều lớp đất xen kẹp có tính chất cơ lý khác biệt rõ rệt. Tuyến đi ngầm nằm ở độ sâu khoảng 15 - 20 m, trong khi mực nước ngầm tương đối nông, trung bình khoảng 4,5 m. Áp lực thủy tĩnh lớn buộc TBM phải duy trì áp suất hỗ trợ ổn định để tránh bục nước và sụp đổ bề mặt. Cấu trúc phân tầng chính dọc tuyến được tóm tắt trong Bảng 2 [7], [17], [18].

Bảng 2. Tổng quan cấu trúc phân tầng địa chất

Hệ tầng địa chất	cấu trúc thạch học và đặc tính cơ lý	Tính chất địa chất thủy văn và rủi ro TBM
Thái Bình 1-2	Cát phù sa và cát pha bùn, kết cấu từ rời rạc đến chặt vừa. Trị số SPT: 6-15.	Tầng chứa nước không áp. Rủi ro mất áp lực buồng đào, thất thoát chất cải tạo đất, và gây mài mòn dao cắt cực mạnh.
Thái Bình 3-4	Sét phù sa, bột sét. Trị số SPT: 5-6. Bề mặt có xen kẹp chất hữu cơ.	Lớp phủ á cách nước. Tính nhạy cảm cao với biến dạng và dịch chuyển nền.
Hải Hưng 1	Bột sét đầm lầy, chứa than bùn. Trị số SPT: 2-4.	Cực kỳ mềm yếu, khả năng chịu tải kém, rủi ro biến dạng dẻo cao.
Hải Hưng 2-3	Sét biển, sét bột màu xám xanh, dẻo chảy đến dẻo cứng. Trị số SPT: 6-15.	Chứa khoáng vật trương nở. Rủi ro bết dính nghiêm trọng bậc nhất làm tê liệt buồng áp lực và đầu cắt TBM.

Vĩnh Phúc 2-3	Sét bột loang lổ xen kẽ cát pha sét và thấu kính sỏi cuội. Chặt vừa đến chặt.	Tầng chuyển tiếp. Chênh lệch độ cứng đột ngột, gây ra hiện tượng mài mòn không đều cho dụng cụ cắt.
Hà Nội	Sỏi, cuội kết chặt xen kẽ cát thô màu vàng. Trị số SPT: >50.	Tầng chứa nước có áp chính. Khả năng gây sốc cơ học, nứt vỡ dao cắt nếu TBM lao vào đột ngột.

3.2. Chỉ số cơ lý liên quan đến nguy cơ bám dính (PI, Ic)

Trong Báo cáo cơ sở địa kĩ thuật (GBR), chỉ số dẻo (Plasticity Index - PI) và chỉ số sệt (Consistency Index - Ic) là hai thông số chính để đánh giá nguy cơ bám dính của đất hạt mịn lên đầu cắt TBM. Các lớp sét GU1_s, GU1_d và GU3&4 có PI thiết kế lần lượt khoảng 17 - 21%, cao hơn rõ rệt so với nhóm cát mịn và cát pha bùn GU5_a, GU5_b (khoảng 7%) [7].

Theo GBR, Ic không được quy định thành một giá trị thiết kế cố định mà được dùng kết hợp với PI theo biểu đồ thực nghiệm của Thewes để đánh giá nguy cơ bám dính. Phân tích 107 mẫu đất cho thấy các mẫu sét GU1_s và GU3&4 chủ yếu có Ic trong khoảng 0,4 - 1,3; trong đó 69% mẫu không có nguy cơ bám dính, 2% nguy cơ thấp, 22% nguy cơ trung bình và 7% nguy cơ cao. Kết quả này cho thấy điều hòa đất bằng bọt và kiểm soát độ ẩm là yếu tố rất quan trọng đối với TBM loại EPB. Bảng 3 tổng hợp phân loại theo ký hiệu địa kỹ thuật nhóm GU [7], [10], [13].

Bảng 3. Phân loại theo Ký hiệu địa kỹ thuật (Nhóm GU)

Ký hiệu	Tên lớp đất / Trạng thái	Chỉ số dẻo (PI) thiết kế	Chỉ số sệt (I_c)
GU1_s	Đất sét ít dẻo (có xen kẹp bùn).	18% (thực tế đo được từ 16,5% - 19,2%)	Phân bố chủ yếu từ 0,4 - 1,3
GU1_d	Đất sét ít dẻo (có xen kẹp bùn) / Lớp sét sâu.	17% (thực tế đo được khoảng 16,9%)	-
GU3 & 4	Đất sét béo, sét hữu cơ và sét đàn hồi.	21% (thực tế đo được từ 21,0% - 21,4%)	Phân bố chủ yếu từ 0,4 - 1,3
GU5_a	Cát mịn hoặc cát pha bùn (trạng thái xốp đến chặt vừa).	7%	-
GU5_b	Cát mịn hoặc cát pha bùn (trạng thái chặt).	7%	-
GU7 & 8	Cát và sỏi sạn (trạng thái rất chặt).	-	-

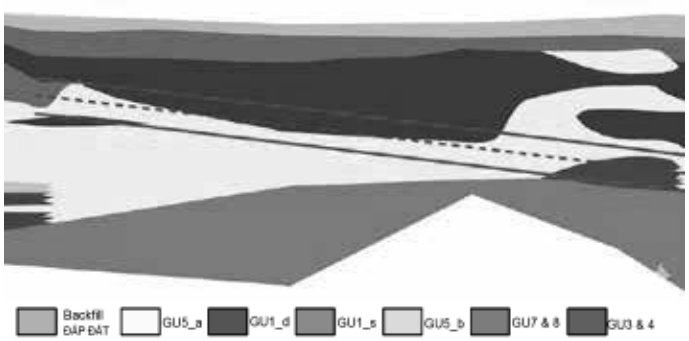
3.3. Phân tích trạng thái mặt gương hỗn hợp (Mixed-face)

Sự phân tầng nêu trên khiến tuyến hầm thường xuyên gặp trạng thái mặt gương hỗn hợp. Đây là bài toán động lực học phức tạp do độ cứng và tính thấm thay đổi mạnh ngay trên cùng một tiết diện đào. Những rủi ro chính gồm [7], [9], [11]:

- Hiện tượng bết dính ở đới sét: Nửa trên của mâm cắt thường xuyên đi qua các lớp sét dính có độ dẻo cao. Theo Thewes, bết dính là kết quả của bám dính hạt sét lên bề mặt kim loại, lực dính kết trong khối đất, hiện tượng bắc cầu gây tắc lỗ hở và sự kết tụ làm đất khó hòa tan trong nước. Khi lực bám dính giữa đất và kim loại lớn hơn lực dính kết trong khối đất, đất không trượt mà tích tụ thành lớp bùn dày trên mâm cắt. Trong điều kiện thiếu xịt rửa trung tâm, lớp bùn này bao quanh răng cào và dao cạo, làm dụng cụ cắt chuyển từ cắt sang trượt, dẫn đến mòn phẳng và hư hỏng nhanh [1], [2], [8].

- Hiện tượng mài mòn, xung lực va đập và mất áp ở đới cát sỏi: Nửa dưới của mâm cắt thường xuyên tiếp xúc với các thấu kính cát hoặc sỏi cuội rất chặt. Sự chuyển tiếp đột ngột giữa đất mềm sang cát sỏi hoặc sỏi cuội chặt tạo ra xung lực lớn, gây nứt vỡ dụng cụ cắt và làm tăng mô-men xoắn. Các mảnh đá vỡ còn có thể bị nén vào khe hở thiết bị, làm kẹt mâm cắt và đẩy nhanh hư hỏng dụng cụ [2], [9], [11].

- Tỷ lệ phân bố các lớp địa chất xấu: Khoảng 28% chiều dài tuyến hầm nằm trong trạng thái đỉnh hầm là sét dính còn đáy là cát. Đoạn phức tạp nhất chiếm khoảng 16% chiều dài tuyến, nơi TBM phải đào trong điều kiện đáy là sỏi cuội có tính mài mòn cao, còn trên đỉnh là lớp cát rất dễ lún sụt [7].



Hình 2. Địa chất một đoạn tuyến ĐSĐT Nhổn - Ga Hà Nội nơi TBM đi xuyên qua khu vực địa chất xen kẹp phức tạp. Nguồn: [7]

4. PHÂN TÍCH HIỆU SUẤT VẬN HÀNH VÀ GIỚI HẠN THIẾT KẾ

4.1. Đánh giá giới hạn cấu hình TBM so với điều kiện địa tầng

Dựa trên các thông số vận hành và điều kiện địa chất, có thể thấy cấu hình TBM tại dự án này phù hợp hơn với nền đất mềm tiêu chuẩn. Khi thi công trong địa tầng xen kẹp hỗn hợp, thiết bị bộc lộ một số giới hạn công suất rõ rệt [4], [5], [9]:

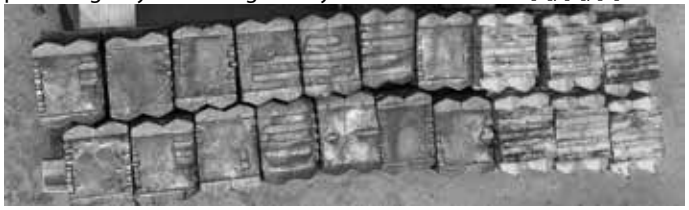
- Giới hạn về mô-men xoắn: Để đánh giá sức kéo, hệ số mô-men xoắn (TF) được tính bằng tỷ số giữa mô-men xoắn và lập phương đường kính mâm cắt:

$$TF = T / D^3 \quad (1)$$

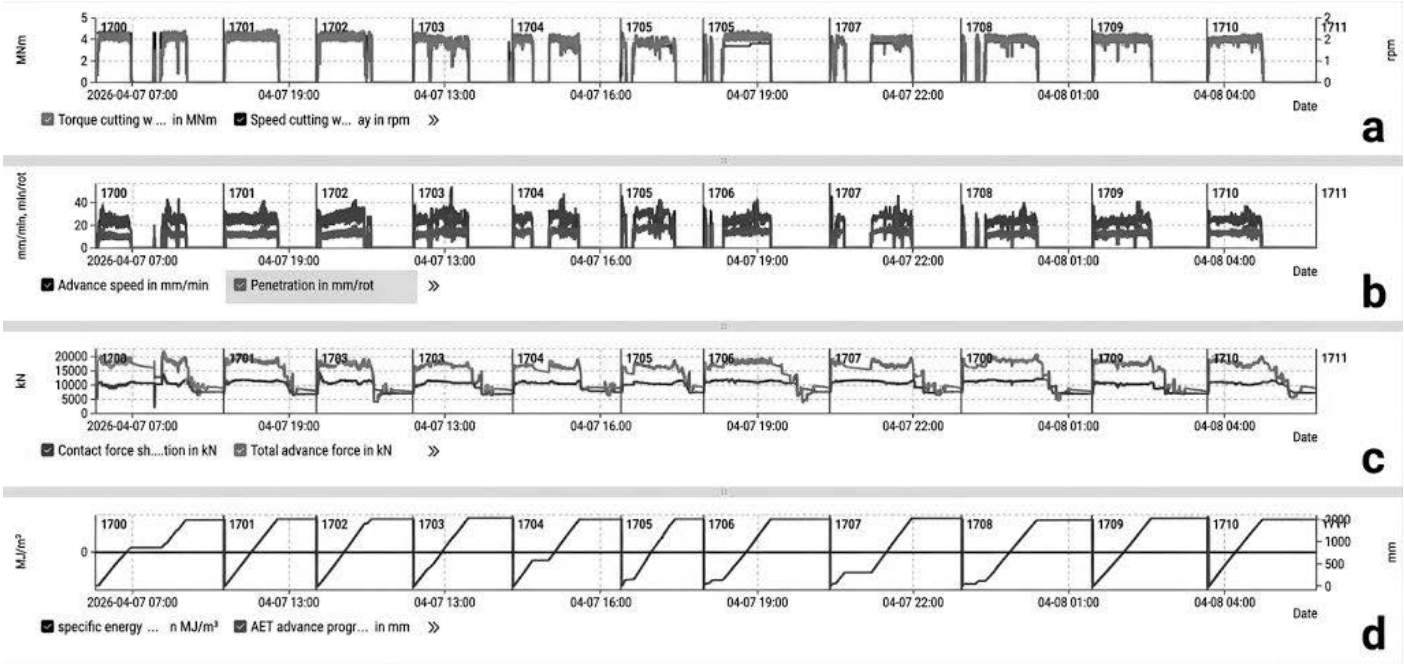
Với đường kính D = 6,58 m, mô-men xoắn định mức 3.663 kNm cho hệ số TF khoảng 12,86 kN/m^2, còn mô-men xoắn đột phá 5.384 kNm cho TF khoảng 18,9 kN/m^2. Trong điều kiện mặt gương hỗn hợp có sỏi cuội chặt và thấu kính sét dẻo, mức này vẫn thiếu khoảng dư công suất cần thiết, khiến máy thường phải làm việc sát ngưỡng quá tải. Các mô hình dự báo mô-men xoắn dựa trên dữ liệu máy và tương tác đất - đầu cắt cũng cho thấy mô-men xoắn thực tế chịu ảnh hưởng rất mạnh của điều kiện địa chất, áp lực mặt gương và mức độ điều hòa đất [4], [5], [9].

- Sụt giảm tốc độ đào thực tế: Tốc độ đào thiết kế của máy là 60 mm/phút, nhưng trung bình thực tế chỉ khoảng 25 mm/phút. Nguyên nhân chính là thiếu dự trữ công suất về lực đẩy và mô-men xoắn khi gặp các lớp đất cứng hoặc bết dính, buộc đội ngũ vận hành phải chủ động giảm tốc độ quay và tốc độ tiến để kiểm soát chấn động và bảo vệ hệ thống dao cắt [4], [5], [12].

- Hệ thống xịt rửa (Flushing) thiếu công suất: Với diện tích gương đào 34 m^2, máy chỉ được bố trí 1 vòi xịt trung tâm. Áp lực từ một vòi duy nhất không đủ để phá vỡ khối sét bùn nén chặt ở vùng giữa mâm cắt, làm mâm cắt bị phủ bùn và dao cắt nhanh chóng bị mòn phẳng. Hiện tượng tích tụ bùn còn làm tăng mô-men xoắn và lực đẩy, buộc dự án phải dừng máy bảo dưỡng và thay dao với tần suất cao [2], [3], [4].



Hình 3. Các răng cào trước (bên phải) và sau khi bị mài mòn (bên trái)



Hình 4. Biểu đồ các thông số vận hành chính của TBM theo lý trình (đốt 1700-1711), bao gồm: (a) Moment xoắn, (b) tốc độ tiến, (c) lực kích và (d) Năng lượng riêng (SE), phản ánh sự biến động hiệu suất đào trong điều kiện địa chất hỗn hợp

4.2. Phân tích dữ liệu vận hành theo lý trình (đốt 1700-1711)

Dữ liệu vận hành thực tế của TBM trong Hình 4 và Bảng 4, tương ứng các đốt vỏ hầm từ 1700 đến 1711, được sử dụng để đánh giá định lượng hiệu suất đào trong điều kiện địa chất hỗn hợp. Các thông số chính gồm mô-men xoắn, tốc độ quay (RPM), tốc độ đào (advance rate), độ xuyên (penetration), lực đẩy và năng lượng riêng (specific energy - SE).

Quan hệ giữa mô-men xoắn và độ xuyên cho thấy xu hướng nghịch: mô-men xoắn tăng thì độ xuyên giảm, phản ánh trạng thái quá tải cục bộ tại mặt gương. Kết quả này phù hợp với cơ chế bám dính trong đất sét dẻo và va đập cơ học trong đới sỏi cuội đã phân tích ở Mục 3.3. Đồ thị cũng cho thấy máy thường xuyên phải duy trì mô-men xoắn ở mức 4,0 - 4,5 MNm [9], [11].

Năng lượng riêng (SE) tăng cao bất thường tại một số đoạn, cho thấy năng lượng tiêu hao tăng nhưng không chuyển hóa tương ứng thành tiến độ đào. Đây là dấu hiệu điển hình của sự suy giảm hiệu suất cắt, đặc biệt trong điều kiện mặt gương hỗn hợp [11].

Mặc dù lực đẩy duy trì tương đối ổn định, tốc độ đào vẫn biến động mạnh. Điều này cho thấy hạn chế chính không nằm ở lực đẩy mà ở năng lực cắt và tương tác giữa đất với dụng cụ. Kết quả phân tích tiếp tục củng cố nhận định về giới hạn mô-men xoắn và hệ thống xịt rửa đã nêu ở trên [9], [11].

Bảng 4. Tổng hợp xu hướng các thông số vận hành theo nhóm vòng vỏ (định tính)

Đốt	**Mô-men xoắn**	**Độ xuyên**	**Specific Energy**
1700-1702	Trung bình	Trung bình	Ổn định
1703-1705	Cao	Thấp	Tăng
1706-1708	Biến động	Giảm	Cao
1709-1711	Trung bình	Biến động	Tăng nhẹ

5. GIẢI PHÁP VẬN HÀNH VÀ KHUYẾN NGHỊ CẢI TIẾN

Để giảm rủi ro do biến đổi địa tầng và bù đắp cho các giới hạn cơ học của thiết bị, cần kết hợp các giải pháp vận hành tại hiện trường với các cải tiến thiết kế cho những dự án tiếp theo.

5.1. Giải pháp vận hành tức thời tại công trường

- Tăng áp lực vòi trung tâm và bơm polyme chống dính: Do chỉ có một vòi xịt trung tâm, giải pháp trước mắt là tăng áp lực dòng chảy tại vòi này, đồng thời bơm liên tục polyme chống dính để làm tơi đất sét và duy trì trạng thái đất nhão. Biện pháp này cần được kiểm soát theo độ ẩm và tính dẻo của đất để tránh làm tăng nguy cơ bết dính trong khoảng ẩm bất lợi [4], [8], [13].

- Điều chỉnh tốc độ quay và tốc độ tiến: Chủ động giảm tốc độ quay mâm cắt và tốc độ tiến khi xuất hiện dấu hiệu quá tải mô-men xoắn hoặc bết dính [4], [9], [11].

- Kiểm soát xả vít tải và nút đất: Bơm bọt bôi trơn và bentonite để tạo nút đất ổn định trong vít tải, đồng thời điều tiết phù hợp giữa tốc độ xả đất và lực đẩy xi-lanh nhằm giữ áp lực buồng đào và hạn chế sụt lún [4], [7].

- Thay thế dao linh hoạt theo điều kiện địa tầng: Trên thực tế, khi đi qua địa tầng lẫn sỏi cuội, bộ phận vận hành TBM không tiến hành thay dao đĩa lăn (cutting disc). Thao tác này chỉ được áp dụng khi máy đào xuyên qua kết cấu tường vây BTCT của nhà ga. Cần tận dụng khả năng thay dao cắt linh hoạt của đầu cắt cân để thay đổi dao cắt theo điều kiện địa tầng. Dù tốn thời gian thao tác ban đầu, cách làm này sẽ giúp giảm hao mòn và rút ngắn tổng thời gian bảo dưỡng thiết bị đào. [3], [11].

5.2. Khuyến nghị cải tiến thiết kế TBM cho dự án tương lai

- Nâng cấp hệ thống vòi xịt và tăng tỷ lệ mở vùng tâm: Đối với các TBM trong tương lai, cần tăng tỷ lệ mở ở vùng tâm mâm cắt để giảm nguy cơ kẹt bùn, đồng thời bố trí thêm 3 - 4 vòi xịt áp lực cao độc lập tại khu vực trung tâm. Ngoài tỷ lệ mở tổng thể, phân bố tỷ lệ mở theo phương bán kính cũng cần được kiểm soát để tránh hình thành các vùng ứ đọng cục bộ và mài mòn không đều trên mâm cắt [3], [4], [16].

- Nâng công suất dẫn động: Việc tăng tổng công suất động cơ lên 1.500 - 1.800 kW và mô-men xoắn định mức lên 4.500 - 5.000 kNm là cần thiết. Độ dư công suất lớn hơn sẽ giúp máy duy trì vòng quay ổn định khi gặp sỏi cuội hoặc đất sét bám dính, qua đó nâng cao độ bền của hệ thống dao cắt [4], [5], [9].

- Tăng khả năng chịu tải vít tải: Cần nâng cấp mô-men xoắn và kết cấu trục của vít tải để bảo đảm xả đất ổn định và hạn chế quá tải cục bộ trong quá trình thi công [4].

5.3. Giám sát vận hành và bảo dưỡng chủ động

- Hệ thống cảm biến nhiệt (Thermodynamic Monitoring System): Nghiên cứu gần đây cho thấy sự hình thành bánh bùn và hiện tượng mòn phẳng có thể được nhận biết sớm thông qua biến thiên nhiệt độ các thiết bị cắt. Khi dao làm việc bình thường, biên độ dao động nhiệt thường chỉ khoảng 2,5°C; ngược lại, khi bùn bám chặt quanh cụm dao, nhiệt độ có thể tăng đột ngột lên trên 50°C. Việc tích hợp cảm biến nhiệt độ không dây sẽ giúp phát hiện sớm vị trí bết dính để kích hoạt xịt rửa kịp thời [1].

- Bảo dưỡng: Cần áp dụng chiến lược bảo dưỡng chủ động, gồm các đợt dừng ngắn để vệ sinh mâm cắt, kiểm tra độ mòn và thay dụng cụ, kết hợp với bảo dưỡng định kỳ cho hệ thống cơ điện. Xu hướng tăng của SE và dao động mô-men xoắn có thể dùng làm cơ sở để lập kế hoạch bảo dưỡng phù hợp [2], [3], [4].

6. KẾT LUẬN

Quá trình vận hành TBM tại tuyến Nhổn - Ga Hà Nội cho thấy thách thức kỹ thuật lớn nhất là trạng thái mặt gương hỗn hợp. Nền địa chất xen kẹp không chỉ gây khó khăn trong thi công mà còn bộc lộ rõ khoảng cách giữa năng lực thiết bị và yêu cầu thực tế tại hiện trường. Các thông số cơ bản của máy, đặc biệt là mô-men xoắn, phân bố tỷ lệ mở và năng lực xịt rửa trung tâm, được thiết kế thiên về đất mềm nên thiếu dự trữ công suất khi gặp đới sỏi cuội cứng và sét dính.

Để vượt qua các đoạn địa chất phức tạp, dự án đã phải áp dụng linh hoạt nhiều giải pháp vận hành như tăng lượng polyme chống dính, điều chỉnh tốc độ quay và tốc độ tiến, đồng thời kiểm soát chặt nhịp độ xả thải của vít tải nhằm duy trì ổn định áp lực buồng đào. Bên cạnh đó, việc tăng cường vệ sinh mâm cắt, theo dõi hao mòn và thực hiện các đợt dừng bảo dưỡng phù hợp đã góp phần quan trọng trong việc hạn chế hư hỏng thiết bị và duy trì tiến độ thi công.

Về lâu dài, kinh nghiệm từ dự án cho thấy các tuyến metro tương lai cần được trang bị TBM có dự trữ công suất lớn hơn, hệ thống xịt rửa hiệu quả hơn và khả năng bố trí và thay thế dụng cụ cắt linh hoạt hơn theo điều kiện địa tầng ngay từ khâu thiết kế. Kết hợp với quy trình giám sát và bảo dưỡng chủ động, đây là điều kiện quan trọng để thi công an toàn và hiệu quả trong không gian ngầm phức tạp của Hà Nội.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Y. Alberto-Hernandez, C. Kang, Y. Yi and A. Bayat. Clogging potential of tunnel boring machine (TBM): a review. International Journal of Geotechnical Engineering, 2017.

[2] M. Z. Gao, C. Li and X. C. Shi. The mechanism of TBM cutter wear in mixed ground. Advanced Materials Research, no. 446-449, pp. 3341-3345, 2012.

[3] Herrenknecht AG. Cutting Tool Book: Hanoi Metro Line 3 Project - EPB Shield: Ripper Tools, Excavation Ø 6.58 m. Schwanau, Germany, 2019.

[4] Herrenknecht AG. DCS - EPB - Hanoi Pilot Light Metro Line CP03 - EL, Offer No. V-6120. Schwanau, Germany, 2019.

[5] Herrenknecht AG. TBM General Layout, Drawing No. A-4714-30, Offer No. V-6120, Hanoi Pilot Light Metro CP03. Schwanau, Germany, 2019.

[6] Herrenknecht AG. Scope of Supply and Technical Specifications: EPB TBM Ø6550, Project No. S-1254/S-1255. Schwanau, Germany, 2020.

[7] Hyundai-Ghella JV. Geotechnical Baseline Report (Geotechnical Interpretative Report), No. HGU-TEC-TDR-WAG-L10-41002-E-3B. Hanoi, Vietnam, 2018.

[8] M. Y. Jia. The research of clogging mechanism for EPB shield in clay. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004.

[9] J. N. Shirlaw. Pressurised TBM tunnelling in mixed face conditions resulting from tropical weathering of igneous rock. Tunnelling and Underground Space Technology, no. 57, pp. 225-240, 2016.

[10] Á. Tóth and J. Zhao. Evaluation of EPB TBM performance in mixed ground conditions. In Proc. World Tunnel Congress 2013, Geneva, Switzerland, 2013.

[11] Á. Tóth, Q. Gong and J. Zhao. Case studies of TBM tunneling performance in rock-soil interface mixed ground. Tunnelling and Underground Space Technology, no. 38, pp. 140-150, 2013.

[12] I. M. Vergara and C. Saroglou. Prediction of TBM performance in mixed-face ground conditions. Tunnelling and Underground Space Technology, no. 70, pp. 116-126, 2017.

[13] G. Barzegari, M. Tirkhooni and A. Khabbazi. Experimental assessment of clayey layers for clogging of TBM in Tabriz subway lines, Iran. Tunnelling and Underground Space Technology, no. 105, Art. no. 103560, 2020.

[14] X.-P. Zhou and S.-F. Zhai. Estimation of the cutterhead torque for earth pressure balance TBM under mixed-face conditions. Tunnelling and Underground Space Technology, no. 74, pp. 217-229, 2018.

[15] X.-P. Zhou, S.-F. Zhai and J. Bi. Two-dimensional numerical simulation of rock fragmentation by TBM cutting tools in mixed-face ground. International Journal of Geomechanics, vol. 18, no. 3, Art. no. 06018004, 2018.

[16] B. Grothen. Optimizing soft ground excavation: development and design of EPB and slurry cutterheads. In Proc. ITA WTC 2015 Congress, Dubrovnik, Croatia, 2015.

[17] Asian Development Bank. Updated Environmental Impact Assessment: VIE - Ha Noi Metro Rail System Project, Line 3 - Nhon to Ha Noi Railway Station. Manila, Philippines, 2013.

[18] Asian Development Bank. Initial Environmental Examination: Strengthening Sustainable Urban Transport for Ha Noi Metro Line 3 Project. Project No. 40080. Manila, Philippines, 2014.

[19] C. L. Nguyen, T. T. Bui and N. L. Nguyen. The effect of seismic load on TBM structures for Metro Line 3 in Hanoi, Vietnam. Engineering, Technology and Applied Science Research, vol. 14, no. 1, pp. 13047-13051, 2024.

[20] Z.-Y. Yang, Y.-S. Jiang and J.-X. Zhang. Radial opening ratio of EPB TBM cutterheads. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, vol. 40, no. 12, pp. 2312-2318, 2018.

[21] R. Godinez, H. Yu, M. Mooney, E. A. Gharahbagh and G. Frank. Earth Pressure Balance Machine Cutterhead Torque Modeling: Learning from Machine Data. In Proc. RETC 2015, 2015.

[22] R. Wang, S. Li, C. Li, K. Bian and J. Zhang. Mechanistic analysis of TBM cutterhead-ground interaction under mud build-up effect. Frontiers in Earth Science, vol. 13, Art. no. 1691323, 2025.

[23] A. Rashiddel, F. A. Ramsheh, A. Ramesh, D. Dias and M. Hajihassani. Clogging potential of earth-pressure balance shield driven tunnels. The Open Construction and Building Technology Journal, vol. 14, pp. 185-195, 2020.

■Ngày nhận bài: 11/3/2026 ■Ngày sửa bài: 24/3/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 09/4/2026

Cơ chế Handover trong mạng 5G cho đường sắt tốc độ cao Bắc - Nam: Mô phỏng và đánh giá hiệu năng

5G Handover mechanisms for North - South high-speed railways: Simulation and performance evaluation

> NGUYỄN ĐỨC TOÀN*, TRẦN VĂN HƯNG
Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Giao thông vận tải
*Email: toannd@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu phân tích cơ chế Handover trong mạng 5G phục vụ tuyến đường sắt tốc độ cao Bắc - Nam, trong môi trường đòi hỏi kết nối ổn định ở vận tốc lớn. Nội dung triển khai theo hướng tổng hợp lý thuyết về quản lý di động, hệ thống thông tin quang và các phương pháp Handover tiên tiến, đồng thời xây dựng mô phỏng trên NS-3 và MATLAB. Kết quả cho thấy Hard Handover giảm hiệu năng khi vận tốc tăng, trong khi Dual Connectivity và Predictive Handover duy trì thông lượng cao, độ trễ thấp và tỷ lệ chuyển giao ổn định hơn. Phân tích chỉ ra backhaul quang hỗ trợ duy trì kết nối liền mạch. Nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học tối ưu triển khai 5G trên tuyến đường sắt tốc độ cao, góp phần nâng chất lượng hạ tầng viễn thông.

Từ khóa: 5G; chuyển giao; đường sắt cao tốc; quản lý di động; kết nối kép; đường truyền quang; QoS; kết nối liền mạch.

ABSTRACT

This study analyzes the Handover mechanism in 5G networks serving the North - South high-speed railway, an environment requiring stable connectivity at high speeds. The research integrates theories of mobile management, optical communication systems, and advanced handover methods, while also building simulations using NS-3 and MATLAB. Results show that Hard Handover performance decreases with increasing speed, while Dual Connectivity and Predictive Handover maintain high throughput, low latency, and more stable handover rates. The analysis indicates that optical backhaul supports seamless connectivity. The study provides a scientific basis for optimizing 5G deployment on high-speed railways, contributing to improved telecommunications infrastructure.

Keywords: 5G; Handover; high-speed railway; mobility management; dual connection; optical backbone; QoS; seamless connection.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sự phát triển nhanh chóng của công nghệ 5G đang mở ra cơ hội mới cho nhiều lĩnh vực, trong đó giao thông đường sắt tốc độ cao được xem là môi trường ứng dụng có tính đặc thù và đòi hỏi khắt khe về kết nối. Với ưu điểm truyền tải dữ liệu dung lượng lớn, độ trễ cực thấp và hỗ trợ số lượng lớn thiết bị, mạng 5G trở thành nền tảng quan trọng để xây dựng hệ thống viễn thông hiện đại, đáp ứng nhu cầu kết nối liên tục trong bối cảnh vận tốc di chuyển cao. Tuy vậy, việc triển khai 5G cho tuyến đường sắt tốc độ cao Bắc - Nam đặt ra nhiều thách thức, đặc biệt trong quản lý di động và tối ưu cơ chế Handover.

Trong môi trường vận tốc lên tới 350 km/h, tần suất handover giữa các trạm gốc diễn ra liên tục, nguy cơ rớt kết nối và suy giảm chất lượng dịch vụ tăng mạnh. Các nghiên cứu quốc tế cho thấy, Hard Handover truyền thống chưa đủ để duy trì chất lượng kết nối ở mức ổn định, trong khi các giải pháp tiên tiến như Predictive Handover, Dual Connectivity hay tích hợp backhaul quang đã chứng minh hiệu quả vượt trội trong giảm độ trễ và hạn chế gián đoạn dịch vụ [6]; [8]. Điều này khẳng định sự cần thiết của việc nghiên cứu, mô phỏng và tối ưu hóa cơ chế handover phù hợp với điều kiện đặc thù của tuyến Bắc - Nam.

Bài báo hướng đến phân tích và xây dựng mô hình mô phỏng trên nền tảng NS-3 và MATLAB, đồng thời đánh giá hiệu năng các cơ chế handover khác nhau trong nhiều kịch bản thực tế như hầm dài, đô thị đông đúc hay khu vực nông thôn. Kết quả nghiên cứu dự kiến sẽ đề xuất giải pháp tối ưu, vừa bảo đảm thông lượng dữ liệu và độ tin cậy kết nối, vừa đưa ra khuyến nghị triển khai thực tiễn, góp phần định hình chiến lược phát triển hạ tầng viễn thông cho đường sắt tốc độ cao Bắc - Nam trong kỷ nguyên 5G.

2. PHƯƠNG PHÁP MÔ PHỎNG

2.1. Giả thuyết và câu hỏi nghiên cứu

Nghiên cứu này được xây dựng trên giả thuyết rằng việc áp dụng cơ chế Handover dựa trên sự kết hợp giữa Predictive Handover và Dual Connectivity, đồng thời sử dụng optical backhaul, sẽ mang lại hiệu quả cao hơn so với cơ chế Hard Handover truyền thống trong môi trường vận tốc cao. Cụ thể, giải pháp đề xuất được kỳ vọng sẽ giúp giảm tỷ lệ rớt kết nối, cải thiện thông lượng dữ liệu

và nâng cao chất lượng dịch vụ (QoS) trên tuyến đường sắt tốc độ cao Bắc - Nam.

Từ giả thuyết trên, nghiên cứu đặt ra ba câu hỏi trọng tâm:

(1) Trong các cơ chế handover hiện nay, cơ chế nào mang lại hiệu quả tối ưu nhất khi áp dụng cho tuyến đường sắt tốc độ cao Bắc - Nam?

(2) Optical backhaul đóng vai trò như thế nào trong việc nâng cao hiệu năng hệ thống và hỗ trợ duy trì kết nối liền mạch ở môi trường vận tốc cao?

(3) Giải pháp đề xuất có mức độ khả thi và tiềm năng ứng dụng thực tiễn ra sao trong bối cảnh triển khai mạng 5G tại Việt Nam?

2.2. Phương pháp định tính

Phân tích định tính được thực hiện thông qua việc tổng hợp và xử lý các nguồn tài liệu thứ cấp từ tiêu chuẩn 3GPP, báo cáo ITU-T, các công trình nghiên cứu quốc tế liên quan đến handover trong môi trường vận tốc cao, cùng với tài liệu kỹ thuật của Bộ Khoa học và Công nghệ về định hướng triển khai mạng 5G tại Việt Nam. Việc phân tích các tài liệu này nhằm xây dựng nền tảng lý luận cho mô hình mô phỏng, đồng thời xác định những yếu tố kỹ thuật ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu năng handover trên tuyến đường sắt tốc độ cao Bắc - Nam.

2.3. Phương pháp định lượng

Nghiên cứu định lượng được triển khai bằng mô phỏng trên NS-3 và MATLAB nhằm đánh giá hiệu năng các cơ chế handover trong điều kiện vận tốc cao. Các kịch bản mô phỏng phản ánh cấu trúc tuyến tính của hệ thống phủ sóng dọc đường ray, đặc trưng suy hao đường truyền, cũng như hoạt động của optical backhaul trong kiến trúc 5G.

Tất cả kịch bản được chạy 10 lần (10 simulation runs) để tăng độ tin cậy thống kê; kết quả cuối cùng được lấy trung bình từ 10 lần chạy.

Bảng 1. Cấu hình tham số mô phỏng (Parameter Configuration)

Nhóm tham số	Giá trị cấu hình
Tần số sóng mang	3.5 GHz (sub-6 GHz), 28 GHz (mmWave)
Băng thông hệ thống	100 MHz (sub-6), 400 MHz (mmWave)
Công suất phát gNodeB	30 dBm (sub-6), 24 dBm (mmWave)
Độ cao anten gNodeB	12 m
Độ cao anten trên tàu (rooftop/MRN)	3-4 m
Số lượng cell mô phỏng	20 cell/20 km (linear-cell layout)
Khoảng cách giữa các cell	900-1200 m
Mô hình fading	Rician fading, LOS/NLOS theo 3GPP TR 38.901
Mô hình pathloss	3GPP UMa + HSR tuyến tính
Tốc độ đoàn tàu	250 km/h, 300 km/h, 350 km/h
Cơ chế handover	Hard HO, Dual Connectivity, Predictive HO
Ngưỡng RSRP kích hoạt HO	-110 dBm
Thời gian đánh giá sự kiện A3	80 ms
Beamforming (mmWave)	Độ rộng 10°-30°
Backhaul	Optical fiber + WDM/RoF
Simulation runs	10 lần (lấy trung bình)

Quy trình mô phỏng được triển khai theo hướng tuyến tính dài 20 km, trong đó các gNodeB được bố trí dọc hành lang đường sắt theo mô hình linear-cell và kết nối bằng backhaul quang nhằm duy trì độ trễ thấp và liên kết ổn định. Ba cơ chế Handover được cấu hình gồm Hard Handover theo chuẩn 3GPP, Dual Connectivity với hai kết nối song song và Predictive Handover dựa trên dự đoán vị trí đoàn tàu cùng giá trị RSRP/RSRQ. Mỗi kịch bản được thực hiện 10 lần để bảo đảm độ tin cậy thống kê, đồng thời thu thập các chỉ số như tỷ lệ chuyển giao thành công, độ trễ trung bình, thông lượng trung bình, tỷ lệ rớt kết nối và biến thiên RSRP/RSRQ tại biên cell. Toàn bộ dữ liệu đầu ra được xử lý bằng MATLAB để làm trơn, tính giá trị trung bình và so sánh nhằm xác định cơ chế handover phù hợp nhất cho tuyến đường sắt tốc độ cao Bắc - Nam.

2.4. Phạm vi nghiên cứu

Nghiên cứu tập trung vào ba hướng chính:

Công nghệ thông tin di động 5G: làm rõ cơ chế Handover trong môi trường vận tốc cao, với các giải pháp như Dual Connectivity, Predictive Handover nhằm bảo đảm kết nối liền mạch.

Thông tin quang cho hệ thống giao thông thông minh: phân tích vai trò của optical backhaul trong việc nâng cao năng lực truyền dẫn, giảm độ trễ và hỗ trợ triển khai mạng 5G trên diện rộng.

Đường sắt tốc độ cao Bắc - Nam: xem xét đặc thù tuyến đường sắt quốc gia với điều kiện địa hình đa dạng, các đoạn hầm dài và khu vực đô thị đông đúc, gắn với yêu cầu dịch vụ dữ liệu cho hành khách và nhu cầu kết nối siêu tin cậy cho hệ thống vận hành, quản lý giao thông thông minh.

3. CƠ SỞ LÝ LUẬN

3.1. Công nghệ mạng 5G và quản lý di động (Mobility Management)

Công nghệ mạng 5G được xây dựng trên kiến trúc đa tầng gồm tầng truy nhập vô tuyến (RAN), tầng điều khiển (Control Plane) và tầng dữ liệu (User Plane). Trong hệ sinh thái này, quản lý di động (Mobility Management) giữ vai trò điều phối hoạt động kết nối khi thiết bị di chuyển giữa các vùng phục vụ. Theo Gures et al. (2020), Mobility Management gồm hai chức năng trọng tâm gồm quản lý vị trí (Location Management) và quản lý handover (Handover Management), vận hành thông qua chuỗi thành phần như AMF, SMF và gNodeB trong kiến trúc 5G Standalone [9]. Mục tiêu của Mobility Management là duy trì trạng thái kết nối ổn định, bảo đảm UE được định tuyến đúng phiên, đúng tài nguyên và không gián đoạn khi thay đổi vị trí. Akkari và Dimitriou (2020) nhấn mạnh Mobility Management trong 5G không chỉ tối ưu cho lưu lượng băng rộng mà còn thích ứng nhiều lớp dịch vụ như URLLC, eMBB và mMTC, đòi hỏi cơ chế điều khiển linh hoạt và khả năng phản ứng nhanh trước thay đổi của môi trường truyền dẫn [2].

Để mô tả rõ cấu trúc vận hành, sơ đồ tổng quan 5G Mobility Management thường thể hiện luồng xử lý từ UE đến RAN, sau đó đến AMF-SMF trong tầng điều khiển, trước khi quay lại UPF và trở về mạng lõi. Cấu trúc này phân tầng mạch lạc, cho phép định tuyến tín hiệu điều khiển và dữ liệu theo hai luồng độc lập, qua đó tăng tính ổn định trong các môi trường có tốc độ di chuyển lớn như đường sắt cao tốc.

Để minh họa cấu trúc và luồng xử lý của Mobility Management trong kiến trúc 5G, sơ đồ tổng quan dạng ASCII được trình bày (Hình 1).



Hình 1. Sơ đồ tổng quan Mobility Management trong kiến trúc mạng 5G

3.2. Handover Optimization trong mạng 5G

Không giống Mobility Management mang tính bao quát, Handover Optimization là nhóm giải pháp tập trung vào giảm độ

trễ, tăng tỷ lệ chuyển giao thành công và hạn chế rớt kết nối trong quá trình thiết bị chuyển từ cell này sang cell khác. Dutta và Schulzrinne (2014) phân loại handover thành các nhóm giải pháp như tối ưu tham số sự kiện A3, chuẩn bị trước tài nguyên, dự đoán cell kế cận và mở rộng vùng biên giao nhau [7]. Các phương pháp này nhằm giảm thời gian đánh giá tín hiệu, từ đó rút ngắn tiến trình chuyển giao. Trong 5G, cơ chế như dual connectivity hoặc predictive handover được sử dụng để duy trì nhiều kết nối đồng thời, giúp UE không bị mất liên lạc khi tốc độ thay đổi nhanh. Giust, F., Cominardi, L., & Bernardos, C. J. (2015) chỉ ra rằng tối ưu handover là yêu cầu bắt buộc trong môi trường đường sắt tốc độ cao vì tần suất chuyển cell liên tục, trong khi thời gian lưu lại ở mỗi cell ngắn, khiến Hard Handover truyền thống bộc lộ nhiều hạn chế [10].

Ở các mô hình ứng dụng thực tế, đặc biệt trong đường sắt tốc độ cao, Handover Optimization thường gắn với hệ thống backhaul quang và công nghệ beamforming hướng tính, giúp ổn định chất lượng liên kết trong suốt quá trình chuyển giao. Patil, M. B., & Math, L. (2022) cho rằng việc kết hợp RAN 5G với truyền thông quang giúp giảm độ trễ đường trục, từ đó làm tăng hiệu quả của thuật toán tối ưu handover [15].

3.3. Hệ thống thông tin quang và vai trò trong đường sắt tốc độ cao

Trong bối cảnh đường sắt tốc độ cao ngày càng phát triển, yêu cầu về một hạ tầng viễn thông ổn định và đáng tin cậy trở thành điều kiện tiên quyết. Hệ thống thông tin quang được xem như nền tảng kỹ thuật then chốt nhằm đáp ứng nhu cầu truyền dẫn dữ liệu dung lượng lớn, độ trễ thấp và khả năng chống nhiễu cao. Theo Kasim, A. N. (2020), *việc kết hợp công nghệ 5G với truyền thông quang định hướng giúp gia tăng hiệu quả kết nối cho các đoàn tàu di chuyển ở vận tốc rất cao, đảm bảo liên lạc liên tục giữa đoàn tàu, hành khách và trung tâm điều hành* [12].

Bên cạnh ưu điểm về tốc độ và độ tin cậy, hệ thống thông tin quang còn giữ vai trò hỗ trợ quản lý di động trong môi trường đặc thù. Dutta và Schulzrinne (2014) cho rằng các *cơ chế handover optimization trong mạng 5G hoạt động hiệu quả hơn khi được tích hợp cùng đường truyền quang có băng thông rộng, từ đó hạn chế gián đoạn và nâng cao trải nghiệm dịch vụ* [7]. Ngoài ra, Gheth, Rabie, Adebisi, Ijaz và Harris (2021) khẳng định: *Trong giao thông đường sắt tốc độ cao, sự kết hợp giữa truyền thông quang, hệ thống truy cập vô tuyến tiên tiến và quản lý di động thông minh tạo nên nền tảng bền vững, giúp duy trì chất lượng dịch vụ viễn thông ngay cả trong điều kiện di chuyển liên tục* [8].

Như vậy, hệ thống thông tin quang không chỉ đóng vai trò hỗ trợ kỹ thuật mà còn trở thành trụ cột quan trọng trong việc bảo đảm sự ổn định, an toàn và hiệu quả cho hạ tầng thông tin đường sắt tốc độ cao.

3.4. Cơ chế Handover và các giải pháp tối ưu

Trong hệ thống mạng di động, *handover là quá trình chuyển đổi kết nối từ trạm gốc này sang trạm gốc khác khi thiết bị di động di chuyển*. Quá trình này đóng vai trò then chốt trong việc bảo đảm sự liền mạch của dịch vụ, đặc biệt trong môi trường có tốc độ di chuyển cao như đường sắt tốc độ cao. Theo Dutta và Schulzrinne (2014), hiệu quả của handover được đánh giá dựa trên các yếu tố như thời gian gián đoạn, độ trễ truyền dẫn và khả năng duy trì chất lượng dịch vụ trong suốt quá trình chuyển giao [7].

Một thách thức nổi bật là việc giảm thiểu Handover latency. Giải pháp tối ưu được đề xuất bao gồm sử dụng các giao thức hỗ trợ dự đoán vùng phủ sóng kế tiếp, từ đó chuẩn bị tài nguyên trước khi xảy ra quá trình chuyển giao. Chen, Ding và Lai (2019) nhấn mạnh rằng trong bối cảnh đường sắt tốc độ cao, việc kết hợp cơ chế Handover với truyền thông quang định hướng và 5G giúp tăng độ tin cậy, hạn chế rớt mạng và duy trì tốc độ truyền tải ổn định [6].

Ngoài ra, Gheth, Rabie, Adebisi, Ijaz và Harris (2021) chỉ ra một hướng tiếp cận hiệu quả khác là tích hợp multi-connectivity, cho phép thiết bị duy trì kết nối song song với nhiều trạm gốc trước khi hoàn tất quá trình chuyển giao. Giải pháp này giảm thiểu rủi ro gián đoạn, đồng thời hỗ trợ hệ thống quản lý di động hoạt động trơn tru hơn. Nhờ đó, các cơ chế tối ưu handover không chỉ cải thiện hiệu suất truyền thông mà còn nâng cao trải nghiệm người dùng trong nhiều bối cảnh ứng dụng, đặc biệt tại các hệ thống giao thông có tính chất di chuyển liên tục [8].

4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

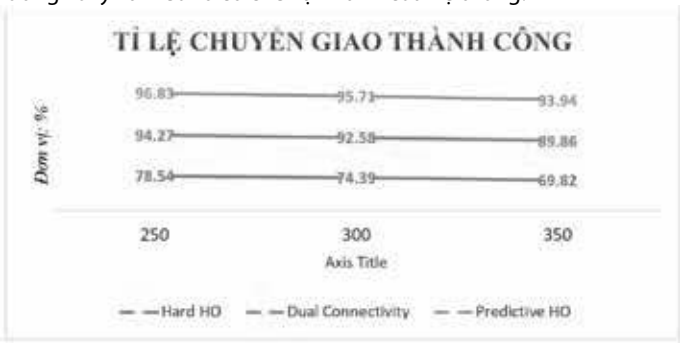
Trong mô phỏng Handover của hệ thống 5G trên tuyến đường sắt cao tốc, quá trình chuyển giao được xem xét tại thời điểm UE di chuyển giữa các cell lân cận. Khi UE tiến vào vùng biên, hệ thống thực hiện đánh giá điều kiện chất lượng tín hiệu RSRP/RSRQ để quyết định chuyển giao. Nếu điều kiện thỏa mãn, tiến trình handover được kích hoạt; nếu không, UE tiếp tục duy trì kết nối tại cell phục vụ.



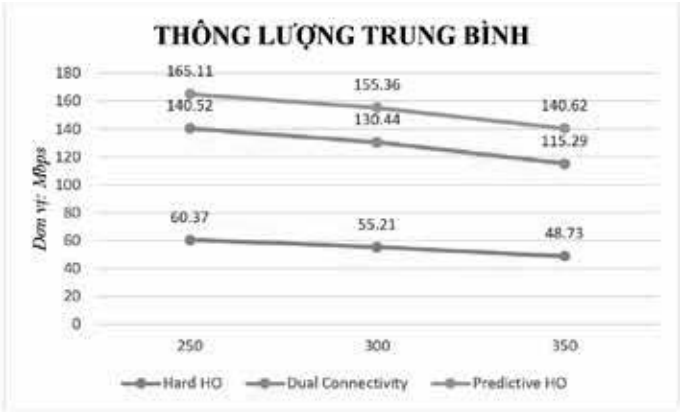
Hình 2. Lưu đồ thuật toán Handover trong mô phỏng

Hình 2 minh họa quy trình Handover được sử dụng trong mô phỏng, thể hiện rõ các bước xử lý và điều kiện quyết định trong quá trình chuyển giao giữa các cell dọc tuyến đường sắt tốc độ cao. Thuật toán bắt đầu bằng giai đoạn đánh giá chất lượng tín hiệu dựa

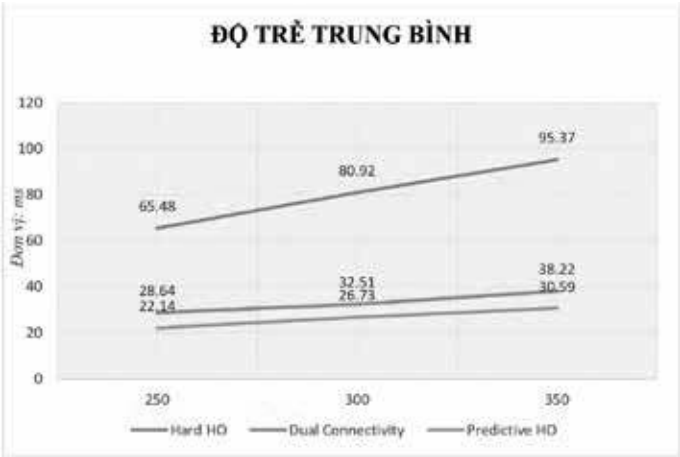
trên các chỉ số RSRP và RSRQ nhằm xác định mức độ đáp ứng yêu cầu của liên kết hiện tại. Khi giá trị đo đạt vượt ngưỡng cho phép, hệ thống kích hoạt quá trình handover để chuyển UE sang cell kế cận. Ngược lại, nếu điều kiện không thỏa mãn, UE tiếp tục duy trì kết nối với cell phục vụ nhằm đảm bảo liên lạc không bị gián đoạn. Sau khi Handover được kích hoạt, thuật toán phân tách thành hai nhánh tương ứng với hai khả năng xảy ra gồm Handover thành công và Handover thất bại. Trong trường hợp thành công, hệ thống cập nhật cell mới cho UE, đồng thời duy trì trạng thái kết nối ổn định. Đối với Handover thất bại, tài nguyên vô tuyến được giải phóng để đảm bảo tối ưu phân bổ cho các thiết bị khác trong mạng. Cấu trúc lưu đồ thể hiện mạch logic rõ ràng, tuân thủ quy tắc biểu diễn của lưu đồ thuật toán trong file mẫu, giúp người đọc dễ dàng theo dõi luồng xử lý và hiểu rõ cơ chế vận hành của hệ thống.



Biểu đồ 1. Tỉ lệ chuyển giao thành công



Biểu đồ 2. Thông lượng trung bình



Biểu đồ 3. Độ trễ trung bình

Kết quả mô phỏng ở ba bảng cho thấy sự khác biệt rõ rệt giữa các cơ chế Handover khi vận tốc đoàn tàu thay đổi, đồng thời làm nổi bật tác động của backhaul và phương thức dự đoán chuyển giao. Ở tốc độ 250 km/h, Dual Connectivity và Predictive HO giữ tỷ lệ chuyển giao thành công ở mức cao, vượt xa Hard HO. Khi vận tốc tăng lên 300 km/h và 350 km/h, khoảng cách về hiệu năng giữa các cơ chế tiếp tục mở rộng. Predictive HO duy trì độ ổn định tốt nhất nhờ cơ chế dự đoán trước vị trí đoàn tàu và thời điểm suy giảm RSRP/RSRQ, qua đó chủ động chuẩn bị liên kết mới trước khi chất lượng tín hiệu suy giảm mạnh. Điều này lý giải vì sao thông lượng trung bình của Predictive HO cao hơn Dual Connectivity, vốn phụ thuộc chủ yếu vào việc duy trì hai kết nối song song nhưng không dự đoán được biên cell trước thời điểm chuyển giao.

Thông lượng trung bình phản ánh rõ xu hướng này, với Dual Connectivity và Predictive HO đạt mức cao hơn đáng kể so với Hard HO, đặc biệt tại vận tốc thấp và trung bình. Độ trễ trung bình giảm mạnh khi sử dụng hai cơ chế cải tiến do optical backhaul bảo đảm băng thông lớn và độ trễ truyền dẫn thấp, hạn chế tình trạng nghẽn hoặc gián đoạn khi luân chuyển dữ liệu giữa các gNodeB. Vai trò định lượng của backhaul được thể hiện qua việc giảm đáng kể độ trễ và duy trì ổn định thông lượng, khác biệt hoàn toàn so với khi dùng microwave, vốn dễ bị suy hao và nhiễu môi trường. Vì vậy, khi mở rộng nghiên cứu, cần bổ sung thêm bảng so sánh optical backhaul và microwave nhằm làm nổi bật mức cải thiện thông lượng, độ trễ và tỷ lệ rớt kết nối.

Nhìn chung, kết quả mô phỏng khẳng định rằng Hard HO không phù hợp cho môi trường vận tốc cao do thiếu khả năng duy trì liên kết và không dự đoán được vùng phủ tiếp theo. Ngược lại, Dual Connectivity và đặc biệt là Predictive HO thể hiện ưu thế rõ rệt về hiệu năng toàn diện, bảo đảm độ ổn định kết nối cần thiết cho hệ thống thông tin trên đường sắt tốc độ lớn.

5. THẢO LUẬN

Kết quả mô phỏng cho thấy hiệu năng của cơ chế Handover trong mạng 5G chịu ảnh hưởng mạnh bởi vận tốc di chuyển và kiến trúc kết nối. Hard Handover bộc lộ rõ hạn chế khi vận tốc đoàn tàu tăng cao, thể hiện qua sự suy giảm tỷ lệ chuyển giao thành công, thông lượng và gia tăng độ trễ. Xu hướng này phù hợp với các nghiên cứu trước về hệ thống đường sắt tốc độ cao, trong đó thời gian lưu ngắn trong mỗi cell làm gia tăng nguy cơ gián đoạn kết nối và rớt mạng.

Kết quả mô phỏng cho thấy hiệu năng của cơ chế Handover trong mạng 5G bị ảnh hưởng đáng kể bởi vận tốc di chuyển và kiến trúc kết nối. Hard Handover bộc lộ rõ hạn chế khi vận tốc đoàn tàu tăng cao, thể hiện qua sự suy giảm tỷ lệ chuyển giao thành công, thông lượng và sự gia tăng độ trễ. Xu hướng này phù hợp với các nghiên cứu trước về hệ thống đường sắt tốc độ cao, trong đó thời gian lưu trú ngắn trong mỗi cell làm gia tăng nguy cơ gián đoạn kết nối và rớt mạng.

Ngược lại, Dual Connectivity và Predictive Handover cho thấy ưu thế rõ rệt trong việc duy trì kết nối ổn định. Dual Connectivity giúp giảm gián đoạn nhờ duy trì đồng thời nhiều liên kết, trong khi Predictive Handover đạt hiệu năng cao nhất nhờ khả năng dự đoán trước vùng phủ và chủ động chuẩn bị tài nguyên. Kết quả này tương đồng với các công bố gần đây về tối ưu Handover trong môi trường vận tốc lớn, khẳng định vai trò của các cơ chế dựa trên dự đoán và đa kết nối trong mạng 5G.

Bên cạnh đó, việc tích hợp optical backhaul đóng vai trò quan trọng trong việc giảm độ trễ và ổn định thông lượng, tạo điều kiện để các cơ chế Handover tiên tiến phát huy hiệu quả.

Nhìn chung, các kết quả thu được cho thấy Predictive Handover kết hợp backhaul quang là hướng tiếp cận phù hợp cho triển khai 5G trên tuyến đường sắt tốc độ cao Bắc - Nam.

6. KẾT LUẬN

6.1. Đóng góp chính của nghiên cứu

Kết quả mô phỏng khẳng định vai trò trọng yếu của việc tối ưu hóa cơ chế Handover trong môi trường vận tốc lớn, nơi yêu cầu duy trì kết nối liên tục tạo sức ép đáng kể lên hạ tầng viễn thông. Phân tích ba nhóm chỉ số chính gồm tỷ lệ chuyển giao, thông lượng và độ trễ cho thấy Hard Handover bộc lộ nhiều hạn chế khi vận tốc tăng dần, đặc biệt tại các ngưỡng 300 và 350 km/h. Trong khi đó, Dual Connectivity và Predictive Handover duy trì hiệu năng vượt trội, giữ ổn định chất lượng kết nối và giảm thiểu gián đoạn trong toàn bộ dải vận tốc khảo sát, đường sắt tốc độ cao.

6.2. Hướng ứng dụng thực tiễn và nghiên cứu mở rộng

Các phát hiện từ mô phỏng cung cấp luận cứ quan trọng cho việc triển khai thử nghiệm mạng 5G dọc tuyến đường sắt tốc độ cao Bắc - Nam, đặc biệt trong công tác lựa chọn mô hình bố trí gNodeB, cấu hình tham số vô tuyến và thiết kế backhaul quang. Những kết quả này góp phần hỗ trợ các nhà khai thác viễn thông và đơn vị quy hoạch giao thông xây dựng phương án kỹ thuật phù hợp với điều kiện địa hình, vận tốc khai thác và yêu cầu dịch vụ của hành khách.

Lời cảm ơn: Tác giả trân trọng cảm ơn Trường Đại học Giao thông vận tải đã tạo điều kiện thuận lợi về môi trường học thuật và cơ sở vật chất để nghiên cứu được thực hiện. Đồng thời, tác giả xin gửi lời cảm ơn tới các đồng nghiệp và chuyên gia trong lĩnh vực viễn thông vì những ý kiến học thuật quý báu trong quá trình thảo luận và hoàn thiện nội dung nghiên cứu. Bên cạnh đó, tác giả ghi nhận sự hỗ trợ về mặt học thuật và kỹ thuật trong quá trình xây dựng mô hình mô phỏng và xử lý dữ liệu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Ai, B., Cheng, X., Kürner, T., Zhong, Z. D., Guan, K., He, R. S., & Briso-Rodriguez, C. Challenges toward wireless communications for high-speed railway. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, New York: IEEE, pp. 2143-2158, 2014.

[2] Akkari, N., & Dimitriou, N. Mobility management solutions for 5G networks: Architecture and services. Computer Networks, Amsterdam: Elsevier, p. 107561, 2020.

[3] Al-Mohammed, H. A., Al-Ali, M., & Yaacoub, E. FSO communication system for high-speed trains under varying visibility conditions. Vehicular Communications, Amsterdam: Elsevier, p. 100634, 2023.

[4] Alraih, S., Nordin, R., Abu-Samah, A., Shayea, I., & Abdullah, N. F. A survey on handover optimization in beyond 5G mobile networks: Challenges and solutions. IEEE Access, New York: IEEE, pp. 59317-59345, 2023.

[5] Banerjee, S., Hempel, M., & Sharif, H. A survey of wireless communication technologies and their performance for high speed railways. International Journal of Communications, Network and System Sciences, Irvine: Scientific Research Publishing, pp. 1-19, 2016.

[6] Chen, X., Ding, J., & Lai, H. 5G oriented optical communications in high-speed trains: A review, in Proceedings of the 28th Wireless and Optical Communications Conference (WOCC), Beijing: IEEE, pp. 1-5, 2019.

[7] Dutta, A., & Schulzrinne, H. Mobility Protocols and Handover Optimization: Design, Evaluation and Application. Chichester: John Wiley & Sons, pp. 1-350, 2014.

[8] Gheth, W., Rabie, K. M., Adebisi, B., Ijaz, M., & Harris, G. Communication systems of high-speed railway: A survey. Transactions on Emerging Telecommunications Technologies, Hoboken: Wiley, pp. e4189, 2021.

[9] Giust, F., Cominardi, L., & Bernardos, C. J. Distributed mobility management for future 5G networks: Overview and analysis of existing approaches. IEEE Communications Magazine, New York: IEEE, pp. 142-149, 2015.

[10] Gures, E., Shayea, I., Alhammadi, A., Ergen, M., & Mohamad, H. A comprehensive survey on mobility management in 5G heterogeneous networks: Architectures, challenges and solutions. IEEE Access, New York: IEEE, pp. 195883-195913, 2020.

[11] Kanno, A., Dat, P. T., Yamamoto, N., Kawanishi, T., Iwasawa, N., Iwaki, N., & Kashima, K. High-speed railway communication system using linear-cell-based radio-over-fiber network and its field trial in 90-GHz bands. Journal of Lightwave Technology, New York: IEEE, pp. 112-122, 2020.

[12] Kasim, A. N. A survey mobility management in 5G networks, arXiv preprint arXiv:2006.15598, Ithaca: Cornell University Library, pp. 1-15, 2020.

[13] Lobinger, A., Stefanski, S., Jansen, T., & Balan, I. Coordinating handover parameter optimization and load balancing in LTE self-optimizing networks, in Proceedings of the IEEE 73rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring), Budapest: IEEE, pp. 1-5, 2011.

[14] Nguyen, T. T., Bonnet, C., & Harri, J. SDN-based distributed mobility management for 5G networks, in Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), Doha: IEEE, pp. 1-7, 2016.

[15] Patil, M. B., & Math, L. A novel approach for optimization of handover mechanism using metaheuristics algorithms. Measurement: Sensors, Amsterdam: Elsevier, p. 100467, 2022.

[16] N. T. Quyên, V. B. Tạo, và H. T. An. Giảm nhiễu trong mạng hỗn tạp 5G dựa trên thuật toán phân bổ tốc độ. Tạp chí Nghiên cứu Khoa học, Trường Đại học Sao Đỏ, số 2 (77), tr. 11-18, 2022.

[17] Shayea, I., Ergen, M., Azmi, M. H., Çolak, S. A., Nordin, R., & Daradkeh, Y. I. Key challenges, drivers and solutions for mobility management in 5G networks: A survey. IEEE Access, New York: IEEE, pp. 172534-172552, 2020.

[18] Siddiqui, M. U. A., Qamar, F., Tayyab, M., Hindia, M. N., Nguyen, Q. N., & Hassan, R. Mobility management issues and solutions in 5G-and-beyond networks: A comprehensive review. Electronics, Basel: MDPI, pp. 1366, 2022.

■Ngày nhận bài: 12/3/2026 ■Ngày sửa bài: 25/3/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 08/4/2026

Đánh giá dưỡng hộ CO_2 ở tuổi muộn cho bê tông chứa phụ gia khoáng hoạt tính

Evaluation of late-age CO_2 curing on hardened concrete incorporating supplementary cementitious materials

> PHẠM QUỐC NHẬT[1,2], TRẦN VĂN MIỀN[1,2,*]
[1]Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Bách khoa TP.HCM
[2]Đại học Quốc gia TP.HCM
[*]Email: tvmien@hcmut.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu này đánh giá ảnh hưởng của dưỡng hộ CO_2 áp dụng sau 28 ngày dưỡng hộ nước đến tính chất kỹ thuật của bê tông thường sử dụng chất kết dính xi măng Portland và phụ gia khoáng hoạt tính (SCMs) bổ sung gồm tro bay (TB) và xỉ lò cao nghiền mịn (XLM). Bốn cấp phối được khảo sát, gồm cấp phối đối chứng và ba cấp phối bổ sung SCMs lần lượt là 20, 30 và 40% so với khối lượng xi măng (trong đó 20 và 30% sử dụng TB, 40% là kết hợp 30% TB và 10% XLM). Tỷ lệ nước/xi măng được giữ cố định ở 0.58 cho tất cả các cấp phối. Sau khi trộn và kiểm tra độ sụt, mẫu được dưỡng hộ nước đến 28 ngày, sau đó được dưỡng hộ CO_2 trong 168 giờ. Các chỉ tiêu được thí nghiệm gồm cường độ chịu nén, khối lượng thể tích, độ hút nước, chiều sâu cacbonat hóa và điện trở suất bề mặt. Kết quả cho thấy việc sử dụng SCMs làm tăng độ sụt, trong khi dưỡng hộ CO_2 nhìn chung làm tăng cường độ chịu nén, tăng nhẹ khối lượng thể tích, giảm độ hút nước và tăng điện trở suất bề mặt; đồng thời chiều sâu cacbonat hóa tăng khi tăng hàm lượng SCMs, đặc biệt ở T30X10. Nhìn chung, dưỡng hộ CO_2 sau 28 ngày cho thấy tiềm năng cải thiện tính chất và lưu giữ CO_2 trong bê tông, song cần tối ưu thành phần chất kết dính để kiểm soát tính đồng nhất theo chiều sâu.

Từ khóa: Dưỡng hộ tuổi 28 ngày; tro bay; xỉ lò cao nghiền mịn; chiều sâu cacbonat hóa; điện trở suất bề mặt; độ hút nước.

ABSTRACT

The present study evaluates the effect of CO_2 curing applied after 28 days of water curing on the engineering performance of conventional concrete made with a Portland cement binder and incorporating supplementary cementitious materials (SCMs), including fly ash (FA) and ground granulated blast-furnace slag (GGBFS). Four mixtures were investigated, including a control mixture and three mixtures with SCMs added at 20, 30, and 40% by mass of cement; among these, the mixtures with 20% and 30% SCMs used FA, whereas the 40% SCM mixture combined 30% FA and 10% GGBFS. The water-to-cement ratio was kept constant at 0.58 for all mixtures. After mixing and slump testing, the specimens were water-cured for 28 days and then underwent a CO_2 curing stage for 168 h. The measured properties included compressive strength, bulk density, water absorption, carbonation depth, and surface resistivity. The experimental results indicate that incorporating SCMs increased slump, whereas CO_2 curing generally enhanced compressive strength, slightly increased bulk density, reduced water absorption, and increased surface resistivity. In addition, carbonation depth increased with higher SCM contents, with the greatest depth observed for the FA-GGBFS blend. Overall, late-age CO_2 curing shows potential to improve properties and CO_2 sequestration in concrete, although further optimization of binder composition is required to better control carbonation-depth uniformity across specimens.

Keywords: Late-age CO_2 curing; fly ash; ground granulated blast-furnace slag; carbonation depth; compressive strength; surface resistivity; water absorption.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Phát thải CO_2 là một chỉ số quan trọng trong đánh giá tính bền vững của các ngành công nghiệp có cường độ phát thải cao. Trong lĩnh vực xây dựng, vật liệu gốc xi măng, cụ thể là xi măng Portland, được sử dụng với khối lượng lớn [1]. Việc sản xuất xi măng được ước tính đóng góp đến 8% tổng lượng CO_2 phát thải toàn cầu [2], khiến lĩnh vực này thuộc nhóm nguồn phát thải lớn của ngành vật liệu công nghiệp. Lượng phát thải này phát sinh chủ yếu từ tiêu thụ năng lượng trong lò nung và phản ứng phân hủy đá vôi khi tạo clinker. Do một phần lớn lượng phát thải CO_2 phát sinh trực tiếp từ phản ứng hóa học

trong quá trình tạo clinker, các giải pháp giảm phát thải thường chịu nhiều ràng buộc kỹ thuật [3]. Vì vậy, các giải pháp nhằm giảm phát thải CO_2 cho vật liệu gốc xi măng cần khả thi ở quy mô sản xuất, đồng thời duy trì yêu cầu cơ học và độ bền trong điều kiện khai thác.

Trước áp lực cắt giảm phát thải nêu trên, các giải pháp theo hướng thu giữ, tận dụng và lưu giữ CO_2 (CCUS) ngay trong chuỗi sản xuất xi măng và bê tông đang được xem như một hướng tiếp cận triển vọng [3]. Trong hệ vật liệu gốc xi măng, CCUS thường được triển khai theo hai phương pháp là trộn và dưỡng hộ CO_2 [4]. Đối với phương pháp trộn CO_2 cho hỗn hợp bê tông, phương pháp này thuận lợi với quy trình hiện hữu nhưng mức độ cố định CO_2 có thể biến thiên lớn do nguy cơ thất thoát CO_2 cao và điều kiện phản ứng khó đồng nhất trong quá trình trộn. Ngược lại, dưỡng hộ CO_2 cho phép kiểm soát môi trường phản ứng rõ ràng hơn và có thể thúc đẩy khoáng hóa CO_2 để tạo dạng cacbonat lưu giữ ổn định trong pha rắn. Tuy nhiên, hiệu quả dưỡng hộ vẫn phụ thuộc vào độ ẩm tương đối, nhiệt độ, nồng độ CO_2, khả năng khuếch tán và độ thấm của cấu kiện, nên tính đồng nhất theo chiều sâu là một thách thức cần được làm rõ.

Bên cạnh CCUS, phụ gia khoáng hoạt tính (SCMs) như tro bay (TB) và xỉ lò cao nghiền mịn (XLM) thường được sử dụng trong hệ chất kết dính xi măng để điều chỉnh thành phần pha, khả năng phản ứng và cấu trúc lỗ rỗng vật liệu [5]. Hai loại SCMs này có thể cải thiện một số tính chất dài hạn nhờ phản ứng pozzolan của TB và tính thủy lực tiềm tàng của XLM. Tuy nhiên, sự có mặt của SCMs làm thay đổi thành phần pha, hàm lượng $Ca(OH)_2$, độ kiềm và cấu trúc lỗ rỗng của vật liệu gốc xi măng, nên có thể chi phối quá trình khuếch tán CO_2, động học cacbonat hóa và mức độ hình thành sản phẩm cacbonat khi áp dụng dưỡng hộ CO_2 [6]. Trong khi phần lớn các nghiên cứu tiếp cận SCMs theo hướng thay thế xi măng, ảnh hưởng của việc bổ sung TB và XLM vào hệ bê tông có hàm lượng xi măng cố định đối với khả năng cacbonat hóa và hiệu năng kỹ thuật sau dưỡng hộ CO_2 vẫn cần được làm rõ. Vì vậy, đánh giá dưỡng hộ CO_2 trên bê tông có bổ sung TB và XLM là cần thiết, nhằm làm rõ mối quan hệ giữa thành phần chất kết dính, khả năng khoáng hóa CO_2 và các tính chất kỹ thuật của bê tông.

Do đó, bài báo này nhằm đánh giá hiệu quả của dưỡng hộ CO_2 đối với các tính chất kỹ thuật của bê tông thường có bổ sung SCMs sau 28 ngày dưỡng hộ nước. Các tính chất được khảo sát bao gồm cường độ chịu nén, độ hút nước, chiều sâu cacbonat hóa và điện trở suất bề mặt bê tông. Các mẫu được dưỡng hộ cacbonat hóa trong 7 ngày nhằm đánh giá hiệu quả khoáng hóa CO_2 cho bê tông ở tuổi muộn.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM

2.1. Chuẩn bị vật liệu

Thành phần nguyên vật liệu thô được sử dụng bao gồm xi măng, cốt liệu, nước nhào trộn và phụ gia. Chất kết dính là xi măng Portland loại I (XMP) có nguồn gốc từ Công ty Xi măng Nghi Sơn. XMP có khối lượng riêng 3.10 g/cm^3, cường độ chịu nén đạt 43.70 MPa ở 3 ngày và 62.50 MPa ở 28 ngày, bắt đầu và kết thúc đông kết lần lượt là 135 và 170 phút, cùng độ mịn 3375 cm^2/g. Thành phần hóa học và chỉ tiêu kỹ thuật của XMP phù hợp với TCVN 2682:2020 [7] đối với PC50. Ngoài ra, nghiên cứu này sử dụng SCMs gồm TB và XLM, với khối lượng riêng lần lượt là 2.30 g/cm^3 và 2.93 g/cm^3 nhằm khảo sát ảnh hưởng của việc bổ sung SCMs đến hệ chất kết dính và hiệu quả dưỡng hộ CO_2. TB và XLM này phù hợp với TCVN 10302:2014 [8] và 11586:2016 [9] (với TB thuộc loại F (hàm lượng CaO < 10%) và XLM thuộc loại S95).

Cốt liệu mịn (CM) là cát sông có khối lượng riêng 2.65 g/cm^3, mô đun độ lớn 2.08 và độ hút nước 0.22%. Cốt liệu thô (CT) là đá dăm có khối lượng riêng 2.74 g/cm^3, độ nén dập trong xilanh 3.30%, độ hút nước trong 24 giờ 0.19% và cỡ hạt 5-20 mm. Các chỉ tiêu của cốt liệu đáp ứng TCVN 7570:2006 [10]. Nước máy dùng để trộn tuân thủ TCVN 4506:2012 [11], không chứa tạp chất, váng dầu và chất hữu cơ hoặc cặn không tan. Phụ gia sử dụng trong nghiên cứu là phụ gia siêu dẻo (PGSD) Sika 319-H, được phân loại D và G theo ASTM C494 [12], và dùng để hỗ trợ duy trì tính công tác của hỗn hợp bê tông.

2.2. Thiết kế thành phần cấp phối

Cấp phối đối chứng (ĐC) được thiết kế theo ACI 211-22 [13], với tỷ lệ nước trên xi măng bằng 0.58. Độ sụt thiết kế được lựa chọn là 180±20 mm, cường độ chịu nén thiết kế ở 28 ngày tối thiểu 40 MPa. Dựa trên cấp phối chuẩn này, các hỗn hợp có sử dụng SCMs được xây dựng bằng cách bổ sung TB và XLM vào hệ chất kết dính theo các tỷ lệ đã chọn so với khối lượng XMP, nhằm khảo sát ảnh hưởng của hệ chất kết dính giàu SCMs dưới điều kiện dưỡng hộ CO_2. Trong tất cả các cấp phối, hàm lượng XMP và nước được giữ cố định lần lượt là 313 kg/m^3 và 180 kg/m^3; lượng cốt liệu mịn và cốt liệu thô được hiệu chỉnh giảm nhẹ để bảo đảm thể tích 1 m^3 bê tông. Hàm lượng Sika 319-H sử dụng là 1.25% so với khối lượng XMP và được giữ cố định cho tất cả các cấp phối, tương ứng khoảng 3.91 kg/m^3. Phụ gia này được áp dụng để hỗ trợ duy trì tính công tác của hỗn hợp. Trong nghiên cứu này, hàm lượng PGSD không được điều chỉnh riêng cho từng cấp phối; do đó, độ sụt đo được sau khi trộn được xem là kết quả thực nghiệm phản ánh ảnh hưởng của TB và XLM đến tính công tác của hỗn hợp bê tông. Thành phần cấp phối cho 1 m^3 bê tông được tổng hợp trong Bảng 1.

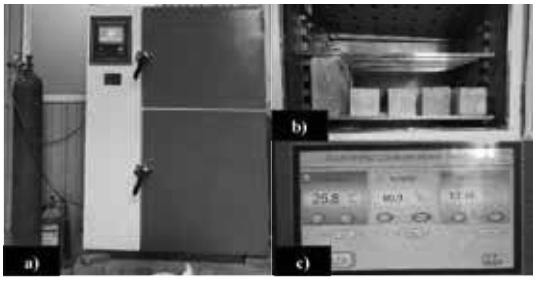
Bảng 1. Thành phần cấp phối cho một m^3 bê tông

Tên mẫu	Đơn vị: kg/m^3						
	XMP	TB	XLM	CM	CT	N	PGSD
ĐC	313	-	-	831	1100	180	3.91
T20	313	63	-	823	1089	180	3.91
T30	313	94	-	819	1084	180	3.91
T30X10	313	94	31	818	1083	180	3.91

Chú thích: XMP: xi măng Portland; TB: tro bay; XLM: xỉ lò cao nghiền mịn; CM: cốt liệu mịn (cát sông); CT: cốt liệu thô (đá dăm); N: nước; -: không sử dụng.

2.3. Chuẩn bị mẫu thí nghiệm

Quy trình thí nghiệm gồm nhào trộn, kiểm tra độ sụt, tạo mẫu, dưỡng hộ nước đến 28 ngày và dưỡng hộ CO_2, được mô tả theo các bước sau: Đầu tiên, hỗn hợp bê tông được trộn theo cấp phối thiết kế đến khi đạt trạng thái đồng nhất. Độ sụt được kiểm tra ngay sau khi trộn theo TCVN 3106:2022 [14] nhằm đánh giá tính công tác của hỗn hợp bê tông. Hỗn hợp bê tông được đúc vào khuôn lập phương 100×100×100 mm cho các thí nghiệm cường độ chịu nén, khối lượng thể tích, độ hút nước và chiều sâu cacbonat hóa, trong khi mẫu trụ 200×100 mm được dùng để đo điện trở suất bề mặt. Tiếp theo, sau 24 giờ dưỡng hộ trong khuôn, mẫu được tháo khuôn và dưỡng hộ trong nước đến 28 ngày. Sau 28 ngày dưỡng hộ nước, mẫu được đặt trong buồng cacbonat hóa GA-300B (Hình 1a) và bố trí trên khay dưỡng hộ (Hình 1b). Điều kiện dưỡng hộ được thiết lập ở nhiệt độ 27±2.0 °C, độ ẩm tương đối 60±3.0% và nồng độ CO_2 10±0.5% (Hình 1c) trong 7 ngày. Sau đó, tất cả các mẫu cacbonat hóa và mẫu dưỡng hộ nước ở cùng ngày tuổi được thí nghiệm các chỉ tiêu tương ứng.



Hình 1. Dưỡng hộ CO_2 trong (a) buồng dưỡng hộ, (b) đặt mẫu trên khay dưỡng hộ và (c) thiết lập các thông số nhiệt độ, độ ẩm tương đối và nồng độ CO_2 áp dụng

2.4. Phương pháp thí nghiệm

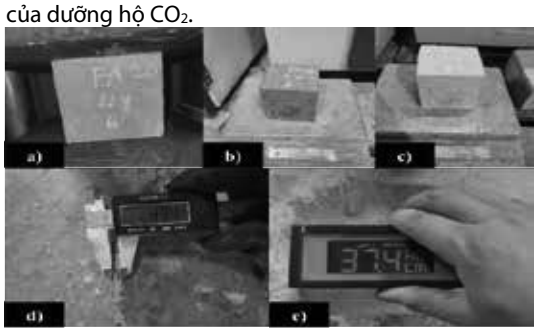
Cường độ chịu nén (Hình 2a) được thực hiện theo TCVN 3118:2022 [15] cho cả hai nhóm mẫu dưỡng hộ nước và cacbonat hóa. Kết quả này được dùng để đánh giá ảnh hưởng của dưỡng hộ CO_2 đến tính chất cơ học của bê tông ở tuổi muộn.

Khối lượng thể tích (Hình 2b) được xác định trước và sau 168 giờ dưỡng hộ trong buồng cacbonat hóa theo TCVN 3115:2022 [16]. Giá trị khối lượng thể tích được dùng để so sánh mức thay đổi độ đặc sít của bê tông giữa trạng thái trước và sau cacbonat hóa.

Độ hút nước (Hình 2c) được xác định theo TCVN 3113:2022 [17] cho các mẫu dưỡng hộ trong nước và cacbonat hóa. Chỉ tiêu này được sử dụng để phản ánh mức độ hút nước theo khối lượng sau các chế độ dưỡng hộ khác nhau.

Chiều sâu cacbonat hóa (Hình 2d) được xác định theo TCVN 13933:2024 [18] cho các mẫu cacbonat hóa với thời gian tiếp xúc 168 giờ. Dựa trên kết quả chiều sâu cacbonat hóa trung bình (tối thiểu 10 điểm đo), hệ số cacbonat hóa gia tốc được tính theo TCVN 13929:2024 [19] theo biểu thức $k = x/t^{1/2}$, trong đó k là hệ số cacbonat hóa (mm/√tuần), x là chiều sâu cacbonat hóa trung bình (mm) và t là thời gian tiếp xúc với CO_2 (tuần).

Điện trở suất bề mặt (Hình 2e) được đo sau khi ngâm nước trong 24 giờ theo AASHTO T 358 [20] cho mẫu chưa cacbonat hóa (1, 14, 28 ngày tuổi) và mẫu sau khi cacbonat hóa. Chỉ tiêu này được sử dụng để đánh giá khả năng cản trở dẫn truyền ion ở vùng bề mặt và mức độ thay đổi tính vận chuyển của bê tông do ảnh hưởng của dưỡng hộ CO_2.

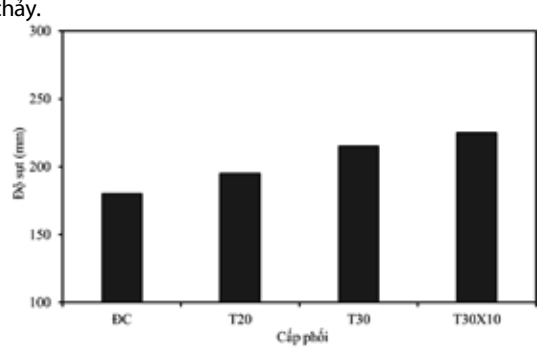


Hình 2. Thí nghiệm kiểm tra (a) cường độ chịu nén, (b) khối lượng thể tích trước và sau cacbonat hóa, (c) độ hút nước, (d) chiều sâu cacbonat hóa, và (e) điện trở suất bề mặt

3. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM VÀ THẢO LUẬN

3.1. Tính công tác

Hình 3 thể hiện độ sụt của hỗn hợp bê tông không có và có SCMs (bao gồm TB và XLM). Độ sụt của mẫu ĐC đạt khoảng 180 mm và đạt độ sụt thiết kế ban đầu, trong khi các cấp phối có TB tăng từ xấp xỉ 195 mm ở T20 lên khoảng 215 mm ở T30. Do hàm lượng PGSD được giữ cố định cho tất cả các cấp phối, sự thay đổi độ sụt chủ yếu phản ánh ảnh hưởng của việc bổ sung TB và XLM đến tính công tác của hỗn hợp, thay vì do điều chỉnh hàm lượng phụ gia. Khi phối hợp thêm 10% XLM, độ sụt tiếp tục tăng và đạt khoảng 225 mm ở mẫu T30X10. Xu hướng này cho thấy việc bổ sung TB vào hệ chất kết dính, cũng như phối hợp TB và XLM, có thể cải thiện tính công tác của hỗn hợp trong điều kiện thí nghiệm. Hiệu ứng này thường liên quan đến hình thái hạt TB tương đối tròn, giúp giảm ma sát nội và giảm nhu cầu nước; đồng thời, hệ hạt của chất kết dính được điều chỉnh theo hướng thuận lợi cho khả năng chảy.

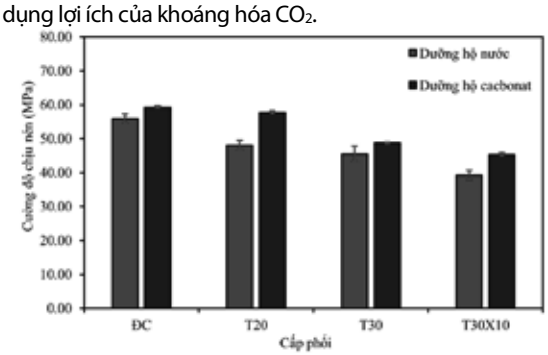


Hình 3. Độ sụt của hỗn hợp bê tông không có và có TB và XLM

3.2. Cường độ chịu nén

Tính chất cơ học của bê tông sau khi dưỡng hộ CO_2 so với bê tông dưỡng hộ trong môi trường nước (không có và có TB và XLM) được trình bày ở Hình 4. Đối với mẫu ĐC, cường độ chịu nén của mẫu dưỡng hộ nước đạt khoảng 55 MPa (đạt cường độ chịu nén theo thiết kế là tối thiểu 40 MPa). Khi mẫu được dưỡng hộ CO_2, cường độ của ĐC tăng nhẹ lên xấp xỉ 59 MPa, cho thấy tác động cải thiện cơ học nhưng không quá lớn đối với hệ chỉ dùng xi măng Portland. Với các cấp phối có TB, cường độ chịu nén ở chế độ dưỡng hộ nước giảm so với ĐC, lần lượt khoảng 49 MPa cho T20 và khoảng 45 MPa cho T30. Khi dưỡng hộ CO_2, cường độ chịu nén của T20 tăng rõ rệt lên khoảng 58 MPa, trong khi T30 tăng lên gần 49 MPa. Đối với cấp phối phối hợp TB và XLM, T30X10 có cường độ chịu nén khi dưỡng hộ nước thấp nhất khoảng 40 MPa, nhưng tăng lên khoảng 45 MPa sau dưỡng hộ cacbonat.

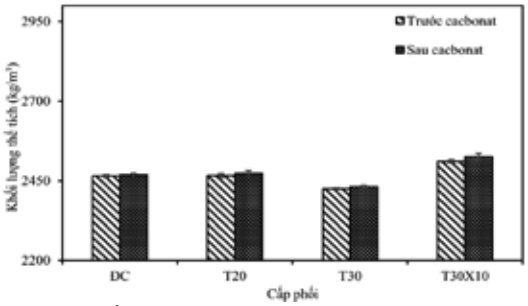
Xu hướng này phản ánh hai cơ chế chính. Thứ nhất, việc tăng hàm lượng TB và phối hợp XLM làm giảm cường độ ở chế độ dưỡng hộ nước tại cùng ngày tuổi, mặc dù tỷ lệ nước trên tổng khối lượng chất kết dính danh nghĩa giảm. Nguyên nhân là TB và XLM được bổ sung vào hệ chất kết dính, trong khi hàm lượng xi măng PC50 và nước được giữ cố định. Vì vậy, sự giảm tỷ lệ này không tương đương với việc giảm nước trộn trong hệ chỉ sử dụng xi măng Portland. Ở tuổi 28 ngày, phản ứng pozzolan của TB và tính thủy lực tiềm tàng của XLM chưa đóng góp đầy đủ vào sự hình thành các sản phẩm C-S-H/C-A-S-H. Thứ hai, dưỡng hộ CO_2 góp phần tăng cường độ nhờ thúc đẩy hình thành sản phẩm cacbonat, đặc biệt là $CaCO_3$, làm đặc ma trận và tinh chỉnh hệ lỗ rỗng, từ đó nâng khả năng chịu tải. Kết quả này cho thấy hiệu quả của dưỡng hộ CO_2 phụ thuộc đáng kể vào thành phần chất kết dính, trong đó tỷ lệ SCMs cần được tối ưu để vừa duy trì nền thủy hóa đủ mạnh vừa tận dụng lợi ích của khoáng hóa CO_2.



Hình 4. Cường độ chịu nén của bê tông dưỡng hộ nước và cacbonat không có và có TB và XLM

3.3. Khối lượng thể tích

Hình 5 trình bày khối lượng thể tích của bê tông (không có và có TB và XLM) trước và sau quá trình cacbonat hóa. Nhìn chung, khối lượng thể tích của các mẫu thay đổi không lớn sau cacbonat hóa và xu hướng chính là tăng nhẹ. Ở trạng thái trước cacbonat hóa, ĐC và T20 có giá trị xấp xỉ nhau quanh mức 2,450 kg/m^3, trong khi T30 thấp hơn đôi chút. Mẫu T30X10 đạt khối lượng thể tích cao nhất trong nhóm, vượt nhẹ so với ĐC. Sau cacbonat hóa, tất cả các cấp phối đều tăng nhẹ so với ban đầu và mức tăng thể hiện khá đồng đều giữa các mẫu. Sự gia tăng khối lượng thể tích sau cacbonat hóa có thể liên quan đến quá trình khoáng hóa CO_2, trong đó sản phẩm cacbonat hình thành có xu hướng lấp đầy một phần lỗ rỗng và làm ma trận đặc hơn. Chênh lệch giữa các cấp phối ở trạng thái trước cacbonat hóa phản ánh ảnh hưởng của việc bổ sung SCMs đến mức độ xếp chặt của hệ hạt và đến khối lượng riêng của chất kết dính. Khi tăng hàm lượng TB, khối lượng thể tích có xu hướng giảm do TB có khối lượng riêng thấp hơn XMP, đồng thời lượng cốt liệu được hiệu chỉnh giảm nhẹ để bảo đảm thể tích cấp phối. Ngược lại, việc phối hợp thêm XLM, với khối lượng riêng cao hơn TB và cấp hạt mịn, có thể cải thiện mức độ xếp chặt và tăng độ đặc sít của hệ, nên T30X10 đạt giá trị cao hơn. Kết quả này cho thấy cacbonat hóa làm tăng độ đặc sít nhưng mức tăng khối lượng thể tích thường không lớn vì cơ chế chính là tinh chỉnh vi cấu trúc.

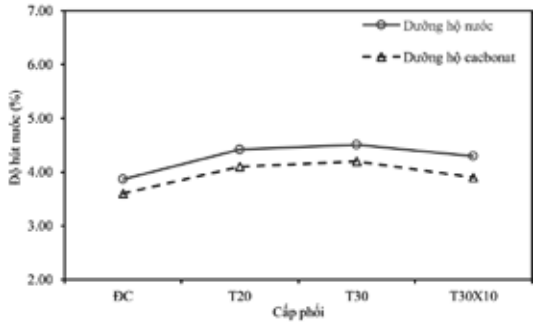


Hình 5. Khối lượng thể tích của bê tông không có và có TB và XLM trước và sau khi cacbonat hóa

3.4. Độ hút nước

Độ hút nước của bê tông được dưỡng hộ cacbonat hóa so với dưỡng hộ nước (không có và có TB và XLM) được thể hiện ở Hình 6. Nhìn chung, các mẫu dưỡng hộ cacbonat hóa có độ hút nước thấp hơn so với các mẫu dưỡng hộ nước ở cùng cấp phối. Mẫu ĐC giảm từ khoảng 3.9% xuống khoảng 3.6% sau cacbonat hóa. Với các cấp phối dùng TB, độ hút nước tăng so với ĐC, đạt khoảng 4.4% ở T20 và khoảng 4.5% ở T30 khi dưỡng hộ nước. Sau cacbonat hóa, các giá trị này giảm còn xấp xỉ 4.1% đối với T20 và khoảng 4.2% đối với T30. Đối với cấp phối phối hợp TB và XLM, T30X10 có độ hút nước khoảng 4.3% khi dưỡng hộ nước và giảm xuống khoảng 3.9% sau cacbonat hóa.

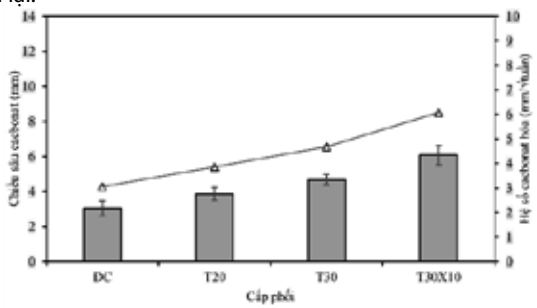
Xu hướng giảm độ hút nước sau cacbonat hóa phù hợp với biến thiên khối lượng thể tích đã được trình bày ở Mục 3.3, trong đó các mẫu sau cacbonat hóa có xu hướng tăng nhẹ khối lượng thể tích, phản ánh mức độ đặc sít cao hơn của ma trận. Về cơ chế, khoáng hóa CO_2 có thể tạo sản phẩm cacbonat và lấp đầy một phần lỗ rỗng liên thông, qua đó hạn chế đường dẫn thấm hút của nước. Ở chế độ dưỡng hộ nước, các hệ có hàm lượng TB cao và phối hợp XLM cho độ hút nước lớn hơn, cho thấy mạng mao quản ở tuổi thí nghiệm vẫn tương đối phát triển khi tỷ lệ SCMs trong tổng hệ chất kết dính tăng. Khi chuyển sang dưỡng hộ cacbonat hóa, mức giảm độ hút nước ở các cấp phối có SCMs rõ hơn so với ĐC, gợi ý rằng sản phẩm cacbonat đã bù đắp một phần độ rỗng mao quản và cải thiện tính đặc sít.



Hình 6. Độ hút nước của bê tông dưỡng hộ nước và cacbonat không có và có TB và XLM

3.5. Chiều sâu cacbonat hóa

Hình 7 mô tả chiều sâu cacbonat hóa của bê tông (không có và có TB và XLM) sau khi cacbonat hóa và hệ số cacbonat hóa (mm/√tuần) tương ứng. Chiều sâu cacbonat hóa tăng dần theo hàm lượng SCMs, từ khoảng 3 mm ở ĐC lên khoảng 4 mm ở T20 và khoảng 4,7 mm ở T30. Mẫu T30X10 cho giá trị lớn nhất, xấp xỉ 6 mm. Xu hướng tương tự cũng được ghi nhận đối với hệ số cacbonat hóa, trong đó T30X10 đạt mức cao nhất so với các cấp phối còn lại.



Hình 7. Chiều sâu và hệ số cacbonat hóa của bê tông sau khi cacbonat hóa

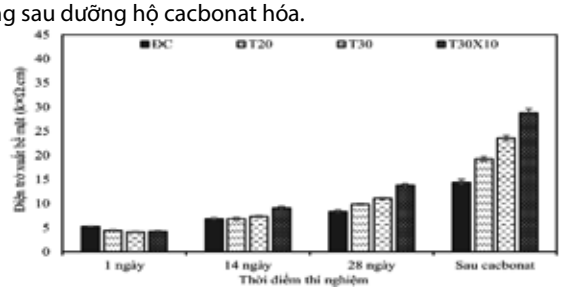
Sự gia tăng chiều sâu và hệ số cacbonat hóa khi tăng TB và phối hợp XLM có thể liên quan đến khả năng thâm nhập CO_2 thuận lợi hơn, đồng thời mức dự trữ kiềm trong hệ có thể thay đổi do TB và XLM được bổ sung vào hệ chất kết dính. Về cơ chế hóa học, TB có thể tham gia phản ứng pozzolan với $Ca(OH)_2$ để hình thành thêm C-S-H, trong khi XLM có thể phát triển tính thủy lực tiềm tàng trong môi trường kiềm để tạo thêm C-S-H/C-A-S-H, qua đó làm giảm một phần hàm lượng vôi tự do có khả năng tham gia phản ứng cacbonat hóa trực tiếp. Tuy nhiên, chiều sâu cacbonat hóa được xác định bằng chỉ thị phenolphthalein không chỉ phản ánh lượng $Ca(OH)_2$ bị cacbonat hóa, mà còn chịu chi phối bởi khả năng khuếch tán CO_2, độ liên thông lỗ rỗng và khả năng đệm kiềm của pha rắn trong chất kết dính. Điều này phù hợp với kết quả độ hút nước ở Mục 3.4, nơi các cấp phối có SCMs cho độ hút nước cao hơn trong chế độ dưỡng hộ nước, hàm ý rằng mạng mao quản và tính liên thông lỗ rỗng có thể lớn hơn ở tuổi thí nghiệm. Vì vậy, dù lượng $Ca(OH)_2$ tự do có thể giảm khi bổ sung SCMs, các cấp phối có TB và XLM vẫn cho chiều sâu cacbonat hóa lớn hơn ĐC do CO_2 thâm nhập thuận lợi hơn.

3.6. Điện trở suất bề mặt

Chỉ số điện trở suất bề mặt của bê tông (không có và có TB và XLM) được đo ở 1, 14, 28 ngày và sau khi cacbonat hóa được trình bày ở Hình 8. Ở giai đoạn sớm từ 1 đến 28 ngày, điện trở suất của tất cả các cấp phối đều tăng theo thời gian, phản ánh quá trình thủy hóa làm giảm tính liên thông của hệ lỗ rỗng và làm dung dịch lỗ rỗng kém dẫn điện hơn. Ở 1 ngày tuổi, các cấp phối sử dụng SCMs có điện trở suất bề mặt thấp hơn so với mẫu ĐC. Kết quả này liên quan đến việc bổ sung TB và XLM vào hệ chất kết dính, trong khi phản ứng pozzolan của TB và tính thủy lực tiềm tàng của XLM

chưa phát triển đáng kể ở tuổi sớm. Do đó, lượng sản phẩm C-S-H/C-A-S-H bổ sung chưa đủ để tinh chỉnh và giảm tính liên thông của hệ lỗ rỗng mao quản, khiến bê tông chứa SCMs vẫn có điện trở suất bề mặt thấp hơn ở giai đoạn đầu. Ngược lại, các thời điểm thí nghiệm khác, các cấp phối có TB và XLM có điện trở suất cao hơn tại cùng thời điểm, và mức chênh lệch có xu hướng tăng khi hàm lượng SCMs tăng. Đến 28 ngày, T30X10 đạt giá trị lớn nhất, cho thấy hệ có SCMs có khả năng cản trở dẫn truyền ion bề mặt tốt hơn ngay cả trước khi áp dụng cacbonat hóa.

Sau giai đoạn tiền dưỡng hộ 28 ngày tuổi, khi chuyển sang trạng thái sau cacbonat hóa, điện trở suất của tất cả các cấp phối tăng rõ rệt và mức tăng thể hiện mạnh nhất ở các hỗn hợp có SCMs, đặc biệt là T30X10. Xu hướng này cho thấy quá trình cacbonat hóa đã làm thay đổi cấu trúc lỗ rỗng theo hướng giảm tính liên thông, qua đó làm tăng khả năng cản trở vận chuyển ion ở vùng bề mặt. Kết quả này phù hợp với xu hướng giảm độ hút nước (Mục 3.4) và xu hướng tăng nhẹ khối lượng thể tích ở Mục 3.3, đều hàm ý hệ nền chất kết dính đặc sít hơn sau cacbonat hóa. Tuy nhiên, khi đối chiếu với chiều sâu cacbonat hóa ở Mục 3.5, các cấp phối có SCMs lại cho chiều sâu cacbonat hóa lớn hơn, cho thấy khả năng thâm nhập CO_2 theo chiều sâu có thể thuận lợi hơn trong các hệ này. Điều này gợi ý rằng điện trở suất bề mặt phản ánh chủ yếu trạng thái vùng bề mặt, trong khi chiều sâu cacbonat hóa chịu sự chi phối bởi cả mức dự trữ kiềm và khả năng khuếch tán CO_2 vào trong cấu kiện. Do đó, việc sử dụng đồng thời điện trở suất bề mặt và chiều sâu cacbonat hóa giúp mô tả đầy đủ hơn sự thay đổi về tính vận chuyển và mức độ đồng nhất theo chiều sâu của bê tông sau dưỡng hộ cacbonat hóa.



Hình 8. Điện trở suất bề mặt của bê tông không có và có TB và XLM ở 1,14 ngày, trước (28 ngày) và sau cacbonat hóa

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đánh giá ảnh hưởng của dưỡng hộ CO_2 sau 28 ngày dưỡng hộ nước đối với bê tông có bổ sung SCMs gồm TB và XLM. Từ các kết quả thực nghiệm, có thể rút ra các kết luận chính như sau:

- Về tính công tác: Việc bổ sung TB hoặc TB kết hợp với XLM làm tăng 8 - 25% độ sụt của hỗn hợp bê tông so với cấp phối đối chứng.

- Về cường độ chịu nén: Dưỡng hộ cacbonat hóa làm tăng khoảng 7 - 18% cường độ chịu nén ở tất cả các cấp phối so với dưỡng hộ nước.

- Về khối lượng thể tích: Mẫu bê tông cacbonat hóa tăng nhẹ khối lượng thể tích so với trước khi cacbonat hóa.

- Về độ hút nước: Dưỡng hộ cacbonat hóa làm giảm khoảng 7 - 9% độ hút nước ở tất cả các cấp phối so với dưỡng hộ nước.

- Về chiều sâu cacbonat hóa: Chiều sâu cacbonat hóa sau 168 giờ dưỡng hộ CO_2 đạt khoảng 3 - 6 mm và tăng khi tăng hàm lượng SCMs.

- Về điện trở suất bề mặt: Dưỡng hộ cacbonat hóa làm tăng khoảng 75-105% điện trở suất bề mặt so với trạng thái trước cacbonat hóa ở 28 ngày tuổi.

Nhìn chung, dưỡng hộ CO_2 sau 28 ngày dưỡng hộ nước có thể cải thiện một số chỉ tiêu kỹ thuật của bê tông, đặc biệt là giảm độ hút nước, tăng điện trở suất bề mặt và duy trì hoặc cải thiện cường độ chịu nén. Các nghiên cứu tiếp theo cần tối ưu thành phần chất kết dính và điều kiện dưỡng hộ CO_2 nhằm cân bằng hiệu quả lưu giữ CO_2, tính đồng nhất theo chiều sâu và độ bền trong môi trường xâm thực.

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn Trường Đại học Bách khoa - Đại học Quốc gia TP.HCM đã hỗ trợ thực hiện nghiên cứu này. Tác giả xin gửi lời cảm ơn chân thành đến anh Trần Quốc Thọ vì sự hỗ trợ trong quá trình thực nghiệm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] M. Hanifa, R. Agarwal, U. Sharma, P. C. Thapliyal and L. P. Singh. A review on CO_2 capture and sequestration in the construction industry: Emerging approaches and commercialized technologies. J. CO_2 Util., vol. 67, p. 102292, Jan. 2023, doi: https://doi.org/10.1016/j.jcou.2022.102292.

[2] J. Monteiro and S. Roussanaly. CCUS scenarios for the cement industry: Is CO_2 utilization feasible?. J. CO_2 Util., vol. 61, p. 102015, Jul. 2022, doi: https://doi.org/10.1016/j.jcou.2022.102015.

[3] M. Schneider. The cement industry on the way to a low-carbon future. Cem. Concr. Res., vol. 124, p. 105792, Oct. 2019, doi: https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.105792.

[4] K. Aghaee. Carbon capture, utilization and storage for sustainable construction: Insights into CO_2 mixing, curing, and mineralization. Carbon Capture Sci. Technol., vol. 17, p. 100503, Dec. 2025, doi: https://doi.org/10.1016/j.ccst.2025.100503.

[5] Y.-X. Zou, X.-B. Zuo, G.-J. Yin, H.-L. Zhang and F.-B. Ding. Utilization of industrial wastes on the durability improvement of cementitious materials: A comparative study between FA and GGBFS. Constr. Build. Mater., vol. 421, p. 135629, Mar. 2024, doi: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.135629.

[6] A. Kashani, R. Hameed, Md. T. H. Khondoker, W. Li, T. Kim, and V. W. Y. Tam. Carbon utilization for low-carbon concrete: Prospects for carbonated steel slag and recycled concrete. Resour. Conserv. Recycl., vol. 226, p. 108698, Feb. 2026, doi: https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2025.108698.

[7] Bộ Khoa học và Công nghệ. TCVN 2682:2020 Xi măng poóc lăng, 2020.

[8] Bộ Khoa học và Công nghệ. TCVN 10302:2014 Phụ gia hoạt tính tro bay dùng cho bê tông, vữa xây và xi măng, 2014.

[9] Bộ Khoa học và Công nghệ. TCVN 11586:2016 Xỉ hạt lò cao nghiền mịn dùng cho bê tông và vữa.

[10] Bộ Khoa học và Công nghệ. TCVN 7570:2006 Cốt liệu cho bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật, 2006.

[11] Bộ Khoa học và Công nghệ. TCVN 4506:2012 Nước cho bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật, 2012.

[12] American Society for Testing and Materials. ASTM C494/C494M-19e1 Standard specification for chemical admixtures for concrete, 2019.

[13] American Concrete Institute. ACI 211-22 Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete, 2022.

[14] Bộ Khoa học và Công nghệ. TCVN 3106:2022 Hỗn hợp bê tông - Phương pháp xác định độ sụt, 2022.

[15] Bộ Khoa học và Công nghệ. TCVN 3118:2022 Bê tông - Phương pháp xác định cường độ chịu nén, 2022.

[16] Bộ Khoa học và Công nghệ. TCVN 3115:2022 Bê tông - Phương pháp xác định khối lượng thể tích, 2022.

[17] Bộ Khoa học và Công nghệ. TCVN 3113:2022 Bê tông - Phương pháp xác định độ hút nước, 2022.

[18] Bộ Khoa học và Công nghệ. TCVN 13933:2024 Bê tông - Phương pháp xác định chiều sâu cacbonat hóa, 2024.

[19] Bộ Khoa học và Công nghệ. TCVN 13929:2024 Bê tông - Phương pháp thử tăng tốc cacbonat hóa.

[20] American Association of State Highway and Transportation Officials. AASHTO T358-21 Surface Resistivity Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration, 2021.

■Ngày nhận bài: 12/3/2026 ■Ngày sửa bài: 25/3/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 08/4/2026

Thiết lập tương quan giữa thí nghiệm vệt bánh xe và tuổi thọ lún dự báo của lớp bê tông nhựa làm mặt đường trong điều kiện TP Hồ Chí Minh

Establishing a correlation between wheel tracking test results and predicted rutting life of asphalt concrete pavements under Ho Chi Ninh City conditions

> PGS.TS LÊ VĂN PHÚC[1], PHẠM HỒNG PHONG[1], TS TRẦN HỮU BẰNG[2,*]
[1]Trường Đại học Giao thông vận tải
[2]Trường Đại học Thủ Dầu Một
[*]Email: bangth@tdmu.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu đã thiết lập mối tương quan giữa kết quả thí nghiệm hằn lún vệt bánh xe (HLVBX) trong phòng và tuổi thọ hằn lún dự báo của lớp bê tông nhựa (BTN) trong điều kiện khí hậu TP.HCM. Kết quả thí nghiệm HLVBX của hỗn hợp BTNC 16 với hàm lượng nhựa khác nhau được sử dụng kết hợp với phương pháp thiết kế cơ học-thực nghiệm (MEPDG) để phân tích tuổi thọ hằn lún của kết cấu áo đường. Trên cơ sở phân tích ảnh hưởng của hàm lượng nhựa, lưu lượng xe và vận tốc tính toán, nghiên cứu đã xây dựng mô hình thực nghiệm biểu diễn mối quan hệ giữa tuổi thọ lún dự báo với số trục xe tính toán, vận tốc tính toán, hàm lượng nhựa và chiều sâu HLVBX. Kết quả kiểm chứng với 45 trường hợp độc lập cho thấy mô hình đạt hệ số xác định R2=0,87 và sai số trung bình khoảng 6,2%. Do vậy, mô hình đề xuất có thể ứng dụng trong dự báo nhanh tuổi thọ hằn lún của lớp BTN mặt đường BTN trong điều kiện thực tế tại TP.HCM.

Từ khóa: Hằn lún vệt bánh xe; tuổi thọ lún; bê tông nhựa; hàm lượng nhựa; MEPDG.

ABSTRACT

This study establishes a correlation between laboratory wheel tracking test results and the predicted rutting life of asphalt concrete (AC) layers under Ho Chi Minh City climatic conditions. Wheel tracking test results of AC mixtures using a nominal maximum aggregate 16 mm with different asphalt contents were used in combination with the Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide (MEPDG) to analyze the rutting life of pavement structures. Based on the analysis of the effects of asphalt content, traffic loading and operating speed, an empirical model was developed to describe the relationship between predicted rutting life and the number of equivalent axle loads, traffic speed, asphalt content and rut depth. Validation results with 45 independent cases indicate that the model achieves a coefficient of determination R2=0.87 with an average error of approximately 6.2%. Therefore, the proposed model can be effectively applied for rapid prediction of rutting life of asphalt concrete surface layers under actual conditions in Ho Chi Minh City.

