

10-2025

ISSN 2734-9888

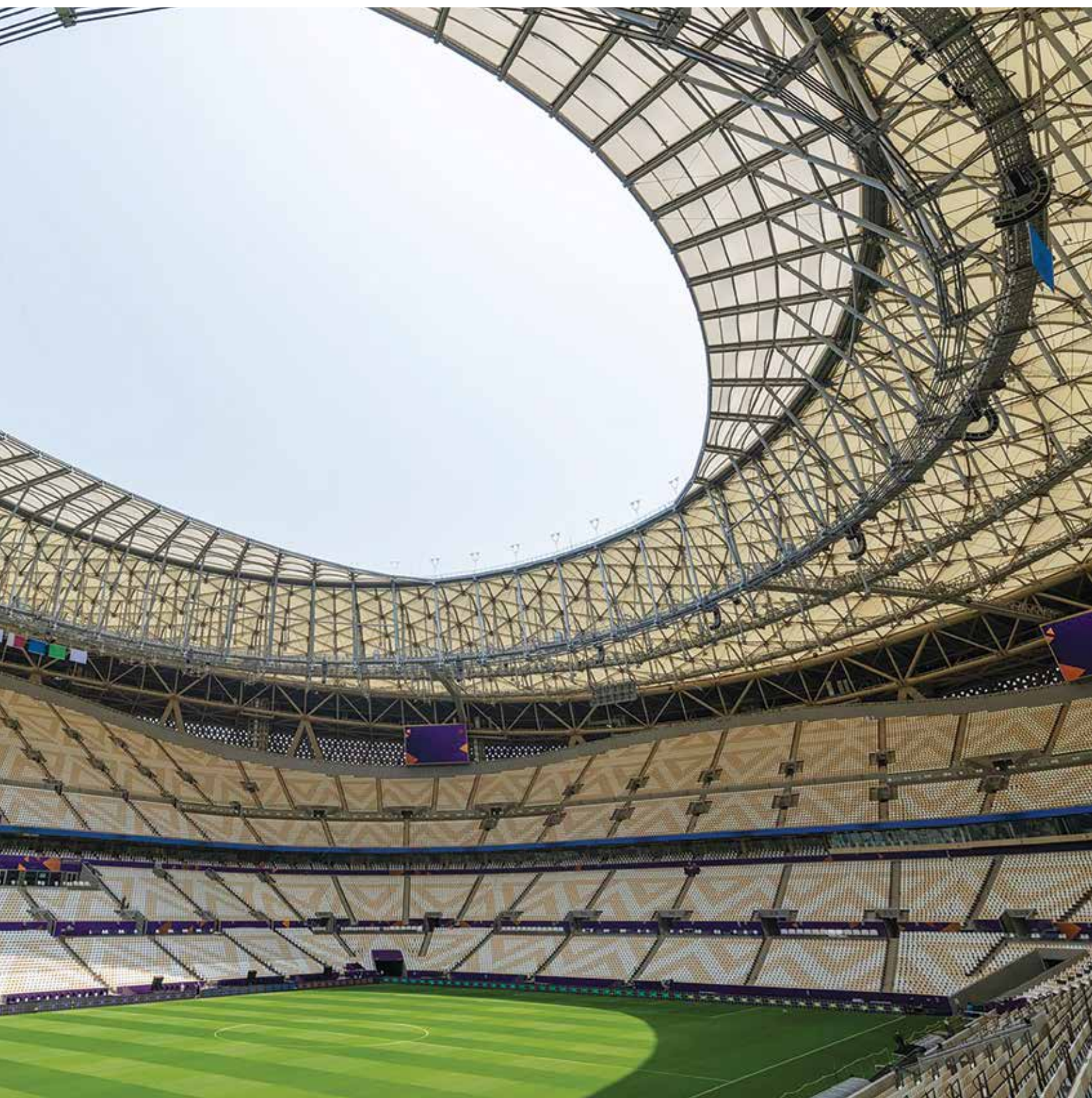
tapchixaydung.vn

www.tapchixaydung.vn

XÂY DỰNG

TẠP CHÍ CỦA BỘ XÂY DỰNG

JOURNAL OF CONSTRUCTION





Perfecting the Air

KHÔNG KHÍ LÝ TƯỞNG MỌI KHÔNG GIAN

TIỀN PHONG THU HỒI VÀ TÁI CHẾ MÔI CHẤT LẠNH

Quản lý môi chất lạnh
theo vòng đời



Mục tiêu
2025

Thu hồi
1,642 kg

môi chất lạnh R32, R410A, R22
(chất được kiểm soát)

Tiêu hủy: >1,000kg Tái chế: >500kg

Giảm thiểu phát thải:

>1,800 tấn **CO₂**
vào khí quyển

Tương đương với trồng

100,000 cây xanh trưởng thành

*Quy đổi dựa theo chỉ số nóng lên toàn cầu (GWP) tại phụ lục III thông tư Số: 11/VBHN-BNNMT



Điều Khiển Thông Minh

MARUTTO



Giám sát +
điều khiển từ xa

Điều khiển
tập trung

Tối ưu sử dụng
năng lượng

Dịch vụ bảo trì
tin cậy

Trao Quyền Quản Lý HVAC Kiểm Soát Liên Tục 24/7



MỤC LỤC CONTENT

10.2025 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
TS Lê Văn Cư - 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 Vinh Hưng - Ủy viên
GS.TS Phạm Huy Khang - Ủy viên
GS.TS.KTS Đoàn 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 Thắng - 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 Dũng
Nguyễn Thanh Hoa
Lý Ngọc Thanh

TÒA SOẠN:

37 LÊ ĐẠI HÀNH, P.HAI BÀ TRƯNG, 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: Sân vận động Lusail Iconic (Qatar) - nơi diễn ra trận chung kết World Cup 2022, do doanh nghiệp Việt cung cấp kết cấu thép, thi công và lắp dựng.

THANH NGA, TUẤN ĐÔNG
MINH THÀNH, ĐÌNH QUANG
CẨM PHÚ

QUẢN LÝ NGÀNH

6 Xây dựng khung pháp lý linh hoạt về quy hoạch cho mô hình chính quyền 2 cấp
8 Sửa đổi toàn diện Luật Hàng không dân dụng Việt Nam để chấp những cánh bay
12 Chuẩn hóa và minh bạch hoạt động kiểm định phương tiện

TỪ CHÍNH SÁCH ĐẾN CUỘC SỐNG

THANH PHONG **14** Bức tranh toàn cảnh và chính sách thúc đẩy công trình xanh
BÍCH DIỆP **18** Phát triển xanh trong ngành Xây dựng: Nhận diện điểm nghẽn và gợi mở từ kinh nghiệm quốc tế
THANH TÂM **20** Kỳ vọng doanh nghiệp sản xuất VLXD dẫn dắt hành trình chuyển đổi xanh
THANH BÌNH **22** Giao thông xanh - trụ cột của chuyển đổi phát triển bền vững
HUY THẢO **24** Tạo lập chính sách phát triển nhà ở xã hội đồng bộ
THANH TRÀ **26** Phát triển nhà ở xã hội: "Điểm nghẽn" không ở vốn mà là thủ tục tại địa phương
THANH NGA **28** Hoàn thiện cơ sở định mức phục vụ quản lý chi phí dự án đường sắt
30 Phân tích điểm tương đồng các hệ thống tiêu chuẩn đường sắt trên thế giới
35 Xây dựng hệ thống tiêu chuẩn đường sắt mang bản sắc Việt Nam dựa trên các tiêu chuẩn hiện hành

TRÒ CHUYỆN VỚI CHUYÊN GIA

NGUYỄN HẠNH **38** "Tư duy toàn cầu để định vị doanh nghiệp Việt trên bản đồ thế giới"

GÓC NHÌN TỪ THỰC TIỄN

NGUYỄN HOÀNG LINH **44** Đắn đo quá lâu về căn nhà thứ 2!

AN TOÀN GIAO THÔNG

KHÁNH LÊ **46** Phát triển hạ tầng đường bộ cao tốc đồng bộ hiện đại
HOÀNG LONG **48** Cấp bách tổ chức lại giao thông trên toàn tuyến QL5

VẬT LIỆU XANH

PV **50** Chia khóa hóa giải thách thức kép của kiến trúc net-zero: Vai trò đột phá của vật liệu chống cháy thụ động trong kiến trúc Net - Zero

GIỚI THIỆU SÁCH MỚI

AN NHIÊN **54** Cấu trúc quy hoạch hành lang xanh thành phố Hà Nội

NGHIÊN CỨU KHOA HỌC

PGS.TS.GVCC.KTS NGUYỄN VŨ PHƯƠNG **55** Đô thị thông minh và nông thôn thông minh trong bối cảnh chính quyền hai cấp: Tiếp cận tích hợp và chuyển đổi số lãnh thổ
TỔNG THỊ HẠNH **62** Mô hình Quản lý giá trị tăng thêm từ đất (LVCA) các khu vực phát triển theo định hướng giao thông công cộng (TOD) tại TP.HCM
NGUYỄN HOÀNG ANH, NGÔ THỊ KIM DUNG **66** Tác động của tỷ lệ hẻm núi đô thị và hướng đường phố tới điều kiện vi khí hậu và tiện nghi nhiệt ngoài trời tại thành phố Đà Nẵng, Việt Nam
THS.KTS THÁI ANH VŨ, PGS.TS TRỊNH TÚ ANH **71** Nghiên cứu tái phát triển khu vực đất nâu: Trường hợp khu vực phía Tây TP.HCM
PGS.TS TRẦN QUANG PHÚ, **78** Nghiên cứu tổ chức vận tải theo mô hình TOD: Trường hợp nhà ga Thảo Điền thuộc tuyến đường sắt đô thị số 1 - TP Hồ Chí Minh
TS TRẦN QUÝ DƯƠNG, TS NGUYỄN THANH TÚ, **82** Công viên nghĩa trang - mô hình hạ tầng xanh mới hướng tới đô thị bền vững
TS NGUYỄN THÀNH TRUNG
THS.KTS LÊ HỒ TUYẾT NGÂN **88** Biểu hiện kiến trúc cổ điển phương Tây trên mặt đứng nhà cổ ở Sa Đéc, tỉnh Đồng Tháp
TS LÊ LAN HƯƠNG, THS NGUYỄN THÙY TRANG, **94** Thiết kế bao trùm trong nhà ở xã hội, nghiên cứu trường hợp tại Hà Nội
NGUYỄN ANH DŨNG, HOÀNG THANH NAM, TẠ TUẤN VIỆT, TRẦN TRÂM ANH
NGUYỄN NGỌC TÙNG, ĐẶNG HOÀNG BẢO KHƯƠNG, **99** Đặc điểm kiến trúc làng mộ An Bằng, thành phố Huế
TRẦN NHƯ GIA HẸN, DƯƠNG XUÂN THÁI, NGUYỄN DIỆU THIÊN
PGS.TS NGUYỄN HỒNG TIẾN **106** Nước với sức khỏe cộng đồng và vai trò của quản lý cấp nước đô thị
THS NGUYỄN THẾ LỬ **110** Nghiên cứu giải pháp bố trí hạ tầng kỹ thuật trong không gian tunnel kỹ thuật đa tiện ích phục vụ phát triển đô thị thông minh tại Việt Nam
PGS.TS BÙI TRƯỞNG SƠN, THS LÊ TIẾN NGHĨA **116** Nghiên cứu thiết lập quan hệ tải trọng - độ lún từ kết quả nén tĩnh cọc bằng hàm số xấp xỉ
THS MAI VŨ DUY, PGS.TS BÙI MẠNH HÙNG **120** Khung pháp lý về đầu tư và phát triển khu công nghiệp sinh thái tại Việt Nam
TS LÊ HOÀI LONG, NGUYỄN VĂN TÍNH, TS VÕ ĐĂNG KHOA **123** Nỗ lực của nhà thầu hướng đến thành công dự án nhà công nghiệp: Phân tích nghiên cứu liên quan



INDUSTRY MANAGEMENT

- THANH NGA, TUAN DONG 6 Developing a flexible legal framework for planning under the Two-level Government model
 MINH THANH, DINH QUANG 8 Comprehensive revision of Vietnam's Civil Aviation Law to foster new horizons for the Nation's Aviation Sector
 CAM PHU 12 Standardization and transparency of vehicle inspection activities

FROM POLICY TO LIFE

- THANH PHONG 14 Panorama and policies to promote green buildings
 BICH DIEP 18 Green Development in the Construction Industry: Identifying bottlenecks and suggestions from international experience
 THANH TAM 20 Expecting construction material manufacturing enterprises to lead the green transformation journey
 THANH BINH 22 Green transport - The pillar of sustainable development transformation
 HUY THAO 24 Formulating a comprehensive policy for social housing development
 THANH TRA 26 Social Housing development: The bottleneck lies not in funding, but in Local Administrative procedures
 THANH NGA 28 Completing the standard basis for railway project cost management
 PHAN VAN NINH, NGUYEN HUY HIEP, DINH QUANG TRUNG 30 Analysis of similarities of railway standard systems in the world
 NGUYEN HUY HIEP, TRAN TRUNG DUC 35 Building a railway standards system with Vietnamese identity based on current standards

TALK WITH EXPERTS

- NGUYEN HANH 38 Global mindset to position Vietnamese enterprises on the World map

PERSPECTIVE TO PRACTICAL

- NGUYEN HOANG LINH 44 Hesitating too long about the second home!

TRANSPORTATION SAFETY

- KHANH LE 46 Development of modern, synchronous highway infrastructure
 HOANG LONG 48 Urgent reorganization of traffic along the entire National Highway No. 5

GREEN MATERIALS

- PV 50 The Key to Solving the Dual Challenges of Net-Zero Architecture: The Breakthrough Role of Passive Fire Protection Materials in Net-Zero Architecture

ABOUT NEW BOOK

- AN NHIEU 54 Green corridor planning structure of Hanoi city

SCIENTIFIC RESEARCH

- NGUYEN VU PHUONG 55 Smart cities and smart rural area in the context of a two-tier government: An integrated approach to territorial digital transformation
 TONG THI HANH 62 Land Value Capture Management Models in Transit-Oriented Development (TOD) Areas in Ho Chi Minh City
 NGUYEN HOANG ANH, NGO THI KIM DUNG 66 Impacts of urban canyon aspect ratio and street orientation on microclimate and outdoor thermal comfort in Da Nang, Vietnam
 THAI ANH VU, TRINH TU ANH 71 Research on brownfield redevelopment: A case study of the Western area Ho Chi Minh City
 TRAN QUANG PHU, NGUYEN HONG THAI, BUI QUOC AN 78 A study on transport organization based on the TOD model: The case of Thao Dien station on urban railway line No. 1 - Ho Chi Minh City
 TRAN QUY DUONG, NGUYEN THANH TU, NGUYEN THANH TRUNG 82 Cemetery park - a new green infrastructure model towards sustainable urban development
 LE HO TUYET NGAN 88 Manifestations of Western Classical architecture on the façades of historic houses in Sa Dec, Dong Thap province
 LE LAN HUONG, NGUYEN THUY TRANG, NGUYEN ANH DUNG, HOANG THANH NAM, TA TUAN VIET, TRAN TRAM ANH 94 Inclusive design in social housing, case-study in Hanoi
 NGUYEN NGOC TUNG, DANG HOANG BAO KHUONG, TRAN NHU GIA HAN, DUONG XUAN THAI, NGUYEN DIEU THIEN 99 Architectural features of An Bang tombs in Hue City
 NGUYEN HONG TIEN 106 Water and public health the role of urban water supply management
 NGUYEN THE LU 110 Research on technical infrastructure arrangement solutions in multiutility technical tunnel space to serve smart urban development in Vietnam
 BUI TRUONG SON, LE TIEN NGHIA 116 Research on establishing load - settlement relationship from static compression results of piles using approximate functions
 MAI VU DUY, BUI MANH HUNG 120 Legal framework on investment and development of eco-industrial park in Vietnam
 LE HOAI LONG, NGUYEN VAN TINH, VO DANG KHOA 123 Contractor effort toward industrial projects success: An analysis of related studies
 CAO THIEN AN, MA CHI HIEU 128 Performance comparison of SARIMA and SARIMAX models in forecasting container cargo volume at Busan Port

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
Dr. Le Van Cu
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:

37 LE DAI HANH, HAI BA TRUNG, HANOI

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

10.2025 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
TS Lê Văn Cư - 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 Vinh 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 Dũng
Nguyễn Thanh Hoa
Lý Ngọc Thanh

CAO THIÊN ẮN, MÃ CHÍ HIẾU NGUYỄN HOÀI NGHĨA	128	So sánh hiệu quả mô hình SARIMA và SARIMAX trong dự báo lượng hàng container tại cảng Busan
TS ĐỖ VĂN THUẬN, PGS.TS NGUYỄN LƯƠNG HẢI	132	Ứng dụng mô hình System Dynamics trong mô phỏng và đánh giá phương án đầu tư xây dựng dự án nhà phố - chung cư
TS TRẦN TRUNG KIẾN	137	Nghiên cứu sự vận động của kiểm soát vốn đầu tư công trong xây dựng cơ sở hạ tầng giao thông tại Việt Nam
THS.NCS TRỊNH ĐÌNH CƯỜNG, PGS.TS HỒ THỊ THU HÒA, KS NGUYỄN THANH DANH	140	So sánh các khung báo cáo ESG và khuyến nghị đối với các doanh nghiệp xây dựng Việt Nam
TS HOÀNG NGỌC SƠN, THS BÙI THỊ NHƯ LOAN	144	Đánh giá mức độ quan trọng của các yếu tố tác động đến sự phát triển bền vững nguồn nhân lực logistics: Trường hợp tại khu vực Đông Nam Bộ
TS. NGUYỄN TIẾN QUÝ, TS NGUYỄN VĂN KHOA	148	Kinh nghiệm của Hàn Quốc và Trung Quốc trong quản lý, giám sát và thanh tra tài chính dự án đầu tư công và bài học cho Việt Nam
TS ĐỖ VĂN THÁI	151	Nghiên cứu sự thay đổi hành vi đi lại của hành khách sau khi tuyến đường sắt đô thị Nhổn - Cầu Giấy vận hành
TS CAO VĂN LÂM, TS LÊ ĐÌNH VIỆT, HOÀNG PHƯỚC DỰC	156	Nâng cao hiệu quả việc thực hành tay nghề thi công cơ bản và công tác sản xuất kết hợp sinh viên Khoa Công trình - Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải
TS NGUYỄN MINH NHẤT, TS NGUYỄN QUỐC ĐẠT	161	Ứng dụng nội suy và biến đổi Fourier để nâng cao độ chính xác tần số cộng hưởng cảm biến dây rung
TS LÊ BẢO QUỐC THS HOÀNG HỮU ĐỨC	168	Ứng dụng BIM trong quản lý tiến độ thi công xây dựng: Một số vấn đề cần lưu ý
KS TRẦN ĐĂNG HUY, TS NGUYỄN THỊ THANH VÂN, TS NGUYỄN HOÀNG QUÂN	174	Nghiên cứu ứng dụng giải pháp túi D-Box trong xử lý nền đất yếu tại tỉnh Đồng Tháp
KS NGUYỄN VĂN QUÂN, KS ĐẶNG THỊ THU HẰNG	178	Ứng dụng GIS và ngôn ngữ lập trình VBA xây dựng và khai thác cơ sở dữ liệu giải phóng mặt bằng đường cao tốc TP.HCM - Mộc Bài đoạn qua xã Thái Mỹ, TP.HCM
THS PHẠM HUY TÙNG, PGS.TS NGUYỄN LƯƠNG HẢI	182	Nghiên cứu khảo sát mô hình động lực học của thiết bị bay sử dụng động cơ 2 tầng cánh
THS.KS TRẦN THỊ MINH THU NGUYỄN MINH TUẤN ANH, PHAN VĂN HUỆ, VÕ VĂN NAM, TRƯƠNG QUANG HẢI	186	Nghiên cứu, thiết kế hệ thống giám sát toàn tàu OKS.VN dựa trên nền tảng PLC/HMI và thuật toán xử lý tín hiệu tiên tiến
THS LÊ THÀNH TRUNG, TS BẠCH VŨ HOÀNG LAN THS NGUYỄN THANH TRƯỜNG	192	Nghiên cứu hiệu suất khai thác nhóm thiết bị xe nâng tại các dự án đầu tư xây dựng cảng biển container ở Việt Nam
THS TRẦN THU MINH, THS LÊ HÀ LINH, TS TRẦN NGỌC HÒA, PGS.TS TRẦN THẾ TRUYỀN	196	IFCS: Kỳ vọng về cuộc cách mạng trao đổi thông tin trong xây dựng kỹ thuật số
THS VƯƠNG THẾ HÙNG, THS NGUYỄN QUỐC TRÚC, TS TRẦN HỮU BẰNG, PGS.TS LÊ VĂN BÁCH	199	Mô phỏng ứng xử liên kết cột ống thép nhồi bê tông với sàn phẳng bê tông cốt thép khi chịu mô men không cân bằng
PGS.TS NGUYỄN ANH DŨNG, NGUYỄN ĐĂNG KHÔI TS NGUYỄN ĐÌNH HÒA, PGS.TS NGUYỄN NGỌC LINH, PGS.TS NGUYỄN NGỌC TÂN, PGS.TS NGUYỄN TRUNG KIẾN TS NGUYỄN THỊ HƯƠNG GIANG	204	Phương pháp đường kính tương đương trong mô phỏng cọc khoan nhồi phục vụ đọc thành cọc
NCS NGÔ VĂN TÌNH, TS LƯƠNG XUÂN CHIỂU, PGS.TS NGUYỄN THANH SANG	208	Giải pháp giằng cắt đóng túi trong xử lý nền đất yếu và khả năng ứng dụng tại Việt Nam
PGS.TS NGUYỄN THỊ TUYẾT TRINH	212	Phân tích ảnh hưởng của ăn mòn cấp đến sức kháng của kết cấu dầm bê tông dự ứng lực
THS ĐỖ THÁI GIANG, THS PHẠM THANH TÙNG	216	Ảnh hưởng hàm lượng tro bay và phụ gia hóa học đến một số tính chất bê tông xi măng
TS VƯƠNG XUÂN CẦN, THS NGUYỄN THẾ ANH THS LÊ VĂN THỨC KS HOÀNG PHỐ ÁNH	221	Phân tích nội lực sàn bê tông lắp ghép theo phương ngang
THS NGUYỄN LAN ANH, TS VŨ PHƯƠNG THẢO	226	Phân tích hiệu quả kỹ thuật và chi phí vòng đời của bể chứa nhôm và thép trong môi trường biển
NGUYỄN SỸ ĐỨC, ĐÌNH NGỌC TRUNG, LÊ HUY VIỆT, NGÔ XUÂN HÙNG	231	Xác định hệ số dẫn nhiệt ngang của vật liệu composite cốt sợi thủy tinh đồng phương nền epoxy bằng phương pháp học máy
NGUYỄN THỊ HỒNG HƯƠNG, LƯƠNG THANH TÂM NGUYỄN THẾ THÔNG, LẠI VĂN MẠNH, NGUYỄN MINH KHOA, NGUYỄN CÔNG THÀNH, KARLA CERVANTES BARRON, PHẠM VĂN NAM, TRẦN HOÀI LÊ	234	Thiết kế thực nghiệm bê tông xi măng cốt liệu tái chế trong xây dựng mặt đường bằng phương pháp Taguchi
	238	Phân tích và khuyến nghị hoàn thiện tiêu chuẩn gối cầu TCVN 13594-8:2023 cho cầu đường sắt tốc độ cao có yêu cầu kháng chấn
	242	Thiết kế điều khiển ổn định lệch hướng cho ô tô điện sử dụng mô hình động học logic hỗn hợp kết hợp với điều kiện dự báo mô hình
	246	Phân tích tai nạn giao thông liên quan đến người đi bộ ở nước ta bằng Python
	250	Nghiên cứu, kiến nghị hoàn thiện mô hình hoa tiêu hàng hải Việt Nam
	254	Nghiên cứu đánh giá an toàn công trình đường sắt trong quá trình khai thác
	258	Nghiên cứu lan truyền ô nhiễm không khí do hoạt động dòng xe tại nút giao Giảng Võ - Láng Hạ - Đề La Thành
	264	Ảnh hưởng của phụ gia polymer đến một số tính chất cơ học của vữa cường độ cao cho công trình biển
	270	Nghiên cứu thực trạng phát sinh chất thải tại Viện Huyết học - Truyền máu Trung ương
	274	Ứng dụng phân tích dòng vật chất để xuất các khuyến nghị chính sách trong triển khai kinh tế tuần hoàn cho ngành công nghiệp bao bì giấy tại Việt Nam