Keywords: Rutting; rutting life; asphalt concrete; binder content; MEPDG.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong thiết kế và đánh giá chất lượng BTN, khả năng chống HLVBX là một trong những chỉ tiêu quan trọng quyết định đến tuổi thọ khai thác của kết cấu áo đường BTN. Hiện tượng HLVBX không chỉ ảnh hưởng đến độ bằng phẳng mà còn làm suy giảm khả năng khai thác và an toàn giao thông, đặc biệt trong điều kiện nhiệt độ cao và tải trọng lớn như tại TP.HCM. Hiện nay, thí nghiệm HLVBX là phương pháp phổ biến và hiệu quả trong kiểm soát chất lượng hỗn hợp BTN, đặc biệt trong giai đoạn thiết kế cấp phối. Tuy nhiên, trên thực tế bản chất của thí nghiệm này chỉ phản ánh ứng xử của mẫu BTN trong điều kiện thí nghiệm ngắn hạn và có kiểm soát trong

phòng, trong khi hằn lún thực tế ngoài hiện trường là kết quả của quá trình tích lũy biến dạng lâu dài dưới tác động của nhiều yếu tố như tải trọng trục, nhiệt độ môi trường, điều kiện chất lượng vật liệu, thi công và cấu trúc kết cấu áo đường. Chính vì vậy, mối quan hệ giữa kết quả thí nghiệm trong phòng và tuổi thọ hằn lún ngoài thực tế là một vấn đề phức tạp cần được nghiên cứu.

Tại Việt Nam, thí nghiệm HLVBX đã được đưa vào các tiêu chuẩn và quy trình thí nghiệm nhằm kiểm soát chất lượng hỗn hợp BTN trong thiết kế và thi công [1, 2]. Tuy nhiên, việc sử dụng kết quả thí nghiệm này chủ yếu dừng lại ở mức đánh giá đạt hay không đạt theo chiều sâu hằn lún quy định tuy loại vật liệu sử dụng mà chưa được khai thác đầy đủ để phục vụ công tác dự báo tuổi thọ lún khai thác của mặt đường cho dự án thực tế. Các nghiên cứu trong nước về hằn lún chủ yếu tập trung vào ảnh hưởng của thành phần vật liệu, hàm lượng nhựa, độ rỗng dư hoặc điều kiện thi công đến khả năng kháng lún, trong khi các nghiên cứu về dự báo tuổi thọ kết cấu áo đường trong điều kiện thực tế còn rất hạn chế [3, 4, 5, 6]. Đồng thời, một vấn đề quan trọng đặt ra là mối liên hệ giữa kết quả thí nghiệm trong phòng và tuổi thọ chống hằn lún của mặt đường trong điều kiện khai thác thực tế vẫn chưa được làm rõ đầy đủ. Việc thiếu các mô hình hoặc mối tương quan đáng tin cậy giữa kết quả thí nghiệm và tuổi thọ dự báo dẫn đến khó khăn trong công tác thiết kế, kiểm soát chất lượng và tối ưu hóa thành phần hỗn hợp BTN.

Từ những phân tích trên có thể thấy rằng, việc thiết lập mối tương quan giữa kết quả thí nghiệm HLVBX và tuổi thọ lún dự báo của BTN không chỉ có ý nghĩa khoa học trong việc làm rõ cơ chế liên hệ giữa thí nghiệm trong phòng và điều kiện khai thác thực tế, mà còn mang ý nghĩa thực tiễn quan trọng như nâng cao độ chính xác trong dự báo tuổi thọ mặt đường, hỗ trợ tối ưu hóa thiết kế cấp phối BTN, cũng như cải thiện công tác kiểm soát chất lượng vật liệu và thi công. Do đó, nghiên cứu "Thiết lập tương quan giữa thí nghiệm vệt bánh xe và tuổi thọ chống hằn lún dự báo của BTN trong điều kiện TP.HCM" là cần thiết và có tính cấp thiết cao trong bối cảnh hiện nay.

Trong phạm vi nghiên cứu này, kết quả thí nghiệm HLVBX trong phòng của hỗn hợp BTN chặt BTNC 16 được sử dụng kết hợp với phương pháp thiết kế cơ học-thực nghiệm (MEPDG) để phân tích ứng xử của kết cấu áo đường trong điều kiện khí hậu TP.HCM. Trên cơ sở đánh giá ảnh hưởng của hàm lượng nhựa đến tuổi thọ chống hằn lún dự báo của lớp BTN, nghiên cứu đã thiết lập mối tương quan giữa kết quả thí nghiệm vệt bánh xe và tuổi thọ chống hằn lún dự báo của BTN trong điều kiện TP.HCM.

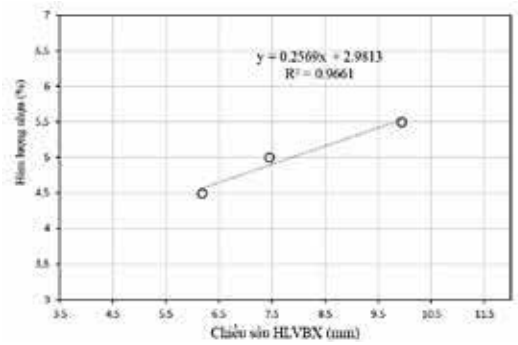
2. PHÂN TÍCH KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM HLVBX TRONG PHÒNG

Để đánh giá khả năng kháng hằn lún của BTNC 16 sử dụng nhựa 60/70, số liệu thí nghiệm HLVBX được kế thừa từ nghiên cứu của Phong và cộng sự [7]. Trong thực tế thiết kế cấp phối, hàm lượng nhựa tối ưu của BTNC 16 thường dao động trong khoảng từ 4,5 đến 5,5%. Do vậy, nghiên cứu lựa chọn ba mức đại diện 4,5%, 5,0% và 5,5% để phân tích một cách có hệ thống ảnh hưởng của hàm lượng nhựa đến khả năng kháng hằn lún của hỗn hợp BTN. Cách lựa chọn này không chỉ bảo đảm tính đại diện cho thực tiễn mà còn phản ánh sát điều kiện thi công ngoài hiện trường, nơi hàm lượng nhựa có thể biến thiên quanh giá trị thiết kế do sai số trong trạm trộn, vận chuyển và kiểm soát chất lượng, qua đó cho phép đánh giá độ nhạy cũng như mức độ suy giảm khả năng kháng hằn lún trong các kịch bản thi công điển hình. Thí nghiệm HLVBX của BTN bằng thiết bị Wheel Tracking, thí nghiệm theo phương pháp A ở nhiệt độ 50°C trong môi trường nước [8]. Kết quả thí nghiệm các đặc trưng thể tích, độ ổn định marshal và chiều sâu HLVBX ở 20.000 lượt tải tác dụng cho các hàm lượng nhựa khác nhau được thể hiện Bảng 1.

Bảng 1. Kết quả các thí nghiệm các hàm lượng nhựa cho hỗn hợp BTNC 16

Hàm lượng nhựa, BC (%)	Độ rỗng dư, AV (%)	VFA (%)	VMA (%)	MS (kN)	HLVBX (mm)
4,5	5,1	67,0	15,4	10,61	6,18
5,0	3,6	76,2	15,2	11,62	7,45
5,5	2,7	82,8	15,5	11,42	9,94
Yêu cầu	**4-6%**	**65-75**	**³14,5**	**³8,0**	**£12,5**

Từ kết quả thí nghiệm tổng hợp Bảng 1 cho thấy khi hàm lượng nhựa nghiên cứu 4,5%, 5,0% và 5,5% thì các đặc trưng thể tích, độ ổn định marshall và chiều sâu HLVBX thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 13567 - 1:2022 [2]. Kết quả phân tích ở Hình 1 cho thấy rằng, khi hàm lượng nhựa tăng từ 4,5% lên 5,5% thì chiều sâu HLVBX tăng khoảng 61%. Điều này có thể giải thích rằng do hàm lượng nhựa quá nhiều trong hỗn hợp BTN thì dẫn đến độ ổn định của BTN ở nhiệt độ cao giảm dẫn đến tăng HLVBX.

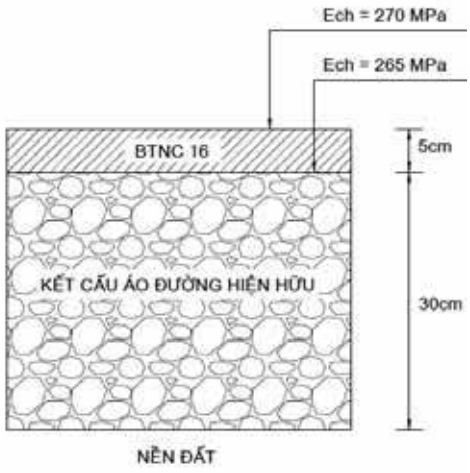


Hình 1. Kết quả thí nghiệm HLVBX của BTNC 16 ở các hàm lượng nhựa khác nhau

3. PHÂN TÍCH TUỔI THỌ CỦA KẾT CẤU MẶT ĐƯỜNG

3.1. Kết cấu mặt đường

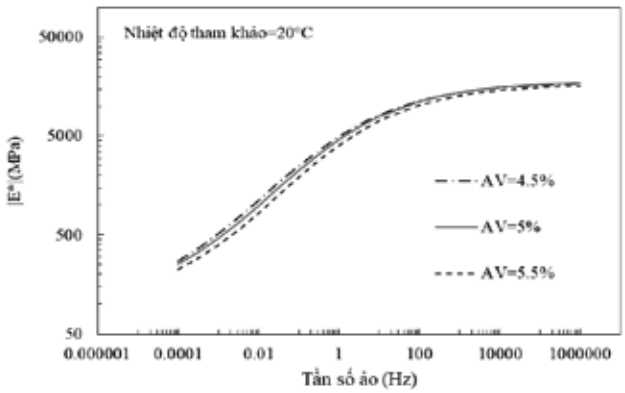
Kết cấu mặt đường nâng cấp điển hình được chọn cho nghiên cứu thể hiện như trong Hình 1. Lớp BTNC 16 sử dụng nhựa 60/70 với kết quả thí nghiệm các đặc trưng thể tích và chiều sâu HLVBX cho các hàm lượng nhựa khác nhau ở Bảng 1.



Hình 2. Kết cấu mặt đường nghiên cứu

3.2. Các thông số sử dụng trong phân tích

Sử dụng kết quả thí nghiệm các đặc trưng thể tích ở Bảng 1, mô-đun đàn hồi phức động của lớp BTNC 16 được tính toán các giá trị ở các nhiệt độ và tần số khác nhau theo mô hình Hirsch [9]. Kết quả tính toán được sử dụng để xây dựng đường cong master curve ở các hàm lượng nhựa khác nhau, thể hiện ở Hình 3.



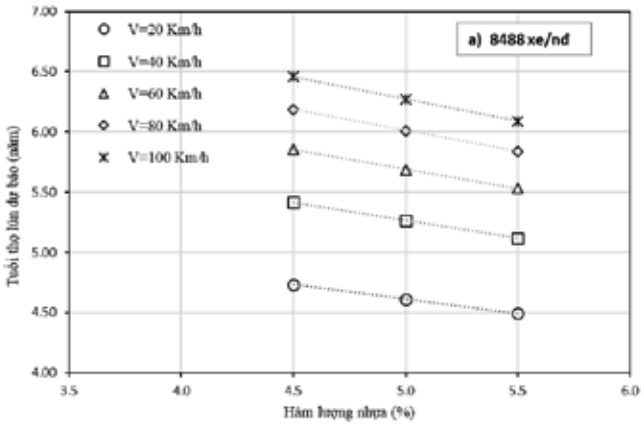
Hình 3. Đường cong master curve ở các hàm lượng nhựa khác nhau

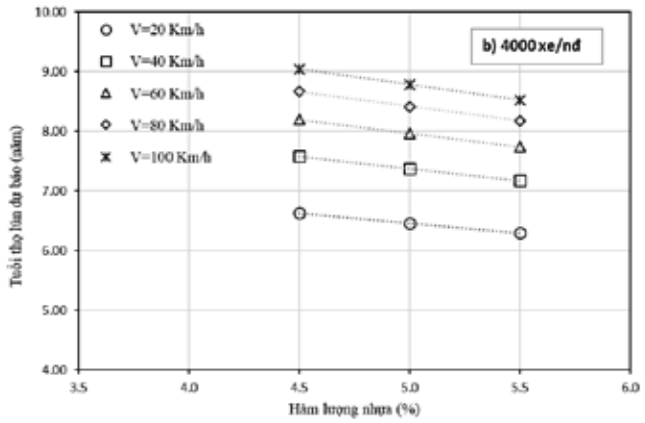
Nghiên cứu này sử dụng các thông số tải trọng được lấy từ kết quả khảo sát giao thông trên QL1-Trạm thu phí Cai Lậy [10]. Xe tải và xe khách khảo sát được chia thành 5 loại: Class 5 (xe thân liền 1 trục đơn+1 trục đơn): 73,85%; Class 6 (xe thân liền 1 trục đơn+1 trục đôi): 14,25%; Class 8 (xe sơ-mi rơ-mooc 1 trục đơn +1 trục đơn +1 trục đôi): 1,93%; Class 9 (xe sơ-mi rơ-mooc 1 trục đơn + 1 trục đôi + 1 trục đôi): 8,58%; Class 10 (xe sơ-mi rơ-mooc 1 trục đơn + 1 trục đôi + 1 trục ba): 1,39%. Khí hậu sử dụng để phân tích trong nghiên cứu này tại khu vực TP.HCM. Thời gian phân tích 10 năm.

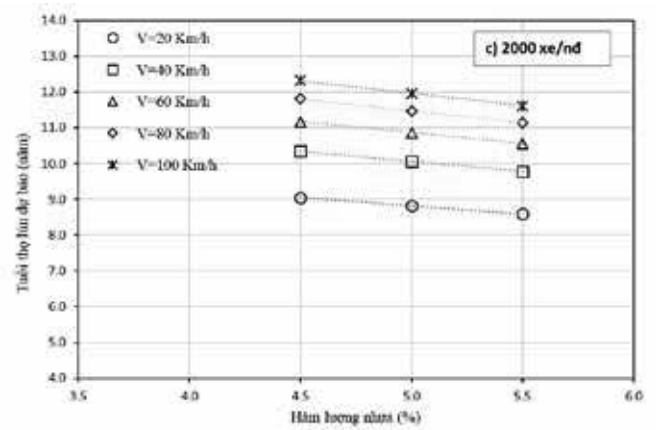
Để đánh giá hàm lượng nhựa, lưu lượng tải đến tuổi thọ dự báo lún của mặt đường BTN, nghiên cứu đã phân tích 4 trường hợp tải trọng (8.488 xe/nđ, 4.000 xe/nđ, 2.000 xe/nđ, 1.000 xe/nđ) và với 3 hàm lượng (4,5%, 5,0%, 5,5%) tương ứng với 5 vận tốc tính toán khác nhau cho mỗi trường hợp (V=20 km/h, 40 km/h, 60 km/h, 80 km/h, 100 km/h).

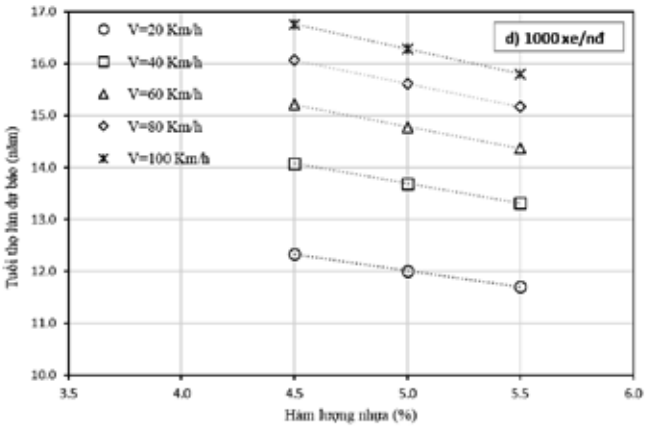
3.3. Phân tích ảnh hưởng của hàm lượng nhựa và lưu lượng xe đến tuổi thọ lún dự báo lún lớp BTN

Ảnh hưởng của hàm lượng nhựa và lưu lượng xe đến tuổi thọ lún dự báo lún lớp BTN được thể hiện Hình 4.









Hình 4. Mối liên hệ hàm lượng nhựa và lưu lượng xe đến tuổi thọ lún dự báo lún lớp BTN

Kết quả phân tích Hình 4 cho thấy, khi hàm lượng nhựa tăng thì tuổi thọ dự báo lún của lớp BTN giảm trên tất cả các trường hợp vận tốc tính toán và lưu lượng khác nhau. Cụ thể với tốc độ thiết kế 60 km/h, tuổi thọ lún dự báo lớp BTN giảm khoảng 6 tháng đến 1 năm. Ngoài ra, lưu lượng tăng thì tuổi thọ lún dự báo lớp BTN giảm đáng kể. Cụ thể với hàm lượng nhựa 5,0% ứng với tốc độ thiết kế 60 km/h thì tuổi thọ lún lần lượt là: 5,7 năm, 8,0 năm, 10,8 năm và 14,7 năm.

4. THIẾT LẬP TƯƠNG QUAN GIỮA THÍ NGHIỆM VỆT BÁNH XE VÀ TUỔI THỌ LÚN DỰ BÁO CỦA LỚP BTN

4.1. Thiết lập mối tương quan giữa HLVBX và tuổi thọ lún dự báo của lớp BTN

Để thiết lập mối tương quan giữa thí nghiệm vệt bánh xe và tuổi thọ lún dự báo của lớp BTN, tiến hành quy đổi tổng lưu lượng xe về số trục xe tính toán với tải trọng trục 100 kN. Từ kết quả số liệu Hình 4 ta thấy tuổi thọ lún lớp BTN (Y) giảm khi số trục xe tính toán (N_{tt}) tăng theo hàm lũy thừa và tuổi thọ lún lớp BTN (Y) giảm khi hàm lượng nhựa (BC) tăng theo dạng hàm mũ với cơ số e. Đồng thời, tuổi thọ lún lớp BTN (Y) giảm khi vận tốc (V) giảm theo dạng hàm lũy thừa. Từ đó tiến hành xây dựng mối liên hệ giữa tuổi thọ lún lớp BTN (Y) với số trục xe tính toán (N_{tt}), hàm lượng nhựa (BC) và vận tốc (V) như công thức (1).

$$Y = 55,12 \times N_{tt}^{-0,275} \times V^{0,172} \times e^{-0,091 \times HLVBX} \quad (1)$$

Từ kết quả thí nghiệm chiều sâu HLLVBX trong phòng như Hình 1, xây dựng mối liên hệ giữa hàm lượng nhựa (BC) và chiều sâu HLVBX (HLVBX) trong phòng theo công thức (2).

$$BC = 0,2569 \times HLVBX + 2,9813 \quad (2)$$

Từ công thức (1) và (2), thiết lập mối tương quan giữa thí nghiệm vệt bánh xe và tuổi thọ lún dự báo của lớp BTN như công thức (3).

$$Y = 42,0 \times N_{tt}^{-0,275} \times V^{0,172} \times e^{-0,0234 \times HLVBX} \quad (3)$$

Trong đó: Y: Tuổi thọ lún dự báo của lớp BTN (năm);

V: Vận tốc tính toán (km/h);

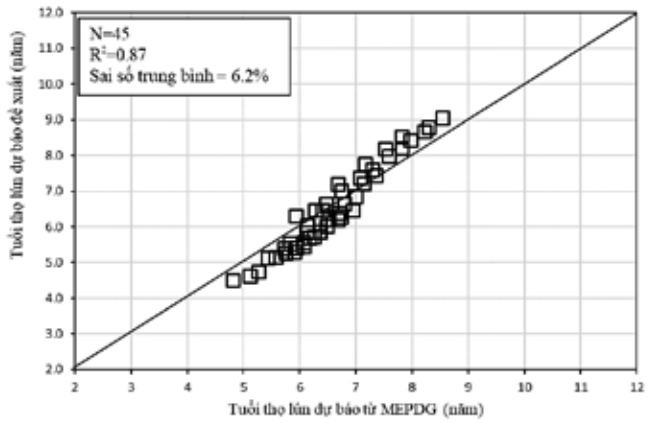
BC: Hàm lượng nhựa (%);

HLVBX: Chiều sâu HLVBX thí nghiệm trong phòng (mm);

N_{tt}: Số trục xe tính toán trong năm tương lai.

4.2. Kiểm chứng công thức tương quan giữa HLVBX và tuổi thọ lún dự báo của lớp BTN

Để kiểm chứng kết quả nghiên cứu công thức (3), nghiên cứu tiến hành phân tích dự báo tuổi thọ lún lớp BTN bằng phương pháp MEPDG với 45 trường hợp độc lập với số liệu dùng để phân tích mô hình với các lưu lượng và vận tốc khác nhau tương ứng với 3 hàm lượng nhựa; đồng thời sử dụng công thức (3) để tính toán tuổi thọ lún lớp BTN làm mặt đường. Kết quả kiểm chứng mô hình dự báo được thể hiện Hình 5.



Hình 5. Mối liên hệ dự báo tuổi thọ từ MEPDG và phương trình dự báo

Hình 5 thể hiện mối tương quan giữa tuổi thọ hằn lún dự báo theo phương pháp MEPDG và phương trình đề xuất với hệ số xác định R^2=0,87 và sai số trung bình khoảng 6,2%, cho thấy mức độ phù hợp khá tốt giữa hai phương pháp. Kết quả này chứng tỏ phương trình đề xuất có khả năng dự báo tuổi thọ hằn lún của lớp BTN với độ chính xác chấp nhận được. Tuy nhiên, cần lưu ý rằng bộ dữ liệu phân tích trong nghiên cứu này chủ yếu giới hạn trong một số điều kiện đặc trưng như khí hậu TP.HCM, khoảng hàm lượng nhựa từ 4,5% đến 5,5% và dải vận tốc nhất định. Do đó, khả năng áp dụng của mô hình ngoài các miền giá trị này cần tiếp tục được kiểm chứng bổ sung. Nhìn chung, với mức độ tương quan và sai số đạt được, mô hình đề xuất được đánh giá là có độ tin cậy tốt và có thể ứng dụng trong dự báo tuổi thọ hằn lún lớp BTN phục vụ thiết kế và đánh giá kết cấu áo đường.

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã đánh giá ảnh hưởng của hàm lượng nhựa, lưu lượng xe và vận tốc đến khả năng kháng hằn lún và tuổi thọ lún dự báo của lớp BTNC 16 trong điều kiện TP.HCM. Kết quả cho thấy, khi hàm lượng nhựa tăng từ 4,5% lên 5,5%, chiều sâu hằn lún tăng rõ rệt, kéo theo sự suy giảm tuổi thọ trong mọi điều kiện tải trọng và vận tốc. Trên cơ sở đó, nghiên cứu xây dựng mô hình thực nghiệm liên hệ tuổi thọ lún với số trục xe, vận tốc tính toán và chiều sâu HLVBX. Kết quả kiểm chứng cho thấy mô hình đạt hệ số xác định R^2=0,87 và sai số trung bình khoảng 6,2%, chứng tỏ mô hình có thể được sử dụng dự báo tuổi thọ hằn lún lớp BTN nhằm đơn giản hóa quá trình tính toán trong thiết kế và đánh giá kết cấu áo đường BTN. Tuy nhiên, do phạm vi dữ liệu còn giới hạn trong điều kiện khí hậu TP.HCM, khoảng hàm lượng nhựa và dải vận tốc nhất định, cần tiếp tục nghiên cứu và kiểm chứng mô hình với các điều kiện khác để nâng cao khả năng áp dụng rộng rãi mô hình dự báo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] TCVN 13899:2023. Hỗn hợp nhựa - phương pháp thử vệt hằn bánh xe. Bộ Khoa học và Công nghệ, Hà Nội.

[2] TCVN 13567:2022. Lớp mặt đường bằng hỗn hợp nhựa nóng - Thi công và nghiệm thu - Phần 1: BTN chặt. Bộ Khoa học và Công nghệ, Hà Nội.

[3] Nguyễn Quang Phúc, Nguyễn Hồng Quân, Phạm Thanh Hà, Nguyễn Đức Thịnh. Nghiên cứu đề xuất giới hạn chiều sâu lún, điểm bong màng nhựa và độ chụm khi thí nghiệm lún vệt bánh xe ở Việt Nam. Tạp chí Giao thông vận tải, 2018.

[4] Bùi Ngọc Hưng, Vũ Đức Chính, Trần Ngọc Huy. Nghiên cứu ảnh hưởng của nguồn gốc đá, cấp phối cốt liệu và loại nhựa đến khả năng kháng hằn lún vệt bánh xe của bê tông nhựa. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam, 2015.

[5] Đào Văn Đông, Nguyễn Ngọc Lân, Vũ Tự Trọng, Bùi Thị Quỳnh Anh. Biến dạng lún vệt hằn bánh xe là một chỉ tiêu quan trọng được dùng để đánh giá tính biến dạng không hồi phục của bê tông asphalt ở nhiệt độ cao. Tạp chí Giao thông vận tải, 2015.

[6] Lê Thu Trang, Trương Văn Quyết, Phạm Thị Thanh Thủy. Đánh giá sức kháng hằn lún vệt bánh xe của hỗn hợp bê tông asphalt tái chế nóng thông qua chỉ số kháng lún. Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải, 2025.

[7] V. P. Le, M. P. Bui, Q. P. Nguyen, H. L. Vo and V. D. Nguyen. Marshall and Balanced mix design in determining the asphalt content for hot mix asphalt mixture: A comparative study. Case Studies in Construction Materials, vol. 21, Dec. 2024.

[8] Quyết định số 1617/QĐ-BGTVT: Ban hành Quy định kỹ thuật về phương pháp thử độ sâu vệt hằn bánh xe của BTN xác định bằng thiết bị Wheel tracking.

[9] Brown, E.R., Kandhal, P.S., Roberts, F.L., R.F., Kim, Y.R., Lee, D.Y., & Kennedy, T.W. Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction. Maryland: NAPA Research and Education Foundation, 2009.

[10] Nguyễn Văn Hùng, Nguyễn Quang Phúc, Lê Văn Phúc, Phạm Hoàng Anh. Phân tích và đánh giá tuổi thọ kết cấu mặt đường cao tốc bằng phương pháp cơ học thực nghiệm. Tạp chí Giao thông vận tải, 2018.

■Ngày nhận bài: 24/4/2026 ■Ngày sửa bài: 07/5/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 20/5/2026

Đánh giá sức kháng trượt và mỏi của liên kết bu-lông cường độ cao trong cầu thép đường sắt tốc độ cao

Evaluation of the slip resistance and fatigue of high-strength bolted connections in steel bridges for high-speed railways

> PGS.TS NGUYỄN THỊ TUYẾT TRINH*, THS TRẦN MINH LONG
Trường Đại học Giao thông vận tải
*Email: tuyettrinh@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày cơ sở tính toán sức kháng trượt và mỏi của liên kết bu-lông cường độ cao chịu kéo trước trong cầu thép đường sắt tốc độ cao theo TCVN 13594-6:2023, có đối chiếu với Eurocode 3 và một số tài liệu chuyên ngành về liên kết bu-lông. Một bài toán tham số được thực hiện cho liên kết bản nối đối xứng sử dụng 16 bu-lông M24 cấp bền 10.9, nhằm đánh giá ảnh hưởng của hệ số trượt bề mặt đến sức kháng trượt thiết kế. Kết quả cho thấy, khi hệ số trượt giảm từ 0,4, tương ứng bề mặt loại B, xuống 0,3, tương ứng bề mặt loại C, tổng sức kháng trượt của liên kết giảm 25,0% ở cả trạng thái giới hạn sử dụng và trạng thái giới hạn cường độ. Với lực dọc trục tham chiếu N_{Ed}=3.000 kN, liên kết thỏa mãn điều kiện chống trượt ở trạng thái sử dụng khi bề mặt đạt loại B, nhưng không thỏa mãn khi bề mặt chỉ đạt loại C. Bài báo cũng phân tích ảnh hưởng của lực kéo đồng thời trong bu-lông và đánh giá sơ bộ ảnh hưởng của biên độ lực lặp đến ứng suất danh nghĩa trong bu-lông. Từ đó, bài báo đề xuất một số vấn đề cần kiểm soát khi áp dụng liên kết bu-lông cường độ cao cho cầu thép đường sắt tốc độ cao tại Việt Nam.

Từ khóa: Đường sắt tốc độ cao; cầu thép; TCVN 13594-6:2023; bu-lông cường độ cao; sức kháng trượt; mỏi.

ABSTRACT

The paper presents the basis for calculating the slip resistance and fatigue resistance of preloaded high-strength bolted connections in high-speed railway steel bridges according to TCVN 13594-6:2023, with comparison to Eurocode 3 and several specialized references on bolted connections. A parametric study was conducted for a symmetrical splice connection using 16 M24 grade 10.9 bolts to evaluate the influence of the surface slip factor on the design slip resistance. The results show that when the slip factor decreases from 0.4, corresponding to Class B surfaces, to 0.3, corresponding to Class C surfaces, the total slip resistance of the connection decreases by 25.0% in both the serviceability limit state and the ultimate limit state. For the reference axial force N_{Ed}=3,000 kN, the connection satisfies the slip resistance requirement in the serviceability state when the surface achieves Class B, but does not satisfy it when the surface only achieves Class C. The paper also analyzes the influence of simultaneous tensile force in the bolts and provides a preliminary assessment of the effect of cyclic load amplitude on the nominal stress in the bolts. Based on these findings, the paper proposes several issues that need to be controlled when applying high-strength bolted connections to high-speed railway steel bridges in Vietnam.

Keywords: High-speed railway; steel bridge; TCVN 13594-6:2023; high-strength bolts; slip resistance; fatigue.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đường sắt tốc độ cao yêu cầu cầu phải bảo đảm an toàn, độ êm thuận, ổn định động lực học và độ bền lâu trong khai thác. Đối với các nhịp trung bình và lớn, cầu thép hoặc cầu liên hợp thép - bê tông có ưu điểm về trọng lượng bản thân, khả năng vượt nhịp và thi công lắp ghép.

Theo TCVN 13594-1:2022 [1], cầu đường sắt khổ 1.435 mm, vận tốc đến 350 km/h phải được thiết kế bảo đảm an toàn, khả năng

sử dụng và độ tin cậy. Trong cầu thép, liên kết không chỉ là chi tiết cấu tạo mà còn trực tiếp tham gia truyền lực, ảnh hưởng đến độ cứng, chuyển vị và tuổi thọ của kết cấu nhịp. Tải trọng đoàn tàu tốc độ cao có tính lặp lớn, có thể gây dao động, tương tác ray - cầu, ứng suất lặp và mỏi tại các chi tiết liên kết. TCVN 13594-3:2022 [3] quy định các tác động như hoạt tải đoàn tàu, lực hãm/kéo, lực ly tâm, lực lắc ngang và tương tác ray - cầu. Vì vậy, liên kết bu-lông trong cầu thép đường sắt tốc độ cao cần được kiểm tra không chỉ theo cường độ mà còn theo điều kiện kháng trượt và mỏi.

Liên kết bu-lông cường độ cao chịu kéo trước có ưu điểm trong thi công lắp ghép, kiểm tra và bảo trì. Khi làm việc theo cơ chế ma sát, liên kết có thể hạn chế chuyển vị tương đối giữa các bản thép trong trạng thái khai thác. Đây là yêu cầu đáng chú ý đối với cầu đường sắt tốc độ cao, nơi độ cứng liên kết và dao động kết cấu cần được kiểm soát. TCVN 13594-6:2023 [5] đã quy định công thức kiểm toán sức kháng trượt của bu-lông cường độ cao chịu kéo trước. Tuy nhiên, khi áp dụng vào thiết kế, cần làm rõ ảnh hưởng của hệ số trượt bề mặt, lực kéo trước, lực kéo đồng thời trong bu-lông và biên độ lực lặp đến khả năng làm việc của liên kết.

Bài báo trình bày cơ sở tính toán sức kháng trượt theo TCVN 13594-6:2023, đồng thời thực hiện bài toán tham số cho liên kết bản nối đối xứng dùng 16 bu-lông M24 cấp bền 10.9. Mục tiêu là đánh giá ảnh hưởng của hệ số trượt, lực kéo đồng thời và biên độ lực lặp đến liên kết bu-lông trong cầu thép đường sắt tốc độ cao.

2. TỔNG QUAN CÔNG NGHỆ LIÊN KẾT BU-LÔNG TRONG CẦU THÉP ĐƯỜNG SẮT TỐC ĐỘ CAO

2.1. Phân loại liên kết bu-lông theo cơ chế truyền lực

Theo cơ chế truyền lực và yêu cầu kiểm soát trượt, liên kết bu-lông trong kết cấu thép có thể chia thành ba dạng chính: Liên kết chịu ép mặt, liên kết kháng trượt kiểm tra ở trạng thái giới hạn sử dụng và liên kết kháng trượt kiểm tra ở trạng thái giới hạn cường độ. Cách phân loại này phù hợp với TCVN 13594-6:2023 [5], EN 1993-1-8 [13] và các tài liệu về liên kết bu-lông cường độ cao [16], [18]. Cần phân biệt các dạng liên kết này với phân loại bề mặt ma sát loại A, B, C, D dùng để xác định hệ số trượt .

- Liên kết chịu ép mặt truyền lực thông qua thân bu-lông chịu cắt và lực ép mặt giữa thân bu-lông với thành lỗ. Do có thể xuất hiện trượt ban đầu, dạng liên kết này không nên ưu tiên tại các mối nối chính hoặc vị trí nhạy cảm với chuyển vị, dao động và mỏi trong cầu đường sắt tốc độ cao [13, 18].

- Liên kết kháng trượt kiểm tra ở trạng thái giới hạn sử dụng là dạng liên kết trong đó bu-lông được siết tạo lực kéo trước, ép chặt các bản thép với nhau. Trong trạng thái sử dụng, lực được truyền chủ yếu qua ma sát giữa các bề mặt tiếp xúc và không xảy ra trượt.

- Liên kết kháng trượt kiểm tra ở trạng thái giới hạn cường độ có yêu cầu cao hơn, do liên kết phải không trượt trong trạng thái giới hạn cường độ được xét. Dạng liên kết này cần được xem xét tại các mối nối chính của dầm chủ, hệ giằng hoặc các vị trí mà trượt tương đối có thể gây bất lợi cho độ cứng, chuyển vị và mỏi của kết cấu [15, 18, 20].

2.2. Các vị trí liên kết điển hình

Trong cầu thép đường sắt tốc độ cao, liên kết bu-lông cường độ cao thường xuất hiện tại bản nối dầm chủ, hệ giằng dọc - ngang, dầm ngang và các chi tiết nối của phần kết cấu thép [15, 19].

Liên kết bản nối dầm chủ là vị trí điển hình do phải truyền mô- men uốn, lực cắt và các hiệu ứng lực do tải trọng đoàn tàu. Các mối nối này thường dùng nhóm bu-lông M22, M24 hoặc M27, kết hợp với bản nối hai bên để dòng lực truyền qua liên kết tương đối đều và hạn chế lệch tâm [18].

Đối với hệ giằng và dầm ngang, liên kết bu-lông góp phần duy trì độ cứng không gian, ổn định tổng thể và khả năng chống xoắn của kết cấu nhịp. Trong cầu liên hợp thép - bê tông, bu-lông cường độ cao thường dùng cho các chi tiết nối của phần kết cấu thép, còn lực trượt dọc giữa dầm thép và bản bê tông cần được xem xét cùng hệ neo chống cắt theo TCVN 13594-7:2023 [6].

2.3. Yêu cầu về vật liệu và công nghệ siết bu-lông

Liên kết ma sát chỉ làm việc đúng khi bu-lông được siết tạo lực kéo trước ổn định và bề mặt tiếp xúc đạt hệ số trượt thiết kế. Với bu-lông cấp bền 10.9, có thể lấy f_{ub} = 1.000 MPa và f_{yb} = 900 MPa [18].

Lực kéo trước $F_{p,C}$ tạo ra lực ép giữa các bản thép, từ đó hình thành sức kháng trượt. Lực này có thể được tạo bằng phương pháp kiểm soát mô-men xoắn, kiểm soát góc quay hoặc dùng bu-lông tự đứt [16]. Quy trình siết cần được kiểm soát và nghiệm thu để bảo đảm lực kéo trước đạt yêu cầu thiết kế.

3. CƠ SỞ TÍNH TOÁN SỨC KHÁNG TRƯỢT THEO TCVN 13594-6:2023

3.1. Lực kéo trước thiết kế $F_{p,c}$

Trong liên kết ma sát, lực kéo trước trong thân bu-lông tạo ra áp lực kẹp giữa các bề mặt bản thép. Đây là điều kiện cơ bản để hình thành sức kháng trượt của liên kết [16, 18]. Theo TCVN 13594-6:2023 [5] và EN 1993-1-8 [13], lực kéo trước thiết kế $f_{p,c}$ của bu-lông cường độ cao được xác định theo:

$$F_{p,C} = 0{,}7 f_{ub} . A_s \quad (1)$$

Trong đó: f_{ub} là cường độ kéo danh nghĩa của vật liệu bu-lông (MPa hoặc N/mm^2); A_s là diện tích chịu kéo của bu-lông tại vùng ren chịu lực (mm^2); $f_{p,c}$ là lực kéo trước thiết kế trong một bu-lông (N), đổi sang kN khi chia cho 1000.

Bảng 1. Diện tích chịu kéo danh nghĩa A_s của một số bu-lông theo ISO 898-1

Đường kính danh nghĩa bu-lông	M22	M24	M27
Diện tích chịu kéo A_s (mm^2)	303	353	459

3.2. Sức kháng trượt thiết kế của bu-lông

Theo thiết kế trạng thái giới hạn, sức kháng trượt của bu-lông cường độ cao chịu kéo trước cần được kiểm tra tại trạng thái giới hạn sử dụng và trạng thái giới hạn cường độ [5]. Sức kháng trượt thiết kế của một bu-lông được xác định theo:

$$F_{s,Rd,ser} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{M3,ser}} \cdot F_{p,C} \quad (2)$$

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{M3}} \cdot F_{p,C} \quad (3)$$

Trong đó: $F_{s,Rd,ser}$ là sức kháng trượt thiết kế của một bu-lông tại trạng thái giới hạn sử dụng (kN); $F_{s,Rd}$ là sức kháng trượt thiết kế của một bu-lông tại trạng thái giới hạn cường độ (kN); k_s là hệ số phụ thuộc vào hình dạng và kích thước lỗ bu-lông; n là số bề mặt ma sát tham gia truyền lực; μ là hệ số trượt, $\gamma_{M3,ser}$ và γ_{M3} là hệ số an toàn riêng đối với sức kháng trượt.

Với lỗ tiêu chuẩn thông thường, ks=1,0 . Đối với liên kết bản nối đối xứng hai bên, lấy n =2. Theo TCVN 13594-6:2023 [5], với lỗ tiêu chuẩn, $\gamma_{M3,ser}$ = 1,0 tại trạng thái giới hạn sử dụng và γ_{M3} =1,25 tại trạng thái giới hạn cường độ.

Bảng 2. Phân loại bề mặt ma sát và hệ số trượt μ theo TCVN 13594-6:2023

Loại bề mặt	Biện pháp xử lý và đặc điểm bề mặt ma sát	Hệ số trượt μ
Loại A	Phun hạt thép hoặc phun cát làm sạch gỉ hoàn toàn; hoặc phun phủ kim loại bằng nhôm hoặc kẽm chất lượng cao	0,5

Loại B	Phun hạt thép hoặc phun cát làm sạch gỉ hoàn toàn, sau đó sơn phủ bằng lớp sơn Alkyd silicat giàu kẽm kiểm soát độ dày	0,4
Loại C	Làm sạch bằng bàn chải sắt hoặc bằng ngọn lửa để loại bỏ các lớp gỉ lỏng bên ngoài, không sử dụng phương pháp phun hạt	0,3
Loại D	Bề mặt thép cán nóng nguyên bản, không thực hiện biện pháp xử lý gỉ sét	0,2

3.3. Ảnh hưởng của lực kéo đồng thời $F_{t,Ed}$

Trong một số trường hợp, liên kết ma sát vừa chịu lực cắt vừa chịu lực kéo dọc trục ngoài $F_{t,Ed}$. Lực kéo ngoài làm giảm lực ép giữa các bề mặt ma sát, do đó làm giảm sức kháng trượt của bu-lông. Theo TCVN 13594-6:2023 [5], sức kháng trượt khi có lực kéo đồng thời được xác định như sau.

Tại trạng thái giới hạn sử dụng:

$$F_{s,Rd,ser} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{M3,ser}} \cdot \left(F_{p,C} - 0{,}7F_{t,Ed,ser}\right) \quad (4)$$

Tại trạng thái giới hạn cường độ:

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{M3}} \cdot \left(F_{p,C} - 0{,}7F_{t,Ed}\right) \quad (5)$$

Trong đó: $F_{t,Ed,ser}$ và $F_{t,Ed}$ lần lượt là lực kéo thiết kế trong bu-lông tại trạng thái giới hạn sử dụng và trạng thái giới hạn cường độ. Công thức này phù hợp với cách tiếp cận của các tiêu chuẩn thiết kế liên kết thép, trong đó lực kéo đồng thời làm giảm lực ép hữu hiệu giữa các bề mặt ma sát và do đó làm giảm sức kháng trượt của liên kết [5, 13, 16, 18].

4. BÀI TOÁN THAM SỐ VÀ NHẬN XÉT KẾT QUẢ

4.1. Thông số mô hình và giả thiết đầu vào

Bài báo xét một liên kết bản nối đối xứng chịu lực dọc trục trong cầu thép đường sắt tốc độ cao. Các giả thiết đầu vào gồm: Nhóm bản nối đối xứng hai bên sử dụng N_b=16 bu-lông M24 cấp bền 10,9; f_{ub}=1.000 MPa; A_s=353 mm^2; lỗ tiêu chuẩn với k_s=1,0; hai mặt ma sát với n = 2; lực dọc trục tham chiếu N_{Ed}=3.000 kN; biên độ nội lực lặp dùng để minh họa kiểm toán mỏi . ΔN_{fat}=600 kN

Lực kéo trước thiết kế trong mỗi thân bu-lông là:

$F_{p,C}$=0,7×1000×353×10^{-3}=247,1 kN (6)

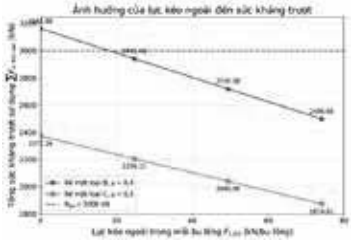
4.2. Ảnh hưởng của hệ số trượt μ đến sức kháng trượt

Bài báo so sánh hai kịch bản chất lượng bề mặt tiếp xúc: Bề mặt loại B với μ=0,4 và bề mặt loại C với μ=0,3 [5]. Với $F_{p,C}$=247,1 kN, k_s=1,0, n = 2, N_b=16, sức kháng trượt của một bu-lông và của toàn nhóm được tính theo các công thức ở Mục 3.2. Kết quả được trình bày trong Bảng 3.

Bảng 3. Kết quả sức kháng trượt thiết kế của nhóm 16 bu-lông M24

Đại lượng kiểm toán	Bề mặt loại B, μ=0,4 (kN)	Bề mặt loại C, μ=0,3 (kN)	Tỷ lệ thay đổi
$F_{s,Rd,ser}$ của một bu-lông	197,68	148,26	-25,0%
$\Sigma F_{s,Rd,ser}$ của 16 bu-lông	3162,88	2372,16	-25,0%
$F_{s,Rd}$ của một bu-lông	158,14	118,61	-25,0%
$\Sigma F_{s,Rd}$ của 16 bu-lông	2530,24	1897,76	-25,0%

Để làm rõ thêm ảnh hưởng bất lợi của lực kéo đồng thời trong bu-lông, Hình 1 trình bày sự suy giảm tổng sức kháng trượt sử dụng của nhóm bu-lông khi Ft,Ed tăng, xét cho hai trường hợp bề mặt ma sát loại B và loại C.



Hình 1. So sánh tổng sức kháng trượt sử dụng của nhóm 16 bu-lông M24 theo lực kéo ngoài đối với hai trường hợp bề mặt ma sát

Kết quả cho thấy, khi hệ số trượt giảm từ 0,4 xuống 0,3, sức kháng trượt của toàn bộ nhóm liên kết giảm 25,0%. Với N_{Ed}=3.000 kN, nếu liên kết đạt bề mặt loại B, điều kiện chống trượt ở trạng thái sử dụng được thỏa mãn:

$\Sigma_{Fs,Rd,ser}$=3.162,88 kN>3.000 kN

Nếu bề mặt bị oxy hóa hoặc thi công không đạt yêu cầu khiến hệ số trượt giảm xuống, sức kháng trượt sử dụng chỉ còn:

$\Sigma_{Fs,Rd,ser}$=2.372,16 kN<3.000 kN

Khi đó, liên kết có nguy cơ xảy ra trượt trong trạng thái khai thác. Sau khi trượt, liên kết có thể chuyển sang cơ chế chịu ép mặt/cắt thân bu-lông, làm giảm độ cứng cục bộ của mối nối và ảnh hưởng bất lợi đến điều kiện làm việc của hệ kết cấu cầu - ray [19, 20].

Trong bài toán trên, liên kết được giả thiết chịu lực truyền trong mặt phẳng bản nối và chưa xét lực kéo đồng thời trong bu-lông. Tuy nhiên, trong các mối nối thực tế của cầu thép đường sắt tốc độ cao, như mối nối cánh dầm hộp chịu uốn hoặc nút giàn, bu-lông có thể đồng thời chịu lực cắt và lực kéo ngoài. Theo công thức hiệu chỉnh ở Mục 3.3, khi xuất hiện lực kéo ngoài, lực kẹp trước hữu hiệu giữa các bản thép giảm từ xuống còn:

$F_{p,C}$-0,7$F_{t,Ed}$ (12)

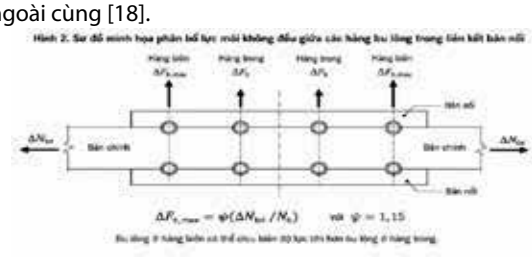
Do đó, sức kháng trượt của liên kết cũng giảm theo quan hệ:

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{M3}} \left(F_{p,C} - 0{,}7F_{t,Ed}\right) \quad (13)$$

Biểu thức trên cho thấy sức kháng trượt giảm tuyến tính khi lực kéo đồng thời trong bu-lông tăng. Vì vậy, ngay cả khi bề mặt ma sát đạt loại B (μ=0,4), liên kết vẫn có thể không còn đủ dự trữ chống trượt nếu trong liên kết xuất hiện lực kéo ngoài đáng kể do mô-men uốn, lệch tâm cấu tạo hoặc tổ hợp nội lực cục bộ. Trong thiết kế công trình cụ thể, $F_{t,Ed}$ cần được xác định từ mô hình phân tích kết cấu và tổ hợp nội lực của liên kết, thay vì giả định bằng 0.

4.3. Đánh giá sơ bộ mỏi của bu-lông cường độ cao

Tải trọng đoàn tàu tốc độ cao truyền qua liên kết bản nối có tính lặp chu kỳ lớn. Vì vậy, ngoài kiểm toán kháng trượt, cần xem xét biên độ ứng suất trong bu-lông khi đánh giá mỏi [14]. Để minh họa ảnh hưởng của phân bố lực không đều trong nhóm bu-lông, bài báo sử dụng hệ số phân bổ lực mỏi ψ=1,15 cho bu-lông ở hàng biên ngoài cùng [18].



Hình 2. Sơ đồ minh họa phân bố lực mỏi không đều giữa các hàng bu-lông trong liên kết bản nối

Biên độ lực dọc trục mỏi lớn nhất phân bổ lên bu-lông ở hàng biên ngoài cùng được xác định như sau:

$$\Delta F_{b,max} = \psi.\left(\frac{\Delta N_{fat}}{N_b}\right) \quad (14)$$

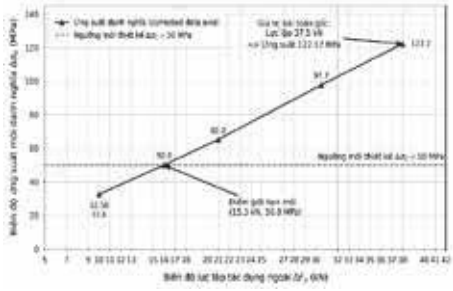
$$\Delta F_{b,max} = 1{,}15 \times \left(\frac{600}{16}\right) = 43{,}125\ kN$$

Biên độ ứng suất mỏi danh nghĩa tại mặt cắt vùng ren chịu kéo của bu-lông biên là:

$$\Delta\sigma_b = \frac{\Delta F_{b,max} \times 10^3}{A_s} \quad (15)$$

$$\Delta\sigma_b = \frac{43{,}125 \times 10^3}{353} = 122{,}17\ MPa$$

Theo EN 1993-1-9 [14], giá trị tham chiếu của đường cong mỏi đối với chi tiết bu-lông cần được xác định theo loại chi tiết và điều kiện làm việc cụ thể. Trong phạm vi minh họa, nếu lấy $\Delta\sigma_C$=50 MPa tại 2×10^6 chu kỳ, thì biên độ ứng suất danh nghĩa tính theo giả thiết bất lợi nêu trên lớn hơn giá trị tham chiếu này.



Hình 3. Quan hệ giữa biên độ lực lặp phân bổ cho bu-lông và biên độ ứng suất mỏi danh nghĩa

Giá trị được tính theo giả thiết bất lợi, trong đó biên độ lực lặp được giả định truyền trực tiếp vào thân bu-lông biên. Cách tính này giúp nhận diện mức độ bất lợi của bài toán mỏi, nhưng chưa phản ánh đầy đủ cơ chế truyền lực của liên kết kháng trượt. Khi liên kết được siết trước đúng yêu cầu và chưa xảy ra trượt, lực cắt lặp được truyền chủ yếu qua ma sát giữa các bề mặt tiếp xúc. Do đó, biên độ ứng suất thực tế trong thân bu-lông có thể nhỏ hơn đáng kể so với giá trị danh nghĩa nêu trên. Mức độ giảm phụ thuộc vào lực kéo trước, độ cứng bản nối, trạng thái tiếp xúc, phân bố lực trong nhóm bu-lông và chất lượng bề mặt ma sát. Vì vậy, trong thiết kế công trình cụ thể, cần kiểm toán mỏi bằng mô hình chi tiết, phổ tải trọng đoàn tàu và phân loại chi tiết mỏi phù hợp theo tiêu chuẩn áp dụng [14, 16, 18].

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày cơ sở tính toán sức kháng trượt của liên kết bu-lông cường độ cao chịu kéo trước theo TCVN 13594-6:2023 và thực hiện bài toán tham số cho liên kết bản nối dùng 16 bu-lông M24 cấp bền 10.9. Một số kết luận chính như sau:

- TCVN 13594-6:2023 [5] cung cấp công thức kiểm toán sức kháng trượt của bu-lông cường độ cao theo trạng thái giới hạn. Việc phân biệt trạng thái giới hạn sử dụng ($\gamma_{M3,ser}$=1,0) và trạng thái giới hạn cường độ (γ_{M3}=1,25) là cần thiết khi thiết kế liên kết kháng trượt.

- Sức kháng trượt của nhóm liên kết phụ thuộc trực tiếp vào hệ số trượt μ. Khi μ giảm từ 0,4 xuống 0,3, tổng sức kháng trượt sử dụng của nhóm 16 bu-lông M24 giảm từ 3.162,88 kN xuống 2.372,16 kN, tức giảm 25,0%. Với N_{Ed}=3.000 kN, liên kết có thể không thỏa mãn điều kiện chống trượt nếu chất lượng bề mặt chỉ đạt loại C.

- Khi liên kết xuất hiện lực kéo đồng thời trong bu-lông, sức kháng trượt giảm theo lực kéo trước hiệu dụng $F_{p,C}$-0,7$F_{t,Ed}$. Do đó, với các liên kết chịu nội lực phức tạp như mối nối cánh dầm hộp hoặc nút giàn, cần xét ảnh hưởng của lực kéo trong bu-lông khi kiểm toán chống trượt.

- Nếu liên kết không thỏa mãn điều kiện chống trượt, liên kết có thể chuyển sang cơ chế chịu ép mặt/cắt thân bu-lông sau khi trượt. Điều này có thể làm giảm độ cứng cục bộ của mối nối và ảnh hưởng bất lợi đến điều kiện làm việc của hệ cầu - ray.

- Phân tích mỏi sơ bộ cho thấy, với giả thiết bất lợi, biên độ ứng suất danh nghĩa trong bu-lông biên có thể đạt $\Delta\sigma_b$=122,17 MPa . Tuy nhiên, giá trị này chưa phản ánh đầy đủ cơ chế làm việc của liên kết kháng trượt khi chưa xảy ra trượt. Vì vậy, đánh giá mỏi thực tế cần xét đến độ cứng bản nối, trạng thái tiếp xúc, lực kéo trước, phân bố lực trong nhóm bu-lông và phổ tải trọng đoàn tàu.

- Đối với Việt Nam, cần nghiên cứu thực nghiệm hệ số trượt của các dạng bề mặt thép, lớp phủ và quy trình thi công thường dùng trong cầu thép, đồng thời cần nghiên cứu mỏi liên kết bu-lông dưới phổ tải trọng đoàn tàu theo TCVN 13594-3:2022.

Các kết quả trong bài báo được xây dựng cho một liên kết bản nối điển hình với các giả thiết tham số. Khi áp dụng cho công trình cụ thể, nội lực liên kết, phổ tải trọng mỏi, hệ số trượt bề mặt và lực kéo trước thực tế cần được xác định từ mô hình phân tích kết cấu, hồ sơ thiết kế và kết quả thí nghiệm hoặc kiểm tra vật liệu tương ứng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Bộ Khoa học và Công nghệ. TCVN 13594-1:2022. Thiết kế cầu đường sắt khổ 1.435 mm, vận tốc đến 350 km/h - Phần 1: Yêu cầu chung, Hà Nội, 2022.

[2] Bộ Khoa học và Công nghệ. TCVN 13342:2021. Thiết kế đường sắt tốc độ cao - Tham số thiết kế tuyến đường, Hà Nội, 2021.

[3] Bộ Khoa học và Công nghệ. TCVN 13594-3:2022. Thiết kế cầu đường sắt khổ 1.435 mm, vận tốc đến 350 km/h - Phần 3: Tải trọng và tác động, Hà Nội, 2022.

[4] Bộ Khoa học và Công nghệ. TCVN 13594-4:2022. Thiết kế cầu đường sắt khổ 1.435 mm, vận tốc đến 350 km/h - Phần 4: Phân tích và đánh giá kết cấu, Hà Nội, 2022.

[5] Bộ Khoa học và Công nghệ. TCVN 13594-6:2023. Thiết kế cầu đường sắt khổ 1.435 mm, vận tốc đến 350 km/h - Phần 6: Kết cấu thép, Hà Nội, 2023.

[6] Bộ Khoa học và Công nghệ. TCVN 13594-7:2023. Thiết kế cầu đường sắt khổ 1.435 mm, vận tốc đến 350 km/h - Phần 7: Kết cấu liên hợp thép - bê tông cốt thép, Hà Nội, 2023.

[7] Ministry of Land, Infrastructure. Transport and Tourism of Japan. Technical Regulatory Standards on Japanese Railways, Tokyo: MLIT, 2006.

[8] Ministry of Railways of the People's Republic of China. TB 10002.2-2005. Code for Design on Steel Structure of Railway Bridge. Beijing: China Railway Publishing House, 2005.

[9] National Railway Administration of the People's Republic of China. TB 10621-2014. Code for Design of High-Speed Railway, Beijing: China Railway Publishing House, 2014.

[10] National Railway Administration of the People's Republic of China. TB 10002-2017. Code for Design on Railway Bridge and Culvert, Beijing: China Railway Publishing House, 2017.

[11] Railway Technical Research Institute. Design Standards for Railway Structures and Commentary: Steel and Composite Structures. Tokyo: Railway Technical Research Institute, 2009.

[12] European Committee for Standardization. EN 1991-2: Eurocode 1 - Actions on Structures - Part 2: Traffic Loads on Bridges. Brussels: CEN, 2003.

[13] European Committee for Standardization. EN 1993-1-8: Eurocode 3 - Design of Steel Structures - Part 1-8: Design of Joints. Brussels: CEN, 2005.

[14] European Committee for Standardization. EN 1993-1-9: Eurocode 3 - Design of Steel Structures - Part 1-9: Fatigue. Brussels: CEN, 2005.

[15] European Committee for Standardization. EN 1993-2: Eurocode 3 - Design of Steel Structures - Part 2: Steel Bridges. Brussels: CEN, 2006.

[16] Research Council on Structural Connections. Specification for Structural Joints Using High-Strength Bolts. Chicago, IL: RCSC, 2020.

[17] American Institute of Steel Construction. Specification for Structural Steel Buildings. ANSI/AISC 360-22, Chicago, IL: AISC, 2022.

[18] Kulak, G. L., Fisher, J. W., & Struik, J. H. A. Guide to Design Criteria for Bolted and Riveted Joints (2nd ed.). Chicago, IL: American Institute of Steel Construction, 2021.

[19] Sugimoto, I., Matsumoto, N., & Wakui, H. Outline of revision of the Design Standards for Railway Structures and Commentary: Steel and Composite Structures. Quarterly Report of RTRI, 51(1), 42-47, 2010.

[20] Bin Yan, Wenfei Kuang, Rui Gan, Haoran Xie, Jie Huang. Track-bridge interaction of continuous welded rail on Chinese large-span bridges of high-speed railway. Applied Sciences, 12(18), 9100, 2022.

[21] Shungquan Qin, Zonggyu Gao. Developments and prospects of long-span high-speed railway bridge technologies in China. Engineering, 4(6),787-794, 2018.

■Ngày nhận bài: 12/3/2026 ■Ngày sửa bài: 25/3/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 20/4/2026

Nghiên cứu đặc tính cơ học của bê tông geopolymer cốt liệu tái chế

Study on mechanical properties of recycled aggregates geopolymer concrete

> TS PHẠM ĐỨC THIỆN*, THS BÙI VĂN HIỀN
Trường Đại học Công nghệ Kỹ thuật TP.HCM
*Email: thienpd@hcmute.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày nghiên cứu ảnh hưởng của cốt liệu tái chế (CLTC) đến một số tính chất cơ học của bê tông geopolymer. Các cấp phối bê tông geopolymer với cốt liệu đá tự nhiên được lần lượt thay thế bằng CLTC từ bê tông xi măng phế thải và từ bê tông geopolymer phế thải đến tỷ lệ 100%. Thí nghiệm cường độ chịu nén và cường độ chịu kéo gián tiếp (ép chẻ) được thực hiện để khảo sát ảnh hưởng của CLTC đến khả năng chịu tải của vật liệu. Kết quả thực nghiệm cho thấy các cấp phối bê tông với tỷ lệ 40% CLTC cho cường độ chịu nén và chịu kéo tốt nhất. Ngoài ra, khi thay thế đến 100% CLTC, các cấp phối bê tông vẫn đạt cường độ tương đông như bê tông dùng cốt liệu đá tự nhiên. Kết quả nghiên cứu góp phần minh chứng tính khả thi của việc sử dụng CLTC từ bê tông geopolymer phế thải và từ bê tông xi măng phế thải để sản xuất bê tông mới dùng trong xây dựng.

Từ khóa: Bê tông geopolymer; cốt liệu tái chế; cường độ chịu nén; cường độ chịu kéo.

ABSTRACT

This paper presents a study on the effects of recycled aggregates on some mechanical properties of geopolymer concrete. In geopolymer concrete mixtures, natural aggregates were replaced by recycled aggregates derived from waste cement concrete and waste geopolymer concrete, at replacement ratios up to 100%. Compressive strength and splitting tensile strength tests were conducted to investigate the impact of recycled aggregates on the mechanical performance of the recycled aggregate concrete. Experimental results indicate that concrete mixtures with a 40% recycled aggregate replacement ratio exhibit optimal compressive and tensile strengths. Furthermore, even at a 100% replacement rate, the concrete mixes still achieve comparable strength to that of conventional natural aggregate concrete. These findings contribute to demonstrating the feasibility of utilizing recycled aggregates from waste geopolymer and cement concrete for the production of new concrete in the construction industry.

Keywords: Geopolymer concrete; recycled aggregate; compressive strength; tensile strength.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sự phát triển mạnh mẽ của ngành xây dựng toàn cầu dẫn đến sự phụ thuộc lớn vào bê tông xi măng Portland, gây áp lực nghiêm trọng lên sinh thái và tài nguyên thiên nhiên. Quá trình sản xuất xi măng không chỉ làm cạn kiệt nguồn tài nguyên không tái tạo như đá vôi và đất sét [1], [2], mà còn chịu trách nhiệm cho lượng lớn phát thải khí nhà kính (CO_2) toàn cầu, bắt nguồn từ quá trình nung clinker ở nhiệt độ cao tiêu tốn năng lượng và phản ứng nhiệt phân canxi cacbonat ($CaCO_3$) [3–5].

Để giải quyết cuộc khủng hoảng này, bê tông geopolymer (chất kết dính vô cơ kiềm hoạt hóa) đã nổi lên như một giải pháp thay thế mang tính cách mạng. Bằng cách tận dụng các phế phẩm công nghiệp giàu aluminosilicate (tro bay, xỉ lò cao, metakaolin) kết hợp với dung dịch kiềm hoạt hóa (NaOH và Na_2SiO_3), geopolymer loại bỏ hoàn toàn nhu cầu sử dụng đá vôi và đất sét [6], đồng thời có khả năng cố định các kim loại nặng độc hại [7]. Dù các đánh giá vòng đời toàn diện cho thấy mức giảm phát thải carbon thực tế có thể thấp hơn con số 80% ban đầu do năng lượng sản xuất dung dịch kiềm, geopolymer vẫn giảm thiểu đáng kể dấu chân carbon so với xi măng truyền thống [4], [8], [9]. Giải pháp này giúp xử lý khối lượng lớn chất thải rắn, đóng vai trò mũi nhọn trong mô hình kinh tế tuần hoàn và phát triển bền vững [10], [11].

Bê tông geopolymer còn sở hữu tính chất cơ lý và độ bền vượt trội nhờ vi cấu trúc đặc thù [12-15]. Khác với phản ứng thủy hóa tạo gel C-S-H của xi măng, geopolymer hình thành qua quá trình trùng ngưng các monome aluminate và silicate trong môi trường kiềm mạnh, tạo mạng lưới không gian ba chiều vô định hình bền vững (N-A-S-H hoặc C-A-S-H) [16]. Cấu trúc đặc khít này giúp bê tông đạt cường độ sớm rất cao ở nhiệt độ phòng hoặc nhiệt độ cao [17]. Cấp phối tro bay kết hợp xỉ có thể đạt cường độ chịu nén trên 60-80 MPa, trong khi cường độ kéo, uốn và mô-đun đàn hồi đều đáp ứng tốt yêu cầu thiết kế kết cấu [18-22]. Ngoài ra, cấu trúc dạng gốm chịu lửa giúp geopolymer chống cháy và bền nhiệt vượt trội (lên tới 800-1000°C) [23], [24]. Độ co ngót sấy khô thấp [25], [26] cùng đặc tính không chứa $Ca(OH)_2$ tự do giúp vật liệu này kháng axit, sunfat và ion clo tối ưu [14], [27], [28].

Sự kết hợp giữa chất kết dính geopolymer cường độ cao và CLTC tạo thành hệ vật liệu bê tông geopolymer CLTC đầy hứa hẹn [35],

[36]. Tính đột phá nằm ở sự tương tác hóa học tại vùng chuyển tiếp giao diện (ITZ). Môi trường kiềm cao không chỉ hòa tan các tiền chất mà còn kích hoạt lại hạt xi măng chưa thủy hóa trong lớp vữa cũ của CLTC [37], [38]. Phản ứng hóa học chéo này giúp tái cấu trúc bề mặt xốp, cho phép gel geopolymer thâm nhập sâu vào các lỗ rỗng và vi vết nứt, tối ưu hóa cấu trúc vi mô ITZ và tăng cường độ đặc chắc liên kết [39], [40]. Nhờ vậy, sự sụt giảm cường độ do CLTC được bù đắp hiệu quả, cho phép sử dụng tỷ lệ thay thế lên đến 100% mà vẫn đảm bảo tính năng cơ lý tiệm cận bê tông thông thường [41].

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm làm rõ tính khả thi khi sử dụng các phế phẩm công nghiệp địa phương như tro bay từ các nhà máy nhiệt điện trong nước và bê tông phế thải để sản xuất bê tông geopolymer CLTC phục vụ ngành công nghiệp xây dựng. Phạm vi nghiên cứu được giới hạn ở việc xác định ảnh hưởng của tỷ lệ CLTC từ bê tông xi măng phế thải và từ bê tông geopolymer phế thải đến cường độ chịu nén và chịu kéo gián tiếp (ép chẻ) của bê tông CLTC mới.

2. NGUYÊN VẬT LIỆU, CẤP PHỐI BÊ TÔNG VÀ THÍ NGHIỆM

2.1. Cốt liệu

Cốt liệu tự nhiên dùng chung cho bê tông geopolymer và bê tông xi măng bao gồm cát và đá dăm đáp ứng đầy đủ các yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 7570:2006 [42]. Cát có mô đun độ lớn 1,82, khối lượng thể tích 1,52 g/cm^3 và khối lượng riêng 2,63 g/cm^3. Đá dăm có khối lượng riêng 2,73 g/cm^3, khối lượng thể tích 1,62 g/cm^3.

Nhân tố khảo sát chính của nghiên cứu này là CLTC từ bê tông geopolymer phế thải cường độ chịu nén khoảng 20 MPa (ký hiệu CLG20) và 30 MPa (ký hiệu CLG30); cũng như CLTC từ bê tông xi măng phế thải cường độ chịu nén khoảng 20 MPa (ký hiệu CLX20) và 30 MPa (ký hiệu CLX30).

2.2. Chất kết dính

Chất kết dính geopolymer là sản phẩm của phản ứng geopolymer hóa giữa các chất hoạt hóa kiềm và vật liệu aluminosilicat như tro bay, xỉ hạt lò cao, metakaolin,… Tro bay sử dụng trong nghiên cứu này được lấy từ nhà máy nhiệt điện Duyên Hải Trà Vinh và được phân loại F theo tiêu chuẩn ASTM C618 [43]. Tro bay có khối lượng riêng 2,5 g/cm^3. Thành phần hóa học của tro bay được trình bày trong Bảng 1, tổng hàm lượng (SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3) đạt trên 70% và hàm lượng CaO thấp cho thấy nguồn tro bay có hoạt tính cao phù hợp chế tạo bê tông geopolymer.

Bảng 1. Thành phần hoá học của tro bay

Thành phần	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	SO_3	MKN
% KL	51,92	29,44	4,41	2,07	0,11	6,45

(*) MKN: hàm lượng mất khi nung; % KL: % khối lượng.

Dung dịch hoạt hóa trong nghiên cứu này là sự kết hợp giữa Sodium Hydroxide (NaOH) và Sodium Silicate (Na_2SiO_3). Trong đó, dung dịch NaOH có nồng độ 12 M được pha chế từ nguyên liệu dạng vảy khô với độ tinh khiết đạt trên 90%. Đối với dung dịch Sodium Silicate, các thông số kỹ thuật bao gồm tỷ trọng 1,42 ± 0,01 g/ml, tỷ lệ theo khối lượng của Na_2O và SiO_2 lần lượt là 11,8% và 29,5% (tương ứng tỷ lệ SiO_2/Na_2O là 2,5).

2.3. Cấp phối và thí nghiệm

Nghiên cứu này được thực hiện cho 4 bộ cấp phối bê tông geopolymer (Bảng 2). Trong 1m^3 bê tông geopolymer cường độ mục tiêu 20 MPa (ký hiệu BG20) có 593 kg cát, 418 kg tro bay, 75 kg NaOH và 185 kg Na_2SiO_3. Cốt liệu đá tự nhiên ban đầu 1079 kg lần lượt được thay thế bằng CLTC từ bê tông xi măng phế thải cường độ khoảng 20 MPa (ký hiệu CLX20) hoặc CLTC từ bê tông geopolymer phế thải cường độ khoảng 20 MPa (ký hiệu CLG20) đến tỷ lệ 100%. Còn trong 1 m^3 bê tông geopolymer cường độ mục tiêu 30 MPa (ký hiệu BG30) có 584 kg cát, 441kg tro bay, 75,6 kg NaOH và 189kg Na_2SiO_3 tương ứng. Khối lượng CLTC trong BG30 cũng được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Thành phần cốt liệu lớn cho 1 m^3 bê tông geopolymer

Cấp phối	CLTC thay thế đá tự nhiên					Đá
	Tỷ lệ	CLX20	CLX30	CLG20	CLG30	
	%	*kg*	*kg*	*kg*	*kg*	*kg*
BG20.CLX20	0	0				1079
	20	216				863
	40	432				647
	60	647				432
	80	863				216
	100	1079				0
BG20.CLG20	0			0		1079
	20			216		863
	40			432		647
	60			647		432
	80			863		216
	100			1079		0
BG30.CLX30	0		0			1061
	20		212			849
	40		424			637
	60		637			424
	80		849			212
	100		1061			0
BG30.CLG30	0				0	1061
	20				212	849
	40				424	637
	60				637	424
	80				849	212
	100				1061	0

Các mẫu bê tông geopolymer CLTC sau khi đúc khuôn được tĩnh định ở nhiệt độ phòng trong 24 giờ, sau đó được dưỡng hộ nhiệt ở 100°C trong thời gian 10 giờ để thúc đẩy quá trình geopolymer hoá tạo nhanh cường độ (Hình 1).

Thí nghiệm này sử dụng mẫu trụ kích thước DxH = 100x200 mm. Cường độ vật liệu sau đó được quy đổi về mẫu lập phương cạnh 150 mm để trình bày trong phần kết quả.

Cường độ chịu nén của vật liệu được xác định bằng thí nghiệm nén theo tiêu chuẩn TCVN 3118:2022 [44], còn cường độ chịu kéo gián tiếp của bê tông được xác định thông qua thí nghiệm ép chẻ theo tiêu chuẩn TCVN 8862:2011 [45] (Hình 2).



Hình 1. Dưỡng hộ nhiệt các mẫu bê tông geopolymer



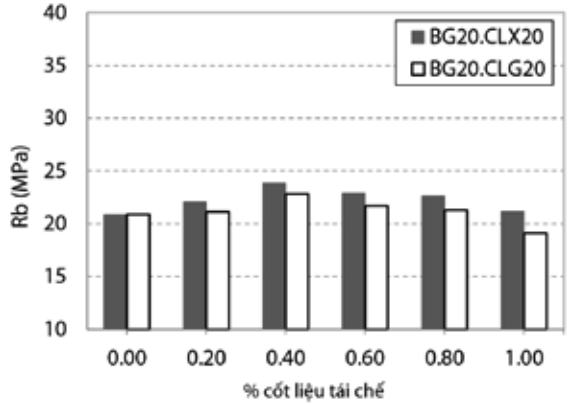
Hình 2. Thí nghiệm cường độ chịu nén và thí nghiệm ép chẻ

3. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của CLTC đến cường độ chịu nén của bê tông geopolymer BG20

Kết quả thí nghiệm cường độ chịu nén của các cấp phối bê tông geopolymer cường độ mục tiêu 20 MPa (BG20) được trình bày trong Hình 3. Cường độ chịu nén của BG20 tăng đến 14,24% khi tỷ lệ CLTC tăng đến 40%, đạt giá trị 23,84 MPa đối với cấp phối BG20.CLX20 và đạt 22,79 MPa đối với cấp phối BG20.CLG20.

Khi tiếp tục tăng tỷ lệ CLTC, cường độ chịu nén của BG20 có xu hướng giảm. Tuy nhiên, khi thay thế đến 100% CLX20 hoặc đến 80% CLG20 thì bê tông mới vẫn đạt cường độ tương đương như bê tông BG20 sử dụng hoàn toàn cốt liệu đá tự nhiên.



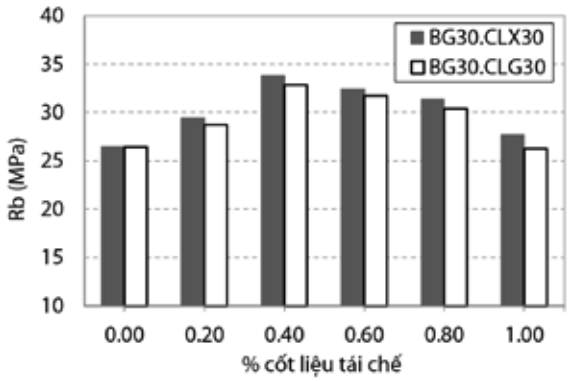
Hình 3. Cường độ chịu nén của bê tông BG20

Sự gia tăng cường độ của các cấp phối bê tông geopolymer CLTC thấp là do các "hiệu ứng gia cường vi mô", còn xu hướng giảm cường độ khi tỷ lệ CLTC cao có nguyên nhân do các "hiệu ứng tích lũy khuyết tật cấu trúc" được trình bày trong phần biện luận chung bên dưới.

Bên cạnh đó, kết quả thực nghiệm cũng cho thấy chênh lệch cường độ chịu nén giữa bê tông BG20 sử dụng CLX20 và CLG20 đa số dưới 6,5%. Các kết quả này góp phần minh chứng cho tính khả thi và tương đồng khi tận dụng bê tông xi măng phế thải cũng như bê tông geopolymer phế thải để làm cốt liệu sản xuất bê tông geopolymer mới.

3.2. Ảnh hưởng của CLTC đến cường độ chịu nén của bê tông geopolymer BG30

Dưới ảnh hưởng của CLTC, xu hướng biến thiên cường độ chịu nén của bê tông geopolymer cường độ mục tiêu 30 MPa (BG30) cũng tương đồng với cấp phối bê tông BG20 đã thí nghiệm trước đó (Hình 4). Cường độ chịu nén tăng dần khi thay thế CLTC đến 40%, bê tông BG30.CLX30 đạt 33,30 MPa (tăng 18,65%) và bê tông BG30.CLG30 đạt 31,19 MPa (tăng 11,10%) so với bê tông không CLTC.



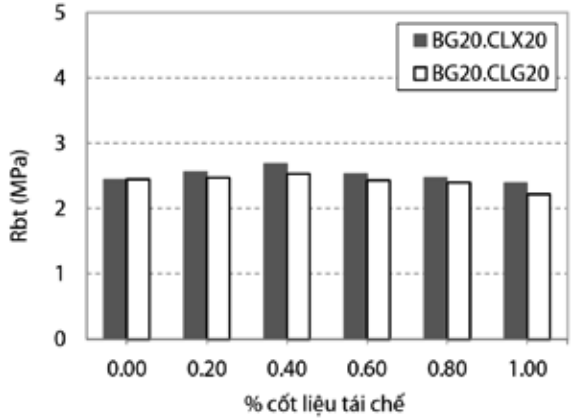
Hình 4. Cường độ chịu nén của bê tông BG30

Tiếp tục tăng hàm lượng CLTC đến 100%, khả năng chịu nén của bê tông BG30 có giảm nhưng vẫn đạt cường độ tương đồng với bê tông không CLTC (chênh lệch chỉ 2,56% đến 4%). Chênh lệch cường độ giữa bê tông dùng CLX30 và CLG30 cũng rất thấp, chỉ từ 2,13 đến 5,39%. Các kết quả này tiếp tục góp phần minh chứng tính khả thi tận dụng khối lượng lớn CLTC trong các cấp phối bê tông geopolymer mới.

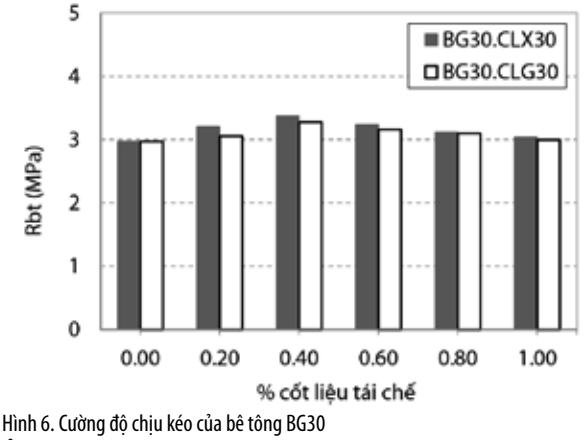
3.3. Ảnh hưởng của CLTC đến cường độ chịu kéo của bê tông geopolymer

Do cùng chịu ảnh hưởng bởi các tác nhân giống nhau như chất kết dính, thành phần cấp phối, tính chất bề mặt tiếp xúc,…nên cường độ chịu kéo của các mẫu bê tông có xu hướng biến thiên tương đồng với cường độ chịu nén đã được trình bày trước đó.

Cường độ chịu kéo của các cấp phối bê tông geopolymer cường độ mục tiêu 20 MPa (BG20) và cường độ mục tiêu 30 MPa (BG30) được thể hiện trong Hình 5 và Hình 6. Xu hướng phát triển cường độ chịu kéo của các cấp phối tương đồng với cường độ chịu nén đã được trình bày trước đó.



Hình 5. Cường độ chịu kéo của bê tông BG20



Hình 6. Cường độ chịu kéo của bê tông BG30

Ở tỷ lệ CLTC 40% các cấp phối đạt cường độ chịu kéo tốt nhất lần lượt là 2,69 MPa cho BG20.CLX20 (tăng 9,84% so với bê tông cốt liệu đá tự nhiên) và 2,53 MPa cho BG20.CLG20 (tăng 3,36%). Đối với bê tông BG30, cường độ chịu kéo tốt nhất lần lượt là 3,37 MPa (tăng 13,54%) và 3,27 MPa (tăng 10,18%).

Đối với bê tông BG20, khi thay thế đến 80% CLTC, cường độ chịu kéo vẫn đạt tương đồng như bê tông không CLTC (chỉ suy giảm 2,07%). Còn đối với bê tông BG30 khi thay thế đến 100% CLTC, cường độ chịu kéo vẫn đạt giá trị như bê tông cốt liệu đá tự nhiên. Các kết quả này một lần nữa góp phần khẳng định có thể dùng CLTC từ bê tông phế thải để sản xuất bê tông mới dùng trong xây dựng.

3.4. Biện luận chung

Nhìn chung, quy luật biến thiên cường độ chịu nén và chịu kéo của các cấp phối bê tông tương đồng nhau, phản ánh sự cạnh tranh giữa hiệu ứng gia cường vi mô (ở tỷ lệ CLTC thấp) và hiệu ứng tích lũy khuyết tật (ở tỷ lệ CLTC cao).

Hiệu ứng gia cường vi mô được lý giải qua ba cơ chế:

- Khóa cơ học và kết dính vật lý: Lớp vữa cũ bao quanh CLTC sau khi đập nghiền tạo ra bề mặt xù xì, góc cạnh với độ nhám cao vượt trội so với đá tự nhiên [29]. Ở hàm lượng thay thế dưới 40%, độ nhám này tăng cường lực ma sát trượt và hiệu ứng "khóa cơ học" giữa CLTC với ma trận chất kết dính mới, mở rộng diện tích tiếp xúc và tối ưu hóa khả năng phân tán ứng suất [30].

- Bảo dưỡng nội sinh: Do cấu trúc vữa cũ xốp, CLTC hấp thụ một lượng dung dịch kiềm lớn trong quá trình trộn và giải phóng từ từ sau khi đóng rắn [31], [46]. Đối với ma trận geopolymer mới, lượng dung dịch kiềm dự trữ này giúp duy trì môi trường pH cao lâu dài, thúc đẩy phản ứng trùng ngưng muộn của các hạt aluminosilicate, giúp tăng cường độ vĩ mô ở tuổi muộn [40].

- Tương tác hóa học chéo tại ITZ: Ở cấp phối BG.CLX, dung dịch kiềm mạnh từ vữa geopolymer tấn công lớp vữa xi măng cũ, hòa tan $Ca(OH)_2$ dư thừa để hình thành các gel C-A-S-H đan xen mạng lưới N-A-S-H. Quá trình này giúp "chữa lành" vi vết nứt và thu hẹp vùng ITZ kép [37], [39]. Đối với cấp phối BG.CLG, độ ổn định thể tích của vữa geopolymer cũ cùng việc tiếp tục kích hoạt các monome và hạt tro bay/xỉ chưa phản ứng hết tạo nên liên kết đồng chất bền vững giữa cốt liệu và vữa mới [47].

Ngược lại, khi hàm lượng CLTC vượt quá 40% lên đến 100%, sự tích lũy khuyết tật cấu trúc sẽ lấn át hoàn toàn và làm suy giảm cường độ theo các cơ chế:

- Sự gia tăng độ xốp và cấu trúc ITZ yếu: Thể tích vữa cũ tăng cao tạo ra mạng lưới ITZ cũ - mới chằng chịt và chồng chéo [34]. Vữa cũ xốp trở thành điểm tập trung ứng suất, khiến các vết nứt dễ dàng khởi phát và lan truyền xuyên qua vùng ITZ yếu thay vì đi vòng qua cốt liệu [33], [48].

- Sự lan truyền vi vết nứt: Các vi vết nứt sẵn có trong CLTC từ quá trình đập nghiền [32], [46] không được lấp đầy hoàn toàn khi lượng hồ vữa mới trở nên thiếu hụt ở tỷ lệ thay thế cao. Hệ quả là các vết nứt vi mô kết nối thành mạng lưới nứt vĩ mô, làm giảm khả năng chịu lực [34], [39].

- Hiệu ứng "pha loãng" bộ khung chịu lực: Việc thay thế hơn 40% cốt liệu tự nhiên bằng CLTC (có khối lượng nhẹ, giòn và mô-đun đàn hồi thấp) làm giảm đáng kể độ cứng của khung chịu lực [31]. Ở tỷ lệ 60-100%, hạt CLTC có xu hướng bị nghiền nát nội tại trước khi ma trận đạt ứng suất phá hoại cực đại [47], [49].

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của CLTC đến cường độ chịu nén và chịu kéo của bê tông geopolymer. Tuy số lượng mẫu khảo sát còn hạn chế, các kết quả thí nghiệm cho thấy các xu hướng biến thiên tương đồng, logic, có thể giải thích được và phù hợp các nghiên cứu trước. Một số kết luận đúc kết từ phạm vi nghiên cứu:

- CLTC từ bê tông geopolymer phế thải và từ bê tông xi măng phế thải hoàn toàn phù hợp dùng làm cốt liệu cho bê tông geopolymer mới với khả năng chịu kéo nén tương đồng và có phần vượt trội so với bê tông sử dụng cốt liệu đá tự nhiên.

- Cường độ chịu kéo nén của bê tông mới tăng khi tăng tỷ lệ CLTC đến 40%.

- Khi tiếp tục tăng tỷ lệ CLTC trên 40%, cường độ chịu kéo nén của bê tông mới có xu hướng giảm, tuy nhiên mức độ suy giảm cường độ không quá nghiêm trọng.

- Đa số cấp phối, khi thay thế hoàn toàn 100% CLTC, vật liệu vẫn đạt cường độ chịu kéo nén tương đồng so với bê tông cốt liệu đá tự nhiên.

- Kết quả nghiên cứu góp phần khẳng định tính khả thi trong việc sử dụng tỷ lệ lớn CLTC trong sản xuất bê tông dùng trong xây dựng.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện trong khuôn khổ đề tài mã số T2025-235, được tài trợ bởi Trường Đại học Công nghệ Kỹ thuật TP.HCM, Việt Nam

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] J Davidovits. Geopolymers: Inorganic polymeric new materials. Journal of Thermal Analysis, vol. 37, pp. 1633-1656, 1991, doi: 10.1007/BF01912193.

[2] P Duxson, JL Provis, GC Lukey and JSJ van Deventer. The role of inorganic polymer technology in the development of 'green concrete'. Cement and Concrete Research, vol. 37, no. 12, pp. 1590-1597, 2007, doi: 10.1016/j.cemconres.2007.08.018.

[3] RM Andrew. Global CO_2 emissions from cement production. Earth System Science Data, vol. 10, no. 1, pp. 195-217, 2018, doi: 10.5194/essd-10-195-2018.

[4] LK Turner and FG Collins. Carbon dioxide equivalent (CO_2-e) emissions: A comparison between geopolymer and OPC yield concrete. Construction and Building Materials, vol. 43, pp. 125-130, 2013, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.01.023.

[5] BC McLellan, RP Williams, J Lay, A van Riessen and GD Corder. Costs and carbon emissions for geopolymer pastes in comparison to ordinary portland cement. Journal of Cleaner Production, vol. 19, no. 9-10, pp. 1080-1090, 2011, doi: 10.1016/j.jclepro.2011.02.010.

[6] B Singh, G Ishwarya, M Gupta and SK Bhattacharyya. Geopolymer concrete: A review of some recent developments. Construction and Building Materials, vol. 85, pp. 78-90, 2015, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.03.036.

[7] Y Zhang, W Sun, Q Chen and L Chen. Synthesis and heavy metal immobilization behaviors of slag based geopolymer. Journal of Hazardous Materials, vol. 143, no. 1-2, pp. 206-213, 2007, doi: 10.1016/j.jhazmat.2006.09.033.

[8] E Benhelal, G Zahedi, E Shamsaei and A Bahadori. Global strategies and potentials to curb CO_2 emissions in cement industry. Journal of Cleaner Production, vol. 51, pp. 142-161, 2013, doi: 10.1016/j.jclepro.2012.10.049.

[9] G Habert, JB d'Espinose de Lacaillerie, and N Roussel. An environmental evaluation of geopolymer based concrete production: reviewing current research trends. Journal of Cleaner Production, vol. 19, no. 11, pp. 1229-1238, 2011, doi: 10.1016/j.jclepro.2011.03.012.

[10] MCG Juenger, F Winnefeld, JL Provis and JH Ideker. Advances in alternative cementitious binders. Cement and Concrete Research, vol. 41, no. 12, pp. 1232-1243, 2011, doi: 10.1016/j.cemconres.2010.11.012.

[11] JSJ van Deventer, JL Provis, and P Duxson. Technical and commercial progress in the adoption of geopolymer cement. Minerals Engineering, vol. 29, pp. 89-104, 2012, doi: 10.1016/j.mineng.2011.09.009.

[12] BV Rangan. Design, Properties, and Applications of Low-Calcium Fly Ash-Based Geopolymer Concrete. Developments in Porous, Biological and Geopolymer Ceramics: Ceramic Engineering and Science Proceedings, vol. 28, no. 9, 2007, doi: 10.1002/9780470339749.ch31.

[13] AM Fernandez-Jimenez, A Palomo and C Lopez-Hombrados. Engineering properties of alkali-activated fly ash concrete. ACI Materials Journal, vol. 103, no. 2, pp. 106-112, 2006, doi: 10.14359/15261.

[14] T Bakharev. Resistance of geopolymer materials to acid attack. Cement and Concrete Research, vol. 35, no. 4, pp. 658-670, 2005, doi: 10.1016/j.cemconres.2004.06.005.

[15] RJ Thomas and S Peethamparan. Alkali-activated concrete: Engineering properties and stress-strain behavior. Construction and Building Materials, vol. 93, pp. 49-56, 2015, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.04.039.

[16] Sindhunata, JL Provis, GC Lukey, H Xu and JSJ van Deventer. Structural evolution of fly ash based geopolymers in alkaline environments. Industrial & Engineering Chemistry Research, vol. 47, no. 09, pp. 2991-2999, 2008, doi: 10.1021/ie0707671.

[17] GS Ryu Young, YB Lee, KT Koh and YS Chung. The mechanical properties of fly ash-based geopolymer concrete with alkaline activators. Construction and Building Materials, vol. 47, pp. 409-418, 2013, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.05.069.

[18] G Fang, WK Ho, W Tu and M Zhang. Workability and mechanical properties of alkali-activated fly ash-slag concrete cured at ambient temperature. Construction and Building Materials, vol. 172, pp. 476-487, 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.04.008.

[19] P Nath and PK Sarker. Effect of GGBFS on setting, workability and early strength properties of fly ash geopolymer concrete cured in ambient condition. Construction and Building Materials, vol. 66, pp. 163-171, 2014, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.05.080.

[20] M Sofi, JSJ van Deventer, PA Mendis and GC Lukey. Engineering properties of inorganic polymer concretes (IPCs). Cement and Concrete Research, vol. 37, no. 2, pp. 251-257, 2007, doi: 10.1016/j.cemconres.2006.10.008.

[21] P Chindaprasirt, T Chareerat and V Sirivivatnanon. Workability and strength of coarse high calcium fly ash geopolymer. Cement and Concrete Composites, vol. 29, no. 3, pp. 224-229, 2007, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2006.11.002.

[22] P Nath and PK Sarker. Flexural strength and elastic modulus of ambient-cured blended low-calcium fly ash geopolymer concrete. Construction and Building Materials, vol. 130, pp. 22-31, 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.11.034.

[23] WDA Rickard, R Williams, J Temuujin and A van Riessen. Assessing the suitability of three Australian fly ashes as an aluminosilicate source for geopolymers in high temperature applications. Materials Science and Engineering: A, vol. 528, no. 9, pp. 3390-3397, 2011, doi: 10.1016/j.msea.2011.01.005.

[24] DLY Kong and JG Sanjayan. Effect of elevated temperatures on geopolymer paste, mortar and concrete. Cement and Concrete Research, vol. 40, no. 2, pp. 334-339, 2010, doi: 10.1016/j.cemconres.2009.10.017.

[25] MF Nuruddin, FA Memon, N Shafiq and S Demie. Drying shrinkage of fly ash-based self-compacting geopolymer concrete. Applied Mechanics and Materials, vol. 567, pp. 362-368, 2014, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.567.362.

[26] PS Deb, P Nath and PK Sarker. Drying shrinkage of slag blended fly ash geopolymer concrete cured at room temperature. Procedia Engineering, vol. 125, pp. 594-600, 2015, doi: 10.1016/j.proeng.2015.11.066.

[27] T Bakharev. Durability of geopolymer materials in sodium and magnesium sulfate solutions. Cement and Concrete Research, vol. 35, no. 6, pp. 1233-1246, 2005, doi: 10.1016/j.cemconres.2004.09.002.

[28] M Olivia and H Nikraz. Properties of fly ash geopolymer concrete designed by Taguchi method. Materials & Design, vol. 36, pp. 191-198, 2012, doi: 10.1016/j.matdes.2011.10.036.

[29] CS Poon, SC Kou, HW Wan and M Etxeberria. Properties of concrete blocks prepared with low grade recycled aggregates. Waste Management, vol. 29, no. 8, pp. 2369-2377, 2009, doi: 10.1016/j.wasman.2009.02.018.

[30] B Wang, L Yan, Q Fu and B Kasal. A comprehensive review on recycled aggregate and recycled aggregate concrete. Resources, Conservation and Recycling, vol. 171, 2021, doi: 10.1016/j.resconrec.2021.105565.

[31] VWY Tam, XF Gao and CM Tam. Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach. Cement and Concrete Research, vol. 35, no. 6, pp. 1195-1203, 2005, doi: 10.1016/j.cemconres.2004.10.025.

[32] M Etxeberria, E Vázquez, A Marí and M Barra. Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete. Cement and Concrete Research, vol. 37, no. 5, pp. 735-742, 2007, doi: 10.1016/j.cemconres.2007.02.002.

[33] J Xiao, W Li, Y Fan and X Huang. An overview of study on recycled aggregate concrete in China (1996–2011). Construction and Building Materials, vol. 31, pp. 364-383, 2012, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2011.12.074.

[34] M Behera, SK Bhattacharyya, AK Minocha, R Deoliya and S Maiti. Recycled aggregate from C&D waste & its use in concrete - A breakthrough towards sustainability. Construction and Building Materials, vol. 68, pp. 501-516, 2014, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.07.003.

[35] P Zhang, X Sun, F Wang and J Wang. Mechanical Properties and Durability of Geopolymer Recycled Aggregate Concrete: A Review. Polymers, vol. 15, no. 3, pp. 615, 2023, doi: 10.3390/polym15030615.

[36] FUA Shaikh. Mechanical and durability properties of fly ash geopolymer concrete containing recycled coarse aggregates. International Journal of Sustainable Built Environment, vol. 5, no. 2, pp. 277-287, 2016, doi: 10.1016/j.ijsbe.2016.05.009.

[37] O Nanayakkara, C Gunasekara, DW Law, J Xia and S Setunge. Alkali-Activated Slag Concrete with Recycled Aggregate: Long-Term Performance. Journal of Materials in Civil Engineering, vol. 33, no. 7, 2021, doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003773.

[38] J Xie, J Wang, R Rao, C Wang and C Fang. Effects of combined usage of GGBS and fly ash on workability and mechanical properties of alkali activated geopolymer concrete with recycled aggregate. Composites Part B: Engineering, vol. 164, pp. 179-190, 2019, doi: 10.1016/j.compositesb.2018.11.067.

[39] E Pawluczuk, KK Wichrowska, JR Jiménez, JMF Rodríguez and DS Morales. Geopolymer concrete with treated recycled aggregates: Macro and microstructural behavior. Journal of Building Engineering, vol. 44, 2021, doi: 10.1016/j.jobe.2021.103317.

[40] BS Thomas, J Yang, A Bahurudeen, SN Chinnu, JA Abdalla, RA Hawileh and HM Hamada. Geopolymer concrete incorporating recycled aggregates: A comprehensive review. Cleaner Materials, vol. 3, 2022, doi: 10.1016/j.clema.2022.100056.

[41] M Ahmed, P Colajanni and S Pagnotta. A Review of Current Research on the Use of Geopolymer Recycled Aggregate Concrete for Structural Members. Materials, vol. 15, no. 24, pp. 8911, 2022, doi: 10.3390/ma15248911.

[42] TCVN 7570:2006. Cốt liệu cho bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật. Bộ Khoa học và Công nghệ.

[43] ASTM C618-03. Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. American Society for Testing and Materials, 2003, doi: 10.1520/C0618-03.

[44] TCVN 3118:2022. Bê tông - Phương pháp xác định cường độ chịu nén. Bộ Khoa học và Công nghệ.

[45] TCVN 8862:2011. Quy trình thí nghiệm xác định cường độ kéo khi ép chẻ của vật liệu hạt liên kết bằng các chất kết dính. Bộ Khoa học và Công nghệ.

[46] MS de Juan and PA Gutiérrez. Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate. Construction and Building Materials, vol. 23, no. 2, pp. 872-877, 2009, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2008.04.012.

[47] P Nuaklong, V Sata and P Chindaprasirt. Influence of recycled aggregate on fly ash geopolymer concrete properties. Journal of Cleaner Production, vol. 112, no. 4, pp. 2300-2307, 2016, doi: 10.1016/j.jclepro.2015.10.109.

[48] R Kurda, J de Brito and JD Silvestre. Combined influence of recycled concrete aggregates and high contents of fly ash on concrete properties. Construction and Building Materials, vol. 157, pp. 554-572, 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.09.128.

[49] SC Kou, CS Poon and F Agrela. Comparisons of natural and recycled aggregate concretes prepared with the addition of different mineral admixtures. Cement and Concrete Composites, vol. 33, no. 8, pp. 788-795, 2011, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2011.05.009.

■Ngày nhận bài: 20/4/2026 ■Ngày sửa bài: 13/5/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 27/5/2026

Khả năng chịu uốn của dầm bê tông cường độ cao trong điều kiện cháy: Ảnh hưởng của các tham số theo phương pháp đường đẳng nhiệt 500°C

Flexural resistance of high-strength concrete beams in fire: Influence of key parameters based on the 500°C isotherm method

> TS NGUYỄN THỊ NGUYỆT HẰNG, TS TRẦN VIỆT HÙNG*
Trường Đại học Xây dựng Hà Nội
*Email: hungtv@huce.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày nghiên cứu về thiết kế chịu lửa cho dầm bê tông cường độ cao (HSC) theo Eurocode 2 (EN 1992-1-2), với trọng tâm là phương pháp tiết diện hiệu dụng dựa trên đường đẳng nhiệt 500°C. Trên cơ sở hệ thống hóa các quy định của tiêu chuẩn, ảnh hưởng của nhiệt độ đến sự suy giảm cường độ vật liệu và khả năng chịu uốn của cấu kiện được phân tích. Một ví dụ tính toán cho dầm bê tông cốt thép sử dụng HSC được thực hiện nhằm đánh giá khả năng chịu lửa và khảo sát ảnh hưởng của bố trí cốt thép cũng như chiều dày lớp bê tông bảo vệ. Kết quả cho thấy khả năng chịu uốn trong điều kiện cháy phụ thuộc mạnh vào nhiệt độ tại cốt thép. Việc bố trí cốt thép xa bề mặt chịu lửa và tăng chiều dày lớp bảo vệ giúp cải thiện đáng kể khả năng chịu lửa. Ngược lại, việc tăng cấp bê tông chỉ mang lại hiệu quả hạn chế do sự suy giảm cường độ ở nhiệt độ cao.

Từ khóa: Bê tông cường độ cao; thiết kế chịu lửa; Eurocode 2; phương pháp đường đẳng nhiệt 500°C; khả năng chịu lửa; dầm bê tông cốt thép.

ABSTRACT

This paper presents a study on the fire design of high-strength concrete (HSC) beams in accordance with Eurocode 2 (EN 1992-1-2), with a focus on the simplified calculation method based on the 500°C isotherm. The governing principles for structural fire design are first reviewed, emphasizing the temperature-dependent degradation of material properties and the specific challenges associated with HSC, including its increased susceptibility to explosive spalling. A case study on a reinforced concrete beam subjected to standard fire exposure is conducted to evaluate its load-bearing capacity under fire conditions. The residual bending capacity is determined using the effective cross-section method combined with a strength reduction factor for HSC. Parametric analyses are performed to investigate the influence of reinforcement layout and concrete cover thickness. The results indicate that fire resistance is highly dependent on the temperature at the reinforcement level. Increasing the concrete cover and optimizing the horizontal reinforcement layout significantly enhance the fire performance, while increasing concrete strength provides limited benefits due to rapid strength degradation at elevated temperatures.

Keywords: High-strength concrete (HSC); structural fire design; Eurocode 2; 500°C isotherm method; fire resistance; reinforced concrete beams.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong những thập niên gần đây, bê tông cường độ cao (High-Strength Concrete - HSC) ngày càng được sử dụng rộng rãi trong các công trình xây dựng dân dụng và giao thông, đặc biệt trong kết cấu cầu, nhà cao tầng, công trình ngầm và các kết cấu dự ứng lực. Nhờ cường độ chịu nén cao, độ đặc chắc lớn và độ bền lâu tốt, HSC cho phép giảm kích thước tiết diện, nâng cao hiệu quả sử dụng vật liệu và cải thiện khả năng chịu tải của kết cấu so với bê tông thường (Normal-Strength Concrete - NSC) [1, 2].

Tuy nhiên, ứng xử của HSC dưới tác động của nhiệt độ cao và hỏa hoạn có những khác biệt đáng kể so với NSC. Do cấu trúc vi mô đặc chắc và khả năng thấm thấp, HSC có xu hướng tích tụ áp suất hơi nước bên trong khi bị gia nhiệt, dẫn đến nguy cơ bong tróc nổ (explosive spalling) [3-6]. Hiện tượng này có thể làm mất nhanh lớp bê tông bảo vệ, làm tăng tốc độ gia nhiệt của cốt thép và dẫn đến suy giảm đáng kể khả năng chịu lực của cấu kiện trong điều kiện cháy [7, 8]. Bên cạnh đó, cường độ của HSC cũng suy giảm nhanh hơn trong vùng nhiệt độ cao, đặc biệt trong khoảng 400 - 800°C, làm cho lợi thế về cường độ ở nhiệt độ thường không còn được duy trì khi xảy ra hỏa hoạn [9].

Trong thực hành thiết kế, các quy định về chịu lửa của kết cấu bê tông thường vẫn được áp dụng phổ biến cho HSC, trong khi các đặc trưng riêng của loại vật liệu này chưa được xem xét đầy đủ. Eurocode 2 (EN 1992-1-2) đã đưa ra khung phương pháp luận cho thiết kế chịu lửa, bao gồm các phương pháp bảng tra, tính toán đơn giản và phân tích nâng cao, đồng thời bổ sung các quy định riêng cho HSC. Tuy nhiên, các hướng dẫn này mang tính tổng quát và việc áp dụng vào các cấu kiện cụ thể (như dầm và bản) vẫn đòi hỏi sự hiểu biết rõ về cơ chế suy giảm cường độ, phân bố nhiệt độ và ảnh hưởng của cấu tạo cốt thép.

Đặc biệt, trong thiết kế dầm và bản bê tông cường độ cao, phương pháp tiết diện hiệu dụng dựa trên đường đẳng nhiệt 500°C kết hợp với hệ số suy giảm mô-men được sử dụng rộng rãi. Tuy nhiên, ảnh hưởng của các yếu tố cấu tạo như bố trí cốt thép theo phương ngang và chiều dày lớp bê tông bảo vệ đến khả năng chịu uốn trong điều kiện cháy của dầm bê tông cường độ cao vẫn chưa được làm rõ một cách định lượng trong khuôn khổ các phương pháp thiết kế đơn giản của Eurocode 2.

Do đó, nghiên cứu này nhằm: (i) Hệ thống hóa các nguyên tắc thiết kế chịu lửa cho bê tông cường độ cao theo Eurocode 2, với trọng tâm là dầm HSC; (ii) làm rõ ảnh hưởng của nhiệt độ đến sự suy giảm cường độ vật liệu và khả năng chịu uốn của cấu kiện; (iii) thông qua một ví dụ tính toán điển hình, phân tích ảnh hưởng của bố trí cốt thép và chiều dày lớp bảo vệ đến khả năng chịu lửa của dầm bê tông cường độ cao. Các kết quả thu được góp phần cung cấp cơ sở khoa học cho việc áp dụng hợp lý HSC trong thiết kế kết cấu chịu lửa.

2. THIẾT KẾ CHỊU LỬA CHO BÊ TÔNG CƯỜNG ĐỘ CAO THEO EUROCODE 2

2.1. Nguyên tắc chung trong Eurocode 2 (EN 1992-1-2)

Eurocode 2 - Phần 1-2 (EN 1992-1-2) quy định thiết kế kết cấu bê tông trong điều kiện hỏa hoạn nhằm đảm bảo khả năng chịu lực của kết cấu trong một khoảng thời gian xác định (R30, R60, R90, R120…). Trong điều kiện cháy, kết cấu được kiểm tra theo trạng thái giới hạn chịu lửa, với các đặc trưng cơ học của vật liệu phụ thuộc vào nhiệt độ.

Cường độ và mô-đun đàn hồi của bê tông và cốt thép đều suy giảm khi nhiệt độ tăng, do đó cần sử dụng các hệ số suy giảm tương ứng trong tính toán. Đồng thời, việc đánh giá khả năng chịu lực phải xét đến phân bố nhiệt độ trong tiết diện cũng như ảnh hưởng của biến dạng nhiệt và các hiệu ứng bậc hai. Những yếu tố này làm cho bài toán thiết kế chịu lửa khác biệt đáng kể so với thiết kế ở nhiệt độ thường.

2.2. Các phương pháp thiết kế chịu lửa

Eurocode 2 cho phép áp dụng ba phương pháp thiết kế chịu lửa: (i) Phương pháp bảng tra, (ii) phương pháp tính toán đơn giản và (iii) phương pháp tính toán nâng cao.

Phương pháp bảng tra dựa trên các giá trị tối thiểu về kích thước tiết diện và chiều dày lớp bê tông bảo vệ nhằm đảm bảo thời gian chịu lửa yêu cầu, phù hợp cho thiết kế sơ bộ. Phương pháp tính toán đơn giản sử dụng các mô hình đơn giản hóa để xác định khả năng chịu lực còn lại của cấu kiện, trong đó phổ biến nhất là phương pháp tiết diện hiệu dụng dựa trên đường đẳng nhiệt 500°C. Phương pháp tính toán nâng cao dựa trên phân tích số, cho phép mô phỏng chi tiết quá trình truyền nhiệt và ứng xử cơ học của kết cấu khi cháy.

Trong nghiên cứu này, phương pháp tính toán đơn giản dựa trên đường đẳng nhiệt 500°C được sử dụng do đảm bảo cân bằng giữa độ chính xác và tính khả thi trong thiết kế thực hành.

2.3. Thiết kế chịu lửa cho kết cấu bê tông cường độ cao theo Eurocode 2 (EN 1992-1-2)

Eurocode 2 đưa ra các quy định bổ sung cho HSC, nhấn mạnh sự suy giảm nhanh cường độ và nguy cơ bong tróc nổ so với bê tông thường. HSC được phân thành ba cấp (Class 1-3) tương ứng với các khoảng cường độ khác nhau, mỗi cấp có quy luật suy giảm cường độ riêng theo nhiệt độ. Nhìn chung, cường độ nén của HSC giảm mạnh trong khoảng 400 - 800°C, do đó trong tính toán cần sử dụng các hệ số suy giảm $f_{c,\theta}/f_{ck}$ phù hợp.

Một đặc điểm quan trọng của HSC là nguy cơ bong tróc nổ (explosive spalling), đặc biệt đối với các cấp bê tông từ C80/95 trở lên. Eurocode 2 yêu cầu phải xem xét hiện tượng này trong thiết kế. Đối với bê tông có hàm lượng silica fume thấp (<6%), có thể áp dụng các quy định chung; tuy nhiên, với HSC cường độ rất cao, cần áp dụng các biện pháp bổ sung như: (i) Bố trí lưới thép gần bề mặt để hạn chế bong tróc; (ii) sử dụng vật liệu đã được kiểm chứng không xảy ra spalling; (iii) bố trí lớp bảo vệ chống cháy hoặc (iv) bổ sung sợi polypropylene với hàm lượng tối thiểu 2 kg/m^3 để cải thiện khả năng thoát hơi nước.

Về đặc tính nhiệt, các thông số như nhiệt dung riêng, khối lượng riêng và hệ số dẫn nhiệt của HSC có thể lấy tương tự như bê tông thường, tuy nhiên hệ số dẫn nhiệt có xu hướng cao hơn và cần được lựa chọn phù hợp theo phụ lục quốc gia.

Trong tính toán khả năng chịu lực khi cháy, Eurocode 2 cho phép sử dụng phân tích tổng thể hoặc các phương pháp đơn giản hóa. Với phương pháp đơn giản, khả năng chịu lực của cấu kiện được xác định dựa trên tiết diện hiệu dụng, trong đó phần bê tông bị suy giảm do nhiệt được loại bỏ thông qua đường đẳng nhiệt 500°C. Theo đó, mô-men kháng uốn của dầm được xác định từ tiết diện hiệu dụng (loại bỏ phần bê tông có nhiệt độ vượt quá 500°C), ký hiệu là M_{500}. Đối với dầm và bản bê tông cường độ cao, Eurocode 2 yêu cầu xét thêm sự suy giảm cường độ thông qua hệ số điều chỉnh mô-men k_m:

$$M_{Rd,fi} = M_{500} \times k_m$$

Trong đó, hệ số k_m phụ thuộc vào cấp bê tông và điều kiện chịu lửa, thường nằm trong khoảng 0,95 - 0,98 đối với dầm và bản dày và có thể giảm xuống khoảng 0,85 đối với bản mỏng chịu lửa từ phía kéo. Hệ số này phản ánh sự suy giảm bổ sung về khả năng chịu uốn

của HSC so với bê tông thường ở nhiệt độ cao.