NGUYEN HOAI NGHIA	132	Application of System Dynamics modeling in simulating and evaluating townhouse - condominium investment alternatives
DO VAN THUAN, NGUYEN LUONG HAI	137	A study on the dynamics of public investment capital control in transportation infrastructure development in Vietnam
TRAN TRUNG KIEN	140	Comparison of ESG reporting frameworks and recommendations for Vietnamese construction enterprises
TRINH DINH CUONG, HO THI THU HOA, NGUYEN THANH DANH	144	Assessing the importance of factors affecting the sustainable development of logistics human resources: The case of the Southeast region
HOANG NGOC SON, BUI THI NHU LOAN	148	Experiences of Korea and China in financial management, supervision and inspection of public investment projects and lessons for Vietnam
NGUYEN TIEN QUY, NGUYEN VAN KHOA	151	Study on changes in passengers' travel behavior after the Nhon - Cau Giay urban railway began operation
DO VAN THAI	156	Improving practical training and production integration for Civil Engineering Students at the University of Transport Technology
CAO VAN LAM, LE DINH VIET, HOANG PHUOC DUC	161	Application of interpolation and Fourier transform to improve resonant frequency estimation in vibrating wire sensors
NGUYEN MINH NHAT, NGUYEN QUOC DAT	168	Implementation of building information modeling BIM in construction scheduling: Critical considerations
LE BAO QUOC	174	Research on the application of D-Box bags for soft soil improvement in Dong Thap province
HOANG HUU DUC	178	Applying GIS and VBA programming language to build and explore the database for the Ho Chi Minh City - Moc Bai expressway clearance, section through thai my commune, Ho Chi Minh City
TRAN DANG HUY, NGUYEN THI THANH VAN, NGUYEN HOANG QUAN	182	Dynamic modeling of a coaxial rotor aerial vehicle
NGUYEN VAN QUAN, DANG THI THU HANG	186	Research and design OKS.VN ship-wide monitoring system based on PLC/HMI platform and advanced signal processing algorithms
PHAM HUY TUNG, NGUYEN LUONG HAI	192	Operational efficiency analysis of forklift equipment in container terminal construction projects in Vietnam
TRAN THI MINH THU	196	IFCS: Expectations on the information exchange revolution in digital construction
NGUYEN MINH TUAN ANH, PHAN VAN HUE, VO VAN NAM, TRUONG QUANG HAI	199	Simulation of the behavior of connections between reinforced concrete flat-plate slab and concrete-filled steel tube columns subjected to unbalanced moments
LE THANH TRUNG, BACH VU HOANG LAN	204	Equivalent Diameter Method in Modeling Shaft-Grouted Bored Piles
NGUYEN THANH TRUONG	208	Geotextile sandbag well solution for soft ground improvement and its potential application in Vietnam
TRAN THU MINH, LE HA LINH, TRAN NGOC HOA, TRAN THE TRUYEN	212	Influence of cable corrosion on the structural capacity of prestressed concrete beams
VUONG THE HUNG, NGUYEN QUOC TRUC, TRAN HUU BANG, LE VAN BACH	216	The effect of fly ash content and chemical admixtures on some properties of cement concrete
NGUYEN ANH DUNG, NGUYEN DANG KHOI	221	Analysis of internal forces of precast concrete floors in horizontal direction
NGUYEN DINH HOA, NGUYEN NGOC LINH, NGUYEN NGOC TAN, NGUYEN TRUNG KIEN	226	Technical and life-cycle cost analysis of aluminum and steel storage tanks in marine environments
NGUYEN THI HUONG GIANG	231	Determination of the transverse thermal conductivity of unidirectional glass fiber-reinforced epoxy composites using machine learning
NGO VAN TINH, LUONG XUAN CHIEU, NGUYEN THANH SANG	234	Experimental design of recycled aggregate cement concrete in road construction using Taguchi method
NGUYEN THI TUYET TRINH	238	Analysis and recommendations for improving the TCVN 13594-8:2023 standard on bridge bearings for high-speed railway bridges considering seismic requirements
DO THAI GIANG, PHAM THANH TUNG	242	Design of yaw stability control for electric vehicles using a mixed logical dynamical model combined with model predictive control
VUONG XUAN CAN, NGUYEN THE ANH	246	Analyzing traffic accidents involving pedestrians in Vietnam using Python
LE VAN THUC	250	Research and Recommendations for the Improvement of the Maritime Pilotage Model in Vietnam
HOANG PHO ANH	254	Research on safety assessment of railway structures in operation
NGUYEN LAN ANH, VU PHUONG THAO	258	Investigation of air pollution diffusion caused by traffic activities at the intersection of Giang Vo - Lang Ha - De La Thanh
NGUYEN SY DUC, DINH NGOC TRUNG, LE HUY VIET, NGO XUAN HUNG	264	Effect of polymer additives on mechanical properties of high-strength mortar for marine structures
NGUYEN THI HONG HUONG, LUONG THANH TAM	270	Research on the current status of waste generation at The national institute of Hematology and blood transfusion
NGUYEN THE THONG, LAI VAN MANH, NGUYEN MINH KHOA, NGUYEN CONG THANH, KARLA CERVANTES BAR-RON, PHAM VAN NAM, TRAN HOAI LE	274	Applying the material flow analysis to propose policy recommendations for implementing the circular economy for the paper packaging industry in Vietnam

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

Dr. Le Van Cu

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

Xây dựng khung pháp lý linh hoạt về quy hoạch cho mô hình chính quyền 2 cấp

**THANH NGÀ****TUẤN ĐÔNG**

Dự án Luật sửa đổi, bổ sung một số điều của Luật Quy hoạch đô thị và nông thôn trình thông qua tại kỳ họp thứ 10, Quốc hội khóa XV tới đây, tập trung vào việc xác định lại hệ thống quy hoạch đô thị và nông thôn theo hướng phù hợp với tổ chức chính quyền địa phương 2 cấp và làm rõ các thuật ngữ, quy định về phân loại đô thị.

PHÂN ĐỊNH THẨM QUYỀN VÀ ĐƠN GIẢN HÓA THỦ TỤC HÀNH CHÍNH

Dự án Luật sửa đổi, bổ sung một số điều của Luật Quy hoạch đô thị và nông thôn trình thông qua tại kỳ họp thứ 10, Quốc hội khóa XV, là bước đi quan trọng nhằm thể chế hóa kịp thời các chủ trương, chính sách của Đảng và Nhà nước, phù hợp với mô hình chính quyền địa phương 2 cấp, đồng thời giải quyết các vướng mắc, cải thiện môi trường đầu tư, kinh doanh.

Dự án Luật được xây dựng với quan điểm cốt lõi bảo đảm tính thống nhất, đồng bộ của hệ thống pháp luật (gồm: Luật Quy hoạch sửa đổi, Luật Đất đai sửa đổi, Luật Xây dựng sửa đổi...), đẩy mạnh phân quyền, phân cấp đi đôi với kiểm soát quyền lực và đơn giản hóa quy trình, thủ tục hành chính.

Theo đó, dự thảo Luật sửa đổi, bổ sung và chỉnh lý 37 điều, trong đó sửa đổi, bổ sung 16 điều để phân định thẩm quyền, phân cấp và đơn giản hóa thủ tục.

Đáng chú ý, dự thảo Luật tập trung vào việc xác định lại hệ thống quy hoạch đô thị và nông thôn theo hướng phù hợp với tổ chức chính quyền địa phương 2 cấp và làm rõ các thuật ngữ, quy định về phân loại đô thị.

Nội dung về phân quyền, phân cấp được nhấn mạnh, nhằm tăng tính chủ động cho địa phương, trong đó phân cấp thẩm quyền phê duyệt quy hoạch từ Thủ tướng Chính phủ xuống UBND cấp tỉnh đối với hầu hết các loại quy hoạch, trừ quy hoạch chung thành phố trực thuộc Trung ương và quy hoạch chung khu kinh tế. UBND cấp xã sẽ có thẩm quyền phê duyệt quy hoạch phân khu, quy hoạch chi tiết trong phạm vi địa giới hành chính. Việc phân cấp đi đôi với quy

định về cơ quan tổ chức thẩm định tương ứng, bảo đảm kiểm soát quyền lực.

Ngoài ra, dự thảo Luật cũng thực hiện cắt giảm, đơn giản hóa thủ tục hành chính như: chỉ quy định 3 cấp độ quy hoạch cho thành phố trực thuộc Trung ương, còn lại là 2 cấp độ (chung - chi tiết) hoặc 1 cấp độ (chi tiết) và bãi bỏ trách nhiệm cho ý kiến của Bộ Xây dựng trước khi UBND cấp tỉnh ban hành quy định quản lý theo quy hoạch...