Phương pháp bảng tra cũng có thể áp dụng cho dầm và bản sử dụng HSC, tuy nhiên cần tăng kích thước tiết diện hoặc chiều dày lớp bê tông bảo vệ so với bê tông thường. Điều này cho thấy hiệu quả của việc tăng cường độ bê tông bị hạn chế trong điều kiện cháy và các giải pháp cấu tạo (đặc biệt là lớp bảo vệ cốt thép) đóng vai trò quan trọng hơn.

Tóm lại, thiết kế chịu lửa cho dầm và bản bê tông cường độ cao theo Eurocode 2 dựa trên tiết diện hiệu dụng kết hợp với hệ số suy giảm mô-men k_m, đồng thời cần kiểm soát nguy cơ bong tróc nổ. Các quy định này phản ánh đặc trưng suy giảm nhanh của HSC ở nhiệt độ cao và cần được áp dụng một cách thận trọng trong thực hành thiết kế.

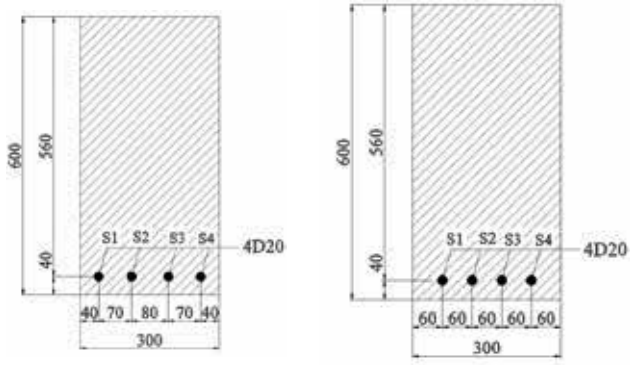
3. VÍ DỤ TÍNH TOÁN

3.1. Mô tả bài toán

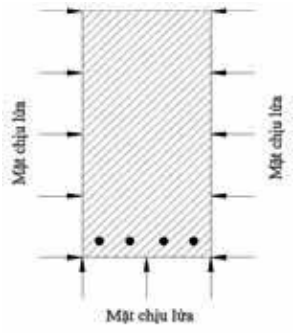
Để minh họa phương pháp thiết kế chịu lửa theo EN 1992-1-2 đối với bê tông cường độ cao, một dầm bê tông cốt thép đơn giản được xem xét. Dầm có tiết diện chữ nhật với các thông số chính như sau:

- Kích thước tiết diện: B x h = (300×600)mm;
- Khoảng cách từ biên chịu kéo tới trọng tâm cốt thép (axis distance): a = 40 mm;
- Bê tông: C70/85 (Class 2), f_{ck} = 70 MPa, f_{cd} = 46,7 MPa;
- Cốt thép: B500, f_{yk} = 500 MPa, f_{yd} = 435 MPa;
- Diện tích cốt thép chịu kéo: A_s = 1.256 mm^2 (4Ø20), bố trí theo 2 phương án như Hình 1(a) và (b).
- Mô-men thiết kế ở nhiệt độ thường: M_{Ed} = 250 kNm.

Dầm chịu tác động của hỏa hoạn theo đường cong nhiệt tiêu chuẩn và bị gia nhiệt từ ba phía (trừ mặt trên), như thể hiện trong Hình 1c. Yêu cầu thiết kế là đảm bảo khả năng chịu lửa R60.



a) - Sơ đồ bố trí cốt thép 1 *b) - Sơ đồ bố trí cốt thép 2*



c) - Sơ đồ chịu cháy

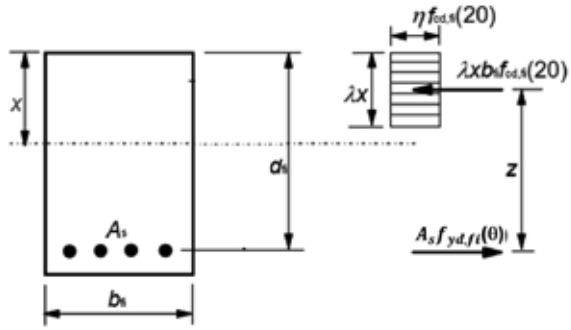
Hình 1. Mặt cắt ngang dầm khảo sát và kịch bản cháy

3.2. Phương pháp tính toán

Khả năng chịu uốn của dầm trong điều kiện cháy được xác định theo phương pháp tính toán đơn giản dựa trên đường đẳng nhiệt 500°C theo Eurocode 2 (EN 1992-1-2) [7]. Quy trình tính toán gồm các bước sau:

- B1: Xác định tiết diện hiệu dụng dựa trên phân bố nhiệt độ trong tiết diện theo các biểu đồ trong Annex A của tiêu chuẩn.
- B2: Xác định nhiệt độ tại cốt thép và hệ số suy giảm cường độ tương ứng.
- B3: Tính mô-men kháng uốn của tiết diện hiệu dụng với các đặc trưng vật liệu đã suy giảm theo nhiệt độ.

Việc xác định M_{500} được thực hiện dựa trên biểu đồ phân bố ứng suất và cân bằng nội lực của tiết diện bê tông cốt thép chịu uốn ở nhiệt độ cao, như minh họa trong Hình 2.



Hình 2. Biểu đồ phân bố ứng suất và các thành phần nội lực của dầm BTCT khi chịu nhiệt độ

Sau khi xác định được M_{500}, khả năng chịu uốn trong điều kiện cháy của dầm bê tông cường độ cao được xác định theo:

$$M_{Rd,fi} = M_{500} \times k_m$$

Trong đó: k_m là hệ số suy giảm cường độ phụ thuộc vào cấp bê tông theo Eurocode 2.

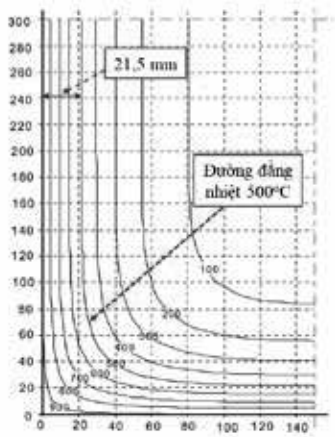
Điều kiện kiểm tra khả năng chịu lực trong điều kiện cháy:

$$M_{Rd,fi} \geq M_{Ed,fi}$$

với $M_{Ed,fi}$ là nội lực do tải trọng trong điều kiện cháy, được lấy bằng $0,7M_{Ed}$ theo khuyến nghị của tiêu chuẩn [7].

3.3. Kết quả tính toán

Từ biểu đồ phân bố nhiệt độ trong dầm 600×300 (hxb) tại thời điểm 60 phút chịu lửa theo Hình A.7 của Eurocode 2 (thể hiện trên Hình 3), chiều sâu đường đẳng nhiệt 500°C được xác định là a_{500}=21,5 mm.



Hình 3. Phân bố nhiệt độ trong dầm 600×300 (hxb) tại 60 phút chịu lửa theo Biểu đồ A.7 Tiêu chuẩn EC2 Phần 1-2.

Theo phương pháp đường đẳng nhiệt 500°C, bề rộng hiệu dụng của tiết diện được xác định:

b_{fi}=300-2×21,5=257 mm

Chiều cao hiệu dụng của dầm được giữ nguyên do cấu kiện chịu cháy từ ba phía, trong khi biên chịu nén không tiếp xúc trực tiếp với lửa. Từ phân bố nhiệt độ trong tiết diện (Hình 3), nhiệt độ tại các thanh cốt thép S1-S4 được xác định, từ đó suy ra các hệ số suy giảm cường độ tương ứng theo Eurocode 2. Các giá trị này được tổng hợp trong Bảng 1. Trên cơ sở tiết diện hiệu dụng và các đặc trưng vật liệu đã suy giảm theo nhiệt độ, mô-men kháng uốn của dầm trong điều kiện cháy được xác định theo phương pháp nêu trong Mục 3.2. Kết quả tính toán ở nhiệt độ thường và trong điều kiện cháy được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 1. Nhiệt độ trong cốt thép và hệ số suy giảm cường độ theo Eurocode 2

	Sơ đồ bố trí cốt thép A		**Sơ đồ bố trí cốt thép B**	
	Nhiệt độ, °C	**Hệ số suy giảm cường độ**	**Nhiệt độ, °C**	**Hệ số giảm cường độ**
S1	500	0,78	395	1,00
S2	320	1,00	300	1,00
S3	320	1,00	300	1,00
S4	500	0,78	395	1,00
Trung bình $f_{sy,\theta}/f_{yk}$		**0,89**		**1,00**

Bảng 2. Kết quả tính toán mô-men kháng uốn của dầm bê tông cường độ cao tại nhiệt độ thường và khi cháy theo tiêu chuẩn Eurocode 2

	Ở nhiệt độ thường (θ =20°C		**Sau 60 phút chịu lửa**	
	Sơ đồ bố trí cốt thép 1	**Sơ đồ bố trí cốt thép 2**	**Sơ đồ bố trí cốt thép 1**	**Sơ đồ bố trí cốt thép 2**
Cường độ bê tông thiết kế, $f_{cd,fi}(\theta)$, MPa	46,7	46,7	46,7	46,7
Cường độ thép khi cháy (lấy giá trị trung bình của 4 thanh), $f_{yd,fi}(\theta)$, MPa	435	435	387	435
Bề rộng hiệu dụng của dầm, b_{fi}, mm	300	300	257	257
Hệ số suy giảm cường độ trung bình của thép, $f_{sy,\theta}/f_{yk}$	1,00	1,00	0,89	1,00
Hệ số giảm cường độ ứng suất nén của bê tông trong khối ứng suất chữ nhật, η	0,9	0,9	0,9	0,9
Chiều cao khối ứng suất chữ nhật tương đương, λx, mm	43,3	43,3	45,0	50,6
Mô-men kháng uốn, kNm	294,0	294,0	261,3	292,0
Hệ số suy giảm sức kháng với bê tông cường độ cao, k_m			0,95	0,95
Khả năng chịu uốn trong điều kiện cháy,$M_{Rd,fi}$, kNm			248,2	277,4
Mô-men thiết kế trong điều kiện cháy, $M_{Ed,fi}$ kNm			175,0	175,0
Kiểm tra: $M_{Rd,fi} \geq M_{Ed,fi}$			**Đạt**	**Đạt**

Kết quả trong Bảng 2 cho thấy dầm đảm bảo khả năng chịu lửa R60. Ngoài ra, kết quả ở Bảng 2 cũng cho thấy ở nhiệt độ thường, khả năng kháng uốn của dầm không thay đổi giữa hai sơ đồ bố trí cốt thép, do tiết diện, diện tích cốt thép và khoảng cách từ biên chịu kéo đến trọng tâm cốt thép là như nhau. Điều này khẳng định rằng trong điều kiện làm việc thông thường, cách phân bố cốt thép theo phương ngang không ảnh hưởng đến khả năng chịu uốn khi các tham số hình học và cốt thép chủ yếu được giữ không đổi.

Tuy nhiên, trong điều kiện cháy, sự khác biệt giữa hai sơ đồ trở nên rõ rệt. Việc bố trí cốt thép theo phương ngang ảnh hưởng trực tiếp đến nhiệt độ của từng thanh thép và do đó ảnh hưởng đến cường độ làm việc của cốt thép. Các thanh thép nằm gần bề mặt chịu lửa hơn sẽ bị gia nhiệt nhanh hơn và suy giảm cường độ lớn hơn, dẫn đến giảm khả năng chịu mô-men của tiết diện.

Ngược lại, khi cốt thép được bố trí xa bề mặt cháy theo phương ngang, nhiệt độ tại cốt thép giảm, giúp duy trì cường độ làm việc của thép và cải thiện khả năng chịu lửa của dầm. Cách bố trí này đồng thời không làm thay đổi cánh tay đòn nội lực trong điều kiện nhiệt độ thường, do đó không ảnh hưởng đến khả năng chịu uốn ở trạng thái làm việc bình thường. Kết quả cho thấy rằng, tối ưu hóa vị trí cốt thép theo phương ngang là một giải pháp hiệu quả để nâng cao khả năng chịu lửa mà không làm suy giảm khả năng chịu lực ở điều kiện thường.

4. ẢNH HƯỞNG CỦA CẤP BÊ TÔNG VÀ CHIỀU DÀY LỚP BẢO VỆ CỐT THÉP TỚI KHẢ NĂNG CHỊU LỬA

Để đánh giá ảnh hưởng của cường độ bê tông và chiều dày lớp bê tông bảo vệ đến khả năng chịu lửa của dầm bê tông cường độ cao, ba cấp bê tông C50/60 (Cấp 1), C70/85 và C80/95 (cấp 2) được khảo sát. Lưu ý rằng, đối với bê tông HSC cấp 3, Eurocode 2 khuyến nghị sử dụng phương pháp tính toán nâng cao thay vì phương pháp giản đơn.

Chiều dày lớp bê tông bảo vệ được thay đổi trong khoảng từ 20 mm đến 40 mm, tương ứng với khoảng cách từ biên chịu kéo đến trọng tâm cốt thép thay đổi từ 30 mm đến 50 mm, với bước biến thiên 10 mm. Sơ đồ bố trí cốt thép được giữ nguyên theo Hình 1(a). Kết quả khảo sát được thể hiện trong Bảng 3.

Bảng 3. Ảnh hưởng của cấp bê tông và chiều dày lớp bảo vệ tới khả năng kháng uốn của dầm bê tông cường độ cao khi cháy

Cấp bê tông	**a, mm**	**b_{fi}, mm**	**$f_{sy,\theta}/f_{yk}$**	**η**	**k_m**	**λx, mm**	**M_{500} kNm**	**$M_{Rd,fi}$, kNm**	**$M_{Rd,fi}/M_{Ed,fi}$**
C60/75	40	257	0,89	0,95	0,98	49,8	260,1	254,9	1,46
C70/85	40	257	0,89	0,90	0,95	43,3	261,2	248,2	1,42

C80/95	40	257	0,89	0,85	0,95	41,7	262,0	248,9	1,42
C70/85	30	257	0,89	0,90	0,95	40,5	240,2	228,2	1,30
C70/85	50	257	0,89	0,90	0,95	48,6	275,6	261,82	1,50

Kết quả trong Bảng 3 cho thấy cấp bê tông chỉ ảnh hưởng hạn chế đến khả năng chịu uốn của dầm trong điều kiện cháy. Khi tăng cấp bê tông từ C60/75 lên C80/95, khả năng chịu uốn cải thiện không đáng kể do sự suy giảm nhanh cường độ của bê tông cường độ cao ở nhiệt độ cháy. Điều này cho thấy lợi thế về cường độ ở nhiệt độ thường không được duy trì hiệu quả trong điều kiện cháy.

Ngược lại, chiều dày lớp bê tông bảo vệ có ảnh hưởng rõ rệt và mang tính chi phối đến khả năng chịu lửa của dầm. Việc tăng lớp bảo vệ giúp giảm nhiệt độ tại cốt thép, từ đó hạn chế sự suy giảm cường độ của thép và cải thiện đáng kể khả năng chịu uốn trong điều kiện cháy. Ngược lại, khi giảm chiều dày lớp bảo vệ, nhiệt độ tại cốt thép tăng nhanh, dẫn đến suy giảm cường độ lớn hơn và làm giảm đáng kể khả năng chịu lực của cấu kiện. Kết quả này cho thấy rằng, trong thiết kế chịu lửa cho dầm bê tông cường độ cao, các giải pháp cấu tạo, đặc biệt là tăng chiều dày lớp bê tông bảo vệ, đóng vai trò quan trọng hơn so với việc tăng cấp bê tông.

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã đánh giá khả năng chịu uốn của dầm bê tông cường độ cao trong điều kiện cháy theo phương pháp đường đẳng nhiệt 500°C của Eurocode 2, đồng thời làm rõ ảnh hưởng của các tham số cấu tạo đến ứng xử chịu lửa của cấu kiện.

Kết quả cho thấy rằng trong điều kiện nhiệt độ thường, khả năng chịu uốn của dầm không bị ảnh hưởng bởi cách bố trí cốt thép theo phương ngang khi các tham số hình học và diện tích cốt thép được giữ không đổi. Tuy nhiên, trong điều kiện cháy, bố trí cốt thép theo phương ngang có ảnh hưởng đáng kể đến nhiệt độ làm việc của cốt thép và do đó đến khả năng chịu uốn của dầm.

Bên cạnh đó, việc tăng cấp bê tông không mang lại cải thiện đáng kể về khả năng chịu lửa do sự suy giảm nhanh cường độ của bê tông cường độ cao ở nhiệt độ cao. Ngược lại, chiều dày lớp bê tông bảo vệ đóng vai trò chi phối thông qua việc kiểm soát nhiệt độ tại cốt thép.

Từ đó có thể thấy rằng, trong thiết kế chịu lửa cho dầm bê tông cường độ cao, các giải pháp cấu tạo, đặc biệt là tối ưu vị trí cốt thép và tăng chiều dày lớp bê tông bảo vệ đóng vai trò quan trọng hơn so với việc nâng cao cường độ bê tông. Kết quả nghiên cứu góp phần làm rõ cơ chế ảnh hưởng của các tham số cấu tạo trong khuôn khổ phương pháp tính toán đơn giản của Eurocode 2, đồng thời cung cấp cơ sở tham khảo cho thiết kế kết cấu bê tông cường độ cao chịu cháy.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Xây dựng Hà Nội với Đề tài mang mã số 12-2026/KHXD-TĐ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Kodur, V.K.R., T.C. Wang and F.P. Cheng. Predicting the fire resistance behaviour of high strength concrete columns. Cement and Concrete Composites, 26(2): pp. 141-153, 2004, https://doi.org/10.1016/S0958-9465(03)00089-1.

[2] Mendis, P.J.P.i.S.E. and Materials. Design of high-strength concrete members: state-of-the-art., 5(1): pp. 1-15, 2003, https://doi.org/10.1002/pse.138.

[3] Amran, M. et al. Fire spalling behavior of high-strength concrete: A critical review. Construction and Building Materials, 341: p. 127902, 2022, https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127902.

[4] Ali, F., D. O'Connor and A. Abu-Tair. Explosive spalling of high-strength concrete columns in fire. Magazine of Concrete Research - MAG CONCR RES, 53, pp. 197-204, 2001, https://doi.org/10.1680/macr.2001.53.3.197.

[5] Ozawa, M., et al. Study of mechanisms of explosive spalling in high-strength concrete at high temperatures using acoustic emission. Construction and Building Materials, 37, pp. 621-628, 2012, https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.06.070.

[6] So, H.-S. Spalling prevention of high performance concrete at high temperatures, in High Performance Concrete Technology and Applications, IntechOpen, 2016, doi: 10.5772/64551.

[7] En, B.J.E.S. London, 1-2: 2004 Eurocode 2: Design of concrete structures-Part 1-2: General rules-Structural fire design, 2004.

[8] 216.14, A.T. Code Requirements for Determining fire Resistance of oncrete and Masonry Construction Assemblies. American Concrete Institute: Farmington Hills, MI, USA, 2014.

[9] Kodur, V.K.R.J.C.I. Strategies for Enhancing Fire Resistance of HighStrength Concrete Structures: How designers can minimize fire-induced spalling. 42(5), 2020.

■Ngày nhận bài: 12/5/2026 ■Ngày sửa bài: 26/5/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 05/6/2026

Mô hình hóa cường độ chịu nén không nở hông của đất yếu gia cố bằng xi măng, tro bay và vôi theo phương pháp bề mặt đáp ứng

Response surface modeling of unconfined compressive strength of soft soil stabilized with cement, fly ash and lime

> TS BÙI THỊ QUỲNH ANH
Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải
Email: quynhanhbt@utt.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu này đánh giá ảnh hưởng của xi măng, tro bay và vôi đến cường độ chịu nén không nở hông của đất yếu gia cố bằng phương pháp quy hoạch thực nghiệm và mô hình hồi quy bề mặt đáp ứng. Đất nghiên cứu được lấy tại xã Phú Hữu, tỉnh An Giang. Ba biến đầu vào gồm hàm lượng xi măng, tro bay và vôi được khảo sát theo mô hình quy hoạch tâm mặt CCD, với 15 tổ hợp cấp phối và 45 mẫu thí nghiệm. Kết quả cho thấy mô hình hồi quy bậc hai mô tả khá tốt sự thay đổi của cường độ chịu nén. Phân tích ANOVA cho thấy mô hình có ý nghĩa thống kê. Trong đó, xi măng là yếu tố ảnh hưởng mạnh nhất, tiếp theo là tro bay và vôi. Tương tác xi măng-tro bay có ý nghĩa rõ hơn các tương tác còn lại. Kết quả nghiên cứu có thể hỗ trợ lựa chọn sơ bộ cấp phối đất gia cố trong phạm vi vật liệu và điều kiện thí nghiệm tương tự.

Từ khóa: Đất yếu; gia cố đất; cường độ chịu nén không nở hông; xi măng; tro bay; vôi; phương pháp bề mặt đáp ứng.

ABSTRACT

This study evaluates the effects of cement, fly ash and lime on the unconfined compressive strength of stabilized soft soil using experimental design and response surface regression modeling. The investigated soil was collected from Phu Huu, An Giang Province. Three input variables, namely cement, fly ash and lime contents, were investigated using a face-centered central composite design, including 15 mixture combinations and 45 test specimens. The results indicate that the quadratic regression model reasonably describes the variation in unconfined compressive strength. The ANOVA results show that the model is statistically significant, with cement being the most influential factor, followed by fly ash and lime. The cement-fly ash interaction is more evident than the other interaction effects. The findings can support the preliminary selection of stabilizer proportions within similar material and experimental conditions.

Keywords: Soft soil; soil stabilization; unconfined compressive strength; cement; fly ash; lime; response surface methodology.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đất yếu là một trong những bất lợi địa kỹ thuật phổ biến trong xây dựng nền đường và nền công trình, do thường có cường độ chống cắt thấp, độ lún lớn và thời gian cố kết kéo dài. Tại đồng bằng sông Cửu Long, nền đất yếu phân bố rộng, chiều dày và tính chất cơ lý thay đổi đáng kể theo khu vực. Vì vậy, việc lựa chọn giải pháp xử lý cần gắn với đặc trưng cụ thể của từng loại đất và điều kiện thi công thực tế [12]. Đối với công trình giao thông, yêu cầu cải thiện cường độ, giảm biến dạng và tăng ổn định nền đường làm cho các giải pháp gia cố đất yếu bằng chất kết dính vô cơ trở nên cần thiết.

Gia cố hóa học bằng xi măng, vôi và tro bay là một hướng xử lý được sử dụng rộng rãi đối với đất hạt mịn. Xi măng thường đóng vai trò là chất kết dính thủy hóa chính, tạo các sản phẩm thủy hóa có khả năng liên kết hạt đất và làm tăng nhanh cường độ nén không nở hông. Vôi có thể làm giảm tính dẻo, thúc đẩy trao đổi cation, liên kết hạt sét và tạo môi trường kiềm thuận lợi cho phản ứng pozzolan. Trong khi đó, tro bay là phụ gia khoáng có khả năng tham gia phản ứng pozzolan khi có nguồn canxi phù hợp, góp phần phát triển cường độ và tận dụng phụ phẩm công nghiệp [10, 11]. Tuy nhiên, hiệu quả của từng chất gia cố không chỉ phụ thuộc vào hàm lượng riêng rẽ, mà còn chịu ảnh hưởng bởi sự phối hợp giữa các thành phần trong cùng một hệ vật liệu.

Cường độ chịu nén không nở hông, thường ký hiệu là UCS, là chỉ tiêu quan trọng để đánh giá hiệu quả gia cố đất bằng chất kết dính. Nếu khảo sát theo cách thay đổi từng yếu tố riêng lẻ, số lượng tổ hợp thí nghiệm sẽ tăng nhanh khi xét đồng thời nhiều thành phần gia cố. Cách tiếp cận này không chỉ làm tăng thời gian và chi phí thí nghiệm, mà còn khó lượng hóa đầy đủ ảnh hưởng tương tác giữa các biến. Trong bối cảnh đó, quy hoạch thực nghiệm và phương pháp bề mặt đáp ứng là công cụ phù hợp để xây dựng mô hình thực nghiệm gọn, cho phép đánh giá ảnh hưởng tuyến tính, ảnh hưởng bậc hai và ảnh hưởng tương tác của các yếu tố đầu vào đến UCS. Một số nghiên cứu đã cho thấy phương pháp bề mặt đáp ứng có thể được sử dụng hiệu quả trong tối ưu hóa hàm lượng chất gia cố và phân tích cường độ của đất gia cố [7-9].

Mặc dù đã có nhiều nghiên cứu về gia cố đất bằng xi măng, vôi và tro bay, vẫn cần thêm các nghiên cứu thực nghiệm có phạm vi gọn, tập trung vào một loại đất cụ thể và lượng hóa đồng thời ảnh hưởng của ba thành phần chất gia cố trong cùng một miền khảo sát. Cách tiếp cận này có ý nghĩa thực tiễn vì trong thiết kế sơ bộ, kỹ sư thường cần xác định nhanh vùng hàm lượng hợp lý trước khi tiến hành các thí nghiệm kiểm chứng chi tiết. Trên cơ sở đó, nghiên cứu này đánh giá ảnh hưởng của xi măng, tro bay và vôi đến UCS của đất yếu lấy tại khu vực ấp Vĩnh Phước, xã Phú Hữu, tỉnh An Giang. Phương pháp quy hoạch thực nghiệm trung tâm mặt, kết hợp phân tích phương sai và mô hình hồi quy bậc hai, được sử dụng để xây dựng phương trình dự báo UCS trong miền khảo sát. Kết quả nghiên cứu được kỳ vọng hỗ trợ lựa chọn sơ bộ cấp phối đất gia cố bằng xi măng, tro bay và vôi cho loại đất nghiên cứu và các điều kiện vật liệu tương tự.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

2.1. Vật liệu nghiên cứu

Đất sử dụng trong nghiên cứu được lấy tại ấp Vĩnh Phước, xã Phú Hữu, tỉnh An Giang. Đây là khu vực có nền đất yếu đặc trưng của đồng bằng sông Cửu Long. Các chất gia cố sử dụng trong nghiên cứu gồm xi măng poóc-lăng, tro bay và vôi hydrat. Xi măng poóc-lăng PC40 Hà Tiên được dùng làm chất kết dính thủy hóa chính, đáp ứng yêu cầu của TCVN 2682:2020 [3]. Tro bay Phả Lại được sử dụng như phụ gia khoáng hoạt tính, tham chiếu theo TCVN 10302:2014 [1]. Vôi hydrat được sử dụng nhằm cải thiện tính dẻo của đất và hỗ trợ môi trường kiềm cho phản ứng pozzolan, tham chiếu theo TCVN 2231:2016 [2].

Các thông số cơ bản của đất và vật liệu gia cố được trình bày trong Bảng 1. Kết quả cho thấy đất nghiên cứu có giới hạn chảy 46,2%, giới hạn dẻo 21,4% và khối lượng thể tích khô lớn nhất 1,644 g/cm^3. Các đặc trưng này cho thấy đất có tính dẻo trung bình đến tương đối cao, phù hợp để khảo sát hiệu quả gia cố bằng chất kết dính vô cơ. Các chỉ tiêu của xi măng, tro bay và vôi được sử dụng để kiểm soát chất lượng vật liệu đầu vào và làm cơ sở giải thích sự phát triển cường độ của đất gia cố.

Bảng 1. Một số thông số cơ bản của vật liệu sử dụng trong nghiên cứu

Vật liệu	Tiêu chuẩn	Thông số chính	Giá trị
Đất yếu	TCVN 12790:2020	Giới hạn chảy, LL	46,2%
		Giới hạn dẻo, PL	21,4%
		Khối lượng thể tích khô lớn nhất, MDD	1,644 g/cm^3
Xi măng poóc-lăng	TCVN 2682:2020	Khối lượng riêng	3,15 g/cm^3
		Độ mịn Blaine	3,300 cm^2/g
		Cường độ nén vữa chuẩn 28 ngày	46 MPa
Tro bay	TCVN 10302:2014	Khối lượng riêng	2,30 g/cm^3
		Lượng mất khi nung	4,5%
		Hàm lượng $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$	78%
		Hàm lượng CaO	4,5%
Vôi hydrat	TCVN 2231:2016	Hàm lượng $Ca(OH)_2$	92%
		Hàm lượng CaO + MgO	93%
		Hàm lượng MgO	1,0%
		Độ mịn	90% lọt sàng 0,09 mm

2.2. Phương án cấp phối và quy hoạch thực nghiệm

Nghiên cứu lựa chọn ba biến đầu vào gồm hàm lượng xi măng, hàm lượng tro bay và hàm lượng vôi. Các hàm lượng này được tính theo phần trăm khối lượng đất khô. Miền khảo sát của xi măng, tro bay và vôi lần lượt là 6 - 12%, 0 - 12% và 0 - 4%. Phương án thí nghiệm được xây dựng theo quy hoạch trung tâm mặt - CCD, sử dụng phần mềm Minitab. Với 3 biến đầu vào, ma trận thí nghiệm gồm 15 tổ hợp cấp phối. Mỗi tổ hợp được chế tạo 3 mẫu lặp, tạo thành tổng cộng 45 mẫu thí nghiệm. Mô hình hồi quy được xây dựng trên toàn bộ 45 kết quả UCS. Các mẫu lặp tại cùng một tổ hợp cấp phối được sử dụng để đánh giá sai số thuần và kiểm định lack-of-fit của mô hình. Cách tiếp cận này cho phép phân tích đồng thời ảnh hưởng tuyến tính, ảnh hưởng bậc hai và ảnh hưởng tương tác của các yếu tố đầu vào đến UCS. Mô hình hồi quy bậc hai có dạng tổng quát như sau:

$$UCS=\beta_0+\beta_1 C+\beta_2 FA+\beta_3 L+\beta_{11} C^2+\beta_{22} FA^2+\beta_{33} L^2+\beta_{12} CFA+\beta_{13} CL+\beta_{23} FAL$$

Trong đó: UCS là cường độ chịu nén không nở hông; C, FA và L lần lượt là hàm lượng xi măng, tro bay và vôi; β_0 là hệ số tự do; β_i, β_{ii} và β_{ij} lần lượt là hệ số tuyến tính, hệ số bậc hai và hệ số tương tác.

2.3. Chế tạo mẫu và thí nghiệm UCS

Trước khi chế tạo mẫu đất gia cố, thí nghiệm đầm nén Proctor được thực hiện theo TCVN 12790:2020 [4] để xác định độ ẩm tối ưu và khối lượng thể tích khô lớn nhất của đất. Các thông số này được sử dụng làm cơ sở kiểm soát lượng nước trộn và trạng thái đầm chặt của mẫu trong quá trình chế tạo. Mẫu đất gia cố được chuẩn bị theo ASTM D1632 [5]. Đất sau khi xử lý sơ bộ được trộn khô với xi măng, tro bay và vôi theo từng cấp phối thiết kế, sau đó bổ sung nước theo độ ẩm tối ưu đã xác định và trộn đến khi hỗn hợp đồng nhất. Hỗn hợp được tạo mẫu trong khuôn trụ, đầm chặt theo quy trình thống nhất, bảo quản ban đầu trong khuôn và dưỡng hộ đến 28 ngày. Sau thời gian dưỡng hộ, thí nghiệm nén không nở hông UCS được thực hiện theo ASTM D1633 [6] để xác định cường độ chịu nén không nở hông.

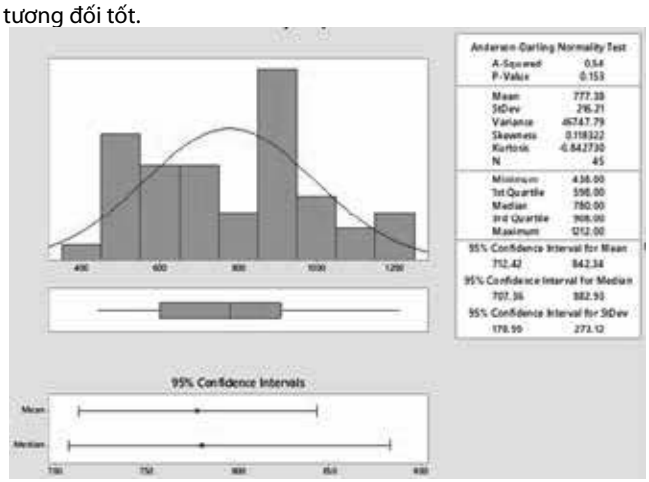


Hình 1. Mẫu thí nghiệm sau khi chế bị hoàn thiện

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả cường độ nén

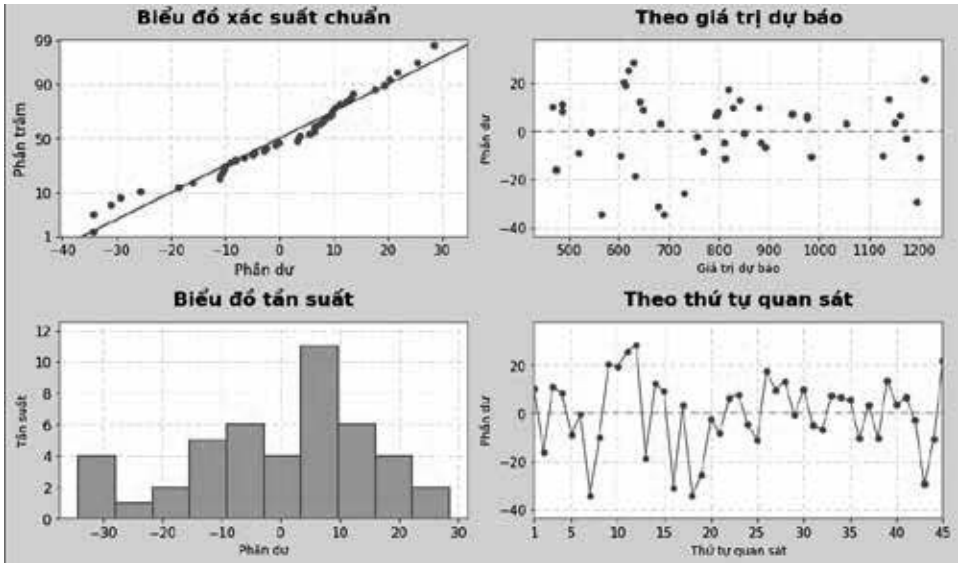
Biểu đồ Hình 2 cho thấy cường độ chịu nén UCS của 45 mẫu dao động trong khoảng 438 - 1212 kPa, với giá trị trung bình 777,38 kPa và trung vị 780,00 kPa. Hai giá trị này khá gần nhau, cho thấy phân bố UCS tương đối cân bằng quanh vùng trung tâm. Độ lệch chuẩn đạt 216,21 kPa, hệ số biến động xấp xỉ 27,8%, phản ánh sự phân tán khá rõ của UCS giữa các cấp phối. Điều này là hợp lý vì các mẫu được chế tạo với hàm lượng xi măng, tro bay và vôi khác nhau. Khoảng tin cậy 95% của giá trị trung bình nằm trong khoảng 712,42 - 842,34 kPa, cho thấy cường độ trung bình của tập mẫu có độ tin cậy tương đối tốt.



Hình 2. Các thông số thống kê của UCS

3.2. Phân tích ANOVA và hồi quy

Các biểu đồ tần suất và phân bố số dư trên Hình 3 cho thấy giả thuyết của mô hình hồi quy đạt mức chấp nhận được. Các giả định cơ bản của mô hình hồi quy có thể xem là phù hợp để sử dụng mô hình trong phân tích ANOVA và xây dựng mô hình hồi quy dự báo UCS trong miền khảo sát.



Hình 3. Đồ thị tần suất và phần dư

Kết quả ANOVA cho thấy mô hình hồi quy có ý nghĩa thống kê rõ rệt, với F = 31,46 và P < 0,001. Trong các yếu tố khảo sát, xi măng có ảnh hưởng mạnh nhất đến UCS, tiếp theo là tro bay và vôi. Nhóm thành phần bình phương có ý nghĩa thống kê, cho thấy quan hệ giữa hàm lượng chất gia cố và UCS có tính phi tuyến. Trong các tương tác, chỉ tương tác xi măng × tro bay có ý nghĩa rõ rệt, trong khi xi măng × vôi và tro bay × vôi chưa có ý nghĩa thống kê.

Bảng 2. Kết quả phân tích ANOVA

Nguồn	Bậc tự do	Tổng bình phương	Bình phương trung bình	Giá trị F	Giá trị P
Mô hình	9	1.830.637,2	203.404,1	31,46	<0,001
Tuyến tính	3	1.650.319,9	550.106,6	85,10	<0,001
Xi măng	1	1.002.438,6	1.002.438,6	155,07	<0,001
Tro bay	1	448.762,4	448.762,4	69,42	<0,001

Nguồn	Bậc tự do	Tổng bình phương	Bình phương trung bình	Giá trị F	Giá trị P
Vôi	1	199.118,9	199.118,9	30,80	<0,001
Bậc hai	3	125.018,8	41.672,9	6,45	0,001
Xi măng × Xi măng	1	34.982,5	34.982,5	5,41	0,026
Tro bay × Tro bay	1	65.124,7	65.124,7	10,07	0,003
Vôi × Vôi	1	24.911,6	24.911,6	3,85	0,058
Tương tác hai yếu tố	3	55.298,5	18.432,8	2,85	0,052
Xi măng × Tro bay	1	30.140,4	30.140,4	4,66	0,038
Xi măng × Vôi	1	17.921,7	17.921,7	2,77	0,105
Tro bay × Vôi	1	7.236,4	7.236,4	1,12	0,297
Sai số	35	226.265,8	6.464,7		
Lack-of-fit	5	45.038,7	9.007,7	1,49	0,225
Sai số thuần	30	181.227,1	6.040,9		
Tổng cộng	44	2.056.903,0			

Kết quả hồi quy cho thấy mô hình có khả năng mô tả tương đối tốt sự thay đổi UCS của đất gia cố, với R^2 = 89,00%, R^2 hiệu chỉnh = 86,17% và R^2 dự báo = 83,50%. Đối với nghiên cứu thực nghiệm trên đất yếu, chênh lệch giữa R^2 hiệu chỉnh và R^2 dự báo không quá lớn, cho thấy mô hình có khả năng dự báo tương đối tốt trong miền khảo sát.

Bảng 3. Kết quả hệ số mô hình hồi quy

Thành phần	Ảnh hưởng	Hệ số	SE	T	P
Hằng số		880,64	24,80	35,51	<0,001
Xi măng	440,60	220,57	17,72	12,45	<0,001
Tro bay	180,33	89,82	10,78	8,33	<0,001
Vôi	120,00	59,77	10,77	5,55	<0,001
Xi măng*Xi măng	-80,26	-40,23	17,30	-2,33	0,026
Tro bay*Tro bay	-139,59	-69,86	22,02	-3,17	0,003
Vôi*Vôi	-89,93	-44,82	22,85	-1,96	0,058
Xi măng*Tro bay	110,25	55,22	25,58	2,16	0,038
Xi măng*Vôi	50,08	24,91	14,96	1,67	0,105
Tro bay*Vôi	30,58	14,86	14,04	1,06	0,297

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
80,40	89,00%	86,17%	83,50%

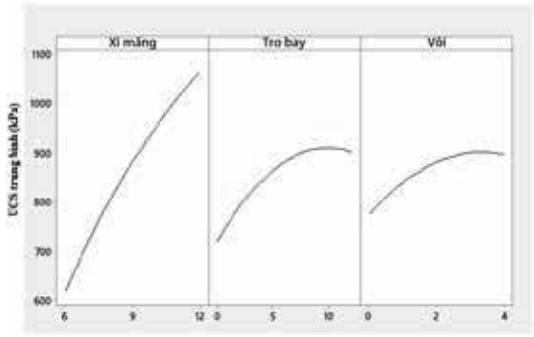
Phương trình hồi quy:

UCS=150,6+ 127,0Xi măng+8,18Tro bay+29,75 Vôi, 459 Xi măng *Xi măng - 1,939 Tro bay *Tro bay - 11,24 Vôi * Vôi + 3,062Xi măng * Tro bay+ 4,174 Xi măng * Vôi+ ,274 Tro bay * Vôi

3.3. Phân tích ảnh hưởng của các yếu tố đến UCS

3.3.1. Yếu tố ảnh hưởng chính

Hình 4 cho thấy cả ba thành phần gia cố đều làm tăng cường độ nén không nở hông của đất, nhưng mức độ ảnh hưởng khác nhau. Xi măng là yếu tố chi phối rõ nhất. Khi hàm lượng xi măng tăng từ 6% lên 12%, cường độ nén không nở hông tăng mạnh. Xu hướng này phù hợp với kết quả ANOVA, trong đó xi măng có mức ảnh hưởng lớn nhất trong ba yếu tố khảo sát. Về bản chất vật liệu, xi măng đóng vai trò là chất kết dính thủy hóa chính, tạo các sản phẩm thủy hóa có khả năng lấp rỗng, liên kết hạt đất và hình thành khung cường độ trong đất gia cố. Tro bay có ảnh hưởng đứng thứ hai. Khi hàm lượng tro bay tăng từ 0% lên 12%, cường độ nén không nở hông có xu hướng tăng, nhưng mức tăng thấp hơn so với xi măng. Đường xu hướng của tro bay có dạng cong, cho thấy hiệu quả tăng cường độ có thể giảm dần ở vùng hàm lượng cao. Điều này hàm ý rằng tro bay không nên được xem là thành phần làm tăng cường độ tuyến tính liên tục. Trong hệ đất gia cố bằng xi măng, tro bay chủ yếu phát huy vai trò thông qua phản ứng pozzolan khi có môi trường kiềm và nguồn canxi phù hợp. Vôi cũng góp phần làm tăng cường độ nén không nở hông, nhưng mức ảnh hưởng thấp hơn xi măng và tro bay. Khi hàm lượng vôi tăng từ 0% đến khoảng 2 - 3%, cường độ có xu hướng cải thiện. Tuy nhiên, ở vùng hàm lượng cao hơn, mức tăng không còn rõ rệt. Kết quả này cho thấy vôi có vai trò hỗ trợ cải thiện môi trường phản ứng và tính chất của đất hạt mịn, nhưng việc tăng vôi quá mức có thể không tạo ra hiệu quả tăng cường độ tương xứng.



Hình 4. Đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố chính đến UCS

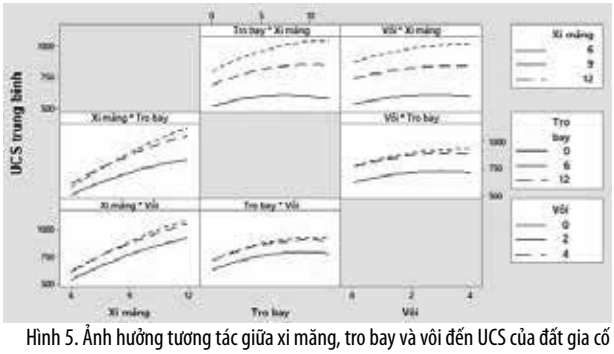
3.3.2. Ảnh hưởng tương tác giữa các yếu tố

Hình 5 cho thấy ảnh hưởng tương tác giữa các thành phần gia cố đến cường độ nén không nở hông. Trong các cặp tương tác, tương tác giữa xi măng và tro bay thể hiện rõ nhất. Khi hàm lượng xi măng ở mức cao, việc tăng tro bay từ 0% lên 12% làm cường độ tăng rõ hơn so với trường hợp xi măng ở mức thấp. Kết quả này phù hợp với phân tích ANOVA, trong đó tương tác giữa xi măng và tro bay là tương tác duy nhất có ý nghĩa thống kê ở mức 5%. Điều này cho thấy tro bay phát huy hiệu quả tốt hơn khi hệ gia cố có đủ nguồn canxi từ xi măng.

Tương tác giữa xi măng và vôi yếu hơn. Khi tăng hàm lượng vôi từ 0% lên 4%, cường độ có thể tăng nhẹ ở các mức xi măng khác nhau, nhưng sự khác biệt giữa các đường xu hướng không lớn. Điều này phù hợp với kết quả hồi quy, trong đó tương tác giữa xi măng và vôi chưa có ý nghĩa thống kê. Vôi có thể hỗ trợ quá trình cải thiện đất thông qua trao đổi cation, kết bông hạt sét và tạo môi trường kiềm, nhưng hiệu quả phối hợp với xi măng trong miền khảo sát chưa đủ mạnh để được xem là tương tác chi phối.

Tương tác giữa tro bay và vôi là yếu nhất. Khi thay đổi đồng thời tro bay và vôi, mức tăng cường độ không lớn so với tương tác giữa xi măng và tro bay. Điều này cho thấy việc bổ sung vôi không nhất thiết tạo ra hiệu ứng cộng hưởng rõ rệt với tro bay trong điều kiện thí nghiệm này. Vì vậy, nếu mục tiêu chính là tăng cường độ, việc tăng vôi cần được cân nhắc thận trọng thay vì mặc định rằng hàm lượng vôi cao hơn sẽ luôn làm tăng hiệu quả gia cố.

Tổng hợp các xu hướng trên, vùng cấp phối cho cường độ cao trong miền khảo sát tập trung quanh xi măng khoảng 12%, tro bay khoảng 8 - 12% và vôi khoảng 2 - 3% theo khối lượng đất khô. Tuy nhiên, xét về hiệu quả vật liệu và xu hướng bão hòa của vôi, vùng khuyến nghị sơ bộ có thể ưu tiên xi măng khoảng 12%, tro bay khoảng 8 - 10% và vôi khoảng 2 - 3%. Đây chỉ là vùng khuyến nghị trong phạm vi mô hình hồi quy và dữ liệu thí nghiệm hiện có, chưa nên xem là cấp phối tối ưu áp dụng trực tiếp cho mọi điều kiện hiện trường. Cần có thí nghiệm kiểm chứng độc lập trước khi sử dụng cho thiết kế thực tế, đặc biệt khi thay đổi nguồn đất, độ ẩm tự nhiên, điều kiện trộn, mức độ đầm chặt hoặc tuổi dưỡng hộ.



Hình 5. Ảnh hưởng tương tác giữa xi măng, tro bay và vôi đến UCS của đất gia cố

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã xây dựng mô hình hồi quy bề mặt đáp ứng để mô tả cường độ nén không nở hông của đất yếu tại xã Hữu Phước, An Giang được gia cố bằng xi măng, tro bay và vôi. Mô hình bậc hai đạt mức phù hợp tương đối tốt. Kết quả ANOVA cho thấy mô hình có ý nghĩa thống kê. Trong 3 yếu tố nghiên cứu, xi măng có ảnh hưởng mạnh nhất đến cường độ nén không nở hông, tiếp theo là tro bay và vôi. Tương tác giữa xi măng và tro bay là rõ nhất, cho thấy tro bay phát huy hiệu quả tốt hơn khi hệ gia cố có đủ nguồn canxi từ xi măng. Trong miền khảo sát, vùng cấp phối khuyến nghị sơ bộ là xi măng khoảng 12%, tro bay khoảng 8 - 10% và vôi khoảng 2 - 3% theo khối lượng đất khô. Kết quả này cần được kiểm chứng thêm bằng thí nghiệm độc lập trước khi áp dụng cho điều kiện hiện trường.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] TCVN 10302: Phụ gia hoạt tính tro bay dùng cho bê tông, vữa xây và xi măng.

[2] TCVN 2231: Vôi calci cho xây dựng.

[3] TCVN 2682: Xi măng poóc-lăng.

[4] TCVN 12790: Đất, đá dăm dùng trong công trình giao thông: Đầm nén Proctor.

[5] ASTM D1632: Standard practice for making and curing soil-cement compression and flexure test specimens in the laboratory.

[6] ASTM D1633: Standard test methods for compressive strength of molded soil-cement cylinders.

[7] Almajed, A., Dinesh, S., & Moghal, A. A. B. Response surface method analysis of chemically stabilized fiber-reinforced soil. Materials, 14(6), 1535, 2021.

[8] Asgari, M. R., Baghebanzadeh Dezfuli, A., & Bayat, M. Experimental study on stabilization of a low plasticity clayey soil with cement/lime. Arabian Journal of Geosciences, 8, 1439-1452, 2015.

[9] Güllü, H., & Fedakar, H. İ. Response surface methodology for optimization of stabilizer dosage rates of marginal sand stabilized with sludge ash and fiber based on UCS performances. KSCE Journal of Civil Engineering, 21, 1717-1727, 2017.

[10] Indiramma, P., Sudharani, C., & Needhidasan, S. Utilization of fly ash and lime to stabilize the expansive soil and to sustain pollution free environment: An experimental study. Materials Today: Proceedings, 22, 694-700, 2020.

[11] Mahedi, M., Cetin, B., & White, D. J. Cement, lime and fly ashes in stabilizing expansive soils: Performance evaluation and comparison. Journal of Materials in Civil Engineering, 32(7), 04020177, 2020.

[12] Nu, N. T., & Son, B. T. Study on soft ground structure in the Mekong Delta, Vietnam for embankment construction. Journal of Applied Science and Engineering, 24(3), 307-314, 2021.

■Ngày nhận bài: 08/4/2026 ■Ngày sửa bài: 24/4/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 08/5/2026

Tối ưu hóa cường độ nén nở hông của đất bề mặt ở Cần Thơ cải tạo bằng xi măng kết hợp phụ gia theo phương pháp bề mặt đáp ứng

Optimization of unconfined compressive strength of surface soil in Can Tho City improved with cement and additive using response surface methodology

> THS.NCS LÊ VĂN HIỆP[1,*], PGS.TS NGUYỄN ĐỨC MẠNH[2], PGS.TS PHẠM THÁI BÌNH[1]
[1]Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải
[2]Trường Đại học Giao thông vận tải
[*]Email: hieplv@utt.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu nhằm tối ưu cường độ nén không nở hông (UCS, qu) của đất gia cố bằng xi măng và phụ gia DZ33, sử dụng phương pháp bề mặt đáp ứng (RSM) với thiết kế trung tâm hợp thành (CCD). Ba yếu tố được khảo sát gồm hàm lượng xi măng (0 - 6%), hàm lượng phụ gia (0 - 0,006%) và thời gian bảo dưỡng (14 - 28 ngày). Kết quả ANOVA cho thấy mô hình hồi quy bậc hai có ý nghĩa thống kê ($p < 0,001$; $R^2 = 84,72\%$), trong đó hàm lượng xi măng là yếu tố ảnh hưởng lớn nhất, tiếp theo là thời gian bảo dưỡng, còn phụ gia có ảnh hưởng phi tuyến. Điều kiện tối ưu (6% xi măng, 0,006% DZ33 và 24,5 ngày bảo dưỡng) cho giá trị UCS dự báo đạt 4,691 MPa. Kết quả khẳng định hiệu quả của giải pháp gia cố xi măng - phụ gia và cho thấy RSM-CCD là phương pháp hiệu quả trong tối ưu hóa gia cố đất.

Từ khóa: Đất cải tạo xi măng; phụ gia DZ33; cường độ nén không nở hông; gia cố đất; phương pháp bề mặt đáp ứng; thiết kế trung tâm hợp thành.

ABSTRACT

This study aims to optimize the unconfined compressive strength (UCS, qu) of soil stabilized with cement and a DZ33 enzyme-based additive using Response Surface Methodology (RSM) with a Central Composite Design (CCD). Three factors were investigated, including cement content (0 - 6%), additive dosage (0–0.006%), and curing time (14 - 28 days). The ANOVA results indicate that the quadratic regression model is statistically significant ($p < 0.001$; $R^2 = 84,72\%$), in which cement content is the most influential factor, followed by curing time, while the additive exhibits a nonlinear effect. The optimal condition (6% cement, 0.006% DZ33 and 24,5 days of curing) yields a predicted UCS of 4,691 MPa. The results confirm the effectiveness of cement - additive stabilization and demonstrate that RSM-CCD is an efficient method for optimizing soil stabilization systems.

Keywords: Cement-treated soil; additive DZ33; unconfined compressive strength; soil stabilization; response surface methodology; central composite design.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đồng bằng sông Cửu Long, đặc biệt là Cần Thơ có nền đất yếu phân bố rộng, lớp đất bề mặt chủ yếu là bụi và sét dẻo lẫn hữu cơ chiều dày từ 0,5 - 2 m. Theo TCVN 9436 -2012 [1], lớp đất này không thích hợp làm nền hay vật liệu đắp, nên thường đào bỏ trong quá trình xây dựng. Nhiều nghiên cứu đã áp dụng phương pháp cải tạo đất bằng chất kết dính vô cơ kết hợp phụ gia nhằm cải thiện tính chất cơ lý và khả năng chịu tải của đất [9, 11-14, 18].

Cường độ nén nở hông (q_u) được xác định theo TCVN 9438:2012 hoặc ASTM D2166/D2166M [2, 15]. Giá trị này phụ thuộc đồng thời vào nhiều yếu tố như hàm lượng xi măng, loại đất, thời gian dưỡng hộ và phụ gia. Các nghiên cứu gần đây cho thấy việc kết hợp phụ gia khoáng hoặc phụ gia hoạt tính có thể cải thiện đáng kể cường độ và cấu trúc vi mô của đất-xi măng [5, 7].

DZ33 là loại phụ gia hoạt tính được sử dụng nhằm tăng cường phản ứng thủy hóa, cải thiện cấu trúc liên kết và nâng cao cường độ

của vật liệu gia cố [6]. Tuy nhiên, hiệu quả của DZ33 phụ thuộc vào hàm lượng sử dụng và sự tương tác với xi măng cũng như thời gian dưỡng hộ. Nếu lựa chọn tỷ lệ không hợp lý, hiệu quả cải thiện cường độ có thể không đạt tối ưu, thậm chí gây lãng phí vật liệu.

Phương pháp bề mặt đáp ứng (Response Surface Methodology - RSM) kết hợp với thiết kế thí nghiệm trung tâm (Central Composite Design - CCD) đã được áp dụng rộng rãi trong nghiên cứu vật liệu xây dựng và địa kỹ thuật nhằm mô hình hóa và tối ưu hóa các thông số ảnh hưởng đến cường độ vật liệu [4, 10]. Phương pháp này cho phép đánh giá đồng thời ảnh hưởng tuyến tính, phi tuyến và tương tác giữa các biến độc lập, đồng thời xác định tổ hợp thông số tối ưu với số lượng thí nghiệm hợp lý.

Nghiên cứu này tập trung tối ưu hóa cường độ nén không nở hông của đất bề mặt tại Cần Thơ cải tạo bằng xi măng kết hợp phụ gia DZ33 theo phương pháp bề mặt đáp ứng. Mục tiêu của nghiên cứu là: (i) Xây dựng mô hình hồi quy dự báo q_u theo các biến; (ii) đánh giá mức độ ảnh hưởng của từng yếu tố thông qua phân tích phương sai; (iii) xác định điều kiện nhằm đạt giá trị q_u lớn nhất trong phạm vi khảo sát.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu thí nghiệm

Đất mặt được lấy tại xã Thạnh Tiến, Vĩnh Thạnh, Cần Thơ (Hình 1). Một số đặc trưng vật lý và thành phần hạt của đất nghiên cứu phân tích theo TCVN hiện hành được trình bày trong Bảng 1.



Hình 1. Vị trí lấy mẫu đất thí nghiệm

Bảng 1. Một số đặc trưng vật lý của mẫu đất nghiên cứu

STT	Cỡ sàng	Ký hiệu	Đơn vị	Hàm lượng lọt sàng	STT	Chỉ tiêu	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị
1	Thành phần hạt đất (mm)				2	Khối lượng riêng	ρ_s	g/cm^3	2,48
	50,0	P	%	100	3	Giới hạn chảy	W_L	%	65,69
	37,5	P	%	100	4	Giới hạn dẻo	W_P	%	39,46
	25,0	P	%	100	5	Chỉ số dẻo	I_p	%	26,23
	19,0	P	%	100	6	Khối lượng thể tích khô lớn nhất	$\rho^{k\,max}$	g/cm^3	1,392
	9,5	P	%	100	7	Độ ẩm tốt nhất	W_{tn}	%	21,96
	4,75	P	%	100	8	Hàm lượng hữu cơ	H	%	13,09
	2,36	P	%	99,7	9	Độ trương nở	ε	%	8,25
	0,425	P	%	99,2	10	Trị số xuyên CBR (95%)	CBR	%	0,7
	0,075	P	%	98,5	11	Tên đất theo AASHTO	A -7-5 (35) Đất bụi dẻo cao (MH)		

Xi măng trong nghiên cứu sử dụng xi măng Nghi Sơn PC40 hàm lượng 0%, 3% và 6% theo khối lượng đất khô, xi măng có thành phần hóa học như Bảng 2.

Bảng 2. Thành phần hóa học của xi măng Nghi Sơn PC40 theo công bố của nhà sản xuất

Loại xi măng	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	K_2O	LOI
PC40	20,26	4,81	3,15	63,72	1,94	2,4	0,09	0,65	2,5

Phụ gia sử dụng trong nghiên cứu là chế phẩm thương mại DZ33, được giới thiệu là phụ gia ổn định đất dạng lỏng, có nguồn gốc hữu cơ và được ứng dụng trong gia cố nền đường, nền công trình giao thông và xử lý nền đất yếu [6]. DZ33 thuộc nhóm phụ gia đa enzyme (multi-enzyme stabilizer), có thành phần hoạt tính hữu cơ kết hợp với các chất hoạt động bề mặt và một số vi lượng, có khả năng phân hủy sinh học [6].

Trong nghiên cứu này, DZ33 được sử dụng với hàm lượng 0%; 0,003%; 0,006% theo khối lượng đất khô và kết hợp với xi măng nhằm đánh giá ảnh hưởng đồng thời của phụ gia, hàm lượng xi măng và thời gian dưỡng hộ đến cường độ nén một trục của đất cải tạo.

2.2. Quy trình chế tạo mẫu

Quy trình trộn đất với xi măng và phụ gia, đúc mẫu và thí nghiệm được thực hiện theo TCVN 9403:2012 [17], ASTM D2166 [3]. Đất nghiên cứu khi đưa về phòng thí nghiệm được phơi khô, nghiền nhỏ sau đó trộn với xi măng và lượng nước cần thiết để đất đạt đến độ ẩm tốt nhất. Các mẫu đất được chế bị dạng hình trụ có đường kính d =38 mm, chiều cao h=76 mm. Sau khi đúc xong, mẫu được tháo khuôn bảo dưỡng trong điều kiện bọc kín ở 7 ngày tuổi, sau đó bóc bỏ lớp bọc và bảo dưỡng ở nhiệt độ phòng 14, 21, 28 ngày ở nhiệt độ phòng từ 25 - 30°C như Hình 2.











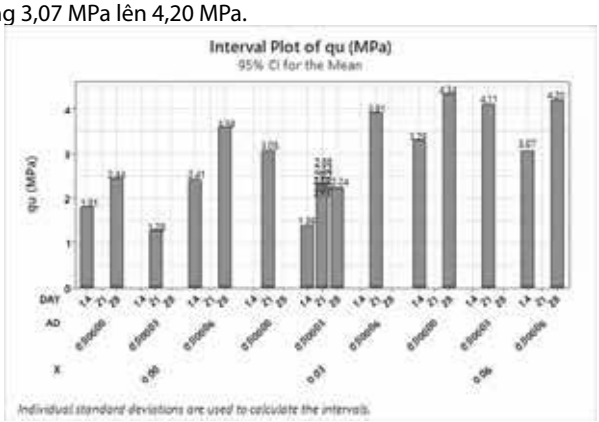
Hình 2. Quy trình chế bị mẫu, bảo dưỡng và nén mẫu thí nghiệm

3. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

Mẫu chế bị sau khi bảo dưỡng đủ ngày tuổi được lấy ra thí nghiệm trên máy nén một trục nở hông. Quy trình thí nghiệm được thực hiện theo TCVN 9438:2012 [16] và ASTM D2166 [3], với tốc độ gia tải 1% đường kính của mẫu cho đến khi mẫu bị phá hủy. Kết quả thí nghiệm được thể hiện trong Hình 3.

Hình 3 thể hiện khoảng tin cậy 95% của q_u theo thời gian dưỡng hộ (14 và 28 ngày), hàm lượng phụ gia AD (0; 0,0003; 0,0006) và hàm lượng X (0; 0,03; 0,06).

Kết quả cho thấy q_u tăng theo thời gian dưỡng hộ đối với tất cả các cấp phối. Ở mẫu đối chứng (X = 0; AD = 0), q_u tăng từ khoảng 2,18 MPa (14 ngày) lên 2,44 MPa (28 ngày). Mức tăng rõ rệt hơn khi hàm lượng X cao, điển hình tại X = 0,06 và AD = 0,0006, qu tăng từ khoảng 3,07 MPa lên 4,20 MPa.



Hình 3. Biểu đồ ảnh hưởng của ngày bảo dưỡng, hàm lượng xi măng và phụ gia

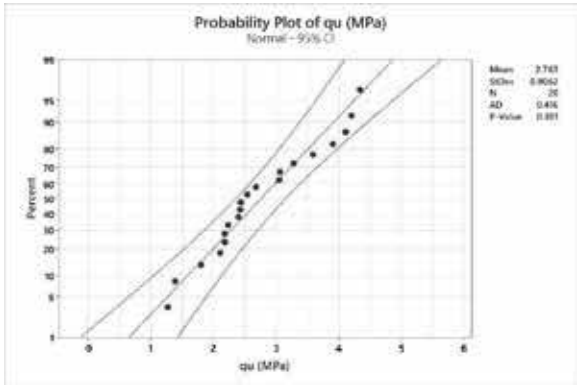
Hàm lượng X có ảnh hưởng mạnh nhất đến cường độ. Tại cùng mức AD và thời gian dưỡng hộ, qu tăng rõ rệt khi X tăng từ 0 lên 0,03 và 0,06. Ví dụ ở 28 ngày và AD = 0,0006, qu tăng từ khoảng 3,59 MPa (X = 0) lên 3,91 MPa (X = 0,03) và đạt 4,20 MPa (X = 0,06).

Ảnh hưởng của phụ gia AD nhỏ hơn và phụ thuộc vào X. Ở X thấp, sự thay đổi q_u theo AD không rõ rệt do khoảng tin cậy chồng lấn. Tuy nhiên, tại X = 0,03 - 0,06, việc tăng AD nhìn chung cải thiện qu, đặc biệt ở giai đoạn 14 ngày.

Giá trị q_u lớn nhất đạt khoảng 4,20 - 4,34 MPa tại X = 0,06 và 28 ngày, gần gấp đôi so với mẫu đối chứng 14 ngày. Kết quả khẳng định X là yếu tố chi phối chính, trong khi AD đóng vai trò hỗ trợ cải thiện cấu trúc vật liệu.

4. THẢO LUẬN MÔ HÌNH CCD

Sử dụng phần mềm Minitab Statistical Software 22 xây dựng hàm tương quan cho q_u với các biến (X, AD và DAY) được kết quả như sau:



Hình 4. Biểu đồ xác suất của qu

Biểu đồ Normal Probability Plot (Hình 4) của cường độ kháng nén không thoát nước q_u cho thấy các điểm dữ liệu phân bố khá sát đường thẳng chuẩn và hầu hết nằm trong khoảng tin cậy 95%. Giá trị kiểm định Anderson-Darling (AD) = 0,416 với P-value = 0,301 > 0,05, cho thấy không có đủ bằng chứng để bác bỏ giả thuyết rằng dữ liệu tuân theo phân bố chuẩn. Do đó, có thể xem tập dữ liệu q_u có phân bố gần chuẩn. Ngoài ra, giá trị trung bình của q_u là 2,763 MPa và độ lệch chuẩn là 0,906 MPa với 20 mẫu thí nghiệm. Kết quả này cho thấy dữ liệu có mức độ phân tán vừa phải và phù hợp để sử dụng các phương pháp phân tích thống kê dựa trên giả định phân bố chuẩn.

Kết quả ANOVA (Hình 5) cho thấy mô hình hồi quy bậc hai có ý nghĩa thống kê cao (F = 15,52; p < 0,001), chứng tỏ các biến độc lập ảnh hưởng đáng kể đến đáp ứng. Hệ số xác định R^2 = 84,72% và R^2_{adj} = 79,26% cho thấy mô hình giải thích tốt dữ liệu và không bị quá khớp. Giá trị R^2_{pred} = 67,47% phản ánh khả năng dự đoán ở mức khá. Độ lệch chuẩn phần dư nhỏ (S = 0,4127) và kiểm định Lack-of-Fit không có ý nghĩa (p = 0,055 > 0,05), cho thấy mô hình phù hợp với dữ liệu thực nghiệm.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	13.2191	2.64383	15.52	0.000
Linear	3	8.4653	2.82176	16.57	0.000
X	1	5.5942	5.59419	32.84	0.000
AD	1	0.5036	0.50356	2.96	0.108
DAY	1	2.3675	2.36752	13.90	0.002
Square	2	4.7539	2.37694	13.95	0.000
AD*AD	1	4.4929	4.49286	26.38	0.000
DAY*DAY	1	0.7449	0.74488	4.37	0.055
Error	14	2.3847	0.17033		
Lack-of-Fit	9	2.1241	0.23601	4.53	0.055
Pure Error	5	0.2606	0.05211		
Total	19	15.6038			

Coded Coefficients

Term	Coef	SE Coef
Constant	2.411	0.138
X	0.748	0.131
AD	0.224	0.131
DAY	0.487	0.131
AD*AD	1.185	0.231
DAY*DAY	-0.482	0.231

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.412715	84.72%	79.26%	67.47%

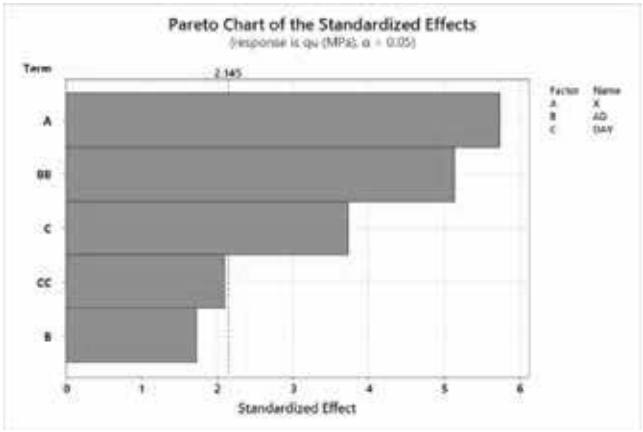
Hình 5. Kết quả mô hình CCD

Về ảnh hưởng của các yếu tố, biến X có tác động mạnh nhất đến đáp ứng (F = 32,84; p < 0,001; Coef = 0,748), tiếp theo là DAY (F = 13,90; p = 0,002; Coef = 0,487). Biến AD không có ý nghĩa thống kê ở dạng tuyến tính (p = 0,108). Tuy nhiên, thành phần bậc hai AD^2 có ảnh hưởng rất mạnh (F = 26,38; p < 0,001; Coef = 1,185), cho thấy tồn tại quan hệ phi tuyến và giá trị tối ưu của biến này. Thành phần DAY^2 có hệ số âm và gần ngưỡng ý nghĩa (p = 0,055), phản ánh xu hướng giảm tốc độ tăng đáp ứng theo thời gian.

Các giá trị VIF ≤ 1,56 cho thấy không tồn tại đa cộng tuyến đáng kể giữa các biến độc lập, đảm bảo độ tin cậy của các hệ số hồi quy.

Phương trình hồi quy q_u

$$q_u = 2{,}422+0{,}748X+0{,}224AD+0{,}487DAY+1{,}185AD^2 - 0{,}482DAY^2 \quad (1)$$

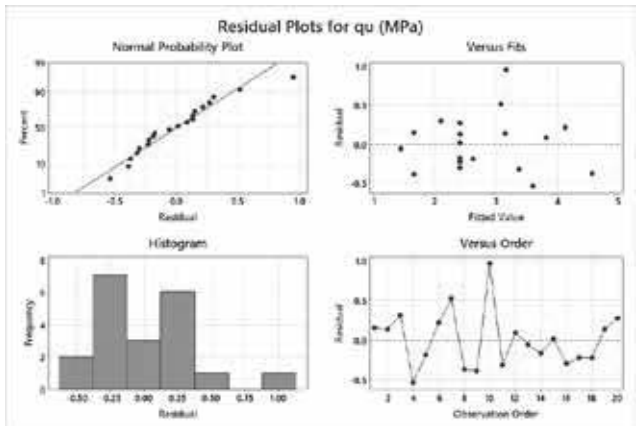


Hình 6. Biểu đồ chuẩn hóa các hiệu ứng và biểu đồ Pareto

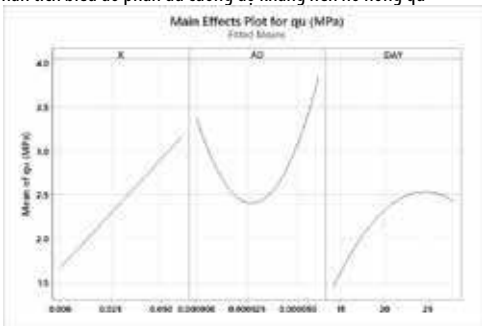
Biểu đồ Pareto (Hình 6) đánh giá định lượng mức độ ảnh hưởng của các yếu tố dựa trên giá trị tuyệt đối của hiệu ứng chuẩn hóa. Với ngưỡng ý nghĩa α = 0,05 (giá trị 2,145), các yếu tố vượt ngưỡng gồm (X), (AD^2), (DAY) và (DAY^2). Trong đó, X có ảnh hưởng mạnh nhất, tiếp theo là AD^2 và DAY. Ngược lại, B (AD) không vượt ngưỡng ý nghĩa, phù hợp với kết quả ANOVA (p = 0,108), cho thấy ảnh hưởng tuyến tính của AD không đáng kể nhưng thành phần bậc hai lại có ý nghĩa thống kê.

Phân tích phần dư và kiểm định giả định mô hình (Hình 7). Các đồ thị phần dư được sử dụng để đánh giá mức độ phù hợp của mô hình hồi quy bậc hai, bao gồm: Normal probability plot, Residuals versus Fits, Histogram và Residuals versus Order.

Biểu đồ xác suất chuẩn cho thấy các điểm dữ liệu phân bố gần đường thẳng tham chiếu, trong khi Histogram thể hiện phân bố đối xứng quanh giá trị 0, cho thấy phần dư xấp xỉ phân phối chuẩn. Biểu đồ Residuals versus Fits cho thấy các điểm phân bố ngẫu nhiên quanh trục 0 và không xuất hiện dạng phễu, chứng tỏ phương sai phần dư gần như không đổi. Ngoài ra, biểu đồ Residuals versus Order không thể hiện xu hướng hoặc chu kỳ rõ rệt, cho thấy phần dư độc lập và không phụ thuộc vào thứ tự thí nghiệm. Kết quả này xác nhận các giả định cơ bản của mô hình hồi quy được thỏa mãn.



Hình 7. Phân tích biểu đồ phần dư cường độ kháng nén nở hông qu

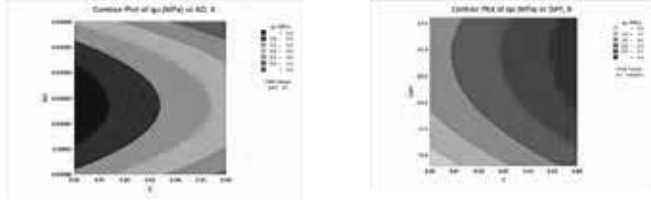


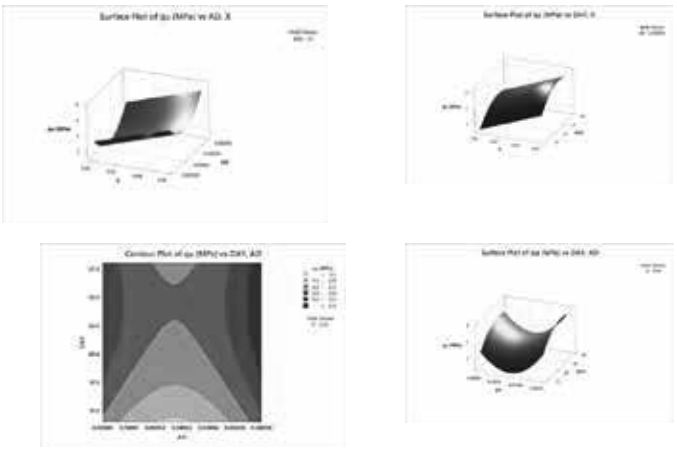
Hình 8. Kết quả các yếu tố ảnh hưởng chính

Ngược lại, biến AD thể hiện mối quan hệ phi tuyến với q_u. Đường cong có dạng parabol mở lên với giá trị qu thấp nhất ở vùng trung tâm và tăng ở hai phía biên. Điều này phù hợp với kết quả ANOVA khi thành phần bậc hai AD^2 có ý nghĩa thống kê cao (p < 0,001), cho thấy ảnh hưởng của AD chủ yếu mang tính phi tuyến và tồn tại vùng tối ưu trong miền khảo sát.

Biến DAY cũng có quan hệ phi tuyến với q_u. Cường độ tăng nhanh khi thời gian dưỡng hộ tăng từ 14 đến khoảng 24 - 25 ngày chủ yếu do quá trình thủy hóa của xi măng diễn ra mạnh mẽ, hình thành các sản phẩm C - S - H làm gia tăng liên kết trong cấu trúc vật liệu. Sau giai đoạn này, tốc độ phát triển cường độ giảm dần và có xu hướng ổn định, phù hợp với quy luật phát triển cường độ đã được ghi nhận trong các nghiên cứu quốc tế của Horpibulsuk et al. (2010) [8] có xu hướng ổn định hoặc giảm nhẹ, phản ánh quá trình phát triển cường độ của vật liệu theo thời gian.

Trên Hình 8 thấy rằng, các đồ thị bề mặt đáp ứng và đường đồng mức cường độ qu chịu ảnh hưởng mạnh nhất bởi hàm lượng X, với xu hướng tăng gần tuyến tính trong toàn miền khảo sát. Biến AD thể hiện mối quan hệ phi tuyến rõ rệt, trong đó giá trị qu thấp hơn ở vùng trung tâm và tăng ở hai phía biên, phù hợp với ý nghĩa thống kê của thành phần bậc hai AD^2. Thời gian bảo dưỡng (DAY) có tác động tích cực đến qu, tuy nhiên mức tăng có xu hướng chậm dần ở vùng thời gian cao, phản ánh quá trình phát triển cường độ tiệm cận trạng thái ổn định. Các đường đồng mức tương đối trơn và không xuất hiện sự xoắn mạnh, cho thấy tương tác giữa các yếu tố không chi phối đáng kể so với ảnh hưởng riêng lẻ của từng biến.





Hình 9. Các đồ thị Contour và Surface Plot

Parameters

Response	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Importance
qu (MPa)	Maximum	1.27533	4.33847		1	1

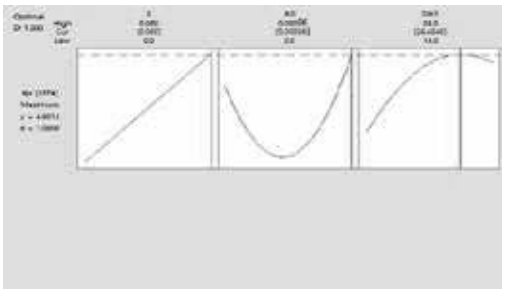
Solution

Solution	X	AD	DAY	qu (MPa) Composite Fit Desirability
1	0.06	0.00006	24.4646	1

Multiple Response Prediction

Variable	Setting
X	0.06
AD	0.00006
DAY	24.4646

Response	Fit	SE Fit	95% CI	95% PI
qu (MPa)	4.691	0.268	(4.117, 5.266)	(3.636, 5.746)



Hình 10. Xác định giá trị tối ưu của q_u

Hình 9 kết quả tối ưu hóa bằng hàm mong muốn (desirability function) cho thấy giá trị q_u lớn nhất đạt tại X = 0,06; AD = 0,00006 và DAY ≈ 24,46 ngày**,** với q_u dự đoán = 4,691 MPa**.** Khoảng tin cậy 95% của giá trị dự đoán là 4,117 - 5,266 MPa và khoảng dự đoán 95% là 3,636 - 5,746 MPa**,** cho thấy độ tin cậy thống kê cao của mô hình. Kết quả này cho thấy điều kiện tối ưu đạt được khi hàm lượng X cao, AD ở vùng biên trên và thời gian dưỡng hộ khoảng 24 - 25 ngày.

5. KẾT LUẬN

Từ các kết quả thực nghiệm và phân tích mô hình CCD, có thể rút ra các kết luận chính sau:

Hàm lượng xi măng (X) là yếu tố ảnh hưởng mạnh nhất đến cường độ nén không giới hạn qu của đất bề mặt Cần Thơ. Khi tăng X từ 0 lên 6%, giá trị qu tăng gần gấp đôi, khẳng định vai trò chi phối của phản ứng thủy hóa. Thời gian dưỡng hộ (DAY) làm tăng đáng kể cường độ mẫu, tuy nhiên tốc độ tăng giảm dần theo thời gian, phản ánh xu hướng bão hòa cường độ sau khoảng 24 - 28 ngày.

Phụ gia DZ33 không có ảnh hưởng tuyến tính rõ rệt nhưng có ảnh hưởng phi tuyến rất có ý nghĩa thống kê. Điều này chứng tỏ tồn tại hàm lượng tối ưu của phụ gia trong miền khảo sát.

Mô hình RSM-CCD xây dựng được có ý nghĩa thống kê cao ($p < 0,001$), hệ số $R^2 = 84,72\%$, không có sai lệch Lack-of-Fit đáng kể và thỏa mãn các giả định phần dư, cho thấy khả năng mô tả và dự báo tốt trong phạm vi nghiên cứu. Điều kiện tối ưu xác định được là: X = 6%, AD = 0,006% và thời gian dưỡng hộ ≈ 24,5 ngày, tại đó q_u dự đoán đạt 4,691 MPa với độ tin cậy cao.

Kết quả nghiên cứu góp phần cung cấp cơ sở khoa học cho việc tận dụng và cải tạo lớp đất mặt yếu tại đồng bằng sông Cửu Long bằng phương pháp gia cố xi măng kết hợp phụ gia, hướng tới giải pháp kinh tế và bền vững trong xây dựng nền đường.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Bộ Giao thông vận tải. TCVN 9436:2012 - Nền đường ô tô - Thi công và nghiệm thu. Hà Nội, 2012.

[2] Bộ Khoa học và Công nghệ. TCVN 9438:2012 - Đất xây dựng - Phương pháp xác định độ bền nén một trục nở hông. Hà Nội, 2012.

[3] ASTM D2166-00. Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2000.

[4] G. E. P. Box và K. B. Wilson. On the experimental attainment of optimum conditions, in Breakthroughs in Statistics: Methodology and Distribution. New York: Springer, pp. 270-310, 1992.

[5] V. Q. Dang and et al. Mechanical properties and microstructures of cement-treated soils: a review. Journal of Science and Transport Technology - UTT, pp. 52-68, 2023.

[6] Environmental Choices Inc. ENCHOICE® DZ33 - Soil Stabilizer Technical Description. Internet: https://www.enchoices.com, 10/09/2025.

[7] H. Güllü và H. İ. Fedakar. Response surface methodology for optimization of stabilizer dosage rates of marginal sand stabilized with Sludge Ash and fiber based on UCS performances. KSCE Journal of Civil Engineering, vol. 21, no. 5, pp. 1717-1727, 2017.

[8] S. Horpibulsuk and et al. Analysis of strength development in cement-stabilized silty clay from microstructural considerations. Construction and Building Materials, vol. 24, no. 10, pp. 2011-2021, 2010.

[9] M. Kitazume và M. Terashi. The Deep Mixing Method. London: CRC Press, 2013.

[10] R. H. Myers, D. C. Montgomery and C. M. Anderson-Cook. Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2016.

[11] F. I. Shalabi and et al. Cement-stabilized waste sand as sustainable construction materials for foundations and highway roads. Materials, vol. 12, no. 4, p. 600, 2019.

[12] N. V. Long và các cộng sự. Nghiên cứu cải thiện hỗn hợp đất tại chỗ và phế thải tro bay bằng xi măng kết hợp phụ gia DZ33 làm móng đường giao thông nông thôn tại khu vực ĐBSCL. Journal of Transportation Science and Technology, 2021.

[13] S. A. Saleh and et al. Effect of soil stabilization on subgrade soil using cement, lime and fly ash. Eurasian Journal of Science and Engineering, vol. 6, no. 2, pp. 39-52, 2020.

[14] M. Terashi. Fundamental properties of lime-treated soils (1st Report). Report of the Port and Harbour Research Institute, vol. 16, no. 1, pp. 3-28, 1977.

[15] ASTM D2166. Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010.

[16] Bộ Khoa học và Công nghệ. TCVN 9438:2012 - Đất xây dựng - Phương pháp xác định độ bền nén một trục nở hông. Hà Nội, 2012.

[17] Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng - Bộ Xây dựng. TCVN 9403:2012 - Gia cố nền đất yếu - Phương pháp trụ đất xi măng, Hà Nội, 2012.

[18] T. V. Thu. Nghiên cứu gia cố cấu trúc đất bùn sét theo công nghệ geopolymer để cải tạo nền đất yếu. Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Bách Khoa - Đại học Quốc gia TP Hồ Chí Minh, 2021.

■Ngày nhận bài: 19/3/2026 ■Ngày sửa bài: 06/4/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 23/4/2026

Nghiên cứu phát triển bộ tiêu chí đánh giá và lựa chọn đối tác cung cấp dịch vụ vận chuyển: Trường hợp của Công ty TNHH GFS Global Freight Services (Việt Nam)

Research on developing criteria for evaluating and selecting transportation service providers: A case study of GFS Global Freight Services (Vietnam) Co., Ltd.

> CN LÂM KIM CHI[1], PGS.TS HỒ THỊ THU HÒA[2,*], TS NGUYỄN THẮNG LỢI[3]
[1]Trường Đại học Giao thông vận tải TP Hồ Chí Minh
[2]Trường Đại học Quốc tế, Đại học Quốc gia TP Hồ Chí Minh
[3]Trường Đại học FPT, Phân hiệu Cần Thơ
[*]Email: htthoa@hcmiu.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu này nhằm phát triển bộ tiêu chí đánh giá và lựa chọn đối tác cung cấp dịch vụ vận chuyển phù hợp với đặc thù hoạt động của Công ty TNHH GFS Global Freight Services (Việt Nam), qua đó hỗ trợ doanh nghiệp nâng cao tính hệ thống, khách quan và hiệu quả trong quá trình ra quyết định lựa chọn nhà cung cấp. Phương pháp phân tích thứ bậc theo logic mờ (Fuzzy Analytic Hierarchy Process - Fuzzy AHP) là phương pháp nghiên cứu chính được sử dụng cho bài báo này. Kết quả nghiên cứu đề xuất một khung tiêu chí đánh giá đối tác vận chuyển, đồng thời cung cấp kết quả đánh giá tiềm năng hợp tác trong tương lai giữa GFS và đối tác dựa trên các giá trị nổi bật về mức độ phù hợp.

Từ khóa: Đánh giá nhà cung cấp; dịch vụ logistics quốc tế; Fuzzy AHP; lựa chọn đối tác vận chuyển; nghiên cứu điển hình.

ABSTRACT

This study aims to develop a set of criteria for evaluating and selecting transportation service providers that are aligned with the operational characteristics of GFS Global Freight Services Co., Ltd. (Vietnam), thereby supporting the company in enhancing the systematic, objective and efficient nature of its supplier selection decision-making process. In addition, the Fuzzy Analytic Hierarchy Process (Fuzzy AHP) is incorporated with a more robust orientation before being employed as the main research method of this study. The research results propose a comprehensive evaluation framework for transportation partners, while also providing an assessment of potential future collaboration between GFS and its partners based on key indicators of suitability.

Keywords: Supplier evaluation; international logistics services; Fuzzy AHP; transportation partner selection; case study.

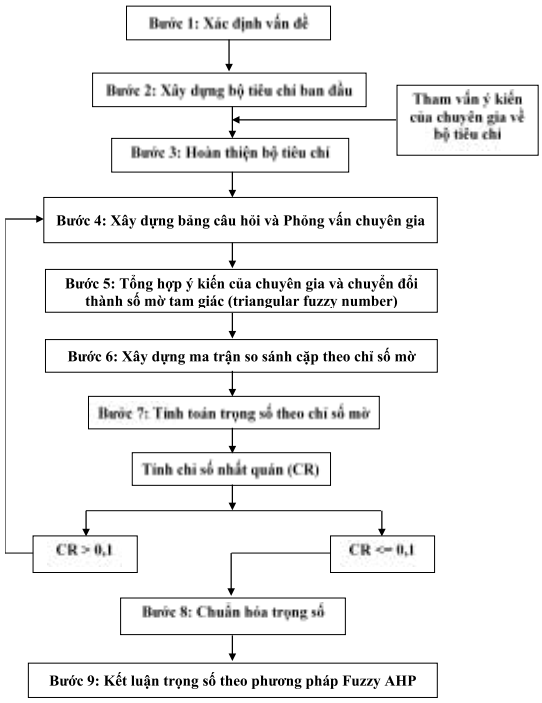
1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh hội nhập kinh tế toàn cầu và sự phát triển nhanh chóng của ngành logistics tạo cơ hội cho sự thành lập mới hoặc mở rộng kinh doanh của rất nhiều công ty kinh doanh dịch vụ logistics tại Việt Nam. Thực tế này cũng tạo thêm nhiều áp lực cạnh tranh lên Công ty TNHH GFS Global Freight Services (GFS Việt Nam) chuyên kinh doanh về lĩnh vực vận chuyển hàng hóa quốc tế. Để tồn tại và phát triển, Công ty cần các giải pháp giúp nâng cao hiệu suất hoạt động và khả năng cạnh tranh. Theo dữ liệu mà Công ty cung cấp, tính cấp thiết của GFS tập trung vào một hệ thống đánh giá và lựa chọn đối tác vận chuyển khoa học, bài bản và phù hợp với xu hướng hiện đại.

Hiện tại, Công ty gặp phải một số thách thức lớn trong việc lựa chọn đối tác cung cấp dịch vụ vận chuyển, bao gồm: (1) Chất lượng dịch vụ không đồng đều giữa các nhà cung cấp; (2) chi phí vận chuyển cao, ảnh hưởng đến lợi nhuận; (3) thiếu tiêu chí đánh giá rõ ràng, dẫn đến quyết định mang tính cảm tính; (4) thiếu ứng dụng công nghệ trong quản lý chuỗi cung ứng và vận tải; (5) xu hướng logistics xanh, yêu cầu GFS hợp tác với các nhà vận chuyển thân thiện với môi trường. Vì vậy, Đề tài "Nghiên cứu phát triển bộ tiêu chí đánh giá và lựa chọn đối tác cung cấp dịch vụ vận chuyển đối với Công ty TNHH GFS Global Freight Services (Việt Nam)" nhằm xây dựng một bộ tiêu chí đánh giá khoa học và hệ thống hóa quy trình lựa chọn đối tác vận chuyển, giúp GFS tối ưu hóa chi phí, nâng cao chất lượng dịch vụ và đảm bảo tính bền vững trong hoạt động kinh doanh.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Cách tiếp cận kết hợp hai giai đoạn định tính và định lượng trong nghiên cứu này cho phép tăng độ tin cậy của bộ tiêu chí, đảm bảo tính khách quan trong kết quả, đồng thời tăng khả năng áp dụng vào thực tế doanh nghiệp. Nhờ đó, quá trình lựa chọn nhà cung cấp trở nên có hệ thống hơn, hỗ trợ doanh nghiệp giảm thiểu rủi ro, tối ưu chi phí và nâng cao hiệu quả vận hành chuỗi cung ứng. Các bước thực hiện nghiên cứu theo phương pháp Fuzzy AHP được nhóm tác giả kế thừa và bổ sung quy trình FAHP của Ahmad và Qahmash [13] qua 9 bước, cụ thể như Hình 1.



Hình 1. Quy trình thực hiện phương pháp FAHP

Nguồn: Ahmad và Qahmash [13].

3. PHÂN TÍCH KẾT QUẢ

Công ty TNHH GFS Global Freight Services Việt Nam, gọi tắt là GFS Việt Nam là một chi nhánh trực thuộc Global Freight Services (GFS) - đơn vị chuyên trách trong lĩnh vực vận tải và logistics toàn cầu của Tập đoàn Li & Fung. Trong tiến trình phát triển và hiện đại hóa hệ thống logistics, Li & Fung đã thành lập Global Freight Services (GFS) như một cánh tay nối dài, đảm nhiệm vai trò là nhà giao nhận vận tải quốc tế (freight forwarder) đồng thời là đối tác chiến lược cung cấp các giải pháp chuỗi cung ứng đầu-cuối (end-to-end supply chain solutions). Các dịch vụ vận chuyển mà công ty đang cung cấp: Dịch vụ vận chuyển đường biển (Ocean Freight); Dịch vụ vận chuyển đường hàng không (Air Freight) và dịch vụ vận tải đường bộ và đường sắt (Road & Rail).

3.1. Xác định các tiêu chí đánh giá và lựa chọn đối tác cung cấp dịch vụ vận chuyển đối với các công ty logistics quốc tế đang hoạt động tại Việt Nam

Các tiêu chí ban đầu sẽ được tổng hợp tại tại Bảng 1, bao gồm các yếu tố chính và các yếu tố phụ.

Bảng 1. Tổng hợp các tiêu chí đánh giá từ lược khảo tài liệu và thực tiễn

TT	Tiêu chí	Ký hiệu	Ghi chú
1	Chất lượng thông tin	TC1	[8]; [9]; [12]
2	Hiệu quả chia sẻ thông tin	TC11	[8]; [9]; [12]
3	Độ chính xác và kịp thời của thông tin	TC12	[9]; [12]
4	Tính đầy đủ của thông tin	TC13	[9]; [12]
5	Khả năng truy cập thông tin thời gian thực	TC14	[9]; [12]
6	Bảo mật thông tin	TC15	[8]
7	Nguồn lực hữu hình	TC2	[6]; [7]; [8]
8	Tính thuận lợi của vị trí địa lý	TC21	[8]
9	Tính hiện đại của trang thiết bị	TC22	[8]
10	Năng lực dịch vụ số	TC23	[8]
11	Năng lực mạng lưới và thương hiệu	TC24	[7]; [8]
12	Quản lý xanh và môi trường	TC25	[6]; [7]
13	Chất lượng nguồn lực	TC3	[1]; [8]; [9]; [11]
14	Cơ sở vật chất, thiết bị kỹ thuật hiện đại	TC31	[9]; [11]
15	Lực lượng lao động đầy đủ	TC32	[9]; [11]
16	Phần mềm làm việc được duy trì và cập nhật đầy đủ	TC33	[9]; [11]
17	Thái độ phục vụ	TC34	[1]
18	Duy trì mối quan hệ với khách hàng	TC35	[8]
19	Chất lượng vận hành	TC4	[120]; [10]
20	Tính nhất quán của dịch vụ	TC41	[8]; [9]; [10]
21	Năng lực lưu trữ của kho	TC42	[9]; [10]
22	Độ an toàn hàng hóa	TC43	[8]; [9]; [10]
23	Độ chính xác của chứng từ	TC44	[8]; [9]; [10]
24	Thời gian chuyển tải ngắn	TC45	[8]
25	Chất lượng nhân sự liên hệ	TC5	[7]; [8]; [9]; [12]
26	Sự quan tâm và hỗ trợ khách hàng	TC51	[8]; [9]; [12]
27	Tính linh hoạt và khả năng phản hồi	TC52	[9]; [12]; [7]
28	Năng lực chuyên môn	TC53	[8]; [9]; [12]
29	Tinh thần trách nhiệm và an toàn	TC54	[7]; [9]; [12]
30	Thái độ và mối quan hệ với khách hàng	TC55	[8]
31	Chất lượng tùy biến và đổi mới	TC6	[8]; [9]; [12]
32	Tốc độ phản hồi khách hàng	TC61	[8]
33	Sự lựa chọn giải pháp	TC62	[9]; [12]
34	Đa dạng hóa dịch vụ	TC63	[8]; [9]; [12]
35	Dịch vụ theo yêu cầu	TC64	[8]; [9]; [12]
36	Ứng dụng công nghệ thông tin	TC65	[11]; [9]; [12]
37	Chi phí/các yếu tố kinh tế	TC7	[2]; [3]; [4]; [5]; [6]; [7]; [8]
38	Giá cả hợp lý	TC71	[8]
39	Tính thuận tiện và an toàn thanh toán	TC72	[6]; [7]; [8]
40	Phương thức thanh toán đa dạng	TC73	[8]
41	Chính sách chiết khấu	TC74	[8]
42	Tính ổn định của chi phí logistics	TC75	[2]; [3]; [4]; [5]; [6]; [7]

Nguồn: Tác giả luận văn tổng hợp

Từ Bảng 1, cách tiếp cận này cho phép đánh giá toàn diện chất lượng dịch vụ logistics không chỉ dựa trên kết quả vận hành mà còn xem xét đầy đủ các yếu tố nền tảng về nguồn lực, công nghệ, tương tác khách hàng và hiệu quả kinh tế, qua đó tạo cơ sở khoa học cho việc đo lường, so sánh và cải thiện năng lực cạnh tranh của doanh nghiệp logistics.

3.2. Áp dụng phương pháp Fuzzy AHP để tính toán trọng số tiêu chí

Các tiêu chí ban đầu và các phương án sẽ được tham vấn ý kiến của 20 chuyên gia theo nội dung bảng câu hỏi được xây dựng sẵn theo hướng so sánh cặp tiêu chí và sau đó là cặp phương án theo từng tiêu chí. Để lựa chọn chuyên gia, đơn vị thực hiện đã kế thừa và nghiên cứu đặc điểm, yêu cầu cần thiết về chuyên môn sâu, thâm niên và có nhiều uy tín trong lĩnh vực logistics và lĩnh vực liên quan như đã đề cập trước đó.

Sau khi kết thúc quá trình phỏng vấn chuyên gia, dữ liệu được tổng hợp theo nguyên tắc tính trung bình nhân các kết quả trả lời của 20 chuyên gia đối với từng nội dung tương ứng trong bảng câu hỏi. Từ kết quả tổng hợp theo từng chuyên gia, các bảng dữ liệu sẽ chỉ hiển thị một phần tương ứng với từng câu hỏi. Phần còn lại sẽ được suy luận theo các giá trị đối xứng qua đường chéo được hình thành từ các ô giá trị là sự kết hợp giữa tên hàng và cột trùng nhau. Theo đó, giá trị tổng hợp sẽ được xác định dựa vào giá trị trung bình nhân từ kết quả của 20 chuyên gia theo từng nhóm giá trị quy đổi để tạo thành kết quả là ma trận đầu đủ thể hiện đặc điểm tác động giữa các tiêu chí và được thể hiện ở Bảng 2.

Bảng 2. Ma trận tổng hợp để tính toán theo phương pháp FAHP

TC	TC1	TC2	TC3	TC4
TC1	(1; 1; 1)	(0,22; 0,29; 0,42)	(1,52; 2,48; 3,45)	(0,16; 0,19; 0,24)
TC2	(2,65; 3,65; 4,65)	(1; 1; 1)	(4,35; 5,3; 6,25)	(0,28; 0,36; 0,52)
TC3	(0,33; 0,51; 0,92)	(0,17; 0,2; 0,26)	(1; 1; 1)	(0,14; 0,17; 0,21)
TC4	(4,5; 5,5; 6,5)	(2,15; 3,1; 4,05)	(5,7; 6,7; 7,7)	(1; 1; 1)
TC5	(0,27; 0,38; 0,67)	(0,15; 0,17; 0,22)	(0,43; 0,65; 1,1)	(0,12; 0,13; 0,15)
TC6	(0,25; 0,34; 0,53)	(0,16; 0,2; 0,25)	(0,3; 0,44; 0,81)	(0,12; 0,13; 0,14)
TC7	(3,05; 4,05; 5,05)	(0,79; 1,23; 1,84)	(3,8; 4,8; 5,8)	(0,27; 0,38; 0,66)
TC	**TC5**	**TC6**	**TC7**	**Ghi chú**
TC1	(2; 3; 4)	(2; 3; 4)	(0,2; 0,25; 0,33)	
TC2	(5,35; 6,35; 7,35)	(4,3; 5,3; 6,3)	(0,95; 1,59; 2,3)	
TC3	(1,23; 2,14; 3,08)	(1,45; 2,45; 3,45)	(0,18; 0,21; 0,28)	
TC4	(7,1; 7,75; 8,4)	(7,5; 8,05; 8,6)	(1,95; 2,95; 3,95)	
TC5	(1; 1; 1)	(1,31; 2,27; 3,23)	(0,15; 0,18; 0,22)	
TC6	(0,39; 0,58; 1,01)	(1; 1; 1)	(0,14; 0,16; 0,19)	
TC7	(4,9; 5,85; 6,8)	(6,1; 6,85; 7,6)	(1; 1; 1)	

Tương tự như việc xem xét tác động cặp tiêu chí chính, các giá trị suy luận để tạo thành ma trận ban đầu đối với các yếu tố phụ trên từng yếu tố chính sẽ được thực hiện theo dạng số mờ (fuzzy) trước khi được tổng hợp để quy đổi thành giá trị số thực và đồng thời là bước thực hiện kiểm tra tính nhất quán. Theo đó, với giá trị tỷ lệ nhất quán dưới 0,1 là thỏa yêu cầu nên trọng số được xác định từ bộ dữ liệu này là hoàn toàn phù hợp. Sau khi xác định tính nhất quán của quá trình thực hiện FAHP, trọng số tương ứng với các tiêu chí sẽ được xác định và được sắp xếp theo thứ tự mức độ trong số giảm dần như kết quả được hiển thị tại Bảng 3.

Bảng 3. Trọng số và thứ hạng của các tiêu chí chính

TT	TC chính	Mức độ quan trọng
1	TC4	34,2%
2	TC7	21,1%
3	TC2	21,0%
4	TC1	8,7%
5	TC3	6,2%
6	TC5	4,8%
7	TC6	3,9%

Sau khi bộ tiêu chí chính được xác định, quá trình đánh giá các tiêu chí phụ cũng sẽ được tiếp tục theo các bước tương tự với quá trình xây dựng bộ tiêu chí. Kết quả cụ thể về trọng số cục bộ của các phương án được đánh giá theo từng tiêu chí sẽ được tổng hợp cũng như trọng số toàn cục được xác định kết quả sau đó. Các kết quả này sẽ được tổng hợp trình bày tại Bảng 4.

Bảng 4. Trọng số toàn bộ của các tiêu chí phụ trên từng tiêu chí

TT	Tiêu chí	Tên tiêu chí	Trọng số tiêu chí	TC đo lường	Trọng số cục bộ của tiêu chí phụ	Trọng số cuối cùng
1	TC1	Chất lượng thông tin	8,7%	TC11	40,7%	3,55%
				TC12	10,9%	0,95%
				TC13	16,5%	1,44%
				TC14	25,4%	2,21%
				TC15	6,5%	0,57%
2	TC2	Hữu Hình	21,0%	TC21	17,7%	3,72%
				TC22	7,6%	1,59%
				TC23	10,3%	2,17%
				TC24	40,7%	8,54%
				TC25	23,7%	4,97%

TT	Tiêu chí	Tên tiêu chí	Trọng số tiêu chí	TC đo lường	Trọng số cục bộ của tiêu chí phụ	Trọng số cuối cùng
3	TC3	Chất lượng nguồn lực	6,2%	TC31	18,8%	1,18%
				TC32	7,9%	0,50%
				TC33	10,0%	0,62%
				TC34	39,2%	2,45%
				TC35	24,0%	1,50%
4	TC4	Chất lượng vận hành	34,2%	TC41	16,4%	5,60%
				TC42	8,0%	2,72%
				TC43	11,7%	4,02%
				TC44	41,4%	14,16%
				TC45	22,5%	7,69%
5	TC5	Chất lượng nhân sự liên hệ	4,8%	TC51	17,1%	0,83%
				TC52	7,5%	0,37%
				TC53	10,4%	0,51%
				TC54	39,5%	1,91%
				TC55	25,4%	1,23%
6	TC6	Chất lượng tùy biến và đổi mới	3,9%	TC61	16,6%	0,64%
				TC62	6,4%	0,25%
				TC63	8,9%	0,34%
				TC64	40,4%	1,56%
				TC65	27,7%	1,07%
7	TC7	Chi phí/ các yếu tố kinh tế	21,1%	TC71	11,7%	2,47%
				TC72	8,2%	1,73%
				TC73	14,3%	3,03%
				TC74	39,2%	8,29%
				TC75	26,6%	5,62%

3.3. Phân tích kết quả đánh giá và lựa chọn đối tác vận chuyển

Cơ sở xác định danh sách đối tác tiềm năng của GFS Việt Nam chủ yếu dựa trên các yếu tố then chốt nhằm đảm bảo lựa chọn được những đối tác đáng tin cậy và phù hợp với yêu cầu của công ty. Qua quá trình xem xét các đơn vị cung cấp dịch vụ tiềm năng đã ký kết thỏa thuận hợp tác với GFS Việt Nam, tác giả được ban lãnh đạo GFS đề xuất 3 đơn vị tiềm năng nhất, bao gồm: Công ty TNHH Khải Minh Groups (Khai Minh Groups Co., Ltd, thường viết tắt là KMG) - DN1; Sealink International Inc. - DN2; Shipco Transport - DN3.

Từ bộ tiêu chí được xác định như kết quả hiển thị tại Bảng 4, tác giả nghiên cứu đã tiến hành việc đánh giá các đơn vị đối tác cung cấp dịch vụ hiện tại cho GFS Việt Nam. Cụ thể, 3 đơn vị Công ty TNHH Khải Minh Groups (Khai Minh Groups Co., Ltd, thường viết tắt là KMG) - DN1; Sealink International Inc. - DN2; Shipco Transport - DN3 sẽ được đội ngũ chuyên gia tại GFS Việt Nam đánh giá năng lực và tính phù hợp dựa trên bộ tiêu chí theo phương pháp cho điểm "1 đến 10" đối với từng tiêu chí. Điểm số cụ thể trên mỗi tiêu chí sẽ là mức điểm phổ biến nhất được tổng hợp từ các chuyên gia và sau đó sẽ được kết hợp nhân trực tiếp với trọng số của tiêu chí cụ thể tương ứng (Bảng 5).

Bảng 5. Đánh giá năng lực và mức độ phù hợp của các đơn vị cung cấp dịch vụ cho GFS Việt nam

TT	TC đo lường	Điểm đã tính trọng số		
		DN1	DN2	DN3
1	TC44	8,49	9,91	12,74
2	TC24	5,98	4,27	4,27
3	TC74	4,97	4,97	8,29
4	TC45	6,15	4,62	6,92
5	TC75	4,50	5,62	5,06
6	TC41	2,80	5,60	2,80
7	TC25	3,98	4,97	3,48
8	TC43	4,02	4,02	2,41
9	TC21	2,23	3,72	3,72
10	TC11	2,48	3,19	3,55
11	TC73	2,12	2,12	1,51
12	TC42	1,91	1,36	2,45
13	TC71	1,48	1,24	1,24
14	TC34	2,21	1,72	1,23
15	TC14	2,21	1,77	2,21
16	TC23	1,52	1,52	1,09
17	TC54	1,53	0,96	1,34
18	TC72	1,56	1,73	1,56
19	TC22	1,27	1,43	1,59
20	TC64	1,56	1,56	1,09
21	TC35	0,75	1,50	0,90
22	TC13	1,01	1,15	1,01
23	TC55	0,62	0,62	0,86
24	TC31	1,18	0,59	0,71
25	TC65	0,64	0,86	0,75

26	TC12	0,66	0,95	0,66
27	TC51	0,50	0,83	0,66
28	TC61	0,64	0,32	0,64
29	TC33	0,56	0,62	0,37
30	TC15	0,40	0,34	0,40
31	TC53	0,30	0,40	0,45
32	TC32	0,40	0,50	0,50
33	TC52	0,29	0,22	0,26
34	TC63	0,24	0,34	0,31
35	TC62	0,20	0,12	0,20
Tổng hợp		71,36	75,66	77,22

Từ Bảng 5, điểm số của các doanh nghiệp được đánh giá lần lượt là 71,36; 75,66; 77,22 tương ứng với Khai Minh Groups Co., Ltd. - DN1; Sealink International Inc. - DN2; Shipco Transport - DN3. Các doanh nghiệp đều đạt mức điểm số trên trung bình (50 điểm), do đó việc lựa chọn sẽ thể hiện ý nghĩa về mức độ ưu tiên trong việc sử dụng dịch vụ.

Trong đó, Shipco Transport (DN3) đạt điểm cao nhất (77,22), thể hiện mức độ phù hợp tổng thể cao nhất theo hệ tiêu chí của mô hình Fuzzy AHP; tiếp theo là Sealink International Inc. (DN2) với 75,66 và Khai Minh Groups (DN1) với 71,36. Tuy nhiên, khoảng cách điểm số không lớn giữa ba doanh nghiệp cho thấy cấu trúc đánh giá của GFS Việt Nam có tính ổn định, đồng thời phản ánh rằng các nhà cung cấp này có năng lực tương đối đồng đều theo các tiêu chí xem xét. Vì vậy, trong thực tiễn triển khai, DN3 có thể được ưu tiên như lựa chọn chính, trong khi DN2 và DN1 đóng vai trò phương án thay thế/duy trì nhằm đảm bảo tính liên tục dịch vụ, giảm rủi ro phụ thuộc vào một nhà cung cấp và tăng khả năng linh hoạt trong vận hành. Bên cạnh đó, với mức độ đánh giá không quá chênh lệch về điểm số cũng cho ta thấy việc lựa chọn của GFS Việt Nam mang tính ổn định cao với 3 đơn vị cung cấp này.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu tập trung xây dựng và phát triển một bộ tiêu chí đánh giá và lựa chọn đối tác cung cấp dịch vụ vận chuyển phù hợp cho Công ty TNHH GFS Global Freight Services (Việt Nam). Bộ tiêu chí đánh giá và lựa chọn nhà cung cấp dịch vụ vận chuyển đã được xác lập cùng với trọng số được xác định bằng phương pháp Fuzzy AHP, góp phần hỗ trợ doanh nghiệp nâng cao tính khoa học và minh bạch trong quá trình lựa chọn đối tác vận chuyển. Trên cơ sở đó, nhóm tác giả cũng đã đưa ra một số định hướng phát triển tiếp theo, bao gồm khả năng hoàn thiện mô hình, mở rộng áp dụng cho các dịch vụ logistics khác hoặc tiếp tục kết hợp thêm các phương pháp đánh giá đa tiêu chí để nâng cao độ chính xác của quá trình ra quyết định. Trong các nghiên cứu tương lai, phạm vi phỏng vấn có thể thu thập mở rộng bằng cách thu thập dữ liệu từ nhiều bộ phận chuyên môn hoặc nhiều nhóm chuyên gia hơn trong doanh nghiệp và có thể xem xét cập nhật bộ tiêu chí dưới tác động của các yếu tố mới như chuyển đổi số, yêu cầu về bền vững hay rủi ro thị trường, qua đó đảm bảo tính phù hợp và khả năng ứng dụng lâu dài của mô hình lựa chọn nhà vận chuyển.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] G. Kannan, S. Pokharel and P. Sasi Kumar. A hybrid approach using ISM and fuzzy TOPSIS for the selection of reverse logistics provider. Resources, Conservation and Recycling, vol. 54, no. 1, pp. 28-36, Nov., 2009.

[2] M. K. Ghorabaee, M. Amiri, E. K. Zavadskas and J. Antuchevičiene. Assessment of third-party logistics providers using a CRITIC-WASPAS approach with interval type-2 fuzzy sets. Transport, vol. 32, no. 1, pp. 66-78., Mar., 2017.

[3] N. Zarbakhshnia, H. Soleimani and H. Ghaderi. Sustainable third-party reverse logistics provider evaluation and selection using fuzzy SWARA and developed fuzzy COPRAS in the presence of risk criteria. Applied Soft Computing, vol. 65, pp. 307-319, Apr., 2018.

[4] S. Sremac, Ž. Stević, D. Pamučar, M. Arsić and B. Matić. Evaluation of a third-party logistics (3PL) provider using a rough SWARA-WASPAS model based on a new rough Dombi aggregator. Symmetry, vol. 10, no. 8, art. no. 305, Aug., 2018.

[5] D. Pamučar, K. Chatterjee and E. K. Zavadskas. Assessment of third-party logistics provider using multi-criteria decision-making approach based on interval rough numbers. Computers & Industrial Engineering, vol. 127, pp. 383-407, Jan., 2019.

[6] M. N. Vazifehdan and S. A. Darestani. Green logistics outsourcing employing multi criteria decision making and quality function deployment in the petrochemical industry. Asian Journal of Shipping and Logistics, vol. 35, no. 4, pp. 243-254, Dec., 2019.

[7] C.-N. Wang, N.-A.-T. Nguyen, T.-T. Dang and C.-M. Lu. A compromised decision-making approach to third-party logistics selection in sustainable supply chain using fuzzy AHP and fuzzy VIKOR methods. Mathematics, vol. 9, no. 8, art. no. 886, Apr., 2021.

[8] T. N. Nam and T. H. Lê. Đánh giá sự hài lòng của khách hàng đối với chất lượng dịch vụ logistics tại doanh nghiệp trên địa bàn TP Hà Nội. Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Trường Đại học Hùng Vương, 2021.

[9] A. Gupta, R. K. Singh, K. Mathiyazhagan, P. K. Suri and Y. K. Dwivedi. Exploring relationships between service quality dimensions and customers satisfaction: Empirical study in context to Indian logistics service providers. The International Journal of Logistics Management, 2022.

[10] M. F. Sorkun, I. O. Yumurtacı H. Hüseyinoğlu and G. Börühan. Omni-channel capability and customer satisfaction: Mediating roles of flexibility and operational logistics service quality. International Journal of Retail & Distribution Management, vol. 48, no. 6, pp. 629-648, 2020.

[11] D. N. Le, H. T. Nguyen, and P. H. Truong. Port logistics service quality and customer satisfaction: Empirical evidence from Vietnam. Asian Journal of Shipping and Logistics, vol. 36, no. 2, pp. 89-103, 2020.

[12] X. Lin, A. A. Mamun, Q. Yang and M. Masukujjaman. Examining the effect of logistics service quality on customer satisfaction and re-use intention. PLOS ONE, vol. 18, no. 5, p. e0286382, 2023.

[13] N. Ahmad and A. Qahmash. Implementing fuzzy AHP and FUCOM to evaluate critical success factors for sustained academic quality assurance and ABET accreditation. PLOS ONE, vol. 15, no. 9, art. no. e023914, 2020.

■Ngày nhận bài: 01/3/2026 ■Ngày sửa bài: 13/3/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 30/3/2026

Cạnh tranh, hiệu quả và rủi ro trong lựa chọn nhà thầu xây lắp tại Việt Nam: Bằng chứng từ các gói thầu giai đoạn 2023 - 2026

Competition, efficiency and risk in construction contractor selection in vietnam: evidence from procurement packages during 2023 - 2026

> NGUYỄN VĂN SƠN[1], ĐÀO VŨ XUÂN NAM[2], BÙI ĐỨC ĐẠI[3], NGUYỄN ĐÌNH CHỨC[4,*], MAI DUY THANH[5]

[1]Trường Đại học Thủy lợi

[2]Công ty TNHH Tư vấn và QLXD Khánh Hòa

[3]Tổng công ty Bảo đảm an toàn hàng hải Việt Nam

[4]Công ty TNHH MTV 59; *Email: chuc59@gmail.com

[5]Ban Quản lý dự án Đầu tư xây dựng công trình DD&CN tỉnh Đồng Tháp

TÓM TẮT

Nghiên cứu này phân tích 269.091 gói thầu xây lắp được trích xuất từ dữ liệu kết quả lựa chọn nhà thầu trên Hệ thống mạng đấu thầu quốc gia trong giai đoạn 01/01/2023 - 19/05/2026. Khác với các nghiên cứu tình huống quy mô nhỏ, bài viết tiếp cận thị trường xây lắp công như một hệ sinh thái dữ liệu lớn, trong đó mỗi gói thầu được quan sát thông qua giá gói thầu, giá trúng thầu, hình thức lựa chọn nhà thầu, chủ đầu tư/bên mời thầu, nhà thầu trúng thầu và thời điểm đăng tải. Kết quả cho thấy tỷ lệ tiết kiệm gia quyền 4,32%. Tuy nhiên, phân bố tiết kiệm rất lệch: tỷ lệ tiết kiệm trung vị chỉ 0,371%, trong khi 21,1% số gói có giá trúng bằng giá gói thầu. Đấu thầu rộng rãi chỉ chiếm 42,0% số gói nhưng chiếm 86,2% tổng giá gói thầu và tạo ra 78,7% phần tiết kiệm tuyệt đối. Ngược lại, các hình thức có tính cạnh tranh hạn chế hơn chiếm tỷ trọng lớn ở nhóm gói nhỏ. Nghiên cứu đề xuất một khung giám sát rủi ro dựa trên dữ liệu kết hợp bốn nhóm chỉ báo: tiết kiệm bằng 0, hình thức lựa chọn nhà thầu, quan hệ lặp lại giữa thực thể mua sắm và nhà thầu, và ngoại lệ giá. Các phát hiện không nhằm kết luận vi phạm, mà cung cấp bằng chứng định lượng để nâng cấp quản trị đấu thầu xây lắp theo hướng giám sát dựa trên rủi ro, minh bạch dữ liệu và quản lý vòng đời hợp đồng.

Từ khóa: Đấu thầu xây lắp; mua sắm công; tỷ lệ tiết kiệm; cạnh tranh; chỉ báo rủi ro; dữ liệu hợp đồng mở; Việt Nam.

ABSTRACT

This study analyzes 269,091 construction works packages extracted from contractor selection result data published on the National E-Procurement System during the period from January 1, 2023 to May 19, 2026. Unlike small-scale case studies, this paper approaches the public construction works market as a big-data ecosystem, in which each procurement package is observed through its estimated package price, winning bid price, contractor selection method, procuring entity/inviting party, winning contractor, and publication date. The results show a weighted savings rate of 4.32%. However, the distribution of savings is highly skewed: the median savings rate is only 0.371%, while 21.1% of packages have winning bid prices equal to their estimated package prices. Open competitive bidding accounts for only 42.0% of the number of packages but represents 86.2% of the total estimated package value and generates 78.7% of the absolute savings. By contrast, contractor selection methods with more limited competition account for a large proportion of small-value packages. The study proposes a data-driven risk monitoring framework combining four groups of indicators: zero savings, contractor selection method, repeated relationships between procuring entities and contractors, and price outliers. The findings are not intended to conclude violations, but rather to provide quantitative evidence for upgrading the governance of public construction procurement toward risk-based monitoring, data transparency, and contract life-cycle management.

Keywords: Public works procurement; open tendering; public procurement analytics; savings rate; risk indicators; Viet Nam.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bối cảnh Việt Nam trong giai đoạn 2023 - 2026 đặc biệt đáng chú ý vì đây là giai đoạn chuyển tiếp của khung pháp lý đấu thầu. Luật Đấu thầu số 22/2023/QH15 được ban hành ngày 23/06/2023 và có hiệu lực từ 01/01/2024 [1]. Tiếp đó, Luật số 90/2025/QH15 được ban hành ngày 25/06/2025, có hiệu lực từ 01/07/2025, sửa đổi nhiều luật trong đó có Luật Đấu thầu [2]. Nghị định số 214/2025/NĐ-CP được ban hành và có hiệu lực ngày 04/08/2025 để quy định chi tiết một số điều và biện pháp thi hành Luật Đấu thầu về lựa chọn nhà thầu [3]. Do đó, việc nghiên cứu các gói thầu xây lắp trong giai đoạn này là rất cần thiết để có cái nhìn tổng thể về biến động của các gói thầu xây lắp ở Việt Nam.

Từ góc độ khoa học, bài viết đặt ra ba câu hỏi nghiên cứu: Thứ nhất, cấu trúc thị trường gói thầu xây lắp công ở Việt Nam trong dữ liệu này phân bố như thế nào theo hình thức lựa chọn nhà thầu, quy mô gói thầu và thời gian? Thứ hai, tỷ lệ tiết kiệm khi trao thầu có khác biệt ra sao giữa các hình thức lựa chọn nhà thầu và nhóm quy mô gói thầu? Thứ ba, dữ liệu có thể hỗ trợ nhận diện những vùng rủi ro quản trị nào, các quan hệ mua sắm lặp lại và các ngoại lệ giá? Ba câu hỏi này được xử lý bằng phương pháp phân tích dữ liệu lớn kết hợp thống kê mô tả, phân tích tập trung thị trường, phân tích quan hệ lặp lại và mô hình logit. Nghiên cứu không giả định rằng tiết kiệm thấp đồng nghĩa với sai phạm, cũng không xem tiết kiệm cao luôn là kết quả tốt. Thay vào đó, bài viết coi các mẫu hình như tiết kiệm bằng 0, hình thức lựa chọn nhà thầu ít cạnh tranh, quan hệ lặp lại và ngoại lệ giá là các tín hiệu cần được đưa vào hệ thống giám sát rủi ro. Cách tiếp cận này phù hợp với tinh thần dữ liệu hợp đồng mở, theo đó dữ liệu ở nhiều giai đoạn của quy trình hợp đồng được chuẩn hóa để nâng cao minh bạch và cho phép phân tích sâu [4].

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ KHUNG PHÂN TÍCH

2.1. Cạnh tranh, tiết kiệm và nghịch lý giá thấp trong đấu thầu xây lắp

Trong lý thuyết mua sắm công, cạnh tranh thường được kỳ vọng làm giảm giá trúng thầu so với giá dự toán, qua đó tạo ra tiết kiệm ngân sách. Tuy nhiên, xây lắp là loại hợp đồng có độ không hoàn chỉnh cao: hồ sơ thiết kế có thể phát sinh sai khác với hiện trường, rủi ro khối lượng và giá vật liệu có thể xuất hiện sau trao thầu, còn chất lượng thi công chỉ có thể đánh giá đầy đủ trong quá trình thực hiện và nghiệm thu. Bajari, McMillan và Tadelis cho thấy đấu giá có những giới hạn trong bối cảnh dự án phức tạp, thiết kế hợp đồng chưa hoàn chỉnh và số nhà thầu tiềm năng hạn chế [8]. Điều này có ý nghĩa trực tiếp với xây lắp: một quy trình cạnh tranh mạnh trên giá vẫn có thể không tối ưu nếu tiêu chí kỹ thuật, quản lý rủi ro và năng lực thực hiện không được lượng hóa đầy đủ.

Một cảnh báo quan trọng khác là tiết kiệm tại thời điểm trao thầu có thể bị bào mòn trong giai đoạn thực hiện. Nghiên cứu của Decarolis về đấu thầu công trình công cộng tại Ý cho thấy phần tiết kiệm do giá trúng thấp có thể bị mất đáng kể do đàm phán lại và hệ quả thực hiện hợp đồng [7]. Do đó, tỷ lệ tiết kiệm trong bài viết này được hiểu là chỉ tiêu đầu vào của quản trị đấu thầu, không phải thước đo cuối cùng của hiệu quả dự án.

2.2. Dữ liệu hợp đồng và chỉ báo rủi ro trong mua sắm công

Các chuẩn mực dữ liệu hợp đồng mở nhấn mạnh rằng tính hữu dụng của dữ liệu mua sắm không chỉ nằm ở việc công khai văn bản, mà ở khả năng liên kết thông tin từ lập kế hoạch, mời thầu, trao thầu, ký hợp đồng đến thực hiện hợp đồng. Open Contracting Data Standard mô tả cách công bố dữ liệu và tài liệu ở tất cả các giai đoạn của quy trình hợp đồng, nhằm tăng minh bạch và hỗ trợ phân tích dữ liệu bởi nhiều nhóm sử dụng [4]. Trong nghiên cứu này, bảng dữ liệu hiện có mới bao phủ chủ yếu giai đoạn kết quả lựa chọn nhà thầu; vì vậy, các chỉ tiêu như tỷ lệ tiết kiệm, hình thức lựa chọn nhà thầu và quan hệ lặp lại được xem là chỉ báo tiền kiểm, cần được kết hợp với dữ liệu số nhà thầu dự thầu, hiệu chỉnh hợp đồng, phát sinh khối lượng và kết quả thực hiện ở các nghiên cứu sau.

Về rủi ro thông đồng và hạn chế cạnh tranh, hướng dẫn cập nhật năm 2025 của OECD nhấn mạnh rằng gian lận đấu thầu làm giảm cạnh tranh, có thể làm tăng giá hoặc giảm chất lượng hồ sơ dự thầu; hướng dẫn này cũng khuyến nghị cơ quan mua sắm sử dụng các thực hành thiết kế thầu, nhận diện mẫu hình giá bất thường và báo cáo nghi ngờ cho cơ quan quản lý [5]. Các nghiên cứu định lượng về rủi ro tham nhũng trong mua sắm công cũng cho thấy dữ liệu hợp đồng có thể được dùng để tạo ra chỉ báo ở cấp hợp đồng, chẳng hạn hạn chế tiếp cận hợp đồng hoặc các vướng mắc về thủ tục [6]. Từ góc nhìn này, bài viết không sử dụng dữ liệu để kết luận hành vi sai phạm, mà để xây dựng một lớp cảnh báo thống kê phục vụ kiểm tra, thanh tra và cải thiện thiết kế quy trình.

2.3. Khung khái niệm của nghiên cứu

Khung phân tích của nghiên cứu gồm ba tầng. Tầng thứ nhất là cấu trúc thủ tục, phản ánh tỷ trọng các hình thức lựa chọn nhà thầu như Đấu thầu rộng rãi (DTRR), Chỉ định thầu rút gọn (CDTRG), Chào hàng cạnh tranh (CHCT), Chỉ định thầu (CDT), Tự thực hiện (TTH) và các mã ít xuất hiện khác. Tầng thứ hai là cấu trúc kinh tế, phản ánh quy mô gói thầu, tổng giá trị, tỷ lệ tiết kiệm tuyệt đối và tỷ lệ tiết kiệm tương đối. Tầng thứ ba là cấu trúc quan hệ, phản ánh mức độ phân tán của thị trường nhà thầu và mức độ lặp lại giữa thực thể mua sắm và nhà thầu. Ba tầng này được liên kết để tránh một sai lầm thường gặp trong phân tích đấu thầu: đánh giá hiệu quả chỉ dựa trên tỷ lệ tiết kiệm bình quân mà bỏ qua phân bố quy mô và hình thức lựa chọn nhà thầu.

Nghiên cứu sử dụng ba chỉ báo chính. Thứ nhất là chênh lệch tuyệt đối giữa giá gói thầu và giá trúng thầu, ký hiệu $S_i = P_i - W_i$, trong đó P_i là giá gói thầu và W_i là giá trúng thầu. Thứ hai là tỷ lệ tiết kiệm $r_i = (P_i - W_i)/P_i$. Thứ ba là chỉ số tập trung HHI, được tính theo $HHI = \Sigma s_j^2 \times 10.000$, trong đó s_j là thị phần của nhà thầu j theo số gói hoặc theo giá trúng. Ngoài ra, nghiên cứu sử dụng biến nhị phân tiết kiệm bằng 0 để phản ánh trường hợp giá trúng bằng đúng giá gói thầu, một mẫu hình không tự động hàm ý vi phạm nhưng có giá trị cảnh báo khi kết hợp với hình thức lựa chọn nhà thầu và quan hệ lặp lại.

3. DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Dữ liệu đầu vào là toàn bộ 269.091 bản ghi đều thuộc lĩnh vực XL được trích xuất từ trang muasamcong.gov.vn. Quá trình chuẩn hóa dữ liệu được thực hiện như sau: Trước hết, 3.752 bản ghi thiếu giá trúng thầu được loại bỏ, 675 bản ghi có giá trúng lớn hơn giá gói thầu được xem là ngoại lệ dữ liệu, vì trong phân tích tiết kiệm tại thời điểm trao thầu, các trường hợp này có thể phản ánh lỗi nhập liệu, cập nhật không đồng nhất hoặc thông tin giá chưa cùng phạm vi. Sau cùng, 25 bản ghi có giá gói thầu dưới 1 triệu đồng sau khi đã loại ngoại lệ âm được loại khỏi mẫu. Mẫu chuẩn hóa cuối cùng còn 264.639 gói, tương đương 98,3% dữ liệu ban đầu.

Nghiên cứu sử dụng bốn nhóm phân tích. Nhóm thứ nhất là thống kê mô tả theo thời gian, hình thức lựa chọn nhà thầu và quy mô gói thầu. Nhóm thứ hai là phân tích hiệu quả giá thông qua chênh lệch tuyệt đối, tỷ lệ tiết kiệm gia quyền, tỷ lệ tiết kiệm trung vị và tỷ lệ tiết kiệm bằng 0. Nhóm thứ ba là phân tích tập trung thị trường ở cấp nhà thầu và chủ đầu tư bằng HHI và CR10. Nhóm thứ tư là phân tích quan hệ lặp lại giữa thực thể mua sắm và nhà thầu nhằm nhận diện các cụm quan hệ có tần suất lặp lại cao, đặc biệt khi đi kèm tỷ lệ tiết kiệm bằng 0.

4. KẾT QUẢ PHÂN TÍCH

4.1. Bức tranh tổng thể về giá trị, tiết kiệm và phân bố quy mô

Trên mẫu chuẩn hóa 264.639 gói, tổng giá gói thầu đạt 2000,32 nghìn tỷ đồng và tổng giá trúng thầu đạt 1913,82 nghìn tỷ đồng.

Chênh lệch tuyệt đối giữa hai đại lượng là 86,50 nghìn tỷ đồng, tương ứng tỷ lệ tiết kiệm gia quyền 4,32%. Nếu chỉ nhìn vào con số gia quyền này, có thể cho rằng thị trường tạo ra mức tiết kiệm đáng kể. Tuy nhiên, phân bố ở cấp gói cho thấy một cấu trúc rất lệch: giá gói thầu trung vị chỉ 1,26 tỷ đồng, thấp hơn nhiều so với giá trị bình quân 7,56 tỷ đồng, chứng tỏ tổng giá trị bị chi phối bởi một số gói rất lớn.

Tỷ lệ tiết kiệm trung vị chỉ đạt 0,371%, trong khi 55.926 gói, tương đương 21,1% mẫu, có giá trúng bằng đúng giá gói thầu. Nếu mở rộng ngưỡng thành tiết kiệm dưới 0,1%, tỷ trọng tăng lên 31,7%. Điều này cho thấy một bộ phận rất lớn gói thầu có cạnh tranh giá ở mức gần như không đáng kể tại thời điểm trao thầu. Ở chiều ngược lại, 8,6% số gói có tỷ lệ tiết kiệm từ 10% trở lên, tạo nên phần đuôi phải của phân bố tiết kiệm. Do đó, trung bình số học không phải đại diện tốt cho trạng thái cạnh tranh của toàn bộ thị trường; cần kết hợp trung vị, tỷ lệ bằng 0 và phân tích theo quy mô.

Phân tích quy mô gói thầu làm rõ tính hai mặt của thị trường xây lắp công. Các gói dưới 5 tỷ đồng chiếm 77,6% số gói nhưng chỉ chiếm 12,7% tổng giá trị. Ngược lại, nhóm từ 100 tỷ đồng trở lên chỉ chiếm 0,9% số gói nhưng chiếm 42,5% giá gói thầu và tạo ra 60,2% tổng chênh lệch tiết kiệm tuyệt đối. Đây là một bằng chứng mạnh về sự lệch phải của phân bố giá trị, đồng thời giải thích vì sao các thay đổi ở nhóm siêu lớn có thể làm biến động tỷ lệ tiết kiệm gia quyền của toàn thị trường dù số lượng gói không nhiều.

Bảng 1. Các chỉ tiêu tổng hợp của mẫu chuẩn hóa

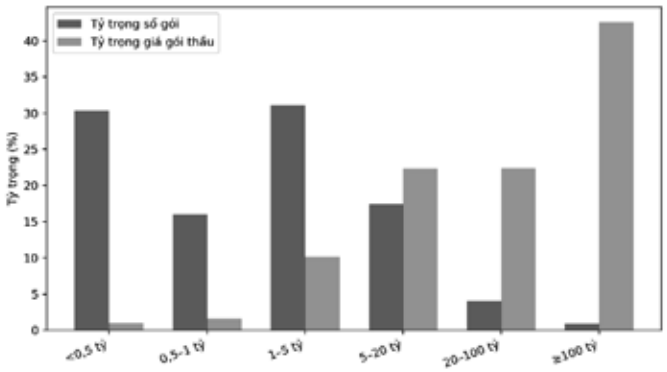
Chỉ tiêu	Giá trị	Đơn vị/ghi chú
Tổng giá gói thầu	2000,32	nghìn tỷ đồng
Tổng giá trúng thầu	1913,82	nghìn tỷ đồng
Chênh lệch tuyệt đối	86,50	nghìn tỷ đồng
Tỷ lệ tiết kiệm gia quyền	4,32%	
Giá gói thầu trung vị	1,26	tỷ đồng/gói
Giá gói thầu bình quân	7,56	tỷ đồng/gói
Tỷ lệ tiết kiệm trung vị	0,371%	
Tỷ lệ tiết kiệm bằng 0	55.926 gói	21,1%
Tỷ lệ tiết kiệm < 0,1%	83.791 gói	31,7%
Tỷ lệ tiết kiệm ≥ 10%	22.720 gói	8,6%

Nguồn: Tác giả tính toán từ mẫu chuẩn hóa N = 264.639.

Bảng 2. Phân bố quy mô gói thầu và hiệu quả tiết kiệm

Nhóm giá gói thầu	Số gói	Tỷ trọng số gói	Tỷ trọng giá trị	Tiết kiệm gia quyền	Tỷ lệ tiết kiệm = 0	Tiết kiệm trung vị
<0,5 tỷ	80.466	30,4%	1,0%	2,41%	47,3%	0,000%
0,5–1 tỷ	42.445	16,0%	1,6%	2,58%	32,1%	0,219%
1–5 tỷ	82.439	31,2%	10,1%	3,34%	4,8%	0,566%
5–20 tỷ	46.178	17,4%	22,3%	2,97%	0,4%	0,521%
20–100 tỷ	10.716	4,0%	22,4%	2,92%	0,4%	0,630%
≥100 tỷ	2.395	0,9%	42,5%	6,12%	0,6%	0,933%

Nguồn: Tác giả tính toán từ mẫu chuẩn hóa N = 264.639.



Hình 1. Phân bố quy mô gói thầu theo số lượng và giá trị

4.2. Hình thức lựa chọn nhà thầu và cấu trúc tiết kiệm

Xét theo số lượng gói, ba hình thức lớn nhất là DTRR với 111.253 gói, CDTRG với 91.982 gói và CHCT với 45.886 gói. Tuy nhiên, xét theo giá trị, DTRR chiếm ưu thế áp đảo: hình thức này chiếm 86,2% tổng giá gói thầu và 78,7% tổng chênh lệch tiết kiệm. Điều này phản ánh một quy tắc thực tế trong mua sắm xây lắp: các gói có quy mô lớn thường đi qua hình thức cạnh tranh rộng rãi, trong khi các gói nhỏ phân tán nhiều ở nhóm CDTRG và CHCT.

Sự khác biệt rõ nhất nằm ở tỷ lệ tiết kiệm bằng 0. DTRR chỉ có 0,1% số gói tiết kiệm bằng 0; CHCT cũng rất thấp với 0,4%. Ngược lại, CDTRG có 54,2% số gói tiết kiệm bằng 0 và CDT có 39,3%. Sự tương phản này cho thấy hình thức lựa chọn nhà thầu là một biến phân loại rất quan trọng khi giải thích mức độ cạnh tranh giá. Dù CDTRG có tỷ lệ tiết kiệm gia quyền 5,46%, cao hơn DTRR về mặt tỷ lệ gia quyền, cấu trúc bên trong của CDTRG lại bị phân cực bởi một nửa số gói không có giảm giá và một số gói có mức giảm đáng kể.

Bảng 3. Hình thức lựa chọn nhà thầu và chỉ tiêu tiết kiệm

Hình thức	Số gói	Tỷ trọng số gói	Tỷ trọng giá trị	Tiết kiệm gia quyền	Tỷ lệ tiết kiệm = 0	Tiết kiệm trung vị	Giá trung vị (tỷ đồng)
DTRR	111.253	42,0%	86,2%	3,95%	0,1%	0,631%	5,21
CDTRG	91.982	34,8%	5,1%	5,46%	54,2%	0,000%	0,40
CHCT	45.886	17,3%	3,8%	5,05%	0,4%	0,631%	1,24
CDT	8.665	3,3%	4,2%	10,07%	39,3%	0,079%	0,58
TTH	3.795	1,4%	0,3%	6,49%	28,7%	7,376%	0,17
TGTHCD	1.687	0,6%	0,1%	1,19%	71,6%	0,000%	0,43
CHCTRG	850	0,3%	0,0%	8,19%	2,7%	4,324%	0,19
DTHC	434	0,2%	0,2%	3,24%	0,7%	0,246%	3,49
CGTTRG	44	0,0%	0,0%	10,93%	4,5%	2,566%	0,31
LCNT_DB	42	0,0%	0,2%	4,84%	50,0%	0,000%	2,15

Nguồn: Tác giả tính toán từ mẫu chuẩn hóa N = 264.639. DTRR là đấu thầu rộng rãi; CDTRG, CHCT, CDT, TTH và các mã khác được giữ theo mã hình thức trong dữ liệu hệ thống.

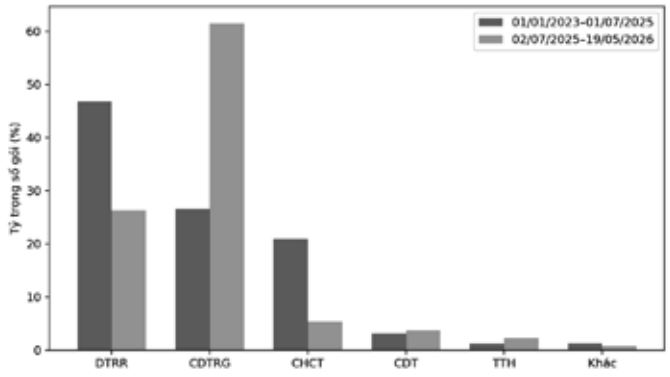
4.3. So sánh hai giai đoạn trước và sau 01/07/2025

Giai đoạn 01/01/2023 - 01/07/2025 có 202.827 gói trong mẫu chuẩn hóa, chiếm 76,6%; giai đoạn sau 01/07/2025 - 19/05/2026 có 61.812 gói, chiếm 23,4%. Tỷ lệ tiết kiệm gia quyền tăng từ 3,40% lên 6,93%. Sau 01/07/2025, CDTRG tăng mạnh từ 26,6% lên 61,6% về số gói, làm tăng tỷ lệ gói tiết kiệm bằng 0. Tuy nhiên, về giá trị, DTRR vẫn chiếm 77,9% tổng giá gói thầu trong giai đoạn sau và tỷ lệ tiết kiệm gia quyền của DTRR tăng từ 3,19% lên 6,40%. Ngoài ra, nhóm CDT trong giai đoạn sau có tỷ lệ tiết kiệm gia quyền cao hơn đáng kể, góp phần kéo tỷ lệ tiết kiệm gia quyền toàn giai đoạn lên. Kết quả này nhấn mạnh tầm quan trọng của việc tách phân tích theo số lượng và theo giá trị: thị trường có thể trở nên ít cạnh tranh hơn ở phần lớn gói nhỏ, đồng thời vẫn tạo ra tiết kiệm lớn ở một số gói giá trị cao.

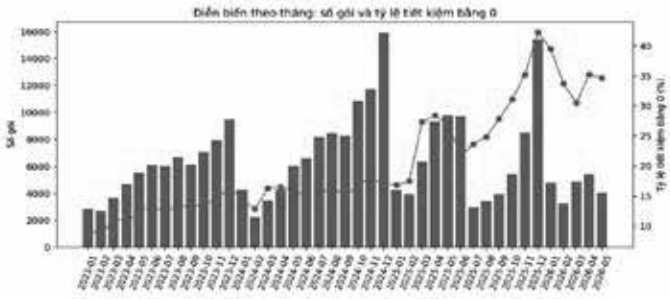
Bảng 4. So sánh tổng hợp theo hai giai đoạn

Giai đoạn	Số gói	Tỷ trọng số gói	Giá gói thầu (nghìn tỷ đồng)	Tiết kiệm gia quyền	Tỷ lệ tiết kiệm = 0	Giá trung vị (tỷ đồng)
01/01/2023 - 01/07/2025	202.827	76,6%	1477,23	3,40%	17,0%	1,40
Sau 01/07/2025 - 19/05/2026	61.812	23,4%	523,09	6,93%	34,9%	0,88

Nguồn: Tác giả tính toán từ mẫu chuẩn hóa N = 264.639.



Hình 2. Cơ cấu hình thức lựa chọn nhà thầu theo hai giai đoạn



Hình 3. Diễn biến theo tháng: số gói và tỷ lệ tiết kiệm bằng 0

4.4. Tập trung thị trường và quan hệ mua sắm lặp lại

Ở cấp nhà thầu trúng thầu, dữ liệu ghi nhận 67.690 nhà thầu hoặc liên danh duy nhất sau chuẩn hóa tên. HHI theo số gói chỉ đạt 0,67 và HHI theo giá trúng đạt 4,13 trên thang 0 - 10.000. CR10 theo số gói chỉ 0,80%, còn CR10 theo giá trị là 3,56%. Các con số này cho thấy thị trường nhà thầu xây lắp trong mẫu rất phân tán ở cấp quốc gia. Nói cách khác, rủi ro quản trị nếu có không nằm chủ yếu ở độc quyền quốc gia của một vài nhà thầu, mà nhiều khả năng nằm ở các thị trường con theo địa bàn, loại công trình, chủ đầu tư hoặc quan hệ lặp lại.

Phân tích quan hệ lặp lại cho thấy có 161.641 cặp thực thể mua sắm - nhà thầu duy nhất. Trong đó, 41.577 cặp xuất hiện từ hai gói trở lên; các cặp này bao phủ 54,6% số gói nhưng chỉ 24,0% tổng giá trúng. Nghĩa là quan hệ lặp lại rất phổ biến về số lượng nhưng chủ yếu tập trung ở các gói nhỏ và vừa. Đáng chú ý, có 1.017 cặp có ít nhất 5 gói và ít nhất 80% gói tiết kiệm bằng 0; nhóm này gồm 8.158 gói với tổng giá trúng khoảng 4,23 nghìn tỷ đồng. Đây không phải bằng chứng về thông đồng, nhưng là vùng dữ liệu nên được ưu tiên rà soát vì kết hợp đồng thời ba tín hiệu: lặp lại, giảm giá thấp và tần suất đủ lớn.

Bảng 5. Chỉ tiêu tập trung thị trường và quan hệ lặp lại

Chỉ tiêu	Giá trị	Diễn giải
Nhà thầu trúng thầu duy nhất	67.690	Nhà thầu/liên danh
HHI theo số gói	0,67	Thang 0 - 10.000; giá trị rất thấp hàm ý phân tán
HHI theo giá trúng	4,13	Thang 0 - 10.000; giá trị rất thấp hàm ý phân tán
CR10 theo số gói	0,80%	10 nhà thầu nhiều gói nhất
CR10 theo giá trị	3,56%	10 nhà thầu có tổng giá trúng lớn nhất
Cặp bên mời/chủ đầu tư–nhà thầu duy nhất	161.641	Dùng bên mời thầu
Cặp lặp lại từ 2 gói trở lên	41.577	54,6% số gói; 24,0% giá trị
Cặp lặp lại ≥5 gói và ≥80% gói tiết kiệm bằng 0	1.017	8.158 gói; 4,23 nghìn tỷ đồng

Nguồn: Tác giả tính toán từ mẫu chuẩn hóa N = 264.639.

4.5. Mô hình logit về xác suất tiết kiệm bằng 0

Kết quả mô hình logit củng cố nhận định rằng tình trạng tiết kiệm bằng 0 gắn chặt với hình thức lựa chọn nhà thầu và quy mô gói thầu. Sau khi kiểm soát logarit giá gói thầu, xác suất tiết kiệm bằng 0 trong nhóm CDTRG, CDT, TTH và TGTHCD cao hơn rất nhiều so với nhóm DTRR. Hệ số của biến logarit giá gói thầu mang dấu âm, nghĩa là các gói có quy mô lớn hơn có xác suất giá trúng bằng giá gói thầu thấp hơn.

Để diễn giải trực quan, với một gói giả định có giá gói thầu 1 tỷ đồng, mô hình dự báo xác suất tiết kiệm bằng 0 của DTRR ở giai đoạn trước 01/07/2025 là khoảng 0,22%, trong khi của CDTRG là 42,72%, CDT là 32,65% và TGTHCD là 64,23%. Sau 01/07/2025, các xác suất này tăng nhẹ lần lượt lên 0,24%, 44,35%, 34,12% và 65,73%. Kết quả này hàm ý rằng nếu cơ quan quản lý muốn giảm tình trạng tiết kiệm bằng 0, trọng tâm không nên chỉ đặt ở mốc thời gian pháp lý, mà phải đặt ở thiết kế thủ tục, điều kiện áp dụng hình thức lựa chọn nhà thầu, chất lượng dự toán và cơ chế giải trình khi giá trúng bằng giá gói thầu.

Bảng 6. Kết quả mô hình logit về xác suất tiết kiệm bằng 0

Biến giải thích	Hệ số	Odds ratio	p-value
Sau 01/07/2025	0,066	1,07	<0,001
ln (giá gói thầu)	-0,402	0,67	<0,001
CDTRG so với DTRR	5,818	336,2	<0,001
CHCT so với DTRR	0,493	1,64	<0,001
CDT so với DTRR	5,387	218,5	<0,001
TTH so với DTRR	4,407	82,0	<0,001
TGTHCD so với DTRR	6,696	809,3	<0,001

Ghi chú: Biến phụ thuộc nhận giá trị 1 nếu giá trúng bằng giá gói thầu; nhóm tham chiếu của hình thức là DTRR. Sai số chuẩn robust HC1. Mô hình dùng mẫu chuẩn hóa N = 264.639.

5. THẢO LUẬN

Kết quả phân tích cho thấy thị trường gói thầu xây lắp công trong dữ liệu có cấu trúc hai tầng rõ rệt. Tầng thứ nhất là số lượng rất lớn các gói nhỏ, phân tán, thường gắn với sửa chữa, cải tạo, trường học, trụ sở, hạng mục kỹ thuật cục bộ hoặc duy tu. Tầng này tạo ra khối lượng giao dịch lớn, chiếm nhiều thời gian quản trị, nhưng giá trị tiền tệ tương đối nhỏ. Tầng thứ hai là số lượng rất ít gói quy mô lớn và siêu lớn, thường đi qua DTRR, chi phối tổng giá trị và tổng tiết kiệm. Vì vậy, một hệ thống giám sát hiệu quả phải đồng thời xử lý hai mục tiêu: kiểm soát rủi ro phân tán ở hàng chục nghìn gói nhỏ và bảo đảm cạnh tranh thực chất ở một số ít gói cực lớn.

Một hàm ý quan trọng là không nên đồng nhất tỷ lệ tiết kiệm thấp với thất bại quản trị. Tuy nhiên, khi tiết kiệm bằng 0 xuất hiện đồng thời với hình thức ít cạnh tranh, quan hệ lặp lại nhiều lần và thiếu dữ liệu giải trình, chỉ báo này cần được xem là tín hiệu ưu tiên kiểm tra. Lập luận này phù hợp với cách tiếp cận của OECD về nhận diện mẫu hình giá và hành vi đáng ngờ trong đấu thầu, đồng thời phù hợp với hướng nghiên cứu dùng dữ liệu mua sắm để xây dựng chỉ báo rủi ro ở cấp hợp đồng [5], [6].

So sánh trước và sau 01/07/2025 cho thấy một điểm thảo luận chính sách đáng chú ý. Tỷ trọng số gói CDTRG tăng mạnh sau mốc này có thể phản ánh thay đổi cách phân loại, thay đổi cơ chế áp dụng thủ tục, thay đổi cấu trúc gói trong dữ liệu hoặc thay đổi hành vi lựa chọn hình thức của chủ đầu tư/bên mời thầu. Sự gia tăng đồng thời của CDTRG và tỷ lệ tiết kiệm bằng 0 đặt ra yêu cầu giám sát giải trình tốt hơn đối với các trường hợp lựa chọn hình thức rút gọn hoặc chỉ định trong xây lắp, nhất là khi gói thầu không thuộc tình huống khẩn cấp hoặc chuyên biệt rõ ràng.

Một điểm sâu hơn là tỷ lệ tiết kiệm gia quyền tăng sau 01/07/2025 không mâu thuẫn với nguy cơ cạnh tranh thấp ở nhiều gói nhỏ. Đây là hiệu ứng thành phần: một vài gói lớn tiết kiệm cao có thể kéo tỷ lệ gia quyền của toàn giai đoạn lên, trong khi hàng chục nghìn gói nhỏ có mức giảm giá bằng 0. Do đó, báo cáo quản lý đấu thầu cần tránh chỉ công bố một con số tiết kiệm bình quân. Cần công bố đồng thời tiết kiệm gia quyền, tiết kiệm trung vị, tỷ lệ bằng 0, phân bố theo quy mô và phân bố theo hình thức lựa chọn nhà thầu. Bộ chỉ tiêu này mới phản ánh đầy đủ trạng thái cạnh tranh và chất lượng dự toán.

6. HÀM Ý QUẢN LÝ VÀ KHUYẾN NGHỊ CHÍNH SÁCH

Trước hết, cần chuẩn hóa công bố dữ liệu theo hướng hợp đồng mở. Các trường dữ liệu cần công khai gồm số lượng nhà thầu mua hồ sơ, số lượng nhà thầu nộp hồ sơ, số nhà thầu hợp lệ về kỹ thuật, giá dự thầu của các nhà thầu không trúng, tiêu chí đánh giá, số lần làm rõ hồ sơ, số phụ lục hợp đồng, điều chỉnh giá, phát sinh khối lượng, tiến độ thực hiện và kết quả nghiệm thu. Khi dữ liệu được liên thông từ kế hoạch đến thực hiện hợp đồng, cơ quan quản lý mới có thể phân biệt giữa tiết kiệm thấp hợp lý và tiết kiệm thấp do hạn chế cạnh tranh.

Thứ hai, cần phân tầng chính sách theo quy mô gói thầu. Đối với nhóm gói siêu lớn, trọng tâm quản lý là chất lượng chuẩn bị dự án, thiết kế kỹ thuật, tiêu chí đánh giá, năng lực nhà thầu và kiểm soát biến động hợp đồng sau trao thầu. Đối với nhóm gói nhỏ, trọng tâm là giảm chi phí giao dịch nhưng vẫn duy trì mức độ cạnh tranh tối thiểu và cơ chế giải trình khi giá trúng bằng giá gói thầu. Một chính sách duy nhất áp dụng cho cả gói vài trăm triệu đồng và gói hàng chục nghìn tỷ đồng sẽ khó đạt hiệu quả quản trị.

Thứ ba, cần theo dõi các quan hệ lặp lại theo từng chủ đầu tư, địa bàn và loại công trình. Cơ quan quản lý nên phân tích mạng lưới quan hệ theo địa phương và ngành để phát hiện cụm khép kín, luân phiên nhà thầu hoặc phụ thuộc nhà thầu. Việc này đặc biệt quan trọng đối với các nhóm gói nhỏ, sửa chữa thường xuyên, có thể dễ bị chia nhỏ hoặc lặp lại theo năm ngân sách.

Cuối cùng, cần gắn quản lý đấu thầu với quản lý vòng đời công trình. Một gói có tỷ lệ tiết kiệm cao nhưng sau đó phát sinh điều chỉnh giá lớn, chậm tiến độ hoặc chất lượng kém thì không thể xem là thành công. Ngược lại, một gói tiết kiệm thấp nhưng hoàn thành đúng tiến độ, đúng chất lượng và không phát sinh chi phí có thể là kết quả quản trị tốt. Vì vậy, hệ thống dữ liệu đấu thầu xây lắp nên được kết nối với dữ liệu hợp đồng, nghiệm thu, quyết toán, bảo hành và bảo trì để đánh giá hiệu quả cuối cùng của mua sắm công.

7. KẾT LUẬN

Phân tích 269.091 gói thầu xây lắp giai đoạn 2023–2026 cho thấy thị trường mua sắm xây lắp công tại Việt Nam trong dữ liệu này có quy mô rất lớn, phân tán về số nhà thầu nhưng lệch mạnh về giá trị gói thầu. Mẫu chuẩn hóa 264.639 gói có tổng giá gói thầu 2000,32 nghìn tỷ đồng và tỷ lệ tiết kiệm gia quyền 4,32%. Tuy nhiên, tỷ lệ tiết kiệm trung vị chỉ 0,371% và hơn một phần năm số gói có giá trúng bằng giá gói thầu. Đấu thầu rộng rãi giữ vai trò trung tâm về giá trị và tiết kiệm tuyệt đối, trong khi các hình thức có tính cạnh tranh hạn chế hơn chiếm tỷ trọng lớn ở nhóm gói nhỏ và có tỷ lệ tiết kiệm bằng 0 cao.

Sau 01/07/2025, cấu trúc số gói thay đổi đáng kể theo hướng tăng tỷ trọng CDTRG và tăng tỷ lệ tiết kiệm bằng 0, nhưng tỷ lệ tiết kiệm gia quyền cũng tăng do các gói lớn tạo ra phần tiết kiệm tuyệt đối đáng kể. Bài viết đề xuất chuyển từ cách giám sát dựa trên hồ sơ đơn lẻ sang giám sát rủi ro dựa trên dữ liệu, trong đó các chỉ báo không nhằm thay thế thanh tra chuyên môn, mà giúp lựa chọn đúng trọng tâm kiểm tra trong một thị trường có hàng trăm nghìn giao dịch.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Quốc hội. Luật Đấu thầu số 22/2023/QH15, 2023.

[2] Quốc hội. Luật số 90/2025/QH15: Luật sửa đổi, bổ sung một số điều của Luật Đấu thầu và một số luật khác, 2025.

[3] Chính phủ. Nghị định số 214/2025/NĐ-CP Quy định chi tiết một số điều và biện pháp thi hành Luật Đấu thầu về lựa chọn nhà thầu, 2025.

[4] Open Contracting Partnership, 2026.

[5] OECD. OECD Guidelines for Fighting Bid Rigging in Public Procurement (2025 Update). OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/cbe05a56-en.

[6] Fazekas, M., & Kocsis, G. Uncovering High-Level Corruption: Cross-National Objective Corruption Risk Indicators Using Public Procurement Data. British Journal of Political Science, 50(1), 155-164, 2020.

[7] Decarolis, F. Awarding Price, Contract Performance and Bids Screening: Evidence from Procurement Auctions. American Economic Journal: Applied Economics, 6(1), 108-132, 2014, https://doi.org/10.1257/app.6.1.108.

[8] Bajari, P., McMillan, R., & Tadelis, S. Auctions Versus Negotiations in Procurement: An Empirical Analysis. Journal of Law, Economics, and Organization, 25(2), 372-399, 2009.

[9] Hệ thống mạng đấu thầu quốc gia, 2026.

■Ngày nhận bài: 20/4/2026 ■Ngày sửa bài: 13/5/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 27/5/2026

Nâng cao hiệu quả đầu tư xây dựng hệ thống trường học theo Chương trình mục tiêu quốc gia về giáo dục giai đoạn 2026 - 2035

Improving the efficiency of construction investment in the school system under The national target program on education for the 2026 - 2035 period

> TS NGUYỄN VĂN TRUNG[1,*], THS NGUYỄN THÁI SƠN[2]
[1]GV Trường Đại học Xây dựng Hà Nội
[2]NCS Trường Đại học Xây dựng Hà Nội
[*]Email: trungnv@huce.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu hiệu quả đầu tư xây dựng hệ thống trường học trong Chương trình mục tiêu quốc gia hiện đại hóa giáo dục giai đoạn 2026 - 2035. Trên cơ sở mục tiêu, dự án thành phần và nguồn lực thực hiện chương trình, bài viết làm rõ vai trò đầu tư cơ sở vật chất và thiết bị dạy học đối với công bằng giáo dục, đổi mới chương trình, phát triển nhân lực. Hiệu quả đầu tư được phân tích trên phương diện xã hội, kinh tế, quốc phòng - an ninh, môi trường và phát triển bền vững, nhấn mạnh yêu cầu đầu tư đúng nhu cầu, phù hợp quy hoạch, đảm bảo tiết kiệm và minh bạch. Trên cơ sở đó, bài báo đề xuất năm nhóm giải pháp gồm: hoàn thiện cơ chế, chính sách; huy động nguồn lực; đẩy mạnh phân cấp, phân quyền; nâng cao năng lực tổ chức thực hiện; tăng cường thanh tra, kiểm tra, giám sát.

Từ khóa: Nghị quyết số 249/2025/QH15; Chương trình mục tiêu quốc gia; giáo dục; đầu tư xây dựng; hiệu quả đầu tư; nâng cao hiệu quả đầu tư; hệ thống trường học.

ABSTRACT

This paper examines the effectiveness of investment in school infrastructure under the National Target Program for Education Modernization for the 2026 - 2035 period. Based on the program's objectives, component projects, and financial resources, the study clarifies the role of investment in facilities and teaching equipment in promoting educational equity, curriculum reform, and human resource development. Investment effectiveness is analyzed from social, economic, national defense and security, environmental, and sustainable development perspectives, emphasizing the need for demand-based, well-planned, cost-effective, and transparent investment. The paper proposes five groups of solutions: improving mechanisms and policies; mobilizing resources; strengthening decentralization and delegation of authority; enhancing implementation capacity; and intensifying inspection, supervision, and evaluation.

Keywords: Resolution No. 249/2025/QH15; National Target Program; education; construction investment; investment efficiency; improvement of investment efficiency; school system.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Chương trình mục tiêu quốc gia hiện đại hóa, nâng cao chất lượng giáo dục và đào tạo giai đoạn 2026-2035 gồm 5 dự án thành phần then chốt. Trong đó, Dự án 1: "Bảo đảm cơ sở vật chất, trang thiết bị đáp ứng yêu cầu thực hiện chương trình giáo dục mầm non và giáo dục phổ thông" với các mục tiêu sau:

Mục tiêu chung: Đầu tư cơ sở vật chất và thiết bị dạy học đáp ứng yêu cầu thực hiện chương trình giáo dục mầm non và giáo dục phổ thông, bảo đảm bình đẳng trong tiếp cận giáo dục.

Mục tiêu cụ thể: Xây dựng và phát triển mạng lưới trường mầm non, trường phổ thông công lập, phấn đấu cơ bản đáp ứng nhu cầu học tập của học sinh; từng bước bảo đảm cơ sở vật chất và thiết bị dạy học tối thiểu phục vụ thực hiện chương trình giáo dục mầm non và giáo dục phổ thông. Phấn đấu kiên cố hóa 100% phòng học, bảo đảm đủ nhà công vụ cho giáo viên tại các địa bàn khó khăn; có 30% cơ sở giáo dục mầm non và cơ sở giáo dục phổ thông được trang bị thiết bị phục vụ triển khai dạy và học một số môn bằng tiếng Anh, từng bước đưa tiếng Anh trở thành ngôn ngữ thứ hai trong trường học.

Với các mục tiêu trên, cần thiết phải nâng cao hiệu quả đầu tư xây dựng hệ thống trường học theo Chương trình mục tiêu quốc gia về giáo dục giai đoạn 2026 - 2035 vì các lý do chủ yếu: tránh lãng phí và thất thoát ngân sách nhà nước; đáp ứng nhu cầu học tập ngày càng tăng; bảo đảm công bằng trong tiếp cận giáo dục; phù hợp yêu cầu đổi mới giáo dục; góp phần phát triển nguồn nhân lực chất lượng cao; thích ứng với chuyển đổi số và phát triển bền vững; nâng cao hiệu lực quản lý nhà nước về giáo dục và đầu tư xây dựng; thực hiện mục tiêu phát triển quốc gia về giáo dục.

Việc nâng cao hiệu quả đầu tư xây dựng hệ thống trường học không chỉ nhằm xây thêm trường lớp mà còn bảo đảm đầu tư đúng nhu cầu, đúng quy hoạch, tiết kiệm, bền vững và phục vụ lâu dài cho sự phát triển giáo dục quốc gia.

2. NÂNG CAO HIỆU QUẢ ĐẦU TƯ HỆ THỐNG TRƯỜNG HỌC THEO CHƯƠNG TRÌNH MỤC TIÊU QUỐC GIA VỀ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO GIAI ĐOẠN 2026 - 2035

2.1. Nội dung cốt lõi của chương trình mục tiêu quốc gia về giáo dục và đào tạo

Chương trình tập trung vào việc chuẩn hóa và hiện đại hóa toàn diện hệ thống giáo dục quốc dân nhằm đáp ứng nhu cầu nhân lực chất lượng cao cho đất nước. Dưới đây là các nội dung trọng tâm [5], [6], [8], [9]:

Mục tiêu tổng quát: Tạo bước chuyển căn bản, mạnh mẽ về chất lượng giáo dục; bảo đảm công bằng trong tiếp cận giáo dục và quyền học tập suốt đời của người dân.

Phạm vi và thời gian: Thực hiện trên phạm vi cả nước trong 10 năm (2026 - 2035), chia làm 2 giai đoạn: 2026 - 2030 và 2031 - 2035.

Chương trình gồm 5 dự án thành phần then chốt:

- Dự án 1: Bảo đảm cơ sở vật chất, trang thiết bị đáp ứng yêu cầu thực hiện chương trình giáo dục mầm non, giáo dục phổ thông.
- Dự án 2: Hiện đại hóa giáo dục nghề nghiệp để tăng quy mô và nâng cao chất lượng nguồn nhân lực có kỹ năng.
- Dự án 3: Tăng cường cơ sở vật chất cho các cơ sở giáo dục đại học; đầu tư nâng cấp, hiện đại hóa các trọng điểm để ngang tầm khu vực và thế giới, có năng lực đào tạo nguồn nhân lực chất lượng cao, đột phá phát triển khoa học công nghệ, đổi mới sáng tạo, chuyển đổi số.
- Dự án 4: Phát triển đội ngũ nhà giáo, cán bộ quản lý cơ sở giáo dục, cán bộ quản lý giáo dục và người học trong bối cảnh chuyển đổi số, hội nhập quốc tế và đổi mới toàn diện giáo dục đào tạo.
- Dự án 5: Kiểm tra, giám sát, đánh giá, đào tạo, tập huấn tổ chức thực hiện Chương trình.

Tổng kinh phí thực hiện dự kiến khoảng 580.133 tỷ đồng.

2.2. Hiệu quả đầu tư hệ thống trường học theo Chương trình mục tiêu quốc gia về giáo dục

Hiệu quả của dự án đầu tư là toàn bộ mục tiêu đề ra của dự án, được đặc trưng bằng các chỉ tiêu định tính (thể hiện ở các loại hiệu quả đạt được) và bằng các chỉ tiêu định lượng (thể hiện quan hệ giữa chi phí bỏ ra của dự án và các kết quả đạt được theo mục tiêu của dự án [3], [4].

Hiệu quả đầu tư hệ thống trường học theo Chương trình mục tiêu quốc gia về giáo dục và đào tạo là một tiêu chí quan trọng quyết định sự thành bại của một dự án, có ảnh hưởng trực tiếp đến việc sử dụng nguồn vốn và thời gian; là tổng hợp của nhiều yếu tố kinh tế, xã hội, quốc phòng, an ninh, môi trường, phát triển bền vững, bình đẳng giới...

Hiệu quả đầu tư hệ thống trường học không chỉ được đánh giá bằng số lượng trường lớp hay chi phí xây dựng, mà phải xem xét toàn diện trên nhiều phương diện. Như vậy, hiệu quả đầu tư xây dựng trường học theo Chương trình mục tiêu quốc gia là hiệu quả tổng hợp, mang ý nghĩa lâu dài, không chỉ phục vụ giáo dục mà còn góp phần phát triển toàn diện đất nước. Hiệu quả này không chỉ bao gồm lợi ích tài chính (khả năng thu hồi vốn, lợi nhuận) mà còn thể hiện qua các giá trị kinh tế - xã hội ở tầm vĩ mô như: đóng góp vào tăng trưởng kinh tế, thu thuế, tạo việc làm, tiết kiệm ngoại tệ và nâng cao chất lượng cuộc sống cho cộng đồng. Khi xem xét hiệu quả về đầu tư xây dựng hệ thống trường học theo chương trình mục tiêu quốc gia về giáo dục và đào tạo cần xem xét các mặt:

a) Về xã hội

Chương trình có vai trò quan trọng trong việc thúc đẩy phát triển xã hội bền vững thông qua việc mở rộng cơ hội học tập, nâng cao chất lượng đào tạo và bảo đảm công bằng trong tiếp cận giáo dục. Việc đầu tư xây dựng, kiên cố hóa trường lớp, đặc biệt tại các khu vực khó khăn, vùng sâu, vùng xa thông qua xây dựng trường phổ thông dân tộc nội trú, bán trú và cải thiện điều kiện học tập đã góp phần thu hẹp khoảng cách chất lượng giáo dục giữa các vùng miền. Điều này không chỉ giúp bảo đảm quyền học tập cho mọi đối tượng mà còn tạo tiền đề để thực hiện phổ cập giáo dục thực chất và công bằng.

Trong lĩnh vực giáo dục nghề nghiệp và giáo dục đại học, chương trình đặt trọng tâm vào hiện đại hóa hệ thống, phát triển các trung tâm đào tạo nghề chất lượng cao theo chuẩn quốc tế. Ngoài ra, việc đào tạo gắn với tiêu chuẩn quốc tế cũng tạo điều kiện thuận lợi để lao động Việt Nam tiếp cận thị trường lao động chất lượng cao ở nước ngoài, góp phần tăng thu nhập và chuyển giao tri thức cho nền kinh tế trong nước.

Bên cạnh đó, chương trình thúc đẩy ứng dụng công nghệ số trong giáo dục như phát triển các nền tảng học tập trực tuyến, thư viện số và kho học liệu mở, từ đó hỗ trợ cá nhân hóa quá trình học tập và mở rộng khả năng tiếp cận cho các nhóm yếu thế như người khuyết tật, người học ở vùng khó khăn hoặc người có nhu cầu học tập suốt đời. Đây là một trong những yếu tố then chốt trong việc xây dựng một hệ thống giáo dục mở, linh hoạt và phù hợp với xu hướng chuyển đổi số toàn cầu.

Việc phát triển các khu đại học tập trung ngoài khu vực trung tâm đô thị cũng mang lại nhiều lợi ích xã hội đáng kể. Mô hình này không chỉ góp phần giảm áp lực lên hệ thống hạ tầng kỹ thuật, giao thông và môi trường tại các thành phố lớn mà còn tạo lập môi trường học tập, nghiên cứu và sinh hoạt hiện đại, bền vững cho người học, giảng viên và cán bộ nghiên cứu. Bên cạnh đó, các khu đại học tập trung có thể trở thành hạt nhân của hệ sinh thái đổi mới sáng tạo, tăng cường liên kết giữa cơ sở giáo dục, doanh nghiệp và tổ chức nghiên cứu. Qua đó, thúc đẩy hoạt động nghiên cứu khoa học, chuyển giao công nghệ, đổi mới sáng tạo và phát triển nguồn nhân lực chất lượng cao, góp phần thực hiện các mục tiêu phát triển bền vững.

b) Về kinh tế

Chương trình được thiết kế nhằm hiện đại hóa và nâng cao chất lượng hệ thống giáo dục - đào tạo giai đoạn 2026 - 2035. Thông qua việc xác định rõ mục tiêu, nhiệm vụ và giải pháp cụ thể, Chương trình sẽ góp phần tạo động lực phát triển kinh tế bền vững, hướng tới nền kinh tế tri thức và thích ứng hiệu quả với quá trình chuyển đổi mô hình tăng trưởng. Việc xây dựng hệ thống trường học tại các vùng kinh tế trọng điểm sẽ đóng vai trò hạt nhân trong phát triển hệ thống giáo dục và đào tạo nhân lực chất lượng cao trong các lĩnh vực ưu tiên. Đồng thời, mô hình hợp tác sâu giữa nhà trường và doanh nghiệp sẽ giúp chương trình đào tạo gắn sát với thực tiễn sản xuất - kinh doanh, rút ngắn khoảng cách giữa đào tạo và việc làm, nâng cao năng lực thích ứng của sinh viên và giảm chi phí đào tạo lại cho doanh nghiệp. Về mặt hạ tầng, việc đầu tư phát triển các khu đại học tập trung ngoài trung tâm đô thị sẽ góp phần giảm tải áp lực giao thông, dân cư cho các thành phố lớn, đồng thời tạo điều kiện hình thành các khu đô thị đại học hiện đại, quy hoạch đồng bộ theo tiêu chuẩn quốc tế. Mô hình này không chỉ mở rộng không gian phát triển giáo dục mà còn thu hút đầu tư trong nước và quốc tế vào lĩnh vực giáo dục, góp phần nâng cao vị thế và khả năng hội nhập quốc tế của các cơ sở giáo dục - đào tạo Việt Nam. Việc phát triển hệ sinh thái đào tạo trực tuyến, số hóa dữ liệu và tăng cường ứng dụng công nghệ trong quản lý giáo dục sẽ không chỉ nâng cao

hiệu quả vận hành hệ thống mà còn tiết kiệm chi phí, tăng khả năng tiếp cận dịch vụ giáo dục chất lượng cao và đặt nền móng cho phát triển nền kinh tế số thông qua đào tạo lực lượng lao động có kỹ năng số phù hợp với yêu cầu mới của thị trường lao động.

c) Về quốc phòng, an ninh

Trước hết, chương trình góp phần nâng cao nhận thức chính trị, tinh thần yêu nước và ý thức công dân của thế hệ trẻ thông qua việc tích hợp hiệu quả nội dung giáo dục quốc phòng, an ninh, chủ quyền biển đảo và kỹ năng sống vào chương trình giáo dục phổ thông và đại học. Qua đó, hình thành lớp công dân có trách nhiệm, có bản lĩnh trước các nguy cơ xuyên tạc, chia rẽ tư tưởng trên không gian mạng và trong đời sống xã hội.

Tăng cường khả năng ứng phó với thách thức an ninh phi truyền thống. Với việc đầu tư mạnh vào công nghệ thông tin, an toàn thông tin và an ninh mạng trong giáo dục, Việt Nam sẽ có đủ nguồn nhân lực chất lượng cao để bảo vệ không gian mạng quốc gia, chống lại các cuộc tấn công mạng, chiến tranh thông tin và bảo vệ chủ quyền số. Hơn nữa, những kiến thức khoa học được trang bị sẽ giúp cộng đồng và quốc gia ứng phó hiệu quả hơn với biến đổi khí hậu và dịch bệnh, giảm thiểu tác động tiêu cực đến xã hội và an ninh.

Bên cạnh đó, chương trình còn góp phần quan trọng vào việc bảo vệ an ninh văn hóa - tư tưởng. Việc nâng cao chất lượng giáo dục đồng nghĩa với việc nâng cao năng lực tư duy phản biện, kỹ năng số và đạo đức công dân, giúp học sinh - sinh viên nhận diện, phản bác các luận điệu sai trái, hạn chế tác động tiêu cực của thông tin độc hại và xâm nhập văn hóa từ bên ngoài.

Củng cố ý thức hệ, tinh thần yêu nước và tiềm lực quốc gia: Chương trình giáo dục được hiện đại hóa sẽ chú trọng giáo dục đạo đức, lý tưởng cách mạng, lòng yêu nước và tự hào dân tộc. Việc giáo dục sâu sắc về lịch sử và văn hóa dân tộc sẽ củng cố bản lĩnh chính trị và tinh thần cảnh giác cách mạng cho thế hệ trẻ. Về mặt tiềm lực, giáo dục chất lượng cao sẽ thúc đẩy nghiên cứu khoa học và đổi mới sáng tạo trong nhiều lĩnh vực, bao gồm cả khoa học cơ bản và ứng dụng.

d) Về môi trường

Về tác động tích cực, Chương trình góp phần xây dựng hệ thống cơ sở giáo dục an toàn, thân thiện, hiện đại, thúc đẩy hình thành môi trường giáo dục xanh, bền vững, qua đó gián tiếp nâng cao nhận thức cộng đồng về bảo vệ môi trường và phát triển bền vững. Việc đầu tư cải tạo, xây dựng mới các công trình trường học được thực hiện theo hướng bảo đảm vệ sinh môi trường, cảnh quan, sử dụng vật liệu thân thiện với môi trường, tiết kiệm năng lượng, hạn chế phát thải khí nhà kính, phù hợp với các mục tiêu của Chiến lược quốc gia về tăng trưởng xanh và ứng phó với biến đổi khí hậu.

Về tác động tiêu cực, quá trình đầu tư xây dựng, sửa chữa, nâng cấp cơ sở vật chất có thể gây ra bụi, tiếng ồn, phát sinh chất thải rắn, nước thải sinh hoạt và tiêu tốn tài nguyên thiên nhiên. Để hạn chế tối đa tác động này, tất cả các dự án thành phần phải thực hiện đánh giá tác động môi trường theo quy định của Luật Bảo vệ môi trường năm 2020; đồng thời bố trí đầu tư đồng bộ hệ thống xử lý nước thải, rác thải sinh hoạt, rác thải nguy hại, nhất là tại các khu ký túc xá, bếp ăn tập thể, phòng thí nghiệm, xưởng thực hành.

Chương trình yêu cầu các bộ, ngành và địa phương trong quá trình lập, thẩm định và phê duyệt dự án thành phần phải lồng ghép chặt chẽ nội dung bảo vệ môi trường, đánh giá chi tiết tác động môi trường ngay từ giai đoạn lập Báo cáo nghiên cứu khả thi; đồng thời, thực hiện giám sát, kiểm tra định kỳ các tiêu chuẩn môi trường trong suốt quá trình triển khai. Việc này nhằm bảo đảm sự hài hòa giữa mục tiêu phát triển giáo dục với bảo vệ tài nguyên thiên nhiên, hướng tới xây dựng hệ thống giáo dục xanh, thông minh, bền vững, phù hợp với các chiến lược quốc gia về bảo vệ môi trường và phát triển bền vững giai đoạn đến năm 2050.

e) Về phát triển bền vững

Thúc đẩy phát triển nguồn nhân lực chất lượng cao và tăng trưởng kinh tế bền vững: Chương trình tập trung đổi mới toàn diện nội dung, phương pháp giảng dạy và cơ sở vật chất giáo dục, đặc biệt trong các lĩnh vực khoa học, công nghệ, kỹ thuật và toán học (STEM), cũng như các ngành nghề mũi nhọn phục vụ cho chuyển đổi số và chuyển đổi xanh. Thông qua đó, chương trình hướng tới hình thành lực lượng lao động có trình độ chuyên môn cao, tư duy sáng tạo, kỹ năng số và năng lực thích ứng linh hoạt trước những biến động nhanh chóng của thị trường lao động trong và ngoài nước.

Nâng cao nhận thức về môi trường và chuyển đổi xanh cho người học: Một điểm nhấn quan trọng của chương trình là việc tích hợp nội dung về biến đổi khí hậu, bảo vệ môi trường, sử dụng tài nguyên hiệu quả và phát triển xanh vào chương trình giảng dạy các cấp học. Thông qua các chủ đề liên môn, hoạt động thực hành, dự án cộng đồng và nghiên cứu khoa học của học sinh - sinh viên, chương trình sẽ góp phần hình thành tư duy phát triển bền vững và trách nhiệm với môi trường trong thế hệ trẻ.

Xây dựng xã hội học tập suốt đời và quản trị thích ứng: tầm nhìn của chương trình về một xã hội học tập, nơi các cá nhân có thể liên tục tiếp thu kiến thức và kỹ năng mới trong suốt cuộc đời, là nền tảng của phát triển bền vững. Trong một thế giới đặc trưng bởi những tiến bộ công nghệ nhanh chóng và nhu cầu xã hội không ngừng phát triển, khả năng thích ứng và đào tạo lại là tối quan trọng.

Kết quả phân tích sơ bộ cho thấy mỗi đồng vốn đầu tư cho giáo dục và đào tạo có thể tạo ra khoảng 4 đến 6 đồng lợi ích xã hội quy đổi trong dài hạn. Lợi ích này được hình thành thông qua tác động của việc nâng cao chất lượng nguồn nhân lực đối với tăng trưởng GDP bền vững, cải thiện năng suất lao động và nâng cao năng lực cạnh tranh quốc gia.

2.3. Một số giải pháp nâng cao hiệu quả Chương trình mục tiêu quốc gia về giáo dục giai đoạn 2026 - 2035

Việc thực hiện Chương trình mục tiêu quốc gia hiện đại hóa, nâng cao chất lượng giáo dục giai đoạn 2026 - 2035 cần tập trung triển khai đồng bộ các giải pháp nhằm bảo đảm tính khả thi và hiệu quả của Chương trình.

Giải pháp thứ nhất: Hoàn thiện cơ chế, chính sách

Trên cơ sở rút kinh nghiệm từ việc thực hiện các Chương trình mục tiêu quốc gia, các đề án, dự án giai đoạn trước, việc hoàn thiện cơ chế, chính sách được coi là giải pháp then chốt nhằm tạo hành lang pháp lý đồng bộ, thống nhất, thúc đẩy phát triển giáo dục trong tình hình mới. Một số nội dung trọng tâm gồm:

- Nghiên cứu xây dựng, sửa đổi, bổ sung các văn bản quy phạm pháp luật liên quan đến giáo dục, thuế, đất đai, tạo điều kiện thuận lợi cho các hoạt động đầu tư, phát triển giáo dục;

- Cơ chế, chính sách đặc thù trong thực hiện Chương trình mục tiêu quốc gia:

- Hoàn thiện hệ thống sổ tay hướng dẫn thực hiện Chương trình, công khai, minh bạch, dễ tiếp cận, phù hợp với điều kiện từng địa phương;

- Hoàn thiện chính sách xã hội hóa và thu hút nguồn lực ngoài nhà nước;

- Hoàn thiện cơ chế xã hội hóa dịch vụ sự nghiệp công, đẩy mạnh hợp tác công - tư trong đầu tư, khai thác và vận hành công trình giáo dục;

- Thực hiện ưu đãi thuế thu nhập doanh nghiệp, thuế đất, đơn giản hóa thủ tục giao đất, chuyển đổi mục đích sử dụng đất phục vụ giáo dục; khuyến khích hiến tặng, tài trợ cho giáo dục; xây dựng chính sách ưu đãi thuế, hỗ trợ hành chính cho các tổ chức quốc tế

và doanh nghiệp nước ngoài đầu tư vào cơ sở giáo dục đại học, đặc biệt trong các lĩnh vực nghiên cứu và đào tạo liên ngành.

Giải pháp thứ hai: Huy động nguồn lực

- Thực hiện đồng bộ các giải pháp về huy động vốn, bảo đảm huy động đầy đủ, kịp thời theo quy định; căn cứ vào tình hình thực tế, Chính phủ tiếp tục cân đối ngân sách Trung ương để ưu tiên bổ sung cho Chương trình, các địa phương phải có trách nhiệm bố trí đủ vốn ngân sách địa phương để thực hiện Chương trình. Các bộ, ngành, địa phương và toàn ngành giáo dục cần quan tâm đầu tư cho giáo dục một cách đồng bộ, toàn diện, bảo đảm duy trì mức chi tối thiểu 20% tổng chi ngân sách nhà nước hằng năm cho giáo dục theo chủ trương của Đảng và Nhà nước.

- Huy động tối đa nguồn lực của địa phương để tổ chức triển khai Chương trình. Các tỉnh, thành phố ưu tiên bố trí nguồn vốn ngân sách nhà nước được phân bổ đầu tư cho các địa bàn khó khăn;

- Đa dạng hóa các nguồn vốn để thực hiện Chương trình, trong đó ngân sách nhà nước đóng vai trò quan trọng và có ý nghĩa quyết định. Nhà nước cần tập trung nguồn lực từ ngân sách nhà nước để thực hiện các dự án đề xuất trong chương trình bảo đảm thực hiện được các nhiệm vụ trọng tâm trọng điểm, có tính chất định hướng, đồng thời có cơ chế huy động các nguồn lực trong và ngoài nước, từ xã hội tham gia thực hiện chương trình. Tăng cường các hoạt động vận động các nhà tài trợ quốc tế, các tổ chức phi Chính phủ hỗ trợ nguồn lực, chia sẻ kinh nghiệm thực hiện các nội dung liên quan đến những vấn đề cấp thiết của chương trình và phù hợp với xu thế phát triển chung của các nước khác trên thế giới; đồng thời, tranh thủ các nguồn vốn vay ưu đãi, vốn viện trợ không hoàn lại... để tăng thêm nguồn lực đầu tư cho Chương trình;

- Tăng cường huy động các nguồn lực khác như nguồn lực đất đai, nguồn nhân lực. Đẩy mạnh hợp tác quốc tế, thu hút đầu tư nước ngoài (từ các tổ chức quốc tế, doanh nghiệp nước ngoài…) và các nhà đầu tư tiềm năng trong nước, đặc biệt trong việc đầu tư xây dựng, phát triển cơ sở hạ tầng, các khu trung tâm giáo dục, tổ hợp giáo dục chất lượng cao,… để gia tăng nguồn kinh phí thực hiện, giảm áp lực cho ngân sách nhà nước. Đa dạng hóa các phương thức đầu tư (đầu tư công, đầu tư theo phương thức đối tác công tư,...) và đẩy mạnh hợp tác, liên kết giữa các cơ sở giáo dục đại học, giáo dục nghề nghiệp, cơ sở nghiên cứu, tổ chức, doanh nghiệp trong và ngoài nước nhằm huy động tối đa nguồn lực xã hội tham gia Chương trình.

- Ban hành chính sách ưu đãi thuế, đất đai cho các doanh nghiệp đầu tư vào giáo dục; đơn giản hóa thủ tục hành chính, bảo đảm công khai, minh bạch trong quá trình đầu tư.

Giải pháp thứ ba: Phân cấp, phân quyền

- Thực hiện phân cấp quản lý theo Luật NSNN 89/2025/QH15, Luật Đầu tư công 58/2024/QH15, NĐ 144/2025/NĐ-CP, TT 09/2025/TT-BXD xác định rõ trách nhiệm của địa phương, Bộ, ngành trong tổ chức thực hiện Chương trình; phân định rõ trách nhiệm quản lý nhà nước, người quyết định đầu tư và chủ đầu tư.

- Tăng cường sự tham gia của cộng đồng, bảo đảm công khai, minh bạch, có cơ chế tham vấn ý kiến người dân, đối tượng thụ hưởng trong quá trình thực hiện.

Giải pháp thứ tư: Nâng cao năng lực tổ chức thực hiện

- Đào tạo, bồi dưỡng nâng cao năng lực cho đội ngũ cán bộ quản lý chương trình các cấp; xây dựng tài liệu, sổ tay hướng dẫn cụ thể, dễ áp dụng;

- Tổ chức sơ kết, tổng kết, đánh giá định kỳ kết quả thực hiện; điều chỉnh kịp thời những vướng mắc phát sinh.

Giải pháp thứ năm: Tăng cường thanh tra, kiểm tra, giám sát

Tăng cường tổ chức thanh tra, kiểm tra thường xuyên, định kỳ nhằm kịp thời ngăn chặn tiêu cực, lãng phí trong hoạt động đầu tư xây dựng hệ thống trường học của chương trình; xử lý nghiêm các vi phạm nếu có xảy ra.

3. KẾT LUẬN

Bài báo đã phân tích và đánh giá một số nội dung về hiệu quả đầu tư xây dựng hệ thống trường học theo chương trình mục tiêu quốc gia về giáo dục và đề xuất được 05 giải pháp nhằm nâng cao hiệu quả đầu tư Chương trình mục tiêu quốc gia, đó là: (i) Hoàn thiện cơ chế, chính sách; (ii) huy động nguồn lực; (iii) phân cấp, phân quyền; (iv) nâng cao năng lực tổ chức thực hiện và (v) tăng cường thanh tra, kiểm tra, giám sát.

Việc thực hiện đồng bộ các giải pháp trên, cùng với việc xác định rõ trách nhiệm người đứng đầu khi để xảy ra chậm trễ hoặc lãng phí, sẽ là "bộ lọc" quan trọng để nâng cao hiệu quả sử dụng vốn đầu tư cho Chương trình mục tiêu quốc gia này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] GS.TSKH Nguyễn Văn Chọn. Quản lý nhà nước về kinh tế và quản trị kinh doanh trong xây dựng. NXB Xây dựng, 1999.

[2] PGS.TS Thái Bá Cẩn. Giáo trình phân tích và quản lý dự án đầu tư. NXB Giáo dục Việt Nam, 2013.

[3] TS Đinh Văn Khiên (chủ biên), ThS Hoàng Vân Giang, ThS Vũ Kim Dung, ThS Nguyễn Thị Nha Tran, ThS Nguyễn Như Phiên. Phân tích kinh tế kỹ thuật trong đánh giá dự án đầu tư xây dựng công trình giao thông. NXB Xây dựng, 2020.

[4] Nguyễn Văn Trung. Giáo trình Quản lý nhà nước về xây dựng. NXB Xây dựng, 2025.

[5] Phương Nhi, "Đề xuất chủ trương đầu tư Chương trình mục tiêu quốc gia hiện đại hóa, nâng cao chất lượng giáo dục đào tạo", Báo điện tử Chính phủ, 2026. Internet: https://baochinhphu.vn/de-xuat-chu-truong-dau-tu-chuong-trinh-muc-tieu-quoc-gia-hien-dai-hoa-nang-cao-chat-luong-giao-duc-dao-tao-102251114143240878.htm. (truy cập ngày 13/5/2026)

[6] Hải Liên, "Đầu tư cho giáo dục 2026 - 2035: Làm rõ mục tiêu, phân bổ và chất lượng đào tạo", Báo điện tử Chính phủ, 2026. Internet: https://baochinhphu.vn/dau-tu-cho-giao-duc-2026-2035-lam-ro-muc-tieu-phan-bo-va-chat-luong-dao-tao. (truy cập ngày 13/5/2026)

[7] Tuyết Thư, "Lập Hội đồng thẩm định Báo cáo đề xuất đầu tư Chương trình mục tiêu quốc gia nâng cao chất lượng giáo dục và đào tạo giai đoạn 2026 - 2035", Báo điện tử Chính phủ, 2026. Internet: https://baochinhphu.vn/lap-hoi-dong-tham-dinh-bao-cao-de-xuat-dau-tu-chuong-trinh-muc-tieu-quoc-gia-nang-cao-chat-luong-giao-duc-va-dao-tao-giai-doan-2026-2035. (truy cập ngày 14/5/2026)

[8] Sơn Hà, "Chính phủ đề xuất chương trình đầu tư cho giáo dục trị giá hơn 580.000 tỷ đồng," Internet: VnExpress, 2026. Internet: https://vnexpress.net/chinh-phu-de-xuat-chuong-trinh-dau-tu-cho-giao-duc-tri-gia-hon-580-000-ty-dong-4965085.html. (truy cập ngày 12/5/2026).

[9]. Chính phủ, "Báo cáo đề xuất chủ trương đầu tư chương trình mục tiêu quốc gia hiện đại hóa, nâng cao chất lượng giáo dục và đào tạo giai đoạn 2026-2035", Thư viện quốc hội. Internet: http://thuvienso.quochoi.vn/handle/11742/105951. (truy cập ngày 14/5/2026).

■Ngày nhận bài: 01/3/2026 ■Ngày sửa bài: 13/3/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 30/3/2026

Ứng dụng mô hình kết hợp Lean và Agile để tối ưu hóa sản xuất tại doanh nghiệp cơ khí chính xác

Application of an integrated Lean and Agile model to optimize production in a precision mechanical enterprise

> **TS LƯU QUANG HIỆU**
Trường Đại học Hàng hải Việt Nam
Email: luuquanghieu@vimaru.edu.vn

TÓM TẮT

Trong bối cảnh thị trường biến động mạnh, các doanh nghiệp sản xuất cơ khí chính xác tại Việt Nam phải đối mặt với yêu cầu kép: Vừa duy trì hiệu quả chi phí, vừa nâng cao khả năng phản ứng linh hoạt. Nghiên cứu này đề xuất mô hình Leagile tích hợp tư duy tinh gọn và linh hoạt nhằm tối ưu hóa sản xuất cho nhóm doanh nghiệp cơ khí chính xác. Thông qua khảo sát và phân tích dữ liệu vận hành từ các doanh nghiệp điển hình, bài báo chỉ ra những tồn tại phổ biến: Hiệu suất thiết bị tổng thể (OEE) ở mức thấp; tỷ lệ trễ hẹn giao hàng ở mức cao; tồn kho nguyên vật liệu, bán thành phẩm và thành phẩm đều vượt xa mục tiêu; tỷ lệ hao hụt nguyên vật liệu đáng kể; thời gian cấp phát kéo dài, gây lãng phí nguồn lực. Từ đó, nhóm tác giả xây dựng mô hình Leagile với ba tầng tích hợp: Tinh gọn dòng chảy giá trị, linh hoạt điều độ và tích hợp chiến lược. Các giải pháp cụ thể được đề xuất cho từng nhóm chỉ số KPI trọng yếu, kỳ vọng nâng cao hiệu quả sử dụng nguồn lực, cân bằng chuyền đạt mục tiêu tối ưu, giảm hao hụt nguyên vật liệu và tỷ lệ trễ hẹn xuống mức phù hợp với yêu cầu của ngành. Mô hình này có thể là tham khảo hữu ích cho các doanh nghiệp cơ khí chính xác trong nước.

Từ khóa: Lean; Agile; Leagile; sản xuất tinh gọn; sản xuất linh hoạt; cơ khí chính xác; OEE.

ABSTRACT

In the context of highly volatile markets, precision mechanical manufacturing enterprises in Vietnam face a dual challenge: maintaining cost efficiency while enhancing flexible responsiveness. This study proposes an integrated Leagile model combining lean and agile paradigms to optimize production for precision mechanical enterprises. Through surveys and analysis of operational data from typical enterprises, the paper identifies common issues: Overall Equipment Effectiveness remains low compared to industry standards; late delivery rates are significantly high; inventories of raw materials, work-in-progress and finished goods far exceed targets; material loss rates are considerable; and material issuing times are prolonged, resulting in resource waste. Consequently, the authors develop a three-tier integrated Leagile model comprising value stream lean, agile scheduling and strategic integration. Specific solutions are proposed for each group of critical KPIs, with expectations to improve resource efficiency, achieve optimal line balancing, reduce material loss and lower late delivery rates to levels consistent with industry requirements. This model can serve as a useful reference for domestic precision mechanical enterprises.

Keywords: Lean; Agile; Leagile; lean manufacturing; agile manufacturing; precision mechanics; OEE.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh thị trường toàn cầu ngày càng biến động mạnh do tác động của sự gián đoạn chuỗi cung ứng, biến động giá nguyên vật liệu, thay đổi chính sách thương mại và xu hướng cá nhân hóa sản phẩm, các doanh nghiệp sản xuất cơ khí chính xác tại Việt Nam đang phải đối mặt với áp lực kép, duy trì hiệu quả sản xuất và kiểm soát chi phí, trong khi phải nâng cao khả năng thích ứng linh hoạt để đáp ứng nhanh những thay đổi của nhu cầu khách hàng. Thực tế cho thấy, nhiều doanh nghiệp chỉ mới tập trung áp dụng các công cụ Lean để giảm lãng phí nhưng chưa đạt được sự linh hoạt cần thiết, dẫn đến tồn kho lớn hoặc chậm tiến độ giao hàng khi thị trường biến động. Ngược lại, việc theo đuổi tính linh

hoạt đơn thuần theo tư duy Agile lại thiếu nền tảng ổn định về quy trình và chi phí.

Lean với triết lý cốt lõi xuất phát từ hệ thống sản xuất Toyota, tập trung vào việc tối đa hóa giá trị cho khách hàng thông qua loại bỏ các hoạt động không tạo giá trị gia tăng, bao gồm 7 dạng lãng phí kinh điển: sản xuất dư thừa, chờ đợi, vận chuyển, thao tác không cần thiết, tồn kho, sai lỗi và chưa khai thác hiệu quả năng lực người lao động [6, 8]. Lean giúp doanh nghiệp xây dựng nền tảng sản xuất ổn định, kiểm soát lãng phí và nâng cao hiệu quả nội tại [7]. Tuy nhiên, trong môi trường có nhu cầu biến động mạnh, việc áp dụng Lean một cách thuần túy có thể làm giảm tính linh hoạt của hệ thống sản xuất [5].

Mô hình kết hợp Lean và Agile, thường được gọi là Leagile đã được đề xuất như một hướng tiếp cận tích hợp trong quản lý sản xuất hiện đại [5]. Nội dung trung tâm của mô hình Leagile là xác định điểm tách trong chuỗi giá trị nơi chiến lược Lean chuyển sang chiến lược Agile, cho phép doanh nghiệp tối ưu hóa hiệu quả ở thượng nguồn và linh hoạt hóa ở hạ nguồn [3]. Cách tiếp cận này đặc biệt phù hợp với các ngành có sản phẩm đa dạng, vòng đời ngắn và yêu cầu tùy biến cao như cơ khí chính xác.

Bài báo tập trung nghiên cứu ứng dụng mô hình kết hợp Lean và Agile nhằm tối ưu hóa sản xuất cho nhóm doanh nghiệp cơ khí chính xác tại Việt Nam. Thông qua phân tích thực trạng các chỉ số vận hành từ các doanh nghiệp điển hình, nghiên cứu xác định các dạng lãng phí và mức độ linh hoạt của hệ thống hiện tại, từ đó đề xuất mô hình Leagile phù hợp với đặc thù ngành cùng các giải pháp cải tiến định lượng gắn với từng nhóm chỉ số KPI trọng yếu. Kết quả nghiên cứu không chỉ góp phần bổ sung cơ sở khoa học cho việc phát triển mô hình Leagile trong bối cảnh các nền kinh tế đang phát triển, mà còn mang lại giá trị thực tiễn cho các doanh nghiệp cơ khí chính xác trong quá trình nâng cao năng lực cạnh tranh và thích ứng với biến động thị trường.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ THỰC TRẠNG SẢN XUẤT

2.1. Cơ sở lý thuyết về mô hình Leagile

Trong lĩnh vực sản xuất cơ khí chính xác, mô hình Leagile đặc biệt phù hợp do đặc thù sản phẩm đa dạng, yêu cầu kỹ thuật cao và thường xuyên biến động về nhu cầu. Các nghiên cứu cho thấy việc phân tách hợp lý giữa các công đoạn có thể tiêu chuẩn hóa và các công đoạn cần linh hoạt giúp doanh nghiệp cơ khí chính xác vừa kiểm soát tốt chi phí, vừa nâng cao khả năng cạnh tranh [2].

Điểm tách trong sản xuất cơ khí chính xác thường được xác định tại giai đoạn bán thành phẩm hoặc chi tiết tiêu chuẩn, nơi các sản phẩm có thể được sản xuất theo dự báo với quy mô lớn để đạt hiệu suất cao. Sau đó, các công đoạn gia công tinh, xử lý bề mặt hoặc lắp ráp cuối được thực hiện theo đơn hàng cụ thể, cho phép tùy biến sản phẩm mà không làm gia tăng đáng kể thời gian giao hàng [1].

Các chỉ số đo lường hiệu suất trong mô hình Leagile cho doanh nghiệp cơ khí chính xác thường bao gồm: Hiệu quả thiết bị tổng thể, thời gian chu trình sản xuất, mức tồn kho tại điểm tách, tỷ lệ giao hàng đúng hạn và mức độ linh hoạt trong điều chỉnh sản xuất [4]. Việc theo dõi và đánh giá các chỉ số này giúp doanh nghiệp điều chỉnh vị trí điểm tách và chiến lược vận hành phù hợp với biến động thị trường.

Mô hình Leagile cung cấp một khung lý thuyết vững chắc cho việc tối ưu hóa sản xuất trong bối cảnh thị trường biến động, đặc biệt phù hợp với các doanh nghiệp cơ khí chính xác. Trên cơ sở lý thuyết này, nghiên cứu sẽ tiến hành phân tích thực trạng và đề xuất mô hình Leagile phù hợp với điều kiện cụ thể của doanh nghiệp nghiên cứu.

2.2. Thực trạng sản xuất tại doanh nghiệp cơ khí chính xác

2.2.1. Giới thiệu doanh nghiệp nghiên cứu

Nhóm tác giả tiến hành khảo sát và thu thập dữ liệu tại một số doanh nghiệp cơ khí chính xác điển hình tại Việt Nam, bao gồm các doanh nghiệp có vốn đầu tư nước ngoài và doanh nghiệp tư nhân trong nước, hoạt động trong các lĩnh vực như gia công khuôn mẫu, sản xuất linh kiện nhựa chính xác, gia công CNC và lắp ráp sản phẩm cơ khí. Các doanh nghiệp này đều có đặc điểm chung: Sản phẩm đa dạng, yêu cầu độ chính xác cao, quy trình sản xuất phức tạp với nhiều công đoạn nối tiếp và phải đáp ứng yêu cầu giao hàng đúng hạn từ các khách hàng lớn.

Kết quả phân tích cho thấy hệ thống sản xuất tại các doanh nghiệp này đã được tổ chức theo mô hình công nghiệp tương đối hiện đại với sự tham gia của nhiều phân xưởng như gia công cơ khí CNC, ép nhựa và lắp ráp. Tuy nhiên, nhiều chỉ số vận hành vẫn chưa đạt được mục tiêu kỳ vọng, cho thấy sự tồn tại của các lãng phí trong hệ thống sản xuất và những hạn chế trong công tác điều hành.

2.2.2. Thực trạng các chỉ số sản xuất chính

Để đánh giá thực trạng sản xuất của nhóm doanh nghiệp cơ khí chính xác, nhóm tác giả đã tiến hành khảo sát, thu thập dữ liệu vận hành từ các doanh nghiệp này bao gồm cả doanh nghiệp có vốn đầu tư nước ngoài và doanh nghiệp tư nhân trong nước, hoạt động trong các lĩnh vực: Gia công khuôn mẫu chính xác, sản xuất linh kiện nhựa kỹ thuật, gia công CNC và lắp ráp cơ khí. Dữ liệu được tổng hợp từ báo cáo quản lý sản xuất, báo cáo chất lượng và báo cáo quản lý nguyên vật liệu của các doanh nghiệp.

** Hiệu quả sử dụng thiết bị (OEE):*

Bảng 1. Chỉ số OEE trung bình tại các phân xưởng sản xuất

Phân xưởng	Availability (A)	Performance (P)	Quality (Q)	OEE thực tế
Gia công CNC	51,2%	94,5%	94,8%	45,5%
Ép nhựa	72,5%	94,8%	99,9%	70,2%
Lắp ráp	84,3%	98,2%	99,8%	84,0%
Toàn hệ thống	60,2%	95,2%	97,1%	57,6%

Kết quả đo lường OEE trung bình tại 3 phân xưởng chính được trình bày trong Bảng 1. Chỉ số Availability trung bình toàn hệ thống đạt 60,2%, trong đó khu vực gia công CNC có giá trị thấp nhất (51,2%), phản ánh tình trạng thiết bị thường xuyên dừng hoạt động do thời gian chờ vật tư, chuyển đổi mã sản phẩm kéo dài, bảo trì chưa tối ưu và thiếu đồng bộ trong điều độ sản xuất. Chỉ số Performance trung bình đạt 95,2%, cho thấy khi thiết bị hoạt động, chúng vận hành gần với tốc độ thiết kế, phản ánh năng lực kỹ thuật tương đối ổn định. Chỉ số Quality trung bình đạt 97,1%, chủ yếu do sai số tại khu vực gia công CNC (94,8%). Trong khi đó, các công đoạn ép nhựa và lắp ráp đạt chất lượng gần như tuyệt đối.

Từ ba thành phần trên, chỉ số OEE tổng thể của hệ thống sản xuất được xác định nhằm đánh giá hiệu quả khai thác thiết bị một cách toàn diện. OEE tổng thể trung bình của hệ thống đạt 57,6%, thấp hơn mức tiêu chuẩn 62% mà các doanh nghiệp trong lĩnh vực này hướng đến. Trong ba thành phần của OEE, Availability là yếu tố có tiềm năng cải thiện lớn nhất, chịu ảnh hưởng bởi các loại tổn thất như dừng máy chờ vật tư, chuyển đổi mã sản phẩm, bảo trì thiết bị hoặc các yếu tố tổ chức sản xuất chưa hợp lý.

** Thực trạng lập kế hoạch và điều hành sản xuất:*

Các chỉ số điều hành sản xuất trung bình của nhóm doanh nghiệp khảo sát được tổng hợp trong Bảng 2. Tỷ lệ trễ hẹn giao hàng trung bình đạt 35,4%, cao hơn nhiều so với mục tiêu 5%, phản ánh sự thiếu đồng bộ giữa kế hoạch sản xuất và năng lực thực thi. Leadtime sản xuất trung bình 60,2 ngày, cho thấy dòng chảy sản

xuất chưa tinh gọn và còn tồn tại thời gian chờ đợi giữa các công đoạn. Tỷ lệ sử dụng nguồn nhân lực đạt 78,1%, thấp hơn mục tiêu 85%, cho thấy hệ thống chưa khai thác hết năng lực của thiết bị và lao động.

Bảng 2. Các chỉ số điều hành sản xuất

Chỉ số	Giá trị thực tế	Mục tiêu
Tỷ lệ trễ hẹn giao hàng	35,4%	<5%
Tỷ lệ sử dụng nguồn nhân lực	78,1%	85%
Tỷ lệ cân bằng chuyền	93,0%	98%
Hiệu quả sử dụng nguồn lực tại phân xưởng lắp ráp	86,8%	92%

Tỷ lệ cân bằng chuyền trung bình đạt 93,0%, thấp hơn mức tối ưu 5%, cho thấy sự phân bổ công việc giữa các công đoạn chưa đồng đều, dẫn đến tình trạng một số công đoạn quá tải, một số phải chờ đợi, làm tăng tồn kho bán thành phẩm và giảm năng suất tổng thể. Hiệu quả sử dụng nguồn lực tại phân xưởng lắp ráp đạt 86,8%, cho thấy vẫn còn các yếu tố làm giảm hiệu quả như mất cân bằng công đoạn, thời gian chờ vật tư và gián đoạn sản xuất.

** Thực trạng quản lý nguyên vật liệu:*

Bảng 3. Các chỉ số quản lý nguyên vật liệu

Chỉ số	Giá trị thực tế	Mục tiêu
Tỷ lệ hao hụt nguyên vật liệu	2,0%	<1%
Tỷ lệ xuất sai nguyên liệu	1,3%	0%
Thời gian xuất nguyên liệu trung bình	20,4 phút	10 phút
Độ chính xác lấy hàng	93,5%	99%
Độ chính xác tồn kho	93,7%	100%
Thời gian lấy hàng trung bình	23,5 phút	10 phút

Quản lý nguyên vật liệu giữ vai trò then chốt trong chuỗi giá trị sản xuất linh kiện nhựa chính xác, bởi đây là yếu tố ảnh hưởng trực tiếp đến chi phí, chất lượng và tiến độ sản xuất. Các chỉ số quản lý nguyên vật liệu trung bình của nhóm doanh nghiệp khảo sát được trình bày trong Bảng 3. Tỷ lệ hao hụt nguyên vật liệu trung bình đạt 2,0%, cao hơn gấp đôi mục tiêu 1%. Tỷ lệ xuất sai nguyên liệu trung bình 1,3%, trong khi mục tiêu là 0%. Thời gian xuất nguyên liệu trung bình 20,4 phút, vượt xa mục tiêu 10 phút.

Độ chính xác lấy hàng và độ chính xác tồn kho lần lượt đạt 93,5% và 93,7%, thấp hơn đáng kể so với mục tiêu. Thời gian lấy hàng trung bình 23,5 phút, gấp hơn hai lần mục tiêu. Những hạn chế này không chỉ gây lãng phí chi phí vật tư, làm tăng thời gian chờ sản xuất mà còn tiềm ẩn nguy cơ sai lỗi chất lượng do xuất sai nguyên liệu. Nguyên nhân chính xuất phát từ phương pháp quản lý thủ công, thiếu hệ thống định vị trực quan, chưa triển khai barcode hoặc nhận diện tự động, và vận chuyển nội bộ chưa tối ưu.

** Thực trạng quản lý tồn kho và dòng chảy sản xuất:*

Kết quả khảo sát cho thấy, công tác quản lý tồn kho tại các doanh nghiệp cơ khí chính xác còn phụ thuộc nhiều vào phương pháp thủ công, dựa trên sổ sách ghi chép. Nhân viên kho thực hiện nhập xuất và kiểm kê thủ công, các vật tư và sản phẩm chưa được mã hóa hoặc quản lý bằng hệ thống nhận dạng tự động, chủ yếu sắp xếp theo khu vực lưu trữ. Phương thức vận chuyển nội bộ chủ yếu do nhân viên kho thu gom và vận chuyển bằng xe đẩy đến từng công đoạn dẫn đến dễ phát sinh lãng phí vận chuyển và thời gian chờ.

Bảng 4. Chỉ số quản lý tồn kho

Loại tồn kho	Giá trị thực tế	Mục tiêu
Tồn kho nguyên vật liệu	90,2 ngày	70 ngày
Tồn kho bán thành phẩm	60,5% sản lượng tháng	50% sản lượng tháng
Tồn kho thành phẩm	45,3 ngày	30 ngày

Kết quả phân tích dữ liệu tồn kho cho thấy mức tồn kho của doanh nghiệp vẫn ở mức cao so với mục tiêu kỳ vọng. Mức tồn kho bán thành phẩm cao cho thấy sự tồn tại của các "điểm nghẽn" trong dòng chảy sản xuất hoặc sự mất cân bằng giữa các công đoạn trong dây chuyền, khiến bán thành phẩm phải chờ đợi giữa các công đoạn trước khi tiếp tục được gia công. Điều này không chỉ làm tăng chi phí lưu kho mà còn kéo dài thời gian sản xuất tổng thể. Tồn kho thành phẩm của doanh nghiệp cũng ở mức khá cao so với mục tiêu, chu kỳ lưu trữ thành phẩm tại kho vẫn còn dài, làm gia tăng chi phí lưu kho, giảm hiệu quả sử dụng vốn lưu động và tiềm ẩn rủi ro về lỗi thời hoặc hư hỏng sản phẩm trước khi đến tay khách hàng.

3. ĐỀ XUẤT MÔ HÌNH LEAGILE CHO DOANH NGHIỆP CƠ KHÍ CHÍNH XÁC

Trên cơ sở phân tích thực trạng sản xuất tại nhóm doanh nghiệp cơ khí chính xác, mô hình Leagile được đề xuất nhằm giải quyết đồng thời hai mục tiêu: Nâng cao hiệu quả nội tại thông qua loại bỏ lãng phí và tăng cường khả năng phản ứng linh hoạt trước biến động thị trường. Mô hình được thiết kế dựa trên 5 nguyên tắc cốt lõi: Tích hợp thay vì thay thế, phân tách chiến lược, tối ưu hóa tổng thể, dữ liệu là trung tâm và con người là chủ thể.

3.1. Cấu trúc mô hình Leagile

Mô hình Leagile được xây dựng theo cấu trúc ba tầng tích hợp. Tầng thứ nhất thực hiện tinh gọn dòng chảy giá trị, tập trung vào các giải pháp ổn định quy trình và loại bỏ lãng phí đã được nhận diện: Áp dụng 5S và quản lý trực quan để tổ chức nơi làm việc khoa học, giảm thời gian tìm kiếm; cân bằng chuyền để phân bổ công việc đồng đều giữa các công đoạn, hướng tới tỷ lệ cân bằng trên 98%; bảo trì năng suất toàn diện nhằm nâng cao chỉ số Availability, đặc biệt tại khu vực gia công CNC; chuẩn hóa thao tác và áp dụng SMED để giảm thời gian chuyển đổi mã sản phẩm. Mục tiêu của tầng này là nâng OEE khu vực CNC từ 45,5% lên trên 70%, khu vực ép nhựa từ 70,2% lên trên 75%, giảm tồn kho nguyên vật liệu từ 90,2 ngày xuống 70 ngày, tồn kho bán thành phẩm từ 60,5% xuống 50% sản lượng tháng, tồn kho thành phẩm từ 45,3 ngày xuống 30 ngày và đưa tỷ lệ hao hụt nguyên vật liệu từ 2,0% xuống dưới 1%.

Tầng thứ hai thực hiện linh hoạt điều độ, xây dựng trên nền tảng dòng chảy đã được tinh gọn, tập trung nâng cao khả năng phản ứng nhanh. Các giải pháp bao gồm: Tích hợp hệ thống MES với thu thập dữ liệu thời gian thực từ thiết bị sản xuất và hệ thống kho; ứng dụng barcode/RFID trong quản lý kho để tự động hóa nhập xuất, nâng cao độ chính xác và rút ngắn thời gian cấp phát xuống dưới 10 phút; xây dựng cơ chế điều độ động cho phép điều chỉnh kế hoạch linh hoạt khi có biến động đơn hàng; đào tạo đa kỹ năng cho công nhân, tạo khả năng luân chuyển linh hoạt giữa các công đoạn; thiết lập hệ thống cảnh báo sớm dựa trên ngưỡng KPI. Mục tiêu của tầng này là giảm tỷ lệ trễ hẹn giao hàng từ 35,4% xuống dưới 5%, nâng tỷ lệ sử dụng nguồn nhân lực từ 78,1% lên 85%, cải thiện hiệu quả sử dụng nguồn lực tại phân xưởng lắp ráp từ 86,8% lên 92%.

Tầng thứ ba thực hiện tích hợp chiến lược, đảm bảo sự gắn kết giữa hai tầng dưới và định hướng phát triển bền vững. Các nội dung chính bao gồm: Xây dựng bảng điều khiển KPI tích hợp theo

dõi đồng thời các chỉ số Lean và Agile theo thời gian thực; xác định chính thức điểm tách trong chuỗi giá trị tại giai đoạn sau gia công cơ bản và ép nhựa, trước lắp ráp hoàn thiện; thiết lập cơ chế đánh giá và cải tiến liên tục theo chu trình PDCA với sự tham gia của tất cả các cấp.

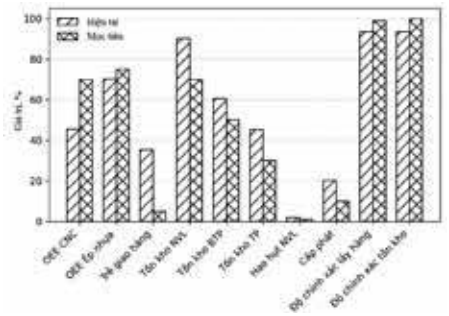
3.2. Lộ trình triển khai

Để đảm bảo tính khả thi và giảm thiểu rủi ro, mô hình Leagile cần được triển khai theo lộ trình từng bước, tránh xáo trộn lớn ảnh hưởng đến hoạt động sản xuất hiện tại. Lộ trình đề xuất gồm 3 giai đoạn chính với thời gian và mục tiêu cụ thể.

Giai đoạn thí điểm và ổn định trong khoảng 6 tháng đầu: Giai đoạn này tập trung triển khai thí điểm các giải pháp Lean tại một phân xưởng điển hình, được lựa chọn là phân xưởng ép nhựa do có tiềm năng cải thiện rõ rệt và quy trình tương đối ổn định. Các hoạt động chính bao gồm: Đào tạo nhận thức về Lean cho toàn bộ công nhân và cán bộ quản lý trong phân xưởng; triển khai 5S và quản lý trực quan; cân bằng lại chuyền sản xuất; áp dụng TPM cơ bản; thiết lập hệ thống theo dõi KPI. Kết quả được đo lường và so sánh trước-sau khi thí điểm để đánh giá hiệu quả. Mục tiêu của giai đoạn này là cải thiện OEE tại phân xưởng ép nhựa lên ít nhất 5%, giảm tồn kho trung gian và nâng cao nhận thức của người lao động về cải tiến.

Giai đoạn mở rộng và tích hợp Agile trong 12 tháng tiếp theo: Sau khi thí điểm thành công, các giải pháp Lean được mở rộng sang các phân xưởng còn. Đồng thời, giai đoạn này bắt đầu triển khai các giải pháp Agile: Lắp đặt và tích hợp hệ thống MES với thu thập dữ liệu thời gian thực; ứng dụng barcode trong quản lý kho; xây dựng cơ chế điều độ động và thí điểm tại một dây chuyền lắp ráp; đào tạo đa kỹ năng cho công nhân tại các khu vực then chốt. Việc xác định chính thức điểm tách được thực hiện, mức tồn kho chiến lược được tính toán và điều chỉnh. Các chỉ số KPI được theo dõi sát sao để đánh giá tác động tổng thể.

Giai đoạn hoàn thiện và tối ưu hóa trong 6 tháng cuối: Giai đoạn cuối tập trung tích hợp toàn bộ dữ liệu từ các phân xưởng vào bảng điều khiển KPI chung, cho phép quản lý theo dõi và ra quyết định ở cấp độ toàn doanh nghiệp. Đánh giá tổng thể các chỉ số KPI được thực hiện, so sánh với mục tiêu đã đề ra. Điểm tách có thể được điều chỉnh dựa trên biến động thực tế của thị trường và kết quả vận hành. Văn hóa cải tiến liên tục được xây dựng thông qua các hoạt động như hội thảo cải tiến, chương trình gợi ý sáng kiến và đánh giá định kỳ. Kết quả thành công của mô hình sẽ được tổng kết và chuẩn hóa để có thể nhân rộng sang các cơ sở sản xuất khác nếu có.



Hình1. Kết quả kỳ vọng sau khi áp dụng mô hình Leagile

3.3. Kỳ vọng tác động của mô hình Leagile

Khi hoàn thành, mô hình kỳ vọng đạt được các cải thiện định lượng đáng kể cho nhóm doanh nghiệp cơ khí chính xác. Cụ thể, OEE khu vực gia công CNC dự kiến tăng từ 45,5% lên trên 70%, khu vực ép nhựa từ 70,2% lên trên 75%; tỷ lệ trễ hẹn giao hàng giảm từ 35,4% xuống dưới 5%; tồn kho nguyên vật liệu giảm từ 90,2 ngày xuống 70 ngày; tồn kho bán thành phẩm giảm từ 60,5% sản lượng tháng xuống 50%; tồn kho thành phẩm giảm từ 45,3 ngày xuống 30 ngày; tỷ lệ hao hụt nguyên vật liệu giảm từ 2,0% xuống dưới 1%; thời gian cấp phát nguyên liệu giảm từ 20,4 phút xuống dưới 10 phút; độ chính xác lấy hàng và tồn kho tăng từ khoảng 93,5% lên 99 - 100%. Ngoài ra, mô hình còn nâng cao năng lực cạnh tranh, tăng khả năng thích ứng với biến động thị trường và xây dựng nền tảng văn hóa cải tiến bền vững cho doanh nghiệp.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã phân tích thực trạng sản xuất tại nhóm doanh nghiệp cơ khí chính xác điển hình, chỉ ra những tồn tại phổ biến: Hiệu suất thiết bị tổng thể ở mức thấp so với tiêu chuẩn ngành; tỷ lệ trễ hẹn giao hàng ở mức cao; tồn kho nguyên vật liệu, bán thành phẩm và thành phẩm đều vượt xa mục tiêu đề ra; tỷ lệ hao hụt nguyên vật liệu đáng kể; thời gian cấp phát kéo dài, gây lãng phí nguồn lực. Những hạn chế này phản ánh sự tồn tại đồng thời của lãng phí theo tư duy Lean và thiếu linh hoạt theo tư duy Agile trong hệ thống sản xuất.

Trên cơ sở đó, nghiên cứu đã xây dựng mô hình Leagile với cấu trúc ba tầng tích hợp: Tầng tinh gọn dòng chảy giá trị, tầng linh hoạt điều độ và tầng tích hợp chiến lược. Điểm tách được xác định rõ ràng tại giai đoạn sau gia công cơ bản và ép nhựa, trước lắp ráp hoàn thiện, cho phép phân định vùng áp dụng Lean và Agile giải quyết căn bản mâu thuẫn giữa hiệu quả và linh hoạt.

Các giải pháp cụ thể được đề xuất gắn với từng nhóm chỉ số KPI trọng yếu, cùng với lộ trình triển khai ba giai đoạn giúp doanh nghiệp kiểm soát rủi ro và đánh giá hiệu quả từng bước. Kết quả kỳ vọng sau khi hoàn thành mô hình là những cải thiện định lượng rõ rệt: OEE khu vực CNC tăng từ 45,5% lên trên 70%, tỷ lệ trễ hẹn giảm từ 35,4% xuống dưới 5%, tồn kho các loại giảm 15 - 20 ngày, tỷ lệ hao hụt nguyên vật liệu dưới 1%, thời gian cấp phát dưới 10 phút và độ chính xác tồn kho đạt 99 - 100%.

Với cấu trúc ba tầng tích hợp và lộ trình triển khai rõ ràng, mô hình Leagile là hướng tiếp cận phù hợp giúp các doanh nghiệp cơ khí chính xác nâng cao năng lực cạnh tranh, cải thiện hiệu quả sản xuất và thích ứng bền vững với biến động thị trường.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tại trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong Đề tài mã số: DT 25-26.26.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] A. Agarwal, R. Shankar and M. K. Tiwari. Modeling the metrics of lean, agile and leagile supply chain: An ANPbased approach. Eur. J. Oper. Res., vol. 173, no. 1, pp. 211-225, 2006, doi: 10.1016/j.ejor.2004.12.005.