XÁC ĐỊNH LẠI HỆ THỐNG QUY HOẠCH ĐÔ THỊ VÀ NÔNG THÔN PHÙ HỢP VỚI TỔ CHỨC CHÍNH QUYỀN ĐỊA PHƯƠNG 2 CẤP

Thẩm tra sơ bộ Dự án Luật, đa số ý kiến của Thường trực Ủy ban Kinh tế và Tài chính của Quốc hội nhất trí với sự cần thiết sửa đổi, bổ sung dự án Luật theo trình tự rút gọn, nhằm thể chế hóa các quan điểm chỉ đạo trong Nghị quyết số 06-NQ/TW của Bộ Chính trị về phát triển đô thị và Nghị quyết số 19-NQ/TW của Ban Chấp hành Trung ương về nông nghiệp, nông dân, nông thôn đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045.

Tuy nhiên, Thường trực Ủy ban Kinh tế và Tài chính cũng lưu ý một số nội dung cần chỉnh sửa, thống nhất bổ sung trước khi trình Quốc hội thông qua như: Rà soát kỹ lưỡng nội dung và thống nhất với pháp luật về đất đai; Trường hợp đưa chỉ tiêu sử dụng đất vào quy hoạch chung xã, cần nghiên cứu việc chỉ quy định các chỉ tiêu chủ yếu (như đất quốc phòng, an ninh, đất rừng, đất lúa) mà không quản lý bằng bản đồ sử dụng đất; hoàn thiện quy định về cơ quan thẩm định, thẩm quyền phê duyệt quy hoạch đô thị nông thôn, bảo đảm sự thống nhất với dự án Luật Quy hoạch (sửa đổi)...



Hoàn thiện thể chế về quy hoạch đô thị và nông thôn phù hợp với mô hình chính quyền địa phương mới.

Từ ngày 01/7/2025, Việt Nam chính thức triển khai mô hình chính quyền địa phương 2 cấp. Trước khi sắp xếp, hệ thống quy hoạch bao gồm quy hoạch tỉnh, quy hoạch huyện, quy hoạch chung đô thị, quy hoạch phân khu và quy hoạch chi tiết. Vì vậy, bên cạnh việc thống nhất sự cần thiết thông qua Dự án Luật sửa đổi, bổ sung một số điều của Luật Quy hoạch đô thị và nông thôn tại kỳ họp thứ 10, Quốc hội khóa XV, các chuyên gia cũng đưa ra một số khuyến nghị.

Theo PGS.TS Lưu Đức Hải - Viện trưởng Viện Nghiên cứu đô thị và phát triển hạ tầng (Tổng hội Xây dựng Việt Nam), cấp huyện không còn nữa nên việc thực hiện xây dựng theo quy hoạch đô thị được duyệt khó có thể giao ngay cho cấp xã, phường bởi cấp xã/phường không được trang bị đầy đủ năng lực chuyên môn và thẩm quyền tương ứng.

Đồng quan điểm, ông Trần Ngọc Chính - Chủ tịch Hội Quy hoạch phát triển đô thị Việt Nam cho rằng, sau sáp nhập, năng lực quản lý đô thị chưa đáp ứng yêu cầu thực tiễn. Cụ thể, nguồn nhân lực chất lượng cao về quy hoạch, kiến trúc, hạ tầng... còn thiếu đặc biệt ở cấp phường/xã; cơ chế tổ chức bộ máy của xã chưa được thiết kế để quản lý đô thị; thiếu công cụ quản lý hiện đại (Dữ liệu quy hoạch chưa thống nhất và liên thông ví dụ như hệ thống cơ sở dữ liệu quy hoạch số, GIS, nền tảng quản lý đô thị thông minh... dẫn đến công tác quản lý thiếu hiệu quả).

Trong khi đó, theo TS Trần Thị Nhâm - nguyên Phó viện trưởng Viện Quy hoạch đô thị và nông thôn (Bộ Xây dựng), sau sắp xếp, Bộ tiêu chí phân loại đô thị hiện hành không còn phù hợp để áp dụng cho các phường/cụm phường hoặc liên

phường/xã; ranh giới hành chính cũng có sự thay đổi, gây khó khăn trong việc áp dụng chính sách phát triển, thu hút đầu tư, và quản lý trật tự xây dựng - đất đai.

Đề xuất một số định hướng quy hoạch, quản lý và phát triển đô thị phù hợp với bối cảnh tổ chức chính quyền địa phương 2 cấp, PGS.TS Lưu Đức Hải cho rằng, trước tiên, cần xây dựng khung pháp lý linh hoạt cho phát triển đô thị trong mô hình 2 cấp chính quyền. Cụ thể: sửa đổi, bổ sung các luật liên quan đến quy hoạch, quản lý và phát triển đô thị (Luật Quy hoạch đô thị và nông thôn, Luật Xây dựng, Dự thảo Luật Quản lý phát triển đô thị...). Đồng thời, chuyển từ tư duy quản lý theo địa giới hành chính sang tư duy quản lý không gian và chức năng đô thị, nhằm kế thừa quy hoạch các đô thị đã được phê duyệt.

Thứ hai, đổi mới công tác quy hoạch xã: Ưu tiên lập quy hoạch chung và quy hoạch chi tiết cho các xã có triển vọng đô thị hóa cao. Triển khai các quy hoạch chung phường, quy hoạch chung liên phường, ưu tiên đối với các phường vừa được thành lập từ các thành phố, thị xã thuộc tỉnh, quy hoạch chung xã, quy hoạch liên xã, ưu tiên đô thị hóa đối với các xã có thị trấn vừa được nhập vào.

Thứ ba, một số nhiệm vụ cấp bách trước mắt như: Điều chỉnh quy hoạch tổng thể hệ thống đô thị - nông thôn quốc gia; điều chỉnh quy hoạch chung các đô thị đã được phê duyệt; quy hoạch chung xã với các xã có thị trấn mới được nhập vào, theo hướng đô thị hóa và theo hướng quy hoạch đô thị mới; xây dựng lại quy trình phân loại đô thị, không lệ thuộc vào đơn vị hành chính; ứng dụng số hóa và GIS đối với các loại hình quy hoạch đô thị trong bối cảnh mới...❖

Sửa đổi toàn diện Luật Hàng không dân dụng Việt Nam để chấp những cánh bay



Ông Ưông Việt Dũng -
Cục trưởng Cục Hàng không Việt Nam.



MINH THÀNH



ĐÌNH QUANG (thực hiện)

Luật Hàng không dân dụng Việt Nam (HKDDVN) năm 2006 đã góp phần hoàn thiện hành lang pháp lý quan trọng để ngành Hàng không Việt Nam phát triển vượt bậc, trở thành 1 trong 10 thị trường hàng không phát triển nhanh nhất khu vực châu Á - Thái Bình Dương. Tuy nhiên, sau 19 năm thi hành và trước những yêu cầu phát triển trong kỷ nguyên mới, đòi hỏi cấp thiết là phải sửa đổi toàn diện Luật HKDDVN. Tạp chí Xây dựng có cuộc trao đổi với ông Ưông Việt Dũng - Cục trưởng Cục Hàng không Việt Nam (Bộ Xây dựng), Tổ phó Thường trực Tổ soạn thảo Luật HKDDVN (thay thế) để làm rõ hơn vấn đề này.

LUẬT HKDDVN NĂM 2006 ĐÃ HOÀN THÀNH SỨ MỆNH

♦ **Thưa ông, để Việt Nam có một cơ sở hạ tầng và thị trường hàng không phát triển nhanh như hiện nay, Luật HKDDVN năm 2006 có vai trò như thế nào?**

- Luật HKDDVN năm 2006 đã thiết lập được hành lang pháp lý cho hoạt động hàng không dân dụng của Việt Nam. Hệ thống quản lý và giám sát an toàn hàng không được thiết lập phù hợp với tiêu chuẩn của Tổ chức Hàng không dân dụng quốc tế (ICAO), đảm bảo năng lực giám sát an toàn bay theo tiêu chuẩn quốc tế, tạo điều kiện cho các hãng hàng không Việt Nam tiếp cận tới các thị trường khó tính như Bắc Mỹ, châu Âu. Thực tế, Việt Nam được cộng đồng quốc tế đánh giá là một trong những quốc gia đứng đầu khu vực về năng lực giám sát, quản lý an toàn hàng không.

Cùng với đó, hệ thống bảo đảm an ninh hàng không tại Việt Nam được thiết lập đầy đủ, vận hành hiệu quả, tạo môi trường thuận lợi, bảo đảm tuyệt đối an ninh, an toàn hoạt động hàng không dân dụng.

Đặc biệt, các cảng hàng không, sân bay được đầu tư, xây dựng, cải tạo nâng cấp đã nâng cao năng lực khai thác, bảo đảm an ninh, an toàn.

Luật HKDDVN năm 2006 cũng đáp ứng yêu cầu quản lý nhà nước, làm rõ hơn trách nhiệm và quyền hạn của từng chủ thể tham gia trong lĩnh vực hàng không dân dụng.

Trong Báo cáo tổng kết thi hành Luật, Bộ Xây dựng cũng khẳng định, các chính sách quy định tại Luật HKDDVN năm 2006 đã tạo điều kiện để thúc đẩy phát triển ngành Hàng không, tạo động lực và góp phần thúc đẩy phát triển kinh tế và bảo vệ Tổ quốc. Các chính sách đã khuyến khích, thu hút các tổ chức, cá nhân trong và ngoài nước tham gia đầu tư xây dựng, khai thác, kinh doanh và phát triển hàng không dân dụng, hình thành và phát triển đội tàu bay mới, đa dạng, hiện đại và thân thiện môi trường, phát triển nguồn nhân lực hàng không cả về chất và lượng, đẩy mạnh hợp tác, hội nhập quốc tế... phục vụ mục tiêu xây dựng, phát triển kinh tế - xã hội, đảm bảo quốc phòng, an ninh của đất nước, vùng và địa phương.



Cảng hàng không Quốc tế Nội Bài

Ở một góc độ nào đó có thể nói, Luật HKDDVN năm 2006 đã hoàn thành xuất sắc sứ mệnh lịch sử của mình.

Do vậy, đã đến lúc Luật HKDDVN cần phải được xem xét để thay thế nhằm thể chế hóa chủ trương, chính sách của Đảng và Nhà nước, tiếp tục hoàn thiện cơ chế, chính sách trong lĩnh vực hàng không dân dụng; khắc phục những vướng mắc, bất cập cũng như đề xuất, giải quyết các vấn đề mới, vấn đề phát sinh.

Hồ sơ dự thảo Luật HKDDVN (thay thế) đã được Chính phủ chuẩn bị đầy đủ, đúng quy trình, đảm bảo chất lượng để trình Quốc hội xem xét, thông qua theo quy trình một kỳ họp tại kỳ họp tháng 10/2025.

♦ **Thưa ông, đâu là những nội dung bất cập của Luật HKDDVN năm 2006 cần sửa đổi, bổ sung?**

- Đơn cử, trong công tác quản lý nhà nước chuyên ngành về hàng không dân dụng, nội dung quy định về Nhà chức trách hàng không, người đứng đầu Nhà chức trách hàng không trong Luật HKDDVN vẫn chưa đảm bảo đầy đủ theo các quy định của ICAO.

Hay như quy định về an toàn hàng không chưa đảm bảo tính thống nhất, đồng bộ đối với các lĩnh vực hoạt động hàng không (cảng hàng không, sân bay, vận tải hàng không, quản lý hoạt động bay, khai thác tàu bay), chưa đáp ứng đầy đủ quy định của ICAO và thông lệ quốc tế.

Ngoài ra, có thể kể đến như: quy định về khai thác tàu bay và xuất khẩu tàu bay chưa phù hợp với điều ước quốc tế mà Việt Nam là thành viên; Quy định về quy hoạch vùng thông báo bay (FIR) tại Luật HKDDVN và Luật Quy hoạch chưa phù hợp với quy định của quốc tế.

Các quy định về ký hợp đồng với nhân viên hàng không trong Luật HKDDVN chưa phù hợp với quy định của Bộ luật Lao động và cách thức vận hành thị trường lao động hàng không trên thế giới, chưa tối ưu hóa công tác tuyển chọn, sử

dụng lao động.

Các quy định về trách nhiệm bảo đảm an ninh hàng không cũng cần được cập nhật để đảm bảo tính pháp lý do công tác quản lý nhà nước về an ninh hàng không đã được Bộ Công an tiếp nhận.

Bên cạnh đó, chưa có sự thống nhất trong “quy hoạch chi tiết cảng hàng không, sân bay” tại Luật HKDDVN và “quy hoạch cảng hàng không, sân bay” tại Luật Quy hoạch; quy định về thẩm quyền trong công tác lập quy hoạch đối với sân bay chuyên dùng...

Hệ thống pháp luật về đầu tư, xây dựng có nhiều thay đổi; công tác bảo trì, nâng cấp, mở rộng các công trình hàng không có tính chất lưỡng dụng gặp nhiều khó khăn do thiếu các quy định; các quy định về “doanh nghiệp cảng hàng không”, “người khai thác cảng hàng không”, “dịch vụ hàng không”, “dịch vụ hàng không tại cảng hàng không, sân bay” chưa đảm bảo tính rõ ràng, thống nhất, chưa phù hợp với thực tiễn quản lý, gây khó khăn, cản trở việc phát triển, nâng cao chất lượng dịch vụ để đáp ứng nhu cầu phát triển của nền kinh tế.

Chưa có quy định về kế hoạch phát triển đội tàu bay của các hãng hàng không Việt Nam phải phù hợp với kế hoạch và năng lực kết cấu hạ tầng, năng lực giám sát an toàn hàng không của Nhà chức trách hàng không...

KHƠI THÔNG CÁC ĐIỂM NGHIÊN

♦ **Với những nội dung ông vừa chia sẻ, có thể nhận thấy dự thảo Luật HKDDVN trình Quốc hội lần này có rất nhiều điểm mới?**

- Dự thảo Luật HKDDVN (thay thế) gồm 11 chương và 109 điều (giảm 93 điều so với Luật hiện hành) có nhiều nội dung mới, trong đó nổi bật là:

Một là, hoàn thiện khung pháp lý về công tác quản lý nhà nước chuyên ngành về hàng không dân dụng; bảo đảm thực

hiện các quy định của điều ước quốc tế, thỏa thuận quốc tế mà Việt Nam là thành viên và các khuyến cáo của ICAO.

Hai là, hoàn thiện khung pháp lý về an toàn hàng không đáp ứng các yêu cầu của ICAO về hệ thống quản lý an toàn hàng không quốc gia; tuân thủ quy định của quốc tế trong việc bảo đảm vai trò độc lập của cơ quan điều tra tai nạn hàng không với Nhà chức trách hàng không.

Tăng tính chủ động của các đơn vị, doanh nghiệp trong việc quản lý, giám sát nhân viên hàng không, đảm bảo hiệu quả hoạt động quản lý nhà nước và hoạt động quản lý của doanh nghiệp, thu hút nguồn nhân lực nhân viên hàng không, đặc biệt là nguồn nhân lực chất lượng cao để đảm bảo nhu cầu, sự phát triển của hoạt động hàng không dân dụng.

Ba là, hoàn thiện khung pháp lý về an ninh hàng không; quy định rõ vai trò của công tác bảo đảm an ninh hàng không, cơ quan quản lý nhà nước về an ninh hàng không trong tình hình mới. Phân định trách nhiệm bảo đảm an ninh hàng không của các chủ thể hoạt động trong lĩnh vực hàng không dân dụng. Đẩy mạnh thực hiện phân cấp, phân quyền theo nguyên tắc 4 tại chỗ để việc bảo đảm an ninh hàng không kịp thời hiệu quả.

Bốn là, hoàn thiện khung pháp lý về cảng hàng không, khắc phục các tồn tại trong công tác quy hoạch, đầu tư, xây dựng cảng hàng không và thu hút các nguồn lực đầu tư, xây dựng phát triển cảng hàng không.

Tạo hành lang pháp lý cho việc đầu tư, xây dựng cảng hàng không hiệu quả; việc tiếp nhận chuyển bay quốc tế của Cảng hàng không nội địa được phép trong một số trường hợp; việc chuyển đổi Cảng hàng không sang sử dụng cho mục đích quân sự trong trường hợp cấp bách; tạo điều kiện để kinh tế - du lịch các vùng miền phục hồi và phát triển.

Đồng thời xác định rõ trách nhiệm của từng chủ thể trong hoạt động đầu tư, xây dựng cảng hàng không, sân bay; phân định địa vị pháp lý, quyền và trách nhiệm giữa “doanh nghiệp cảng hàng không” và “người khai thác cảng hàng không, sân bay” phù hợp với quy định của pháp luật về doanh nghiệp.

Năm là, hoàn thiện khung pháp lý về vận chuyển hàng không đảm bảo thực hiện các quy định và cam kết quốc tế về vận tải hàng không; các chính sách về giá dịch vụ hàng không đồng bộ với hệ thống pháp luật về giá, phí, lệ phí.

Đảm bảo quyền lợi của khách hàng, nâng cao trách nhiệm của doanh nghiệp vận chuyển hàng không trong việc thực hiện các quy định về quyền, nghĩa vụ của người vận chuyển; thực hiện hoạt động điều phối giờ cất hạ cánh tại cảng hàng không hài hòa, hiệu quả, phù hợp với thông lệ quốc tế.

Đồng thời, đảm bảo sự hài hòa, phù hợp trong việc phát triển đội tàu bay với sự phát triển của kết cấu hạ tầng cảng hàng không, năng lực giám sát an toàn hàng không của cơ quan quản lý nhà nước...

♦ Ông có thể dẫn chứng một số nội dung sửa đổi trong dự thảo Luật mới?

- Cụ thể, sửa đổi quy định về Nhà chức trách hàng không và Nhà chức trách an ninh hàng không nhằm phân định rõ thẩm

quyền trong công tác quản lý nhà nước nhằm đảm bảo yêu cầu của Công ước Chicago. Theo đó, dự thảo Luật đã quy định rõ cơ quan quản lý nhà nước về an ninh hàng không là Bộ Công an; nhiệm vụ và quyền hạn của Nhà chức trách hàng không Việt Nam và Nhà chức trách an ninh hàng không Việt Nam.

Sửa đổi quy định để cho phép hoạt động hàng không dân dụng của lực lượng vũ trang và các cơ quan nhà nước khác được thực hiện theo quy định của Luật HKDDVN nhằm tạo hành lang pháp lý khi chưa có luật điều chỉnh riêng.

Sửa đổi quy định liên quan đến quản lý, khai thác tàu bay và xuất khẩu tàu bay nhằm đảm bảo tuân thủ điều ước quốc tế mà Việt Nam là thành viên, nâng cao chỉ số tín nhiệm của Việt Nam, tạo điều kiện thuận lợi cho các doanh nghiệp hàng không Việt Nam tiếp cận được các nguồn tín dụng trong hoạt động thuê mua tàu bay.

Sửa đổi quy định về việc nhân viên hàng không phải được ký hợp đồng lao động bằng văn bản với tổ chức sử dụng lao động để phù hợp với quy định của pháp luật về lao động và cách thức vận hành thị trường lao động hàng không hiện nay.

Sửa đổi quy định về tổ chức, sử dụng và khai thác vùng trời, về quản lý hoạt động bay nhằm tối ưu hóa khai thác hiệu quả vùng trời phục vụ hàng không dân dụng; đáp ứng yêu cầu an toàn, liên tục, điều hòa và hiệu quả; bảo đảm quốc phòng, an ninh quốc gia và an toàn thông tin; tuân thủ quy định của Công ước Chicago.

Sửa đổi quy định về đầu tư xây dựng, quy hoạch và khai thác cảng hàng không, công trình tại cảng hàng không để đảm bảo thực hiện chủ trương, đường lối của Đảng và chỉ đạo Chính phủ, Thủ tướng Chính phủ, tạo điều kiện thuận lợi cho các thành phần kinh tế tham gia bình đẳng vào hoạt động đầu tư xây dựng, khai thác cảng hàng không.

Sửa đổi các nội dung liên quan đến vận chuyển hàng không, nghĩa vụ của người vận chuyển đối với hành khách nhằm làm rõ trách nhiệm của người vận chuyển, tạo cơ sở pháp lý để bảo vệ quyền lợi của hành khách khi tham gia vận chuyển; góp phần giảm tình trạng chậm chuyển, hủy chuyển, nâng cao chất lượng dịch vụ phục vụ hành khách.

Sửa đổi quy định về hoạt động hàng không chung, hàng không chuyên dùng và vận chuyển hàng không thương mại nhằm đảm bảo phù hợp với phân loại của Công ước Chicago, tạo điều kiện thuận lợi hơn cho các hoạt động hàng không chung, phát triển mạnh việc khai thác vùng trời tầm thấp, phục vụ phát triển kinh tế - xã hội.

Sửa đổi quy định về danh mục phí, lệ phí và giá thuộc lĩnh vực hàng không tại Luật Phí, lệ phí và Luật Giá nhằm đảm bảo phù hợp với tình hình thực tế và bộ máy quản lý nhà nước về hàng không dân dụng...

Sửa đổi quy định về quy hoạch cảng hàng không tại Luật HKDDVN và Luật Quy hoạch nhằm phù hợp với thực tiễn hoạt động quy hoạch cảng hàng không, đảm bảo sự đồng bộ, thống nhất trong hệ thống pháp luật về quy hoạch.

Sửa đổi các quy định có liên quan đến quản lý, sử dụng đất cảng hàng không tại Luật Đất đai nhằm đảm bảo tính đồng bộ giữa các chính sách về đầu tư, xây dựng cảng hàng

không, công trình tại cảng hàng không; giải quyết những khó khăn vướng mắc đối với các hoạt động đầu tư, nâng cấp, cải tạo cảng hàng không, công trình cảng hàng không; tạo sự đồng bộ và thu hút nguồn lực cho việc đầu tư mới, nâng cấp, cải tạo, mở rộng, khai thác các công trình sử dụng vào mục đích lưỡng dụng tại cảng hàng không.