[2] S. A. M. Elmoselhy. Hybrid leanagile manufacturing system technical facet in automotive sector. J. Manuf. Syst., vol. 32, no. 4, pp. 598-619, 2013, doi: 10.1016/j.jmsy.2013.05.011.

[3] R. Mason-Jones, J. B. Naylor and D. R. Towill. Engineering the leagile supply chain. Int. J. Agile Manag. Syst., vol. 2, no. 1, pp. 54-61, 2000, doi: 10.1108/14654650010312606.

[4] S. Mostafa, J. Dumrak and H. Soltan. A framework for lean manufacturing implementation. Prod. Manuf. Res., vol. 1, no. 1, pp. 44-64, 2013, doi: 10.1080/21693277.2013.862159.

[5] J. B. Naylor, M. M. Naim and D. Berry. Leagility: Integrating the lean and agile manufacturing paradigms in the total supply chain. Int. J. Prod. Econ., vol. 62, no. 1-2, pp. 107-118, 1999, doi: 10.1016/S0925-5273(98)00223-0.

[6] T. Ohno, Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production. Portland, OR, USA: Productivity Press, 1988.

[7] R. Shah and P. T. Ward. Lean manufacturing: Context, practice bundles and performance. J. Oper. Manag., vol. 21, no. 2, pp. 129-149, 2003, doi: 10.1016/S0272-6963(02)00108-0.

[8] J. P. Womack and D. T. Jones. Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. New York, NY, USA: Simon & Schuster, 1996.

■Ngày nhận bài: 04/5/2026 ■Ngày sửa bài: 18/5/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 01/6/2026

Phát triển giao thông xanh trong kỷ nguyên mới theo định hướng của Văn kiện Đại hội XIV của Đảng

Developing green transportation in the new era in accordance with the orientation of the documents of the 14th National Congress of the Communist Party of Vietnam

> **TS ĐỖ VĂN THUẬN**
Học viện Chiến lược, bồi dưỡng cán bộ xây dựng
Email: thuanqlcb@gmail.com

TÓM TẮT

Đảng Cộng sản Việt Nam xác định kỷ nguyên mới ở nước ta bắt đầu từ Đại hội XIV của Đảng. Trong kỷ nguyên mới, phát triển giao thông xanh trở thành yêu cầu tất yếu vì giao thông hiện đang chiếm khoảng 20% lượng phát thải quốc gia [1], ảnh hưởng trực tiếp đến mục tiêu cân bằng phát thải vào năm 2050. Bài báo chỉ ra tầm quan trọng của giao thông xanh, khái quát nội dung phát triển giao thông xanh theo quan điểm chỉ đạo của Đại hội XIV, nêu một số vấn đề đặt ra về phát triển giao thông xanh trong kỷ nguyên mới ở Việt Nam và giải pháp phát triển giao thông xanh theo định hướng của Đại hội XIV của Đảng.

Từ khóa: Giao thông xanh; Đại hội XIV; kỷ nguyên mới.

ABSTRACT

The Communist Party of Vietnam has identified that the new era in Vietnam will begin with the 14th National Congress of the Party. In this new era, the development of green transportation has become an inevitable requirement, as the transport sector currently accounts for approximately 20% of the nation's greenhouse gas emissions [1], directly affecting the goal of achieving net-zero emissions by 2050. This article highlights the importance of green transportation, outlines the key contents of green transportation development in line with the guiding viewpoints of the 14th National Congress, identifies several challenges facing green transportation development in Vietnam in the new era, and proposes solutions for developing green transportation in accordance with the orientation of the 14th National Congress of the Party.

Keywords: Green transportation; the 14th National Congress; the New Era.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Có khá nhiều quan niệm về giao thông xanh dưới những cách tiếp cận khác nhau. Nhưng hiểu theo nghĩa chung nhất, giao thông xanh là các phương thức di chuyển được thiết kế để giảm thiểu ô nhiễm không khí, khí nhà kính và tiếng ồn, đồng thời tối ưu hiệu quả năng lượng. Theo đó, giao thông xanh là hệ thống giao thông sử dụng phương tiện và hạ tầng thân thiện với môi trường, tiết kiệm năng lượng, giảm phát thải khí nhà kính, góp phần bảo vệ sức khỏe cộng đồng và phát triển bền vững. Sử dụng phương tiện giao thông xanh bao gồm xe điện, xe hybrid, xe chạy bằng năng lượng tái tạo (mặt trời, hydro), xe đạp, đi bộ, phương tiện công cộng hiện đại và các giải pháp chia sẻ phương tiện.

Kỷ nguyên mới được hiểu là giai đoạn lịch sử đánh dấu sự chuyển mình mạnh mẽ của dân tộc, với những đặc điểm nổi bật về chính trị, kinh tế, văn hóa và khoa học - công nghệ. Theo Tổng Bí thư Tô Lâm, "Ưu tiên hàng đầu trong kỷ nguyên mới là thực hiện thắng lợi các mục tiêu chiến lược đến năm 2030, Việt Nam trở thành nước đang phát triển, có công nghiệp hiện đại, thu nhập trung bình cao; đến năm 2045 trở thành nước xã hội chủ nghĩa phát triển, có thu nhập cao; khơi dậy mạnh mẽ hào khí dân tộc, tinh thần tự chủ, tự tin, tự lực, tự cường, tự hào dân tộc, khát vọng phát triển đất nước; kết hợp chặt chẽ sức mạnh dân tộc với sức mạnh thời đại. Thời điểm bắt đầu kỷ nguyên mới là Đại hội XIV của Đảng" [2]. Theo đó, kỷ nguyên mới của Việt Nam là thời kỳ vươn mình mạnh mẽ, hội nhập

quốc tế sâu rộng, phát triển dựa trên tri thức, công nghệ và con người. Kỷ nguyên mới đặt ra yêu cầu thúc đẩy chuyển đổi xanh, phát triển hệ thống giao thông xanh, đẩy mạnh kinh tế số và xây dựng xã hội học tập, qua đó hướng tới mục tiêu phát triển thịnh vượng và bền vững cho đất nước.

Giao thông ở Việt Nam hiện nay phụ thuộc rất lớn vào phương tiện cá nhân, đặc biệt là với khoảng 7 triệu ô tô và 78 triệu xe máy [3], đang góp phần làm ô nhiễm môi trường với gần 20% lượng phát thải. Tại các đô thị lớn như Hà Nội và TP.HCM, mật độ phương tiện cao dẫn đến ùn tắc giao thông, ô nhiễm không khí, tiếng ồn và tai nạn giao thông. Hệ thống giao thông công cộng tuy đã được đầu tư (xe buýt, metro) nhưng vẫn chưa đáp ứng đủ nhu cầu, khiến người dân khó chuyển đổi thói quen đi lại. Bên cạnh đó, "Kết cấu hạ tầng đô thị tại các thành phố lớn còn hạn chế, dẫn tới tình trạng tắc nghẽn giao thông, ngập úng, ô nhiễm môi trường… kéo dài, chậm được xử lý" [4]. Theo thống kê của Bộ Xây dựng, lượng phát thải khí nhà kính từ giao thông tăng trung bình 6 - 8% mỗi năm [3], chủ yếu từ vận tải đường bộ. Vì vậy, trong kỷ nguyên mới, phát triển giao thông xanh trở thành yêu cầu tất yếu. Đây là giải pháp để giảm phát thải khí nhà kính, cải thiện chất lượng môi trường đô thị, nâng cao chất lượng sống của người dân, đồng thời phù hợp với cam kết quốc tế của Việt Nam về cân bằng phát thải vào năm 2050.

2. QUAN ĐIỂM CỦA ĐẠI HỘI XIV VỀ PHÁT TRIỂN GIAO THÔNG XANH

Một là, Văn kiện Đại hội XIV khẳng định: "Phát triển nhanh nhưng phải bền vững" [4]. Vì vậy, cần: "xác lập mô hình tăng trưởng mới… mô hình kinh tế mới … như: Kinh tế số, kinh tế xanh, kinh tế tuần hoàn" [4]. Trong đó, kinh tế số ứng dụng AI, IoT, dữ liệu lớn để quản lý luồng phương tiện, giảm ùn tắc và tối ưu logistics. Đồng thời, kinh tế số giúp phát triển dịch vụ chia sẻ phương tiện, đặt vé trực tuyến, quản lý thông minh qua đó giảm xe cá nhân, tiết kiệm năng lượng góp phần bảo vệ môi trường, phát triển bền vững.

Kinh tế xanh nhấn mạnh việc giảm phát thải khí nhà kính, sử dụng năng lượng sạch và bảo vệ môi trường. Kinh tế xanh tạo nền tảng chính sách và nguồn lực để giao thông xanh phát triển. Đồng thời, phát triển giao thông xanh mở ra ngành công nghiệp mới như sản xuất xe điện, pin, trạm sạc, dịch vụ vận tải thông minh. Do vậy, giao thông xanh trực tiếp góp phần thực hiện mục tiêu kinh tế xanh thông qua xe điện, phương tiện công cộng hiện đại, hạ tầng sạc và logistics xanh. Có thể nói, không có giao thông xanh thì kinh tế xanh khó thành hiện thực, bởi giao thông là ngành phát thải lớn và ảnh hưởng trực tiếp đến môi trường đô thị.

Kinh tế tuần hoàn sử dụng đồ tái chế, tái sử dụng vật liệu trong sản xuất phương tiện, pin xe điện, hạ tầng giao thông và phát triển logistics tuần hoàn giúp tối ưu vận tải hàng hóa, giảm lãng phí nhiên liệu và chi phí rác thải. Ba mô hình kinh tế này đều bổ trợ cho giao thông xanh: Kinh tế số cung cấp công nghệ quản lý, kinh tế xanh tạo định hướng phát triển bền vững, kinh tế tuần hoàn đảm bảo sử dụng tài nguyên hiệu quả. Khi kết hợp, chúng tạo ra hệ thống giao thông hiện đại, thân thiện môi trường và phù hợp với kỷ nguyên mới của Việt Nam.

Hai là, Đại hội XIV yêu cầu hiện đại hóa hạ tầng giao thông, như: "đường sắt tốc độ cao, đường sắt đô thị Hà Nội và TP.HCM, điện hạt nhân, điện mặt trời điện gió ngoài khơi…" [4], nhất là giao thông đô thị. "Chú trọng mô hình phát triển đô thị theo định hướng phát triển giao thông công cộng (TOD), phát triển kinh tế không gian tầng thấp, khai thác hiệu quả không gian ngầm, nhất là tàu điện ngầm tại các khu đô thị lớn" [4]. Việc phát triển đường sắt tốc độ cao, đường sắt đô thị, điện hạt nhân, điện mặt trời điện gió ngoài khơi… là quá trình chuyển đổi giao thông xanh và năng lượng xanh. Đây là nhiệm vụ cơ bản và quan trọng nhất trong quá trình thực hiện mục tiêu tăng trưởng xanh cũng như thực hiện các cam kết của Việt Nam tại Hội nghị lần thứ 26 các Bên tham gia Công ước khung của Liên hợp quốc về biến đổi khí hậu (COP26); đồng thời cũng là cơ hội để ngành Giao thông vận tải có sự phát triển đồng bộ theo hướng hiện đại hóa và bền vững, bắt kịp với xu thế và trình độ phát triển tiên tiến của thế giới.

Giao thông công cộng giúp người dân ưu tiên sử dụng phương tiện công cộng thay vì xe cá nhân, giảm áp lực giao thông mặt đất. Tàu điện ngầm vận chuyển khối lượng lớn hành khách, giảm khí thải và bụi mịn. Không gian ngầm (tàu điện ngầm, bãi đỗ xe ngầm, trung tâm thương mại ngầm) giúp mở rộng diện tích sử dụng mà không phá vỡ cảnh quan đô thị. Không gian tầng thấp (tầng trệt, vỉa hè, quảng trường) được tổ chức hợp lý để phục vụ thương mại, dịch vụ và sinh hoạt cộng đồng. Vì vậy, chú trọng TOD, phát triển kinh tế tầng thấp và khai thác không gian ngầm, nhất là hệ thống tàu điện ngầm là giải pháp chiến lược để Việt Nam xây dựng đô thị hiện đại, giảm áp lực giao thông, phát triển kinh tế và thực hiện mục tiêu tăng trưởng xanh trong kỷ nguyên mới.

Ba là, phát triển "các trung tâm logistics lớn gắn với các cảng biển, cảng hàng không trung chuyển quốc tế lớn, hiện đại, tự động hóa cao" [4]. Logistics hiện đại giúp tối ưu hóa luồng hàng hóa, giảm số chuyến vận chuyển dư thừa, qua đó giảm phát thải trong vận tải. Tự động hóa và công nghệ số hỗ trợ giảm tiêu hao nhiên liệu, hạn chế khí thải CO_2 và bụi mịn của các động cơ tham gia giao thông. Kết nối với cảng biển, cảng hàng không quốc tế giúp vận tải đa phương thức hoạt động trơn tru, giảm áp lực lên đường bộ. Đây là giải pháp để giảm ùn tắc và ô nhiễm tại các đô thị lớn. Vì vậy, phát triển các trung tâm logistics lớn, hiện đại, tự động hóa cao không chỉ là giải pháp nâng cao năng lực cạnh tranh quốc gia mà còn là một bước đi chiến lược để hiện thực hóa giao thông xanh. Nó giúp giảm phát thải, tối ưu vận tải, gắn kết với năng lượng sạch và kinh tế số, qua đó tạo nền tảng cho phát triển bền vững trong kỷ nguyên mới.

3. MỘT SỐ VẤN ĐỀ ĐẶT RA VỀ PHÁT TRIỂN GIAO THÔNG XANH Ở NƯỚC TA HIỆN NAY

Một là, người dân quen dùng xe máy, ô tô sử dụng nguyên liệu hóa thạch:

Để chuyển đổi từ giao thông sử dụng nhiên liệu hóa thạch sang giao thông xanh cần sự tham gia của người dân - doanh nghiệp - chính quyền. Tuy nhiên, người dân Việt Nam vẫn phụ thuộc nhiều vào xe máy và ô tô cá nhân. Đến nay, Việt Nam chưa có số liệu chính xác toàn quốc bao nhiêu ô tô xe máy? Theo Văn phòng Ủy ban An toàn giao thông Quốc gia, tính đến tháng 9/2024, Việt Nam có 77 triệu xe máy đăng ký, đưa tỷ lệ sở hữu xe máy trên 1.000 dân tới 770 xe, thuộc hàng cao nhất thế giới, chiếm 85 - 90% lưu lượng phương tiện trên đường và liên quan tới 60 - 70% số vụ tai nạn giao thông [4]. Điều này phản ánh sự phụ thuộc rất lớn của người dân vào xe máy, nhất là tại các đô thị đông dân như Hà Nội và TP.HCM. Mật độ phương tiện cao tạo ra nhiều sức ép đối với môi trường đô thị, làm gia tăng ô nhiễm không khí, tiếng ồn và lượng khí thải từ động cơ đốt trong. Ùn tắc giao thông vào giờ cao điểm là cảnh tượng quen thuộc, gây lãng phí thời gian và nhiên liệu.

Bên cạnh xe máy, trong những năm gần đây, số lượng ô tô cũng tăng nhanh do mức sống trung bình của người dân được cải

thiện. Tuy nhiên, sự bùng nổ của ô tô cũng tạo ra áp lực lớn lên hạ tầng giao thông vốn đã quá tải. Tình trạng ùn tắc giao thông tại các đô thị lớn trở nên nghiêm trọng hơn, đặc biệt vào những ngày thời tiết xấu, giờ cao điểm và các ngày lễ. Nhu cầu về chỗ đậu xe tăng cao, trong khi không gian công cộng lại hạn chế, dẫn đến khó khăn trong việc tìm chỗ đỗ. Vấn đề ô nhiễm môi trường do khí thải từ ô tô cũng là một mối lo ngại lớn, thúc đẩy nhu cầu chuyển đổi sang các loại xe xanh và xe điện nhằm giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường và sức khỏe cộng đồng.

Hai là, hạ tầng giao thông chưa đồng bộ gây khó khăn cho việc chuyển đổi sang phương tiện giao thông xanh:

Để phát triển giao thông xanh thì hạ tầng giao thông đồng bộ là điều kiện tiên quyết. Tuy nhiên, ở Việt Nam, hạ tầng giao thông chưa đồng bộ đang là một rào cản lớn đối với quá trình chuyển đổi sang phương tiện giao thông xanh. Văn kiện XIV đã khẳng định: "Hệ thống kết cấu hạ tầng còn thiếu đồng bộ, hiện đại; mức độ kết nối liên vùng chưa cao; chi phí logistics còn cao so với khu vực và quốc tế. Kết cấu hạ tầng giao thông tại các vùng kinh tế trọng điểm, đô thị lớn chưa theo kịp yêu cầu phát triển. Giao thông đường bộ tại một số khu vực miền núi, vùng sâu, vùng xa còn khó khăn. Một số tuyến đường bộ cao tốc mới được đầu tư quy mô 2 làn xe hoặc 4 làn xe hạn chế. Tuyến đường ven biển chậm hoàn thành, nhất là vùng đồng bằng sông Cửu Long. Hệ thống đường sắt quốc gia lạc hậu; đường sắt đô thị triển khai chậm; thiếu kết nối với các cảng biển và vận tải đa phương thức. Đầu tư một số cảng biển còn manh mún, thiếu đồng bộ, hiện đại, một số chưa khai thác hết công suất, chưa phát huy tiềm năng của đường thủy nội địa tại các khu vực có lợi thế. Tỷ lệ khai thác công suất ở nhiều cảng hàng không ở mức thấp" [5]; nhiều tuyến đường chưa được quy hoạch hợp lý, thiếu làn đường dành riêng cho xe điện hoặc xe đạp, khiến việc lưu thông gặp khó khăn; hệ thống trạm sạc điện còn hạn chế, phân bổ không đều, làm giảm tính tiện lợi và khả năng tiếp cận của người dân. Ngoài ra, sự kết nối giữa các phương tiện công cộng chưa hiệu quả, dẫn đến tình trạng ùn tắc và ô nhiễm vẫn tiếp diễn.

Ba là, chi phí đầu tư cho giao thông xanh cao trong khi ngân sách dành cho chuyển đổi phương tiện xanh ở Việt Nam còn hạn chế:

Việc phát triển hệ thống phương tiện xanh như xe điện, xe buýt điện hay hạ tầng trạm sạc đòi hỏi nguồn vốn rất lớn, từ khâu nghiên cứu, sản xuất cho đến triển khai đồng bộ trên diện rộng. Chuyển đổi sang xe điện hoặc phương tiện công cộng là một bài toán chi phí khổng lồ đối với nhiều hộ gia đình. Trong khi đó, ngân sách nhà nước dành cho chuyển đổi phương tiện xanh còn hạn chế, chưa đủ để đáp ứng nhu cầu đầu tư ban đầu. Quyết định 876/QĐ-TTg (2022) phê duyệt Chương trình hành động về chuyển đổi năng lượng xanh trong ngành Giao thông vận tải. Tuy nhiên, văn bản này chủ yếu đưa ra định hướng và mục tiêu, chưa có cam kết cụ thể về mức ngân sách. Thông báo số 372/TB-VPCP (2024) khẳng định chuyển đổi năng lượng xanh là nhiệm vụ trọng tâm, nhưng cũng thừa nhận cần huy động thêm nguồn lực xã hội và quốc tế vì ngân sách nhà nước chưa đủ. Theo công văn số 11170/VPCP-CN (2025), Chính phủ giao các bộ, ngành đề xuất cơ chế, chính sách để thu hút đầu tư tư nhân, hỗ trợ người dân sử dụng phương tiện xanh. Điều này cho thấy ngân sách công hiện tại không thể bao quát toàn bộ chi phí. Những khó khăn này khiến tốc độ chuyển đổi sang giao thông xanh diễn ra chậm, chủ yếu dựa vào các dự án thí điểm hoặc hỗ trợ từ doanh nghiệp. Ngoài ra, giá thành phương tiện xanh vẫn cao so với thu nhập trung bình của người dân, làm giảm khả năng tiếp cận.

Bốn là, chính sách và cơ chế hỗ trợ phương tiện giao thông xanh chưa mạnh:

Các ưu đãi thuế và tín dụng cho phương tiện xanh ở Việt Nam còn hạn chế cả về phạm vi và mức độ hỗ trợ. Chính phủ mới chỉ tập trung vào giảm thuế cho xe điện, trong khi các chính sách tài chính khác chưa đủ mạnh để thúc đẩy chuyển đổi toàn diện. Chẳng hạn, Nghị quyết 198/2025/QH15 đưa ra một số chính sách ưu đãi thuế và tín dụng xanh, nhưng mới ở mức định hướng, có chọn lọc và điều kiện, chưa phổ biến rộng rãi cho người dân và doanh nghiệp nhỏ. Một số ngân hàng bắt đầu triển khai gói tín dụng ưu đãi cho doanh nghiệp đầu tư công nghệ sạch, nhưng phạm vi còn hẹp, chưa có nhiều chương trình hỗ trợ trực tiếp cho người dân mua phương tiện xanh. Bên cạnh đó, Việt Nam hiện nay cơ chế kiểm soát phát thải từ phương tiện giao thông vẫn chưa chặt chẽ và đồng bộ. Phần lớn các phương tiện cá nhân như xe máy, ô tô cũ vẫn lưu hành rộng rãi, trong khi việc kiểm định khí thải mới chỉ áp dụng hạn chế cho một số loại xe. Các quy chuẩn về khí thải đã được ban hành nhưng khâu thực thi còn lỏng lẻo, thiếu hệ thống giám sát thường xuyên và chế tài đủ mạnh. Điều này dẫn đến tình trạng nhiều phương tiện không đạt chuẩn vẫn tham gia giao thông, gây ô nhiễm không khí nghiêm trọng ở các đô thị lớn. Chính vì chưa có cơ chế kiểm soát chặt chẽ nên lượng phát thải từ giao thông vẫn là một trong những nguyên nhân chính làm chất lượng không khí suy giảm và phương tiện giao thông xanh chưa phát triển.

4. MỘT SỐ GIẢI PHÁP PHÁT TRIỂN GIAO THÔNG XANH TRONG KỶ NGUYÊN MỚI

Trong kỷ nguyên mới, phát triển giao thông xanh là xu thế tất yếu khách quan, xuất phát từ yêu cầu bảo vệ môi trường, hội nhập quốc tế và phát triển bền vững. Khi biến đổi khí hậu ngày càng nghiêm trọng, lượng khí thải từ phương tiện giao thông trở thành một trong những nguyên nhân chính gây ô nhiễm không khí và ảnh hưởng đến sức khỏe cộng đồng. Việc chuyển đổi sang phương tiện xanh như xe điện, xe buýt điện hay hệ thống giao thông công cộng hiện đại không chỉ giúp giảm phát thải mà còn nâng cao chất lượng cuộc sống và hình ảnh đô thị văn minh. Đồng thời, giao thông xanh còn mở ra cơ hội phát triển công nghiệp mới, thúc đẩy đổi mới sáng tạo và hội nhập quốc tế. Vì vậy, đầu tư và triển khai giao thông xanh không phải là lựa chọn, mà là con đường tất yếu để Việt Nam tiến tới một tương lai bền vững. Theo đó, Việt Nam cần triển khai một số giải pháp sau:

Thứ nhất, đẩy mạnh chuyển đổi năng lượng trong giao thông vận tải:

Khuyến khích người dân sử dụng phương tiện chạy điện, năng lượng tái tạo, giảm dần phương tiện sử dụng nhiên liệu hóa thạch. Để khuyến khích người dân sử dụng phương tiện chạy điện và năng lượng tái tạo, Việt Nam cần: Tiếp tục giảm thuế tiêu thụ đặc biệt và lệ phí trước bạ cho xe điện đến năm 2030, đồng thời mở rộng cho xe buýt điện, xe hybrid; phát triển các gói vay ưu đãi lãi suất thấp cho người dân mua xe điện, thay vì chỉ tập trung vào doanh nghiệp; cân nhắc trợ giá hoặc hoàn tiền một phần khi người dân chuyển đổi từ xe xăng sang xe điện.

Đẩy mạnh truyền thông cho người dân về lợi ích môi trường và sức khỏe khi sử dụng phương tiện xanh; tuyên truyền, giáo dục về lợi ích của giao thông xanh, thúc đẩy thói quen sử dụng phương tiện công cộng và phương tiện thân thiện môi trường; tổ chức các chương trình "Ngày không khói xe", "Thành phố xanh" để khuyến khích người dân trải nghiệm phương tiện điện. Bộ Công Thương

phối hợp với Hội Nhà báo Việt Nam đã phát động giải thưởng báo chí về sử dụng năng lượng tiết kiệm và hiệu quả, nhằm nâng cao nhận thức cộng đồng.

Thứ hai, đầu tư hạ tầng giao thông xanh đồng bộ:

Để đầu tư hạ tầng giao thông xanh đồng bộ và hiệu quả, Việt Nam cần: Tích hợp giao thông xanh vào quy hoạch đô thị; xây dựng hệ thống đường dành riêng cho xe buýt điện, xe đạp và phương tiện thân thiện môi trường; bố trí trạm sạc tại khu dân cư, trung tâm thương mại, bãi đỗ xe công cộng, đảm bảo người dân dễ dàng tiếp cận; liên kết xe buýt điện, tàu điện, xe đạp công cộng để tạo thành hệ thống giao thông liên hoàn, giảm phụ thuộc vào xe cá nhân; sử dụng IoT và dữ liệu lớn để giám sát lưu lượng giao thông, tối ưu hóa vận hành phương tiện xanh; xây dựng thêm đường vành đai, cầu vượt, hầm chui, mở rộng các tuyến đường hiện hữu và phát triển các hệ thống giao thông thông minh (ITS). Chính phủ sẽ tiếp tục đầu tư mạnh vào mạng lưới xe buýt, metro và đường sắt đô thị tại các thành phố lớn nhằm khuyến khích người dân sử dụng phương tiện công cộng, từ đó giảm áp lực lên giao thông cá nhân và giảm thiểu ùn tắc.

Thứ ba, tăng cường kiểm soát phát thải và áp dụng tiêu chuẩn nghiêm ngặt đối với phương tiện lưu hành không đạt tiêu chuẩn:

Để tăng cường kiểm soát phát thải và áp dụng tiêu chuẩn nghiêm ngặt đối với phương tiện lưu hành không đạt chuẩn, cần triển khai đồng bộ nhiều giải pháp. Trước hết, hệ thống kiểm định khí thải phải được mở rộng, áp dụng bắt buộc cho cả xe máy và ô tô, thay vì chỉ tập trung vào một số loại phương tiện. Các tiêu chuẩn khí thải cần được nâng cấp theo lộ trình tiệm cận quốc tế, đồng thời có chế tài xử phạt nghiêm khắc đối với phương tiện vi phạm. Song song, cần xây dựng cơ sở dữ liệu quốc gia về khí thải phương tiện để giám sát thường xuyên, kết hợp công nghệ đo kiểm tự động tại các điểm giao thông trọng yếu. Ngoài ra, chính sách hỗ trợ người dân chuyển đổi sang phương tiện xanh cũng phải đi kèm, nhằm giảm áp lực tài chính và khuyến khích loại bỏ dần xe cũ không đạt chuẩn. Đây là cách tiếp cận toàn diện để vừa kiểm soát phát thải, vừa thúc đẩy giao thông xanh phát triển bền vững.

Thứ tư, khuyến khích xã hội hóa đầu tư giao thông xanh:

Để khuyến khích xã hội hóa đầu tư giao thông xanh, cần tạo ra một môi trường chính sách minh bạch, hấp dẫn và ổn định để doanh nghiệp, tổ chức quốc tế và cộng đồng cùng tham gia. Trước hết, Nhà nước cần ban hành các cơ chế ưu đãi về thuế, tín dụng xanh và hỗ trợ tài chính cho doanh nghiệp đầu tư vào sản xuất, vận hành phương tiện xanh cũng như xây dựng hạ tầng trạm sạc điện. Song song, cần đẩy mạnh hợp tác quốc tế nhằm thu hút nguồn vốn và công nghệ tiên tiến, giảm gánh nặng cho ngân sách nhà nước. Ngoài ra, việc xã hội hóa đầu tư phải gắn với quy hoạch đồng bộ, đảm bảo lợi ích lâu dài cho cả nhà đầu tư và người dân. Chính phủ cũng nên khuyến khích các mô hình hợp tác công - tư (PPP) trong phát triển hạ tầng giao thông xanh, từ đó tạo động lực cho doanh nghiệp tham gia mạnh mẽ hơn. Đây là cách tiếp cận toàn diện để biến giao thông xanh thành xu thế bền vững, không chỉ dựa vào ngân sách công mà còn dựa vào sức mạnh của toàn xã hội.

5. KẾT LUẬN

Đại hội XIV của Đảng Cộng sản Việt Nam đã xác định phát triển giao thông xanh là một định hướng chiến lược, gắn với chuyển đổi xanh, kinh tế tuần hoàn và mục tiêu phát triển bền vững. Trọng tâm là giảm phát thải, khuyến khích phương tiện sạch, hiện đại hóa hạ tầng và quản lý thông minh để hướng tới xã hội xanh - kinh tế xanh. Theo đó, cần tích cực chuyển đổi năng lượng sạch trong giao thông vận tải, đầu tư hạ tầng đồng bộ, khuyến khích xã hội hóa và hợp tác quốc tế, cùng với nâng cao nhận thức cộng đồng trong giao thông xanh. Đây là những giải pháp toàn diện nhằm giảm phát thải, cải thiện chất lượng không khí, nâng cao đời sống nhân dân và khẳng định cam kết của Việt Nam đối với mục tiêu phát triển kinh tế xanh, hướng tới Net Zero 2050. Như vậy, giao thông xanh không chỉ là một định hướng chính trị - kinh tế, mà còn là con đường tất yếu để Việt Nam hội nhập sâu rộng và vững bước trong kỷ nguyên mới.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Tùng Dương. Phát triển giao thông xanh không chỉ là chuyển đổi phương tiện xanh. Internet: https://vneconomy.vn/phat-trien-giao-thong-xanh-khong-chi-la-chuyen-doi-phuong-tien-xanh.htm.

[2] Tổng Bí thư Tô Lâm. Một số nội dung cơ bản về kỷ nguyên mới, kỷ nguyên vươn mình của dân tộc; những định hướng chiến lược đưa đất nước bước vào kỷ nguyên mới, kỷ nguyên vươn mình của dân tộc. Internet: https://tapchicongsan.org.vn/media-story/-/asset_publisher/V8hhp4dK31Gf/content/ky-nguyen-moi-ky-nguyen-vuon-minh-cua-dan-toc-ky-nguyen-phat-trien-giau-manh-duoi-su-lanh-dao-cam-quyen-cua-dang-cong-san-xay-dung-thanh-cong-nuoc-vie.

[3] Giao thông xanh: Tầm nhìn chiến lược quốc gia hướng tới phát thải ròng bằng 0. Internet: https://nhandan.vn/special/giaothongxanhtamnhinchienluocquocgiahuong-toiphatthairongbang0/index.html.

[4] Đảng Cộng sản Việt Nam. Văn kiện Đại hội Đại biểu toàn quốc lần thứ XIV. NXB. Chính trị Quốc gia Sự thật, tập I, Hà Nội, 2026.

[5] Nguyễn Hải. Việt Nam có 77 triệu xe máy, cứ 1.000 dân có 770 người sở hữu xe máy. Internet: https://dantri.com.vn/thoi-su/viet-nam-co-77-trieu-xe-may-cu-1000-dan-co-770-nguoi-so-huu-xe-may-20241104141910472.htm.

[6]. Ngân hàng Thế giới. Hành trình bứt phá - Chuyển đổi sang xe điện tại Việt Nam. Báo cáo điểm lại tháng 3/2025, World Bank, 2025.

■Ngày nhận bài: 29/4/2026 ■Ngày sửa bài: 14/5/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 28/5/2026

Nghiên cứu các yếu tố rủi ro liên quan đến chủ đầu tư trong các dự án xây dựng công trình giao thông sử dụng vốn đầu tư công ở Việt Nam

A study on risk factors associated with project owners in public investment-funded transport construction projects in Vietnam

> **THS TRẦN MINH ĐỨC, PGS.TS NGUYỄN LƯƠNG HẢI***
Trường Đại học Giao thông vận tải
*Email: hainl@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo nhận diện các yếu tố rủi ro liên quan đến chủ đầu tư (CĐT) trong các dự án xây dựng công trình giao thông (CTGT) sử dụng vốn đầu tư công (ĐTC) tại Việt Nam - nhóm chủ thể trực tiếp tổ chức quản lý và điều phối quá trình thực hiện dự án. Bài báo sử dụng phương pháp tổng hợp tài liệu, phân tích nội dung văn bản pháp lý hiện hành và đối chiếu với thực tiễn triển khai dự án CTGT sử dụng vốn ĐTC tại Việt Nam để nhận diện các yếu tố rủi ro. Trên cơ sở đó, năm nhóm trách nhiệm chính của CĐT theo khung pháp lý về ĐTC và danh mục gồm 10 yếu tố rủi ro ký hiệu S2.1 đến S2.10 được xác định. Các yếu tố rủi ro này phản ánh các nội dung quản lý chủ yếu thuộc trách nhiệm của CĐT trong công tác tổ chức và điều hành dự án, đấu thầu và quản lý hợp đồng, quản lý chi phí và giải ngân vốn, quản lý chất lượng và giám sát, phối hợp và giải trình. Kết quả nghiên cứu góp phần bổ sung cơ sở lý luận cho cách tiếp cận quản lý rủi ro theo tác nhân dự án, đồng thời cung cấp danh mục phục vụ các nghiên cứu định lượng tiếp theo.

Từ khóa: Rủi ro dự án; chủ đầu tư; dự án sử dụng vốn đầu tư công; công trình giao thông; quản lý rủi ro theo chủ thể.

ABSTRACT

This paper identifies risk factors associated with project owners (POs) in public investment-funded transport construction projects in Vietnam - the stakeholder group directly responsible for organizing, managing and coordinating project implementation. The study employs literature synthesis, content analysis of the current legal framework and comparison with practical implementation of public investment-funded transport construction projects in Vietnam to identify risk factors. On that basis, five main areas of PO responsibility under the legal framework for public investment and construction are identified, together with a list of 10 risk factors coded from S2.1 to S2.10. These risk factors reflect the main management responsibilities of POs in project organization and administration, contractor selection and contract management, cost management and capital disbursement, quality management and supervision and coordination and accountability. The findings contribute to the theoretical foundation of stakeholder-based risk management and provide a preliminary list of risk factors for subsequent quantitative studies on risk in public investment-funded transport construction projects in Vietnam.

Keywords: Project risk; project owner; public investment-funded project; transport construction project; stakeholder-based risk management.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Các dự án xây dựng CTGT sử dụng vốn ĐTC đóng vai trò chủ đạo trong phát triển kết cấu hạ tầng giao thông tại Việt Nam, góp phần thúc đẩy tăng trưởng kinh tế, kết nối vùng miền và nâng cao chất lượng sống của người dân. Các dự án thuộc nhóm này thường có quy mô và tổng mức đầu tư lớn, thời gian thực hiện dài, yêu cầu kỹ thuật cao, đồng thời chịu sự điều chỉnh của nhiều hệ thống văn bản pháp luật về ĐTC, xây dựng, đấu thầu, ngân sách nhà nước, đất đai và môi trường, nên quá trình triển khai có mức độ phức tạp cao và tiềm ẩn nhiều rủi ro quản lý.

Trên thực tế, nhiều dự án CTGT sử dụng vốn ĐTC tại Việt Nam còn tồn tại các vấn đề như chậm tiến độ, điều chỉnh tổng mức đầu

tư, chậm giải ngân, vướng mắc giải phóng mặt bằng và phát sinh khối lượng [1, 2]. Bên cạnh các yếu tố kỹ thuật và khách quan, nhiều hạn chế còn bắt nguồn từ năng lực tổ chức thực hiện, ra quyết định và mức độ phối hợp giữa các bên liên quan. Trong các dự án CTGT sử dụng vốn ĐTC, CĐT là chủ thể trực tiếp tổ chức triển khai dự án, bao gồm tổ chức lập dự án, lựa chọn nhà thầu, quản lý hợp đồng, kiểm soát thi công, nghiệm thu công trình, đề nghị giải ngân và quyết toán vốn đồng thời chịu trách nhiệm trong phạm vi nhiệm vụ, quyền hạn được giao [3, 4, 5]. CĐT giữ vai trò đầu mối tổ chức thực hiện, đề xuất hoặc quyết định nhiều nội dung quản lý trong phạm vi thẩm quyền hoặc được giao. Chính vì vậy, hoạt động quản lý của CĐT là một nguồn phát sinh rủi ro đáng chú ý trong các dự án CTGT có quy mô lớn và sử dụng vốn ĐTC.

Các nghiên cứu hiện hành về rủi ro dự án xây dựng thường phân loại rủi ro theo bản chất như kỹ thuật, tài chính, pháp lý, tiến độ hoặc môi trường. Hướng tiếp cận này có giá trị trong phân tích các đặc tính rủi ro, nhưng chưa làm rõ mối liên hệ giữa từng rủi ro với chủ thể có thẩm quyền và trách nhiệm kiểm soát tương ứng trong dự án có nhiều bên tham gia. Cách tiếp cận nghiên cứu rủi ro theo tác nhân khắc phục hạn chế này bằng cách gắn mỗi yếu tố rủi ro với chủ thể có thẩm quyền pháp lý, năng lực chuyên môn và trách nhiệm trực tiếp để phòng ngừa, kiểm soát rủi ro đó [6, 7], tạo cơ sở phân bổ trách nhiệm phù hợp với khung pháp lý. Trên cơ sở đó, bài báo tập trung nhận diện các yếu tố rủi ro thuộc trách nhiệm CĐT trong các dự án CTGT sử dụng vốn ĐTC tại Việt Nam. Các yếu tố rủi ro được xác định trên cơ sở đối chiếu các nhóm trách nhiệm pháp lý, quản lý của CĐT với những tình huống có thể gây ảnh hưởng bất lợi đến tiến độ, chi phí, chất lượng và hiệu quả thực hiện dự án.

2. NHẬN DIỆN CÁC YẾU TỐ RỦI RO LIÊN QUAN ĐẾN CĐT

Theo ISO 31000:2018, rủi ro là tác động của sự không chắc chắn đến mục tiêu [8], trong quản lý dự án xây dựng, các mục tiêu này gắn với phạm vi, tiến độ, chi phí, chất lượng và an toàn [3]. Đối với dự án CTGT sử dụng vốn ĐTC, rủi ro phát sinh không chỉ từ điều kiện kỹ thuật mà còn từ cơ chế quản lý vốn, thủ tục pháp lý và sự phối hợp giữa các bên liên quan. Theo lý thuyết các bên liên quan, kết quả dự án chịu ảnh hưởng bởi các chủ thể có khả năng tác động đến mục tiêu hoặc chịu tác động từ quá trình thực hiện [9], trong đó CĐT là chủ thể có nhiệm vụ, quyền hạn và trách nhiệm quản lý được pháp luật quy định, đồng thời trực tiếp tổ chức thực hiện, điều phối các bên và xử lý các yêu cầu phát sinh, qua đó thể hiện rõ các thuộc tính về quyền lực, tính chính danh và tính cấp thiết [10]. Vì vậy, nhận diện rủi ro thuộc nhóm chủ thể này có ý nghĩa rất quan trọng đối với quản lý rủi ro tổng thể của dự án.

Theo Luật Xây dựng số 135/2025/QH15 [4] và Luật ĐTC số 58/2024/QH15, được sửa đổi, bổ sung bởi Luật số 90/2025/QH15 [5], CĐT là cơ quan, tổ chức được giao quản lý và sử dụng vốn ĐTC để thực hiện dự án; có trách nhiệm tổ chức quản lý quá trình thực hiện dự án và chịu trách nhiệm trước pháp luật trong phạm vi nhiệm vụ, quyền hạn được giao.

Các nhóm trách nhiệm chính của CĐT theo các văn bản pháp luật về ĐTC, xây dựng, đấu thầu, quản lý chi phí và quản lý chất lượng công trình [4, 5, 11, 12, 13, 14] được tổng hợp tại Bảng 1. Đây là cơ sở để nhận diện các yếu tố rủi ro có thể phát sinh trong từng nhóm trách nhiệm và hình thành danh mục các yếu tố rủi ro tại Bảng 2.

Bảng 1. Khung trách nhiệm của CĐT làm cơ sở nhận diện rủi ro

Nhóm trách nhiệm	Nội dung trách nhiệm chính	Căn cứ pháp lý	Yếu tố rủi ro liên quan
Tổ chức và điều hành dự án	Tổ chức lập, trình thẩm định, trình phê duyệt và tổ chức triển khai dự án; ra quyết định trong phạm vi thẩm quyền hoặc được ủy quyền; điều phối nguồn lực và hoạt động quản lý dự án.	Luật Xây dựng [4]; NĐ 175/2024 [11]	S2.1, S2.2, S2.3
Đấu thầu và quản lý hợp đồng	Tổ chức lựa chọn nhà thầu; thương thảo, ký kết và quản lý hợp đồng xây dựng, hợp đồng tư vấn trong quá trình thực hiện dự án.	Luật Đấu thầu [14]; NĐ 175/2024 [11]	S2.4, S2.5
Quản lý chi phí và giải ngân vốn	Lập, kiểm soát chi phí; tổ chức nghiệm thu khối lượng, lập hồ sơ thanh toán, đề nghị giải ngân và quyết toán vốn dự án.	NĐ 10/2021 [13]; Luật ĐTC [5]	S2.6, S2.7
Quản lý chất lượng thi công và giám sát hiện trường	Tổ chức giám sát thi công, kiểm tra chất lượng, quản lý an toàn trong thi công, nghiệm thu và bàn giao công trình.	Luật Xây dựng [4]; NĐ 06/2021 [12]	S2.8
Phối hợp và giải trình	Phối hợp với các bên liên quan trong quá trình thực hiện dự án; công khai thông tin trong phạm vi quản lý dự án, lựa chọn nhà thầu, điều chỉnh dự án và sử dụng vốn.	Luật ĐTC [5]; Luật Đấu thầu [14]	S2.9, S2.10

Dựa trên nội dung Bảng 1, đối chiếu với lý luận quản lý rủi ro dự án [3, 8] và các nghiên cứu về rủi ro liên quan đến chủ thể trong dự án xây dựng [6, 7], đồng thời tham khảo thực tiễn dự án CTGT sử dụng vốn ĐTC tại Việt Nam [1, 2, 15], nghiên cứu nhận diện 10 yếu tố rủi ro thuộc nhóm CĐT, ký hiệu S2.1 đến S2.10 theo trình tự các nhóm trách nhiệm từ Bảng 1.

Nhóm trách nhiệm tổ chức và điều hành dự án thường phát sinh 3 yếu tố rủi ro. Năng lực quản lý dự án là điều kiện căn bản quyết định hiệu quả tổ chức thực hiện [3]; khi CĐT còn thiếu kinh nghiệm với dự án quy mô lớn, hạn chế về chuyên môn và khả năng điều phối nguồn lực dự án sẽ hình thành yếu tố S2.1 - Hạn chế năng lực quản lý dự án. Dự án CTGT phải tuân thủ nhiều thủ tục pháp lý từ thẩm định, phê duyệt thiết kế, dự toán, lựa chọn nhà thầu đến nghiệm thu, thanh quyết toán [11]; khi hồ sơ pháp lý hoặc thủ tục chưa đầy đủ, chưa đúng quy định, quá trình triển khai gặp khó khăn và phát sinh điều chỉnh dẫn tới yếu tố rủi ro S2.2 - Hồ sơ và thủ tục pháp lý chưa đầy đủ. Khi các quyết định quản lý của CĐT trong phạm vi thẩm quyền, về điều chỉnh thiết kế, xử lý phát sinh kỹ thuật hoặc phê duyệt thanh toán khối lượng bị chậm so với yêu cầu thực tế, dự án bị gián đoạn và phát sinh chi phí do kéo dài thời gian, hình thành yếu tố rủi ro S2.3 - Chậm ra quyết định trong quá trình thực hiện dự án.

Nhóm trách nhiệm đấu thầu và quản lý hợp đồng bao gồm hai yếu tố chủ đạo dựa trên nội dung Luật Đấu thầu [14], yêu cầu lựa chọn nhà thầu trên cơ sở cạnh tranh, công bằng, minh bạch và bảo đảm hiệu quả kinh tế; khi nhà thầu thi công chưa đáp ứng yêu cầu dự án về năng lực, kinh nghiệm, nguồn lực, rủi ro tiến độ và chất lượng gia tăng [15], được xác định là S2.4 - Lựa chọn nhà thầu chưa bảo đảm phù hợp với yêu cầu dự án. Trong dự án quy mô lớn, hợp đồng thường chịu tác động của thay đổi điều kiện thi công, biến động giá vật liệu, điều chỉnh thiết kế [13]; khi công tác quản lý hợp đồng xây dựng và tư vấn chưa chặt chẽ - bao gồm điều chỉnh hợp đồng, phát sinh khối lượng, tiến độ và thanh toán - tranh chấp hoặc kéo dài thời gian xử lý phát sinh có thể xảy ra, hình thành S2.5 - Quản lý hợp đồng kém hiệu quả.

Các yếu tố thuộc nhóm quản lý chi phí và giải ngân vốn gắn với dòng vốn của dự án. Trách nhiệm tổ chức nghiệm thu khối lượng hoàn thành, lập hồ sơ thanh toán và đề nghị giải ngân theo Luật ĐTC [5] thuộc về CĐT. Khi các bước này chậm hoặc không đúng quy trình, vốn không được giải ngân kịp thời, ảnh hưởng đến năng lực tài chính của nhà thầu và tiến độ chung, được xác định là S2.6 - Chậm nghiệm thu, thanh toán và đề nghị giải ngân vốn. Trong dự án CTGT quy mô lớn, điều kiện địa chất, hiện trạng giải phóng mặt bằng và yêu cầu kỹ thuật thường xuyên thay đổi; khi kiểm soát phạm vi công việc và quản lý các thay đổi thiết kế chưa chặt chẽ, phát sinh khối lượng bổ sung xảy ra thường xuyên, làm tăng chi phí dự án, hình thành S2.7 - Quản lý phạm vi, phát sinh khối lượng và thay đổi thiết kế chưa hiệu quả.

Nhóm trách nhiệm quản lý chất lượng và giám sát tập trung vào yếu tố cốt lõi trong giai đoạn thi công. Công tác giám sát thi công, kiểm tra chất lượng, quản lý an toàn và xử lý sai lệch tại hiện trường phải được duy trì trong suốt giai đoạn thi công [12]; khi các hoạt động này chưa được thực hiện đầy đủ, các các vấn đề về chất lượng, kỹ thuật và an toàn có thể không được phát hiện và xử lý kịp thời, hình thành yếu tố S2.8 - Giám sát chất lượng thi công và kiểm soát hiện trường chưa hiệu quả.

Nhóm trách nhiệm phối hợp và giải trình gắn với vai trò điều phối của CĐT trong mối quan hệ giữa tư vấn, nhà thầu và cơ quan quản lý nhà nước [16]. Khi phối hợp giữa các bên tham gia dự án không hiệu quả, công việc bị chậm trễ và xung đột phát sinh, được xác định là S2.9 - Phối hợp với các bên liên quan kém hiệu quả. Đối với dự án sử dụng vốn nhà nước, công khai thông tin và trách nhiệm giải trình là yêu cầu xuyên suốt vòng đời dự án [3, 5, 14]; khi thông tin về lựa chọn nhà thầu, quản lý hợp đồng, điều chỉnh dự án và sử dụng vốn chưa được công khai và giải trình đầy đủ, rủi ro xung đột lợi ích gia tăng, hình thành S2.10 - Công khai thông tin và trách nhiệm giải trình chưa đầy đủ. Tổng hợp các yếu tố rủi ro được thể hiện ở Bảng 2.

Bảng 2. Các yếu tố rủi ro liên quan đến CĐT trong dự án xây dựng CTGT sử dụng vốn ĐTC

STT	Mã	Nhóm trách nhiệm	Tên yếu tố rủi ro	Nội dung
1	S2.1	Tổ chức và điều hành dự án	Hạn chế năng lực quản lý dự án	Năng lực chuyên môn, kinh nghiệm quản lý và khả năng điều phối nguồn lực của CĐT còn hạn chế, ảnh hưởng đến hiệu quả tổ chức và điều hành dự án.
2	S2.2	Tổ chức và điều hành dự án	Hồ sơ và thủ tục pháp lý chưa đầy đủ	Hồ sơ pháp lý của dự án hoặc các thủ tục liên quan chưa đầy đủ, chưa đồng bộ theo quy định, gây khó khăn cho quá trình triển khai dự án và phát sinh điều chỉnh hồ sơ.
3	S2.3	Tổ chức và điều hành dự án	Chậm ra quyết định trong quá trình thực hiện dự án	Các quyết định quản lý của CĐT (phê duyệt điều chỉnh thiết kế, xử lý phát sinh kỹ thuật, phê duyệt thanh toán khối lượng), trong phạm vi thẩm quyền hoặc nhiệm vụ được giao, đưa ra chậm so với yêu cầu thực tế.
4	S2.4	Đấu thầu và quản lý hợp đồng	Lựa chọn nhà thầu chưa bảo đảm phù hợp với yêu cầu dự án	Quá trình lựa chọn nhà thầu thi công hoặc nhà thầu cung cấp dịch vụ chưa bảo đảm phù hợp với yêu cầu của dự án về năng lực, kinh nghiệm hoặc nguồn lực, làm gia tăng rủi ro tiến độ và chất lượng.
5	S2.5	Đấu thầu và quản lý hợp đồng	Quản lý hợp đồng kém hiệu quả	Công tác quản lý hợp đồng xây dựng và hợp đồng tư vấn chưa chặt chẽ, bao gồm quản lý điều chỉnh hợp đồng, phát sinh khối lượng, tiến độ và thanh toán, có thể dẫn đến tranh chấp hoặc kéo dài thời gian xử lý phát sinh.
6	S2.6	Quản lý chi phí và giải ngân vốn	Chậm nghiệm thu, thanh toán và đề nghị giải ngân vốn	Vốn đầu tư không được giải ngân kịp thời do CĐT chậm tổ chức nghiệm thu khối lượng hoàn thành, lập hồ sơ thanh toán chưa đầy đủ hoặc đề nghị giải ngân không đúng quy trình. Phân biệt với rủi ro chậm phân bổ vốn thuộc thẩm quyền của cơ quan quản lý nhà nước.

STT	Mã	Nhóm trách nhiệm	Tên yếu tố rủi ro	Nội dung
7	S2.7	Quản lý chi phí và giải ngân vốn	Quản lý phạm vi, phát sinh khối lượng và thay đổi thiết kế chưa hiệu quả	Việc kiểm soát phạm vi công việc và quản lý các thay đổi thiết kế chưa chặt chẽ, dẫn đến phát sinh khối lượng, thay đổi thiết kế thường xuyên và tăng chi phí dự án.
8	S2.8	Quản lý chất lượng thi công và giám sát hiện trường	Giám sát chất lượng thi công và kiểm soát hiện trường chưa hiệu quả	Công tác giám sát thi công, kiểm tra chất lượng, an toàn và xử lý sai lệch tại hiện trường chưa được thực hiện đầy đủ, dẫn đến phát hiện chậm các vấn đề về chất lượng, kỹ thuật và an toàn trong quá trình thi công.
9	S2.9	Phối hợp và giải trình	Phối hợp với các bên liên quan kém hiệu quả	Phối hợp giữa CĐT với các bên liên quan như tư vấn, nhà thầu và cơ quan, tổ chức có liên quan chưa hiệu quả, làm chậm trễ xử lý công việc và gia tăng xung đột.
10	S2.10	Phối hợp và giải trình	Công khai thông tin và trách nhiệm giải trình chưa đầy đủ	Thông tin liên quan đến lựa chọn nhà thầu, quản lý hợp đồng, điều chỉnh dự án và sử dụng vốn chưa được công khai và giải trình đầy đủ, làm gia tăng rủi ro xung đột lợi ích.

Nguồn: Tổng hợp của tác giả trên cơ sở phân tích khung pháp lý hiện hành, lý luận quản lý rủi ro dự án và các nghiên cứu liên quan.

Vai trò quản lý dự án của CĐT làm cho nhóm tác nhân này vừa có khả năng là nguồn phát sinh rủi ro, vừa đóng vai trò trung gian trong tiếp nhận, xử lý và điều phối các rủi ro phát sinh từ các tác nhân khác. Do đó, hiệu quả quản lý rủi ro tổng thể của dự án phụ thuộc đáng kể vào năng lực vận hành, chất lượng ra quyết định và khả năng phối hợp của CĐT.

3. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã tổng hợp 5 nhóm trách nhiệm chính của CĐT theo khung pháp lý về ĐTC và xây dựng, làm cơ sở nhận diện 10 yếu tố rủi ro liên quan, ký hiệu từ S2.1 đến S2.10. Cách tiếp cận này giúp làm rõ mối liên hệ giữa từng yếu tố rủi ro, nhóm trách nhiệm tương ứng và tác nhân có nghĩa vụ kiểm soát trong quá trình quản lý dự án. Kết quả nghiên cứu góp phần bổ sung cơ sở lý luận cho cách tiếp cận quản lý rủi ro theo nhóm tác nhân trong dự án CTGT sử dụng vốn ĐTC tại Việt Nam, đồng thời cung cấp nền tảng cho các nghiên cứu định lượng tiếp theo nhằm sàng lọc, phân tích quan hệ ảnh hưởng và xác định mức độ ưu tiên của các yếu tố rủi ro trong thực tiễn quản lý dự án.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Nguyễn Lương Hải. Nghiên cứu sự ảnh hưởng của công tác lập kế hoạch đến hiệu quả hoạt động quản lý nhà nước trong đầu tư công xây dựng hạ tầng đường bộ tại Việt Nam. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCNXD) - ĐHXD, số 13(3V), tr. 108-115, 2019.

[2] Nguyễn Lương Hải. Nghiên cứu mô hình ảnh hưởng của hành vi tổ chức dự án đến chất lượng đạt được của các công trình xây dựng cơ sở hạ tầng giao thông tại Việt Nam. Transport and Communications Science Journal, số 71(5), tr. 458-471, 2020.

[3] Project Management Institute. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide), 6th ed. Project Management Institute, 2017.

[4] Quốc hội nước CHXHCN Việt Nam. Luật Xây dựng số 135/2025/QH15, ban hành ngày 10/12/2025, có hiệu lực từ ngày 01/7/2026. Hà Nội, 2025.

[5] Quốc hội nước CHXHCN Việt Nam. Luật Đầu tư công số 58/2024/QH15. Hà Nội, 2024; được sửa đổi, bổ sung bởi Luật số 90/2025/QH15 sửa đổi, bổ sung một số điều của Luật Đầu tư công, 2025.

[6] N. Xia, J. Guo and Y.-H. Lin. Managing stakeholder attributes for risk mitigation: Evidence from construction project contractors. International Journal of Managing Projects in Business, vol. 14, no. 7, pp. 1605-1625, 2021, doi: 10.1108/IJMPB-11-2020-0345.

[7] H. Vo and J.-B. Yang. Incorporating stakeholder perception into risk assessment model: An empirical study of highway construction projects. Engineering, Construction and Architectural Management, 2025, doi: 10.1108/ECAM-11-2024-1494.

[8] International Organization for Standardization. ISO 31000:2018, Risk Management - Guidelines. ISO, Geneva, 2018.

[9] R. E. Freeman. Strategic Management: A Stakeholder Approach. Cambridge University Press, 2010 (tái bản từ bản gốc Pitman, 1984).

[10] R. K. Mitchell, B. R. Agle and D. J. Wood. Toward a Theory of Stakeholder Identification and Salience: Defining the Principle of Who and What Really Counts. The Academy of Management Review, vol. 22, no. 4, pp. 853-886, 1997.

[11] Chính phủ. Nghị định số 175/2024/NĐ-CP ngày 30/12/2024 quy định chi tiết một số điều và biện pháp thi hành Luật Xây dựng về quản lý hoạt động xây dựng.

[12] Chính phủ. Nghị định số 06/2021/NĐ-CP ngày 26/01/2021 về quản lý chất lượng, thi công xây dựng và bảo trì công trình xây dựng.

[13] Chính phủ. Nghị định số 10/2021/NĐ-CP ngày 09/02/2021 về quản lý chi phí đầu tư xây dựng.

[14] Quốc hội nước CHXHCN Việt Nam. Luật Đấu thầu số 22/2023/QH15, ban hành ngày 23/6/2023, có hiệu lực từ ngày 01/01/2024; được sửa đổi, bổ sung bởi Luật số 57/2024/QH15 và Luật số 90/2025/QH15.

[15] T. P. Nguyen and N. Chileshe. Revisiting the critical factors causing failure of construction projects in Vietnam. In Proc. 29th Annual ARCOM Conference, Reading, UK, Sep., 2013, pp. 929-939.

[16] J. Yang, G. Q. Shen, M. Ho, D. S. Drew and X. Xue. Stakeholder management in construction: An empirical study to address research gaps in previous studies. International Journal of Project Management, vol. 29, no. 7, pp. 900-910, 2011.

■Ngày nhận bài: 08/5/2026 ■Ngày sửa bài: 25/5/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 04/6/2026

Các yếu tố ảnh hưởng đến kết quả học tập của sinh viên ngành Quản trị kinh doanh, Khoa Quản trị, Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải

Factors affecting the academic performance of business administration students, Faculty of Management, University of Transport Technology

> **TS NGUYỄN THỊ HẠNH*, THS TRẦN THỊ KIM PHƯỢNG**
Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải
*Email: hanhnt@utt.edu.vn

TÓM TẮT

Mục tiêu chính của nghiên cứu này là đề xuất các giải pháp nhằm cải thiện kết quả học tập của sinh viên ngành Quản trị kinh doanh, Khoa Quản trị thông qua việc phân tích các yếu tố tác động. Để đạt được mục tiêu này, tác giả sử dụng mô hình cấu trúc PLS - SEM trong xử lý và phân tích dữ liệu. Kết quả cho thấy, thành tích học tập của sinh viên bị ảnh hưởng chủ yếu từ động cơ học tập, làm thêm, gia đình - xã hội - bạn bè, phương pháp học tập, phương pháp giảng dạy. Trong đó, phương pháp học tập, làm thêm và văn hóa học đường được xác định là các yếu tố có mức độ tác động mạnh nhất. Trên cơ sở đó, bài báo đề xuất ba nhóm giải pháp tương ứng với từng yếu tố chủ đạo nhằm nâng cao kết quả học tập của sinh viên ngành Quản trị kinh doanh, Khoa Quản trị, Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải.

Từ khóa: Kết quả học tập; yếu tố ảnh hưởng; sinh viên ngành quản trị kinh doanh; phương pháp học tập; Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải.

ABSTRACT

The main objective of this study is to propose solutions to improve the academic performance of business administration students at the Faculty of Management through the analysis of influencing factors. To achieve this objective, the author uses a PLS-SEM structural model in data processing and analysis. The results show that students' academic performance is mainly influenced by learning motivation, part-time work, family-social-peer factors, learning methods and teaching methods. Among these, learning methods, part-time work, and school culture are identified as the factors with the strongest impact. Based on this, the article proposes three groups of solutions corresponding to each main factor to improve the academic performance of business administration students at the Faculty of Management, University of Transport Technology.

Keywords: Academic performance; influencing factors; business administration students; learning methods; University of Transport Technology.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, giáo dục đại học đang chịu sự cạnh tranh ngày càng gay gắt và yêu cầu ngày càng cao về chất lượng nguồn nhân lực. Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải với sứ mệnh đào tạo nguồn nhân lực chất lượng cao theo định hướng ứng dụng, đa ngành, đa lĩnh vực, luôn đặt chất lượng đào tạo làm trọng tâm trong chiến lược phát triển. Trong đó, kết quả học tập của sinh viên là thước đo trực tiếp và tổng hợp phản ánh hiệu quả của quá trình đào tạo, mức độ tiếp thu kiến thức, kỹ năng và sự hình thành năng lực nghề nghiệp của người học. Kết quả học tập không chỉ là căn cứ để đánh giá, xếp loại học lực và xét tốt nghiệp mà còn tác động sâu rộng đến cơ hội việc làm, khả năng khởi nghiệp, triển vọng thăng tiến nghề nghiệp cũng như định hướng học tập sau đại học của sinh viên. Cho nên, việc nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến kết quả học tập của sinh viên ngành Quản trị kinh doanh, Khoa Quản trị có ý nghĩa đặc biệt quan trọng đối với sinh viên và Nhà trường, từ đó

đóng góp cơ sở khoa học cho việc đổi mới chương trình đào tạo, phương pháp giảng dạy, hoạch định chiến lược phát triển của Nhà trường trong những năm tiếp theo.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VỀ KẾT QUẢ HỌC TẬP CỦA SINH VIÊN

2.1. Khái niệm kết quả học tập và kết quả học tập của sinh viên

Kết quả học tập là mức độ mà người học đạt được sau một giai đoạn học tập so với mục tiêu đã được xác định.

Kết quả học tập của sinh viên là mức độ đạt được các mục tiêu, chuẩn đầu ra hoặc năng lực mà sinh viên cần đạt sau quá trình học tập được thể hiện thông qua điểm số, xếp loại học lực, kỹ năng thực hành, khả năng tư duy, thái độ học tập và khả năng áp dụng kiến thức vào thực tiễn.

2.2. Các yếu tố ảnh hưởng đến kết quả học tập của sinh viên

Kết quả học tập của sinh viên chịu ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố khác nhau. Các nghiên cứu trong nước và quốc tế chỉ ra rằng, các yếu tố sau có tác động khác nhau nhưng đều ảnh hưởng quyết định đến kết quả học tập của sinh viên:

- Cơ sở vật chất: Một trong những yếu tố quyết định nền tảng đến kết quả học tập của sinh viên là cơ sở vật chất. Nghiên cứu của Nguyễn Huyền Trang & Nguyễn Thu Hà (2020) cho rằng, Nhà trường cần có đủ các phương tiện, trang thiết bị cần thiết đáp ứng yêu cầu về đào tạo và nghiên cứu khoa học; có cơ sở thực hành và trang thiết bị chuyên biệt theo yêu cầu nhằm đảm bảo chất lượng đào tạo đối từng ngành nghề đào tạo. Trong khi đó, theo nghiên cứu của Phan Thị Hồng Thảo (2020) thì: Thư viện và trung tâm thông tin, học liệu phải có đủ các giáo trình, tài liệu tham khảo cần thiết cho các ngành nghề đào tạo; có bản quyền truy cập ít nhất 1 cơ sở dữ liệu khoa học quốc tế và có ít nhất 1 tạp chí khoa học quốc tế đối với mỗi ngành đào tạo.

- Động cơ học tập: Theo nghiên cứu của Đỗ Thị Mẫn (2023): Động lực học của sinh viên được cấu thành bởi nhiều yếu tố trong đó nhu cầu học tập là yếu tố quan trọng nhất tạo động lực học. Nhu cầu học càng mạnh thì việc học càng tích cực và ngược lại. Nghiên cứu của Nguyễn Thanh Phong (2024) cho rằng động cơ bên trong có tác dụng thúc đẩy và phát triển hoạt động học của người học, còn động cơ bên ngoài chỉ là tác nhân kích thích hoạt động học và đôi khi làm giảm sự tích cực của hoạt động học nếu người học không nhận ra được lợi ích từ kết quả của hoạt động học mang lại.

- Làm thêm: Theo nghiên cứu của Uông Thị Nga, Nguyễn Thị Mai, Phạm Thị Ngọc (2023), làm thêm có ảnh hưởng đến kết quả học tập của sinh viên theo xu hướng bị giảm. Nếu thời gian làm thêm quá nhiều, sinh viên có thể bị suy giảm thời lượng học tập và nghỉ ngơi, giảm khả năng tiếp thu kiến thức, từ đó ảnh hưởng tiêu cực đến kết quả học tập.

- Gia đình xã hội bạn bè: Theo nghiên cứu của Biện chứng học (2015) thì điều kiện kinh tế, sự quan tâm và trình độ học vấn của cha mẹ có thể tác động trực tiếp đến động lực và kết quả học tập của sinh viên. Theo nghiên cứu của Lê Thị Ngọc Diệp (2024): Sự tương tác với bạn bè có thể tạo động lực học tập tích cực thông qua hỗ trợ, chia sẻ kiến thức và hình thành chuẩn mực học tập chung, nhưng cũng có thể dẫn đến sao nhãng nếu tồn tại các hành vi tiêu cực.

- Phương pháp giảng dạy: Nghiên cứu của Lastri, Sri Kartikowati, Sumarno (2020) cho rằng: Phương pháp giảng dạy có ảnh hưởng trực tiếp đến mức độ tiếp thu và hứng thú học tập của sinh viên. Các phương pháp tích cực như học tập chủ động, thảo luận nhóm và ứng dụng thực tiễn giúp nâng cao khả năng tư duy và ghi nhớ kiến thức. Ngược lại, phương pháp giảng dạy thụ động, thiếu tương tác có thể làm giảm động lực và hiệu quả học tập.

- Phương pháp học tập: Theo nghiên cứu của Trương Thị Tường Vi, Trần Ngọc Quỳnh Như và Kơ Ja K'Hương (2018): Phương pháp học tập quyết định cách sinh viên tiếp cận, xử lý và vận dụng kiến thức. Những phương pháp học tập khoa học như lập kế hoạch, tự học có định hướng và ôn tập thường xuyên giúp cải thiện kết quả học tập rõ rệt, nhưng học tập thiếu chiến lược và phụ thuộc vào học vẹt dễ dẫn đến hiệu quả thấp và nhanh quên kiến thức.

- Quản lý đào tạo: Theo nghiên cứu của Mejia-Rodriguez A.M. & Kyriakides L. (2022) thì: Hệ thống quản lý hiệu quả với chương trình rõ ràng, đánh giá minh bạch và hỗ trợ kịp thời sẽ tạo điều kiện thuận lợi cho sinh viên đạt kết quả tốt. Ngược lại, quản lý thiếu đồng bộ và thiếu linh hoạt có thể gây khó khăn và làm giảm chất lượng học tập.

- Sử dụng mạng xã hội: Nghiên cứu của Nguyễn Thị Anh Thư (2021) cho rằng: Nếu được sử dụng hợp lý, đây là công cụ hỗ trợ học tập, giúp trao đổi thông tin và tiếp cận tài liệu nhanh chóng. Tuy nhiên, việc lạm dụng mạng xã hội có thể gây xao nhãng, giảm thời gian học tập và ảnh hưởng tiêu cực đến kết quả học tập.

- Văn hóa học đường: Theo quan điểm của tác giả thì văn hóa học đường góp phần hình thành môi trường học tập và chuẩn mực hành vi của sinh viên. Một môi trường học đường tích cực, tôn trọng và khuyến khích học tập sẽ thúc đẩy động lực và kết quả học tập. Ngược lại, môi trường thiếu kỷ luật hoặc tồn tại các hành vi tiêu cực có thể cản trở sự phát triển và hiệu quả học tập của sinh viên.

2.3. Giả thuyết nghiên cứu

Giả thuyết H1: Cơ sở vật chất được trang bị đầy đủ trang thiết bị, phương tiện dạy và học lý thuyết cũng như thực hành sẽ ảnh hưởng đến kết quả học tập của sinh viên (Nguyễn Huyền Trang & Nguyễn Thu Hà (2020), Phan Thị Hồng Thảo (2020)).

Giả thuyết 2: Động cơ học tập sẽ thúc đẩy, kích thích, phát triển hoặc giảm sự tích cực của người học nên ảnh hưởng đến kết quả học tập của sinh viên (Đỗ Thị Mẫn (2023), Nguyễn Thanh Phong (2024)).

Giả thuyết 3: Làm thêm giúp cải thiện kỹ năng, tích lũy kinh nghiệm và giảm áp lực tài chính song cũng có thể làm giảm khả năng tiếp thu kiến thức, giảm thời lượng học tập và nghỉ ngơi nên ảnh hưởng đến kết quả học tập của sinh viên (Uông Thị Nga, Nguyễn Thị Mai, Phạm Thị Ngọc (2023)).

Giả thuyết 4: Gia đình xã hội bạn bè tác động trực tiếp ảnh hưởng tích cực hoặc dẫn đến sự sao nhãng trong học tập nên ảnh hưởng đến kết quả học tập của sinh viên (Biện chứng học (2015)).

Giả thuyết 5: Phương pháp giảng dạy tích cực hay thụ động sẽ giúp sinh viên tăng khả năng tư duy, ghi nhớ kiến thức hay giảm động lực học tập nên ảnh hưởng đến kết quả học tập của sinh viên (Lastri, Sri Kartikowati, Sumarno (2020)).

Giả thuyết 6: Phương pháp học tập là kim chỉ nam giúp sinh viên có kế hoạch và cách học hiệu quả nên ảnh hưởng đến kết quả học tập của sinh viên (Trương Thị Tường Vi, Trần Ngọc Quỳnh Như và Kơ Ja K'Hương (2018)).

Giả thuyết 7: Quản lý đào tạo sẽ hỗ trợ thuận lợi cho sinh viên nên ảnh hưởng đến kết quả học tập của sinh viên (Mejia-Rodriguez A.M. & Kyriakides L. (2022)).

Giả thuyết 8: Sử dụng mạng xã hội giúp sinh viên trao đổi thông tin và cập nhật thông tin nhanh chóng nhưng cũng làm sinh viên sao nhãng học tập nên ảnh hưởng đến kết quả học tập của sinh viên (Nguyễn Thị Anh Thư (2021)).

Giả thuyết 9: Văn hóa học đường giúp tạo môi trường học tập và hình thành chuẩn mực hành vi sinh viên, sẽ thúc đẩy động lực học tập nên ảnh hưởng đến kết quả học tập của sinh viên (tác giả).

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu này sử dụng phương pháp phân tích định lượng thông qua khảo sát bảng hỏi để xác định những yếu tố ảnh hưởng đến kết quả học tập của sinh viên. Bảng khảo sát được gửi đến các sinh viên đang học tập tại Khoa Quản trị trong tháng 11/2024. Trong đó, các phát biểu được đo lường bằng thang đo Likert 5 điểm, từ 1 = "Hoàn toàn không đồng ý" đến 5 = "Hoàn toàn đồng ý". Tổng cộng có 320 bảng hỏi được phát ra, trong đó có 308 bảng hợp lệ được sử dụng để phân tích dữ liệu theo mô hình cấu trúc PLS - SEM.

4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Với 308 phiếu hợp lệ thu được từ cuộc điều tra chính thức, sau khi làm sạch, chỉnh lý, tác giả đã nhập dữ liệu bằng phần mềm SPSS. Mục đích của cuộc khảo sát điều tra này nhằm xác định thứ tự ảnh hưởng của các yếu tố đến kết quả học tập của sinh viên ngành Quản trị, Khoa Quản trị. Theo mục đích đó, tác giả đã sử dụng các phương pháp phân tích dữ liệu sau: Đánh giá mô hình cấu trúc PLS - SEM

Theo Hulland & Bentler (1999), nếu mô hình nhận được giá trị SRMR nhỏ hơn 0,1 thì được xem là phù hợp với dữ liệu thực tế. Như vậy, với giá trị SRMR = 0,044<0,100, mô hình nghiên cứu được kết luận phù hợp với địa bàn nghiên cứu tại Khoa Quản trị, Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải.

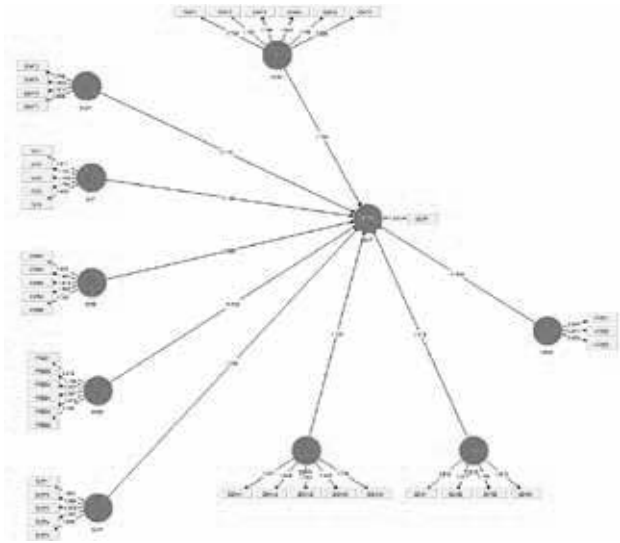
Bảng 1. Kết quả các giá trị

	VIF	R^2	f^2
Cơ sở vật chất (CSVC)	1,286	0,751	0,001
Động cơ học tập (DCHT)	1,377		0,039
Làm thêm (LT)	1,363		0,081
Gia đình xã hội (GDXH)	1,569		0,030
Kết quả học tập (KQHT)			
Phương pháp giảng dạy (PPGD)	1,559		0,001
Phương pháp học tập (PPHT)	1,298		0,107
Quản lý đào tạo (QLDT)	1,624		0,003
Sử dụng mạng xã hội (SDMXH)	1,412		0,025
Văn hóa học đường (VHHD)	2,404		0,427

Nguồn: Kết quả xử lý kết quả khảo sát.

Kết quả ở bảng trên cho thấy, hệ số phóng đại phương sai (VIF) của các biến độc lập đều nhỏ hơn 3 nên mô hình nghiên cứu không có hiện tượng đa cộng tuyến xảy ra. Hệ số xác định R^2 có giá trị 0,751 cho thấy 75,1%, sự ảnh hưởng của kết quả học tập được giải thích bởi các biến độc lập trong mô hình.

Hệ số tác động f^2 của các biến độc lập đối với biến phụ thuộc đều lớn hơn 0,02 và đa phần nhỏ hơn 0,15 cho thấy mức độ giải thích của các biến độc lập đối với biến phụ thuộc khá thấp.



Hình 1. Kết quả mô hình cấu trúc tuyến tính PLS-SEM

Nguồn: Kết quả xử lý dữ liệu khảo sát.

Nghiên cứu của Chin và cộng sự (1996) phân tích tác động của các biến độc lập lên biến phụ thuộc, ngoài xem xét mối quan hệ cũng như có ý nghĩa hay không, công trình còn phải phân tích cường độ tác động của các mối quan hệ để làm căn cứ phân bổ nguồn lực (Nguyễn & Cộng sự, 2017). Đồng thời, để có thể suy rộng kết quả nghiên cứu ra tổng thể, mô hình cần được tiến hành kiểm định lại độ tin cậy với phương pháp Bootstrap với cỡ mẫu lặp lại là 5000 quan sát (Hair và cộng sự, 2017).

Bảng 2. Kết quả kiểm định giả thuyết nghiên cứu

Mối quan hệ	Trọng số gốc (O)	Trọng số trung bình (M)	Standard Deviation (STDEV)	T Statistics (|O/STDEV|)	P Values	Kết luận
CSVC -> KQHT	0,019	0,022	0,033	0,599	0,550	Bác bỏ
DCHT -> KQHT	0,116	0,116	0,029	4,039	0,000	Ủng hộ
LT -> KQHT	0,166	0,165	0,034	4,917	0,000	Ủng hộ
GDXH -> KQHT	0,109	0,108	0,038	2,832	0,005	Ủng hộ
PPGD -> KQHT	0,095	0,094	0,037	2,574	0,010	Ủng hộ
PPHT -> KQHT	0,186	0,189	0,037	4,975	0,000	Ủng hộ
QLDT -> KQHT	0,034	0,032	0,044	0,791	0,429	Bác bỏ
SDFB -> KQHT	-0,023	-0,022	0,035	0,651	0,515	Bác bỏ
VHHD -> KQHT	-0,506	-0,506	0,064	7,889	0,000	Ủng hộ

Nguồn: Kết quả xử lý kết quả khảo sát.

Kết quả kiểm định các hệ số đường dẫn cho thấy có 5 yếu tố có ảnh hưởng ý nghĩa thống kê đến KQHT, với giá trị p < 0,05, bao gồm:

DCHT → KQHT (β = 0,116, T = 4,039, P = 0,000),

LT → KQHT (β = 0,166, T = 4,917, P = 0,000),

GDXH → KQHT (β = 0,109, T = 2,832, P = 0,005),

PPHT → KQHT (β = 0,186, T = 4,975, P = 0,000),

PPGD → KQHT (β = -0,023, T = 2.574, P = 0,010).

Trong đó, yếu tố có ảnh hưởng mạnh nhất đến KQHT là PPHT, tiếp theo là LT và VHHD. Đặc biệt, VHHD có hệ số hồi quy âm rất lớn (β = -0,506, T = 7,889, P = 0,000), cho thấy tác động tiêu cực rõ rệt và có ý nghĩa thống kê cao đối với KQHT, có nghĩa là yếu tố này làm suy giảm đáng kể kết quả học tập.

Ngược lại, ba yếu tố không có ảnh hưởng ý nghĩa thống kê đến KQHT, bao gồm:

CSVC → KQHT (β = 0,019, P = 0,550),

SDFB → KQHT (β = 0,095, P = 0,515),

QLDT → KQHT (β = 0,034, P = 0,429).

Như vậy, trong mô hình nghiên cứu, không phải tất cả các yếu tố đều có tác động đáng kể đến KQHT, mà chỉ một số yếu tố nhất định có vai trò nổi bật và cần được ưu tiên trong các hàm ý thực tiễn.

5. KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ CHÍNH SÁCH

Từ kết quả phân tích số liệu như trên, chúng ta đã rút ra được 5 yếu tố có ảnh hưởng cùng chiều đến kết quả học tập của sinh viên ngành Quản trị, Khoa Quản trị, đó là: Động cơ học tập, làm thêm, gia đình - xã hội - bạn bè, phương pháp học tập, phương pháp giảng dạy. Trong đó, yếu tố phương pháp học tập, làm thêm và văn hóa học đường ảnh hưởng mạnh đến kết quả học tập của sinh viên. Đặc biệt, văn hóa học đường ảnh hưởng tiêu cực đến kết quả học tập của sinh viên.

Song, nghiên cứu này chỉ khảo sát trên một số lượng sinh viên của ngành Quản trị trên tổng số 5 ngành đào tạo thuộc Khoa Quản trị nên tính khái quát của kết quả chưa cao, cần có thêm nghiên cứu trên phạm vi toàn trường và phỏng vấn sâu nhiều đối tượng sinh viên để có kết quả mang tính đại diện cho toàn bộ sinh viên của Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải.

Về phía bản thân sinh viên: Sinh viên cần có động cơ học tập đúng đắn, xác định rõ là học cho bản thân mình, cho tương lai của mình từ đó toàn tâm, toàn ý lo cho việc học. Bên cạnh đó, sinh viên cần được giảng viên và nhà trường giới thiệu cho phương pháp học tập phù hợp đối với từng học phần. Trên lớp học, sinh viên cần chăm chú nghe giảng, hăng hái tham gia phát biểu ý kiến xây dựng bài, ghi chép bài đầy đủ, tập trung cao độ cho việc học tập, không để sao nhãng với các việc cá nhân khác. Về nhà, sinh viên cần hoàn thành các bài tập, xem bài trước khi đến lớp và tìm hiểu sâu hơn, rộng hơn. Thời gian tự học tương tự hoặc nhiều hơn thời gian học trên lớp. Đối với việc đi làm thêm, sinh viên cần xác định rõ làm thêm chỉ là tạm thời, việc học mới là nhiệm vụ quan trọng nhất, có ảnh hưởng quyết định tới tương lai sau này. Đặc biệt, sinh viên cần ăn đủ dinh dưỡng, ngủ đủ giấc và đặc biệt là tinh thần lúc nào cũng phải lạc quan, tâm lý vui tươi sẽ giúp sinh viên vừa học tốt, vừa làm tốt.

Về phía gia đình - bạn bè - xã hội: Gia đình và bạn bè là yếu tố luôn đồng hành cùng sinh viên, có vai trò to lớn và ảnh hưởng không nhỏ đến sinh viên. Trong suốt thời sinh viên, sinh viên không thể thiếu gia đình và bạn bè. Vì vậy, gia đình và bạn bè cần luôn ở bên, giúp đỡ, động viên sinh viên mọi lúc, mọi thời điểm. Sự sao nhãng quan tâm, sự thiếu gần gũi hay sự không hạnh phúc của gia đình đều ảnh hưởng đến sinh viên. Sinh viên cần có những người bạn thân tình như anh em một nhà để sẻ chia buồn, vui, những điều lớn nhỏ trong cuộc đời sinh viên và cả tri thức trên lớp hay bất kỳ thắc mắc nào. Vì vậy, sinh viên cần có những người bạn cùng chí hướng, có ý thức tổ chức kỷ luật và ham học, lực học khá, giỏi để cùng bảo ban nhau học tập. Sinh viên cần tránh xa những người bạn xấu rủ rê chơi bời, bỏ bê việc học hay lôi kéo vào tệ nạn xã hội…

Về phía nhà trường: Bên cạnh việc trang bị giáo cụ học tập hiện đại, phù hợp với từng ngành học, môn học thì việc xây dựng văn hóa học đường rất quan trọng vì ảnh hưởng ngược chiều đến kết quả học tập của sinh viên. Việc xây dựng văn hóa học đường là nhằm tạo môi trường trong sáng nhất, đẹp nhất, an toàn nhất và đậm chất văn hóa nhất để rèn luyện nhân cách và giáo dục sinh viên trở thành những công dân phát triển toàn diện. Văn hóa học đường là môi trường quan trọng để bồi dưỡng, rèn luyện phẩm chất, nhân cách và giáo dục sinh viên trở thành những công dân phát triển toàn diện: Đức, trí, thể, mỹ, có lòng yêu nước, có tinh thần tự hào dân tộc, có ý thức và trách nhiệm cao với đất nước, với gia đình và cộng đồng. Một môi trường học tập an toàn, thân thiện và có văn hóa sẽ tạo động lực, góp phần nâng cao chất lượng giáo dục.

Về phương pháp giảng dạy của giảng viên: Giảng viên cần liên tục cập nhật, đổi mới, hiện đại phương pháp giảng dạy phù hợp với từng học phần và sinh viên năm thứ mấy; phải giúp cho sinh viên trau dồi phương pháp tự học và rèn luyện cách tự học suốt đời; phải phát huy tính chủ động, tích cực, đòi hỏi người học phải là chủ thể chủ động trong việc tìm tòi, lĩnh hội kiến thức mới. Sinh viên sẽ tự học dưới sự hướng dẫn của giảng viên. Do đó, khi tổ chức dạy học, giảng viên cần có phương pháp sao cho tạo động lực cho sinh viên, giúp sinh viên yêu thích môn học, từ đó giới thiệu cho sinh viên phương pháp học tập hiệu quả. Bên cạnh đó, cần có sự trao đổi kinh nghiệm giữa các sinh viên về phương pháp học tập. Giảng viên không chỉ là người thầy mà đôi lúc như một người cha, người mẹ, người anh, người chị, có lúc lại như người bạn để cùng chia sẻ tri thức, trang bị kiến thức, kinh nghiệm, kỹ năng, phương pháp cho sinh viên.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Lastri, Sri Kartikowati, Sumarno. Analysis of Factors that Influence Student Learning Achievement. Journal of Educational Sciences, vol. 4, no. 3, 679-693, July 2020.

[2] Mejia-Rodriguez A.M. & Kyriakides L. What matters for student learning outcomes? A systematic review of studies exploring system-level factors of educational effectiveness. Review of Education, 2022.

[3] Đinh Thị Hóa, Hoàng Thị Ngọc Điệp, Lê Thị Kim Tuyến.Phân tích các nhân tố ảnh hưởng đến KQHT của sinh viên Khoa Kinh tế, Trường Đại học Đồng Nai. Tạp chí Khoa học - Đại học Đồng Nai, 11, 18-29, 2018.

[4] Biện Chứng Học. Phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến KQHT của sinh viên hệ vừa làm vừa học Trường Đại học Mở TP Hồ Chí Minh, 2015.

[5] Nguyễn Huyền Trang & Nguyễn Thu Hà. Nghiên cứu nhân tố ảnh hưởng đến kết quả học tập của sinh viên Học viện Ngân hàng - Phân viện Bắc Ninh, Đề tài NCKH dự thi cấp Học viện, Học viện Ngân hàng, 2020.

[6] Phan Thị Hồng Thảo. Các nhân tố ảnh hưởng đến kết quả học tập của sinh viên: Nghiên cứu trường hợp tại Học viện Ngân hàng - Phân viện Bắc Ninh, Tạp chí Khoa học và Đào tạo Ngân hàng, Học viện Ngân hàng, 2020.

[7] Nguyễn Thị Anh Thư. Các nhân tố ảnh hưởng kết quả học tập của sinh viên ngành Kế toán, Trường Đại học Bà Rịa - Vũng Tàu. Tạp chí Kinh tế và Dự báo, 2021.

[8] Uông Thị Nga, Nguyễn Thị Mai, Phạm Thị Ngọc. Ảnh hưởng của việc làm thêm đến kết quả học tập của sinh viên Khoa Kinh tế - Quản trị kinh doanh, Trường Đại học Hồng Đức, Tạp chí Khoa học Trường Đại học Hồng Đức, số 65, 2023.

[9] Trương Thị Tường Vi, Trần Ngọc Quỳnh Như và Kơ Ja K'Hương. Những yếu tố ảnh hưởng đến kết quả học tập của sinh viên Trường Đại học Đà Lạt. Kỷ yếu Hội nghị nghiên cứu khoa học sinh viên Trường Đại học Đà Lạt, 2018.

[10] Cao Thanh Phong. Mối quan hệ giữa vốn tâm lý, động lực học tập và kết quả học tập của sinh viên: Nghiên cứu thực nghiệm tại Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long. 2024. Internet: https://www.researchgate.net/publication/370927862.

[11] Đỗ Thị Mẫn. Các nhân tố ảnh hưởng đến kết quả học tập của sinh viên chính quy khối ngành Kinh tế: Nghiên cứu tại Trường Đại học Hồng Đức. Tạp chí Kinh tế và Dự báo, 2023.

[12] Lê Thị Ngọc Diệp. Đề xuất mô hình nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến kết quả học tập của sinh viên. Học viện Công nghệ Bưu chính viễn thông, 2024.

■Ngày nhận bài: 02/3/2026 ■Ngày sửa bài: 16/3/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 31/3/2026

Nghiên cứu đề xuất giải pháp nâng cao công tác quản lý tiến độ xây dựng tại dự án khu đô thị dịch vụ - thương mại và nhà ở công nhân Tràng Duệ, Hải Phòng

Research on solutions to improve construction schedule management in Trang Due survice - commercial urban area and workers' housing project, Haiphong City, Vietnam

> **ĐỖ TRỌNG LUẬT, TS NGUYỄN XUÂN THỊNH***
Trường Đại học Hàng hải Việt Nam
*Email: thinhms@vimaru.edu.vn

TÓM TẮT

Trong bối cảnh phát triển nhanh của các khu công nghiệp tại TP Hải Phòng, nhu cầu về nhà ở dành cho công nhân ngày càng gia tăng, đặt ra yêu cầu cấp thiết trong việc triển khai các dự án nhà ở xã hội. Dự án Nhà ở xã hội thuộc Khu đô thị dịch vụ - thương mại và Nhà ở công nhân Tràng Duệ được đầu tư nhằm đáp ứng nhu cầu chỗ ở ổn định cho người lao động tại các khu công nghiệp lân cận. Tuy nhiên, trong quá trình triển khai xây dựng, công tác quản lý tiến độ vẫn còn gặp một số khó khăn như việc phối hợp giữa các bên, phân bổ nguồn lực và xử lý thủ tục hành chính. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất một số giải pháp nhằm nâng cao hiệu quả quản lý tiến độ như ứng dụng công nghệ giám sát công trường bằng camera và flycam, sử dụng chữ ký điện tử và hồ sơ điện tử, cũng như triển khai phần mềm quản lý dữ liệu chung giữa chủ đầu tư, tư vấn và nhà thầu. Kết quả nghiên cứu cho thấy, việc áp dụng các giải pháp công nghệ và tăng cường phối hợp giữa các bên có thể nâng cao tính minh bạch, hiệu quả quản lý và khả năng kiểm soát tiến độ thi công. Những giải pháp này góp phần đảm bảo dự án được thực hiện đúng tiến độ, nâng cao hiệu quả đầu tư và thúc đẩy phát triển nhà ở xã hội phục vụ người lao động tại TP Hải Phòng.

Từ khóa: Quản lý tiến độ xây dựng; nhà ở xã hội; công nhân khu công nghiệp; ứng dụng công nghệ trong xây dựng; quản lý dự án xây dựng; Hải Phòng.

ABSTRACT

In the context of the rapid development of industrial zones in Hai Phong City, the demand for housing for workers has been increasing significantly, creating an urgent need to implement social housing projects. The Social Housing Project within the Trang Due Service-Commercial Urban Area and Workers' Housing Project was invested in to meet the demand for stable accommodation for workers in nearby industrial parks. However, during the construction process, schedule management still faces several challenges, such as coordination among stakeholders, resource allocation and administrative procedures. Based on this situation, the study proposes several solutions to improve the effectiveness of construction schedule management, including the application of site monitoring technologies such as cameras and drones, the use of electronic signatures and digital documentation and the implementation of shared data management software among investors, consultants and contractors. The research results show that applying technological solutions and strengthening coordination among stakeholders can enhance transparency, management efficiency and the ability to control construction progress. These solutions contribute to ensuring that the project is completed on schedule, improving investment efficiency and promoting the development of social housing for workers in Hai Phong City.

Keywords: Construction schedule management; social housing; industrial workers' housing; technology application in construction; construction project management; Hai Phong City.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh phát triển mạnh mẽ của các khu công nghiệp tại TP Hải Phòng, nhu cầu về nhà ở dành cho công nhân ngày càng gia tăng, đặt ra yêu cầu cấp thiết đối với việc đầu tư và xây dựng các dự án nhà ở xã hội. Dự án Nhà ở xã hội thuộc Khu đô thị dịch vụ - thương mại và Nhà ở công nhân Tràng Duệ được triển khai nhằm đáp ứng nhu cầu chỗ ở ổn định cho người lao động tại các khu công nghiệp trong khu vực, đồng thời góp phần thực hiện chương trình phát triển nhà ở của TP Hải Phòng. Đây là một dự án có quy mô tương đối lớn, liên quan đến nhiều hạng mục xây dựng và sự tham gia của nhiều bên như chủ đầu tư, đơn vị tư vấn và nhà thầu thi công.

Trong các dự án xây dựng, công tác quản lý tiến độ thi công đóng vai trò đặc biệt quan trọng, ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu quả đầu tư, chi phí thực hiện và khả năng hoàn thành dự án theo kế hoạch. Tuy nhiên, thực tế cho thấy việc quản lý tiến độ tại các dự án xây dựng, đặc biệt là các công trình dân dụng quy mô lớn vẫn còn gặp nhiều khó khăn như sự phối hợp chưa đồng bộ giữa các bên tham gia dự án, việc phân bổ nguồn lực chưa hợp lý cũng như hạn chế trong việc theo dõi và kiểm soát tiến độ thi công. Những vấn đề này có thể dẫn đến tình trạng chậm tiến độ, làm gia tăng chi phí và ảnh hưởng đến hiệu quả chung của dự án [1].

Đối với dự án Nhà ở xã hội thuộc Khu đô thị dịch vụ - thương mại và Nhà ở công nhân Tràng Duệ, một số hạng mục thi công trong giai đoạn triển khai đã xuất hiện tình trạng chậm tiến độ so với kế hoạch ban đầu. Điều này cho thấy công tác lập kế hoạch, giám sát và điều phối tiến độ vẫn cần được cải thiện để đáp ứng yêu cầu quản lý của các dự án xây dựng hiện đại. Trong bối cảnh chuyển đổi số đang được thúc đẩy trong ngành Xây dựng, việc ứng dụng các công nghệ và công cụ quản lý mới được xem là một hướng tiếp cận hiệu quả nhằm nâng cao chất lượng quản lý tiến độ [1].

Xuất phát từ những yêu cầu thực tiễn đó, nghiên cứu này tập trung phân tích thực trạng công tác quản lý tiến độ xây dựng tại dự án Nhà ở xã hội thuộc Khu đô thị dịch vụ - thương mại và Nhà ở công nhân Tràng Duệ. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất một số giải pháp nhằm nâng cao hiệu quả quản lý tiến độ thi công, bao gồm việc ứng dụng công nghệ giám sát công trường, sử dụng hồ sơ và chữ ký điện tử, cũng như triển khai các phần mềm quản lý dữ liệu dùng chung giữa các bên tham gia dự án. Các giải pháp này được kỳ vọng sẽ góp phần nâng cao tính minh bạch, hiệu quả quản lý và khả năng kiểm soát tiến độ [3], từ đó đảm bảo dự án được triển khai đúng kế hoạch và nâng cao hiệu quả đầu tư trong lĩnh vực xây dựng nhà ở xã hội.

2. ĐÁNH GIÁ CHUNG VỀ DỰ ÁN NHÀ Ở XÃ HỘI THUỘC DỰ ÁN KHU ĐÔ THỊ DỊCH VỤ - THƯƠNG MẠI VÀ NHÀ Ở CÔNG NHÂN TRÀNG DUỆ

Sự phát triển mạnh mẽ của các khu công nghiệp tại Hải Phòng đã góp phần thúc đẩy tốc độ tăng trưởng kinh tế của Thành phố. Theo số liệu thống kê, tốc độ tăng trưởng GRDP của Hải Phòng trong những năm gần đây luôn ở mức cao so với mặt bằng chung của cả nước. Năm 2020, GRDP của Thành phố tăng trưởng 11,22%, đứng thứ hai toàn quốc. Đến năm 2021, Hải Phòng tiếp tục vươn lên dẫn đầu cả nước với mức tăng trưởng 12,38%. Bên cạnh đó, Thành phố cũng là một trong những địa phương thu hút vốn đầu tư trực tiếp nước ngoài (FDI) lớn nhất cả nước. Nhiều tập đoàn lớn đã lựa chọn Hải Phòng làm địa điểm đầu tư các dự án quy mô lớn, tiêu biểu như Tập đoàn LG với dự án sản xuất linh kiện điện tử, Tập đoàn Vingroup với dự án sản xuất ô tô VinFast, cùng nhiều dự án đầu tư khác trong lĩnh vực công nghiệp và dịch vụ.

Sự gia tăng nhanh chóng của các dự án đầu tư công nghiệp đã kéo theo sự gia tăng mạnh mẽ của lực lượng lao động làm việc tại các khu công nghiệp. Hiện nay, tổng số lao động làm việc tại các khu công nghiệp trên địa bàn Thành phố lên tới hàng trăm nghìn người. Tuy nhiên, hệ thống nhà ở dành cho công nhân vẫn chưa đáp ứng được nhu cầu thực tế. Phần lớn người lao động phải tự tìm chỗ ở tại các khu dân cư lân cận hoặc di chuyển quãng đường dài từ nơi ở đến nơi làm việc bằng phương tiện cá nhân hoặc xe đưa đón. Điều này không chỉ ảnh hưởng đến đời sống sinh hoạt và sức khỏe của người lao động mà còn làm gia tăng nguy cơ ùn tắc giao thông và tai nạn giao thông trong khu vực [2].

Từ những phân tích trên có thể thấy rằng, việc nghiên cứu và đề xuất các giải pháp nhằm nâng cao hiệu quả công tác quản lý tiến độ xây dựng tại dự án Nhà ở xã hội thuộc Khu đô thị dịch vụ - thương mại và Nhà ở công nhân Tràng Duệ là hết sức cần thiết. Các giải pháp này không chỉ giúp cải thiện hiệu quả quản lý tiến độ trong quá trình thi công mà còn góp phần nâng cao chất lượng công trình, đảm bảo hiệu quả đầu tư và đáp ứng tốt hơn nhu cầu nhà ở cho người lao động tại các khu công nghiệp trên địa bàn TP Hải Phòng.

3. MỘT SỐ GIẢI PHÁP NHẰM NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG CÔNG TÁC QUẢN LÝ TIẾN ĐỘ XÂY DỰNG TẠI DỰ ÁN NHÀ Ở XÃ HỘI THUỘC DỰ ÁN KHU ĐÔ THỊ DỊCH VỤ - THƯƠNG MẠI VÀ NHÀ Ở CÔNG NHÂN TRÀNG DUỆ

3.1. Sử dụng công nghệ, thiết bị kỹ thuật trong công tác giám sát hiện trường, báo cáo trong quá trình thi công

Trước yêu cầu ngày càng cao về hiệu quả quản lý và xu hướng ứng dụng khoa học công nghệ, việc sử dụng hệ thống camera giám sát và flycam trong quản lý công trường là cần thiết, phù hợp với chủ trương đẩy mạnh chuyển đổi số trong lĩnh vực xây dựng.

a) Sử dụng camera giám sát công trường



Hình 1. Camera điều khiển từ xa được lắp tại công trường

- Nâng cao hiệu quả công tác quản lý, giám sát: Hệ thống camera cho phép theo dõi liên tục, kịp thời các hoạt động thi công. Thông qua hình ảnh thu thập được, chủ đầu tư và các đơn vị quản lý có thể giám sát từ xa, hạn chế phụ thuộc vào kiểm tra trực tiếp, qua đó nâng cao tính chủ động trong công tác quản lý, điều hành.

- Tăng cường bảo đảm an toàn lao động: Camera hỗ trợ giám sát việc chấp hành các quy định về an toàn lao động của người lao động, kịp thời phát hiện các nguy cơ mất an toàn trong quá trình thi công. Đồng thời, dữ liệu hình ảnh được lưu trữ phục vụ công tác xác minh, làm rõ nguyên nhân khi xảy ra sự cố, tai nạn lao động.

- Hỗ trợ quản lý nhân lực và kỷ luật lao động: Thông qua hệ

thống camera, công tác kiểm soát số lượng lao động, thời gian làm việc và việc tuân thủ nội quy công trường được thực hiện hiệu quả hơn, góp phần nâng cao ý thức chấp hành kỷ luật lao động của cán bộ, công nhân viên.

- Phục vụ công tác báo cáo, kiểm tra và giải quyết tranh chấp: Hình ảnh, video ghi nhận từ camera là cơ sở dữ liệu trực quan, khách quan, phục vụ việc lập báo cáo tiến độ, kiểm tra hiện trường và giải quyết các vấn đề phát sinh trong quá trình thực hiện dự án.

Việc triển khai một hệ thống camera giám sát công trường là một nhu cầu cần thiết đối với các dự án xây dựng hiện đại. Ngoài việc giám sát đơn thuần, các hệ thống này mang lại nhiều lợi ích, giúp tăng cường đáng kể an ninh công trường, tối ưu hóa quản lý dự án và đảm bảo tuân thủ nghiêm ngặt tiến độ. Bằng cách cung cấp khả năng quan sát theo thời gian thực về các hoạt động hàng ngày, hệ thống camera độ nét cao cho phép các bên liên quan giảm thiểu rủi ro, tối ưu hóa phân bổ nguồn lực và duy trì trách nhiệm giải trình trên toàn công trường. Do đó, chi phí đầu tư cần thiết được chứng minh là hoàn toàn xứng đáng với hiệu quả hoạt động và khả năng phòng ngừa tổn thất đạt được. Khoản đầu tư này đặc biệt quan trọng đối với các dự án quy mô lớn, nơi sử dụng hệ thống hậu cần phức tạp và tiến độ thi công nghiêm ngặt đòi hỏi sự giám sát chặt chẽ và khả năng giải quyết vấn đề chủ động.

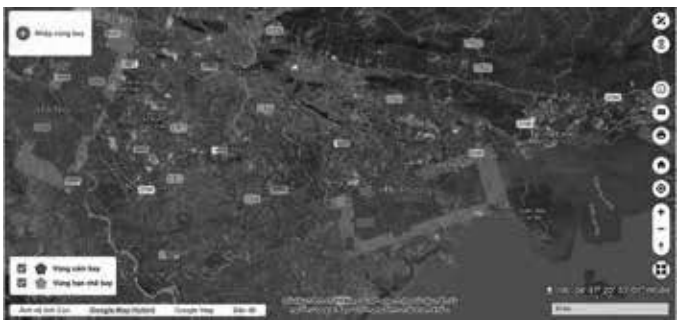
b) Sử dụng flycam trong giám sát công trường

- Quan sát tổng thể công trường: Flycam cho phép ghi nhận hình ảnh từ trên cao, bao quát toàn bộ khu vực thi công, đặc biệt hiệu quả đối với các dự án có quy mô lớn, phạm vi trải rộng, qua đó giúp các đơn vị quản lý nắm bắt tổng thể tình hình triển khai dự án.

- Theo dõi và đánh giá tiến độ thi công: Hình ảnh, video flycam được ghi nhận định kỳ là cơ sở để so sánh, đánh giá tiến độ thực tế so với kế hoạch, kịp thời phát hiện các tồn tại, chậm trễ trong thi công để có biện pháp điều chỉnh phù hợp.

- Hỗ trợ công tác khảo sát, kiểm tra hiện trạng: Flycam kết hợp với phần mềm chuyên dụng hỗ trợ đo đạc, đánh giá hiện trạng mặt bằng, khối lượng thi công, góp phần giảm thời gian, chi phí so với phương pháp khảo sát thủ công.

- Phục vụ công tác tuyên truyền và nâng cao hình ảnh dự án: Hình ảnh flycam được sử dụng trong công tác thông tin, tuyên truyền, báo cáo với các cấp có thẩm quyền, góp phần nâng cao tính minh bạch và hình ảnh chuyên nghiệp của chủ đầu tư và đơn vị thi công.



Hình 2. Vùng cấm bay và vùng hạn chế bay flycam

Ảnh hưởng thời tiết: Flycam hiện tại đa phần là phương tiện bay nhỏ, có gắn camera được điều khiển từ xa, vì vậy khi bay trong các điều kiện giông gió, các thiết bị nhỏ dễ bị ảnh hưởng và có thể bị gió cuốn mất. Tuy nhiên, với các thiết bị lớn có trang bị chống gió, thời gian sử dụng lâu, yêu cầu làm việc trong thời tiết khắc nghiệt vẫn có thể đáp ứng

Phải xin giấy phép bay: Theo Luật Phòng Không nhân dân (Luật số 49/2024/QH15) được ban hành ngày 27/11/2024 và Nghị định 36/2008/NĐ-CP (đã sửa đổi theo số 79/2011/NĐ-CP) yêu cầu khi sử dụng các thiết bị bay siêu nhẹ, máy bay không người lái cần được cấp phép bởi Cục Tác chiến, Bộ Tổng tham mưu. Nếu các thiết bị bay không được cấp phép có thể bị phạt hành chính, tịch thu tang vật, thậm chí xử lý hình sự.

Tuy nhiên, việc thuê các đơn vị có giấy phép bay hiện tại có giá không quá cao, phù hợp với việc quay tiến độ công trình theo các ca bay ngắn nhằm quan sát tổng thể công trường, đánh giá tiến độ thi công thực tế về khả năng đáp ứng tiến độ được ký kết, đồng thời làm tư liệu phục vụ mục đích quảng cáo cho dự án

** Hiệu quả kinh tế việc sử dụng công nghệ, thiết bị kỹ thuật trong công tác giám sát:*

- Giảm chi phí quản lý, giám sát trực tiếp tại công trường;

- Hạn chế sai sót, thất thoát vật tư, giảm nguy cơ phát sinh chi phí do vi phạm quy trình thi công;

- Góp phần nâng cao hiệu quả sử dụng vốn đầu tư;

- Tăng cường ứng dụng công nghệ thông tin, thúc đẩy chuyển đổi số trong ngành Xây dựng;

- Giúp các bên tham gia dự án luôn được cập nhật tình hình thực tế tại công trường; nắm rõ tiến độ thực tế của dự án so với kế hoạch đặt ra, từ đó luôn có sự đánh giá, điều chỉnh kịp thời; đảm bảo tiến độ dự án hoàn thành đúng hoặc vượt kế hoạch.

3.2. Sử dụng chữ ký, hồ sơ điện tử thay thế một phần hồ sơ giấy trong công tác quản lý

- Hiệu quả về quản lý và tiến độ:

+ Rút ngắn thời gian xử lý hồ sơ: Ký duyệt, luân chuyển hồ sơ (nhật ký thi công, biên bản nghiệm thu, đề nghị thanh toán, bản vẽ hoàn công…) diễn ra nhanh hơn, không phụ thuộc vào vị trí địa lý;

+ Giảm ách tắc trong phê duyệt: Chủ đầu tư, tư vấn giám sát, nhà thầu có thể ký và phản hồi kịp thời, hạn chế chờ đợi hồ sơ giấy;

+ Theo dõi tiến độ minh bạch: Hệ thống điện tử cho phép kiểm soát trạng thái hồ sơ theo thời gian thực.

- Hiệu quả về chi phí và nâng cao tính minh bạch:

+ Giảm chi phí in ấn, sao lưu, lưu trữ hồ sơ giấy (đặc biệt với các dự án lớn có khối lượng hồ sơ rất nhiều);

+ Giảm chi phí nhân lực hành chính cho việc quản lý, vận chuyển, bảo quản hồ sơ;

+ Hạn chế chi phí phát sinh do chậm trễ trong ký duyệt hoặc thất lạc hồ sơ;

+ Chữ ký điện tử có giá trị pháp lý, giúp xác định rõ trách nhiệm của từng bên tham gia;

+ Hạn chế gian lận, chỉnh sửa trái phép: Hồ sơ điện tử có lịch sử truy vết (log), dễ kiểm tra ai ký, ký lúc nào, nội dung gì;

+ Giảm rủi ro thất lạc hồ sơ so với lưu trữ giấy truyền thống;

+ Lưu trữ tập trung, lâu dài, không bị hư hỏng vật lý như hồ sơ giấy;

+ Tra cứu nhanh, chính xác khi phục vụ kiểm toán, thanh tra, quyết toán công trình;

+ Dễ dàng chia sẻ và tích hợp với các hệ thống quản lý dự án, BIM, quản lý chi phí, quản lý chất lượng

3.3. Sử dụng phần mềm quản lý dữ liệu chung giữa chủ đầu tư, tư vấn, nhà thầu trong công tác quản lý dự án

Việc sử dụng phần mềm quản lý dữ liệu chung giữa chủ đầu tư - tư vấn - nhà thầu trong quản lý dự án xây dựng giúp nâng cao hiệu quả phối hợp, minh bạch thông tin và tiết kiệm thời gian, chi phí. Nền tảng như base.vn (Base Project hoặc Base Workflow, Base Docs trong hệ sinh thái Base) là ví dụ điển hình cho mô hình này [4].



Hình 3. Giao diện phần mềm Base

- *Tập trung dữ liệu, tránh phân tán:* Tất cả tài liệu dự án (hợp đồng, bản vẽ, báo cáo tiến độ, biên bản nghiệm thu…) được lưu trữ tập trung trên một nền tảng; không còn tình trạng dữ liệu rải rác trên email, USB hay nhiều nơi khác nhau → dễ tìm kiếm, kiểm soát; mỗi thay đổi đều được ghi lại lịch sử (version control), giảm rủi ro sai sót và mất dữ liệu.

- *Minh bạch và đồng bộ thông tin giữa các bên:* Chủ đầu tư, tư vấn, nhà thầu cùng truy cập dữ liệu chung theo vai trò phân quyền; mỗi bên thấy cùng 1 phiên bản tài liệu → tránh hiểu nhầm, sai lệch thông tin khi các tài liệu phải chỉnh sửa nhiều; cập nhật mới được thông báo tức thì cho các thành viên liên quan.

- *Phối hợp công việc hiệu quả hơn:* Phần mềm cho phép phân công nhiệm vụ, đặt thời hạn, theo dõi tiến độ theo từng giai đoạn; tự động nhắc nhở deadline, báo cáo công việc → gia tăng kỷ luật thực hiện nhiệm vụ của nhân viên; giao tiếp nội bộ: comment trực tiếp trên tài liệu/ nhiệm vụ → giảm email dài dòng.

- *Quản lý tiến độ và KPI rõ ràng:* Dễ dàng theo dõi tiến độ thực hiện của từng hạng mục, từng đơn vị; biểu đồ, báo cáo được tổng hợp tự động → thuận lợi cho việc họp, đánh giá; phát hiện sớm chậm tiến độ để điều chỉnh kịp thời.

- *Giảm rủi ro pháp lý và minh bạch hồ sơ:* Hồ sơ dự án được lưu trữ tập trung, có dấu thời gian và người cập nhật; khi cần đối chiếu hợp đồng, cam kết kỹ thuật hay biên bản nghiệm thu, có nguồn dữ liệu rõ ràng; hỗ trợ tốt cho việc thanh toán, quyết toán.

- *Tiết kiệm chi phí vận hành:* Giảm thời gian tìm kiếm và xử lý dữ liệu thủ công; hạn chế in ấn, gửi/nhận tài liệu giấy; giảm lỗi do thao tác thủ công.

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

- Việc ứng dụng công nghệ thông tin trong công tác giám sát công trình xây dựng như sử dụng camera, flycam, chữ ký điện tử và phần mềm quản lý chung giữa chủ đầu tư, tư vấn và nhà thầu sẽ mang lại hiệu quả rõ rệt. Các công nghệ này giúp tăng cường tính minh bạch, nâng cao khả năng kiểm soát chất lượng, tiến độ và an toàn lao động trên công trường, đồng thời giảm thiểu sai sót và rủi ro trong quá trình quản lý.

- Việc trao đổi, lưu trữ và phê duyệt hồ sơ thông qua chữ ký điện tử và phần mềm quản lý tập trung giúp tiết kiệm thời gian, chi phí, đảm bảo tính thống nhất và kịp thời trong phối hợp giữa các bên liên quan. Qua đó, công tác giám sát được thực hiện khoa học, hiệu quả hơn, góp phần nâng cao chất lượng công trình, đáp ứng yêu cầu về tiến độ và hiệu quả đầu tư.

- Việc áp dụng các giải pháp trên phù hợp xu hướng chuyển đổi số ngành Xây dựng; góp phần hiện đại hóa công tác quản lý thi công, phù hợp với chủ trương chuyển đổi số.

- Tạo nền tảng để kết nối dữ liệu xuyên suốt vòng đời công trình (từ thiết kế - thi công - nghiệm thu - vận hành).

- Nâng cao năng lực cạnh tranh của doanh nghiệp xây dựng, tư vấn và chủ đầu tư.

- Đảm bảo công tác quản lý dự án đầu tư xây dựng, nhất là công tác quản lý tiến độ được đảm bảo tốt hơn, khoa học hơn, giúp các bên hoàn thành dự án đúng tiến độ, mang lại hiệu quả đầu tư, hiệu quả kinh tế xã hội.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Căn cứ Luật Xây dựng số 50/2014/QH13 ngày 18/6/2014; Luật số 62/2020/QH14 ngày 17/6/2020 về sửa đổi, bổ sung một số điều của Luật Xây dựng.

[2] Việc quản lý chất lượng công trình xây dựng hiện nay chủ yếu được quy định bởi Nghị định 06/2021/NĐ-CP và các văn bản hướng dẫn như Thông tư 10/2021/TT-BXD.

[3] Báo cáo tình hình quản lý tiến độ xây dựng các dự án của Công ty Cổ phần KCN Sài Gòn - Hải Phòng.

[4] Phần mềm base.vn của Công ty Cổ phần Base enterprise.

■Ngày nhận bài: 27/02/2026 ■Ngày sửa bài: 10/3/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 30/3/2026

Đánh giá và so sánh các phương pháp hoạch định tồn kho cho doanh nghiệp sản xuất điện tử trong điều kiện nhu cầu rời rạc

Evaluating and comparing inventory planning methods for electronics manufacturing businesses under conditions of discrete demand

> **TS VŨ VĂN MỪNG*, THS MAI THẾ TRỌNG, THS VŨ ANH TUẤN**
Trường Đại học Hàng hải Việt Nam
*Email: mungvv.mtb@vimaru.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo tập trung đánh giá và so sánh hiệu quả của một số phương pháp hoạch định tồn kho phổ biến trong điều kiện nhu cầu rời rạc, áp dụng cho doanh nghiệp sản xuất điện tử. Trên cơ sở mô hình chi phí tồn kho và dữ liệu nhu cầu theo các kỳ rời rạc, các phương pháp hoạch định lô như Lot-for-Lot, EOQ áp dụng cho nhu cầu rời rạc, Silver-Meal, Least Unit Cost và Part Period Algorithm được triển khai và so sánh. Kết quả phân tích cho thấy mỗi phương pháp có ưu và nhược điểm riêng, phù hợp với các mục tiêu quản lý khác nhau như tối thiểu hóa tổng chi phí, giảm mức tồn kho bình quân hoặc giảm số lần đặt hàng. Từ kết quả nghiên cứu, bài báo đề xuất định hướng lựa chọn phương pháp hoạch định tồn kho phù hợp cho doanh nghiệp sản xuất điện tử trong bối cảnh nhu cầu biến động và rời rạc.

Từ khóa: Hoạch định tồn kho; sản xuất điện tử; cỡ lô hàng; nhu cầu rời rạc; quản lý kho.

ABSTRACT

This paper focuses on evaluating and comparing the effectiveness of several common inventory planning methods under conditions of discrete demand, applied to electronics manufacturing businesses. Based on inventory cost models and discrete demand data, lot-for-lot planning methods such as Lot-for-Lot, EOQ (Expired Demand), Silver-Meal, Least Unit Cost, and Part Period Algorithm are implemented and compared. The analysis shows that each method has its own advantages and disadvantages, suitable for different management objectives such as minimizing total costs, reducing average inventory levels, or reducing the number of reorders. From the research results, the paper proposes guidelines for selecting a suitable inventory planning method for electronics manufacturing businesses in the context of fluctuating and discrete demand.

Keywords: Inventory planning; discrete demand; electronic manufacturing; lot sizing; inventory management.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh cạnh tranh ngày càng gay gắt, quản lý tồn kho giữ vai trò quan trọng trong việc nâng cao hiệu quả sản xuất - kinh doanh của doanh nghiệp, đặc biệt là doanh nghiệp sản xuất điện tử. Ngành điện tử có đặc thù chu kỳ sống sản phẩm ngắn, tốc độ đổi mới công nghệ cao và giá trị linh kiện lớn, đòi hỏi doanh nghiệp phải duy trì mức tồn kho hợp lý nhằm vừa giảm chi phí vừa đảm bảo khả năng đáp ứng thị trường [1, 2].

Trong thực tế, nhu cầu đối với nguyên vật liệu và linh kiện điện tử thường phát sinh theo các kỳ kế hoạch rời rạc và biến động theo thời gian. Dạng nhu cầu này phổ biến trong các hệ thống hoạch định nhu cầu nguyên vật liệu (MRP), nơi kế hoạch sản xuất được xây dựng dựa trên đơn hàng và chương trình sản xuất định kỳ. Do đó, việc áp dụng các mô hình tồn kho truyền thống giả định nhu cầu liên tục và ổn định thường không mang lại hiệu quả tối ưu về chi phí [3].

Để giải quyết bài toán tồn kho trong điều kiện nhu cầu rời rạc, nhiều phương pháp hoạch định tồn kho đã được đề xuất, từ các phương pháp đơn giản đến các phương pháp heuristic nhằm cân đối giữa chi phí đặt hàng và chi phí lưu kho. Tuy nhiên, trong nhiều doanh nghiệp sản xuất điện tử, việc lựa chọn phương pháp hoạch định tồn kho vẫn chủ yếu dựa trên kinh nghiệm hoặc các thiết lập sẵn có của hệ thống, thiếu các phân tích và so sánh định lượng cụ thể [4].

Xuất phát từ thực tế đó, bài báo tập trung đánh giá và so sánh một số phương pháp hoạch định tồn kho phổ biến trong điều kiện nhu cầu rời rạc, áp dụng cho doanh nghiệp sản xuất điện tử. Việc so sánh được thực hiện dựa trên các chỉ tiêu chi phí tồn kho và mức tồn kho, từ đó đề xuất định hướng lựa chọn phương pháp hoạch định tồn kho phù hợp nhằm nâng cao hiệu quả quản lý tồn kho trong doanh nghiệp.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ MÔ HÌNH NGHIÊN CỨU

2.1. Nhu cầu rời rạc và đặc điểm tồn kho trong doanh nghiệp sản xuất điện tử

Trong quản lý tồn kho, nhu cầu có thể phân thành nhu cầu liên tục và nhu cầu rời rạc. Nhu cầu rời rạc phát sinh theo các kỳ kế hoạch xác định và thường xuất hiện trong các hệ thống sản xuất theo kế hoạch hoặc theo đơn hàng, đặc biệt trong môi trường hoạch định nhu cầu nguyên vật liệu.

Trong doanh nghiệp sản xuất điện tử, nhu cầu linh kiện có tính rời rạc và biến động do phụ thuộc vào chương trình sản xuất và đơn đặt hàng. Bên cạnh đó, tồn kho linh kiện có nhiều chủng loại, giá trị cao và vòng đời công nghệ ngắn, làm gia tăng chi phí lưu kho và rủi ro lỗi thời. Quá trình lắp ráp nhiều công đoạn cũng khiến việc thiếu hụt một linh kiện có thể gây gián đoạn sản xuất [5].

Do đó, bài toán tồn kho trong doanh nghiệp sản xuất điện tử không chỉ nhằm giảm chi phí mà còn phải đảm bảo tính sẵn sàng vật tư, đòi hỏi việc áp dụng các phương pháp hoạch định tồn kho phù hợp với nhu cầu rời rạc.

2.2. Mô hình chi phí tồn kho trong điều kiện nhu cầu rời rạc

Trong nghiên cứu này, hiệu quả của các phương pháp hoạch định tồn kho được đánh giá thông qua mô hình chi phí tồn kho. Tổng chi phí tồn kho trong một chu kỳ kế hoạch bao gồm hai thành phần chính là chi phí đặt hàng (hoặc chi phí thiết lập sản xuất) và chi phí lưu kho .

Chi phí đặt hàng phát sinh cho mỗi lần đặt mua nguyên vật liệu hoặc thiết lập sản xuất và được giả định là cố định, không phụ thuộc vào quy mô lô. Chi phí lưu kho phản ánh các chi phí liên quan đến việc tồn trữ hàng hóa, bao gồm chi phí vốn, bảo quản và rủi ro lỗi thời, được xác định dựa trên mức tồn kho còn lại sau mỗi kỳ nhu cầu rời rạc.

Trên cơ sở đó, tổng chi phí tồn kho được xác định bằng tổng chi phí đặt hàng và tổng chi phí lưu kho. Mô hình chi phí này được sử dụng thống nhất để đánh giá và so sánh các phương pháp hoạch định tồn kho, nhằm đảm bảo tính khách quan của kết quả nghiên cứu [5].

2.3. Các phương pháp hoạch định tồn kho cho nhu cầu rời rạc

Để giải quyết bài toán hoạch định tồn kho trong điều kiện nhu cầu rời rạc, nhiều phương pháp đã được đề xuất, từ các phương pháp đơn giản đến các phương pháp heuristic nhằm cân bằng giữa chi phí đặt hàng và chi phí lưu kho. Trong nghiên cứu này, một số phương pháp hoạch định tồn kho phổ biến được lựa chọn để phân tích và so sánh, bao gồm các phương pháp dưới đây.

2.3.1. Phương pháp đặt hàng theo đúng nhu cầu từng kỳ (Lot-for-Lot - LFL):

Phương pháp này xác định quy mô lô đặt hàng đúng bằng nhu cầu của từng kỳ. Ưu điểm của LFL là mức tồn kho gần như bằng không, do đó chi phí lưu kho thấp. Tuy nhiên, nhược điểm là số lần đặt hàng lớn, dẫn đến chi phí đặt hàng cao, đặc biệt khi nhu cầu phát sinh ở nhiều kỳ liên tiếp [3, 5, 6].

Theo phương pháp LFL, lượng đặt hàng tại mỗi kỳ đúng bằng nhu cầu của kỳ đó:

$Q_i = R_i$ (1)

Trong đó: R_i là nhu cầu tại kỳ i.

Như vậy, mức tồn kho cuối mỗi kỳ gần bằng 0, chi phí lưu kho gần như bằng 0. Tổng chi phí tồn kho chủ yếu là chi phí đặt hàng:

$TC_{LFL}=n\cdot C$

Trong đó: n là số kỳ có phát sinh nhu cầu.

2.3.2. Thuật toán Silver - Meal (Silver Meal Algorithm - SMA)

Thuật toán SMA là thuật toán trực quan của Edward Silver & Harlem Meal, là một trong những phương pháp dùng để giải quyết bài toán hoạch định nhu cầu tồn kho trong quản lý sản xuất.

Thuật toán này giúp xác định số lượng hàng hóa cần đặt hàng hoặc sản xuất trong một kỳ để tối thiểu hóa tổng chi phí liên quan đến việc đặt hàng và giữ hàng tồn kho. Các bước tính trong thuật toán SMA như sau [6]:

Bước 1: Tính trung bình chi phí biến thiên trong T chu kỳ liên tiếp

$$TVC(T) = C + CHC(T) \quad (2)$$

Trong đó: C là chi phí đặt hàng; $CHC(T) = \sum_{i=1}^{T} ICH_i$ là phí tồn trữ tích lũy trong T chu kỳ.

Phí tồn trữ gia tăng được tính như sau:

$$IHC_i = Ph(i-1)R_i \quad (3)$$

Trong đó: P là chi phí mua hàng đơn vị; h là hệ số chi phí tồn kho; R_i là nhu cầu của chu kỳ thứ i.

Bước 2: Trung bình chi phí biến thiên trong T chu kỳ liên tiếp:

$$MVC(T) = \frac{THC(T)}{T} \quad (4)$$

Bước 3: Chọn chu kỳ đặt hàng T với mục đích cực tiểu MVC(T), với điều kiện dừng:

MVC(T+1) > MVC(T)

Bước 4: Tính lượng đặt hàng

$$Q = \sum_{i=1}^{T} R_i \quad (5)$$

Bước 5: Thực hiện lập lại ở chu kỳ k = T+1 (i=1).

2.3.3. Phương pháp chi phí đơn vị nhỏ nhất (Least Unit Cost - LUC)

Phương LUC là một trong những kỹ thuật được sử dụng trong quản lý tồn kho và lập kế hoạch sản xuất nhằm tối thiểu hóa chi phí. Tương tự như phương pháp Silver-Meal, phương pháp LUC tập trung vào việc xác định lượng hàng cần đặt trong mỗi kỳ để giảm thiểu chi phí liên quan đến đặt hàng và giữ hàng tồn kho [6].

Các bước tính trong phương pháp LUC:

Bước 1: Tính trung bình chi phí biến thiên trong T chu kỳ liên tiếp theo công thức (2).

Bước 2: Trung bình chi phí biến thiên trong T chu kỳ liên tiếp:

$$MVC(T) = \frac{THC(T)}{CD_T} \quad (6)$$

Trong đó: $CD_T = \sum_{i=1}^{T} R_i$ là tổng số đơn vị trong T chu kỳ liên tiếp.

Bước 3: Chọn chu kỳ đặt hàng T nhằm cực tiểu MVC(T), với điều kiện dừng:

MVC(T+1) > MVC(T).

Bước 4: Tính lượng đặt hàng theo công thức (5).

Bước 5: Thực hiện lập lại ở chu kỳ: k= T+1 (i =1).

2.3.4. Phương pháp PPA (Part Period Algorithm)

Phương pháp PPA là một kỹ thuật quản lý tồn kho được sử dụng để xác định số lượng đặt hàng tối ưu nhằm giảm thiểu tổng chi phí tồn kho. Phương pháp xác định lượng đặt hàng theo sự cân bằng chi phí đặt hàng và chi phí tổn trữ tích lũy [6].

Bước 1: Ta có: $Ph\sum_{i=1}^{T}(i-1)R_i = C$

Suy ra: $\sum_{i=1}^{T}(i-1)R_i = \frac{C}{Ph}$

Đặt và tính: $EPP = \frac{C}{Ph}$ và $APP(T) = \sum_{i=1}^{T}(i-1)R_i$.

Bước 2: Chu kỳ đặt hàng T định bởi luật dừng sau: $T = Max\ i : APP(i) \le EPP$.

Bước 3: Lượng đặt hàng cho T chu kỳ được tính theo công thức (5).

2.3.5. Phương pháp IPPA (Incremental Part Period Algorithm)

Phương pháp IPPA là một biến thể của phương pháp PPA nhằm cải thiện hiệu quả quản lý tồn kho bằng cách thêm yếu tố gia tăng vào quá trình xác định số lượng đặt hàng tối ưu. Phương pháp IPPA cũng là phương pháp trực quan, xác định lượng đặt hàng theo sự cân bằng chi phí đặt hàng và chi phí tổn trữ gia tăng [6].

Bước 1: $Ph(T-1)R_T = C \Rightarrow (T-1)R_T = \frac{C}{Ph}$

Đặt và tính: $EPP = \frac{C}{Ph}$ và $IPP(i) = (i-1)R_i$;

Bước 3: Chu kỳ đặt hàng T định bởi luật dừng sau: $T = Max\ i : IPP(i) \le EPP$.

Bước 3: Lượng đặt hàng cho T chu kỳ được tính theo công thức (5).

2.3.6. Phương pháp WWA (Wagner-Whitin Algorithm)

Phương pháp WWA là một phương pháp tối ưu hóa được sử dụng trong quản lý tồn kho và lập kế hoạch sản xuất. Được phát triển bởi Harvey M.Wagner và Thomson M. Whitin vào năm 1958 [6, 7].

Phương pháp gồm các bước sau:

Bước 1: Tính ma trận chi phí biến thiên tổng.

$$z_{ce} = C + hP\sum_{i=c}^{e}(Q_{ce} - Q_{ci}) \quad (1 \le c \le e \le n) \tag{7}$$

Trong đó: z_{ce} là tổng chi phí biến thiên khi đặt hàng ở chu kỳ c, thỏa mãn nhu cầu các chu kỳ từ c đến e.

$$Q_{ce} = \sum_{k=c}^{e} R_k \tag{8}$$

Bước 2: Xác định chi phí cực tiểu từ chu kỳ 1 đến chu kỳ e, với mức tồn kho cuối chu kỳ e là 0:

$f_e = \min(f_{e-1} + z_{ce})$; $c = 1 \div e$

$f_0 = 0$

Trong đó: f_n là chi phí của kế hoạch đặt hàng tối ưu cho đến chu kỳ n.

Bước 3: Xác định kế hoạch đặt hàng tối ưu.

Chi phí của kế hoạch đặt hàng tối ưu có dạng:

$f_n = z_{wn} + f_{w-1} = z_{wn} + z_{v,w-1} + f_{v-1}$

hoặc: $f_n = z_{wn} + f_{v,w-1} + \ldots + z_{1,u-1} + f_0$

Kế hoạch đặt hàng tối ưu là:

- Đơn hàng cuối ở chu kỳ *w*, thỏa nhu cầu các chu kỳ từ *w* đến *n*;
- Đơn hàng kế ở chu kỳ *v*, thỏa nhu cầu các chu kỳ từ *v* đến $w-1$;

……..

- Đơn hàng đầu ở chu kỳ 1, thỏa nhu cầu các chu kỳ từ 1 đến $u-1$.

3. DỮ LIỆU NGHIÊN CỨU

Đối tượng nghiên cứu là năm loại linh kiện điện tử cơ bản thường xuất hiện trong hầu hết các sản phẩm điện tử. Dữ liệu nhu cầu được xây dựng cho chu kỳ kế hoạch 12 tháng và được sử dụng thống nhất để áp dụng cho tất cả các phương pháp hoạch định tồn kho nhằm đảm bảo tính so sánh.

Bảng 1. Nhu cầu của các linh kiện

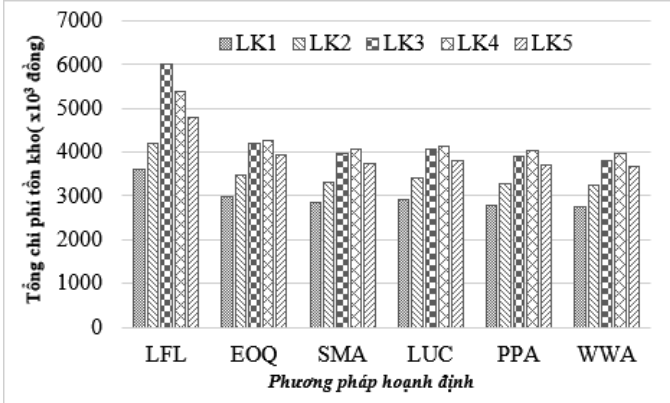
Tháng / Nhu cầu (đv)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
LK1	800	900	850	1.000	950	1.100	980	920	1.050	1.150	1.020	1.200
LK2	500	650	600	800	750	900	700	680	820	880	760	920
LK3	80	120	100	160	140	180	130	110	150	170	140	190
LK4	60	80	70	100	90	120	85	75	110	130	95	140
LK5	40	60	50	80	70	90	65	55	85	100	75	110

Bảng 2. Tham số chi phí tồn kho

Linh kiện	Chi phí đặt hàng C (đ/lần)	Chi phí lưu kho h (đ/đv/kỳ)
LK1	300.000	1.500
LK2	350.000	2.000
LK3	500.000	8.000
LK4	450.000	6.000
LK5	400.000	5.000

Năm loại linh kiện điện tử cơ bản được lựa chọn trong nghiên cứu bao gồm: Điện trở (LK1), tụ điện (LK2), IC điều khiển (LK3), mô-đun nguồn (LK4), bo mạch PCB (LK5). Các linh kiện này đại diện cho các nhóm linh kiện có giá trị, mức độ biến động nhu cầu và yêu cầu quản lý tồn kho khác nhau trong doanh nghiệp sản xuất điện tử. Số liệu về nhu cầu và tham số chi phí tồn kho của các linh kiện trên được trình bày trên Bảng 1 và Bảng 2.

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN



Hình 1. Kết quả tính toán tổng chi phí tồn kho

Kết quả tính toán tổng chi phí tồn kho bằng các phương pháp khác nhau được trình bày trên Hình 1. Từ kết quả tính toán cho thấy sự khác biệt rõ rệt về hiệu quả chi phí giữa các phương pháp hoạch định tồn kho trong điều kiện nhu cầu rời rạc. Phương pháp LFL cho tổng chi phí tồn kho cao nhất do số lần đặt hàng lớn, mặc dù chi phí

lưu kho gần như bằng không. Phương pháp EOQ giúp giảm chi phí so với LFL nhưng chưa phản ánh tốt đặc điểm nhu cầu rời rạc, dẫn đến mức tồn kho bình quân tương đối cao, đặc biệt đối với các linh kiện có giá trị lớn.

Các phương pháp SMA, LUC và PPA cho hiệu quả chi phí tốt hơn so với LFL và EOQ. Trong đó, SMA và PPA thể hiện khả năng cân đối hợp lý giữa chi phí đặt hàng và chi phí lưu kho, cho kết quả tổng chi phí tồn kho gần với nghiệm tối ưu. Phương pháp LUC có xu hướng tạo ra nhiều lần đặt hàng hơn, do đó chi phí đặt hàng cao hơn trong một số trường hợp.

Phương pháp WWA cho tổng chi phí tồn kho thấp nhất đối với tất cả các loại linh kiện và được xem là nghiệm tối ưu toàn cục. Tuy nhiên, do yêu cầu tính toán phức tạp, WWA chủ yếu phù hợp làm phương pháp tham chiếu trong phân tích hơn là áp dụng trực tiếp trong thực tế sản xuất với nhiều mặt hàng.

Phân tích theo nhóm linh kiện cho thấy, đối với các linh kiện giá trị thấp và nhu cầu lớn, chênh lệch chi phí giữa các phương pháp không đáng kể. Ngược lại, đối với các linh kiện giá trị cao như IC và mô-đun nguồn, việc lựa chọn phương pháp hoạch định tồn kho phù hợp có ảnh hưởng lớn đến tổng chi phí tồn kho. Trong các trường hợp này, các phương pháp SMA và PPA là lựa chọn phù hợp do đạt hiệu quả chi phí cao và dễ áp dụng.

Từ kết quả nghiên cứu có thể rút ra rằng không tồn tại một phương pháp hoạch định tồn kho tối ưu cho mọi trường hợp xét đồng thời cả hiệu quả chi phí và tính khả thi. Đối với doanh nghiệp sản xuất điện tử, việc phân loại linh kiện và áp dụng linh hoạt các phương pháp hoạch định tồn kho cho nhu cầu rời rạc là hướng tiếp cận phù hợp nhằm nâng cao hiệu quả quản lý tồn kho.

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã đánh giá và so sánh các phương pháp hoạch định tồn kho trong điều kiện nhu cầu rời rạc, áp dụng cho doanh nghiệp sản xuất điện tử thông qua bộ số liệu của 5 loại linh kiện cơ bản. Kết quả cho thấy phương pháp LFL có chi phí cao do số lần đặt hàng lớn, trong khi EOQ chưa phản ánh tốt đặc điểm nhu cầu rời rạc. Các phương pháp SMA và PPA cho hiệu quả chi phí cao và gần với nghiệm tối ưu của WWA. Phương pháp WWA cho nghiệm tối ưu toàn cục nhưng có độ phức tạp tính toán lớn, phù hợp làm phương pháp tham chiếu. Do đó, việc phân loại linh kiện và lựa chọn linh hoạt các phương pháp hoạch định tồn kho là hướng tiếp cận phù hợp nhằm nâng cao hiệu quả quản lý tồn kho trong doanh nghiệp sản xuất điện tử.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong Đề tài mã số: DT25-26.28.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Nguyễn Văn Hải và cộng sự. Các nhân tố ảnh hưởng đến kế toán quản trị hàng tồn kho tại các doanh nghiệp sản xuất trên địa bàn tỉnh Đồng Nai, 2024.

[2] Faber, N., M. De Koster and A. Smidts. Organizing warehouse management. International Journal of Operations & Production Management, 33(9), pp. 1230-1256, 2013.

[3] Wilson Florim, et al. Analysis of lot-sizing methods' suitability for different manufacturing application scenarios oriented to MRP and JIT/Kanban environments. Brazilian Journal of Operations & Production Management, 16(4): pp. 638-649,2019.

[4] Edward A Silver. David F Pyke and Douglas J Thomas. Inventory and production management in supply chains, CRC press, 2016.

[5] Lawrence V Snyder and Zuo-Jun Max Shen. Fundamentals of supply chain theory. John Wiley & Sons. 2019.

[6] Phong Nguyễn Như, Quản lý vật tư tồn kho. Đại học Quốc gia TP Hồ Chí Minh, 2005

[7] Bela Pitria Hakim and Muhammad Nashir Ardiansyah. Optimal Lot-Sizing Decisions in Production Systems Using the Wagner-Whitin Algorithm for Data-Driven Inventory Control. International Journal on Advanced Science, Engineering & Information Technology, 15(3), 2025.

■Ngày nhận bài: 15/5/2026 ■Ngày sửa bài: 27/5/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 10/6/2026

Thực trạng quản lý nhà nước đối với chuỗi dịch vụ logistics vận tải hàng hóa hàng không ở Việt Nam

State of state management of logistics service chain in air cargo transport in Vietnam

> **TS NGÔ ĐỨC PHƯỚC**
Trường Đại học Giao thông vận tải TP Hồ Chí Minh
Email: phuoc.ngo@ut.edu.vn

TÓM TẮT

Quản lý nhà nước (QLNN) đối với chuỗi dịch vụ logistics trong vận tải hàng hóa hàng không giữ vai trò quan trọng trong việc hoàn thiện hành lang pháp lý, bảo đảm sự vận hành hiệu quả và thúc đẩy phát triển bền vững ngành logistics hàng không. Bài báo tập trung phân tích thực trạng QLNN đối với chuỗi dịch vụ logistics hàng không tại Việt Nam, đồng thời đánh giá những hạn chế còn tồn tại về cơ chế quản lý, chính sách và tổ chức thực hiện. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất một số giải pháp nhằm tăng cường hiệu quả QLNN, góp phần nâng cao năng lực cạnh tranh và thúc đẩy hội nhập quốc tế của ngành logistics hàng không Việt Nam.

Từ khóa: Quản lý nhà nước trong hàng không; chuỗi dịch vụ logistics hàng không; vận tải hàng hóa hàng không; dịch vụ logistics hàng không.

ABSTRACT

State management of the logistics service chain in air cargo transportation plays a critical role in improving the legal framework, ensuring operational efficiency and promoting the sustainable development of the air logistics industry. This paper focuses on analyzing the current state of government management of the air logistics service chain in Vietnam, while also assessing the existing limitations related to management mechanisms, policies and implementation practices. Based on these findings, the study proposes several solutions to enhance the effectiveness of state management, thereby contributing to strengthening the competitiveness and promoting the international integration of Vietnam's air logistics industry.

Keywords: State management in aviation; air logistics service chain; air cargo transportation; air logistics services.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh toàn cầu hóa và thương mại quốc tế phát triển mạnh mẽ, vận tải hàng hóa hàng không ngày càng giữ vai trò quan trọng nhờ ưu thế về tốc độ, tính chính xác và độ tin cậy cao. Sự phát triển của hoạt động này đã thúc đẩy chuỗi dịch vụ logistics hàng không mở rộng nhanh chóng, với sự tham gia của nhiều chủ thể như doanh nghiệp logistics, hãng hàng không, cảng hàng không và các cơ quan quản lý chuyên ngành. Điều này đòi hỏi phải có cơ chế QLNN chặt chẽ nhằm bảo đảm tính an toàn, đồng bộ và hiệu quả trong toàn bộ chuỗi hoạt động.

QLNN đối với chuỗi dịch vụ logistics vận tải hàng hóa hàng không không chỉ góp phần xây dựng hành lang pháp lý, điều phối và giám sát hoạt động, mà còn tạo động lực thúc đẩy phát triển bền vững và nâng cao năng lực cạnh tranh của ngành. Tuy nhiên, tại Việt Nam, công tác quản lý hiện nay vẫn còn nhiều hạn chế như hệ thống pháp luật chưa đồng bộ, hạ tầng logistics hàng không chưa đáp ứng yêu cầu phát triển, thủ tục hành chính còn phức tạp và nguồn nhân lực chất lượng cao còn thiếu. Những bất cập này đang ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu quả vận hành và khả năng hội nhập của ngành logistics hàng không.

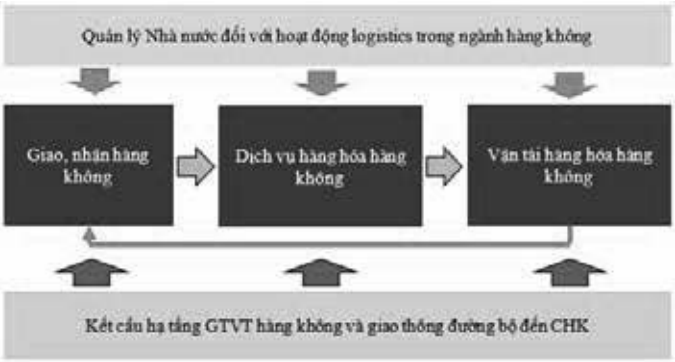
2. QLNN ĐỐI VỚI CHUỖI DỊCH VỤ LOGISTICS VẬN TẢI HÀNG HÓA HÀNG KHÔNG

2.1. Chuỗi dịch vụ logistics trong vận tải hàng hóa hàng không

Chuỗi dịch vụ là khái niệm quan trọng trong quản lý kinh doanh và được tiếp cận từ nhiều góc độ khác nhau. Theo Porter (1985) [1], chuỗi dịch vụ là tập hợp các hoạt động liên kết nhằm tạo

ra giá trị cho khách hàng. Trong lĩnh vực logistics, Christopher (2016) [2] cho rằng chuỗi dịch vụ không chỉ bao gồm vận chuyển mà còn gắn với quản lý thông tin và tối ưu hóa chi phí, còn Bowersox và cộng sự (2020) [3] nhấn mạnh vai trò của sự phối hợp đồng bộ giữa vận tải, lưu kho và quản lý hàng tồn kho. Theo Luật Thương mại Việt Nam (2005) [4], dịch vụ logistics bao gồm các hoạt động nhận hàng, vận chuyển, lưu kho, làm thủ tục hải quan và các dịch vụ hỗ trợ liên quan.

Trên cơ sở đó, chuỗi dịch vụ logistics trong vận tải hàng hóa hàng không được hình thành với sự tham gia của nhiều chủ thể, bao gồm các hoạt động chính như giao nhận hàng hóa, xử lý hàng hóa tại nhà ga và vận tải hàng hóa bằng đường hàng không. Bên cạnh đó, các hoạt động hỗ trợ như QLNN, kết cấu hạ tầng hàng không và hệ thống giao thông kết nối giữ vai trò bảo đảm tính đồng bộ và hiệu quả của toàn chuỗi dịch vụ, góp phần nâng cao năng lực cạnh tranh và thúc đẩy hội nhập quốc tế.



Hình 1. Chuỗi dịch vụ logistics trong vận tải hàng hóa hàng không

Nguồn: Nguyễn Hải Quang, 2016 [5].

2.2. QLNN đối với chuỗi dịch vụ logistics trong vận tải hàng hóa hàng không

QLNN đối với chuỗi dịch vụ logistics trong vận tải hàng hóa hàng không là quá trình điều chỉnh và định hướng các hoạt động logistics hàng không thông qua hệ thống pháp luật, chính sách và cơ chế quản lý nhằm bảo đảm tính an toàn, đồng bộ và hiệu quả của toàn chuỗi dịch vụ. QLNN giữ vai trò quan trọng trong việc xây dựng môi trường pháp lý minh bạch, phát triển kết cấu hạ tầng hàng không, bảo đảm an ninh - an toàn vận tải và nâng cao hiệu quả hoạt động của các doanh nghiệp logistics hàng không.

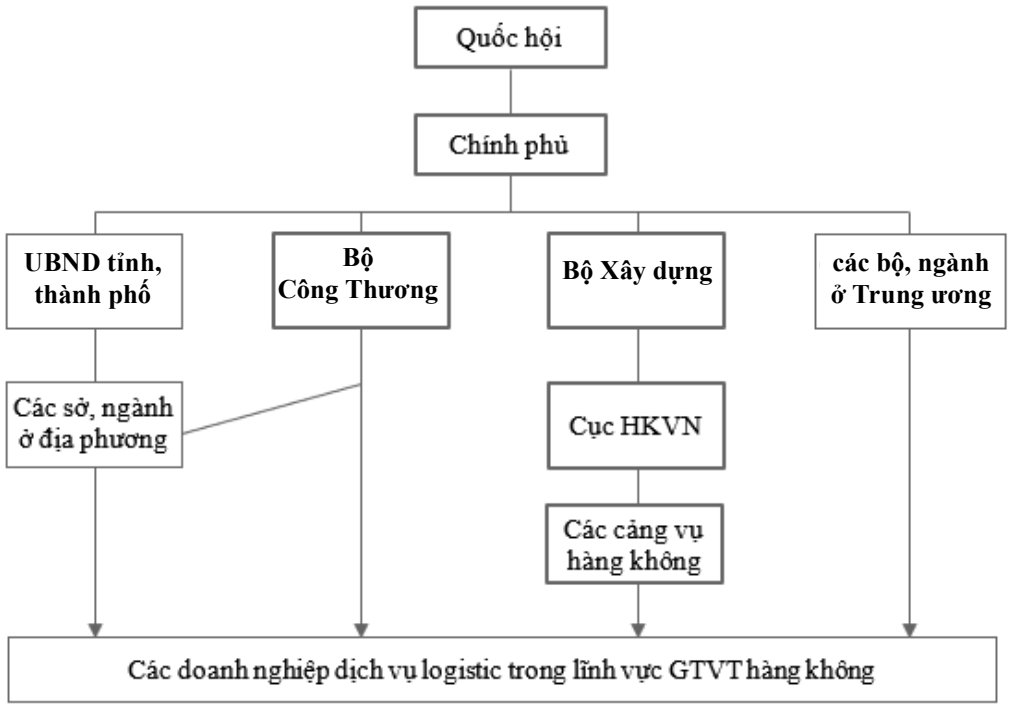
Thông qua các chính sách về đầu tư, thuế, thủ tục hành chính và ứng dụng công nghệ, QLNN góp phần tối ưu hóa chi phí, nâng cao năng lực cạnh tranh và thúc đẩy hội nhập quốc tế của ngành logistics hàng không. Đồng thời, công tác thanh tra, giám sát, nghiên cứu khoa học và đào tạo nguồn nhân lực cũng giữ vai trò quan trọng trong việc bảo đảm các chủ thể tham gia chuỗi dịch vụ hoạt động đúng quy định, đáp ứng yêu cầu phát triển bền vững trong bối cảnh toàn cầu hóa.

3. THỰC TRẠNG QLNN ĐỐI VỚI CHUỖI DỊCH VỤ LOGISTICS HÀNG KHÔNG

3.1. Thực trạng về tổ chức bộ máy QLNN

Tổ chức bộ máy QLNN đối với chuỗi dịch vụ logistics trong vận tải hàng hóa hàng không ở Việt Nam hiện nay được xây dựng theo hệ thống quản lý từ Trung ương đến địa phương, bảo đảm tính thống nhất trong điều hành và giám sát hoạt động logistics hàng không (Hình 1).

Thông qua sơ đồ cho thấy Quốc hội giữ vai trò ban hành khung pháp lý; Chính phủ tổ chức thực thi, phê duyệt chiến lược và quy hoạch phát triển ngành, trong khi Bộ Công Thương thực hiện chức năng quản lý hoạt động kinh doanh dịch vụ logistics.



Hình 2. Tổ chức bộ máy QLNN về hoạt động logistics trong vận tải hàng hóa hàng không

Nguồn: Nguyễn Hải Quang, 2016 [6].

Trước ngày 01/3/2025, Bộ Giao thông vận tải là cơ quan trực tiếp QLNN về hàng không dân dụng. Tuy nhiên, theo Nghị định 33/2025/NĐ-CP [7] và chủ trương sắp xếp tổ chức bộ máy theo Nghị quyết 18-NQ/TW [8], chức năng này đã được chuyển giao cho Bộ Xây dựng sau khi hợp nhất với Bộ Giao thông vận tải. Đồng thời, Cục Hàng không Việt Nam hiện là cơ quan trực thuộc Bộ Xây dựng, thực hiện chức năng tham mưu và QLNN về hàng không dân dụng trên phạm vi cả nước.

Bên cạnh đó, hệ thống Cảng vụ Hàng không miền Bắc, miền Trung và miền Nam trực thuộc Cục Hàng không Việt Nam thực hiện nhiệm vụ quản lý, giám sát hoạt động tại các cảng hàng không và sân bay trên toàn quốc. Nhìn chung, bộ máy quản lý hiện nay đã hình thành cơ chế phối hợp tương đối chặt chẽ giữa các cơ quan QLNN, tạo nền tảng cho sự phát triển của chuỗi dịch vụ logistics hàng không.

3.2. Thực trạng về hệ thống văn bản pháp luật quản lý hoạt động logistics hàng không

Hệ thống văn bản pháp luật về quản lý hoạt động logistics hàng không ở Việt Nam hiện nay đã từng bước được hoàn thiện với nhiều luật, nghị định, thông tư và văn bản hướng dẫn liên quan đến hàng không dân dụng và dịch vụ logistics. Các quy định này đã tạo cơ sở pháp lý quan trọng cho công tác QLNN, góp phần bảo đảm hoạt động logistics hàng không được triển khai tương đối thống nhất và đúng quy định pháp luật (Bảng 1).

Bảng 1. Văn bản pháp luật liên quan đến QLNN đối với chuỗi dịch vụ logistics trong vận tải hàng hóa hàng không

Số văn bản	Nội dung	Ngày ban hành
36/2005/QH11	Luật Thương mại [4]	14/6/2005
130/2025/QH15	Luật Hàng không dân dụng Việt Nam 2025 [9]	10/12/2025
66/2015/NĐ-CP	Nghị định về nhà chức trách hàng không [10]	12/8/2015
92/2015/NĐ-CP	Nghị định về an ninh hàng không [11]	13/10/2015
93/2022/NĐ-CP	Nghị định về quản lý, bảo đảm an ninh, trật tự tại cửa khẩu đường hàng không [12]	07/11/2022
85/2015/TT-BGTVT	Thông tư quy định trách nhiệm và xử lý vi phạm trong hoạt động vận tải hàng không [13]	31/12/2015
33/2016/TT-BGTVT	Thông tư quy định về báo cáo hoạt động và báo cáo số liệu trong ngành HKDD Việt Nam [14]	15/11/2016
163/2017/NĐ-CP	Nghị định quy định về kinh doanh dịch vụ logistics [15]	30/12/2017
59/2018/NĐ-CP	Nghị định quy định chi tiết và biện pháp thi hành Luật Hải quan về thủ tục hải quan, kiểm tra, giám sát, kiểm soát hải quan [16]	20/4/2018
167/2025/NĐ-CP	Nghị định sửa đổi thủ tục hải quan và logistics [17]	30/6/2025
59/2020/QH14	Luật Doanh nghiệp [18]	17/6/2020
05/2021/NĐ-CP	Nghị định về quản lý, khai thác cảng hàng không, sân bay [19]	25/01/2021
20/2024/NĐ-CP	Nghị định sửa đổi NĐ 05/2021/NĐ-CP về quản lý khai thác cảng hàng không, sân bay [20]	23/02/2024
44/2024/TT-BGTVT	Thông tư về quản lý giá dịch vụ vận chuyển hàng không nội địa và giá dịch vụ chuyên ngành hàng không [21]	15/11/2024
55/VBHN-BGTVT	Văn bản hợp nhất về vận chuyển hàng không và hoạt động hàng không chung [22]	03/11/2023
01/VBHN-BGTVT	Văn bản hợp nhất quy định chi tiết chương trình an ninh hàng không và kiểm soát chất lượng an ninh hàng không Việt Nam [23]	04/02/2021
15/VBHN-BXD/2025	Văn bản hợp nhất quy định các ngành, nghề kinh doanh có điều kiện trong lĩnh vực hàng không dân dụng [24]	18/9/2025
16/VBHN-BXD/2025	Văn bản hợp nhất Bộ quy chế an toàn hàng không dân dụng lĩnh vực tàu bay và khai thác tàu bay [25]	18/9/2025
17/2026/NĐ-CP	Nghị định xử phạt vi phạm hành chính trong lĩnh vực hàng không dân dụng [26]	14/01/2026

Nguồn: Tổng hợp từ các văn bản pháp quy.

Tuy nhiên, hệ thống pháp luật hiện hành vẫn còn một số hạn chế và chưa thực sự đồng bộ. Mặc dù hoạt động logistics đã được quy định trong Luật Thương mại 2005 và cụ thể hóa tại Nghị định 163/2017/NĐ-CP, nhưng các quy định chủ yếu mang tính khung, chưa bao quát đầy đủ đặc thù của logistics trong vận tải hàng hóa hàng không. Bên cạnh đó, các văn bản như Thông tư 44/2024/TT-BGTVT [21]; 55/VBHN-BGTVT [22] và 15/VBHN-BXD/2025 [24] hiện chủ yếu tập trung vào hoạt động vận chuyển và khai thác hàng không dân dụng, tập trung vào hành khách, chưa có quy định chuyên biệt đối với logistics hàng không. Việc thiếu một hành lang pháp lý riêng cho lĩnh vực này đang gây khó khăn cho công tác quản lý, điều hành và phát triển dịch vụ logistics hàng không trong bối cảnh hội nhập và cạnh tranh quốc tế ngày càng gia tăng.

3.3. Thực trạng QLNN về quy hoạch và chính sách phát triển dịch vụ logistics hàng không

Trong thời gian qua, Chính phủ cùng các cơ quan quản lý chuyên ngành đã ban hành nhiều chiến lược, quy hoạch và chính sách nhằm định hướng phát triển dịch vụ logistics hàng không theo hướng hiện đại và hội nhập quốc tế (Bảng 2).

Bảng 2. Các quy hoạch, chính sách của Nhà nước đối với hoạt động logistics trong ngành Hàng không

Số văn bản	Nội dung	Ngày ban hành
21/2017/QH14	Luật Quy hoạch [27]	24/11/2017
57/2024/QH15	Luật sửa đổi, bổ sung một số điều của Luật Quy hoạch 21/2017/QH14 [28]	29/11/2024
81/2023/QH15	Nghị quyết về Quy hoạch tổng thể quốc gia thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050 [29]	09/01/2023
252/2025/QH15	Nghị quyết sửa đổi, bổ sung Nghị quyết 81/2023/QH15 [30]	10/12/2025

648/QĐ-TTg	Phê duyệt Quy hoạch tổng thể phát triển hệ thống cảng hàng không, sân bay toàn quốc thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050 [31]	07/6/2023
657/QĐ-BXD	Điều chỉnh Quy hoạch hệ thống cảng hàng không toàn quốc thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050 [32]	06/5/2026
2229/QĐ-TTg	Phê duyệt Chiến lược phát triển dịch vụ logistics Việt Nam thời kỳ 2025-2035, tầm nhìn đến 2050 [33]	09/10/2025
876/QĐ-TTg	Chương trình hành động về chuyển đổi năng lượng xanh, giảm phát thải khí carbon và khí methane của ngành GTVT [34]	22/7/2022

Nguồn: Tổng hợp từ các văn bản pháp quy.

Sau khi thực hiện Nghị định 33/2025/NĐ-CP, chức năng QLNN về hàng không được chuyển giao từ Bộ Giao thông vận tải sang Bộ Xây dựng, góp phần thống nhất công tác quản lý và quy hoạch hạ tầng giao thông. Nghị quyết 81/2023/QH15 [29]; Quyết định 648/QĐ-TTg [31] và Quyết định 2229/QĐ-TTg [33] đã xác định rõ định hướng phát triển hệ thống cảng hàng không, trung tâm logistics và mạng lưới kết nối vận tải đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050, qua đó tạo nền tảng nâng cao năng lực cạnh tranh của logistics hàng không Việt Nam.

Hiện nay, thực tiễn cho thấy công tác quy hoạch và triển khai chính sách vẫn còn một số hạn chế như thiếu sự phối hợp đồng bộ giữa các cơ quan quản lý, hiệu quả thực hiện chưa đạt kỳ vọng tại các cảng hàng không lớn như Tân Sơn Nhất, Nội Bài và Long Thành trong tương lai. Bên cạnh đó, logistics hàng không Việt Nam đang chịu áp lực cạnh tranh ngày càng lớn từ các quốc gia trong khu vực, đòi hỏi phải tăng cường liên kết giữa cơ quan QLNN và doanh nghiệp nhằm nâng cao hiệu quả phát triển và khả năng hội nhập quốc tế.

4. GIẢI PHÁP TĂNG CƯỜNG QLNN ĐỐI VỚI CHUỖI DỊCH VỤ LOGISTICS HÀNG KHÔNG

Để nâng cao hiệu quả QLNN đối với chuỗi dịch vụ logistics hàng không, cần tập trung hoàn thiện hệ thống pháp luật và xây dựng các quy định chuyên biệt phù hợp với đặc thù của logistics vận tải hàng hóa hàng không, đồng thời bảo đảm sự tương thích với các tiêu chuẩn quốc tế. Bên cạnh đó, cần đẩy mạnh quy hoạch và triển khai các chiến lược phát triển dài hạn theo hướng đồng bộ hạ tầng cảng hàng không, trung tâm logistics và hệ thống giao thông kết nối nhằm nâng cao năng lực vận hành và khả năng cạnh tranh của ngành.

Cùng với đó, công tác quản lý và cấp phép cần được cải cách theo hướng đơn giản hóa thủ tục hành chính, tăng cường ứng dụng công nghệ số và thực hiện cấp phép trực tuyến nhằm tạo thuận lợi cho doanh nghiệp. Đồng thời, cần nâng cao hiệu quả thanh tra, kiểm tra và giám sát thông qua cơ chế phối hợp đồng bộ giữa các cơ quan quản lý, hạn chế chồng chéo trong thực thi nhiệm vụ.

Ngoài ra, việc tăng cường đầu tư cho nghiên cứu khoa học, đào tạo nguồn nhân lực chất lượng cao và thúc đẩy ứng dụng công nghệ hiện đại như logistics số, chuỗi cung ứng thông minh và logistics xanh là yêu cầu cần thiết để phát triển bền vững ngành logistics hàng không. Song song đó, cần mở rộng hợp tác quốc tế và tăng cường liên kết với các tổ chức như ICAO, IATA nhằm tiếp cận các tiêu chuẩn quản lý tiên tiến, nâng cao khả năng hội nhập và vị thế của logistics hàng không Việt Nam trên thị trường quốc tế.

5. KẾT LUẬN

QLNN đối với chuỗi dịch vụ logistics vận tải hàng hóa hàng không có vai trò quan trọng trong việc hoàn thiện hành lang pháp lý, nâng cao hiệu quả quản lý và thúc đẩy phát triển bền vững ngành logistics hàng không. Tuy nhiên, công tác quản lý hiện nay vẫn còn nhiều hạn chế về pháp luật, hạ tầng, cơ chế quản lý và nguồn nhân lực.

Do đó, cần tiếp tục hoàn thiện khung pháp lý, đẩy mạnh cải cách thủ tục hành chính, tăng cường ứng dụng công nghệ và nâng cao chất lượng nguồn nhân lực nhằm nâng cao năng lực cạnh tranh và thúc đẩy sự phát triển bền vững của logistics hàng không Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] M. E. Porter. Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance. New York, NY, USA: Free Press, 1985.

[2] Bowersox, D. J., Closs, D. J., Cooper, M. B., & Bowersox, J. C. Supply chain logistics management. Mcgraw-hill, 2020.

[3] Christopher, M. Logistics and Supply Chain Management: Logistics & Supply Chain Management. Pearson UK, 2016.

[4] Quốc hội. Luật số 36/2005/QH11 ngày 14/6/2005, 2005.

[5] Nguyễn Hải Quang. Chuỗi giá trị dịch vụ logistics trong giao thông vận tải hàng không ở Việt Nam. Tạp chí Giao thông vận tải, số tháng 12, tr. 104-107, 2016.

[6] Nguyễn Hải Quang. QLNN đối với dịch vụ logistic trong lĩnh vực giao thông vận tải hàng không ở Việt Nam. Tạp chí khoa học công nghệ GTVT, số 20, tháng 08, tr. 12-16, 2016.

[7] Chính phủ. Nghị định số 33/2025/NĐ-CP ngày 25/02/2025, 2025.

[8] Ban Chấp hành Trung ương Đảng Cộng sản Việt Nam. Nghị quyết số 18-NQ/TW ngày 25/10/2017, 2017.

[9] Quốc hội. Luật số 130/2025/QH15 ngày 10/12/2025.

[10] Chính phủ. Nghị định số 66/2015/NĐ-CP ngày 12/8/2015.

[11] Chính phủ. Nghị định số 92/2015/NĐ-CP ngày 13/10/2015.

[12] Chính phủ. Nghị định số 93/2022/NĐ-CP ngày 07/11/2022.

[13] Bộ Giao thông vận tải. Thông tư số 85/2015/TT-BGTVT ngày 31/12/2015.

[14] Bộ Giao thông vận tải. Thông tư số 33/2016/TT-BGTVT ngày 15/11/2016.

[15] Chính phủ. Nghị định số 163/2017/NĐ-CP ngày 30/12/2017.

[16] Chính phủ. Nghị định số 59/2018/NĐ-CP ngày 20/4/2018.

[17] Chính phủ. Nghị định số 167/2025/NĐ-CP ngày 30/6/2025.

[18] Quốc hội. Luật Doanh nghiệp. Luật số 59/2020/QH14 ngày 17/6/2020.

[19] Chính phủ. Nghị định số 05/2021/NĐ-CP ngày 25/01/2021.

[20] Chính phủ. Nghị định số 20/2024/NĐ-CP ngày 23/02/2024.

[21] Bộ Giao thông vận tải. Thông tư số 44/2024/TT-BGTVT ngày 15/11/2024.

[22] Bộ Giao thông vận tải. Văn bản hợp nhất số 55/VBHN-BGTVT ngày 03/11/2023.

[23] Bộ Giao thông vận tải. Văn bản hợp nhất số 01/VBHN-BGTVT ngày 04/02/2021.

[24] Bộ Xây dựng. Văn bản hợp nhất số 15/VBHN-BXD ngày 18/9/2025.

[25] Bộ Xây dựng. Văn bản hợp nhất số 16/VBHN-BXD ngày 18/9/2025.

[26] Chính phủ. Nghị định số 17/2026/NĐ-CP ngày 14/01/2026.

[27] Quốc hội. Luật Quy hoạch. Luật số 21/2017/QH14 ngày 24/11/2017.

[28] Quốc hội. Luật số 57/2024/QH15 ngày 29/11/2024.

[29] Quốc hội. Nghị quyết số 81/2023/QH15 ngày 09/01/2023.

[30] Quốc hội. Nghị quyết số 252/2025/QH15 ngày 10/12/2025.

[31] Thủ tướng Chính phủ. Quyết định số 648/QĐ-TTg ngày 07/6/2023.

[32] Bộ Xây dựng. Quyết định số 657/QĐ-BXD ngày 06/5/2026.

[33] Thủ tướng Chính phủ. Quyết định số 2229/QĐ-TTg ngày 09/10/2025.

[34] Thủ tướng Chính phủ. Quyết định số 876/QĐ-TTg ngày 22/7/2022.

■Ngày nhận bài: 29/4/2026 ■Ngày sửa bài: 13/5/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 25/5/2026

Nghiên cứu các chiến lược xây dựng kế hoạch khai thác cơ sở vật chất tại các cơ sở giáo dục đại học công lập Việt Nam

A study on strategies for developing plans for the utilization of physical facilities at public higher education institutions in Vietnam

> **THS NGÔ TOÀN THẮNG[1], PGS.TS NGUYỄN LƯƠNG HẢI[2], TS ĐỖ THỊ HUYỀN[3,*]**
[1]Trường Đại học Gia Định
[2]Trường Đại học Giao thông vận tải
[3]Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải
[*]Email: huyendt@utt.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu nhằm đề xuất các chiến lược thực hiện chức năng lập kế hoạch trong quản lý khai thác (QLKT) cơ sở vật chất (CSVC) tại các cơ sở giáo dục đại học (CSGDĐH) công lập Việt Nam. Trên cơ sở tổng hợp lý thuyết quản lý, lý thuyết các bên liên quan, hệ thống lập kế hoạch và kiểm soát, cùng các nghiên cứu thực nghiệm về QLKT CSVC, bài báo xây dựng và sàng lọc chỉ tiêu bằng phương pháp Fuzzy Delphi. Kết quả xác định 6 chiến lược được chấp nhận, phản ánh ba phương diện cốt lõi: Định hướng kế hoạch; sự phù hợp với nhu cầu thực tiễn và năng lực tài chính; sự rõ ràng về trách nhiệm và nguồn lực thực hiện. Kết quả góp phần cụ thể hóa chức năng lập kế hoạch nhằm nâng cao hiệu quả khai thác CSVC tại các CSGDĐH công lập Việt Nam.

Từ khóa: Lập kế hoạch; quản lý khai thác; cơ sở vật chất; cơ sở giáo dục đại học công lập; Fuzzy Delphi.

ABSTRACT

This study proposes strategies for implementing the planning function in the utilization management of physical facilities at public higher education institutions in Vietnam. Based on management theory, stakeholder theory, planning and control systems and empirical studies on facility utilization management, the article develops and screens indicators using the Fuzzy Delphi method. The findings identify six accepted strategies reflecting three core dimensions: Planning orientation; alignment with practical needs and financial capacity and clarity of responsibilities and implementation resources. The study contributes to concretizing the planning function to improve the effective utilization of physical facilities at public higher education institutions in Vietnam.

Keywords: Planning; utilization management; physical facilities; public higher education institutions; Fuzzy Delphi.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

CSVC là điều kiện cần thiết để các CSGDĐH thực hiện hoạt động đào tạo, nghiên cứu khoa học và phục vụ cộng đồng [4-8]. CSVC không chỉ đáp ứng nhu cầu trước mắt mà còn phải phù hợp với chiến lược phát triển lâu dài của nhà trường [5, 6]. Khai thác CSVC là quá trình sử dụng, vận hành, bảo trì và điều phối CSVC nhằm duy trì trạng thái sẵn sàng hoạt động. QLKT CSVC là quá trình tác động có tổ chức của chủ thể quản lý nhằm định hướng, phân bổ nguồn lực, phối hợp các bên liên quan và kiểm soát việc khai thác CSVC để phục vụ mục tiêu phát triển của nhà trường [1, 4].

Trong khoa học quản lý, lập kế hoạch là chức năng mở đầu, định hướng cho tổ chức thực hiện, phân bổ nguồn lực, kiểm soát và điều chỉnh hoạt động [1, 2]. Một kế hoạch có chất lượng phải làm rõ mục tiêu, hành động, trách nhiệm, nguồn lực và cơ chế phản hồi [1, 2, 16]. Tuy nhiên, các nghiên cứu hiện có chủ yếu tập trung vào thực hành quản lý CSVC, đo lường hiệu suất, bảo trì công trình hoặc đánh giá giá trị gia tăng của dịch vụ hỗ trợ [5-13], chưa đi sâu nhận diện các chiến lược xây dựng kế hoạch khai thác CSVC như một nội

dung quản lý độc lập trong bối cảnh CSGDĐH công lập [6, 10-13].

Ở Việt Nam, các nghiên cứu về lập kế hoạch và quản lý CSVC đã góp phần làm rõ vai trò của chức năng quản lý và yêu cầu hoàn thiện quản trị, nhưng chưa xác lập bộ chỉ tiêu đo lường có cấu trúc rõ ràng cho chức năng lập kế hoạch trong bối cảnh CSGDĐH công lập [14, 15]. Từ khoảng trống đó, bài báo cụ thể hóa chức năng lập kế hoạch thành các nhóm chiến lược xây dựng kế hoạch khai thác CSVC; sử dụng Fuzzy Delphi để sàng lọc các chiến lược; đồng thời đề xuất các chiến lược cốt lõi nhằm hỗ trợ CSGDĐH công lập nâng cao chất lượng công tác này.

2. XÂY DỰNG KẾ HOẠCH TRONG QLKT CSVC TẠI CSGDĐH CÔNG LẬP

Theo lý thuyết quản lý, lập kế hoạch là quá trình xác định mục tiêu, lựa chọn hành động và bố trí nguồn lực để định hướng cho thực hiện và kiểm soát [1, 2]. Anthony (1965) xem lập kế hoạch là một bộ phận của hệ thống lập kế hoạch và kiểm soát, trong đó kế hoạch không chỉ xác lập mục tiêu mà còn gắn với theo dõi, điều chỉnh kết quả thực hiện [1]. Deming (1986) cũng cho rằng hiệu quả quản lý chỉ được cải thiện khi kế hoạch được đặt trong chu trình liên tục giữa thực hiện, kiểm tra và hiệu chỉnh [2]. Vì vậy, lập kế hoạch là chức năng nền tảng của quá trình quản lý.

Trong QLKT CSVC, lập kế hoạch cần được hiểu rộng hơn việc bảo đảm vận hành thường xuyên của tài sản và hạ tầng [4, 8]. Các nghiên cứu về quản lý CSVC cho thấy hoạt động này chỉ tạo ra giá trị khi gắn với hoạt động cốt lõi của tổ chức [4]. Đối với CSGDĐH, CSVC không chỉ phục vụ vận hành hằng ngày mà còn trực tiếp hỗ trợ giảng dạy, nghiên cứu khoa học và hoạt động cộng đồng [5, 7, 8]. Vì vậy, lập kế hoạch trong QLKT CSVC cần bao gồm xác định mục tiêu khai thác, lựa chọn hành động, bố trí nguồn lực, phân công trách nhiệm và thiết lập cơ chế đánh giá, điều chỉnh [1-4].

Cách tiếp cận này phù hợp với bối cảnh CSGDĐH công lập Việt Nam, nơi hoạt động khai thác CSVC chịu tác động của định hướng phát triển nhà trường, nhu cầu thực tiễn của đơn vị sử dụng, cơ chế tài chính và yêu cầu giải trình trong quản lý tài sản công [4, 7, 14, 15]. Do đó, đánh giá công tác lập kế hoạch trong QLKT CSVC cần dựa trên bộ chỉ tiêu phản ánh các nội dung cốt lõi: xác định mục tiêu kế hoạch, xác định hành động thực hiện, tổ chức thực hiện, đánh giá và hiệu chỉnh kế hoạch [1, 2, 4, 6].

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu áp dụng phương pháp định tính nhằm hình thành hệ thống chỉ tiêu trên cơ sở các học thuyết quản lý, kết hợp với sàng lọc chỉ tiêu dựa trên ý kiến chuyên gia [17, 18].

Quy trình nghiên cứu gồm 4 bước: Tổng quan tài liệu để xác lập cơ sở lý thuyết và hình thành bộ chỉ tiêu sơ bộ [1, 4, 6]; xây dựng phiếu hỏi chuyên gia dựa trên các chỉ tiêu sơ bộ [17, 18]; thu thập và tổng hợp ý kiến chuyên gia bằng phương pháp Fuzzy Delphi [19, 20]; sàng lọc và hoàn thiện bộ chỉ tiêu chính thức trên cơ sở đánh giá của hội đồng chuyên gia đối với từng chỉ tiêu [17, 19, 21].

Chuyên gia được lựa chọn theo phương pháp chọn mẫu có chủ đích, gồm 12 chuyên gia. Tiêu chí lựa chọn gồm: Có trình độ chuyên môn phù hợp với lĩnh vực quản lý giáo dục, quản lý CSVC, quản lý xây dựng, quản trị đại học hoặc tài chính công; có kinh nghiệm thực tiễn ít nhất 10 năm trong quản lý, vận hành, khai thác hoặc nghiên cứu về CSVC tại CSGDĐH công lập [17, 18]. Nhóm chuyên gia bao gồm 4 nhà quản lý tại CSGDĐH công lập, 4 chuyên gia nghiên cứu trong lĩnh vực liên quan và 4 chuyên gia thực tiễn có kinh nghiệm trực tiếp trong khai thác, vận hành, bảo trì CSVC [4, 5, 9, 12, 14].

Các chỉ tiêu được hội đồng chuyên gia đánh giá bằng thang đo Likert 5 mức, sau đó chuyển đổi sang số mờ tam giác để xử lý bằng kỹ thuật Fuzzy Delphi [19, 20]. Quy trình xử lý gồm: Chuyển đổi các mức đánh giá ngôn ngữ sang số mờ tam giác; tổng hợp giá trị mờ của từng chỉ tiêu; giải mờ để thu được giá trị rõ ràng; kết hợp giá trị giải mờ với mức độ đồng thuận của nhóm chuyên gia để quyết định giữ lại, hiệu chỉnh hoặc loại bỏ chỉ tiêu [19-21]. Một chỉ tiêu được giữ lại khi có căn cứ lý thuyết rõ, được chuyên gia đánh giá ở mức cần thiết/phù hợp cao và đạt mức độ hội tụ tương đối ổn định [17-21].

Cuối cùng, trọng số mờ được chuyển sang giá trị rõ ràng bằng công thức giải mờ:

$$S_j = \frac{a_j + b_j + c_j}{3}$$

Sử dụng S_j để xác định ngưỡng α, loại/ bảo lưu nhân tố:

$$\alpha = \frac{\sum_{j=1}^{n} S_j}{n}$$

Nếu $S_j \geq \alpha \rightarrow$ Accepted (chấp nhận nhân tố)
Nếu $S_j < \alpha \rightarrow$ Rejected (loại bỏ)

4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

4.1. Đề xuất bộ chỉ tiêu sơ bộ

** Nhóm chỉ tiêu nhận diện chiến lược xác định mục tiêu kế hoạch:*

Lý thuyết về lập kế hoạch cho rằng kế hoạch trước hết phải xác định được mục tiêu rõ ràng và định hướng chung cho hoạt động quản lý [1, 2]. Theo lý thuyết các bên liên quan, mục tiêu kế hoạch cần minh bạch để các bên tham gia hiểu đúng vai trò của mình [3]. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất chỉ tiêu KH1 nhằm đánh giá mức độ đầy đủ trong phổ biến hướng dẫn về xây dựng kế hoạch khai thác CSVC tới các bộ phận liên quan trong CSGDĐH [1, 3, 14, 15]. Các nghiên cứu thực nghiệm cho thấy QLKT CSVC cần được tổ chức trong mối quan hệ chặt chẽ với hoạt động lõi và mục tiêu phát triển của tổ chức [4, 7, 8]. Đối với CSGDĐH công lập Việt Nam, QLKT CSVC không chỉ đáp ứng nhu cầu vận hành trước mắt mà còn phải phục vụ định hướng phát triển đào tạo, nghiên cứu và nâng cao vị thế nhà trường trong dài hạn [7, 14]. Vì vậy, nghiên cứu đề xuất chỉ tiêu KH2 nhằm đánh giá mức độ phù hợp của kế hoạch khai thác CSVC với chiến lược phát triển dài hạn của CSGDĐH. Tại CSGDĐH công lập, nhu cầu về không gian học tập, phòng thí nghiệm, thiết bị và dịch vụ hỗ trợ luôn biến động theo quy mô tuyển sinh, cơ cấu ngành đào tạo và định hướng nghiên cứu từng giai đoạn [8, 14]. Nếu kế hoạch không bám sát nhu cầu thực tiễn, việc khai thác CSVC dễ kém hiệu quả và mang tính hình thức [5, 8]. Do đó, nghiên cứu đề xuất chỉ tiêu KH3 để đánh giá mức độ phù hợp của kế hoạch với nhu cầu thực tiễn và KH4 để đánh giá mức độ phù hợp với năng lực tài chính của cơ sở giáo dục [12, 13, 15].

** Nhóm chỉ tiêu nhận diện chiến lược xác định các hành động thực hiện:*

Sau khi xác lập mục tiêu, kế hoạch phải chuyển mục tiêu thành những hành động cụ thể để tổ chức thực hiện và kiểm soát [1, 16]. Zwikael và Globerson cho rằng đánh giá công tác lập kế hoạch cần xem xét danh mục công việc và logic triển khai có được mô tả rõ hay không [16]. Các nghiên cứu về KPI và đo lường hiệu quả hoạt động cũng nhấn mạnh nội dung hành động phải đủ rõ để tổ chức thực hiện, giám sát và đánh giá [6, 10, 11]. Trong QLKT CSVC, hoạt động thực hiện không chỉ gồm bảo trì mà còn bao gồm điều phối không gian, vận hành thiết bị, xử lý sự cố và nâng cấp theo nhu cầu sử dụng [14, 15]. Nếu kế hoạch không làm rõ các hoạt động này, nhà trường khó triển khai đồng bộ và khó lượng hóa trách nhiệm của các đơn vị liên quan [1, 15, 16]. Từ đó, nghiên cứu đề xuất chỉ tiêu KH5 để đánh giá mức độ rõ ràng của các hoạt động khai thác CSVC được xây dựng trong kế hoạch.

** Nhóm chỉ tiêu nhận diện chiến lược trách nhiệm, nguồn lực và tổ chức thực hiện:*

Kế hoạch không chỉ mô tả mục tiêu và danh mục hành động mà còn là công cụ tổ chức thực hiện trong thực tiễn [1, 3]. Vì vậy, công tác lập kế hoạch cần làm rõ chủ thể chịu trách nhiệm, nguồn lực sử dụng, bộ máy thực hiện và trình tự triển khai [1, 3]. Theo lý thuyết các bên liên quan, sự rõ ràng về vai trò và trách nhiệm là điều kiện để giảm xung đột, tăng trách nhiệm giải trình và nâng cao khả năng phối hợp [3]. Hoạt động khai thác CSVC tại CSGDĐH thường liên quan đồng thời đến ban giám hiệu, phòng quản trị, phòng tài chính, khoa chuyên môn và đơn vị sử dụng trực tiếp [4, 14]. Nếu trách nhiệm của các chủ thể không được xác định rõ, quá trình triển khai dễ phát sinh chồng chéo, bỏ sót nhiệm vụ hoặc né tránh trách nhiệm [3, 15]. Từ đó, nghiên cứu đề xuất chỉ tiêu KH6 nhằm đánh giá mức độ rõ ràng trong mô tả phân công trách nhiệm của các chủ thể liên quan.

Các nghiên cứu thực nghiệm về QLKT CSVC trong CSGDĐH cho thấy đây là lĩnh vực có tính đa chủ thể [4, 9]. Jensen nhấn mạnh hoạt động khai thác CSVC phải được đặt trong quan hệ với cơ chế phối hợp của toàn tổ chức [4]. Kamarazaly và cộng sự cũng chỉ ra các thách thức về tài chính, tổ chức và năng lực thực hiện của nhà quản lý CSVC trong CSGDĐH [9]. Do vậy, nghiên cứu đề xuất chỉ tiêu KH7 nhằm đánh giá mức độ rõ ràng trong mô tả nguồn lực thực hiện kế hoạch và KH8 nhằm đánh giá mức độ rõ ràng trong mô tả bộ máy tổ chức thực hiện kế hoạch.

Bên cạnh trách nhiệm, nguồn lực và bộ máy, tiến trình thực hiện cũng là nội dung quan trọng của lập kế hoạch. Zwikael và Globerson cho rằng chất lượng lập kế hoạch tăng lên khi tiến trình thực hiện được mô tả rõ về trình tự và logic triển khai [16]. Trong QLKT CSVC, tiến trình rõ ràng giúp các bên liên quan phối hợp công việc và theo dõi tiến độ [6, 10]. Vì vậy, nghiên cứu đề xuất chỉ tiêu KH9 nhằm đánh giá mức độ rõ ràng trong mô tả tiến trình thực hiện kế hoạch khai thác CSVC.

** Nhóm chỉ tiêu nhận diện chiến lược đánh giá và hiệu chỉnh kế hoạch:*

Công tác lập kế hoạch không dừng ở việc xác lập mục tiêu và hành động mà còn cần cơ chế kiểm tra, phản hồi và điều chỉnh [1, 2]. Anthony đặt kế hoạch trong hệ thống kế hoạch và kiểm soát, nghĩa là kết quả thực hiện phải được phản hồi trở lại để điều chỉnh quyết định quản lý [1]. Deming cũng xem kiểm tra và hành động hiệu chỉnh là hai bước bắt buộc của chu trình cải tiến liên tục [2]. Đối với QLKT CSVC, kế hoạch cần dự liệu cách thức đánh giá và hiệu chỉnh trong quá trình thực hiện [1, 6, 10]. Tại CSGDĐH công lập Việt Nam, hoạt động khai thác CSVC thường phải điều chỉnh theo quy mô đào tạo, mức độ sử dụng không gian và khả năng cân đối ngân sách từng thời kỳ [12, 14, 15]. Từ đó, nghiên cứu đề xuất chỉ tiêu KH10 nhằm đánh giá mức độ rõ ràng của các quy trình đánh giá định kỳ và hiệu chỉnh kế hoạch dựa trên phản hồi và tình hình thực tế.

Từ các lập luận lý thuyết và bằng chứng thực nghiệm nêu trên, nghiên cứu đề xuất bộ 10 chỉ tiêu nhận diện các chiến lược xây dựng kế hoạch khai thác CSVC tại các CSGDĐH công lập (Bảng 1). Nhóm KH1 đến KH4 đánh giá tính định hướng và tính khả thi ban đầu của kế hoạch. KH5 phản ánh mức độ cụ thể của các hành động thực hiện. Nhóm KH6 đến KH9 đánh giá mức độ rõ ràng trong tổ chức thực hiện. KH10 phản ánh cơ chế đánh giá và hiệu chỉnh kế hoạch. Về cấu trúc, bộ chỉ tiêu bám sát logic của khoa học quản lý, đồng thời phù hợp với đặc thù của CSGDĐH công lập Việt Nam, nơi hoạt động khai thác CSVC gắn với mục tiêu học thuật, sự phối hợp đa chủ thể và giới hạn nguồn lực [4, 14, 15].

Bảng 1. Các chỉ tiêu sơ bộ mô tả các chiến lược xây dựng kế hoạch trong QLKT CSVC

TT	Mã	Nội dung chỉ tiêu	Tên chiến lược	Nguồn
1	KH1	Mức độ đầy đủ trong phổ biến hướng dẫn về xây dựng kế hoạch khai thác CSVC tới các bộ phận liên quan	Xác định mục tiêu kế hoạch	[1], [3], [4], [15]
2	KH2	Mức độ phù hợp của kế hoạch khai thác CSVC với chiến lược phát triển dài hạn của nhà trường	Xác định mục tiêu kế hoạch	[4], [7], [8]
3	KH3	Mức độ phù hợp của kế hoạch khai thác CSVC với nhu cầu thực tiễn của cơ sở giáo dục	Xác định mục tiêu kế hoạch	[5], [7], [8]
4	KH4	Mức độ phù hợp của kế hoạch khai thác CSVC với năng lực tài chính của cơ sở giáo dục	Xác định mục tiêu kế hoạch	[12], [13], [15]
5	KH5	Mức độ rõ ràng của các hoạt động khai thác CSVC được xây dựng trong kế hoạch	Xác định các hành động thực hiện	[6], [10], [11], [16]
6	KH6	Mức độ rõ ràng trong mô tả phân công trách nhiệm của các chủ thể liên quan đối với quá trình khai thác CSVC	Tổ chức thực hiện	[3], [4], [9], [15]
7	KH7	Mức độ rõ ràng trong mô tả nguồn lực thực hiện kế hoạch khai thác CSVC	Tổ chức thực hiện	[12], [13], [15]
8	KH8	Mức độ rõ ràng trong mô tả bộ máy tổ chức thực hiện kế hoạch khai thác CSVC	Tổ chức thực hiện	[4], [9], [14]
9	KH9	Mức độ rõ ràng trong mô tả tiến trình thực hiện kế hoạch khai thác CSVC	Tổ chức thực hiện	[1], [6], [10], [16]
10	KH10	Mức độ rõ ràng của các quy trình đánh giá định kỳ, hiệu chỉnh kế hoạch dựa trên phản hồi và tình hình thực tế	Đánh giá và hiệu chỉnh kế hoạch	[1], [2], [6], [10]

Nguồn: Tác giả tổng hợp.

4.2. Kết quả sàng lọc chỉ tiêu

Trên cơ sở bộ 10 chỉ tiêu sơ bộ KH1 đến KH10, nghiên cứu tiến hành sàng lọc bằng phương pháp Fuzzy Delphi để xác định các chỉ tiêu đạt ngưỡng chấp nhận đưa vào bộ chỉ tiêu chính thức. Kết quả cho thấy có 6 chỉ tiêu được chấp nhận và 4 chỉ tiêu không được chấp nhận (Bảng 2).

Bảng 2. Sàng lọc chỉ tiêu nhận diện chiến lược xây dựng kế hoạch trong QLKT CSVC

Chỉ tiêu	Trọng số mờ (l, m, u)	Giải số mờ (Sj)	Kết quả
KH1	(0.5000, 0.8660, 1.0000)	0,7887	Chấp nhận
KH2	(0.2500, 0.8576, 1.0000)	0,7025	Chấp nhận
KH3	(0.5000, 0.9086, 1.0000)	0,8029	Chấp nhận
KH4	(0.5000, 0.8660, 1.0000)	0,7887	Chấp nhận
KH5	(0.2500, 0.7792, 1.0000)	0,6764	Không chấp nhận
KH6	(0.2500, 0.8492, 1.0000)	0,6997	Chấp nhận
KH7	(0.2500, 0.8174, 1.0000)	0,6891	Chấp nhận
KH8	(0.2500, 0.7110, 1.0000)	0,6537	Không chấp nhận
KH9	(0.2500, 0.7282, 1.0000)	0,6594	Không chấp nhận
KH10	(0.2500, 0.7459, 1.0000)	0,6653	Không chấp nhận

Nguồn: Tác giả tổng hợp.

Các chỉ tiêu được chấp nhận gồm KH1, KH2, KH3, KH4, KH6 và KH7. Trong đó, KH3 có giá trị giải mờ cao nhất với Sj = 0,8029; tiếp theo là KH1 và KH4 cùng đạt 0,7887, KH2 đạt 0,7025, KH6 đạt 0,6997, KH7 đạt 0,6891. Kết quả này cho thấy các chuyên gia có mức đồng thuận cao hơn đối với những chỉ tiêu phản ánh sự phù hợp của kế hoạch với nhu cầu thực tiễn, định hướng phát triển, năng lực tài chính cũng như yêu cầu làm rõ trách nhiệm và nguồn lực thực hiện.

Các chỉ tiêu KH5, KH8, KH9 và KH10 không đạt ngưỡng chấp nhận. Điều này cho thấy chuyên gia chưa đạt mức đồng thuận cần thiết để xem các chỉ tiêu này là chỉ tiêu độc lập trong bộ đo lường chính thức. Trên cơ sở kết quả Fuzzy Delphi, nghiên cứu nhận diện 6 chiến lược cốt lõi trong xây dựng kế hoạch khai thác CSVC tại các CSGDĐH công lập, phản ánh 3 phương diện chính: Định hướng và tính phù hợp của kế hoạch; sự rõ ràng về trách nhiệm và sự bảo đảm về nguồn lực thực hiện.

5. THẢO LUẬN

Kết quả Fuzzy Delphi cho thấy các chuyên gia ưu tiên giữ lại những chỉ tiêu phản ánh tính định hướng, tính phù hợp và tính khả thi nền tảng của kế hoạch. Kết quả này phù hợp với quan điểm của Anthony và Deming, theo đó lập kế hoạch không chỉ là xác định mục tiêu mà còn phải gắn với khả năng triển khai và điều chỉnh trong thực tiễn [1, 2]. Trong số các chỉ tiêu được chấp nhận, KH3 có giá trị giải mờ cao nhất, cho thấy sự phù hợp của kế hoạch với nhu cầu thực tiễn là yêu cầu được coi trọng nhất. Điều này phản ánh đặc trưng của CSGDĐH công lập, nơi CSVC chỉ phát huy giá trị khi phục vụ trực tiếp cho đào tạo, nghiên cứu khoa học và phục vụ cộng đồng [4, 5, 7].

Bên cạnh đó, việc KH1, KH2 và KH4 được chấp nhận cho thấy chất lượng lập kế hoạch phụ thuộc vào mức độ phổ biến hướng dẫn, sự gắn kết với chiến lược phát triển và sự phù hợp với năng lực tài chính của CSGDĐH [4, 7, 12]. Hai chỉ tiêu KH6 và KH7 cũng được chấp nhận, khẳng định vai trò của phân công trách nhiệm và nguồn lực trong bảo đảm tính khả thi của kế hoạch. Ngược lại, các chỉ tiêu KH5, KH8, KH9 và KH10 không được chấp nhận. Kết quả này cho thấy chuyên gia có xu hướng xem các nội dung về hoạt động cụ thể, bộ máy, tiến trình và hiệu chỉnh kế hoạch là những yếu tố gần với giai đoạn tổ chức thực hiện hoặc kiểm soát hơn là hạt nhân cốt lõi của chức năng lập kế hoạch.

6. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã đề xuất và sàng lọc các chiến lược xây dựng kế hoạch khai thác CSVC tại các CSGDĐH công lập bằng phương pháp Fuzzy Delphi. Kết quả xác định 6 chỉ tiêu được chấp nhận, gồm KH1, KH2, KH3, KH4, KH6 và KH7. Các chỉ tiêu này phản ánh 3 phương diện chính: Định hướng kế hoạch; sự phù hợp của kế hoạch với nhu cầu thực tiễn và năng lực tài chính; sự rõ ràng về trách nhiệm và nguồn lực thực hiện.

Về mặt lý luận, nghiên cứu góp phần cụ thể hóa chức năng lập kế hoạch trong QLKT CSVC thông qua hệ chỉ tiêu nhận diện các chiến lược xây dựng kế hoạch. Về mặt thực tiễn, kết quả nghiên cứu là căn cứ để các CSGDĐH công lập nhận diện những nội dung cần ưu tiên khi xây dựng, rà soát và hoàn thiện kế hoạch khai thác CSVC. Đồng thời, kết quả này tạo nền tảng cho các nghiên cứu tiếp theo nhằm kiểm định sâu hơn cấu trúc và vai trò của các chiến lược trong hệ thống QLKT CSVC.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Anthony RN. Planning and control systems: a framework for analysis. Boston: Harvard University Press, 1965.

[2] Deming WE. Out of the crisis. Cambridge (MA): MIT Press, 1986.

[3] Freeman RE. Strategic management: a stakeholder approach. Cambridge: Cambridge University Press, 2010.

[4] Jensen PA. Organisation of facilities management in relation to core business. J Facil Manag, 9(2):78-95, 2011.

[5] Lavy S. Facility management practices in higher education buildings: a case study. J Facil Manag, 6(4):303-315, 2008.

[6] Lavy S, Garcia JA, Dixit MK. Establishment of KPIs for facility performance measurement: review of literature. Facilities, 28(9-10):440-464, 2010.

[7] Beckers R, van der Voordt TJM, Dewulf G. Management strategies for aligning higher education accommodation with the user needs. J Corp Real Estate, 17(2):80-97, 2015.

[8] Kok HB, Mobach MP, Omta SWF. The added value of facility management in the educational environment. J Facil Manag, 9(4):249-265, 2011.

[9] Kamarazaly MA, Mbachu J, Phipps R. Challenges faced by facilities managers in the Australasian universities. J Facil Manag, 11(2):136-151, 2013.

[10] Amos D, Musa ZN, Au-Yong CP. A review of facilities management performance measurement. Property Management, 37(4):490-511, 2019.

[11] Kim Y, Kim MS, Kim JH. Development of key performance indicators for the improvement of university facility management services in Korea. J Asian Archit Build Eng, 7(2):313-320, 2018.

[12] Ebekozien A, Aigbavboa C, Samsurijan MS, Rohayati MI, Malek NM. Developing a framework for higher education institution building maintenance via soft system methodology. Int J Build Pathol Adapt, 41(6):184-200, 2023.

[13] Grącki J, Plebankiewicz E. Strategies of public university building maintenance - A literature survey. Sustainability, 16(10):4284, 2024.

[14] Lê Đình Sơn. Quản lý CSVC phục vụ đào tạo của trường đại học theo quan điểm quản lý chất lượng tổng thể (TQM). Luận án Tiến sĩ, Đại học Quốc gia Hà Nội, 2012.

[15] Nguyễn Lương Hải. Nghiên cứu sự ảnh hưởng của công tác lập kế hoạch đến hiệu quả hoạt động quản lý nhà nước trong đầu tư công xây dựng hạ tầng đường bộ tại Việt Nam. Tạp chí Khoa học Công nghệ xây dựng, 13(3V):108-115, 2019.

[16] Zwikael O, Globerson S. Benchmarking of project planning and success in selected industries. Benchmarking, 13(6):688-700, 2006.

[17] Hsu CC, Sandford BA. The Delphi technique: Making sense of consensus. Pract Assess Res Eval, 12(10):1-8, 2007.

[18] Okoli C, Pawlowski SD. The Delphi method as a research tool: An example, design considerations and applications. Inf Manage, 42(1):15-29, 2004.

[19] Tahriri F, Mousavi M, Hozhabri Haghighi S, Dawal SZM. The application of fuzzy Delphi and fuzzy inference system in supplier ranking and selection. J Ind Eng Int., 10:66, 2014.

[20] Murray TJ, Pipino LL, van Gigch JP. A pilot study of fuzzy set modification of Delphi. Hum Syst Manage, 5(1):76-80, 1985.

[21] Schmidt RC. Managing Delphi surveys using nonparametric statistical techniques. Decis Sci., 28(3):763-774, 1997.

■Ngày nhận bài: 29/4/2026 ■Ngày sửa bài: 13/5/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 26/5/2026

Giải pháp hoàn thiện các công trình xây dựng dang dở tại Việt Nam: Thực trạng và khuyến nghị chính sách

Solutions for completing unfinished construction projects in Vietnam: Current situation and policy recommendations

> LÊ THANH TOÀN
Khoa Cơ khí - Ô tô và Xây dựng, Trường Đại học Điện lực

TÓM TẮT

Việc hoàn thiện các công trình xây dựng dở dang đóng vai trò quan trọng trong việc nâng cao hiệu quả sử dụng vốn đầu tư và bảo đảm phát triển bền vững hệ thống hạ tầng, đặc biệt đối với các dự án sử dụng vốn nhà nước và các dự án bất động sản tại địa phương. Tuy nhiên, thực tiễn hiện nay cho thấy nhiều công trình bị đình trệ kéo dài do vướng mắc pháp lý, thiếu hụt nguồn vốn, năng lực quản lý hạn chế và sự biến động của thị trường. Bối cảnh cải cách thể chế và yêu cầu tăng cường quản lý đầu tư ngày càng làm bộc lộ rõ các rủi ro về tổ chức, tài chính và pháp lý trong quá trình tiếp tục triển khai các dự án này. Trên cơ sở phân tích thực trạng, bài báo đề xuất một khung giải pháp tổng thể gồm 5 nhóm: hoàn thiện pháp lý, tái cấu trúc tài chính, nâng cao năng lực quản lý dự án, điều chỉnh quy hoạch và công năng, và tăng cường vai trò điều phối của Nhà nước. Đồng thời, tác giả kiến nghị các giải pháp về cơ chế chính sách, ứng dụng công nghệ, tăng cường minh bạch và triển khai thí điểm nhằm bảo đảm tính khả thi và hiệu quả của quá trình hoàn thiện các công trình xây dựng dở dang trong bối cảnh mới.

Từ khóa: Công trình xây dựng dở dang; hiệu quả đầu tư công; chậm tiến độ và rủi ro dự án; tái cấu trúc tài chính; quản trị hạ tầng.

ABSTRACT

The completion of unfinished construction projects plays a critical role in improving the efficiency of capital utilization and ensuring the sustainable development of infrastructure systems, particularly for publicly funded projects and local real estate developments. However, current practice indicates that many projects experience prolonged delays due to legal constraints, capital shortages, limited managerial capacity, and market volatility. Ongoing institutional reforms and stricter investment management requirements have further exposed organizational, financial, and legal risks associated with the continuation of these projects.

Based on an analysis of the current situation, this paper proposes a comprehensive solution framework consisting of five key components: legal reform, financial restructuring, enhancement of project management capacity, adjustment of planning and project functions, and strengthening of the State's coordinating role. In addition, the author recommend policy improvements, the application of technology, increased transparency, and pilot implementation mechanisms to ensure the feasibility and effectiveness of addressing and completing unfinished construction projects in the evolving context.

Keywords: Unfinished construction projects; public investment efficiency; project delays and risks; financial restructuring; Infrastructure governance.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong hệ thống đầu tư xây dựng tại Việt Nam, các công trình đang thi công dở dang - bao gồm cả dự án sử dụng vốn nhà nước và dự án tư nhân - ngày càng trở nên phổ biến và chiếm tỷ trọng đáng kể trong tổng số dự án triển khai. Các công trình này trải rộng trên nhiều lĩnh vực như hạ tầng giao thông, khu đô thị, công trình công cộng và nhà ở. Đặc biệt tại các đô thị lớn và khu vực đang phát triển, tình trạng dự án đình trệ không chỉ gây lãng phí nguồn lực mà còn ảnh hưởng trực tiếp đến cảnh quan đô thị, môi trường và đời sống xã hội [1], [2]. Các nghiên cứu về quản lý đầu tư tại các nền kinh tế đang chuyển đổi cho thấy tỷ lệ dự án chậm tiến độ và đội vốn có xu hướng cao hơn đáng kể so với các nước phát triển, phản ánh những hạn chế trong năng lực quản trị và khung thể chế [3].

Trong chu trình đầu tư xây dựng, giai đoạn triển khai và hoàn thiện công trình đóng vai trò then chốt trong việc quyết định hiệu quả sử dụng vốn, chất lượng công trình và khả năng đưa dự án vào khai thác. Đây là giai đoạn chuyển hóa kế hoạch đầu tư

thành kết quả thực tế, đòi hỏi sự phối hợp hiệu quả giữa các chủ thể như chủ đầu tư, nhà thầu, cơ quan quản lý và các bên liên quan. Theo các nghiên cứu kinh điển trong lĩnh vực quản lý dự án, phần lớn các rủi ro về chậm tiến độ và vượt chi phí phát sinh trong giai đoạn thực hiện do thiếu kiểm soát tiến độ, quản lý rủi ro kém và phối hợp không hiệu quả giữa các bên tham gia [4], [5]. Tuy nhiên, trong thực tiễn tại Việt Nam, nhiều dự án bị gián đoạn trong giai đoạn này do vướng mắc pháp lý, khó khăn tài chính, năng lực quản lý hạn chế và biến động thị trường, dẫn đến tình trạng kéo dài tiến độ, phát sinh chi phí và thậm chí bị "đóng băng" trong thời gian dài.

Bên cạnh đó, bối cảnh tăng cường quản lý đầu tư, tăng cường rà soát pháp lý các dự án bất động sản và điều chỉnh chính sách tài chính - tín dụng trong những năm gần đây đã làm gia tăng đáng kể các rủi ro đối với các dự án đang triển khai. Đồng thời, Ngân hàng Phát triển châu Á (Asian Development Bank) cũng chỉ ra rằng sự thiếu ổn định của khung pháp lý và thị trường tài chính là một trong những nguyên nhân chính làm gia tăng rủi ro trong đầu tư hạ tầng tại các quốc gia đang phát triển [6]. Trong bối cảnh đó, nhiều dự án buộc phải tạm dừng để hoàn thiện thủ tục pháp lý hoặc tái cấu trúc tài chính, trong khi cơ chế xử lý các công trình dở dang tại Việt Nam vẫn còn thiếu đồng bộ và chưa có quy trình chuẩn hóa, dẫn đến hiệu quả xử lý còn hạn chế.

Xuất phát từ những vấn đề nêu trên, bài báo này được thực hiện với các mục tiêu:

- Phân tích thực trạng các công trình xây dựng dở dang tại Việt Nam, đặc biệt trong bối cảnh hiện nay;
- Xác định các nguyên nhân chính dẫn đến tình trạng đình trệ dự án;
- Đề xuất khung giải pháp và mô hình xử lý nhằm thúc đẩy hoàn thiện các công trình dở dang, nâng cao hiệu quả đầu tư.

Nghiên cứu hướng đến việc cung cấp cơ sở khoa học và thực tiễn cho việc xây dựng các chính sách và cơ chế quản lý phù hợp, góp phần giảm thiểu lãng phí nguồn lực, cải thiện hiệu quả đầu tư và thúc đẩy phát triển bền vững trong lĩnh vực xây dựng tại Việt Nam. Cách tiếp cận này phù hợp với xu hướng nghiên cứu quốc tế về nâng cao hiệu quả đầu tư công và quản trị dự án trong bối cảnh biến động kinh tế và thể chế [2].

2. THỰC TRẠNG CÁC CÔNG TRÌNH

Trong những năm gần đây, tình trạng các công trình xây dựng dở dang tại Việt Nam đã được ghi nhận trong nhiều nghiên cứu như một biểu hiện của các hạn chế mang tính hệ thống trong quản lý đầu tư xây dựng. Các nghiên cứu về quản lý đầu tư công tại Việt Nam cho thấy hiệu quả thực hiện dự án còn chịu ảnh hưởng bởi các vấn đề trong khâu chuẩn bị dự án, phối hợp thể chế và năng lực thực thi, dẫn đến tình trạng chậm tiến độ và kéo dài thời gian hoàn thành [3]. Những vấn đề này không chỉ xuất hiện ở Việt Nam mà còn phổ biến tại các nền kinh tế đang chuyển đổi, nơi hệ thống pháp lý và năng lực quản trị chưa hoàn thiện [1].

Các đánh giá học thuật cũng chỉ ra rằng hiệu quả đầu tư công tại Việt Nam ở mức trung bình so với khu vực, với tỷ lệ đáng kể các dự án phải điều chỉnh tiến độ hoặc tổng mức đầu tư do những bất cập trong quy trình triển khai. Đặc biệt, các nghiên cứu nhấn mạnh rằng những hạn chế trong giải phóng mặt bằng, phối hợp liên ngành và tính không nhất quán của khung pháp lý là những yếu tố quan trọng làm gia tăng nguy cơ đình trệ dự án [2].

Bên cạnh khu vực đầu tư công, các nghiên cứu về thị trường bất động sản tại Việt Nam cũng ghi nhận tình trạng nhiều dự án bị chậm tiến độ hoặc không thể hoàn thành theo kế hoạch ban đầu. Nguyên nhân chủ yếu liên quan đến rủi ro pháp lý, hạn chế tiếp cận nguồn vốn và biến động của thị trường tài chính. Theo các nghiên cứu quốc tế, trong các nền kinh tế đang phát triển, sự thiếu minh bạch và khả dự đoán của hệ thống pháp luật có thể làm gia tăng đáng kể chi phí giao dịch và kéo dài thời gian triển khai dự án [6].

Xét theo đặc điểm vận hành, các công trình dở dang có thể được chia thành ba nhóm chính. Thứ nhất, các dự án đầu tư công thường bị chậm tiến độ do quy trình thủ tục phức tạp và công tác chuẩn bị dự án chưa đầy đủ. Các nghiên cứu chỉ ra rằng chất lượng chuẩn bị dự án là yếu tố quyết định đến hiệu quả thực hiện, trong khi đây lại là điểm yếu phổ biến tại các quốc gia đang phát triển [3], [2]. Thứ hai, các dự án bất động sản tư nhân chịu tác động mạnh từ hạn chế về tài chính và rủi ro pháp lý, dẫn đến nhiều dự án bị đình trệ hoặc kéo dài tiến độ. Thứ ba, các dự án hợp tác công - tư (PPP) gặp khó khăn trong việc phân bổ rủi ro và đảm bảo lợi ích giữa khu vực công và tư, làm giảm mức độ tham gia của nhà đầu tư tư nhân [7].

Tình trạng các công trình dở dang kéo dài gây ra nhiều hệ quả đáng kể. Trước hết, đây là biểu hiện của lãng phí nguồn lực đầu tư, khi vốn đã được phân bổ nhưng không tạo ra giá trị sử dụng tương ứng. Các nghiên cứu về hiệu quả đầu tư công cho thấy việc chậm tiến độ và vượt chi phí có thể làm giảm đáng kể lợi ích kinh tế - xã hội của dự án [3]. Thứ hai, tiến độ chậm làm gia tăng chi phí cơ hội và làm giảm hiệu quả phân bổ nguồn lực trong nền kinh tế. Thứ ba, các công trình dở dang còn gây tác động tiêu cực đến môi trường và xã hội, đặc biệt trong bối cảnh đô thị hóa nhanh tại các nước đang phát triển.

Tổng thể, thực trạng các công trình xây dựng dở dang tại Việt Nam không chỉ phản ánh khó khăn của từng dự án riêng lẻ mà còn cho thấy những hạn chế mang tính cấu trúc của hệ thống quản lý đầu tư xây dựng. Điều này đặt ra yêu cầu cần có các giải pháp mang tính hệ thống nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng nguồn lực và đảm bảo phát triển bền vững trong dài hạn.

3. NGUYÊN NHÂN CỐT LÕI CỦA TÌNH TRẠNG CÔNG TRÌNH XÂY DỰNG DỞ DANG

Phân tích tổng hợp cho thấy tình trạng các công trình xây dựng dở dang tại Việt Nam không phải là hiện tượng riêng lẻ mà phản ánh các điểm nghẽn mang tính cấu trúc của hệ thống quản lý đầu tư xây dựng. Các nguyên nhân này có thể được phân thành bốn nhóm chính: thể chế, tài chính, quản lý dự án và thị trường, trong đó tồn tại sự tương tác phức tạp, tạo thành một "ma trận rủi ro" làm gia tăng xác suất đình trệ dự án [3], [2]. Nội dung dưới đây kế thừa và phát triển từ bản thảo gốc , đồng thời bổ sung cơ sở lý luận và bằng chứng quốc tế.

3.1. Nguyên nhân thể chế

Các hạn chế về thể chế được xem là nguyên nhân nền tảng dẫn đến tình trạng chậm tiến độ và đình trệ dự án. Trước hết, quy trình phê duyệt và triển khai dự án đầu tư xây dựng tại Việt Nam vẫn mang tính phân mảnh, nhiều tầng nấc và thiếu tính tích hợp. Các dự án, đặc biệt là dự án có liên quan đến đất đai và quy hoạch, phải trải qua nhiều bước thẩm định và phê duyệt từ các cơ quan khác nhau, làm gia tăng đáng kể thời gian chuẩn bị và triển khai [3].

Bên cạnh đó, sự thiếu nhất quán giữa các luật như Luật Đầu tư, Luật Đất đai và Luật Xây dựng tạo ra các "xung đột pháp lý", buộc dự án phải điều chỉnh nhiều lần trong quá trình thực hiện. Điều này phù hợp với nhận định của World Bank rằng tính ổn định và khả dự đoán của hệ thống pháp luật là yếu tố quyết định

hiệu quả đầu tư, trong khi đây vẫn là điểm yếu tại nhiều nền kinh tế đang chuyển đổi [1], [3].

Ngoài ra, cơ chế phân cấp quản lý đầu tư chưa đi kèm với trách nhiệm giải trình rõ ràng dẫn đến tình trạng trì hoãn trong xử lý các vướng mắc phát sinh. Theo OECD, việc thiếu rõ ràng trong phân quyền giữa các cấp quản lý có thể làm giảm hiệu quả điều phối và kéo dài thời gian thực hiện dự án [2].

3.2. Nguyên nhân tài chính

Khó khăn về tài chính là yếu tố trực tiếp và thường xuyên nhất gây gián đoạn dòng chảy của dự án. Trong khu vực đầu tư công, tình trạng giải ngân chậm và phân bổ vốn dàn trải làm gián đoạn tiến độ thi công, đặc biệt đối với các dự án kéo dài nhiều năm [3]. Trong khi đó, đối với khu vực tư nhân, việc tiếp cận vốn ngày càng khó khăn do chính sách kiểm soát tín dụng và biến động của thị trường trái phiếu doanh nghiệp.

Một đặc điểm cấu trúc của hệ thống tài chính Việt Nam là sự phụ thuộc lớn vào tín dụng ngân hàng trong tài trợ cho các dự án xây dựng. Điều này làm gia tăng rủi ro khi điều kiện tín dụng bị thắt chặt hoặc khi thị trường bất động sản suy giảm. Theo Asian Development Bank, sự thiếu đa dạng trong các kênh huy động vốn dài hạn - như quỹ đầu tư hạ tầng hoặc REITs - là một trong những rào cản chính đối với phát triển bền vững của lĩnh vực xây dựng tại các nước châu Á.

Ngoài ra, biến động chi phí đầu vào (vật liệu, nhân công) trong bối cảnh lạm phát hoặc gián đoạn chuỗi cung ứng cũng làm gia tăng áp lực tài chính, khiến nhiều dự án không thể duy trì tiến độ do thiếu dòng tiền liên tục.

3.3. Nguyên nhân từ quản lý dự án

Năng lực quản lý dự án hạn chế là một điểm nghẽn quan trọng, đặc biệt ở cấp địa phương và các doanh nghiệp vừa và nhỏ. Nhiều chủ đầu tư chưa áp dụng các phương pháp quản lý hiện đại, dẫn đến việc lập kế hoạch tiến độ thiếu chính xác, kiểm soát chi phí kém và quản lý rủi ro mang tính hình thức. Theo các nghiên cứu trong lĩnh vực quản lý dự án, việc thiếu hệ thống quản trị chuẩn hóa làm gia tăng đáng kể nguy cơ chậm tiến độ và vượt chi phí [6].

Bên cạnh đó, năng lực của các nhà thầu xây dựng không đồng đều, trong khi cơ chế lựa chọn nhà thầu đôi khi chưa dựa hoàn toàn trên tiêu chí năng lực thực tế. Điều này dẫn đến tình trạng thi công chậm, chất lượng không đảm bảo hoặc phải điều chỉnh thiết kế trong quá trình triển khai.

Đặc biệt, việc chưa áp dụng rộng rãi các công nghệ quản lý tiên tiến như BIM hoặc hệ thống quản lý dự án tích hợp làm giảm hiệu quả phối hợp giữa các bên liên quan. Theo Abdriad và cộng sự [8] , BIM có thể giúp giảm xung đột thiết kế và cải thiện hiệu quả thi công, nhưng việc triển khai tại Việt Nam vẫn còn hạn chế.

Ngoài ra, sự thiếu vắng cơ chế giám sát độc lập và đánh giá hiệu quả dự án cũng là nguyên nhân làm gia tăng rủi ro sai lệch tiến độ và chi phí, đặc biệt trong các dự án sử dụng vốn công [2].

3.4. Nguyên nhân từ thị trường

Các yếu tố thị trường, đặc biệt là thị trường bất động sản, đóng vai trò quan trọng trong việc hình thành và kéo dài tình trạng công trình dở dang. Thị trường bất động sản Việt Nam mang tính chu kỳ rõ rệt và chịu ảnh hưởng mạnh từ các yếu tố vĩ mô như lãi suất, chính sách tín dụng và kỳ vọng của nhà đầu tư. Khi thị trường suy giảm, nhu cầu giảm mạnh, dẫn đến việc các chủ đầu tư không thể tiếp tục triển khai dự án do thiếu nguồn thu.

Bên cạnh đó, sự thay đổi trong quy hoạch đô thị hoặc định hướng phát triển kinh tế - xã hội cũng có thể làm giảm tính khả thi của dự án. Việc điều chỉnh quy hoạch hoặc thay đổi chức năng sử dụng đất có thể khiến dự án không còn phù hợp với nhu cầu thị trường, làm gia tăng rủi ro tồn đọng và đình trệ.

Theo các phân tích của World Bank, tính linh hoạt và khả thích ứng của quy hoạch đô thị là yếu tố quan trọng giúp giảm thiểu rủi ro dự án trong bối cảnh biến động thị trường [1].

4. CÁC GIẢI PHÁP

Trên cơ sở phân tích các nguyên nhân mang tính hệ thống của tình trạng công trình xây dựng dở dang, các giải pháp cần được thiết kế theo hướng tích hợp, liên ngành và có tính khả thi cao. Kinh nghiệm quốc tế cho thấy việc xử lý các dự án tồn đọng đòi hỏi sự kết hợp giữa cải cách thể chế, tái cấu trúc tài chính và nâng cao năng lực quản trị dự án [3].

a) Hoàn thiện khung pháp lý

Hoàn thiện và đồng bộ hóa khung pháp lý là điều kiện tiên quyết để giảm thiểu rủi ro đình trệ dự án. Nhiều nghiên cứu chỉ ra rằng sự thiếu nhất quán giữa các luật liên quan đến đầu tư, đất đai và xây dựng là nguyên nhân phổ biến gây chậm tiến độ tại các nền kinh tế đang phát triển [3]. Do đó, cần thúc đẩy sự hài hòa giữa các văn bản pháp luật như Luật Đầu tư công, Luật Đất đai và Luật Xây dựng nhằm giảm xung đột và chồng chéo trong thực thi.

Bên cạnh đó, việc thiết lập cơ chế "fast-track" cho các dự án dở dang có khả năng hoàn thiện là giải pháp đã được áp dụng tại nhiều quốc gia nhằm rút ngắn thời gian xử lý thủ tục hành chính và giảm chi phí trì hoãn [1]. Cơ chế này cho phép ưu tiên giải quyết các vướng mắc pháp lý còn tồn tại đối với các dự án đã đạt mức hoàn thành nhất định.

Ngoài ra, cần tiến hành rà soát và phân loại dự án theo mức độ khả thi và mức độ hoàn thành. Cách tiếp cận này phù hợp với khuyến nghị của OECD về quản trị đầu tư công hiệu quả, trong đó nhấn mạnh vai trò của việc ưu tiên nguồn lực cho các dự án có hiệu quả cao [2].

b) Tái cấu trúc tài chính dự án

Tái cấu trúc tài chính đóng vai trò then chốt trong việc tái khởi động các dự án dở dang. Theo Asian Development Bank, việc áp dụng các cơ chế như tái cấp vốn, giãn nợ hoặc khoanh nợ có thể giúp giảm áp lực thanh khoản và tạo điều kiện để các dự án tiếp tục triển khai [6]. Tuy nhiên, các biện pháp này cần đi kèm với đánh giá độc lập về hiệu quả kinh tế của dự án nhằm tránh rủi ro đạo đức.

Hoạt động mua bán - sáp nhập (M&A) dự án cũng là một công cụ hiệu quả để tái phân bổ nguồn lực. Các nghiên cứu cho thấy việc chuyển giao dự án cho các nhà đầu tư có năng lực tốt hơn có thể cải thiện đáng kể khả năng hoàn thành và hiệu quả khai thác tài sản.

Về dài hạn, cần phát triển các kênh huy động vốn đa dạng hơn như trái phiếu dự án, quỹ đầu tư hạ tầng và quỹ tín thác bất động sản (REITs). Theo World Bank, sự phát triển của thị trường vốn dài hạn là yếu tố then chốt để giảm phụ thuộc vào tín dụng ngân hàng và tăng tính bền vững của đầu tư hạ tầng [3].

c) Nâng cao năng lực quản lý dự án

Nâng cao năng lực quản lý dự án là giải pháp mang tính nền tảng nhằm giảm thiểu rủi ro chậm tiến độ và đội vốn. Việc áp dụng các chuẩn mực quốc tế như PMBOK giúp cải thiện khả năng lập kế hoạch, kiểm soát chi phí và quản lý rủi ro [9]. Đồng thời, công nghệ BIM (Building Information Modeling) đã được chứng minh là công cụ hiệu quả trong việc nâng cao tính minh bạch và phối hợp giữa các bên liên quan [10].

Ngoài ra, cần tăng cường giám sát độc lập thông qua các tổ chức kiểm toán kỹ thuật hoặc tư vấn quản lý dự án. Theo các

nghiên cứu về quản trị dự án, cơ chế giám sát độc lập có thể giảm đáng kể nguy cơ sai lệch tiến độ và chi phí [9].

Trong trường hợp các dự án bị đình trệ kéo dài, việc đánh giá lại năng lực của chủ đầu tư và nhà thầu là cần thiết. OECD khuyến nghị rằng việc thay thế hoặc tái cấu trúc chủ đầu tư trong các dự án kém hiệu quả là một biện pháp quan trọng để đảm bảo hiệu quả đầu tư công [2].

d) Giải pháp về quy hoạch thị trường

Các giải pháp liên quan đến quy hoạch và thị trường đóng vai trò quan trọng trong việc đảm bảo tính khả thi của dự án. Việc điều chỉnh công năng dự án phù hợp với nhu cầu thị trường là một chiến lược được nhiều quốc gia áp dụng nhằm tăng khả năng hấp thụ của thị trường bất động sản [8].