Cùng với sửa đổi, dự thảo Luật cũng bãi bỏ một số nội dung như: quy hoạch vùng thông báo bay; quy định về tạm giữ tàu bay, khám xét tàu bay; quy định về tổ chức, cá nhân Việt Nam phải đăng ký các quyền đối với tàu bay; nội dung kinh doanh dịch vụ bảo đảm hoạt động bay khỏi danh mục ngành, nghề đầu tư kinh doanh có điều kiện; không quy định các nội dung cụ thể, chi tiết, điều kiện, quy trình, thủ tục hành chính và phân công trách nhiệm các cơ quan thuộc Chính phủ.

♦ **Vậy còn các nội dung bổ sung, thưa ông?**

- Những nội dung bổ sung có thể kể đến như: Bổ sung các quy định về người đứng đầu của Nhà chức trách hàng không, giám sát viên hàng không, thẩm quyền áp dụng miễn trừ của Nhà chức trách hàng không, ban hành hoặc công nhận áp dụng quy trình, tiêu chuẩn, quy định, hướng dẫn của quốc tế nhằm phù hợp với quy định của Công ước Chicago và khuyến cáo của ICAO.

Bổ sung quy định về quản lý đội tàu bay của các hãng hàng không Việt Nam nhằm bảo đảm phù hợp với nhu cầu thị trường, quy hoạch, kết cấu hạ tầng cảng hàng không, sân bay; phù hợp với năng lực giám sát an toàn hàng không của Nhà chức trách hàng không.

Bổ sung các quy định quản lý, sử dụng tài sản kết cấu hạ tầng hàng không nhằm phát huy chức năng lưỡng dụng của cảng hàng không; tạo điều kiện thuận lợi cho các thành phần kinh tế tham gia bình đẳng vào hoạt động đầu tư xây dựng, khai thác cảng hàng không...

Bổ sung quy định về tổ chức điều tra an toàn sự cố nghiêm trọng, tai nạn tàu bay độc lập và tách biệt với Nhà chức trách hàng không nhằm phù hợp với quy định của ICAO và thông lệ quốc tế.

Bổ sung chương mới về thiết lập hệ thống quản lý an toàn hàng không nhằm phù hợp với quy định của ICAO.

Bổ sung quy định thành viên tổ bay, kiểm soát viên không lưu phải được đánh giá sức khỏe tại cơ sở y tế đủ điều kiện và được Nhà chức trách hàng không Việt Nam cấp giấy chứng nhận đủ điều kiện sức khỏe để thực hiện nhiệm vụ nhằm phù hợp với quy định của ICAO.

Bổ sung quy định về cơ sở dữ liệu ngành hàng không dân dụng nhằm khai thác có hiệu quả cơ sở dữ liệu quốc gia và ứng dụng công nghệ thông tin, góp phần nâng cao hiệu quả trong hoạt động quản lý nhà nước chuyên ngành.

Bổ sung quy định nhằm cụ thể hóa quyền lợi quốc tế đối với tàu bay, trang thiết bị tàu bay đăng ký theo hệ thống đăng ký quốc tế được quy định tại Công ước và Nghị định thư Cape Town nhằm đảm bảo tuân thủ nghĩa vụ của quốc gia thành viên; làm rõ thẩm quyền, cơ chế phối hợp của các cơ quan, tổ chức, cá nhân liên quan đến việc xử lý các tranh



Hành khách làm thủ tục chuyển bay tại Cảng hàng không Quốc tế Nội Bài.

chấp quốc tế về quyền lợi quốc tế đối với tàu bay. Đảm bảo tuân thủ nghĩa vụ của quốc gia thành viên khi Việt Nam tham gia Công ước và Nghị định thư Cape Town.

Bổ sung quy định về nghiên cứu, ứng dụng khoa học công nghệ, chuyển đổi số, chuyển giao công nghệ và phát triển công nghiệp hàng không nhằm nâng cao năng lực sản xuất nội địa và chủ động về công nghệ, thực hiện về chủ trương của Đảng về đẩy mạnh nghiên cứu, ứng dụng khoa học công nghệ, chuyển đổi số và phát triển công nghiệp hàng không.

Bổ sung quy định về việc Nhà chức trách hàng không Việt Nam, Nhà chức trách an ninh hàng không Việt Nam và tổ chức được cơ quan nhà nước có thẩm quyền giao cung cấp dịch vụ công được giữ lại một phần hoặc toàn bộ phí thu được để hỗ trợ nâng cao chất lượng nguồn nhân lực, hợp tác quốc tế, đầu tư phát triển, hiện đại hóa nhằm nâng cao năng lực giám sát an toàn, an ninh hàng không theo tiêu chuẩn của ICAO.

Theo rà soát, sau khi dự thảo Luật được thông qua và các Nghị định quy định chi tiết Luật HKDDVN (thay thế) được ban hành, dự kiến cắt giảm, đơn giản hóa 9/24 nhóm thủ tục hành chính, bãi bỏ 1 ngành nghề kinh doanh có điều kiện.

Đồng thời, với thẩm quyền Luật giao, Chính phủ sẽ thực hiện các phương án phân cấp theo nguyên tắc: Chính phủ thống nhất quản lý nhà nước về hàng không dân dụng; Các Bộ, cơ quan ngang Bộ thực hiện việc quản lý nhà nước theo phân công, phân cấp của Chính phủ, Thủ tướng Chính phủ; các cơ quan quản lý chuyên ngành thực hiện nhiệm vụ quản lý nhà nước theo phân công, phân cấp, ủy quyền theo thẩm quyền và các nguyên tắc của Luật Tổ chức Chính phủ, Luật Tổ chức chính quyền địa phương.

Trong khi đó, UBND các cấp trong phạm vi nhiệm vụ, quyền hạn của mình thực hiện quản lý nhà nước khu vực lân cận cảng hàng không, đầu tư xây dựng, bảo vệ môi trường cảng hàng không; phối hợp trong công tác tìm kiếm, cứu nạn và điều tra sự cố, tai nạn tàu bay, quản lý chướng ngại vật hàng không, thực hiện việc phân cấp theo thẩm quyền quy định tại Luật Tổ chức Chính phủ, Luật Tổ chức chính quyền địa phương.❖

♦ **Trân trọng cảm ơn ông!**

Chuẩn hóa và minh bạch hoạt động kiểm định phương tiện

> CẨM PHÚ

Thông tư số 23/2025/TT-BXD không chỉ là văn bản pháp lý mang tính kỹ thuật mà còn là bước cải cách hành chính quan trọng, tác động trực tiếp đến hàng chục triệu phương tiện và chủ phương tiện trên cả nước.

YÊU CẦU ĐỔI MỚI TOÀN DIỆN HOẠT ĐỘNG KIỂM ĐỊNH PHƯƠNG TIỆN

Sự phát triển nhanh chóng của phương tiện cơ giới đã tạo ra nhiều cơ hội nhưng cũng đặt ra không ít thách thức cho công tác quản lý nhà nước. Chỉ trong vòng một thập kỷ, số lượng xe cơ giới tại Việt Nam đã tăng hàng triệu chiếc, kéo theo áp lực lớn lên hệ thống hạ tầng, giao thông và đặc biệt là công tác kiểm định. Tình trạng ùn ứ tại các trung tâm đăng kiểm, đặc biệt trong giai đoạn 2022 - 2023 là minh chứng rõ nét cho thấy cần thiết phải đổi mới, cải tiến toàn diện trong lĩnh vực này.

Nhiều phương tiện chưa đáp ứng tiêu chuẩn kỹ thuật nhưng vẫn tham gia lưu thông, tiềm ẩn nguy cơ tai nạn, trong khi một bộ phận khác lại phải trải qua các thủ tục kiểm định phức tạp, gây tốn kém chi phí và thời gian. Cùng lúc đó, vấn đề ô nhiễm môi trường do khí thải từ phương tiện giao thông ngày càng nghiêm trọng, ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng không khí và sức khỏe cộng đồng. Trước thực tế này, yêu cầu đặt ra là phải có một khung pháp lý đồng bộ, minh bạch và hiệu quả hơn, vừa đảm bảo kiểm soát chất lượng phương tiện, vừa tạo thuận lợi tối đa cho người dân, doanh nghiệp.

Thông tư số 23/2025/TT-BXD của Bộ Xây dựng quy định đặc điểm kinh tế - kỹ thuật và định mức kinh tế - kỹ thuật dịch vụ kiểm định, miễn kiểm định lần đầu cho xe cơ giới, xe máy chuyên dùng được ban hành trong bối cảnh đó, quy định đặc điểm kinh tế - kỹ thuật và định mức kinh tế - kỹ thuật dịch vụ kiểm định, miễn kiểm định lần đầu cho xe cơ giới, xe máy chuyên dùng, có hiệu lực từ ngày 24/10/2025. Đây là bước tiến quan trọng, góp phần chuẩn hóa hoạt động kiểm định, nâng cao tính minh bạch, giảm gánh nặng thủ tục cho người dân, đồng thời khuyến khích sử dụng phương tiện thân thiện với môi trường, hướng đến hệ thống giao thông an toàn và bền vững.

Thông tư 23/2025/TT-BXD cụ thể hóa các quy định của một số luật như: Luật Trật tự, an toàn giao thông đường bộ năm 2024,

Luật Giá năm 2023 và Luật Bảo vệ môi trường năm 2020...; đồng thời kế thừa, bổ sung và hoàn thiện hệ thống văn bản pháp luật liên quan đến dịch vụ kiểm định. Thông tư quy định rõ đặc điểm kinh tế - kỹ thuật và định mức kinh tế - kỹ thuật cho từng loại dịch vụ kiểm định, miễn kiểm định lần đầu, từ xe ô tô tải nhiều trục, xe khách trên 39 chỗ, rơ-moóc, sơ-mi rơ-moóc đến xe 4 bánh có gắn động cơ và xe máy chuyên dùng.

NỀN TẢNG CHUẨN HÓA, MINH BẠCH VÀ KHUYẾN KHÍCH PHƯƠNG TIỆN XANH

Điểm nhấn quan trọng là việc quy định chi tiết mức hao phí về nhân công, thiết bị, vật liệu, năng lượng cần thiết để thực hiện mỗi dịch vụ kiểm định. Chẳng hạn, từ khâu tiếp nhận hồ sơ, tra cứu dữ liệu, kiểm tra trực tiếp phương tiện đến khâu in ấn, cấp giấy chứng nhận, tất cả đều được lượng hóa rõ ràng. Cách tiếp cận này không chỉ giúp các cơ quan đăng kiểm có cơ sở pháp lý và kỹ thuật thống nhất mà còn tạo điều kiện cho việc xây dựng đơn giá dịch vụ minh bạch, chính xác, tránh thất thoát nguồn lực.

Theo quy định, một số loại xe cơ giới và xe máy chuyên dùng đáp ứng điều kiện được miễn kiểm định lần đầu. Thay vì phải đưa xe mới đến trung tâm kiểm định, chủ xe chỉ cần nộp hồ sơ để được cấp giấy chứng nhận và tem kiểm định. Việc miễn kiểm định lần đầu có ý nghĩa rất lớn trong bối cảnh số lượng xe mới tăng nhanh từng năm, giúp giảm tải đáng kể cho hệ thống đăng kiểm vốn thường xuyên quá tải, đồng thời tiết kiệm chi phí và thời gian cho người dân, doanh nghiệp. Quy định này vừa đảm bảo sự linh hoạt trong quản lý, vừa khẳng định sự cải cách mạnh mẽ của Nhà nước trong lĩnh vực hành chính công, lấy sự thuận tiện của người dân, doanh nghiệp làm trung tâm.

Bên cạnh đó, Thông tư cũng thể hiện rõ định hướng phát triển giao thông xanh khi dành riêng quy định cho các loại xe sử dụng năng lượng sạch, năng lượng xanh, thân thiện môi



Việc quy định đặc điểm, định mức kinh tế - kỹ thuật dịch vụ kiểm định phương tiện giúp giám sát chặt chẽ mức độ an toàn kỹ thuật, giảm phát thải gây ô nhiễm.



Phương tiện xanh được khuyến khích sử dụng để cải thiện chất lượng không khí, thúc đẩy mục tiêu phát triển bền vững.

trường. Với nhóm phương tiện này, một số công đoạn kiểm định được điều chỉnh phù hợp, chẳng hạn như không phải sử dụng thiết bị đo khí thải. Điều đó vừa phản ánh đúng đặc điểm kỹ thuật của xe, vừa là chính sách khuyến khích thiết thực, góp phần thúc đẩy quá trình chuyển đổi sang phương tiện xanh tại Việt Nam. Đây là bước đi quan trọng, phù hợp với xu thế toàn cầu, đồng thời thể hiện cam kết của Việt Nam trong việc giảm phát thải khí nhà kính, hướng đến mục tiêu phát thải ròng bằng "0" vào năm 2050. Khi doanh nghiệp và người dân nhận thấy những lợi ích thiết thực của việc sử dụng phương tiện xanh, từ ưu đãi trong kiểm định đến tiết kiệm chi phí vận hành, xu hướng chuyển đổi sẽ trở nên rõ rệt hơn.

Ngoài ra, Thông tư còn quy định quy trình nghiệp vụ thống nhất trên toàn quốc. Từ việc tiếp nhận hồ sơ, kiểm tra thông tin, đối chiếu phương tiện, chụp ảnh xe, kiểm tra kỹ thuật trên dây chuyền cho đến in và cấp giấy chứng nhận kiểm định, tất cả đều được cụ thể hóa. Nhờ đó, mọi cơ sở đăng kiểm sẽ có cùng một quy trình chuẩn, giảm thiểu tình trạng mỗi nơi thực hiện một kiểu, bảo đảm sự minh bạch và công bằng trong cung ứng dịch vụ công. Đặc biệt, các định mức kinh tế - kỹ

Công tác kiểm định chất lượng và khí thải phương tiện giữ vai trò then chốt trong việc bảo vệ môi trường, nâng cao sức khỏe cộng đồng và bảo đảm an toàn giao thông. Thông qua hoạt động kiểm định, các phương tiện được giám sát chặt chẽ về mức độ an toàn kỹ thuật, đồng thời được khuyến khích bảo dưỡng định kỳ, tuân thủ tiêu chuẩn về khí thải, qua đó góp phần kéo dài tuổi thọ phương tiện và giảm phát thải gây ô nhiễm.

thuật cũng chỉ rõ giới hạn hao phí nhân công, máy móc, vật liệu, năng lượng, qua đó giúp kiểm soát chi phí chặt chẽ, tránh tình trạng thu phí bất hợp lý. Đây là cơ sở quan trọng để nâng cao hiệu quả quản lý trong hoạt động đăng kiểm.

Thông tư số 23/2025/TT-BXD không chỉ là văn bản pháp lý mang tính kỹ thuật mà còn là bước cải cách hành chính quan trọng, tác động trực tiếp đến hàng chục triệu phương tiện và chủ phương tiện trên cả nước. Với việc quy định chi tiết đặc điểm kinh tế - kỹ thuật, định mức hao phí và quy trình nghiệp vụ, Thông tư đã tạo nền tảng cho sự minh bạch, chuẩn hóa và hiệu quả trong lĩnh vực kiểm định. Những điểm mới như miễn kiểm định lần đầu, ưu tiên xe năng lượng sạch, thống nhất quy trình nghiệp vụ sẽ giúp giảm tải cho hệ thống đăng kiểm, tiết kiệm chi phí xã hội, đồng thời khuyến khích xu hướng sử dụng phương tiện xanh. Đây chính là tiền đề để nâng cao an toàn giao thông, cải thiện chất lượng không khí, thúc đẩy mục tiêu phát triển bền vững mà Đảng và Nhà nước đã đề ra. Khi Thông tư đi vào cuộc sống, hiệu quả sẽ không chỉ thể hiện ở những con số thống kê mà còn ở sự hài lòng của người dân, sự yên tâm của doanh nghiệp và một môi trường giao thông an toàn, bền vững hơn.❖

Bức tranh toàn cảnh và chính sách thúc đẩy công trình xanh

> THANH PHONG

Năm 2025, công trình xanh tại Việt Nam đạt bước tiến mạnh mẽ cả về quy mô và chính sách. Sự ra đời của Luật Sửa đổi, bổ sung một số điều của Luật Sử dụng năng lượng tiết kiệm và hiệu quả (Luật số 77/2025/QH15) mở rộng quản lý năng lượng sang vật liệu xây dựng (VLXD) đã tạo nền tảng pháp lý thúc đẩy xây dựng bền vững và phát triển xanh.

1. QUY MÔ THỊ TRƯỜNG VÀ XU THẾ PHÁT TRIỂN

Báo cáo Vietnam Green Building Market Summary, quý III/2025 của Tổ chức Tài chính Quốc tế (IFC) cho biết, đến tháng 9/2025 Việt Nam đã có 683 công trình đạt chứng nhận xanh, với tổng diện tích sàn đạt 17,33 triệu m², tăng hơn 3,7 triệu m² chỉ trong 9 tháng đầu năm. Đây là mức tăng nhanh nhất kể từ khi Việt Nam triển khai chương trình thúc đẩy công trình xanh từ năm 2010.

Trong giai đoạn 2010 - 2020, trung bình mỗi năm cả nước chỉ có khoảng 30 - 40 công trình được chứng nhận. Tuy nhiên, trong giai đoạn 2024 - 2025, số lượng công trình xanh tăng gần 20 lần, thể hiện sự thay đổi rõ rệt trong nhận thức và hành động của doanh nghiệp, nhà đầu tư cũng như cơ quan quản lý.

Với tốc độ hiện nay, Việt Nam đã vượt xa các mục tiêu của Chương trình quốc gia về sử dụng năng lượng tiết kiệm và hiệu quả giai đoạn 2019 - 2030 (VNEEP3), vốn đặt ra 80 công trình xanh vào năm 2025 và 160 công trình vào năm 2030.

Sự mở rộng nhanh chóng này phản ánh sức hút của xu hướng đầu tư bền vững, đồng thời cho thấy công trình xanh không còn là lĩnh vực thử nghiệm, mà đã trở thành một cấu phần thực chất của ngành Xây dựng đô thị và công nghiệp hiện đại.

2. CƠ CẤU VÀ ĐẶC ĐIỂM CÁC NHÓM CÔNG TRÌNH XANH

2.1. Nhà ở và căn hộ xanh - phân khúc lớn và ổn định

Cũng theo báo cáo của IFC, phân khúc nhà ở xanh chiếm khoảng 30,2% căn hộ xanh, một phần nhỏ khoảng 4,99% là nhà đất (landed house). Như vậy, tổng diện tích sàn xanh cả nước, lớn nhất trong các loại hình công trình khoảng 35%

bao gồm cả thấp tầng và cao tầng. Phần lớn các dự án được chứng nhận theo hệ thống EDGE (IFC) hoặc LEED (Hội đồng Công trình xanh Hoa Kỳ - USGBC), tập trung ở TP.HCM, Hà Nội, Đà Nẵng, những nơi có thị trường nhà ở cao tầng phát triển mạnh. Dự án tiêu biểu như Midtown Phú Mỹ Hưng cho thấy mô hình căn hộ xanh đang được áp dụng linh hoạt, vừa đáp ứng yêu cầu thẩm mỹ, vừa cải thiện hiệu quả năng lượng, giúp giảm 20 - 30% chi phí điện, nước, đồng thời tăng giá trị sử dụng và độ bền vững của sản phẩm BĐS.

Tuy nhiên, thách thức vẫn còn khi chi phí đầu tư ban đầu cao hơn 3%, chính sách tín dụng xanh cho cá nhân và hộ gia đình chưa phổ biến và chưa có hệ thống đánh giá đồng bộ cho vật liệu xanh trong các dự án nhà ở. Nhưng cũng có chủ đầu tư làm nhà ở xã hội xanh mà không làm phát sinh thêm chi phí như Capital House Group.

2.2. Công trình công nghiệp xanh - động lực mới của tăng trưởng

Với tổng số khoảng 39 - 40% công trình công nghiệp xanh, trong đó có 25,6% nhà xưởng công nghiệp xanh và 14,08% nhà kho (warehouse), công trình công nghiệp xanh trở thành phân khúc tăng nhanh nhất giai đoạn 2024 - 2025. Chỉ trong 2 năm, số công trình công nghiệp được chứng nhận tăng gần 60%, tập trung tại một số địa phương: Bắc Ninh, Hải Phòng, Hưng Yên, Đồng Nai và Ninh Bình.

Động lực chính đến từ yêu cầu xanh hóa chuỗi cung ứng toàn cầu, đặc biệt với các thị trường xuất khẩu như: EU, Hoa Kỳ và Nhật Bản. Các tập đoàn FDI lớn như: Samsung, Foxconn, LG Display, Canon, Sumitomo và Sojitz đều đã đăng ký chứng nhận EDGE hoặc LEED Gold cho nhà máy và kho logistics tại Việt Nam.



Toàn cảnh khu trung tâm TP.HCM nhìn từ phía Thủ Thiêm, nơi tập trung nhiều công trình đạt chứng nhận xanh như Tháp Vietcombank (LEED), Tòa nhà Melinh Point (LEED) và tổ hợp The Nexus (LEED, EDGE, WELL).

Phân khúc này cho thấy hiệu quả kinh tế rõ rệt: tiết kiệm năng lượng và nước lên tới 40%, giảm phát thải 25 - 30%, đáp ứng các tiêu chí ESG và mở đường tiếp cận nguồn vốn xanh quốc tế. Dù vậy, thiếu đội ngũ kỹ sư, tư vấn chuyên sâu, cùng với thiếu bộ tiêu chí quốc gia riêng cho KCN xanh, vẫn là những rào cản cần sớm khắc phục.

2.3. Văn phòng và thương mại - hướng tới hiệu quả vận hành

Nhóm văn phòng và thương mại chiếm khoảng 14% tổng diện tích sàn xanh, tập trung tại các tòa nhà hạng A ở 2 đô thị lớn là Hà Nội và TP.HCM. Các công trình như: Deutsches Haus, Capital Place, Friendship Tower hay Saigon Centre Phase 2 đều đạt Chứng nhận LEED Gold hoặc Platinum, minh chứng cho xu hướng “xanh hóa” BĐS thương mại.

Đặc điểm nổi bật là ứng dụng công nghệ quản lý năng lượng thông minh (BAS/BEMS), sử dụng vật liệu tiết kiệm năng lượng như kính Low-E, hệ thống điều hòa trung tâm VRV, chiếu sáng LED cảm biến. Các công trình này không chỉ giúp tiết kiệm chi phí vận hành mà còn nâng tầm hình ảnh của doanh nghiệp thuê văn phòng, đặc biệt là các tập đoàn đa quốc gia áp dụng tiêu chí ESG.