Bên cạnh đó, cần cho phép chuyển đổi mục đích sử dụng đất hoặc điều chỉnh quy hoạch cục bộ trong khuôn khổ pháp lý rõ ràng. Theo World Bank, tính linh hoạt trong quy hoạch là yếu tố quan trọng giúp giảm thiểu rủi ro dự án trong bối cảnh thị trường biến động [1].

Ngoài ra, việc tăng cường minh bạch thông tin thị trường - bao gồm dữ liệu về cung cầu, giá cả và quy hoạch - có thể giúp giảm tình trạng thông tin bất cân xứng và nâng cao hiệu quả phân bổ nguồn lực [8].

e) Tăng cường vai trò điều phối của Nhà nước

Vai trò điều phối của Nhà nước là yếu tố then chốt trong việc xử lý các dự án tồn đọng mang tính hệ thống. Việc thành lập các tổ công tác chuyên trách để rà soát và xử lý các dự án dở dang đã được áp dụng tại nhiều quốc gia như một công cụ hiệu quả nhằm giải quyết nhanh các vướng mắc liên ngành [3].

Đồng thời, việc công khai danh sách các dự án chậm tiến độ giúp tăng cường minh bạch và trách nhiệm giải trình, phù hợp với các nguyên tắc quản trị công hiện đại. Đây cũng là cơ sở để thị trường đánh giá rủi ro và đưa ra quyết định đầu tư hợp lý. Cuối cùng, cần áp dụng các chế tài đủ mạnh đối với các chủ đầu tư vi phạm, bao gồm phạt tài chính, thu hồi dự án hoặc hạn chế tham gia các dự án mới. Theo OECD, việc thiết lập kỷ luật thị trường rõ ràng là điều kiện cần để nâng cao hiệu quả đầu tư và giảm thiểu các hành vi cơ hội [2].

f) Phân tích so sánh các giải pháp

Để nâng cao tính khoa học và độ tin cậy của các khuyến nghị chính sách, việc thực hiện phân tích so sánh giữa các nhóm giải pháp là cần thiết. Các giải pháp đề xuất trong nghiên cứu này có thể được đánh giá theo các tiêu chí chính bao gồm: (i) tính khả thi trong điều kiện thể chế hiện hành, (ii) mức độ tác động đến tiến độ và hiệu quả dự án, (iii) yêu cầu nguồn lực triển khai, và (iv) tính bền vững trong dài hạn.

Kết quả phân tích cho thấy, nhóm giải pháp hoàn thiện khung pháp lý và tăng cường vai trò điều phối của Nhà nước có tác động rộng và mang tính nền tảng, giúp tháo gỡ các điểm nghẽn mang tính hệ thống. Tuy nhiên, các giải pháp này thường đòi hỏi thời gian dài để triển khai do liên quan đến sửa đổi chính sách và điều chỉnh thể chế. Ngược lại, các giải pháp tái cấu trúc tài chính và điều chỉnh công năng - quy hoạch dự án có thể mang lại hiệu quả nhanh hơn trong việc khơi thông các dự án đang dở dang, nhưng phụ thuộc lớn vào điều kiện thị trường và năng lực tài chính của chủ đầu tư.

Trong khi đó, nhóm giải pháp nâng cao năng lực quản lý dự án được đánh giá là có tính khả thi cao và có thể triển khai trong ngắn hạn, đặc biệt thông qua việc áp dụng các công cụ quản lý hiện đại và tăng cường giám sát độc lập. Các nghiên cứu trước đây cũng chỉ ra rằng cải thiện năng lực quản lý có thể giảm đáng kể nguy cơ chậm tiến độ và vượt chi phí trong các dự án xây dựng.

So sánh tổng thể cho thấy không có giải pháp đơn lẻ nào có thể giải quyết triệt để vấn đề công trình dở dang. Thay vào đó, hiệu quả cao nhất đạt được khi các giải pháp được triển khai đồng bộ và có sự phối hợp giữa các cấp quản lý và các chủ thể tham gia. Cách tiếp cận tích hợp này phù hợp với các khuyến nghị trong nghiên cứu về quản trị đầu tư công và quản lý dự án tại các nền kinh tế đang phát triển.

g) Xây dựng khung đánh giá và mô hình lựa chọn giải pháp

Để nâng cao tính hệ thống và khả năng áp dụng thực tiễn của các khuyến nghị, nghiên cứu đề xuất một khung đánh giá và mô hình lựa chọn giải pháp đối với các công trình xây dựng dở dang. Khung này cho phép cơ quan quản lý và chủ đầu tư đưa ra quyết định dựa trên các tiêu chí định lượng và định tính, thay vì phụ thuộc hoàn toàn vào đánh giá chủ quan.

Trước hết, khung đánh giá được xây dựng dựa trên bốn nhóm tiêu chí chính:

(i) Tính khả thi pháp lý (mức độ phù hợp với quy định hiện hành và khả năng tháo gỡ vướng mắc pháp lý); (ii) Hiệu quả kinh tế - tài chính (khả năng hoàn vốn, chi phí bổ sung cần thiết và giá trị kinh tế mang lại sau khi hoàn thành); (iii) Tính khả thi kỹ thuật và tiến độ (mức độ hoàn thành hiện tại, khả năng tiếp tục thi công và thời gian hoàn thành dự kiến); (iv) Tác động xã hội - môi trường (mức độ ảnh hưởng đến cộng đồng, cảnh quan và phát triển bền vững).

Dựa trên các tiêu chí này, nghiên cứu đề xuất một mô hình lựa chọn giải pháp theo hướng đa tiêu chí (Multi-Criteria Decision Making - MCDM). Cụ thể, mỗi dự án dở dang sẽ được chấm điểm theo từng tiêu chí với trọng số xác định trước (có thể điều chỉnh theo bối cảnh địa phương). Tổng điểm sẽ được sử dụng để phân loại dự án thành ba nhóm chính:

- Nhóm 1: Tiếp tục đầu tư hoàn thiện - áp dụng cho các dự án có hiệu quả cao và khả năng hoàn thành trong thời gian ngắn;
- Nhóm 2: Tái cấu trúc hoặc chuyển đổi - áp dụng cho các dự án cần điều chỉnh về tài chính, công năng hoặc chủ đầu tư;
- Nhóm 3: Dừng hoặc thanh lý - áp dụng cho các dự án không còn khả thi về kinh tế hoặc pháp lý.

Mô hình này có thể được triển khai dưới dạng công cụ hỗ trợ ra quyết định (decision-support tool), tích hợp dữ liệu dự án và cập nhật theo thời gian thực. Các nghiên cứu về quản lý dự án và đầu tư công cho thấy việc áp dụng các phương pháp ra quyết định đa tiêu chí giúp cải thiện đáng kể tính minh bạch và hiệu quả trong phân bổ nguồn lực.

Ngoài ra, khung đánh giá này có thể được sử dụng như một công cụ chuẩn hóa trong quá trình rà soát danh mục dự án dở dang ở cấp địa phương hoặc quốc gia, góp phần giảm thiểu rủi ro lựa chọn sai giải pháp và nâng cao hiệu quả tổng thể của hệ thống đầu tư xây dựng.

Khung đánh giá này cho phép lượng hóa mức độ ưu tiên xử lý đối với từng dự án dở dang. Việc sử dụng trọng số giúp phản ánh tầm quan trọng tương đối của từng nhóm tiêu chí, trong đó hiệu quả kinh tế - tài chính và tính khả thi pháp lý được đặt trọng số cao hơn do đây là hai điều kiện quyết định khả năng tái khởi động dự án. Kết quả chấm điểm là cơ sở để phân loại dự án và lựa chọn giải pháp phù hợp, qua đó nâng cao tính minh bạch, khách quan và độ tin cậy trong quá trình ra quyết định.

Cách tính điểm tổng hợp:

Tổng điểm=∑ (Điểm tiêu chí) x (Trọng số)

Trong đó, điểm tiêu chí được chấm theo thang 1–5: 1 = rất thấp; 2 = thấp; 3 = trung bình; 4 = cao; 5 = rất cao.

Bảng 1. Khung đánh giá lựa chọn giải pháp xử lý công trình xây dựng dở dang

Nhóm tiêu chí	Nội dung đánh giá	Trọng số đề xuất (%)	Thang điểm
Tính khả thi pháp lý	Mức độ rõ ràng của hồ sơ pháp lý; khả năng tháo gỡ vướng mắc đất đai, quy hoạch, cấp phép; mức độ phù hợp với quy định hiện hành	25	1-5
Hiệu quả kinh tế - tài chính	Khả năng huy động vốn bổ sung; khả năng hoàn vốn; chi phí cần thiết để hoàn thiện; giá trị kinh tế sau khi đưa vào khai thác	30	1-5
Tính khả thi kỹ thuật và tiến độ	Tỷ lệ khối lượng đã hoàn thành; hiện trạng chất lượng công trình; khả năng tiếp tục thi công; thời gian dự kiến hoàn thành	20	1-5
Tác động xã hội - môi trường	Mức độ ảnh hưởng đến cộng đồng, an toàn đô thị, cảnh quan, môi trường; khả năng tạo lợi ích xã hội sau hoàn thành	15	1-5
Năng lực chủ đầu tư/nhà thầu	Năng lực tài chính, kinh nghiệm quản lý, uy tín triển khai, khả năng phối hợp với cơ quan quản lý	10	1-5

Bảng 2. Phân loại dự án theo điểm đánh giá

Tổng điểm quy đổi	Nhóm dự án	Định hướng xử lý
≥ 4,0	Nhóm 1: Có khả năng hoàn thiện cao	Ưu tiên tiếp tục đầu tư, tháo gỡ nhanh thủ tục, hỗ trợ hoàn thiện
3,0 –4,0	Nhóm 2: Cần tái cấu trúc	Tái cấu trúc tài chính, điều chỉnh công năng/quy hoạch, xem xét M&A hoặc thay đổi chủ đầu tư
< 3,0	Nhóm 3: Khả thi thấp	Xem xét dừng, thanh lý, thu hồi hoặc chuyển đổi mục đích sử dụng

5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Tình trạng các công trình xây dựng dở dang tại Việt Nam phản ánh những hạn chế mang tính hệ thống trong thể chế, tài chính, quản lý dự án và điều kiện thị trường. Việc các dự án bị đình trệ kéo dài không chỉ làm giảm hiệu quả sử dụng vốn mà còn gây tác động tiêu cực đến phát triển kinh tế – xã hội và môi trường đô thị.

Bài báo đã đề xuất một khung giải pháp tổng thể gồm năm nhóm: hoàn thiện pháp lý, tái cấu trúc tài chính, nâng cao năng lực quản lý, điều chỉnh quy hoạch và tăng cường vai trò điều phối của Nhà nước. Các giải pháp này cần được triển khai đồng bộ, có lộ trình rõ ràng và gắn với điều kiện thực tiễn tại từng địa phương.

Trong bối cảnh cải cách thể chế và phát triển hạ tầng bền vững, việc xử lý hiệu quả các công trình dở dang có ý nghĩa quan trọng trong việc giảm lãng phí nguồn lực, nâng cao hiệu quả đầu tư và củng cố niềm tin của nhà đầu tư. Đây cũng là cơ sở để tiếp tục nghiên cứu và hoàn thiện các mô hình quản trị đầu tư xây dựng trong tương lai.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Flyvbjerg. The Oxford Handbook of Megaproject Management. Oxford University Press, 2019.

[2] OECD. Effective Public Investment Across Levels of Government, 2015.

[3] World Bank. Vietnam Public Investment Review: Improving Efficiency and Equity. Washington, DC: World Bank, 2019.

[4] H.Kerzner. Project Management: A Systems Approach. Wiley, 2009.

[5] Project Management Institute (PMI). PMBOK Guide - 7th Edition, 2021.

[6] Asian Development Bank. Infrastructure Financing in Asia, 2019.

[7] X. Zhang. Critical success factors for PPP projects. Journal of Construction Engineering and Management, 2005.

[8] H. Abdirad. Metric-based BIM implementation assessment: a review of research and practice. Architectural Engineering and Design Management, vol. 13, no. 1, Taylor and Francis Ltd., pp. 52-78, 2017.

[9] Project Management Institute. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide). A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide), 2025.

[10] Eastman C. et al. BIM Handbook. Wiley, 2018.

■Ngày nhận bài: 29/4/2026 ■Ngày sửa bài: 15/5/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 29/5/2026

Công tác thẩm định hồ sơ thiết kế xây dựng dự án nâng cấp Phân hiệu Trường Đại học Thủy lợi: Tiếp cận theo mô hình SWOT-AHP

Appraisal of construction design documents for the upgrade project of the Southern Branch of Thuyloi University: A SWOT-AHP approach

> LÊ TRUNG THÀNH, PHẠM THANH TRÀO*, LÊ XUÂN BẢO
Trường Đại học Thủy lợi
*Email: phamthanhtrao@tlu.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu này tập trung vào công tác thẩm định hồ sơ thiết kế xây dựng dự án nâng cấp Phân hiệu Trường Đại học Thủy lợi, trong đó đi sâu phân tích thực trạng, những hạn chế, khó khăn và đề xuất các giải pháp cải thiện. Thông qua phân tích ma trận SWOT, nghiên cứu đã làm rõ điểm mạnh, điểm yếu, cơ hội và thách thức đối với Ban Quản lý dự án (QLDA) trong hoạt động thẩm định hồ sơ thiết kế. Các tiêu chí và yếu tố này được đánh giá và xếp hạng theo mức độ quan trọng bằng phương pháp phân tích thứ bậc (AHP), thông qua việc định lượng ý kiến chuyên gia. Trên cơ sở kết hợp các kết quả phân tích, nghiên cứu đề xuất một số giải pháp cho đơn vị, bao gồm: đẩy mạnh chuyển đổi số; áp dụng mô hình thông tin công trình (BIM - Building Information Modeling) và môi trường dữ liệu chung (CDE - Common Data Environment); đồng thời phát huy kinh nghiệm pháp lý nhằm chuẩn hóa quy trình thẩm định và tăng cường kiểm soát kỹ thuật, qua đó giảm thiểu rủi ro do biến động thị trường.

Từ khóa: Thẩm định hồ sơ thiết kế; mô hình SWOT-AHP; dự án nâng tầng trường học; ban QLDA.

ABSTRACT

This article focuses on the design document appraise for the upgrade project of the Thuy loi University's southern branch, specifically analyzing the current situation, identifying limitations and difficulties, and proposing solutions for improvement. Through SWOT analysis, the study clarifies the strengths, weaknesses, opportunities, and threats for the Project Management Board in the design appraise process. These characteristics and criteria are ranked by their importance level (AHP) through expert opinions. Combining above factors, the study proposes solutions for the Board: Promoting digital transformation, applying Building Information Modeling (BIM) and a Common Data Environment (CDE). In addition, leveraging legal expertise to standardize the review process and strengthening technical control to minimize market volatility risks.

Keywords: Design document appraisement; SWOT-AHP method; upgrade project of school; project management board.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh đẩy mạnh giải ngân vốn đầu tư công và nâng cao hiệu quả sử dụng ngân sách nhà nước, công tác thẩm định hồ sơ thiết kế xây dựng đóng vai trò là chốt chặn quan trọng nhằm kiểm soát chi phí, đảm bảo an toàn chịu lực và phòng chống cháy nổ cho công trình [1]. Thực tiễn cho thấy, phần lớn các thất thoát, lãng phí trong đầu tư xây dựng đều bắt nguồn từ những sai sót trong giai đoạn thiết kế và lập dự toán không được phát hiện kịp thời qua khâu thẩm định, dẫn đến tình trạng đội vốn, kéo dài tiến độ hoặc chất lượng công trình không đảm bảo khi đưa vào vận hành [2], [3]. Sự ra đời của Nghị định số 175/2024/NĐ-CP (thay thế Nghị định số 15/2021/NĐ-CP của Chính phủ) đã đặt ra những yêu cầu mới về phân cấp, ủy quyền mạnh mẽ cho cơ quan chuyên môn tại địa phương và chủ đầu tư đồng thời đơn giản hóa thủ tục hành chính [4]. Đối với lĩnh vực giáo dục, công trình trường học không chỉ yêu cầu tuân thủ nghiêm ngặt các quy chuẩn an toàn chung mà còn phải đáp ứng các tiêu chuẩn đặc thù về không gian sư phạm, chiếu sáng và thông gió theo TCVN 3981:1985 [5] và quy chuẩn về khả năng tiếp cận cho người khuyết tật theo [6]. Tại dự án "Đầu tư xây dựng nâng cấp Phân hiệu Trường Đại học Thủy lợi" tại TP.HCM, công tác thẩm định càng trở nên phức tạp hơn do đặc thù của dự án (nhóm B, tổng mức đầu tư 120 tỷ đồng) bao gồm hạng mục 2 tầng hầm, xây mới nhà làm việc và kết hợp thí nghiệm cao tầng cùng với hạng mục cải tạo, nâng tầng ký túc xá từ 7 lên 11 tầng [7]. Các hạng mục trên tiềm ẩn rủi ro kỹ thuật rất lớn nếu công tác khảo sát và thẩm định thiết kế không được thực hiện cẩn trọng. Với xu hướng chuyển đổi số và áp dụng Mô hình thông tin công trình (BIM) [8] đang đặt ra thách thức nhưng cũng là cơ hội để đổi mới phương

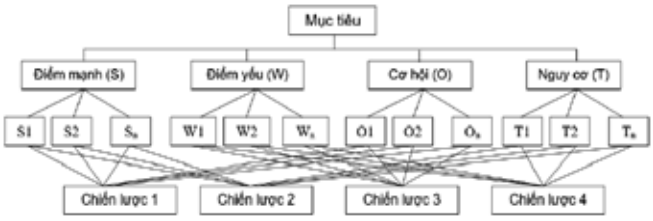
thức thẩm định truyền thống sang mô hình số hóa, giúp kiểm soát xung đột không gian và bóc tách dự toán chính xác.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Để làm rõ thực trạng, cơ hội, thách thức và đề xuất các giải pháp cho công tác thẩm định tại Ban QLDA dự án thành phần 1 (DATP1), nghiên cứu này sẽ áp dụng phương pháp mô hình kết hợp SWOT-AHP. Phương pháp này thường bao gồm 3 bước: Xác định yếu tố (SWOT), Trọng số yếu tố (AHP) và đề xuất giải pháp nâng cao chất lượng công tác.

Dựa trên việc thu thập và phân tích thông tin một cách chi tiết từ các số liệu báo cáo của Ban QLDA DATP1 [7], [9] và các nghiên cứu trước đây về thực trạng [3] và giải pháp nâng cao công tác thẩm định [10], tiến hành phân tích mô hình SWOT giúp xác định một cách có hệ thống các yếu tố nội tại, bao gồm những điểm mạnh và điểm yếu trong công tác thẩm định hồ sơ thiết kế. Đồng thời, các yếu tố bên ngoài như cơ hội và thách thức từ những yêu cầu điều chỉnh dự án, xung đột giữa các bên, môi trường kinh tế, xã hội và pháp lý cũng được nhận diện và đánh giá [11].

Quy trình phân tích thứ bậc (AHP) là một phương pháp ra quyết định có cấu trúc được giới thiệu bởi Saaty (1980) [12]. Đây là một kỹ thuật ra quyết định đa tiêu chí có hỗ trợ việc ra quyết định chung bằng cách phân tích một vấn đề phức tạp thành một cấu trúc phân cấp đa cấp của mục tiêu, tiêu chí và các phương án thay thế [13]. Để phân cấp tầm quan trọng của các tiêu chí SWOT nêu trên, một bảng hỏi được thiết kế bao gồm các ma trận so sánh: Ma trận (4x4) so sánh cặp các nhóm tiêu chí S-W-O-T; Các ma trận so sánh cặp các tiêu chí trong từng nhóm tiêu chí bằng S, W, O và T bao gồm gồm n dòng và n cột (n là số chỉ tiêu trong từng nhóm). Phần tử a_{ij} thể hiện mức độ quan trọng của chỉ tiêu hàng i so với chỉ tiêu cột j. Mức độ quan trọng tương đối của chỉ tiêu i so với j được tính theo tỷ lệ k (k từ 1 đến 9), ngược lại của chỉ tiêu j so với i là 1/k.



Hình 1. Sơ đồ nghiên cứu SWOT-AHP

Nhằm đánh giá tính hợp lý của các giá trị mức độ quan trọng của các chỉ tiêu. Bảng hỏi được gửi đến 14 đại diện các bên tham gia DATP1 như Cục Quản lý xây dựng công trình, Trường Đại học, Ban QLDA DATP1, Tư vấn thiết kế, Nhà thầu xây lắp và 01 chuyên gia lĩnh vực QLDA. Các chuyên gia sẽ so sánh cặp và cho điểm các nhóm tiêu chí, các tiêu chí trong từng nhóm tiêu chí dựa trên mức độ quan trọng tương đối của từng cặp tiêu chí theo thang 9 cấp của Saaty (1980) [13].

Theo [14], [15] và [16] chỉ ra, sự tích hợp của SWOT và AHP cung cấp cách tiếp cận toàn diện cho việc lập kế hoạch chiến lược. Quy trình SWOT xác định và phân nhóm các yếu tố ảnh hưởng, quy trình AHP định lượng tầm quan trọng tương đối của chúng, từ đó hỗ trợ việc đưa ra quyết định sáng suốt và chính xác hơn.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Đánh giá thực trạng công tác thẩm định tại Ban QLDA DATP1

Dự án được lựa chọn làm đối tượng nghiên cứu là DATP1: Xây dựng, nâng cấp Phân hiệu Trường Đại học Thủy lợi tại cơ sở TP.HCM. Đây là dự án do Bộ NN&MT là cơ quan quyết định đầu tư [7]. Về mặt pháp lý, dự án thuộc nhóm B, được phân cấp là công trình dân dụng cấp II, sử dụng hoàn toàn nguồn vốn ngân sách nhà nước do Bộ NN&MT quản lý. Tổng mức đầu tư của dự án là 120 tỷ đồng, trong đó chi phí xây dựng chiếm tỷ trọng lớn nhất, với thời gian thực hiện dự kiến là bốn năm [17]. Dự án được triển khai tại số 2 đường Trường Sa, phường Gia Định TP.HCM. Khu vực này có mật độ xây dựng đô thị rất cao, tiếp giáp trực tiếp với khu dân cư, các trục đường giao thông huyết mạch và gần hệ thống kênh rạch. Điều kiện mặt bằng thi công chật hẹp kết hợp với địa chất thủy văn phức tạp và mực nước ngầm cao đặt ra những thách thức lớn về biện pháp tổ chức thi công, an toàn lao động và vệ sinh môi trường. Dự án mang tính chất phức tạp và đòi hỏi biện pháp thi công tầng hầm an toàn trong điều kiện không gian hạn chế, cụ thể hạng mục thứ nhất là xây dựng mới khối nhà làm việc kết hợp thí nghiệm có quy mô 4 tầng nổi, 1 tầng tum và 2 tầng hầm với tổng diện tích sàn 5.386 m^2. Hạng mục thứ hai là cải tạo kiến trúc, nâng cấp hệ thống báo cháy, chữa cháy lắp đặt bổ sung 2 thang máy cho ký túc xá hiện hữu quy mô 7 tầng (diện tích sàn 3.780 m^2) đã được đưa vào sử dụng từ năm 2005 [19]. Thực tế những năm vừa qua, Ban QLDA đã tiến hành công tác thẩm định hồ sơ thiết kế dự án đạt được một số kết quả như: Ngăn chặn các rủi ro kỹ thuật và tiết kiệm ngân sách; Phối hợp với Cục Quản lý xây dựng công trình (QLXDCT) điều chỉnh biện pháp thi công cụ thể là hạng mục tầng hầm tiết kiệm 2,537 tỷ đồng. Theo như đề xuất ban đầu của tư vấn là áp dụng phương án thi công bán phần từ trên xuống, tuy nhiên thông qua các cuộc họp chuyên sâu do hai đơn vị trên tổ chức đã yêu cầu đơn vị tư vấn chuyển sang phương án đào mở, sử dụng cọc khoan nhồi đường kính 0,80 m (chiều sâu từ 38 m đến 47 m) làm vách hố móng. Dù việc điều chỉnh này làm chậm tiến độ trình duyệt, nhưng sẽ triệt tiêu nguy cơ sụt lún, sập đổ các công trình lân cận [20].

Song song bức tranh thực trạng, công tác thẩm định vẫn bộc lộ một số hạn chế đáng kể, như hồ sơ phải chỉnh sửa nhiều lần, tiến độ kéo dài đến 80 ngày (vượt 166% thời gian theo quy định) và công tác quản lý chi phí gặp nhiều khó khăn [18]. Trong các nhóm sai sót, tỷ lệ do sai sót dẫn đến xung đột không gian chiếm hơn 42% còn về sai lệch chi phí dự toán chiếm 35% và lỗi đánh giá hiện trạng khoảng 23% [18]. Nguyên nhân sai sót hạn chế xuất phát từ năng lực tổ chức, hạ tầng công nghệ và phương pháp quản trị nội bộ của Ban QLDA DATP1 trong quá trình điều hành và kiểm soát chất lượng hồ sơ [9]. Cụ thể là sự hạn chế trong công tác xây dựng tiêu chí và lựa chọn nhà thầu tư vấn thiết kế. Bên cạnh đó là bất cập trong cơ cấu nhân sự kiêm nhiệm và hệ thống kiểm soát chất lượng nội bộ.

Thực trạng thiếu hụt nhân sự chuyên trách toàn thời gian dẫn đến việc cán bộ không có đủ quỹ thời gian để rà soát kỹ lưỡng hết các bản vẽ kỹ thuật phức tạp. Do hệ thống kiểm soát chất lượng (QA/QC) chưa đầy đủ và thiếu chuẩn hóa quy trình bảng kiểm tra kỹ thuật (Checklist) dẫn đến chất lượng công việc của Ban Quản lý dự án bị suy giảm. Về khía cạnh hạ tầng thiết bị và phần mềm chuyên dụng hỗ trợ thẩm định của Ban QLDA DATP1 cũng thể hiện sự yếu kém, máy móc và trang thiết bị phục vụ công tác rà soát, thẩm định tại đơn vị hiện nay chưa đáp ứng được độ phức tạp của dự án và các dữ liệu theo mô hình BIM, Civil 3D, MEP, Navisworks...

3.2. Phân tích SWOT công tác thẩm định tại Ban QLDA DATP1

Dựa theo thực trạng nêu trên và các tài liệu nghiên cứu liên quan, nhóm tác giả tiến hành nhận định điểm mạnh, điểm yếu, cơ hội và thách thức đối với công tác thẩm định tại Ban QLDA DATP1 như sau:

Điểm mạnh: DATP1 thuộc dự án tổng thể tăng cường đầu tư cơ sở vật chất cho khối trường khu vực TP.HCM và Tây Nguyên. Trường Đại học Thủy lợi với tư cách là Chủ đầu tư, kiện toàn và thành lập Ban QLDA DATP1 nhằm điều hành toàn diện quá trình thực thi dự

án [9]. Vì vậy với đội ngũ nhân sự tham gia quản lý có sự xen kẽ giữa kinh nghiệm dày dặn của các chuyên gia, giảng viên và sự nhiệt huyết của các cán bộ trẻ. Tất cả đều được đào tạo bài bản dẫn đến Chủ đầu tư có tư duy tiếp cận nhanh bén với các công nghệ quản lý hiện đại.

Điểm yếu: Tuy nhiên trong quá trình hoạt động còn bộc lộ nhóm nguyên nhân trực tiếp làm giảm chất lượng và kéo dài thời gian thẩm định tại dự án DATP1 cụ thể: (1) Bất cập về thực trạng con người và sự kiêm nhiệm. Đây là cũng là yếu tố hạn chế được đưa ra trong các nghiên cứu [21] [3]. Mặc dù nhân sự có trình độ cao, nhưng phần lớn cán bộ của Ban QLDA DATP1 đang phải kiêm nhiệm nhiều công việc không có đủ quỹ thời gian để rà soát kỹ lưỡng một khối lượng khổng lồ các bản vẽ và dự toán. (2) Trang thiết bị máy móc chưa hiện đại và đồng bộ dẫn đến năng suất chất lượng công việc chưa cao nên tiến độ thực hiện chậm [3]. Chưa có bộ công cụ kiểm soát nội bộ (bảng kiểm tra), chất lượng công việc của Ban Quản lý dự án bị suy giảm nghiêm trọng. (3) Thiếu chặt chẽ trong việc thiết lập tiêu chí và lựa chọn sai tư vấn. Điểm yếu này cũng là hạn chế được nêu trong nghiên cứu [3].

Phân tích SWOT đã chỉ ra những cơ hội quan trọng từ sự quan tâm và tạo điều kiện tối đa từ cơ quan chủ quản và chủ đầu tư. Đồng thời, xu thế chuyển đổi số quốc gia cùng hành lang pháp lý mở đường hoàn hảo để dự án mạnh dạn áp dụng mô hình thông tin công trình và thiết lập môi trường dữ liệu chung, nhằm hiện đại hóa công tác thẩm định [2] và [22]. Song song với những cơ hội là những thách thức không nhỏ khi dự án xây dựng trường học tại khu vực đô thị có mật độ dân cư đông, mặt bằng thi công chật hẹp đòi hỏi các giải pháp thi công nền móng (hai tầng hầm) phải đạt độ an toàn tuyệt đối. Dự án cũng chịu tác động trực tiếp từ sự giao thoa, thay đổi của các chính sách, quy chuẩn pháp luật (đặc biệt là quy chuẩn về phòng cháy chữa cháy). Cuối cùng, thách thức lớn nhất đối với Chủ đầu tư là làm sao giải quyết được bài toán kỹ thuật khắt khe nói trên nhưng vẫn phải đáp ứng mục tiêu quản lý là rút ngắn thời gian để bám sát tiến độ giải ngân đầu tư công.

Theo kết quả phân tích trên, phân tích SWOT theo 17 tiêu chí được phân tích thành các mặt mạnh, yếu, cơ hội và thách thức như Bảng 1.

Bảng 1. Các tiêu chí theo phân tích SWOT

S - ĐIỂM MẠNH (STRENGTH)		W - ĐIỂM YẾU (WEAKNESS)	
S1	Dự án nâng tầng cho cơ sở đào tạo có truyền thống lĩnh vực xây dựng.	W1	Quá trình phối hợp các chủ thể còn hạn chế gây kéo dài thời gian.
S2	Cán bộ quản lý có kinh nghiệm đan xen nhiệt huyết sức trẻ.	W2	Công cụ kiểm soát nội bộ (bảng kiểm tra kỹ thuật) thiếu chặt chẽ.
S3	Đội ngũ nhân lực được đào tạo bài bản đúng chuyên ngành.	W3	Thiếu trang thiết bị máy móc và phần mềm chuyên dụng.
S4	Có khả năng tiếp cận và nắm bắt nhanh các xu hướng công nghệ hiện đại.	W4	Công tác tổ chức đấu thầu không theo kịp các yêu cầu mới.
		W5	Thiếu cán bộ chuyên trách và kiêm nhiệm nhiều công việc.
O - CƠ HỘI (OPPORTUNITIES)		**T - THÁCH THỨC (THREATS)**	
O1	Nhận được nhiều quan tâm và tạo điều kiện từ cơ quan chủ quản.	T1	Dự án nâng tầng trường học nằm trong khu đô thị đông người và chật hẹp.
O2	Nguồn vốn ngân sách nhà nước đảm bảo và ổn định.	T2	Giải pháp thi công kết hợp cải tạo trường học yêu cầu kỹ thuật và an toàn.
O3	Xu thế chuyển đổi số quốc gia đang phát triển.	T3	Dự án phải rút ngắn tiến độ xử lý hồ sơ tối thiểu 20% thời gian.
O4	Nhu cầu áp dụng mô hình thông tin công trình và môi trường dữ liệu dùng chung.	T4	Dự án diễn ra trong giai đoạn thay đổi chính sách pháp luật về xây dựng.

Bảng 2. Trọng số các tiêu chí và nhóm tiêu chí S-W-O-T theo phương pháp AHP

Nhóm yếu tố		Tỷ trọng nhóm	Tiêu chí	Tỷ trọng riêng	Tỷ trọng chung
Bên trong	S	33,8%	S1	21,9%	0,074022
			S2	31,2%	0,105456
			S3	28,8%	0,097344
			S4	18,1%	0,061178
	W	25,4%	W1	24,2%	0,061468
			W2	22,3%	0,056642
			W3	12,1%	0,030734
			W4	11,2%	0,028448
			W5	30,2%	0,076708
Bên ngoài	O	20,0%	O1	38,7%	0,077400
			O2	21,4%	0,042800
			O3	18,4%	0,036800
			O4	21,5%	0,043000
	T	20,8%	T1	20,4%	0,042432
			T2	26,5%	0,055120
			T3	17,3%	0,035984
			T4	35,8%	0,074464

3.3. Xếp hạng AHP các tiêu chí

Để tính toán mức độ ưu tiên các tiêu chí, quy trình phân cấp phân tích (AHP) đã được sử dụng theo các ma trận so sánh từng cặp được tạo cho từng danh mục SWOT và kết quả được trình bày trong Bảng 2.

Khi phân tích thứ bậc các nhóm tiêu chí điểm mạnh, điểm yếu, cơ hội và thách thức mức độ nhất quán của 4 nhóm cho giá trị CR = 0,07 thỏa mãn điều kiện CR<0,1. Tương tự chỉ số nhất quán đối với việc xếp hạng 4 tiêu chí điểm mạnh S1, S2, S3 và S4 là CR = 0,04, xếp hạng 5 tiêu chí điểm yếu W1, W2, W3, W4 đến W5 có CR = 0,05, xếp hạng 4 tiêu chí cơ hội O1, O2, O3 và O4 được CR=0,01 và xếp hạng 4 tiêu chí thách thức với độ nhất quán CR=0,05. Chứng minh các ma trận này đạt tính nhất quán và đánh giá là hợp lý.

Bảng 2 thể hiện nhóm Điểm mạnh (S) chiếm vị trí ưu tiên hàng đầu với trọng số 33,8%, phản ánh rằng tổ chức nên tập trung vào việc khai thác tối đa các lợi thế nội tại. Trong nhóm này, tiêu chí S2 "Cán bộ quản lý có kinh nghiệm đan xen nhiệt huyết sức trẻ" chiếm 31,2% và tiêu chí S3 "Đội ngũ nhân lực được đào tạo bài bản đúng chuyên ngành" chiếm 28,8% cho thấy rằng đây là những tiêu chí cốt lõi để nâng cao chất lượng công tác thẩm định. Xếp tiếp theo là tiêu chí S1 "Dự án nâng tầng cho cơ sở đào tạo có truyền thống lĩnh vực xây dựng" (21,9%) và cuối cùng là S4 "Có khả năng tiếp cận và nắm bắt nhanh các xu hướng công nghệ hiện đại" (18,1%) đều đóng vai trò hỗ trợ quan trọng trong chất lượng thẩm định. Nhóm tiêu chí Điểm yếu (W) với trọng số 25,4%, tuy không bằng điểm mạnh nhưng vẫn quan trọng đáng kể. Trong nhóm này, tiêu chí W5 "Thiếu cán bộ chuyên trách và kiêm nhiệm nhiều công việc" nổi lên là vấn đề nghiêm trọng nhất, chiếm gần 30,2% trọng số nhóm. Về nhóm tiêu chí Cơ hội (O) (trọng số 20,0%) sự xuất hiện của các cơ hội bên ngoài thể hiện những động lực không nhỏ, đặc biệt Cơ hội O1 "Nhận được nhiều quan tâm và tạo điều kiện từ cơ quan chủ quản" chiếm 38,7% khẳng định dự án luôn nhận được sự quan tâm và tạo điều kiện tối đa từ cơ quan chủ quản và chủ đầu tư. Cuối cùng, nhóm tiêu chí Thách thức (T) có trọng số 20,8% và tiêu chí T4 "Dự án diễn ra trong giai đoạn thay đổi chính sách pháp luật về xây dựng" chiếm tỷ trọng cao nhất 35,8%. Cuối cùng, thách thức T2 "Giải pháp thi công kết hợp cải tạo trường học yêu cầu kỹ thuật và an toàn" chiếm 26,5% cho thấy ưu tiên cần giải quyết bài toán kỹ thuật khắt khe nói trên.

4. GIẢI PHÁP

Dựa trên kết quả phân tích thực trạng và các yếu tố chiến lược từ mô hình SWOT, nghiên cứu đề xuất một hệ thống các giải pháp toàn diện nhằm nâng cao chất lượng công tác thẩm định hồ sơ thiết kế tại Ban QLDA DATP1. Các giải pháp này được cấu trúc theo bốn nhóm chiến lược, kết hợp giữa việc phát huy các yếu tố nội lực và tận dụng cơ hội, đồng thời đối phó với các thách thức và khắc phục những điểm yếu còn tồn tại.

Bảng 3. Ma trận tổng hợp chiến lược SWOT

Chiến lược SO	Chiến lược ST
S1+O1: Phát huy điểm mạnh dự án nâng cấp cho cơ sở đào tạo lĩnh vực xây dựng có truyền thống về chất lượng trong đào tạo và chất lượng sản xuất	S3+T1: Ban QLDA cần phải tối đa sử dụng nền tảng chuyên môn học thuật sâu rộng của Chủ đầu tư kết hợp với công cụ BIM 3D.
S4+O2: Thiết lập KPI cụ thể từng giai đoạn cho các cá nhân trong đơn vị nhằm lượng hóa hiệu quả, xác định trách nhiệm và tạo động lực cải tiến liên tục.	S2S4+T2: Cần phát huy hiểu biết hiện trạng để giảm rủi ro thi công trong môi trường đang vận hành.
S2S3+O3O4: Tận dụng lợi thế về tư duy công nghệ [8]. Triệt để áp dụng BIM, phát huy kinh nghiệm pháp lý chuẩn hóa quy trình thẩm định và tăng cường kiểm soát kỹ thuật.	S1+T3 Để rút ngắn tiến độ cần tăng cường phối hợp liên ngành, thiết lập quy trình phối hợp kỹ thuật, thường xuyên tổ chức họp liên ngành định kỳ và ứng dụng mô hình BIM phối hợp.
Chiến lược WO	**Chiến lược WT**
W1W3W5+O1: Cần tận dụng sự quan tâm tạo điều kiện để khắc phục các hạn chế trong quá trình phối hợp và kết hợp đầu tư nâng cấp trang thiết bị. Bổ sung nhân lực chuyên trách.	W2+T1: Ban QLDA nên tăng cường công tác kiểm soát, cụ thể là phải ban hành bộ Tiêu chí kiểm soát nội bộ (Checklist) chuẩn hóa.
W4W5+O4: Khuyến khích cán bộ trong Ban QLDA tham gia các khóa học đào tạo ngay tại nhằm khắc phục hạn chế trong công tác và phối hợp bằng mô hình quản lý tích hợp.	W4W5+T2: Áp dụng cơ chế "thực hiện đồng thời" hạn chế các sai sót hồ sơ và giảm rủi ro trách nhiệm pháp lý.
W1W3+O3O4: Cần tiên phong thiết lập CDE. Việc này giúp đồng bộ hóa thông tin giữa các cơ quan quản lý (phòng cháy chữa cháy, xây dựng) và Tư vấn.	W1W5+T3: Phân công chuyên môn hóa và có thể thuê chuyên gia hỗ trợ khi cần để giải quyết bài toán nhân lực kiêm nhiệm. Áp dụng BIM kiểm tra xung đột, tự động hóa bóc khối lượng ..

Bảng 4. Phân cấp mức độ ưu tiên các giải pháp chiến lược

Chiến lược	Trọng số ưu tiên	Thứ tự ưu tiên
S1+O1	0,151422	7
S4+O2	0,103978	11
S2S3+O3O4	0,282600	1
S3+T1	0,139776	9
S2S4+T2	0,257920	2
S1+T3	0,110006	10
W1W3W5+O1	0,246310	3
W4W5+O4	0,148156	8
W1W3+O3O4	0,172002	5
W2+T1	0,099074	12
W4W5+T2	0,160276	6
W1W5+T3	0,174160	4

Tính tổng trọng số cho 12 nhóm giải pháp chiến lược được đề xuất trong Bảng 3, nhận thấy nhóm chiến lược ưu tiên nhất là (S2S3+O3O4) Áp dụng BIM, phát huy kinh nghiệm pháp lý chuẩn hóa quy trình thẩm định và tăng cường kiểm soát kỹ thuật tiếp đó là nhóm chiến lược (S2S4+T2) Phát huy hiểu biết hiện trạng để giảm rủi ro và nhóm chiến lược ít ưu tiên nhất là (W2+T1) Chuẩn hóa bộ Tiêu chí kiểm soát nội bộ (Checklist). Mức độ ưu tiên các nhóm chiến lược xem Bảng 4.

5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

5.1. Kết luận

Công tác thẩm định thiết kế xây dựng đối với các công trình quy mô lớn và phức tạp như dự án nâng cấp Phân hiệu Trường Đại học Thủy lợi cho thấy nhiều khó khăn trong công tác phối hợp giữa các bên liên quan, sự thay đổi của chính sách pháp luật, cũng như các điều kiện kỹ thuật đặc thù như địa chất phức tạp và mặt bằng thi công hạn chế. Trong bối cảnh nhân sự chủ yếu kiêm nhiệm và hạn chế về thời gian, mặc dù có nền tảng chuyên môn và kinh nghiệm trong lĩnh vực xây dựng, Ban QLDA cần tăng cường đào tạo và nâng cao năng lực nhằm thúc đẩy chuyển đổi số, ứng dụng mô hình thông tin công trình (BIM - Building Information Modeling) và thiết lập môi trường dữ liệu chung (CDE - Common Data Environment), qua đó giảm thiểu sai sót trong thiết kế đa bộ môn cũng như sai lệch về khối lượng và chi phí dự toán. Ban QLDA nên tăng cường công tác kiểm soát, cụ thể là phải ban hành bộ Tiêu chí kiểm soát nội bộ (Checklist) chuẩn hóa. Đồng thời, áp dụng cơ chế "thực hiện đồng thời" để tránh việc hồ sơ phải chỉnh sửa nhiều lần, hạn chế các sai sót hồ sơ và giảm rủi ro trách nhiệm pháp lý. Chủ động chuyển đổi sang phương thức "thẩm tra từ sớm, từ xa". Yêu cầu truy cập vào mô hình chia sẻ (Shared) trên CDE của dự án để rà soát giải pháp kết cấu ngay từ bước định hình thiết kế, ngăn chặn rủi ro phải thiết kế lại (Rework) gây ảnh hưởng đến tiến độ tổng thể của dự án.

5.2. Kiến nghị

Để hệ thống giải pháp của đề án phát huy tối đa hiệu quả trong thực tiễn, nhóm tác giả đề xuất một số kiến nghị mang tính chiến lược đối với các chủ thể quản lý như sau:

- Đối với cơ quan quản lý nhà nước: kiến nghị Cục Quản lý xây dựng công trình sớm tham mưu cho Bộ NN&MT nâng cấp hệ thống phần mềm dùng chung, cho phép Chủ đầu tư đệ trình và chuyên viên thụ lý thẩm định trực tiếp trên nền tảng Mô hình thông tin công trình 3D thay vì chỉ sử dụng định dạng bản vẽ tĩnh.

- Đối với Chủ đầu tư: kiên quyết đưa tiêu chí "năng lực ứng dụng BIM" (bao gồm yêu cầu cụ thể về nhân sự chủ trì BIM và bản quyền phần mềm) vào Hồ sơ mời thầu đối với các gói thầu tư vấn thiết kế và tư vấn giám sát trong các dự án đầu tư tiếp theo.

- Đối với tư vấn thiết kế: Yêu cầu chấm dứt phương pháp thiết kế phân mảnh giữa các bộ môn. Bắt buộc thiết lập Môi trường dữ liệu chung (CDE) nội bộ và chỉ định nhân sự điều phối BIM (BIM Coordinator) thực hiện rà soát xung đột trước khi xuất bản hồ sơ trình Chủ đầu tư.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Chính phủ. Nghị định số 15/2021/NĐ-CP Quy định chi tiết một số nội dung về quản lý dự án đầu tư xây dựng, Hà Nội, 2021.

[2] Hồ Ngọc Nghĩa. Giải pháp hoàn thiện công tác thẩm định thiết kế xây dựng công trình kè tại Sở Giao thông vận tải TP.HCM. Đề án Thạc sĩ, Trường Đại học Thủy lợi, 2025.

[3] Đỗ Thị Mỹ Dung, Nguyễn Chính Huy. Thực trạng công tác thẩm định thiết kế dự toán các công trình thủy lợi trên địa bàn tỉnh Đồng Tháp. Tạp chí Xây dựng, số 3, tr. 38-42, 2020.

[4] Chính phủ. Nghị định số 175/2024/NĐ-CP ngày 30/12/2024 quy định chi tiết một số điều và biện pháp thi hành Luật Xây dựng về quản lý hoạt động xây dựng, Hà Nội, 2024.

[5] Viện Nghiên cứu Thiết kế Trường học. TCVN 3981:1985 Trường đại học - Tiêu chuẩn thiết kế. Bộ Xây dựng, 1985.

[6] Bộ Xây dựng, QCVN 10:2024/BXD Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về Xây dựng công trình đảm bảo tiếp cận sử dụng, Hà Nội, 2024.

[7] Bộ NN&PTNN. Quyết định số 4878/QĐ-BNN-XD ngày 15/11/2023 về việc phê duyệt dự án đầu tư xây dựng Dự án thành phần "DATP1: Xây dựng, nâng cấp Phân hiệu Trường Đại học Thủy lợi tại cơ sở TP.HCM", Hà Nội, 2023.

[8] Thủ tướng Chính phủ. Quyết định số 258/QĐ-TTg ngày 17/3/2023 về việc phê duyệt Lộ trình áp dụng Mô hình thông tin công trình (BIM) trong hoạt động xây dựng, Hà Nội, 2023.

[9] Ban QLDA DATP1. Tờ trình 237-TTg-DHTL-DATP1, Báo cáo công tác thẩm định dự án nâng cấp Phân hiệu Trường Đại học Thủy lợi, ngày 27/12/2024. Trường Đại học Thủy lợi, Hà Nội, 2024.

[10] Đỗ Thị Mỹ Dung, Lâm Thanh Quang Khải, Nguyễn Chính Huy. Một số giải pháp nâng cao năng lực công tác thẩm định thiết kế dự toán các công trình thủy lợi. Tạp chí Xây dựng, số 6, tr. 37-40, 2020.

[11] A. Humphrey. Getting management commitment to planning - A new approach. Long Range Planning, vol. 7, no. 1, pp. 45-51, 1974.

[12] T. L. Saaty. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. New York: McGraw-Hill International Book Company, 1980.

[13] T. L. Saaty. Decision making with the analytic hierarchy process. International Journal of Services Sciences, vol. 1, no. 1, pp. 83-98, 2008, doi: 10.1504/IJSSCI.2008.017590.

[14] Trần Văn Trường. Tích hợp phân tích SWOT-AHP để xuất định hướng phát triển bền vững kinh tế biển tỉnh Quảng Ninh. Tạp chí Nghiên cứu Địa lý nhân văn, tập 47, số 2, tr. 90-102, 2025.

[15] Mai Khắc Thành. Kết hợp mô hình SWOT và mô hình phân tích thứ bậc AHP để lựa chọn phương án chiến lược tại Công ty Cổ phần Vận tải biển Vinaship. Tạp chí Khoa học Công nghệ hàng hải, tập 61, số 1, tr. 70-77, 2020.

[16] Nguyễn Thị Phương Anh. Ứng dụng mô hình AHP - SWOT trong đề xuất chiến lược tích hợp AI vào nghiên cứu của sinh viên ngành Ngôn ngữ Anh. Tạp chí khoa học Trường Đại học Bà Rịa Vũng Tàu, tập 05, số 01, tr. 12-17, 2025.

[17] Cục Quản lý xây dựng công trình. Thông báo số:1772 /TB-XD-B2, Kết quả thẩm định thiết kế xây dựng triển khai dự án thành phần 1, ngày 27/12/2024. Bộ NN&PTNT, Hà Nội, 2024.

[18] Trường Đại học Thủy lợi. Quyết định số 3929/QĐ-ĐHTL ngày 27/12/2024 Về việc phê duyệt thiết kế xây dựng triển khai sau thiết kế cơ sở dự án thành phần DATP1, Hà Nội, 2024.

[19] Trường Đại học Thủy lợi. Tờ trình số 32/TTr-ĐHTL về việc phê duyệt điều chỉnh chủ trương đầu tư dự án (Kèm Phụ lục diễn giải chi tiết các hạng mục thay đổi kiến trúc và PCCC), Hà Nội, 2024.

[20] Ban Quản lý dự án DATP1. Tờ trình số 245/TTr-ĐHTL-QLDATP1 ngày 27/12/2024 Về việc trình phê duyệt thiết kế xây dựng triển khai sau thiết kế cơ sở dự án thành phần DATP1. Trường Đại học Thủy lợi, Hồ Chí Minh, 2024.

[21] Phạm Văn Huy. Nâng cao chất lượng thẩm định dự án đầu tư trong hoạt động cho vay của ngân hàng thương mại. Tạp chí Tài chính và Doanh nghiệp, Hà Nội, 2021.

[22] Nguyễn Anh Thư, Nguyễn Thanh Phong, Trần Anh Hân. Đánh giá hiệu quả của việc ứng dụng mô hình thông tin công trình (BIM) trong quản lý thiết kế dự án hạ tầng kỹ thuật đô thị. Tạp chí Vật liệu và Xây dựng - Bộ Xây dựng, tập 14, số 01, tr. 81-89, 2024, doi: 10.54772/jomc.01.2024.627.

■Ngày nhận bài: 29/4/2026 ■Ngày sửa bài: 10/5/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 26/5/2026

Nghiên cứu sơ bộ và đề xuất các giải pháp hoàn thiện công tác quản lý thiết kế công trình kết cấu thép tại Việt Nam

A preliminary research and proposed solutions for improving the design management of steel structure projects in Vietnam

> ĐINH TRỌNG HÙNG[1,*], PHẠM THÀNH NGHIỆP[2], ĐINH TRUNG HIẾU[3]
[1]Khoa Quản lý xây dựng, Trường Đại học Giao thông vận tải
[2]Phân hiệu Trường Đại học Giao thông vận tải tại TP.HCM
[3]Khoa Vận tải kinh tế, Trường Đại học Giao thông vận tải
[*]Email: dthung@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Trong bối cảnh công nghiệp hóa mạnh mẽ, ngành Xây dựng Việt Nam đang chứng kiến sự dịch chuyển sang các giải pháp kết cấu thép nhờ ưu điểm vượt trội về cường độ chịu lực và tốc độ thi công. Tuy nhiên, thực tiễn công tác quản lý thiết kế hiện nay vẫn đối mặt với nhiều thách thức hệ thống như quy trình thiếu tính đồng bộ, phụ thuộc quá mức vào kinh nghiệm cá nhân và sự đứt gãy thông tin giữa các khâu thiết kế - chế tạo - lắp dựng. Nghiên cứu này được thực hiện nhằm mục tiêu nhận diện các hạn chế hệ thống và đề xuất khung giải pháp quản trị hiện đại cho doanh nghiệp. Kết quả nghiên cứu chỉ ra những hạn chế cốt lõi về môi trường dữ liệu chung và tình trạng kiểm soát phiên bản hồ sơ thủ công dẫn đến rủi ro sai lệch thông tin. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất giải pháp quản lý tích hợp dựa trên công nghệ BIM kết hợp với lộ trình kiện toàn nguồn nhân lực chuyên sâu. Giải pháp không chỉ giúp tối ưu hóa sự phối hợp giữa các bên liên quan, giảm thiểu rủi ro sai sót tại hiện trường mà còn cung cấp luận cứ khoa học thực tiễn cho lộ trình số hóa của các doanh nghiệp kết cấu thép tại Việt Nam, đóng góp thiết thực vào hệ thống lý luận quản trị dự án xây dựng hiện đại.

Từ khóa: Kết cấu thép; BIM; CDE.

ABSTRACT

During rapid industrialization, the Vietnamese construction industry is witnessing a significant shift toward steel structure solutions, driven by their superior load-bearing capacity and accelerated construction timelines. However, current design management practices continue to face systemic challenges, including fragmented workflows, excessive reliance on individual experience, and information gaps between the design, fabrication, and erection phases. This research aims to identify these systemic bottlenecks and propose a modern management framework for enterprises. Findings highlight core deficiencies in the Common Data Environment (CDE) and manual document version control, both of which increase the risk of informational discrepancies. Consequently, the study proposes an integrated management solution leveraging Building Information Modeling (BIM) technology, coupled with a roadmap for specialized human resource development. This approach not only optimizes stakeholder coordination and minimizes on-site errors but also provides a practical scientific basis for the digitalization of steel structure firms in Vietnam, contributing meaningfully to the theoretical framework of modern construction project management.

Keywords: Steel structures; BIM; CDE.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Để đáp ứng nhu cầu xây dựng công nghiệp, ngành xây dựng đang chứng kiến sự chuyển dịch mạnh mẽ sang các giải pháp kết cấu thép nhờ các ưu điểm vượt trội về cường độ chịu lực, tính linh hoạt trong kiến trúc và khả năng thi công nhanh. Tại Việt Nam, nhu cầu đối với các công trình kết cấu thép như nhà xưởng nhịp lớn, nhà kho thông minh và các công trình biểu tượng đang gia tăng nhanh chóng, đặt ra yêu cầu cao về năng lực quản lý của các doanh nghiệp xây dựng.

Quản lý thiết kế đóng vai trò là giai đoạn then chốt, quyết định đến 80% hiệu quả kinh tế và an toàn kỹ thuật của toàn bộ dự án kết cấu thép. Tuy nhiên, thực tiễn triển khai tại các doanh nghiệp hàng đầu hiện nay

vẫn đối mặt với nhiều thách thức có tính hệ thống [1], [2]. Các nghiên cứu sơ bộ cho thấy quy trình quản lý hiện hành thường thiếu tính đồng bộ, phụ thuộc quá mức vào kinh nghiệm cá nhân và thiếu sự kết nối liền mạch giữa các khâu thiết kế - chế tạo - lắp dựng [3]. Sự phân mảnh thông tin này không chỉ dẫn đến các sai sót kỹ thuật gây lãng phí vật liệu mà còn làm tăng rủi ro về tiến độ và chi phí phát sinh.

Bên cạnh đó, mặc dù công nghệ Mô hình thông tin công trình (BIM) đã bắt đầu được áp dụng, nhưng việc thiếu một môi trường dữ liệu chung thống nhất đã hạn chế khả năng phối hợp đa bên và quản lý phiên bản hồ sơ [4]. Năng lực của đội ngũ nhân sự cũng bộc lộ sự chênh lệch đáng kể, đặc biệt là trong việc xử lý các liên kết phức tạp và áp dụng các bộ tiêu chuẩn quốc tế như AISC hay Eurocode.

Nghiên cứu này tập trung vào việc nhận diện các nhân tố ảnh hưởng và những nút thắt trong quy trình quản lý công trình kết cấu thép thực tế, nghiên cứu đề xuất một khung quản lý thiết kế tích hợp dựa trên nền tảng BIM/CDE kết hợp với lộ trình tối ưu hóa nguồn nhân lực chuyên sâu. Kết quả nghiên cứu không chỉ góp phần nâng cao năng lực cạnh tranh cho doanh nghiệp mà còn cung cấp cơ sở khoa học cho việc hoàn thiện công tác quản lý chất lượng thiết kế trong bối cảnh chuyển đổi số của ngành xây dựng Việt Nam.

2. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU

Quản lý thiết kế trong công trình kết cấu thép được định nghĩa là một hệ thống các phương thức quản trị bao gồm: hoạch định, tổ chức, điều phối và giám sát các nguồn lực, quy trình nghiệp vụ cùng hệ thống dữ liệu kỹ thuật. Hoạt động này hướng tới mục tiêu thiết lập và hoàn thiện bộ hồ sơ thiết kế kỹ thuật cùng hệ thống bản vẽ chế tạo chi tiết, đảm bảo tính chuẩn xác, đồng bộ và tối ưu hóa cho toàn bộ vòng đời triển khai dự án.

Khác với phương thức quản lý thiết kế bê tông cốt thép truyền thống vốn tập trung nhiều vào quá trình tạo hình tại chỗ, quản lý thiết kế kết cấu thép mang tính đặc thù cao do sự gắn liền giữa giải pháp kỹ thuật và công nghệ sản xuất cơ khí. Các trọng điểm đặc thù bao gồm:

- *Tính khả thi về chế tạo:* Thiết kế cần đảm bảo hai yếu tố chính: khả năng chịu lực và dễ chế tạo. Kết cấu cũng cần đảm bảo yêu cầu tính khả thi về lắp dựng được trình bày ở dưới.

- *Tính khả thi về lắp dựng:* Trọng tâm của quản lý thiết kế là đảm bảo các cấu kiện có thể được vận chuyển và lắp ghép tại công trường một cách an toàn, nhanh chóng.

- Hệ thống hóa và quản lý dòng thông tin: Đây là đặc thù then chốt trong kỷ nguyên số hóa ngành Xây dựng. Quá trình này yêu cầu kiểm soát chặt chẽ tính nhất quán của dòng dữ liệu từ mô hình thông tin 3D sang hệ thống bản vẽ chi tiết 2D, bảng thống kê vật liệu và đặc biệt là các tệp dữ liệu điều khiển máy gia công tự động (CNC). Việc quản lý tốt luồng thông tin này giúp triệt tiêu các sai sót chuyển đổi và đảm bảo sự khớp nối giữa thiết kế và sản xuất thực tế.

Các nghiên cứu về quản lý dự án kết cấu thép đã được các tác giả trong và ngoài nước tìm hiểu và chỉ ra các vấn đề cũng như thách thức đặt ra:

Bảng 1. Thống kê tóm tắt các kết quả nghiên cứu và nhận định của các nhóm tác giả

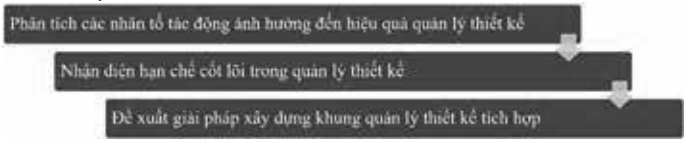
Tác giả	Lĩnh vực / Chủ đề nghiên cứu	Các vấn đề & Thách thức được chỉ ra
Avendaño và cộng sự [1]	Tối ưu hóa quy trình quản lý dự án kết cấu thép.	- Vật liệu thép làm tăng độ phức tạp trong quản lý luồng thông tin.
		- Thiếu tính liên tục khi ứng dụng BIM qua các vòng đời dự án.
		- Hạn chế công nghệ ở khâu lập kế hoạch và vận chuyển (logistics yếu kém).
Jiao và Cao [2]	Tối ưu hóa quy trình quản lý dự án.	- Sự tách biệt nghiêm trọng giữa khâu thiết kế và thi công.
		- Dùng bản vẽ 2D truyền thống gây trễ dữ liệu, sai lệch thực tế, tăng rủi ro làm lại và khó kiểm soát chi phí.
		- Thiết kế giai đoạn đầu thiếu chiều sâu, thiếu nền tảng cộng tác BIM tích hợp.
Nguyễn Anh Thư và cộng sự [5]	Tối ưu hóa quy trình quản lý dự án hạ tầng & dân dụng.	- Thiết kế 2D truyền thống bị giới hạn không gian, khó hình dung và kiểm soát xung đột hệ thống cơ điện/kỹ thuật.
		- Thiếu môi trường dữ liệu chung làm thông tin rời rạc, tăng sai sót và chi phí khi triển khai thực địa.
Nguyễn Anh Đức và cộng sự [6]	Giai đoạn thi công.	- Phụ thuộc vào tiêu chuẩn lạc hậu (TCVN 4453:1995) tạo ra khoảng trống kỹ thuật (thiếu quy định tổ hợp tải trọng, chống đỡ).
		- Kỹ sư phải dùng kinh nghiệm chủ quan thay vì tính toán chuẩn hóa.
		- Gây không nhất quán giữa hồ sơ thiết kế và thực tế nghiệm thu.

Công tác quản lý thiết kế kết cấu thép hiện đang đối mặt với nhiều rủi ro hệ thống do sai sót trong tính toán kỹ thuật, áp dụng sai tiêu chuẩn và lựa chọn vật liệu chưa tối ưu. Những yếu kém này không chỉ làm giảm tuổi thọ công trình, cản trở quá trình gia công và lắp đặt, mà còn gây lãng phí ngân sách, chậm tiến độ và tiềm ẩn nguy cơ mất an toàn cháy nổ. Nguyên nhân cốt lõi xuất phát từ năng lực nhân sự còn hạn chế, quy trình phối hợp rời rạc gây đứt gãy thông tin giữa các bên, cùng với sự thiếu thống nhất trong quản lý hồ sơ và tiêu chuẩn kiểm định. Để khắc phục triệt để các sai lệch khi thi công thực tế, đòi hỏi một sự thay đổi toàn diện về tư duy quản trị và tập trung bồi dưỡng nghiệp vụ chuyên sâu.

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu áp dụng phương pháp nghiên cứu trường hợp điển hình để đi sâu vào phân tích các khía cạnh đặc thù trong quản trị thiết kế kết cấu thép tại Việt Nam. Ngoài ra, nghiên cứu sử dụng phương pháp phân tích định tính để đánh giá tính hiệu quả của các quy trình quản lý hiện hữu. Phạm vi nghiên cứu tập trung vào các quy trình quản lý hồ sơ thiết kế, công tác điều phối giữa các bộ phận (thiết kế - sản xuất - thi công), và việc ứng dụng công nghệ trong kiểm soát thay đổi và quản lý phiên bản bản vẽ.

Dữ liệu nghiên cứu được thu thập dựa trên sự kết hợp giữa phương pháp đánh giá tài liệu nội bộ và xây dựng sơ đồ quy trình vận hành thực tế. Tác giả tiến hành phân tích hệ thống quản lý chất lượng theo tiêu chuẩn ISO, các biểu mẫu điều hành nội bộ và hồ sơ kỹ thuật của các dự án trọng điểm; đồng thời thực hiện mô hình hóa luồng công việc hiện hữu nhằm nhận diện cơ chế tương tác giữa các bên liên quan.

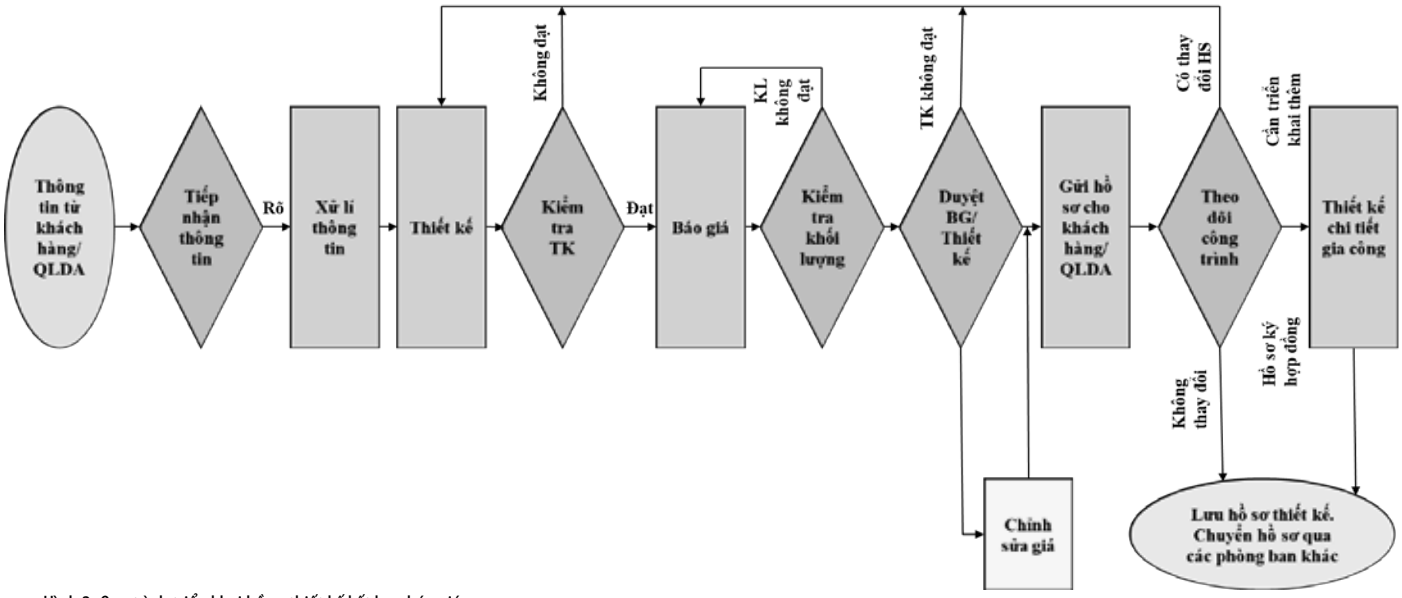


Hình 1. Sơ đồ tiến trình nghiên cứu

4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

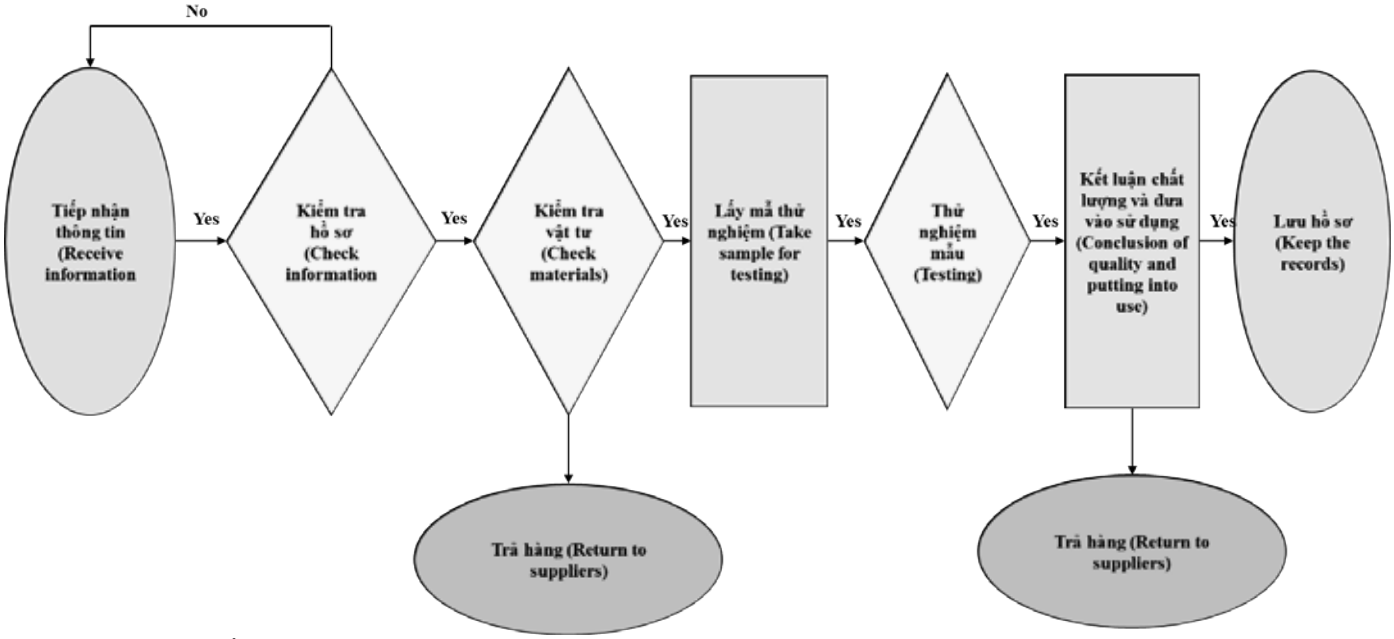
Hệ thống quản lý công trình kết cấu thép được xây dựng qua hai tiến trình bổ trợ chặt chẽ cho nhau: (1) Quy trình triển khai hồ sơ thiết kế kết hợp báo giá và (2) Quy trình kiểm định chất lượng nguyên vật liệu đầu vào.

Trong quy trình triển khai dự án, sự vận hành bắt đầu từ việc tiếp nhận và thẩm định tính minh bạch của thông tin từ phía đối tác. Điểm cốt yếu của tiến trình này nằm ở cơ chế kiểm soát đa tầng, nơi hồ sơ thiết kế phải được phê duyệt về mặt kỹ thuật trước khi chuyển sang giai đoạn lập dự toán và thẩm định khối lượng. Sự tương tác hai chiều giữa thiết kế và báo giá đảm bảo tính khả thi về mặt tài chính và kỹ thuật của phương án trước khi trình duyệt chính thức. Sau khi đạt được sự đồng thuận từ khách hàng và xác lập hợp đồng, hệ thống chuyển sang giai đoạn lập bản vẽ gia công chi tiết - bước chuyển đổi quan trọng từ ý tưởng thiết kế sang dữ liệu sản xuất thực tế. Toàn bộ chu trình kết thúc bằng việc lưu trữ hồ sơ khoa học, phục vụ công tác truy xuất và phối hợp giữa các phòng ban chuyên môn.



Hình 2. Quy trình triển khai hồ sơ thiết kế kết hợp báo giá

Song song với việc quản lý hồ sơ, quy trình kiểm soát chất lượng vật tư đóng vai trò là chốt chặn kỹ thuật cuối cùng để đảm bảo sự bền vững của công trình. Tiến trình này tuân thủ nghiêm ngặt các bước từ kiểm tra hồ sơ chứng từ đến kiểm định thực địa. Các hoạt động trọng yếu bao gồm lấy mẫu thử nghiệm và tiến hành các biện pháp đo lường lý hóa để xác định sự phù hợp của vật tư đối với các tiêu chuẩn quy định. Một đặc điểm quan trọng trong quản trị rủi ro ở đây là cơ chế loại biên ngay lập tức: Bất kỳ vật tư nào không đạt yêu cầu ở khâu kiểm tra hồ sơ hoặc kết quả thử nghiệm mẫu đều bị từ chối và hoàn trả cho đơn vị cung ứng. Việc chỉ cho phép đưa vào sử dụng những vật tư đã có kết luận đạt tiêu chuẩn và được lưu trữ hồ sơ đầy đủ giúp triệt tiêu các sai sót về vật liệu, đảm bảo rằng mọi cấu kiện được gia công đều đáp ứng đúng các tính toán kỹ thuật đã xác lập trong giai đoạn thiết kế.



Hình 3. Sơ đồ quy trình kiểm soát chất lượng vật tư

Sự phối hợp nhịp nhàng giữa hai quy trình này tạo nên một hệ thống quản lý chất lượng toàn diện, giúp doanh nghiệp không chỉ tối ưu hóa nguồn lực trong giai đoạn tư vấn, báo giá mà còn kiểm soát chặt chẽ tính an toàn và chất lượng của sản phẩm cuối cùng trong giai đoạn thực thi.

Trong hoạt động quản lý, các đơn vị đã thiết lập hệ thống biểu mẫu quy chuẩn bao gồm "Phiếu yêu cầu thay đổi thiết kế" và "Phiếu thông báo thay đổi thiết kế" nhằm duy trì luồng thông tin giữa các bộ phận từ thiết kế đến sản xuất và thi công. Tuy nhiên, thực tiễn vận hành cho thấy việc ghi nhận các biến động này vẫn thiếu tính hệ thống khi nhiều thay đổi chưa được xác lập thông qua các giao thức chính thức, trừ tại một số công ty lớn. Điều này dẫn đến tình trạng chậm trễ trong việc cập nhật dữ liệu điều chỉnh vào mô hình 3D và hệ thống lưu trữ, gây ra rủi ro về tính sai lệch thông tin trong quá trình triển khai dự án.

Công tác kiểm soát phiên bản hiện nay chủ yếu dựa trên phương pháp truyền thống với danh mục bản vẽ và mã hiệu hiệu chỉnh tăng dần trên nền tảng CAD. Mặc dù Google Drive được sử dụng như một kho lưu trữ dữ liệu tập trung, công cụ này vẫn bộc lộ hạn chế trong việc phân định trạng thái hồ sơ (đang thực hiện so với đã phê duyệt) và thiếu cơ chế kiểm soát chỉnh sửa đối với các tệp chuyên dụng. Hơn nữa, việc đối chiếu sự khác biệt giữa các phiên bản vẫn thực hiện thủ công bằng cách quan sát trực quan, dẫn đến nguy cơ bỏ sót các chi tiết kỹ thuật quan trọng và làm giảm hiệu suất quản lý hồ sơ.

Nhiều doanh nghiệp Việt Nam đã đạt được thành tựu trong việc triển khai mô hình quản lý thiết kế theo chuỗi giá trị khép kín, gắn kết chặt chẽ các giai đoạn từ tính toán kỹ thuật đến triển khai bản vẽ gia công và thi công lắp dựng. Dẫu vậy, rào cản lớn nhất hiện nay là sự thiếu hụt một CDE thống nhất, khiến việc chia sẻ thông tin giữa các bộ môn kiến trúc, kết cấu và cơ điện chưa đạt được sự đồng bộ tối ưu. Hệ quả là dòng dữ liệu giữa khâu thiết kế và nhà máy chế tạo đôi khi bị gián đoạn, làm phát sinh các xung đột kỹ thuật đòi hỏi phải xử lý trực tiếp tại hiện trường.

Về nguồn nhân lực, đội ngũ kỹ sư hiện có sự phân tầng rõ rệt về năng lực; trong khi các chuyên gia giàu kinh nghiệm thường xuyên rơi vào tình trạng quá tải thì lực lượng nhân sự trẻ lại thiếu cơ hội tiếp cận các dự án phức tạp để nâng cao trình độ chuyên môn sâu về kết cấu thép. Về mặt công nghệ, dù doanh nghiệp đã đầu tư mạnh mẽ vào các phần mềm phân tích và mô phỏng tiên tiến như SAP2000, Tekla Structures hay ETABS, nhưng quy trình phối hợp vẫn phụ thuộc nhiều vào các công cụ liên lạc rời rạc như Email hay Zalo. Sự thiếu vắng một nền tảng quản lý tích hợp toàn diện khiến các ứng dụng công nghệ chưa phát huy được tối đa hiệu quả trong việc kiểm soát tiến độ và chất lượng tổng thể của dự án.

5. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Dựa trên phân tích thực trạng và các thách thức trong quản lý công trình kết cấu thép, nghiên cứu đề xuất một khung giải pháp toàn diện nhằm chuyển đổi mô hình quản lý từ phương thức truyền thống rời rạc sang mô hình tích hợp kỹ thuật số. Các giải pháp này tập trung vào việc tối ưu hóa sự phối hợp đa thông qua CDE và quy trình BIM, đồng thời chuẩn hóa công tác quản lý thay đổi và nâng cao năng lực nhân sự để giải quyết triệt để các xung đột kỹ thuật ngay từ giai đoạn thiết kế.

Giải pháp hoàn thiện chất lượng nguồn nhân lực

Để đảm bảo thành công cho các dự án kết cấu thép, việc phát triển chiều sâu năng lực chuyên môn của nguồn nhân lực đóng vai trò tiên quyết. Cụ thể, các doanh nghiệp cần chú trọng tổ chức đào tạo định kỳ nhằm giúp đội ngũ kỹ sư làm chủ các phần mềm mô phỏng phức tạp (như Tekla, IDEA StatiCa, SAP2000) và nắm vững hệ thống tiêu chuẩn quốc tế, từ đó hạn chế tối đa các sai sót kỹ thuật. Đồng thời, cơ cấu tổ chức nhân sự cần được chuyên môn hóa rõ ràng dựa trên năng lực thực tế, phân tách rạch ròi nhiệm vụ giữa nhóm kỹ sư tính toán kết cấu và nhóm triển khai chi tiết mô hình. Bên cạnh đó, việc áp dụng các chính sách đãi ngộ, khen thưởng gắn liền trực tiếp với chất lượng thiết kế sẽ là đòn bẩy quan trọng để thúc đẩy tinh thần trách nhiệm và sự sáng tạo của toàn bộ đội ngũ.

Giải pháp hoàn thiện công tác quản lý thiết kế

Để khắc phục tình trạng phân tán dữ liệu và thiếu đồng bộ trong phương thức quản lý truyền thống, việc chuyển đổi sang mô hình quản lý dựa trên Mô hình thông tin công trình và Môi trường dữ liệu chung là yêu cầu cấp thiết. Quy trình này đòi hỏi việc thiết lập một nền tảng CDE (như Trimble Connect) để lưu trữ tập trung và quản lý phiên bản cho toàn bộ dữ liệu dự án, từ mô hình 3D đến bản vẽ 2D, đảm bảo tính truy cập thời gian thực và minh bạch cho các bên liên quan. Cốt lõi của giải pháp là việc xác định và tuân thủ các cấp độ chi tiết (LOD) phù hợp cho từng giai đoạn, từ LOD 300 cho thiết kế kỹ thuật đến LOD 400 cho mô hình sản xuất, cho phép tích hợp các ràng buộc về tài nguyên chế tạo và lắp dựng ngay từ sớm. Việc mô hình hóa chính xác các chi tiết liên kết và vật liệu không chỉ hỗ trợ trích xuất dữ liệu tự động cho máy CNC mà còn giảm thiểu rủi ro sai lệch giữa thiết kế và thực tế thi công. Các xung đột thiết kế cũng có thể kiểm tra, và cần đảm bảo các xung đột cần được giải quyết triệt để trước khi xuất mô hình cuối cùng.

Giải pháp hoàn thiện công tác quản lý thay đổi thiết kế

Quản lý thay đổi thiết kế là một thách thức lớn do đặc thù sản xuất và lắp dựng của kết cấu thép, nơi mọi điều chỉnh đều ảnh hưởng trực tiếp đến dây chuyền cung ứng và chế tạo. Giải pháp đề xuất tập trung vào việc thiết lập quy trình kiểm soát phiên bản chặt chẽ trên nền tảng dữ liệu tập trung, đảm bảo mọi thành viên dự án luôn làm việc trên phiên bản hồ sơ mới nhất và các phiên bản cũ được lưu trữ hoặc khóa lại. Các thay đổi thiết kế cần được thực hiện và cập nhật trực tiếp trên mô hình 3D thay vì chỉnh sửa thủ công trên bản vẽ rời rạc, giúp đảm bảo tính nhất quán và tự động cập nhật các bản vẽ chi tiết liên quan. Đồng thời, quy trình phê duyệt thay đổi cần sự tham gia phối hợp của các bộ phận trong giai đoạn sau (sản xuất, thi công) để đánh giá tính khả thi và tác động chi phí trước khi ban hành chính thức, sử dụng các biểu mẫu chuẩn hóa để ghi nhận trách nhiệm và làm cơ sở pháp lý.

Giải pháp áp dụng BIM trong thiết kế

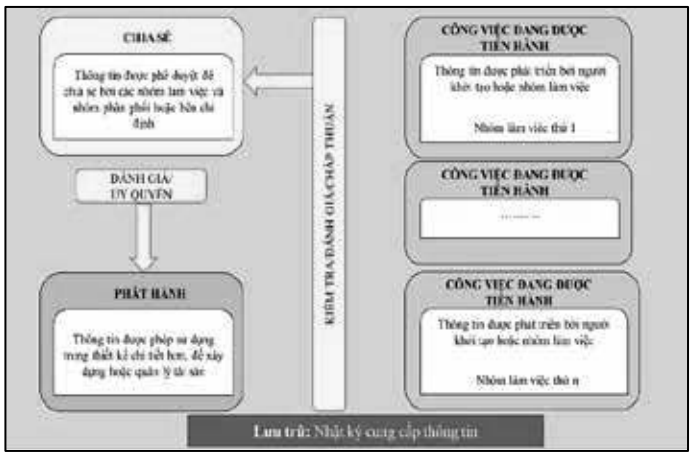
Khung đề xuất quản lý thiết kế kết cấu thép dựa trên BIM và môi trường dữ liệu chung

- Bước 1: Lập kế hoạch quản lý thiết kế

Lập kế hoạch quản lý thiết kế là bước khởi đầu mang tính định hướng, có vai trò quyết định đối với hiệu quả của toàn bộ quá trình thiết kế kết cấu thép. Hoạt động này nhằm thống nhất yêu cầu kỹ thuật, tiêu chuẩn áp dụng, phạm vi công việc, tiến độ thiết kế và cơ chế phối hợp giữa các bên tham gia dự án. Việc xác định rõ mục tiêu và nội dung kế hoạch giúp giảm thiểu xung đột kỹ thuật, kiểm soát chất lượng hồ sơ thiết kế và tạo cơ sở cho quản lý tiến độ cũng như chi phí thiết kế.

- Bước 2: Thiết lập môi trường dữ liệu chung

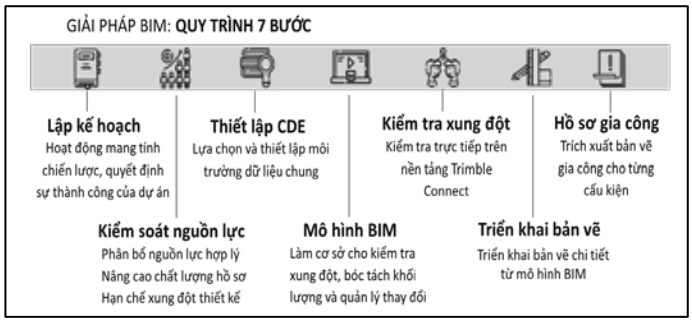
Môi trường dữ liệu chung được xem là nền tảng trung tâm cho quản lý thông tin thiết kế kết cấu thép. Việc thiết lập CDE dựa trên nền tảng đám mây cho phép lưu trữ tập trung, quản lý phiên bản, phân quyền truy cập và cộng tác đa ngành theo thời gian thực. CDE giúp đảm bảo tính thống nhất của dữ liệu, giảm thiểu rủi ro sử dụng sai phiên bản hồ sơ và nâng cao hiệu quả kiểm soát thông tin trong quá trình thiết kế.



Hình 4. Mô hình xây dựng dữ liệu chung

- Bước 3: Phát triển mô hình BIM kết cấu thép

Mô hình BIM kết cấu thép được xây dựng và phát triển theo các cấp độ chi tiết (LOD) phù hợp với từng giai đoạn thiết kế. Mô hình không chỉ phản ánh chính xác hình học kết cấu mà còn tích hợp các thông tin kỹ thuật như vật liệu, đặc tính cơ học và điều kiện làm việc. Việc xác định đúng LOD cho từng giai đoạn giúp tối ưu hóa nguồn lực, nâng cao chất lượng mô hình và hỗ trợ hiệu quả cho công tác quản lý thiết kế.



Hình 5. Quy trình chi tiết để triển khai BIM

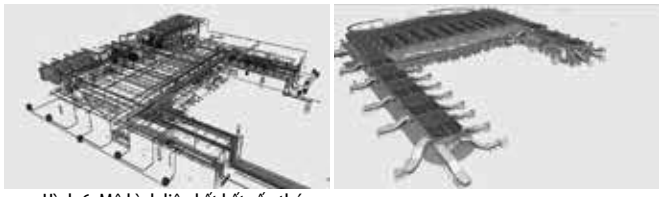
- Bước 4: Kiểm tra xung đột và phối hợp đa bộ môn

Kiểm tra xung đột được thực hiện trên nền tảng CDE nhằm phát hiện và xử lý sớm các va chạm giữa kết cấu thép với kiến trúc, MEP và các hệ kết cấu khác. Quy trình kiểm tra xung đột được chuẩn hóa và gắn với cơ chế quản lý vấn đề, cho phép theo dõi trách nhiệm, trạng thái xử lý và lịch sử điều chỉnh. Hoạt động này góp phần giảm thiểu sai sót thiết kế và nâng cao hiệu quả phối hợp giữa các bên liên quan.

- Bước 5: Triển khai và kiểm soát hồ sơ thiết kế chi tiết

Hồ sơ thiết kế chi tiết được trích xuất trực tiếp từ mô hình BIM đã được kiểm soát, với mức độ chi tiết phù hợp cho công tác quản lý và thẩm tra. Việc tiêu chuẩn hóa quy trình triển khai, kiểm soát chất lượng và quản lý phiên bản bản vẽ giúp đảm bảo tính nhất quán giữa mô hình, bản vẽ và kết quả tính toán kết cấu. Đồng thời, BIM cho phép quản lý hiệu quả các thay đổi thiết kế trong suốt giai đoạn này.





Hình 6. Mô hình liên kết kết cấu thép

- Bước 6: Chuyển tiếp sang giai đoạn gia công kết cấu thép

Mô hình BIM sau giai đoạn thiết kế chi tiết được kế thừa và phát triển lên mức LOD cao hơn để phục vụ gia công kết cấu thép. Mô hình gia công trở thành cơ sở thống nhất cho việc triển khai bản vẽ gia công, thống kê vật tư và hỗ trợ lập kế hoạch sản xuất. Việc duy trì tính liên thông dữ liệu giữa các giai đoạn thiết kế - gia công - thi công góp phần nâng cao hiệu quả quản lý tổng thể vòng đời dự án kết cấu thép.

6. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã hệ thống hóa thành công cơ sở lý luận và chỉ ra những bất cập thực tiễn trong công tác quản lý thiết kế kết cấu thép, điển hình là sự phân mảnh dữ liệu, quản lý hồ sơ thủ công và mất cân đối nguồn lực. Để giải quyết, tác giả đề xuất mô hình quản trị tích hợp ứng dụng công nghệ BIM và CDE, kết hợp với lộ trình kiện toàn nhân sự và kiểm soát chất lượng nhằm đảm bảo liên thông dữ liệu và giảm thiểu xung đột tại hiện trường. Dù đóng góp cơ sở khoa học quan trọng cho tiến trình chuyển đổi số của ngành xây dựng Việt Nam, kết quả nghiên cứu vẫn còn hạn chế do mang tính đặc thù của doanh nghiệp quy mô lớn. Do đó, các nghiên cứu tiếp theo cần mở rộng thực nghiệm trên nhiều loại hình dự án, đồng thời tích hợp thêm tiêu chuẩn quốc tế và công nghệ mới để nâng cao tính phổ quát và năng lực cạnh tranh toàn cầu cho doanh nghiệp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Avendaño, J.I., et al. Integration of BIM in Steel Building Projects (BIM-DFE): A Delphi Survey. Buildings, 12(9): p. 1439, 2022, https://doi.org/10.3390/buildings12091439.

[2] Jiao, Y. and Cao, P. Research on Optimization of Project Design Management Process Based on BIM. Buildings, 13(9): p. 2139, 2023, https://doi.org/10.3390/buildings13092139.

[3] Pegels, G., Eslimy-Isfahany, S. and Azadnia, H. A proposal for best practice in design, detailing and fabrication of steel structures in developing countries based on worldwide experience. Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing), 4(2-4): pp. 87-99, 2003.

[4] Soliman, S.M., et al. Integrated BIM Framework for the Implementation of Steel Structure Projects. Journal of Architectural Engineering, 31(2): p. 04025006, 2025, https://doi.org/10.1061/JAEIED.AEENG-1771.

[5] Thư, N.A., Phong, N.T. and Hân, T.A. Đánh giá hiệu quả của việc ứng dụng mô hình thông tin công trình (BIM) trong quản lý thiết kế dự án hạ tầng kỹ thuật đô thị. Tạp chí Vật liệu và Xây dựng, 14(01): tr. 81-89, 2024.

[6] Đức, N.A., et al. Nghiên cứu các tiêu chuẩn về hệ ván khuôn và chống đỡ tạm thời phù hợp cho xây dựng dân dụng và công nghiệp ở Việt Nam. Tạp chí Vật liệu và Xây dựng, 15(05): tr. 41-47, 2025.

■Ngày nhận bài: 13/5/2026 ■Ngày sửa bài: 25/5/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 08/6/2026

Đánh giá các yếu tố kinh tế thành phố cảng Hải Phòng ảnh hưởng đến sản lượng thông qua cảng biển Hải Phòng

An evaluation of economic factors Influencing cargo throughput at Hai Phong seaport

> **THS NGUYỄN THỊ THANH BÌNH, TS VƯƠNG THU GIANG***
Trường Đại học Hàng hải Việt Nam
Email: vuongthugiang@vimaru.edu.vn

TÓM TẮT

Cảng biển là nút trung chuyển chiến lược trong mạng lưới thương mại quốc tế, góp phần thúc đẩy xuất nhập khẩu và nâng cao hiệu quả kinh tế ở cấp vùng và quốc gia. Hoạt động cảng tạo nguồn thu ngân sách, việc làm và thúc đẩy đô thị hóa ven biển, đồng thời tăng cường hội nhập kinh tế và hỗ trợ an ninh - quốc phòng. Sự phát triển của các đô thị cảng tạo ra lợi thế và nguồn lực, qua đó nâng cao sản lượng và năng lực khai thác cảng. Ở các nghiên cứu trước, các yếu tố kinh tế thành phố cảng làm ảnh hưởng đến sản lượng thông qua cảng biển đã được lựa chọn, bài báo phân tích các yếu tố kinh tế thành phố cảng Hải Phòng trong giai đoạn nghiên cứu từ 2010 - 2023 để nắm được xu hướng phát triển của các yếu tố kinh tế, phục vụ cho việc nghiên cứu sự ảnh hưởng của chúng tới quy mô cảng biển Hải Phòng.

Từ khóa: Yếu tố kinh tế; thành phố cảng; tổng sản phẩm trên địa bàn; vốn đầu tư xây dựng cơ bản; vốn đầu tư trực tiếp từ nước ngoài; xuất nhập khẩu.

ABSTRACT

Seaports serve as strategic transshipment hubs within the international trade network, contributing to the promotion of import-export activities and enhancing economic efficiency at both regional and national levels. Port operations generate significant public revenue, create employment opportunities and stimulate coastal urbanization, while also strengthening international economic integration and supporting national defense and security. The development of port cities, in turn, provides competitive advantages and resources that enhance cargo throughput and port operational capacity. Previous studies have identified economic factors of port cities as key determinants influencing port throughput. This paper aims to analyze the economic factors of Hai Phong during the period from 2010 to 2023 in order to examine their development trends, thereby supporting the assessment of their impacts on the scale of the Hai Phong port system.

Keywords: Economic factors; port city; gross regional domestic product; infrastructure investment capital; foreign direct investment; import-export.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cảng biển được xem là yếu tố động lực cốt lõi đối với sự phát triển đô thị, đồng thời các thành phố đảm bảo cung cấp nguồn lực thiết yếu và hạ tầng hỗ trợ quan trọng cho hoạt động của cảng [1]. Các nghiên cứu trước đây cho thấy phần lớn các công trình, từ các quốc gia phát triển ở châu Âu đến khu vực châu Á, bao gồm cả các nước lân cận Việt Nam như Trung Quốc, cũng như các nghiên cứu trong nước chủ yếu tập trung phân tích tác động của cảng biển đối với sự phát triển của thành phố cảng, đặc biệt trên phương diện kinh tế. Đáng chú ý, đã có những nghiên cứu cụ thể đánh giá ảnh hưởng của cảng biển Hải Phòng đối với tăng trưởng kinh tế của Thành phố. Tuy nhiên, chiều tác động ngược lại, tức là ảnh hưởng của sự phát triển đô thị cảng đến sự phát triển của chính hệ thống cảng biển trong phạm vi thành phố vẫn chưa được quan tâm đầy đủ và còn khá hạn chế trong các nghiên cứu hiện có. Do đó, nghiên cứu này hướng tới việc bổ sung và làm rõ khoảng trống nói trên, cả về mặt lý luận và thực tiễn.

Ở các nghiên cứu trước, các yếu tố kinh tế thành phố cảng ảnh

hưởng đến sản lượng thông qua cảng biển đã được lựa chọn bằng phương pháp Delphi đảm bảo độ khách quan và tin cậy, gồm 4 yếu tố: Tổng sản phẩm trên địa bàn (GRDP), vốn đầu tư xây dựng cơ bản, vốn đầu tư trực tiếp nước ngoài (FDI), kim ngạch xuất nhập khẩu của thành phố cảng [3]. Mục tiêu của bài báo này sẽ phân tích chi tiết 4 yếu tố trên với trường hợp nghiên cứu tại TP Hải Phòng để thấy xu hướng phát triển của chúng trong thời gian qua, làm cơ sở cho các nghiên cứu tiếp theo.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Bài báo chủ yếu sử dụng phương pháp tổng hợp thống kê là phương pháp chỉnh lý và hệ thống hóa một cách khoa học các tài liệu thu thập được trong quá trình điều tra thống kê. Phương pháp tổng hợp thống kê bao gồm các nội dung: (1) Sắp xếp dữ liệu và phân tổ thống kê: Sau khi sắp xếp dữ liệu theo các tiêu thức thuộc tính hay tiêu thức số lượng, các đơn vị của hiện tượng nghiên cứu được phân chia thành các tổ có tính chất khác nhau. (2) Lập bảng thống kê: Là một hình thức trình bày các tài liệu thống kê một cách có hệ thống, hợp lý, rõ ràng nhằm nêu lên các đặc trưng về mặt lượng của hiện tượng nghiên cứu. Nội dung này giúp cho việc so sánh/đối chiếu số liệu thống kê dễ dàng và có sức thuyết phục, đồng thời giảm thiểu được sự dàn trải số liệu trong văn bản nghiên cứu. (3) Vẽ biểu đồ/đồ thị thống kê: Là các hình vẽ hoặc đường nét hình học dùng để miêu tả có tính chất quy ước các số liệu thống kê. Biểu đồ/đồ thị thống kê có ý nghĩa quan trọng trong việc hình tượng hóa các số liệu một cách sinh động hấp dẫn, đơn giản hóa các mối quan hệ phức tạp và giúp người đọc ghi nhận thông tin nhanh chóng.

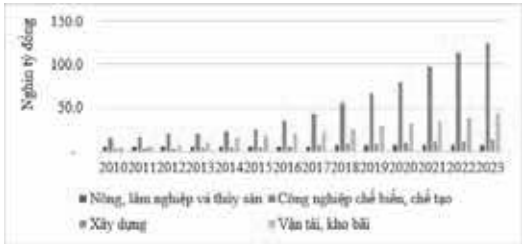
Bài báo sử dụng phương pháp tổng hợp thống kê nhằm phục vụ quá trình thu thập số liệu và phân tích, đánh giá xu hướng phát triển các yếu tố kinh tế thành phố cảng Hải Phòng giai đoạn 2010 - 2023.

3. PHÂN TÍCH CÁC YẾU TỐ KINH TẾ THÀNH PHỐ CẢNG ẢNH HƯỞNG ĐẾN SẢN LƯỢNG THÔNG QUA CẢNG BIỂN

3.1. Phân tích yếu tố tổng sản phẩm trên địa bàn

Là giá trị tổng sản phẩm hàng hóa và dịch vụ của hoạt động sản xuất kinh doanh được thực hiện bởi các đơn vị sản xuất kinh doanh trên địa bàn tỉnh (thành phố) trực thuộc Trung ương. Trên phạm vi cấp tỉnh, GRDP được tính theo phương pháp sản xuất, theo đó GRDP bằng tổng giá trị tăng thêm theo giá cơ bản của tất cả các hoạt động kinh tế cộng với phần thuế sản phẩm trừ đi trợ cấp sản phẩm. GRDP được tính theo giá hiện hành và giá so sánh.

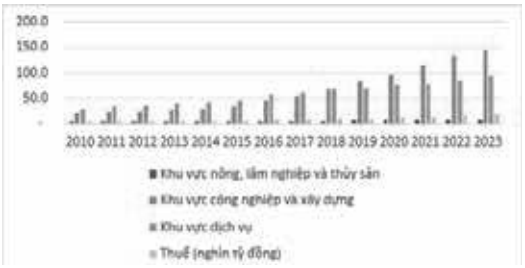
Về phương pháp tính toán và nội dung tính toán, chỉ tiêu GDP và GRDP là hoàn toàn như nhau, chỉ khác ở phạm vi tính toán, GDP tính trên phạm vi của cả nước, còn GRDP tính trên phạm vi của một tỉnh, thành phố (địa phương). Dưới đây, bài báo phân tích tình hình thực hiện chỉ tiêu tổng sản phẩm trên địa bàn theo ngành kinh tế của TP Hải Phòng.



Hình 1. Tổng sản phẩm trên địa bàn TP Hải Phòng theo ngành kinh tế

Nguồn: Niên giám thống kê TP Hải Phòng.

Bảng trên chỉ ra tổng sản phẩm trên địa bàn TP Hải Phòng tăng trưởng mạnh mẽ trong thời gian qua, từ 60,7 nghìn tỷ đồng năm 2010 lên 264,9 nghìn tỷ đồng năm 2023. Tổng sản phẩm trên địa bàn Thành phố được chia ra làm 3 khu vực kinh tế: Khu vực công nghiệp và xây dựng có tỷ trọng tăng dần và đạt cao nhất trong 6 năm trở lại đây, từ 34,6% năm 2010 tăng đạt 54,3% năm 2023; khu vực dịch vụ có tỷ trọng giảm dần trong giai đoạn nghiên cứu, từ 49% năm 2010 còn 35,5% năm 2023; khu vực nông lâm nghiệp và thủy sản có cơ cấu thấp nhất và cũng giảm dần trong thời gian qua, từ 8,9% năm 2010 còn 2,9% năm 2023.



Hình 2. Tổng sản phẩm trên địa bàn theo khu vực kinh tế của TP Hải Phòng

Nguồn: Niên giám thống kê TP Hải Phòng.

Từ bảng số liệu trên ta có thể thấy tổng sản phẩm trên địa bàn TP Hải Phòng được chia ra một số ngành kinh tế cơ bản được đề cập trong đề tài như nông, lâm nghiệp và thủy sản; công nghiệp chế biến chế tạo; xây dựng và vận tải kho bãi với quy mô đều tăng trong thời gian nghiên cứu. Trong đó, ngành công nghiệp chế biến chế tạo luôn chiếm tỷ trọng cao nhất và tăng dần, từ 25,4% năm 2010 đến 46,9% năm 2023; ngành vận tải kho bãi có tỷ trọng tăng dần, bình quân đóng góp vào GRDP đứng thứ hai với 15%. Ngành nông lâm nghiệp và thủy sản đóng góp vào GRDP 8,9% năm 2010 - đứng thứ hai trong các ngành kinh tế cơ bản, tuy nhiên tỷ trọng này sụt giảm còn 2,9% năm 2023 - thấp nhất trong tất cả các ngành kinh tế trên. Tỷ trọng đóng góp của ngành Xây dựng có xu hướng giảm nhẹ với bình quân 5,3% trong tổng GRDP.

3.2. Phân tích yếu tố vốn đầu tư xây dựng cơ bản

Vốn đầu tư xây dựng cơ bản là chỉ tiêu phản ánh toàn bộ những chi phí được biểu hiện thành tiền dùng cho việc xây mới, mở rộng, xây dựng lại và khôi phục tài sản cố định trong một thời kỳ nhất định, bao gồm: Chi phí khảo sát, quy hoạch; chi phí chuẩn bị đầu tư và thiết kế; chi phí xây dựng; chi phí mua sắm, lắp đặt thiết bị… Vốn đầu tư xây dựng cơ bản gồm:

- Xây dựng và lắp đặt (vốn xây lắp);
- Máy móc thiết bị (vốn thiết bị);
- Vốn đầu tư xây dựng cơ bản khác.

Cụ thể là:

$V_{XDCB} = V_{xd} + V_{tb} + V_k$ (đ)

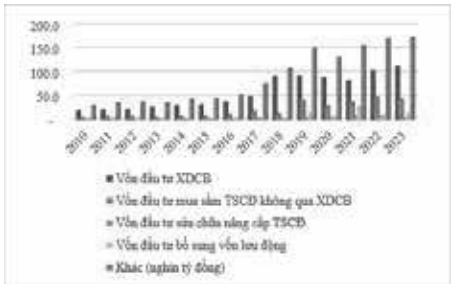
Trong đó:

V_{XDCB}: Vốn đầu tư xây dựng cơ bản (đ);

V_{xd}: Vốn đầu tư xây dựng lắp đặt (đ);

V_{tb}: Vốn đầu tư máy móc thiết bị (đ);

V_k: Vốn đầu tư phát triển khác (đ).



Hình 3. Tình hình vốn đầu tư thực hiện phân theo khoản mục đầu tư của TP Hải Phòng

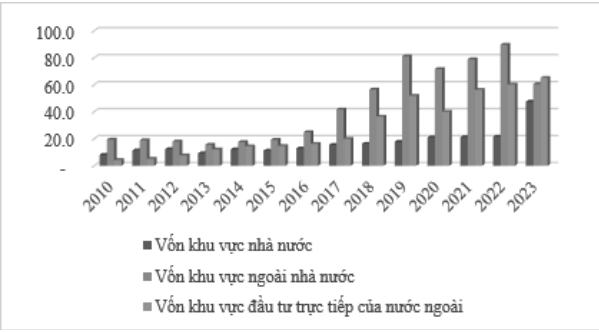
Nguồn: Niên giám thống kê TP Hải Phòng.

Để phân tích tình hình thực hiện vốn đầu tư xây dựng cơ bản của Thành phố trong thời gian qua, bài báo phân tích thông qua tình hình thực hiện tổng vốn đầu tư thực hiện trên địa bàn theo khoản mục đầu tư, trong đó tập trung phân tích khoản mục vốn đầu tư xây dựng cơ bản.

Bảng trên cho thấy, trong vốn đầu tư thực hiện trên địa bàn TP Hải Phòng, vốn đầu tư xây dựng cơ bản có quy mô tăng từ 19,6 nghìn tỷ (chiếm 61,8%) năm 2010 lên 113 nghìn tỷ (chiếm tỷ trọng 65,3%) năm 2023 - lớn nhất cả về quy mô và cơ cấu trong các khoản mục vốn đầu tư thực hiện.

3.3. Phân tích yếu tố vốn đầu tư trực tiếp từ nước ngoài

Là tổng số tiền và hiện vật hợp pháp của các nhà đầu tư nước ngoài đưa vào địa phương, thực hiện đầu tư vào các dự án đã được phê duyệt trên địa bàn tỉnh (thành phố) trực thuộc Trung ương, được thực hiện dưới các hình thức như tiền, máy móc, thiết bị, vật tư.



Hình 4. Tình hình thực hiện chỉ tiêu vốn đầu tư thực hiện phân theo nguồn vốn của TP Hải Phòng

Nguồn: Niên giám thống kê TP Hải Phòng.

Tổng vốn đầu tư thực hiện theo nguồn vốn của Thành phố được chia ra 3 nguồn cơ bản: Vốn khu vực nhà nước, vốn khu vực ngoài nhà nước và vốn khu vực đầu tư trực tiếp của nước ngoài (FDI) có quy mô đều tăng trong giai đoạn nghiên cứu. Trong đó, vốn đầu tư trực tiếp nước ngoài có quy mô tăng từ 4,3 nghìn tỷ đồng năm 2010 lên 65,1 nghìn tỷ đồng năm 2023 với tỷ trọng ngày càng tăng từ 13,6% năm 2010 lên 37,6% năm 2023 - đạt cao nhất trong tổng vốn đầu tư thực hiện.

3.4. Phân tích yếu tố kim ngạch xuất nhập khẩu

Kim ngạch xuất khẩu (EX) là số tiền thu được từ giá trị hàng hóa xuất khẩu, phụ thuộc vào quy mô, cơ cấu hàng xuất khẩu cũng như đơn giá hàng xuất khẩu (theo giá CIF, FOB) phụ thuộc vào các hợp đồng xuất khẩu.

$EX = \sum Q_{xki}.P_{xki}$ (USD)

Trong đó:

EX: Tổng kim ngạch xuất khẩu (USD);

Q_{xk}: Khối lượng xuất khẩu loại i (Tấn);

P_{xk}: Đơn giá xuất khẩu loại i (USD/ tấn).

Kim ngạch nhập khẩu (IM) là số tiền phải chi ra cho việc nhập khẩu hàng hóa từ nước ngoài phục vụ sản xuất, kinh doanh và tiêu dùng trong nước (USD), phụ thuộc vào quy mô, cơ cấu hàng hóa nhập khẩu, cũng như phụ thuộc vào đơn giá nhập khẩu loại hàng (theo giá CIF, FOB) theo các hợp đồng nhập khẩu, cụ thể là:

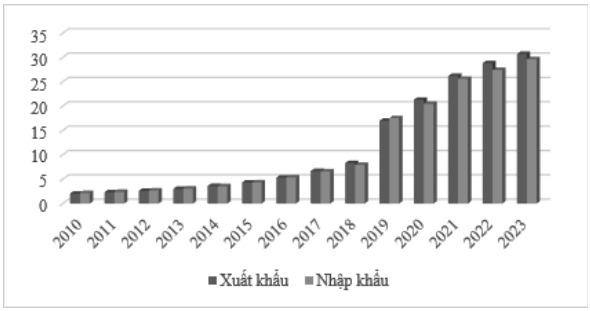
$IM = \sum Q_{nki} . P_{nki}$ (USD)

Trong đó:

IM: Tổng kim ngạch nhập khẩu (USD);

Q_{xki}: Khối lượng hàng hóa nhập khẩu thứ i (Tấn);

P_{nki}: Đơn giá nhập khẩu loại hàng thứ i (USD/ tấn).



Hình 5. Tình hình thực hiện chỉ tiêu xuất nhập khẩu Hải Phòng

Nguồn: Niên giám thống kê TP Hải Phòng.

Số liệu trên chỉ ra kim ngạch xuất khẩu Hải Phòng có xu hướng tăng dần trong giai đoạn nghiên cứu từ 4,16 tỷ USD năm 2010 lên 60,33 tỷ USD năm 2023. Trong đó, quy mô kim ngạch xuất khẩu tăng từ 2,02 tỷ USD vào đầu thời kỳ lên 30,7 tỷ USD năm 2023 và quy mô kim ngạch nhập khẩu tăng từ 2,14 tỷ USD lên 29,63 tỷ USD vào cuối kỳ nghiên cứu. Quan trọng hơn, cán cân thương mại có xu hướng thặng dư tăng dần từ -0,12 tỷ USD năm 2010 lên 1,07 tỷ USD năm 2023.

4. KẾT LUẬN

Như vậy, nối tiếp hướng nghiên cứu ảnh hưởng các yếu tố kinh tế thành phố cảng ảnh hưởng đến quy mô cảng biển, bài báo này đã phân tích chi tiết các yếu tố kinh tế thành phố cảng Hải Phòng giai đoạn 2010 - 2023, bao gồm: Tổng sản phẩm trên địa bàn thành phố, vốn đầu tư xây dựng cơ bản, vốn đầu tư trực tiếp từ nước ngoài và kim ngạch xuất nhập khẩu. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, 4 yếu tố như tổng sản phẩm trên địa bàn (GRDP), vốn đầu tư xây dựng cơ bản, vốn đầu tư trực tiếp nước ngoài (FDI), kim ngạch xuất nhập khẩu của thành phố xu hướng tăng trưởng tích cực và tương đối ổn định trong suốt thời kỳ nghiên cứu, phản ánh rõ nét quá trình phát triển kinh tế năng động và hội nhập sâu rộng của thành phố. GRDP tăng trưởng liên tục qua các năm không chỉ thể hiện quy mô nền kinh tế ngày càng mở rộng mà còn cho thấy hiệu quả trong việc chuyển dịch cơ cấu kinh tế theo hướng công nghiệp hóa, hiện đại hóa. Đồng thời, vốn đầu tư xây dựng cơ bản gia tăng mạnh mẽ đã góp phần quan trọng vào việc nâng cấp cơ sở hạ tầng, đặc biệt là hạ tầng giao thông và logistics, tạo điều kiện thuận lợi cho hoạt động khai thác và phát triển cảng biển. Bên cạnh đó, dòng vốn FDI chảy vào Thành phố ngày càng lớn và đa dạng về lĩnh vực, cho thấy sức hấp dẫn của môi trường đầu tư tại Hải Phòng, đồng thời đóng vai trò như một động lực thúc đẩy phát triển sản xuất công nghiệp, gia tăng nhu cầu vận tải hàng hóa qua cảng. Kim ngạch xuất nhập khẩu tăng trưởng nhanh và bền vững cũng phản ánh mức độ hội nhập kinh tế quốc tế ngày càng sâu rộng của Thành phố, qua đó trực tiếp làm gia tăng lưu lượng hàng hóa thông qua hệ thống cảng biển.

Do đó, kết quả phân tích trên là cơ sở quan trọng để để tiếp tục nghiên cứu lượng hóa mức độ ảnh hưởng của các yếu tố kinh tế đô thị đến quy mô và sự phát triển của hệ thống cảng biển.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Wim Heijman et.al. The impact of world trade on the Port of Rotterdam and the wider region of Rotterdam-Rijnmond. Case Studies on Transport Policy 5, 351-354. 2017.

[2] Vương Thu Giang. Đánh giá tình hình thực hiện chỉ tiêu sản lượng cảng biển khu vực Hải Phòng giai đoạn 2010 - 2024, Tạp chí Xây dựng, tr. 219-221, 12/2025

[3] Vương Thu Giang, Nguyễn Thị Thúy Hồng. Đề xuất các yếu tố kinh tế thành phố cảng ảnh hưởng đến sản lượng thông qua cảng biển. Tạp chí Xây dựng, tr. 246-249, 01/2026.

[4] Niên giám thống kê TP Hải Phòng hàng năm.

■Ngày nhận bài: 29/4/2026 ■Ngày sửa bài: 13/5/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 26/5/2026

Local normalized τ–z curves for SDF-based settlement analysis of pile raft foundations in Hanoi clay soils

Các đường cong τ–z chuẩn hóa cho phân tích lún móng bè cọc dựa trên phương pháp SDF cho đất sét tại Hà Nội

> DUONG DIEP THUY*, PHAM VAN HOAN, NGUYEN VIET MINH
Hanoi University of Civil Engineering
*Email: thuydd@huce.edu.vn

ABSTRACT

Settlement prediction of pile raft foundations is strongly influenced by the adopted τ–z relationship used to represent shaft resistance mobilization along the pile shaft. Previous studies established locally calibrated normalized τ–z curves for Hanoi clay soils based on instrumented pile load tests; however, their influence on practical settlement prediction has not been fully evaluated.

In this study, the previously calibrated local normalized τ–z curves were incorporated into the Segmental Displacement Function (SDF) method for settlement analysis of the Ecopark pile raft foundation project in Hung Yen Province, Vietnam. Calculated settlements obtained using the modified implementation were compared with those from the equivalent raft approach, the original SDF implementation, and field monitoring data.

The modified local τ–z implementation consistently reduced the predicted settlements for both investigated boreholes and showed improved agreement with field observations compared with both the equivalent raft approach and the original generalized SDF implementation. The improvement was more significant under softer ground conditions.

The study suggests that realistic representation of local shaft mobilization behavior may significantly improve practical settlement prediction for pile raft foundations constructed in Hanoi clay soils.

Keywords: Pile raft foundation; settlement prediction; SDF method; local normalized τ–z curve; Hanoi clay soils; pile-soil interaction.

TÓM TẮT

Dự báo độ lún của móng bè cọc chịu ảnh hưởng bởi quan hệ τ–z sử dụng để mô phỏng sự huy động sức kháng ma sát dọc thân cọc. Các nghiên cứu trước đây đã xây dựng các đường cong τ-z chuẩn hóa cho đất sét ở Hà Nội dựa trên dữ liệu thực địa thu được từ các thí nghiệm nén cọc có gắn thiết bị đo. Tuy nhiên, ảnh hưởng thực tiễn của các quan hệ chuẩn hóa cục bộ này đối với dự báo độ lún vẫn chưa được đánh giá đầy đủ.

Trong nghiên cứu này, các đường cong τ–z chuẩn hóa cục bộ đã được hiệu chỉnh trước đó được tích hợp vào phương pháp tính lún SDF để phân tích độ lún của dự án móng bè cọc Ecopark tại tỉnh Hưng Yên. Khung tính toán SDF ban đầu và các quan hệ q-z được giữ nguyên, trong khi chỉ các quan hệ τ–z tổng quát áp dụng cho các lớp đất sét được thay thế bằng các đường cong chuẩn hóa cục bộ được đề xuất.

Kết quả tính toán độ lún từ mô hình cải tiến được so sánh với phương pháp bè tương đương, mô hình SDF gốc và số liệu quan trắc lún thực tế ngoài hiện trường. Việc áp dụng các đường cong τ-z cục bộ đã làm giảm giá trị độ lún dự báo cho cả hai hố khoan được nghiên cứu. Mặc dù các giá trị dự báo sau cải tiến vẫn lớn hơn số liệu quan trắc thực tế, kết quả cho thấy mức độ phù hợp với quan trắc hiện trường được cải thiện rõ rệt so với cả phương pháp bè tương đương và mô hình SDF tổng quát ban đầu. Nghiên cứu cho thấy rằng việc mô phỏng thực tế hơn cơ chế huy động ma sát thành cọc tại địa phương có thể ảnh hưởng đáng kể đến độ chính xác của dự báo độ lún đối với móng bè cọc trong nền đất sét khu vực Hà Nội.

Từ khóa: Móng bè cọc; dự báo độ lún; phương pháp SDF; đường cong τ-z; đất sét khu vực Hà Nội; tương tác cọc-đất.

1. INTRODUCTION

Settlement prediction of pile raft foundations is strongly influenced by the adopted τ–z relationship used to represent shaft resistance mobilization along the pile shaft. Under Hanoi clay conditions, shaft mobilization behavior may differ significantly from generalized empirical τ–z assumptions commonly adopted in engineering practice, potentially affecting settlement prediction reliability.

Previous studies established locally calibrated normalized τ–z curves for Hanoi clay soils based on instrumented pile load tests and O-cell tests (Duong Diep Thuy et al., 2015a [5]; 2015b [6]). In parallel, the Segmental Displacement Function (SDF) method has been developed and applied for settlement analysis of pile raft foundations under Vietnamese geological conditions (Duong Diep Thuy et al., 2014a [3]; 2016 [7]). However, the influence of locally calibrated shaft mobilization behavior on SDF-based settlement prediction has not yet been systematically evaluated.

The present study therefore investigates the influence of previously calibrated local normalized τ–z curves on settlement prediction for the Ecopark pile raft foundation project in Hung Yen Province, Vietnam. The calculated settlement results obtained using the modified implementation are compared with those from the original SDF implementation, the equivalent raft approach, and field monitoring data.

2. SDF METHOD

The Segmental Displacement Function (SDF) method was previously developed by Duong Diep Thuy et al. (2014a [3]; 2016 [7]) for settlement analysis of pile group and pile raft foundations under Vietnamese geological conditions. The method considers progressive axial load transfer from the pile to the surrounding soil through mobilization of shaft resistance along the pile shaft and tip resistance at the pile base.

In the SDF framework, the pile shaft is discretized into multiple segments corresponding to different soil layers. Shaft resistance along each segment is evaluated using the adopted τ–z relationship, while pile tip resistance is evaluated using the q–z relationship. The axial force distribution along the pile is determined from force equilibrium:

$$P_0 = \sum_{i=1}^{n} F_i + P_t \quad (1)$$

Where P_0 is the pile head load, F_i is the shaft resistance acting on the ith is pile segment, and P_t is the pile tip resistance.

The calculation concept of the SDF method and the axial force transfer mechanism are illustrated in Figure 1.

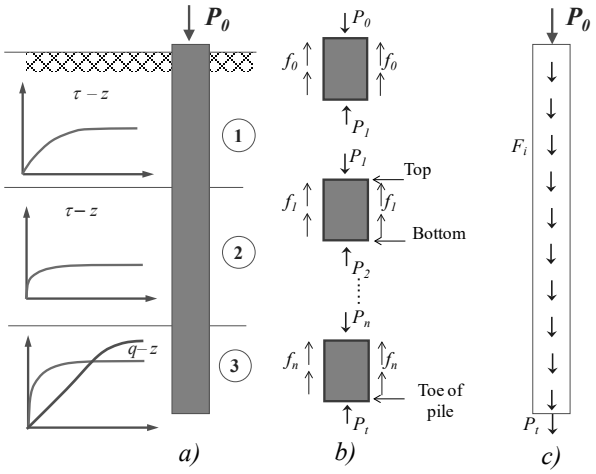


Figure 1. Distribution of axial force along the pile

After determining the shaft and tip resistance distributions, pile interaction is evaluated through stress transfer within the surrounding soil mass using Mindlin's solution for point loads acting in an elastic half-space (Aschenbrenner and Olson, 1984 [1]). The resulting stress distribution beneath the pile tip level is subsequently used for settlement estimation of the compressible soil layers.

Compared with conventional equivalent raft approaches, the SDF method allows pile-soil interaction and progressive shaft mobilization behavior to be incorporated more explicitly while maintaining a practical computational framework for engineering applications.

In the present study, the original SDF computational framework and q–z relationships were retained unchanged. Only the generalized τ–z relationships assigned to clay soil layers were replaced using previously calibrated local normalized τ–z curves.

3. LOCAL NORMALIZED *t–z* IMPLEMENTATION

The local normalized τ–z curves adopted in this study were previously calibrated using field data obtained from instrumented pile load tests and O-cell tests conducted in Hanoi clay soils (Duong Diep Thuy et al., 2015a [5]; 2015b [6]). The relationships were expressed in normalized form as:

$$\tau = \frac{\tau}{\tau_u} \quad (2)$$

$$z = \frac{w}{D} \quad (3)$$

where t is the normalized mobilized shaft resistance, τ is the mobilized unit shaft resistance, t_u is the ultimate unit shaft resistance, w is the pile segment displacement, and D is the pile diameter.

Based on field observations, three representative shaft mobilization behaviors were identified for Hanoi clay soils, including fast mobilization, transitional mobilization, and gradual mobilization. The representative normalized τ–z curves adopted in the present study are shown in Figure 2.

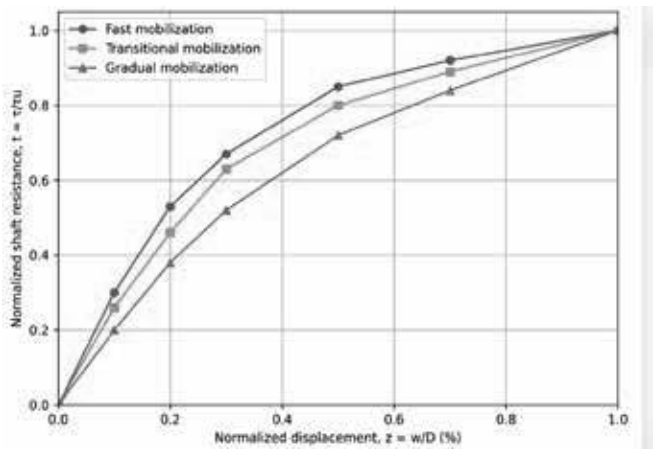


Figure 2. Representative local normalized τ–z curves adopted for different shaft mobilization behaviors in Hanoi clay soils

The representative curves were assigned to different soil layers according to soil consistency and liquidity index conditions, as summarized in Table 1. Softer clay layers with higher liquidity index values were generally assigned gradual mobilization behavior, while stiffer layers were assigned transitional or fast mobilization behavior.

Table 1. Assignment of representative local normalized τ–z curves for soil layers

Layer	Soil description	*IL*	Assigned mobilization class
3	Very soft clay	1.00	Gradual mobilization
4a	Clay/sandy clay, soft to firm	0.65	Transitional mobilization
4b	Clay/sandy clay, firm to stiff	0.25	Fast mobilization
5	Sandy clay, firm	0.56	Transitional mobilization
6a	Medium dense sand	–	Original generalized τ–z
6b	Dense silty sand	–	Original generalized τ–z
7	Sandy clay, soft	0.69	Gradual mobilization
8	Sandy clay, soft to firm	0.74	Gradual mobilization

In the modified implementation, the original generalized τ–z relationships assigned to clay soil layers were replaced using the representative local normalized curves, while the original SDF computational framework and q–z relationships were retained unchanged.

4. ECOPARK CASE STUDY

The Ecopark Condominium Project 1A-01 is located in Van Giang District, Hung Yen Province, Vietnam, under geological conditions typical of the Red River Delta region. The project adopted a reinforced concrete pile raft foundation system due to complicated groundwater and soft soil conditions.

In the present study, only Tower 2 was selected for detailed settlement analysis because geological investigation and field monitoring data were available. Tower 2 consists of two 19-story blocks supported by a 2 m thick pile raft foundation comprising 381 square reinforced concrete piles with cross-sections of 450 × 450 mm and pile lengths of 32 m. The total applied load on the pile raft system was approximately 440,710 kN. The pile arrangement is illustrated in Figure 3.

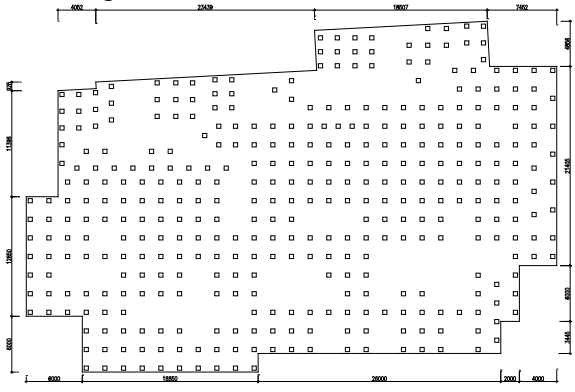


Figure 3. Pile Plan of Tower 2

Three boreholes (B4, B5, and B6) were available for the site investigation. Settlement analyses were performed for boreholes B4 and B6, representing the least favorable and most favorable geological conditions, respectively. The interpreted soil profiles and soil parameters are summarized in Table 2.

Table 2. The characteristics of soil at boreholes B4 and B6

Layer	Soil name	Depth (m)		γ_w(ton/m^3)	*IL*
		B4	B6		
1	Fill sand	1.1	1.2	-	-
2a	Clay, stiff	0.9	0.8	1.81	0.31
2b	Clay, firm	-		1.75	0.58
3	Very soft clay	5.2	5.8	1.51	1
4a	Clay, sandy clay, soft to firm	6.2	-	1.96	0.65
4b	Clay, sandy clay, firm to stiff	-	5.7	1.97	0.25
5	Sandy clay, firm	6.1	13	2.03	0.56
6a	Medium dense sand	9.9	3.9	-	-
6b	Silt dense sand	1.4	-	-	-
7	Sandy clay, soft	16	10.1	1.78	0.69
8	Sandy clay, soft to firm	-	-	1.92	0.74
9a	Silt sandy to gravel, dense	6.9	10.7	-	-
10	Very dense gravel	-	-	-	-

The original SDF implementation adopted the generalized τ–z and q–z relationships proposed by Vijayvergiya (1977) [10]. In the modified implementation, only the generalized τ–z relationships assigned to clay soil layers were replaced using the previously calibrated local normalized τ–z curves.

The SDF analyses were performed using a displacement increment of z_1 = 0.01 mm and a pile segment length of 0.1 m for both investigated boreholes.

Settlement monitoring for Tower 2 was conducted during the post-construction period from September 2011 to August 2013 using 26 monitoring points distributed across the raft foundation area, as shown in Figures 4 and 5. The maximum monitored settlement was 1.682 cm.

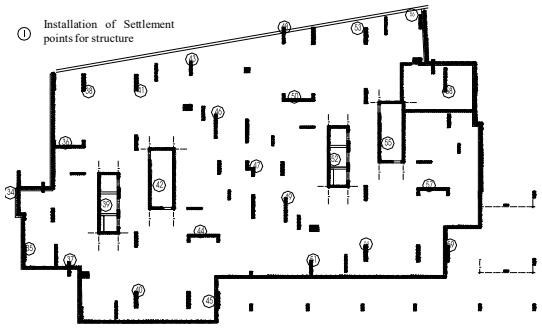


Figure 4. Monitoring point location plan for Tower 2

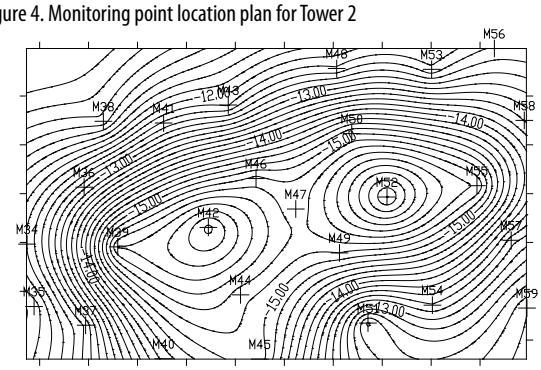


Figure 5. Settlement Photomap of Tower 2 (mm)

Calculated settlements obtained using the equivalent raft approach, the original SDF implementation, and the modified local t–z implementation were compared with the field monitoring data, as summarized in Table 3.

Table 3. Comparison between the calculation results and settlement monitoring data

Foundation/Borehole	Equivalent raft* (cm)	SDF method (cm)	Modified local τ–z SDF (cm)	Reduction relative to original SDF	Monitoring (cm)
Tower 2 /B4	15.38	7.62	5.1	33.1%	1.68
Tower 2/ B6	12.86	4.49	4.0	10.9%	1.68

* Refer to the predicted settlement of Geotechnical and Construction Engineering Institute.

The comparison demonstrates that incorporation of the local normalized τ–z relationships improved settlement prediction agreement with field observations for both investigated boreholes.

The equivalent raft approach produced significantly larger settlement predictions compared with the monitoring data for both boreholes B4 and B6. This behavior reflects the conservative nature of the equivalent raft assumption, particularly under complicated geological conditions involving multiple soft clay layers.

Compared with the equivalent raft approach, the original SDF implementation provided substantially reduced settlement predictions due to consideration of progressive pile-soil interaction and shaft resistance mobilization. The modified local τ–z implementation further reduced the predicted settlements for both boreholes.

The influence of the local normalized τ–z implementation was more pronounced for borehole B4, representing less favorable ground conditions with softer clay layers. This observation suggests that realistic representation of local shaft mobilization behavior becomes increasingly important under softer and more compressible soil conditions.

Although the modified SDF predictions remain larger than the monitored settlement values, the calculated results show improved agreement with field observations compared with both the equivalent raft approach and the original generalized SDF implementation. The remaining discrepancy may be associated with uncertainties in soil parameter selection, simplified interaction assumptions within the SDF framework, and the fact that settlement monitoring was conducted after completion of construction while part of the settlement had already occurred during the construction process.

5. DISCUSSION

Based on the comparative results presented in Table 3, the influence of local shaft mobilization behavior on settlement prediction can be further discussed as follows.

The results indicate that the influence of local shaft mobilization behavior becomes more significant under softer geological conditions, where settlement response is governed primarily by progressive shaft resistance mobilization. The modified local normalized τ–z implementation produced greater improvement for borehole B4 than for borehole B6, suggesting that local calibration may be particularly important for pile raft foundations constructed in soft Hanoi clay soils.

Although the modified SDF predictions remained larger than the monitoring results, the analyses demonstrated improved agreement with field observations compared with both the equivalent raft approach and the original generalized SDF implementation. The remaining discrepancy may be associated with simplifications in the SDF framework, uncertainties in soil parameters, and construction-stage settlement occurring before monitoring measurements were initiated.

6. CONCLUSIONS

This study evaluated the influence of previously calibrated local normalized τ–z curves on SDF-based settlement prediction for the Ecopark pile raft foundation project in Hung Yen Province, Vietnam.

The results indicated that the equivalent raft approach produced significantly conservative settlement predictions compared with the field monitoring data. The original SDF implementation substantially improved the predicted settlement response due to consideration of progressive pile-soil interaction and shaft resistance mobilization.

When the generalized τ–z relationships assigned to clay soil layers were replaced using the previously calibrated local normalized τ–z curves, the predicted settlements were further reduced for both boreholes B4 and B6. The influence of the local normalized τ–z implementation was more significant for borehole B4 representing less favorable geological conditions with softer clay layers.

Although the modified SDF predictions remained larger than the monitored settlement values, the calculated results showed improved agreement with field observations compared with both the equivalent raft approach and the original generalized SDF implementation. The results suggest that realistic representation of local shaft mobilization behavior may play an important role in practical settlement prediction for pile raft foundations constructed in Hanoi clay soils.

The present study represents an engineering-oriented implementation study based on a limited local database. Additional validation using a broader database of instrumented pile load tests from the Red River Delta region is still required before generalized application can be recommended.

Further validation using additional field monitoring cases and instrumented pile load tests is recommended for future development of locally calibrated pile load-transfer models for Hanoi geological conditions.

REFERENCES

[1] Aschenbrenner T.B., Olson R.E. Prediction of settlement of single piles in clay. Analysis and Design of Pile Foundations. American Society of Civil Engineers, J.R. Meyer (Ed.), 1984.

[2] British Standards Institution. Code of Practice for Foundations. BS 8004:1986. London, 1986.

[3] Duong Diep Thuy, Pham Quang Hung, Le Thiet Trung. A new model for pile group settlement considering distribution of friction along pile. Vietnam Geotechnical Journal, no. 1, pp. 42-49, 2014.

[4] Duong Diep Thuy, Pham Quang Hung. Evaluation of some settlement calculation methods for pile groups used in Vietnam. Journal of Construction, no. 7, 2014.

[5] Duong Diep Thuy, Pham Quang Hung, Le Thiet Trung. Comparison of some models describing the relationship between the unit friction mobilization and displacement of pile segment (f-w) for some kinds of clay in Hanoi. Review of Ministry of Construction, no. 7, pp. 75-78, 2015.

[6] Duong Diep Thuy, Pham Quang Hung, Le Thiet Trung, Hoang Thanh Hai. Comparison of some f-w models for some kinds of sand in Hanoi. Proceedings of the National Conference on Technical Mechanics, Da Nang, pp. 82-93, 2015.

[7] Duong Diep Thuy, Pham Quang Hung, Le Thiet Trung. A Method for Estimating Pile Group Settlement Considering Distribution of Pile Shaft Friction (SDF) - Application for Pile Groups in Vietnam. Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA, vol. 47, no. 1, pp. 69-78, 2016.

[8] Heydinger A.G., O'Neill M.W. Analysis of axial pile-soil interaction in clay. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, vol. 10, no. 4, pp. 367-381, 1986.

[9] JSC Inspection & Environmental Ecopark. Report of Settlement Monitoring of Ecopark Palm Forest Apartment Project, 2013.

[10] Vijayvergiya V.N. Load-movement characteristics of piles. Proceedings of Ports'77, American Society of Civil Engineers, vol. II, pp. 269-286, 1977.

■Ngày nhận bài: 29/4/2026 ■Ngày sửa bài: 13/5/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 26/5/2026

Evaluation of physical and chemical properties of municipal solid waste incineration bottom ash and its impact on concrete performance

Đánh giá các đặc tính vật lý và hóa học của tro đáy từ quá trình đốt chất thải rắn đô thị và tác động của chúng đến hiệu suất của bê tông

> DR NGUYEN THANH TAM[1], M.SC KY MINH HUNG[2,*]
[1]School of Engineering and Technology, Tra Vinh University; Email: tamxd@tvu.edu.vn.
[2]School of Engineering and Technology, Tra Vinh University; [*]Corresponding author. Email: kmhung12@tvu.edu.vn

ABSTRACT
This study evaluates the physical, chemical, and mineral properties of bottom ash from municipal solid waste incinerators and its impact when used as a substitute for conventional aggregates in concrete. Data were gathered from scopus.com between 2010 and 2024 using a qualitative study methodology and subsequently integrated using the WOSviewer application to provide systematic visual representations demonstrating the necessity of the research. An examination of these investigations revealed significant trends in the field, highlighting the potential of bottom ash as a viable alternative to conventional aggregates. The review's findings indicate that the properties of concrete, such as compressive strength, shrinkage, porosity, water permeability, and expansion, significantly differ when bottom ash is used as a replacement for normal particles. The study highlights the potential to enhance the quality of bottom ash to meet construction industry norms. Utilizing bottom ash in construction reduces adverse environmental impacts and conserves natural aggregate resources. This consequently alleviates reliance on newly sourced materials, thereby diminishing the environmental impact of conventional aggregate extraction. This research endorses supplementary sustainable development in the construction sector, facilitating environmental conservation and resource optimization throughout time.

Keywords: Concrete performance; municipal solid waste incineration bottom ash; effect of MSWI bottom ash on concrete; MSWI bottom ash treatment.

TÓM TẮT
Nghiên cứu này đánh giá các đặc tính vật lý, hóa học và khoáng chất của tro đáy từ các lò đốt rác thải rắn đô thị và tác động của nó khi được sử dụng làm chất thay thế cho cốt liệu thông thường trong bê tông. Dữ liệu được thu thập từ scopus.com từ năm 2010 đến năm 2024 bằng phương pháp nghiên cứu định tính và sau đó được tích hợp bằng ứng dụng WOSviewer để cung cấp các biểu diễn trực quan có hệ thống, chứng minh sự cần thiết của nghiên cứu. Việc xem xét các nghiên cứu này đã tiết lộ những xu hướng quan trọng trong lĩnh vực này, làm nổi bật tiềm năng của tro đáy như một chất thay thế khả thi cho cốt liệu thông thường. Kết quả nghiên cứu cho thấy các đặc tính của bê tông, chẳng hạn như cường độ nén, độ co ngót, độ xốp, độ thấm nước và độ giãn nở, khác biệt đáng kể khi sử dụng tro đáy để thay thế các hạt thông thường. Nghiên cứu này nhấn mạnh tiềm năng nâng cao chất lượng tro đáy để đáp ứng các tiêu chuẩn của ngành xây dựng. Việc sử dụng tro đáy trong xây dựng giúp giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường và bảo tồn nguồn tài nguyên cốt liệu tự nhiên. Điều này giúp giảm sự phụ thuộc vào các vật liệu khai thác mới, từ đó giảm thiểu tác động môi trường của việc khai thác cốt liệu truyền thống. Nghiên cứu này ủng hộ sự phát triển bền vững được bổ sung trong ngành xây dựng, tạo điều kiện thuận lợi cho việc bảo tồn môi trường và tối ưu hóa tài nguyên theo thời gian.

Từ khóa: Hiệu suất bê tông; tro đáy lò đốt rác thải sinh hoạt đô thị; ảnh hưởng của tro đáy MSWI đến bê tông; xử lý tro đáy MSWI.

1. INTRODUCTION

Municipal solid waste (MSW) generation is projected to reach 3.4 billion tons by 2050 [1]. Waste-to-energy incineration can reduce difficult-to-recycle waste and recover thermal energy; however, it also generates air emissions and solid residues [2]. Although air pollutants can be controlled by appropriate treatment systems, the management of incineration ash remains a major environmental challenge. Incineration residues commonly account for about 20% of the original waste volume and include fly ash, bottom ash and air-pollution-control residues [3]. Among these by-products, MSWI bottom ash is commonly classified as non-hazardous waste and represents approximately 80-90 wt.% of total incineration residues [4], [5].

The reuse of MSWI bottom ash in construction materials has become increasingly important. Its mineral constituents can be incorporated into ceramics, cement clinker, aggregate and binding materials, and the material has also been applied in road and levee construction [6]. In Vietnam, rapid urbanization and the expansion of incineration facilities have increased the volume of bottom ash requiring safe management. Nevertheless, practical applications in concrete remain limited because MSWI bottom ash properties depend strongly on waste input, combustion conditions and treatment processes.

This study reviews the chemical, physical and mineralogical characteristics of MSWI bottom ash, with particular attention to elements such as Ca, Si, Al, Fe and Mg, and mineral phases such as quartz, calcite and iron oxides. These properties govern hydration, pore development, particle-size effects, compressive strength, durability, expansion and shrinkage. The paper also discusses replacement ratios and treatment methods in order to clarify both the potential and the technical challenges of using MSWI bottom ash for sustainable concrete production.

2. RESEARCH METHODS

Bibliometric analysis was used to identify research trends related to MSWI bottom ash and its influence on concrete. Data were collected from Scopus for the period 2010-2024. The database included journal articles, conference papers and review papers written in English. Search terms included "MSWI", "concrete", "treatment", "bottom ash" and "cement", combined with Boolean operators. Duplicate records and documents lacking essential information were removed during screening.

After data collection, the comma-separated values file was imported into VOSviewer to generate visual maps of keyword co-occurrence. Keyword co-occurrence analysis was selected because it helps identify the main research topics and the relationships among them. The author keywords were used as the unit of analysis, and a minimum occurrence threshold was applied to improve the clarity of the network map.



Figure 1. Map creation procedure: (a) selection of analysis and counting method, (b) verification of selected keywords

The keyword network in Figure 2 demonstrates that "MSWI bottom ash" is strongly connected with topics such as concrete, compressive strength, waste management, leaching, treatment and mechanical properties. This relationship confirms that the use of MSWI bottom ash in cement-based materials is a multidisciplinary research topic involving material performance, environmental safety and treatment technology.



Figure 2. Keyword co-occurrence network related to MSWI bottom ash

3. RESULTS AND DISCUSSION

This section summarizes the chemical, physical and mineralogical properties of MSWI bottom ash and discusses their influence on concrete performance. The analysis focuses on chemical composition, heavy-metal content, microstructure, mineral phases, compressive strength, porosity, expansion and shrinkage. Treatment strategies are also considered because they directly affect the feasibility of reusing MSWI bottom ash in concrete.

3.1. Chemical properties

The chemical composition of MSWI bottom ash is commonly determined by X-ray fluorescence spectroscopy. The material contains substantial quantities of Al_2O_3, SiO_2 and CaO, which are relevant to hydration reactions in cementitious systems. In fine particles smaller than 0.125 mm, the CaO content can reach 38.41%, while SiO_2 and Al_2O_3 account for 16.46% and 15.68%, respectively [7]. The concentrations vary with particle size, and larger particles may contain higher SiO_2 contents [12]. These oxides are also the main constituents of ordinary Portland cement [8].

Besides Si, which can be present at levels higher than 10,000 mg/kg, major cations include Ca, Al, Na and Fe. Heavy metals of environmental concern, including Zn, Pb, Cr and Cu, can also be detected [9]. Table 1 presents the mean chemical composition of naturally weathered MSWI bottom ash, in which SiO_2 and CaO are the dominant constituents. The chlorine value in the table is indicated as n.d., meaning "not detected".

Table 1. Mean chemical composition of naturally weathered MSWI bottom ash

Oxides	MSWI bottom ash (%)
SiO_2	49.38
CaO	14.68
Fe_2O_3	8.38
Na_2O	7.78
Al_2O_3	6.58
MgO	2.32
K_2O	1.41
CuO	1.26
SO_3	0.57
Cl	n.d.
ZnO	0.38

The oxide composition in Table 1 is consistent with previous studies showing SiO_2, CaO and Al_2O_3 as the dominant chemical constituents of MSWI bottom ash. Their proportions vary according to waste input, combustion temperature and post-treatment conditions. Saline waste and polyvinyl chloride waste may increase the chloride content of bottom ash [11]. SiO_2 is mainly present as quartz, which may provide nucleation sites during hydration but has limited reactivity unless the ash is finely ground. Metallic aluminum, Pb and Zn are also important because aluminum can induce swelling, while Pb and Zn may delay cement setting [13].

The heavy-metal concentrations in Table 2 are below the hazardous-waste thresholds specified in QCVN 07:2009/BTNMT [14], indicating that the examined bottom ash can be considered a non-hazardous solid waste under the reported test conditions. The chemical composition determined by wet chemistry is shown in Table 3 and confirms that the material is mainly composed of common oxides.

Table 2. Heavy-metal composition in MSWI bottom ash

Parameter	Leaching concentration (mg/L)	Absolute content (ppm)
Barium (Ba)	2.604	209.8
Chromium VI (Cr VI)	0.400	< 6
Zinc (Zn)	0.279	1,476
Lead (Pb)	0.170	774.6
Molybdenum (Mo)	0.075	2.4
Mercury (Hg)	0.024	0.86
Thallium (Tl)	0.023	< 1
Nickel (Ni)	0.013	15.8
Arsenic (As)	0.009	10.7
Cobalt (Co)	0.009	4.3
Selenium (Se)	0.007	2.5
Antimony (Sb)	0.002	22.9
Cadmium (Cd)	0.002	144.4
Vanadium (V)	< 0.01	10.5
Silver (Ag)	< 0.001	37.2
Beryllium (Be)	< 0.001	0.14
pH (alkalinity/acidity)		11.5

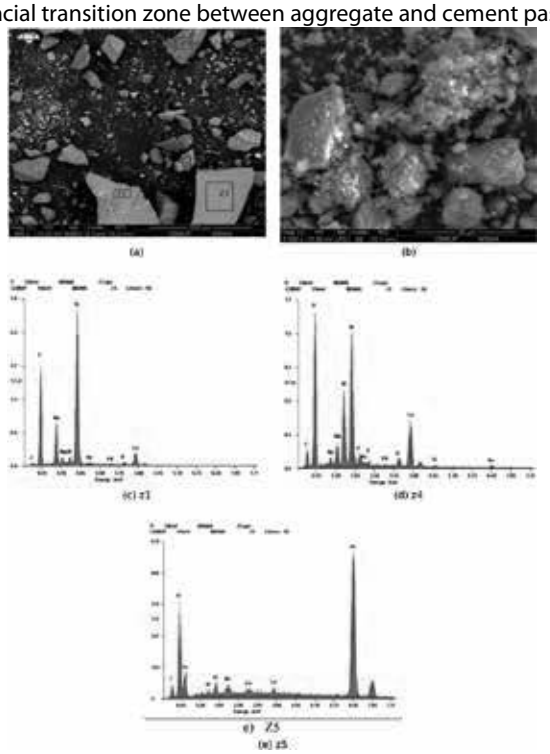
Table 3. Basic chemical composition of MSWI bottom ash

Chemical formula	Name	Unit	Result
Al_2O_3	Aluminum oxide	%	7.77
CaO	Calcium oxide	%	19.32
Cl^-	Chloride ion	%	1.33
Fe_2O_3	Iron oxide	%	3.44
K2O	Potassium oxide	%	1.64
LOI	Loss on ignition	%	5.73
MgO	Magnesium oxide	%	2.02
Na_2O	Sodium oxide	%	3.51
SiO_2	Silicon dioxide	%	52.84
SO_3	Sulfur trioxide	%	0.75
TiO_2	Titanium dioxide	%	0.44
-	Soluble silica content	mMol/L	105
-	Alkali reduction	mMol/L	269

3.2. Physical properties

The physical characteristics of MSWI bottom ash strongly affect its suitability for concrete. Scanning electron microscopy (SEM) and energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX) show that finely ground bottom ash particles contain Al, Fe, Mg, Si and Ti, which is consistent with the oxide composition obtained by X-ray fluorescence [15], [16]. The EDX spectra also indicate that larger particles may contain higher amounts of silicon, oxygen and sodium, while bright particles rich in iron and oxygen are likely associated with iron oxides.

As shown in Figure 3, crushed bottom ash particles exhibit irregular and angular morphology. Some particles have fractured surfaces, while others have porous or spongy textures. These features may originate from buffer compounds, contaminants and complex phases formed during combustion [17]. Porous particles can increase water demand, modify workability and influence the interfacial transition zone between aggregate and cement paste.



(a) general particle overview; (b) detailed particle characteristics; (c) EDX spectrum of region z1; (d) EDX spectrum of region z4; (e) EDX spectrum of region z5.

Figure 3. SEM image and EDX spectra of MSWI bottom ash particles

Figure 4 further illustrates the rough surface and cavity-rich morphology of air-recovered MSWI bottom ash. These cavities and rough surfaces increase specific surface area and water absorption, which may enhance some hydration interactions but can also reduce workability and increase porosity if the mix design is not adjusted [18]. Tests conducted according to TCVN 7572:2006 and environmental leaching procedures indicate that MSWI bottom ash can be considered for use as fine aggregate in concrete and concrete bricks after appropriate processing [19]. Nevertheless, soluble chlorides, alkalis and trace heavy metals must be controlled to reduce risks of expansion, cracking and durability loss.

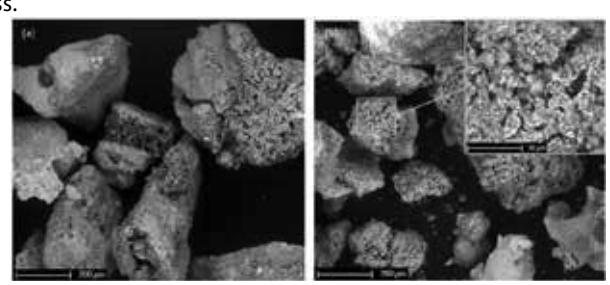


Figure 4. Morphology of air-recovered MSWI bottom ash (0-2 mm) analyzed by SEM

3.3. Mineral constituents

MSWI bottom ash consists mainly of metals and minerals [20]. Weathered bottom ash can contain silica, iron oxides, phosphates, hydroxides, carbonates, sulfates, non-ferrous metal oxides, silicates, chloride salts and sulfides. Silicates are commonly classified into subgroups such as pyroxene, melilite, feldspar and other silicates. Minerals such as quartz, calcite, magnetite, gehlenite, akermanite, albite, anorthite and diopside are frequently reported [20], [22].

Table 4. Categories of minerals commonly found in weathered MSWI bottom ash

Category	Minerals / mineral group	References
Silicon dioxide	Quartz, cristobalite	[20], [21]
Iron oxides	Magnetite, hematite, wustite	[20], [21]
Silicates	Melilite, feldspar, pyroxene, other silicates (gehlenite, akermanite, albite, anorthite)	[20]-[22]
Carbonates	Calcite, dolomite	[20], [21]
Sulfates	Ettringite, gypsum, anhydrite	[20], [30]
Other minerals	Minor chloride salts, sulfides and non-ferrous metal oxides	[20], [21]

The X-ray diffraction (XRD) pattern in Figure 5 indicates that the bottom ash contains quartz (SiO_2), calcite ($CaCO_3$), akermanite and magnetite as major crystalline phases. The distribution of these phases affects the interaction between ash and cement, including hydration kinetics, pore refinement and the development of durability-related properties [18].

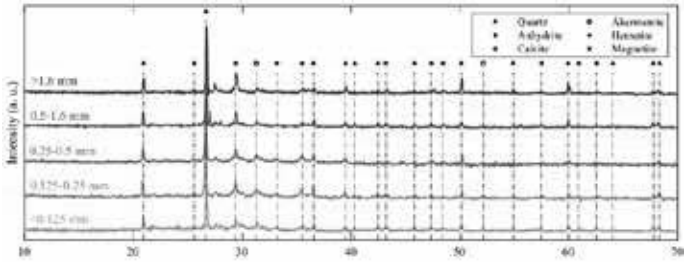


Figure 5. XRD spectra of original MSWI bottom ash samples with different particle sizes

3.4. Characteristics of concrete utilizing MSWI bottom ash

The performance of concrete containing MSWI bottom ash depends on the interaction between the ash, cement paste and environmental exposure. Key durability-related properties include capillary absorption, pore structure, air permeability, chloride penetration and carbonation resistance. These parameters determine whether treated bottom ash concrete can achieve long-term performance comparable to conventional concrete [23].

3.4.1. Compressive strength

Li et al. [24] studied the effect of MSWI bottom ash micro-powder and water-to-binder ratio on concrete compressive strength. Table 5 summarizes the mix proportions, and Figure 6 presents the compressive strength at 28 and 90 days. The results indicate that compressive strength generally decreases when the water-to-binder ratio increases. Compared with ordinary concrete, concrete incorporating fine MSWI bottom ash can show similar or improved strength at later ages when the replacement level is properly selected.

A 30% replacement of cementitious material by MSWI bottom ash micro-powder may reduce compressive strength by approximately 25%, whereas a 10% replacement may cause only an 8% decrease. At a water-to-binder ratio of 0.4 and an ash content of 10%, the compressive strength of MSWI bottom ash micro-powder concrete can exceed that of the reference concrete. This behavior suggests a delayed hydration effect and a gradual strength increase over extended curing periods [24].

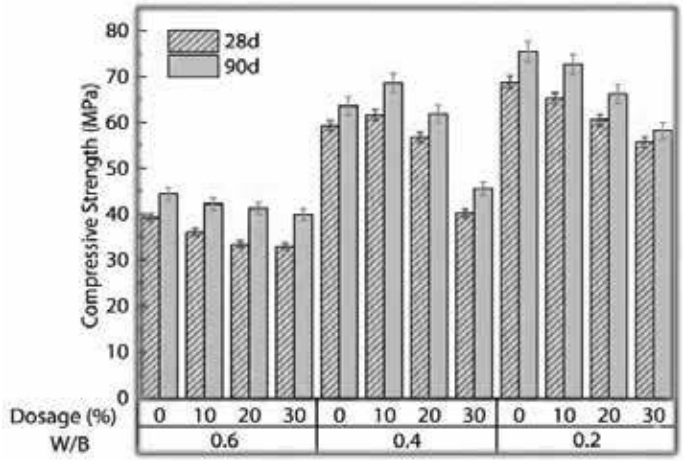


Figure 6. Compressive strength of concrete containing MSWI bottom ash micro-powder

Table 5. Mix proportions of concrete containing MSWI bottom ash micro-powder

W/B	Dosage (%)	Water (kg)	Water reducer (kg)	Cement (kg)	Ash micro powder (kg)	Sand (kg)	Stone (kg)
0.2	0	165	10.8	825.0	0.0	700	726
0.2	10	165	10.8	742.5	82.5	700	726
0.2	20	165	13.0	660.0	165.0	700	726
0.2	30	165	13.0	577.5	247.5	700	726
0.4	0	170	2.5	425.0	0.0	777	985
0.4	10	170	2.5	382.5	42.5	777	985
0.4	20	170	2.9	340.0	85.0	777	985
0.4	30	170	5.1	297.5	127.5	777	985
0.6	0	180	1.2	300.0	0.0	742	1064
0.6	10	180	1.2	270.0	30.0	742	1064
0.6	20	180	2.4	240.0	60.0	742	1064
0.6	30	180	2.4	210.0	90.0	742	1064

Other studies show that the aggregate replacement ratio also has a strong influence on strength. Concrete with 50% MSWI aggregate achieved a one-day strength of 12.4 MPa and a 28-day strength of 25.3 MPa, satisfying the strength requirements considered in the referenced standard [25]. In contrast, cement-based materials containing processed MSWI ash may experience a

clear decline in mechanical properties when the ash substitution ratio exceeds 10% [13]. These findings indicate that the effect of MSWI bottom ash is not uniform and must be evaluated according to the role of the ash, particle size, processing method and replacement ratio.

3.4.2. Porosity

Porosity is a key indicator of durability because it governs water absorption, ion transport and long-term deterioration. When MSWI bottom ash micro-powder is used at high replacement levels, especially 30%, concrete porosity may increase, as shown in Table 6. In most mixtures, porosity decreases with curing age because ongoing hydration refines the pore structure. However, the 30% replacement mixture at a water-to-binder ratio of 0.2 shows a slight increase from 28 to 90 days, indicating that excessive ash content may limit pore refinement under some mix conditions [24].

The porous nature of bottom ash particles also influences internal water storage. Although water absorption by bottom ash changes the effective mixing water content, the stored water may later contribute to internal curing of the cement paste. Therefore, bottom ash can simultaneously increase initial water demand and support later hydration, depending on particle size distribution and pre-saturation conditions [27].

Table 6. Porosity of concrete with different MSWI bottom ash replacement ratios

W/B	Dosage	Porosity at 28 d	Porosity at 90 d
0.4	0%	12.91%	11.31%
0.4	10%	11.96%	10.71%
0.4	30%	14.75%	13.83%
0.2	0%	9.66%	9.33%
0.2	30%	12.54%	12.77%

3.4.3. Expansion and shrinkage

Expansion in concrete containing MSWI bottom ash may be caused by ettringite formation, oxidation of metallic aluminum, hydration of free lime and hydration of magnesium oxide. Among these mechanisms, ettringite formation and aluminum oxidation are usually the most critical [28]. Sulfate content expressed as SO_3 is also important because high sulfate levels can promote deleterious expansion in the cementitious matrix. Acid-soluble sulfate can be particularly significant in coarse bottom ash particles and may require a lower water-to-cement ratio or sulfate-resistant cement [29].

Kim et al. [23] investigated the volumetric changes of mortar mixtures containing MSWI bottom ash. In Figure 7, M10 denotes a mixture in which 10% of natural sand is replaced by untreated MSWI bottom ash. M10-C, M10-S, M10-T and M10-D correspond to bottom ash pretreated in 3% sodium chloride solution, seawater, tap water and deionized water, respectively. All specimens expanded during the first 12 hours after casting. After that period, the control specimens began to shrink, whereas the bottom ash mixtures continued to expand until approximately two days after casting. The M10-S mixture showed the most pronounced expansion, which may be related to sulfate ions from seawater pretreatment and calcium ions in the bottom ash [23].

After demolding, all mortar specimens containing MSWI bottom ash showed greater drying shrinkage than the control mixture. At 113 days, the increases in shrinkage were approximately 21.84%, 21.62%, 26.62%, 14.05% and a corresponding value for the investigated pretreated mixtures, depending on the pretreatment condition. This behavior is attributed to the porous structure of MSWI bottom ash particles, which facilitates water transport during hydration and drying [23].

4. CONCLUSIONS

This review confirms that MSWI bottom ash has considerable potential for reuse in concrete because it contains important cementitious and aggregate-related constituents, especially SiO_2, CaO and Al_2O_3. Mineral phases such as quartz, calcite, akermanite and magnetite influence hydration behavior, pore structure and durability-related properties.

The physical morphology of MSWI bottom ash is generally angular, rough and porous. These characteristics can improve mechanical interlocking but also increase water demand and porosity. Therefore, mixture design and particle-size control are essential when MSWI bottom ash is used as fine aggregate, micro-powder or supplementary cementitious material.

Concrete containing MSWI bottom ash can achieve acceptable compressive strength at suitable replacement ratios, particularly after longer curing periods. However, high replacement levels may reduce strength, increase porosity and intensify expansion or shrinkage. These negative effects are associated with heterogeneous chemical composition, soluble salts, metallic aluminum and the porous texture of bottom ash particles.

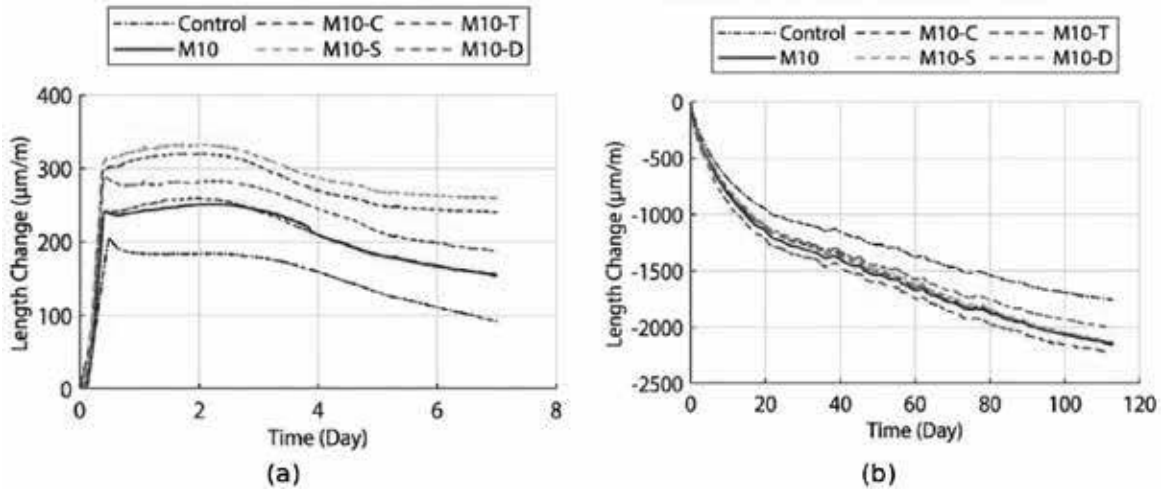


Figure 7. Length change of Portland cement mortar and MSWI bottom ash mortar: *(a) expansion before demolding; (b) shrinkage after demolding*

Acknowledgements:

The author acknowledges Tra Vinh University for supporting the development of this manuscript.

Data availability statement:

The data used in this review are derived from the cited publications and the summarized datasets presented in the tables and figures of this manuscript.

REFERENCES

[1] S. Kaza, L. Yao, P. Bhada-Tata and F. Van Woerden. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Washington, DC, USA: World Bank, 2018.

[2] C. Liu et al. CCET Guideline Series on Intermediate Municipal Solid Waste Treatment Technologies: Waste-to-Energy Incineration, 2020.

[3] Z. Phua et al. Characteristics of incineration ash for sustainable treatment and reutilization. Environmental Science and Pollution Research, vol. 26, no. 17, pp. 16974-16997, 2019.

[4] M. Margallo et al. Environmental sustainability assessment of the management of municipal solid waste incineration residues: a review of the current situation. Clean Technologies and Environmental Policy, vol. 17, no. 5, pp. 1333-1353, 2015.

[5] J. M. Chimenos et al. Characterization of the bottom ash in municipal solid waste incinerator. Journal of Hazardous Materials, vol. 64, no. 3, pp. 211-222, 1999.

[6] W. N. Oehmig et al. Contemporary practices and findings essential to the development of effective MSWI ash reuse policy in the United States. Environmental Science & Policy, vol. 51, pp. 304-312, 2015.

[7] M. M. Mian et al. Municipal solid waste management in China: a comparative analysis. Journal of Material Cycles and Waste Management, vol. 19, no. 3, pp. 1127-1135, 2017.

[8] S. Zhang, Z. Ghouleh and Y. Shao. Green concrete made from MSWI residues derived eco-cement and bottom ash aggregates. Construction and Building Materials, vol. 297, 123818, 2021.

[9] S. Sorlini, A. Abbà and C. Collivignarelli. Recovery of MSWI and soil washing residues as concrete aggregates. Waste Management, vol. 31, no. 2, pp. 289-297, 2011.

[10] O. Ginés et al. Combined use of MSWI bottom ash and fly ash as aggregate in concrete formulation: environmental and mechanical considerations. Journal of Hazardous Materials, vol. 169, no. 1, pp. 643-650, 2009.

[11] C. J. Lynn, R. K. Dhir and G. S. Ghataora. Municipal incinerated bottom ash characteristics and potential for use as aggregate in concrete. Construction and Building Materials, vol. 127, pp. 504-517, 2016.

[12] E. Loginova et al. Municipal solid waste incineration bottom ash fines: transformation into a minor additional constituent for cements. Resources, Conservation and Recycling, vol. 166, 105354, 2021.

[13] P. H. Shih, J. E. Chang and L. C. Chiang. Replacement of raw mix in cement production by municipal solid waste incineration ash. Cement and Concrete Research, vol. 33, no. 11, pp. 1831-1836, 2003.

[14] Ministry of Natural Resources and Environment of Vietnam. QCVN 07:2009/BTNMT: National Technical Regulation on Hazardous Waste Thresholds. Hanoi, Vietnam, 2009.

[15] R. Siddique. Utilization of municipal solid waste (MSW) ash in cement and mortar. Resources, Conservation and Recycling, vol. 54, no. 12, pp. 1037-1047, 2010.

[16] A. M. Matos and J. Sousa-Coutinho. Municipal solid waste incineration bottom ash recycling in concrete: preliminary approach with Oporto wastes. Construction and Building Materials, vol. 323, 126548, 2022.

[17] F. Y. Chang and M. Y. Wey. Comparison of the characteristics of bottom and fly ashes generated from various incineration processes. Journal of Hazardous Materials, vol. 138, no. 3, pp. 594-603, 2006.

[18] Y. Sun et al. Characterization, pre-treatment and potential applications of fine MSWI bottom ash as a supplementary cementitious material. Construction and Building Materials, vol. 421, 135769, 2024.

[19] Ministry of Science and Technology of Vietnam. TCVN 7572:2006: Aggregates for Concrete and Mortar - Test Methods. Hanoi, Vietnam, 2006.

[20] A. P. Bayuseno and W. W. Schmahl. Understanding the chemical and mineralogical properties of the inorganic portion of MSWI bottom ash. Waste Management, vol. 30, no. 8, pp. 1509-1520, 2010.

[21] R. del Valle-Zermeño et al. Material characterization of the MSWI bottom ash as a function of particle size: effects of glass recycling over time. Science of the Total Environment, vol. 581-582, pp. 897-905, 2017.

[22] À. Maldonado-Alameda et al. Municipal solid waste incineration bottom ash as sole precursor in the alkali-activated binder formulation. Applied Sciences, vol. 10, no. 12, 4129, 2020.

[23] H. J. Kim et al. A study of chloride pretreatment methods for enhancing strength of mortar by recycling municipal solid waste incineration (MSWI) bottom ash. Case Studies in Construction Materials, vol. 19, e02349, 2023.

[24] H. Li et al. Analysis of pore structure characteristics of MSWI bottom ash micro powder concrete. Case Studies in Construction Materials, vol. 20, e02999, 2024.

[25] L. B. Andrade, J. C. Rocha and M. Cheriaf. Influence of coal bottom ash as fine aggregate on fresh properties of concrete. Construction and Building Materials, vol. 23, no. 2, pp. 609-614, 2009.

[26] P. Šebestová, V. Černý and R. Drochytka. Experimental study of autoclaved aerated concrete using circulating fluidized-bed combustion fly ash. Materiali in Tehnologije, 2020.

[27] M. Cheriaf, J. C. Rocha, and J. Péra. Pozzolanic properties of pulverized coal combustion bottom ash. Cement and Concrete Research, vol. 29, no. 9, pp. 1387-1391, 1999.

[28] G. Pecqueur, C. Crignon and B. Quénée. Behaviour of cement-treated MSWI bottom ash. In Waste Management Series, Elsevier, pp. 541-547, 2000.

[29] T. T. Eighmy, O. Hjelmar and A. J. Chandler. Municipal Solid Waste Incinerator Residues, 1997.

[30] M. Vaičienė and E. Simanavičius. The effect of municipal solid waste incineration ash on the properties and durability of cement concrete. Materials, vol. 15, 2022.

■Ngày nhận bài: 29/4/2026 ■Ngày sửa bài: 13/5/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 26/5/2026

The role of contracts in schedule management for educational facility construction projects in Ha Noi

Vai trò của hợp đồng trong quản lý tiến độ dự án xây dựng công trình giáo dục tại Hà Nội

> MA TIEN HUYNH TRAN, MA THANH LEN NGUYEN*
Hanoi Architectural University, Vietnam, Email: trantienhuynhhau@gmail.com
Hanoi Architectural University, Vietnam, *Email: Lennt@hau.edu.vn

ABSTRACT

Schedule management is a critical requirement in educational facility construction projects, as project completion deadlines are directly linked to the academic calendar, student enrolment, classroom allocation, and the operational readiness of schools. In Hanoi, the demand for new school construction, renovation, and expansion has continued to increase amid rapid urbanisation, population growth, and overcrowding in many areas. During the 2021–2025 period, the city was expected to implement 648 school construction projects, with a total investment of approximately VND 20,526 billion. However, by the end of September 2023, only 144 projects had been completed, indicating considerable pressure on schedule control. This study employs a literature review, legal analysis, practical analysis, and model synthesis to clarify the role of construction contracts in managing the schedules of educational facility construction projects. The findings show that contracts are not merely legal instruments for establishing rights and obligations, but also serve as schedule governance tools by defining the schedule baseline, allocating responsibilities, coordinating interfaces among contract packages, controlling changes, and establishing early-warning mechanisms. On this basis, the study proposes a contract-based action framework to reduce schedule delays, limit disputes, and ensure that school facilities are handed over at the required time.

Keywords: Construction contract; schedule management; educational facilities; school construction projects; public investment; Hanoi; schedule delay.

TÓM TẮT

Quản lý tiến độ là một yêu cầu then chốt trong các dự án xây dựng công trình giáo dục, do thời hạn hoàn thành công trình gắn trực tiếp với kế hoạch năm học, tuyển sinh, bố trí lớp học và điều kiện vận hành của nhà trường. Tại Hà Nội, nhu cầu xây dựng mới, cải tạo và mở rộng trường học ngày càng gia tăng trong bối cảnh đô thị hóa nhanh, dân số tăng và tình trạng quá tải tại nhiều khu vực. Giai đoạn 2021–2025, thành phố dự kiến triển khai 648 dự án trường học với tổng vốn khoảng 20.526 tỷ đồng; tuy nhiên, đến hết tháng 9/2023 mới có 144 dự án được hoàn thành, cho thấy áp lực lớn về kiểm soát tiến độ. Nghiên cứu này sử dụng phương pháp tổng quan tài liệu, phân tích pháp lý, phân tích thực tiễn và tổng hợp mô hình nhằm làm rõ vai trò của hợp đồng xây dựng trong quản lý tiến độ dự án công trình giáo dục. Kết quả cho thấy hợp đồng không chỉ là công cụ pháp lý xác lập quyền và nghĩa vụ, mà còn là công cụ quản trị tiến độ thông qua việc thiết lập đường cơ sở tiến độ, phân định trách nhiệm, điều phối giao diện giữa các gói thầu, kiểm soát thay đổi và thiết lập cơ chế cảnh báo sớm. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất khung hành động dựa trên hợp đồng nhằm giảm chậm tiến độ, hạn chế tranh chấp và bảo đảm công trình trường học được bàn giao đúng thời điểm.

Từ khóa: Hợp đồng xây dựng; quản lý tiến độ; công trình giáo dục; dự án trường học; đầu tư công; Hà Nội; chậm tiến độ.

1. INTRODUCTION

A construction contract is a written agreement between the employer and the contractor for the execution of part or all of construction investment activities. In public investment projects, a contract performs not only a legal function but also serves as a project governance instrument. It helps define responsibilities, allocate risks, control costs, quality and schedule, and establish mechanisms for dispute resolution[1].

Educational facilities, including kindergartens, schools at various levels, and training institutions, constitute a category of public buildings within the broader system of civil works, directly serving learning needs and human resource development. They are an essential component of educational infrastructure, closely associated with students' right to education, teachers' working conditions, school safety, and the quality of public services. Unlike

many conventional civil buildings, school construction projects are subject to significant schedule pressure because they must be completed before the start of the new academic year, in alignment with school opening dates, student enrolment, classroom allocation, and the actual operational needs of educational institutions[2].

In Hanoi, rapid urbanisation, population growth, the expansion of new urban areas, and overcrowding in several public schools have increased the demand for investment in the construction, renovation, and expansion of the school system. A comprehensive analysis indicates that, during the 2021–2025 period, Hanoi planned to implement 648 school construction projects, with a total investment of approximately VND 20,526 billion. By the end of September 2023, however, only 144 out of 648 projects had been completed, while 421 projects had commenced construction and many others remained at the stages of approval, implementation, or completion of investment procedures. At the district level, the city planned to allocate approximately VND 37,783.6 billion to 1,172 school projects, yet only 387 projects were completed during the 2021–2023 period[3]. Specifically, in Hoang Mai District, schedule pressure has become even more pronounced. In 2023, the district was implementing 24 school construction projects, including 16 ongoing projects with a total investment of approximately VND 2,008 billion. At the same time, 38 off-budget projects in the district remained delayed, affecting the capacity to provide additional schools, green spaces, parking facilities, and social infrastructure. These figures indicate that school investment projects in Hanoi are under substantial schedule pressure, particularly as the demand for school places increases rapidly and facilities must be handed over on time to serve the new academic year[4], [5]. Schedule delays arise from various causes. The most common issues include late site handover, design changes, scope adjustments, a lack of synchronisation between construction packages and equipment procurement packages, delays in fire prevention and fighting acceptance, incomplete as-built documentation, and unclear allocation of responsibilities among project stakeholders. These issues indicate that schedule delay is not merely a technical matter of construction planning, but also a matter of contract governance[6].

In essence, a construction schedule can function effectively as a management instrument only when it is linked to specific contractual obligations. If a construction schedule exists merely as an internal technical document, it is unlikely to establish clear legal accountability. Conversely, when the schedule is incorporated into the contract through completion milestones, acceptance conditions, reporting obligations, early-warning mechanisms, and delay-related sanctions, it becomes an instrument for binding the responsibilities of the parties involved. International studies on construction delays show that the causes of delay are often diverse, including design changes, late payment, inadequate contractor capacity, poor coordination among stakeholders, material shortages, labour shortages, adverse weather conditions, and prolonged administrative procedures. However, many of these causes can be controlled or mitigated if the contract clearly defines responsibilities, coordination procedures, and mechanisms for managing schedule-related risks[1], [6].

Current studies on construction delays have primarily focused on identifying the causes of delay, assessing the degree of influence of risk factors, or proposing general project management solutions. Meanwhile, studies on construction contracts have tended to concentrate on contract price, payment, price adjustment, disputes, or contractual claims[7], [8].

For educational facilities, many studies have addressed issues such as school network planning, design standards, construction quality, building maintenance, and public investment management. However, there remains a lack of in-depth research analysing the role of construction contracts as an instrument for schedule control in school construction projects, particularly in the context of Hanoi. Therefore, the relationship between construction contracts and schedule management in state-budget-funded educational facility construction projects still presents important research gaps that require further investigation[7], [9].

Therefore, this study aims to clarify the following issues:

(i) the characteristics of construction contracts in educational facility construction projects;

(ii) the identification of schedule-related risks in construction implementation;

(iii) the analysis of the roles of construction contracts in educational facility projects in Hanoi, with a view to clarifying existing problems in schedule control;

(iv) the proposal of an action framework to enhance the role of contracts in project schedule control.

2. RESEARCH METHODOLOGY

This paper adopts a qualitative research approach, combining a literature review, legal analysis, practical analysis, and model synthesis.

Step 1: A literature review is conducted on construction contracts, schedule management, construction delays, and the management of public building projects.

Step 2: A legal analysis is undertaken to examine the regulatory role of construction contracts, including relevant laws, decrees, and circulars governing construction contracts, quality management, and works acceptance.

Step 3: A practical analysis is used to identify common issues in educational facility construction projects in Hanoi, particularly those related to schedule delays, stakeholder coordination, and the handling of contractual variations and arising issues.

Step 4: A contract-based action framework is proposed to support schedule control in school construction projects.

In addition, the research object of this paper is the role of construction contracts in schedule management for new construction, renovation, expansion, and upgrading projects of educational facilities in Hanoi.

3. RISKS AND THE ROLE OF CONSTRUCTION CONTRACTS IN PROJECT SCHEDULE

3.1. Risks affecting the schedule of educational facility construction projects in Hanoi

Schedule-related risks in educational facility construction projects in Hanoi can be classified into six main groups [10], [11], [12], [13], [14]:

- The **first group** concerns risks arising during the investment preparation stage. These risks include delays in the approval of investment policy, project formulation and appraisal, approval of design documents, cost estimates, contractor selection plans, and prolonged bidding procedures.

- The **second group** relates to site-related risks. In inner-city districts or highly urbanised areas, the expansion of school facilities often faces difficulties due to limited land availability, site clearance

constraints, or the need to carry out construction within existing school campuses that remain in operation.

- The **third group** involves risks associated with design changes and scope variations. During project implementation, requirements concerning classrooms, functional rooms, kitchens, boarding facilities, educational equipment, or fire prevention and fighting systems may change, leading to design revisions, additional work quantities, and extended construction duration.

- The **fourth group** consists of risks arising from coordination among contract packages. School construction projects usually involve multiple packages, including civil works, mechanical and electrical systems, fire prevention and fighting systems, educational equipment, interior works, information technology, and landscaping. If the schedules of these packages are not synchronised, delays in one package may lead to delays in the entire project.

- The **fifth group** concerns contractor capacity risks. Some contractors may encounter difficulties in mobilising labour, machinery, financial resources, materials, or in managing subcontractors. These issues directly affect construction progress.

- The **sixth group** relates to acceptance, handover, and operation risks. A school facility can only be put into use when it fully satisfies requirements for quality acceptance, fire prevention and fighting acceptance, completion of as-built documentation, equipment installation, industrial cleaning, and handover to the user unit.

Thus, schedule delays in educational facility construction projects do not arise solely from the construction stage, but are associated with the entire chain of activities from investment preparation to handover and operation. This requires the construction contract to be designed as an integrated instrument for schedule management.

3.2. The Role of contracts in establishing the critical path

The critical path provides a basis for the parties to monitor, evaluate, adjust, and determine responsibility when delays occur.

In school construction projects, the contract should not merely specify the commencement date and the overall completion date. Instead, it should clearly define intermediate schedule milestones, including completion of the foundation works, structural works, rough construction, mechanical and electrical systems, fire prevention and fighting systems, architectural finishing works, installation of educational equipment, technical acceptance, fire prevention and fighting acceptance, completion of as-built documentation, and project handover.

The establishment of intermediate schedule milestones enables the employer and the project management unit to control progress at each stage, rather than identifying delays only when the final completion deadline is approaching. For educational facilities, this is particularly important because delays in only a few components (such as fire prevention and fighting systems, classroom equipment, or acceptance documentation) may prevent the entire facility from being put into operation in time for the new academic year.

3.3. The Role of contracts in allocating schedule responsibilities

In practice, when a project is delayed, the parties often tend to shift responsibility to one another. The construction contractor may argue that the delay results from unclear design documents; the equipment supplier may claim that the site is not ready; the supervision consultant may state that the acceptance documentation is incomplete; while the employer may contend that the contractor has failed to mobilise sufficient resources.

To minimise such situations, the contract should clearly define the responsibilities of each party for each work milestone. Specifically, the contract should identify which party is responsible for preparing the detailed schedule; which party is responsible for approving the schedule; the required response time for technical submissions; the time limits for acceptance at each stage; responsibilities for providing drawings, technical instructions, and material samples; responsibilities for coordination with the school; and responsibilities for resolving arising issues.

A clear allocation of responsibilities helps reduce disputes, enhance transparency, and establish a legal basis for addressing schedule-related breaches.

3.4. The Role of contracts in coordinating implementation among contract packages

This is a particularly important issue for educational facilities because school construction projects often involve multiple interdependent contract packages. For example, the equipment contractor can only install desks, chairs, boards, classroom equipment, laboratory facilities, or information technology systems once the construction works have been completed in accordance with the required dimensions and technical conditions. The fire prevention and fighting contractor must coordinate with the mechanical and electrical, architectural, and finishing contractors. The school operating unit can only take over the facility when safe conditions for use have been fully ensured.

If the contract does not clearly define coordination mechanisms for implementation, contract packages may be carried out in a fragmented manner, leading to conflicts, waiting time, rework, or delayed handover. Therefore, the contract should incorporate mechanisms for information sharing, procedures for resolving technical conflicts, and responsibilities for updating the overall project schedule.

For projects involving multiple independent contract packages, the employer or project management unit should require all contractors to comply with a unified master schedule, in which mandatory interface points among civil works, mechanical and electrical systems, fire prevention and fighting systems, equipment installation, and operational handover are clearly identified.

3.5. The Role of contracts in controlling changes and variations

In construction projects, changes are difficult to avoid. However, if changes are not controlled through a rigorous contractual procedure, they may become a major cause of schedule delays and disputes.

For educational facilities, common changes include adjustments to classroom functions, the addition of functional rooms, changes in equipment requirements, modifications to fire prevention and fighting systems, changes in finishing materials, or the addition of facilities serving semi-boarding activities, canteens, and playgrounds. Such changes may affect the design, work quantities, contract price, and implementation duration.

Therefore, the contract should clearly specify a change management procedure, including change identification, preparation of change proposals, assessment of impacts on cost and schedule, approval by the competent authority, schedule updating, contract adjustment, and document archiving. At the same time, the contract should define the principles for granting extensions of time in cases of legitimate changes, force majeure events, delayed site handover, or delayed approvals attributable to the employer.

A contract that lacks an effective change control mechanism may lead to situations in which variations arise without clear responsibility, works are executed before formal approval is granted, acceptance procedures are prolonged, payments are delayed, and disputes emerge during final account settlement.

3.6. The Role of contracts in early warning and delay management

In many projects, schedule delays are only identified when the remaining time for corrective action is already too limited. This reduces management effectiveness and causes remedial measures to become reactive rather than proactive.

The contract should require the contractor to submit periodic progress reports, update actual progress against the approved schedule, identify activities on the critical path, provide early notification of potential delay risks, and propose corrective measures. The early-warning mechanism should be linked to control milestones on a weekly, monthly, or construction-stage basis.

When delays occur, the contract should specify graduated remedial measures, including requiring the contractor to prepare a recovery schedule; increase overtime or shift work; mobilise additional labour and equipment; replace underperforming subcontractors; adjust construction organisation methods; apply delay-related sanctions; or terminate the contract in cases of serious breach.

For school construction projects, the early-warning mechanism needs to be designed more rigorously, because the handover deadline often cannot be arbitrarily extended due to its dependence on the academic calendar.

4. PROPOSED CONTRACT-BASED ACTION FRAMEWORK FOR SCHEDULE CONTROL IN EDUCATIONAL FACILITY CONSTRUCTION PROJECTS

Based on the above analysis, this study proposes an action framework consisting of five main groups of solutions.

Table 1. Contract-Based solutions for implementing project schedule control

Framework component	Contractual provisions to be specified	Schedule control function	Expected outcomes
Establishment of the schedule baseline	Commencement date, completion date, intermediate schedule milestones, and the overall project schedule	Provides a basis for measuring and controlling project progress	Reduces ambiguity in the assessment of schedule delays
Allocation of responsibilities	Responsibility matrix, obligations for document submission, response deadlines, and approval responsibilities	Links each schedule milestone to the responsible party	Limits blame-shifting and disputes
Interface coordination	Interface matrix among contract packages, coordination meeting schedule, and information-sharing procedures	Synchronises civil works, mechanical and electrical systems, fire prevention and fighting systems, equipment installation, and project handover	Reduces conflicts, waiting time, and rework
Change control	Variation procedure, assessment of schedule impacts, and conditions for granting extensions of time	Controls the impact of changes on the project schedule	Minimises delays and disputes arising from variations
Early warning and management of contractual breaches	Progress reporting, delay notification, recovery schedule, sanctions, and contract termination mechanisms		Enhances accountability and the likelihood of timely project completion

The proposed contract-based schedule control framework, oriented towards "designing contractual clauses from risks," is presented in Table 3. The central focus of this framework is to convert every schedule-deviation risk into one of four categories of contractual events: unmet prerequisite events; scope or standard variation events; employer- or public-authority-related events; and contractor-default events. Once these events are properly classified, the contract can assign an appropriate response mechanism to each category, such as maintaining the existing schedule, updating the schedule baseline, granting an extension of time, compensating reasonable costs, or applying contractual sanctions. This approach is also consistent with the logic of the current construction law framework, which already provides regulatory bases for contract adjustment, schedule management, liability for contractual breaches, and contract performance

Table 2. Proposed action framework for construction contracts in educational facility projects to support schedule control

Contract module	Required contractual provisions	Schedule monitoring mechanism	Application notes for Hanoi
Contract data and order of precedence of contractual documents	List of contractual documents; order of precedence among the bidding documents, bid proposal, drawings, bill of quantities (BOQ), and educational technical appendices	Immediate verification upon contract signing	A functional appendix for school facilities, semi-boarding services, and safety requirements should be mandatory.
Conditions for commencement	Clear site possession; approved design documents; secured funding sources; advance payment milestone; and specialised permits or approvals, where applicable	Commencement-condition record	Commencement should not be permitted on the basis of "expected satisfaction of commencement conditions."
Schedule baseline and milestones	Work breakdown structure (WBS), mandatory milestones, float, critical path, equipment supply milestones, and interim acceptance milestones	Monthly schedule updates and weekly look-ahead planning	A milestone for "readiness for educational operation" must be included.
Site handover and construction-site interfaces	Phased site handover; areas where teaching and learning activities remain ongoing; and separate safety measures for construction zones	Partial site-handover records	This provision is particularly important for renovation projects in schools that remain in operation.
Variations and updates to applicable standards	Variation procedure; response deadlines; mechanism for valuing variations; and assessment of schedule impacts	Variation log and approval log	This provision is applicable to situations involving updates to standards for kitchens, semi-boarding facilities, and sanitation.

Payment and cash flow	Advance payment milestones, payment documentation, conditions for quantity certification, and conditions for payment suspension	Quantity–schedule–payment dashboard	Payment should be closely linked to milestones and digital documentation.
Early warning and delay log	Early-warning thresholds; notification deadlines; recovery meetings; and response responsibilities	Weekly reports and biweekly coordination meetings	Schedule delays should not be allowed to accumulate until the end of the quarter.
Extension of time and associated costs	List of events eligible for extension of time (EOT); supporting documentation; principles for cost compensation; and time limit for decision-making	Claims and extension-of-time (EOT) register	Risks of suspension arising from planning issues or public-authority decisions must be covered.
Guarantees, penalties, and incentives	Performance security; advance payment guarantee; delay penalties within statutory limits; and acceleration incentives where quality is assured	Monitoring of time, quality, and safety documentation	The contract should not rely solely on penalties; incentives for meaningful early handover should also be introduced.
Multi-tier dispute resolution	Technical negotiation; project leadership escalation; independent expert or dispute review mechanism; and arbitration or court proceedings	Dispute log and resolution deadlines	This mechanism helps prevent construction activities from being "frozen" when disputes are still minor.

This action framework can be operationalised as a schedule management appendix attached to the construction contract. Such an appendix should include the master schedule; a schedule milestone table; a responsibility matrix; an interface matrix; progress reporting templates; delay early-warning templates; a procedure for managing variations and arising issues; a procedure for granting extensions of time; and a handover checklist specifically designed for educational facility projects.

5. CONCLUSION

This study has analysed the role of contracts in schedule management for educational facility construction projects in Hanoi. The findings indicate that educational facilities are a highly schedule-sensitive category of works because they are closely associated with the academic calendar, student safety, operational readiness, and the responsibility to provide public services.

Schedule delays in school construction projects do not arise solely from technical factors or construction capacity, but are also closely related to the quality of contracts and the capacity for contract management.

The action framework proposed in this study can serve as a reference basis for employers, project management units, supervision consultants, contractors, and state management agencies in the drafting, negotiation, and administration of contracts for educational facility construction projects. The application of this framework is expected to contribute to reducing schedule delays, limiting disputes, improving the efficiency of public investment, and ensuring that school facilities are put into operation at the required time.

A limitation of this study is that it is primarily based on a synthesis of existing studies and practical observations. Therefore, future research should incorporate expert surveys and in-depth interviews with employers, project management units, contractors, supervision consultants, and representatives of schools. In addition, quantitative methods such as exploratory factor analysis, structural equation modelling, or the analytic hierarchy process may be employed to assess the degree of influence of contractual provisions on the effectiveness of schedule management.

REFERENCES

[1] Do Van Chinh and Vu Quy Phat. Construction Contracts and Construction Contract Administration in Vietnam. J. Sci. Technol. Water Resour., vol. 68, pp. 1-8, 2011.

[2] Government. Decree No. 06/2021/ND-CP on elaborating certain provisions on quality management, construction execution, and maintenance of construction works. Hanoi, Vietnam. Jan. 26, 2021 (accessed: May 14, 2026). Internet: http://vanban.chinhphu.vn/?pageid=27160&docid=202585.

[3] Gia Huy. Hanoi outlines a range of solutions to meet the need for schools in inner-city areas. Thanglong.chinhphu.vn (accessed: May 14, 2026). Internet: https://thanglong.chinhphu.vn/ha-noi-neu-nhieu-giai-phap-de-dap-ung-truong-hoc-khu-vuc-noi-do-103231110151327389.htm.

[4] Hai Ha. 19 urban residential areas in Hoang Mai District have neglected school construction (accessed: May 14, 2026). Internet: https://thanhtra.com.vn/giao-duc-A6BAEB6CD/19-khu-do-thi-tai-quan-hoang-mai-bo-quen-xay-truong-hoc-1557F3BA.html.

[5] Hai Ha. Vacant land and delayed projects to be reclaimed for school construction (accessed: May 14, 2026). Internet: https://thanhtra.com.vn/giao-duc-A6BAEB6CD/cho-nao-dat-trong-du-an-cham-trien-khai-thi-thu-hoi-xay-truong-hoc-745466F2.html.

[6] L. V. Luong, N. T. T. Nhan and D. H. Mai. Construction contract management in Vietnam: performance management and influential factors. J. Sci. Technol. Civ. Eng., vol. 10, no. 3, pp. 29-35, Jun. 2016.

[7] K. Kisi, R. Kayastha and Y. Chitrakar. Construction Claims and Payment Disputes Analysis: Alternative Dispute Resolution to Litigation. J. Leg. Aff. Dispute Resolut. Eng. Constr., vol. 15, no. 1, p. 06522005, Feb. 2023, doi: 10.1061/JLADAH.LADR-908.

[8] K. B. O. Amoah, G. Okere and A. Deshpande, "Construction Delay Analysis: Causes, Impacts, and Mitigation Strategies," J. Civ. Eng. Res., vol. 14, no. 1, pp. 1-9, 2024.

[9] A. H. Al-Momani. Construction delay: a quantitative analysis. Int. J. Proj. Manag., vol. 18, no. 1, pp. 51-59, Feb. 2000, doi: 10.1016/S0263-7863(98)00060-X.

[10] Hai D. T. Assessment of Causes Affecting Progress Schedules on Construction Investment Projects Funded by State Budget in Hanoi City, Vietnam, vol. 17, pp. 1-14, 2025, doi: 10.2174/18741495-v17-230824-2023-36.

[11] S. Durdyev and M. R. Hosseini. Causes of delays on construction projects: a comprehensive list. Int. J. Manag. Proj. Bus., vol. 13, no. 1, pp. 20-46, May 2019, doi: 10.1108/IJMPB-09-2018-0178.

[12] N. Q. Toan et al. Factors influencing construction delays in public investment civil projects: The case of Hanoi, Vietnam. Edelweiss Appl. Sci. Technol., vol. 9, no. 4, pp. 2319-2332, 2025.

[13] Hanoi People's Committee. Plan No. 119/KH-UBND dated March 25, 2026, on implementing the review of delayed projects and works using state budget and public investment capital in Hanoi. Hanoi, Viet Nam. Cổng Thông tin điện tử TP Hà Nội (accessed: Apr. 18, 2026). Internet: http://vanban.hanoi.gov.vn/chi-tiet-van-ban/ke-hoach-thuc-hien-ra-soat-cac-du-an-cong-trinh-su-dung-von-ngan-sach-dau-tu-cong-cham-trien-khai-t-237457.

[14] Pham Quoc Anh and Nguyen Ngoc Thanh. Contract Organisation and Management in Design-Bid-Build Projects. J. Constr., vol. 03.2025, pp. 66-69, 2025.









TRƯỜNG CAO ĐẲNG CƠ ĐIỆN NÔNG NGHIỆP VÀ MÔI TRƯỜNG

ĐỔI MỚI VÀ PHÁT TRIỂN VÌ MỤC TIÊU ĐÀO TẠO NGUỒN NHÂN LỰC CHẤT LƯỢNG CAO

Trường được thành lập trên cơ sở sáp nhập Trường Cao đẳng Cơ điện Xây dựng Việt Xô vào Trường Cao đẳng Cơ giới Ninh Bình theo chủ trương sắp xếp, kiện toàn các đơn vị sự nghiệp công lập nhằm nâng cao hiệu quả hoạt động và chất lượng nguồn nhân lực.

Là cơ sở giáo dục nghề nghiệp công lập thuộc hệ thống giáo dục quốc dân; là đơn vị sự nghiệp công lập trực thuộc Bộ Nông nghiệp và Môi trường, Trường Cao đẳng Cơ điện Nông nghiệp và Môi trường có chức năng đào tạo nguồn nhân lực trình độ cao đẳng, trung cấp, trung học nghề, sơ cấp, đào tạo thường xuyên; nghiên cứu và ứng dụng kỹ thuật, chuyển giao công nghệ, chuyển đổi số về các ngành nghề thuộc lĩnh vực: cơ giới, cơ điện, xây dựng, nông nghiệp, phát triển 2 nông thôn, môi trường và các ngành nghề khác theo nhu cầu xã hội; đào tạo, bồi dưỡng chuyên môn, nghiệp vụ, đánh giá kỹ năng nghề; cung cấp dịch vụ công và các dịch vụ khác trong các lĩnh vực thuộc chức năng, nhiệm vụ của Trường theo quy định của pháp luật.

Nhà trường mới được hình thành trên cơ sở kế thừa và phát huy các giá trị truyền thống, thế mạnh về đội ngũ, cơ sở vật chất và kinh nghiệm đào tạo của hai đơn vị, đồng thời hướng tới xây dựng mô hình giáo dục nghề nghiệp hiện đại, gắn đào tạo với yêu cầu phát triển của ngành nông nghiệp, môi trường trong bối cảnh chuyển đổi số và phát triển bền vững.

Trong thời gian tới, Trường Cao đẳng Cơ điện Nông nghiệp và Môi trường tập trung xây dựng Chiến lược phát triển đến năm 2030, tầm nhìn 2045; kiện toàn tổ chức bộ máy; đổi mới chương trình, phương pháp đào tạo; tăng cường hợp tác với doanh nghiệp và đối tác quốc tế, phấn đấu trở thành cơ sở giáo dục nghề nghiệp chất lượng cao của khu vực.

Với tinh thần đoàn kết, đổi mới và trách nhiệm, tập thể Nhà trường quyết tâm xây dựng Trường Cao đẳng Cơ điện Nông nghiệp và Môi trường phát triển bền vững, đóng góp thiết thực cho sự nghiệp đào tạo nguồn nhân lực phục vụ ngành nông nghiệp, môi trường và sự phát triển của đất nước.

RCC
SINCE 1973

CÔNG TY TNHH MỘT THÀNH VIÊN
VẬT TƯ ĐƯỜNG SẮT ĐÀ NẴNG

Mã số thuế: 0400101813

XÂY DỰNG TƯƠNG LAI
ĐƯỜNG SẮT VIỆT NAM







TẠI SAO CHỌN CHÚNG TÔI

CHẤT LƯỢNG HÀNG ĐẦU:
Cung cấp tà vẹt bê tông chất lượng cao, tà vẹt tốc độ cao chuẩn quốc tế.

CÔNG NGHỆ TIÊN TIẾN:
Áp dụng dây chuyền sản xuất tự động hiện đại, công nghệ đến từ Châu Âu.

ĐỐI TÁC TIN CẬY:
Cam kết tiến độ và dịch vụ, đồng hành cùng sự phát triển của đường sắt.

- VẬT TƯ ĐƯỜNG SẮT
- SẢN XUẤT TÀ VẸT
- THI CÔNG & DỊCH VỤ

Điện thoại: 02363.842628
Fax: 02363.842628
Email: vattuduongsatdanang.rcc@gmail.com
Website:
Địa chỉ: Số 61 – Đường Nguyễn Văn Cừ Phường Hải Vân – TP.Đà Nẵng

TRƯỜNG CAO ĐẲNG ĐẮK LẮK

TRUNG TÂM ĐÀO TẠO LÁI XE

★ ★ ★

AN TOÀN – CHẤT LƯỢNG – UY TÍN



TUYỂN SINH KHÓA HỌC

ĐÀO TẠO LÁI XE

ĐA DẠNG HẠNG – HỌC NHANH – THI SỚM

Thực hành thật – Vững tay lái!



01 MÔ TÔ HẠNG A1
Đào tạo lái xe mó tô hạng A1 theo quy định.

02 Ô TÔ CÁC HẠNG B
Đào tạo lái xe ô tô hạng B (số tự động, số sàn).

03 Ô TÔ HẠNG C1
Đào tạo lái xe ô tô hạng C1.

04 NÂNG HẠNG
Nâng hạng: C, D2, D theo quy định hiện hành.

05 VẬN HÀNH MÁY
Đào tạo vận hành máy xúc, máy đào chuyên nghiệp.





CÁC CƠ SỞ ĐÀO TẠO

TRƯỜNG CAO ĐẲNG ĐẮK LẮK

Cơ sở 4:
Địa chỉ: Số 30 Y Ngông, Phường Buôn Ma Thuột, Đắk Lắk
0262 3860 141; 0905 812 813

Cơ sở 2:
Địa chỉ: Số 276 Trường Chinh, Tuy Hoà, Đắk Lắk
0795 561 865

ĐĂNG KÝ NGAY - NHẬN TƯ VẤN MIỄN PHÍ!

Website: https://www.cddaklak.edu.vn



TRƯỜNG ĐẠI HỌC KIẾN TRÚC HÀ NỘI

Số 129, đường Trần Phú, phường Hà Đông, thành phố Hà Nội, Việt Nam

024. 3854 1616

Chúc mừng

NGÀY BÁO CHÍ CÁCH MẠNG VIỆT NAM 21/6

CÔNG TY CỔ PHẦN TƯ VẤN THIẾT KẾ GIAO THÔNG VẬN TẢI PHÍA NAM

Địa chỉ: 530 Võ Văn Kiệt - Phường Cầu Ông Lãnh - Thành phố Hồ Chí Minh

Email: Tedisouth@tedisouth.com **Website:** www.tedisouth.com

Chúc mừng

NGÀY BÁO CHÍ CÁCH MẠNG VIỆT NAM 21/6



TRUNG TÂM QUY HOẠCH VÀ KIỂM ĐỊNH XÂY DỰNG KHÁNH HÒA

Chúc Mừng

Ngày

21/6

BÁO CHÍ CÁCH MẠNG VIỆT NAM

PHÒNG THÍ NGHIỆM KHU VỰC PHÍA BẮC KHÁNH HÒA
Số 224 đường 23 tháng 10, phường Tây Nha Trang, tỉnh Khánh Hòa
0258.3820317

PHÒNG THÍ NGHIỆM KHU VỰC PHÍA NAM KHÁNH HÒA
Số 89 đường Bùi Thị Xuân, phường Đông Hải, tỉnh Khánh Hòa
0259.3822505
0259.3826207

CÔNG TY TNHH XÂY DỰNG VÀ VẬN TẢI HƯNG THỊNH

Địa chỉ: Khu phố Bắc sơn 7, phường Vàng Danh, tỉnh Quảng Ninh

Chúc mừng

NGÀY BÁO CHÍ CÁCH MẠNG VIỆT NAM

21/6



TRUNG TÂM THỬ NGHIỆM XE CƠ GIỚI

VIETNAM MOTOR VEHICLE TESTING CENTER

Địa chỉ: Số 18 đường Phạm Hùng, phường Từ Liêm, TP Hà Nội

Chúc mừng 21/6

NGÀY BÁO CHÍ CÁCH MẠNG VIỆT NAM



CHI NHÁNH VẬN TẢI ĐƯỜNG SẮT ĐÀ NẴNG

BÁN VÉ TÀU HỎA QUA ĐIỆN THOẠI – TIỆN LỢI – NHANH CHÓNG

❖ Tiện lợi, không cần phải trực tiếp ra ga - Mua vé mọi lúc, mọi nơi chỉ với một cuộc gọi.
❖ Nhanh chóng - Thủ tục đơn giản, nhận vé điện tử gửi qua zalo, Messenger ngay lập tức.
❖ Hỗ trợ tốt hơn - Được nhân viên tư vấn hành trình, giá vé, khuyến mãi chi tiết.

☎ Đặt vé online tại **Ga Đà Nẵng:** **0919.077.012**
☎ Đặt vé online tại **Ga Tam Kỳ:** **0917.970.034**
☎ Đặt vé online tại **Ga Quảng Ngãi:** **0919.570.034**

VẬN CHUYỂN HÀNH KHÁCH & GIAO NHẬN HÀNH LÝ

❖ Tổ chức vận chuyển hành khách trọn gói bằng đường sắt theo hình thức nguyên toa, nguyên đoàn tàu (đoàn tàu charter) và các dịch vụ gia tăng kèm theo.
❖ Vận chuyển hành lý - bao gửi, ký gửi bằng tàu khách thống nhất theo yêu cầu của hành khách từ:

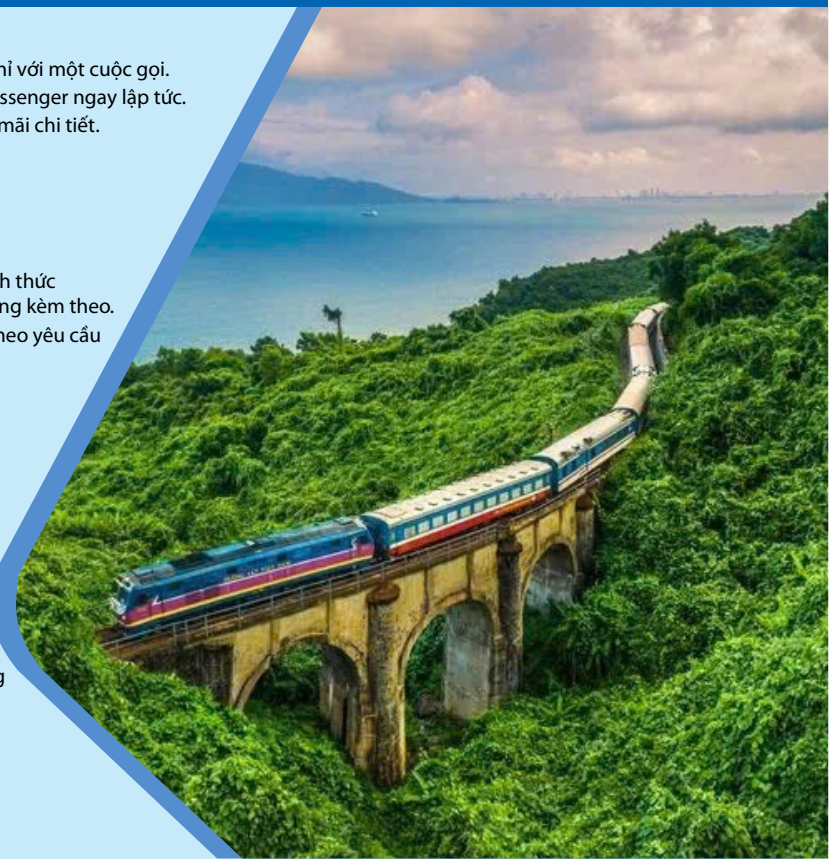
- **NHÀ ĐẾN NHÀ**
- **KHO ĐẾN KHO**
- **GA ĐẾN GA**

☎ **Ga Đà Nẵng: 02363.893.245** hoặc ☎ **0982.251.393**
☎ **Ga Tam Kỳ: 02353.851.011** hoặc ☎ **0914.023.538**
☎ **Ga Quảng Ngãi: 02553.718.298** hoặc ☎ **0935.393.279**
✉ Email: hanhlygadanang@gmail.com

DỊCH VỤ VẬN CHUYỂN HÀNG NGUYÊN TOA BẰNG TÀU HỎA

❖ Vận chuyển hàng hoá nguyên toa đi và đến tất cả các Ga trên các tuyến đường sắt.
❖ Ưu điểm: Chi phí tiết kiệm - Giá cước cạnh tranh so với các phương thức vận tải khác.

☎ **Mr Thành** - Giám đốc: **0986.767695**
☎ **Mr Long** - Phó giám đốc: **0975.036624**
☎ **Ms Tuyền** - Phó Giám đốc: **0386.767718**
☎ **Ms Dương** - TP Kinh doanh: **0387.351335**
Facebook: Chi nhánh vận tải đường sắt Đà Nẵng



CÔNG TY TNHH MTV ĐẠM NINH BÌNH

Địa chỉ: Lô A1.1, Khu công nghiệp Khánh Phú, Phường Đông Hoa Lư, Tỉnh Ninh Bình
Số điện thoại: 0229.376.28.25 Email: damninhbinh.nfep@gmail.com

Chúc mừng
NGÀY BÁO CHÍ CÁCH MẠNG VIỆT NAM
21/6



HỘ KINH DOANH
NGÔ QUỐC KHÁNH

Chúc mừng
NGÀY BÁO CHÍ
CÁCH MẠNG VIỆT NAM
21/6



Địa chỉ: Khu Cổ Lễ, phường Hoàng Quế, tỉnh Quảng Ninh

CÔNG TY TNHH 389 QUẢNG NAM

Địa chỉ: Tổ 7, Khối phố Khúc Luỹ, phường Điện Bàn, TP Đà Nẵng

Chúc mừng 21/6

NGÀY BÁO CHÍ
CÁCH MẠNG VIỆT NAM



VINACONEX

VINACONEX 25

CHẤT LƯỢNG



AN TOÀN



42 năm

VINACONEX 25

Hội tụ giá trị, vững bước đi lên

Khẳng định năng lực bằng những công trình **chất lượng**, thi công **an toàn** và đảm bảo **tiến độ**. Chúng tôi không ngừng đổi mới, tối ưu nguồn lực để kiến tạo những giá trị bền vững cho khách hàng, đối tác và cộng đồng.



TIẾN ĐỘ

CÔNG TY CỔ PHẦN ĐƯỜNG BỘ BẮC GIANG

Địa chỉ: tổ dân phố Đông Giang, phường Bắc Giang, tỉnh Bắc Ninh

Chúc Mừng 21/6
NGÀY BÁO CHÍ
CÁCH MẠNG VIỆT NAM



HNB

TỔNG CÔNG TY VẬN TẢI HÀ NỘI
CÔNG TY CỔ PHẦN BẾN XE HÀ NỘI
Địa chỉ: Gác 2, Bến xe Giáp Bát, Phường Hoàng Mai, TP Hà Nội

NEW!

CITYLINE
KẾT NỐI MỌI HÀNH TRÌNH

Dịch vụ trung chuyển hành khách tại các bến xe Giáp Bát, Mỹ Đình, Gia Lâm



Chúc Mừng 21/6
NGÀY BÁO CHÍ
CÁCH MẠNG VIỆT NAM

Hotline: 1900 1825
Website: www.benxehanoi.vn

Trường Đại Học Xây Dựng Hà Nội

Viện Bảo tồn và Phát triển bền vững

Được thành lập từ năm 2024, **IPD** hợp tác cùng nhiều doanh nghiệp và chuyên gia trong nước, quốc tế nhằm mang đến các giải pháp và dịch vụ chất lượng cho khách hàng.

LĨNH VỰC HOẠT ĐỘNG:

1. **Nghiên cứu khoa học và phát triển công nghệ** trong các lĩnh vực bảo tồn di sản, kiến trúc, đô thị, cảnh quan, môi trường và phát triển bền vững.
2. **Tư vấn, đào tạo, tổ chức hội nghị/hội thảo khoa học**, cung cấp dịch vụ và chuyển giao khoa học công nghệ.
3. **Hợp tác trong nước và quốc tế**; sản xuất thử nghiệm các sản phẩm thuộc lĩnh vực hoạt động của Viện.

"Responsibility
Creativity
Quality"



Viện trưởng: PGS. TS. KTS Nguyễn Đình Thi

0917.169.929

https://ipd.huce.edu.vn/

ipd@huce.edu.vn

P600, toà A1, Trường Đại học Xây Dựng Hà Nội,
55 Giải Phóng, Hai Bà Trưng, Hà Nội

CÔNG TY CỔ PHẦN
QUẢN LÝ VÀ XÂY DỰNG ĐƯỜNG BỘ 472

Địa chỉ: Phố Thịnh Hùng, Phường Quảng Phú, Tỉnh Thanh Hóa



Chúc mừng
NGÀY BÁO CHÍ 21/6
CÁCH MẠNG VIỆT NAM

CÔNG TY TNHH THƯƠNG MẠI DỊCH VỤ VẬN TẢI XÂY DỰNG GIAO THÔNG T&T

Giám đốc: Nguyễn Công Bính
Địa chỉ: 98 đường Đào Duy Từ, Phường Diên Hồng, TP.HCM
Điện thoại: 028 3500 1088



Chúc mừng 21/6
NGÀY BÁO CHÍ CÁCH MẠNG VIỆT NAM



TỔNG CÔNG TY LẮP MÁY VIỆT NAM - CTCP
LILAMA CORPORATION
Địa chỉ: 124 Minh Khai, Phường Tương Mai, Thành phố Hà Nội
Tel: 024.38633067; 024.38632059; 024.38637747 - Fax: 02438638104
website: https://lilama.com.vn

CHÚC MỪNG NGÀY BÁO CHÍ CÁCH MẠNG VIỆT NAM 21/6



CÔNG TY CỔ PHẦN ĐƯỜNG SẮT THUẬN HẢI

AN TOÀN - THUẬN TIỆN - THÂN THIỆN - ĐÚNG GIỜ - HIỆU QUẢ

Địa chỉ: 15 Minh Mạng, phường Đô Vinh, tỉnh Khánh Hòa

Điện thoại: 0259.3888037 Fax: 0259.3888763

Chúc Mừng

NGÀY BÁO CHÍ CÁCH MẠNG VIỆT NAM

21/6



CÔNG TY CỔ PHẦN NƯỚC SẠCH BẮC NINH

Địa chỉ: Số 8 Nguyễn Hữu Du, phường Kinh Bắc, tỉnh Bắc Ninh

Điện thoại: 1900 - 234555

Chúc Mừng 21/6

NGÀY BÁO CHÍ CÁCH MẠNG VIỆT NAM





Nhà máy nước mặt Bắc Ninh



TRUNG TÂM THỬ NGHIỆM KHÍ THẢI PHƯƠNG TIỆN GIAO THÔNG CƠ GIỚI ĐƯỜNG BỘ

NATIONAL MOTOR VEHICLE EMISSION TEST CENTER – NETC

Địa chỉ: Km 15+200, Quốc lộ 1A, thôn Yên Phú, xã Ngọc Hồi, TP. Hà Nội
Điện thoại: 0243.6893666; Fax: 0243.6893555
Giám đốc: Nguyễn Hoài Nam

Trung tâm Thử nghiệm khí thải phương tiện giao thông cơ giới đường bộ được thành lập ngày 21/09/2009 theo Quyết định số 2737/QĐ-BGTVT của Bộ trưởng Bộ Giao thông vận tải (nay là Bộ Xây dựng). Trung tâm được trang bị hệ thống thiết bị thử nghiệm khí thải, đo độ khói, đo tiêu thụ nhiên liệu/năng lượng đạt chuẩn châu Âu.

CÁC LĨNH VỰC THỬ NGHIỆM:

- Thử nghiệm khí thải của phương tiện giao thông đường bộ theo tiêu chuẩn mức 2,3,4,5:
  + Xe mô tô, xe gắn máy.
  + Xe ô tô hạng nhẹ.
  + Động cơ ô tô hạng nặng.
- Đo tiêu thụ nhiên liệu/năng lượng:
  + Đo mức tiêu thụ nhiên liệu bằng phương pháp cân bằng cacbon.
  + Đo mức tiêu thụ nhiên liệu bằng phương pháp đo trực tiếp.
  + Đo mức tiêu thụ năng lượng đối với mô tô điện, xe gắn máy điện, ô tô điện và ô tô hybrid điện hạng nhẹ.
- Dịch vụ kỹ thuật khác: Thử nghiệm theo yêu cầu đối với các dịch vụ kỹ thuật theo quy định của Cục Đăng kiểm Việt Nam và quy định pháp luật.



Chúc mừng
NGÀY BÁO CHÍ CÁCH MẠNG
VIỆT NAM 21/6

CÔNG TY TNHH THƯƠNG MẠI VÀ DỊCH VỤ VT TRINH

Địa chỉ: Khu dân cư số 2, phường An Thắng, TP Đà Nẵng



Chúc mừng

NGÀY BÁO CHÍ CÁCH MẠNG VIỆT NAM 21/6

PETROVIETNAM BIENDONG POC

CHI NHÁNH TẬP ĐOÀN CÔNG NGHIỆP - NĂNG LƯỢNG QUỐC GIA VIỆT NAM

CÔNG TY ĐIỀU HÀNH DẦU KHÍ BIỂN ĐÔNG

101 NGÀY BÁO CHÍ năm CÁCH MẠNG VIỆT NAM

21/6/1925 - 21/6/2026



Lầu 3, Tòa nhà Petro Việt Nam, 1-5 Lê Duẩn, P. Sài Gòn, TP. Hồ Chí Minh | Điện thoại: (84-28) 3824 5588 | Fax: (84-28) 3520 2999 | Website: www.biendongpoc.vn

CÔNG TY CỔ PHẦN
QUẢN LÝ VÀ XÂY DỰNG ĐƯỜNG BỘ QUẢNG NAM - ĐÀ NẴNG

Địa chỉ: 10B Nguyễn Chí Thanh, phường Hải Châu, TP Đà Nẵng



Chúc mừng
NGÀY BÁO CHÍ
CÁCH MẠNG VIỆT NAM
21/6

TH
THÀNH HƯNG QUẢNG YÊN

CÔNG TY THƯƠNG MẠI VÀ ĐẦU TƯ XÂY DỰNG THÀNH HƯNG QUẢNG YÊN

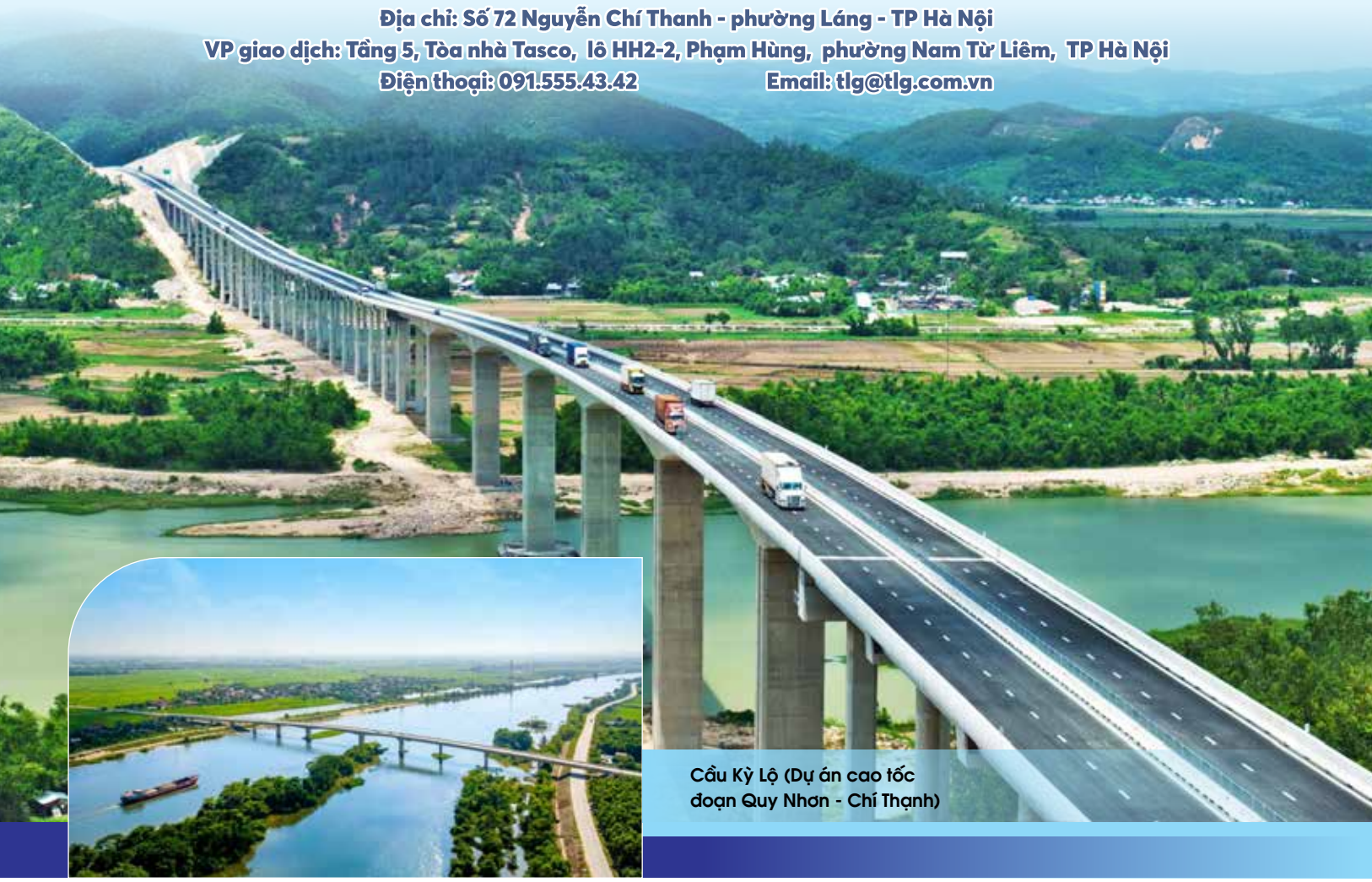
Trụ sở: Khu Vườn Chay, Phường Quảng Yên, Tỉnh Quảng Ninh
VPĐD: 296 Cửa Tràng, Phường Quảng Yên, Tỉnh Quảng Ninh
Hotline: 0910181236 MST: 5701.854.834
Email: thanhhungquangyen@gmail.com

Chúc mừng
NGÀY BÁO CHÍ
CÁCH MẠNG VIỆT NAM
21/6



TỔNG CÔNG TY THĂNG LONG - CTCP

Địa chỉ: Số 72 Nguyễn Chí Thanh - phường Láng - TP Hà Nội
VP giao dịch: Tầng 5, Tòa nhà Tasco, lô HH2-2, Phạm Hùng, phường Nam Từ Liêm, TP Hà Nội
Điện thoại: 091.555.43.42 Email: tlg@tlg.com.vn



Cầu Kỳ Lộ (Dự án cao tốc đoạn Quy Nhơn - Chí Thạnh)

Cầu Bến Mới (Ninh Bình)



Cầu Phật Tích (Bắc Ninh)



Dự án thành phần Chí Thạnh - Vân Phong thuộc Dự án xây dựng đường bộ cao tốc Bắc - Nam phía Đông

HANOI Premium

TIẾP NỐI TINH HOA
KHÔNG NGỪNG TIẾN BƯỚC



NGƯỜI DƯỚI 18 TUỔI KHÔNG ĐƯỢC UỐNG RƯỢU BIA

HUD

TỔNG CÔNG TY ĐẦU TƯ PHÁT TRIỂN NHÀ VÀ ĐÔ THỊ



DỰ ÁN KHU ĐÔ THỊ SINH THÁI CHÁNH MỸ (GIAI ĐOẠN 1)

PHƯỜNG CHÁNH HIỆP, THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

TRỤ SỞ: TÒA NHÀ HUDTOWER, SỐ 37 LÊ VĂN LƯƠNG, PHƯỜNG THANH XUÂN, THÀNH PHỐ HÀ NỘI
TEL: (84-24) 3773 8600 * FAX: (84-24) 3773 8640 * WEBSITE: HUD.COM.VN