Điểm hạn chế là thiếu cơ chế giám sát hiệu quả vận hành (M&V) sau khi chứng nhận, khiến một số công trình xanh chưa đạt hiệu suất năng lượng thực tế như thiết kế ban đầu.

2.4. Giáo dục và y tế - lan tỏa mô hình xanh trong khu vực công

Khoảng 12,4% tổng diện tích chứng nhận thuộc nhóm trường học, bệnh viện, viện nghiên cứu. Nhiều công trình công cộng đã áp dụng tiêu chí tiết kiệm năng lượng và vật liệu thân thiện môi trường như: Trường Đại học Anh Quốc Việt

Nam (BUV) ở KĐT Ecopark Hưng Yên; Trường Trung học Phổ thông Võ Văn Tần tại tỉnh Long An; và Hệ thống trường học thuộc Tập đoàn Edufit là chuỗi cơ sở giáo dục đầu tiên tại Việt Nam đạt chứng nhận công trình xanh EDGE do Tổ chức Tài chính Quốc tế (IFC) cấp.

Các dự án này thường nằm trong khuôn khổ chương trình hợp tác giữa Bộ Xây dựng, UNDP và Quỹ Môi trường toàn cầu (GEF), nhằm thúc đẩy “xanh hóa” hạ tầng công.

Nhóm này mang ý nghĩa xã hội cao: vừa nâng cao nhận thức cộng đồng về lối sống xanh, vừa tạo môi trường học tập và chăm sóc sức khỏe bền vững.

2.5. Khách sạn và du lịch xanh - mở rộng nhờ nhu cầu thị trường quốc tế

Phân khúc khách sạn, nghỉ dưỡng xanh chiếm khoảng 4,3% diện tích chứng nhận, tập trung tại: Đà Nẵng, Phú Quốc, Nha Trang và Hạ Long. Các thương hiệu quốc tế như: Accor, Marriott, IHG áp dụng hệ thống LEED hoặc EDGE Advanced để giảm phát thải và nâng cao trải nghiệm du lịch bền vững.

Điểm mới trong năm 2025 là nhiều khách sạn cũ được cải tạo (retrofit) để đạt tiêu chuẩn xanh thay vì chỉ áp dụng cho công trình xây mới, cho thấy hướng tiếp cận thực tiễn và tiết kiệm nguồn lực.

3. PHÂN BỐ ĐỊA LÝ VÀ HỆ THỐNG CHỨNG NHẬN

Về phân bố địa lý, các công trình xanh tại Việt Nam hiện tập trung chủ yếu ở 2 trung tâm kinh tế lớn là Hà Nội và TP.HCM, chiếm hơn 54% tổng diện tích sàn xanh cả nước, tương đương khoảng 9,35 triệu m². Đây là 2 địa phương có tốc độ đô thị hóa cao, nhiều dự án đầu tư trong và ngoài nước, đồng thời là nơi sớm áp dụng các tiêu chuẩn thiết kế và vận hành công trình

theo hướng tiết kiệm năng lượng.

Tiếp theo là các địa phương: Bắc Ninh, Hải Phòng, Hưng Yên, Tây Ninh là những địa bàn có tốc độ công nghiệp hóa nhanh, thu hút nhiều KCN và nhà máy sản xuất quy mô lớn, góp phần mở rộng mô hình công trình công nghiệp xanh ra ngoài khu vực đô thị trung tâm.

Về hệ thống chứng nhận, thị trường Việt Nam hiện ghi nhận EDGE (IFC) dẫn đầu chiếm 43,8%, LEED (USGBC) chiếm 41,5%, Green Mark (Singapore) đạt 11,1%, trong khi LOTUS (VGBC) và một số hệ thống khác chiếm khoảng 3,6%.

Cơ cấu này cho thấy sự hội nhập mạnh mẽ của Việt Nam với các tiêu chuẩn quốc tế, đặc biệt là các hệ thống do IFC và USGBC phát triển.

Tuy nhiên, cũng từ đây có thể thấy, hệ thống chứng nhận trong nước LOTUS vẫn cần tiếp tục được hoàn thiện về tiêu chí, quy trình và tính phổ cập, để phù hợp hơn với điều kiện thực tế và năng lực của doanh nghiệp Việt Nam, qua đó từng bước nâng cao vị thế của Việt Nam trong khu vực về phát triển công trình xanh.

4. CHÍNH SÁCH THÚC ĐẨY TỪ LUẬT SỐ 77/2025/QH15

Sự phát triển nhanh của công trình xanh giai đoạn 2024 - 2025 trùng thời điểm Quốc hội ban hành Luật số 77/2025/QH15 ngày 18/6/2025 sửa đổi, bổ sung một số điều của Luật Sử dụng năng lượng tiết kiệm và hiệu quả 2010. Đây được xem là nền tảng pháp lý quan trọng cho tiến trình xanh hóa ngành Xây dựng.

4.1. Mở rộng phạm vi điều chỉnh sang vật liệu xây dựng

Điều 37 của Luật số 77/2025/QH15 đánh dấu một bước mở rộng phạm vi điều chỉnh quan trọng khi lần đầu tiên đưa “VLXD” vào nhóm đối tượng phải thực hiện biện pháp quản lý sử dụng năng lượng tiết kiệm và hiệu quả. Cụ thể, điều luật quy định: “Biện pháp quản lý sử dụng năng lượng tiết kiệm và hiệu quả đối với phương tiện, thiết bị và VLXD”.

Việc bổ sung “VLXD” vào cùng phạm vi điều chỉnh với “phương tiện và thiết bị sử dụng năng lượng” cho thấy sự thay đổi căn bản trong tư duy quản lý năng lượng, không chỉ dừng ở khâu sử dụng, mà mở rộng ra toàn bộ chuỗi sản xuất - lưu thông - tiêu dùng trong lĩnh vực xây dựng. Đây là cơ sở pháp lý để Bộ Xây dựng xây dựng và ban hành danh mục VLXD phải dán nhãn năng lượng, đồng thời quản lý hiệu suất năng lượng trong quá trình sản xuất các loại vật liệu có cường độ tiêu hao năng lượng lớn như: xi măng, gạch, kính, thép, vật liệu cách nhiệt và các sản phẩm hoàn thiện khác.

Từ quy định này, khái niệm “vật liệu xanh” được xác lập rõ ràng hơn trong hệ thống pháp luật Việt Nam, được coi là một cấu phần không thể tách rời của công trình xanh. Việc quản lý năng lượng trong sản xuất và sử dụng VLXD không chỉ giúp giảm tiêu hao năng lượng, giảm phát thải khí nhà kính, mà còn góp phần nâng cao hiệu quả sử dụng tài nguyên và tăng giá trị bền vững của các dự án xây dựng trong toàn bộ vòng đời công trình, từ thiết kế, thi công đến vận hành.

Có thể nói, việc mở rộng phạm vi điều chỉnh của Luật 77/2025/QH15 là một bước đi có tính nền tảng, giúp gắn kết chính sách năng lượng với Chiến lược tăng trưởng xanh quốc

gia, đồng thời đặt nền móng cho việc hình thành hệ sinh thái sản xuất - tiêu thụ vật liệu tiết kiệm năng lượng, phù hợp với định hướng phát triển kinh tế tuần hoàn và mục tiêu Net Zero 2050 mà Việt Nam đã cam kết.

4.2. Quy định bắt buộc về dán nhãn năng lượng

Điều 39 của Luật số 77/2025/QH15 đã bổ sung một nội dung mang tính bước ngoặt trong quản lý năng lượng, quy định bắt buộc dán nhãn năng lượng đối với VLXD trước khi được đưa ra thị trường. Theo đó, các vật liệu nằm trong danh mục do Bộ Xây dựng ban hành phải được thử nghiệm, công bố và dán nhãn theo tiêu chuẩn quốc gia về hiệu suất năng lượng. Quy định này áp dụng cho toàn bộ chuỗi sản xuất - nhập khẩu - phân phối - kinh doanh, bao gồm cả hoạt động thương mại điện tử.

Bộ Xây dựng được giao trách nhiệm ban hành danh mục, mẫu nhãn, quy cách công bố và công nhận phòng thử nghiệm đủ điều kiện, đảm bảo việc đánh giá và dán nhãn được thực hiện thống nhất, minh bạch và có cơ sở khoa học. Đồng thời, UBND cấp tỉnh sẽ tổ chức thanh tra, kiểm tra việc tuân thủ quy định dán nhãn năng lượng đối với VLXD lưu thông trên địa bàn, góp phần tăng cường quản lý từ trung ương đến địa phương.

Điểm mới quan trọng của Điều 39 là việc chuyển đổi cơ chế quản lý từ “khuyến khích tự nguyện” sang “bắt buộc tuân thủ”, đưa tiêu chí “hiệu suất năng lượng của VLXD” trở thành chuẩn mực pháp lý quốc gia. Điều này giúp hình thành một cơ sở pháp lý thống nhất để kiểm soát năng lượng tiêu thụ trong lĩnh vực sản xuất vật liệu, đồng thời tạo điều kiện cho doanh nghiệp minh bạch thông tin sản phẩm, người tiêu dùng dễ dàng lựa chọn vật liệu tiết kiệm năng lượng, và cơ quan quản lý có công cụ giám sát hiệu quả hơn.

Như vậy, quy định mới không chỉ góp phần nâng cao hiệu quả năng lượng trong ngành VLXD mà còn tạo liên kết trực tiếp giữa sản xuất vật liệu và mục tiêu phát triển công trình xanh, thúc đẩy quá trình chuyển đổi của ngành Xây dựng theo hướng hiệu quả - bền vững - phát thải thấp.

4.3. Liên thông với hệ thống công trình xanh

Luật số 77/2025/QH15 không chỉ điều chỉnh hành vi sử dụng năng lượng trong sản xuất và tiêu dùng, mà còn tạo ra mối liên thông chặt chẽ với hệ thống công trình xanh đang phát triển mạnh mẽ tại Việt Nam. Cụ thể, các tiêu chí về hiệu suất năng lượng của VLXD sẽ được tích hợp trực tiếp vào Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia QCVN 09:2025/BXD - bộ quy chuẩn đang được Bộ Xây dựng rà soát, sửa đổi để phù hợp với định hướng tiết kiệm năng lượng và giảm phát thải carbon. Bên cạnh đó, các tiêu chí này cũng được lồng ghép vào hệ thống chứng nhận công trình xanh như LEED, LOTUS, EDGE, đồng thời trở thành cơ sở tham chiếu cho các cơ chế tài chính xanh, bao gồm: tín dụng ưu đãi, trái phiếu xanh và quỹ hỗ trợ đầu tư cho các dự án sử dụng vật liệu dán nhãn năng lượng.

Như vậy, chính sách dán nhãn năng lượng cho VLXD không chỉ dừng ở việc quản lý kỹ thuật hay điều tiết hoạt động sản xuất, mà còn tác động trực tiếp đến thị trường công trình xanh và lĩnh vực đầu tư xây dựng. Khi các tiêu chí năng lượng được đưa vào quy chuẩn, quy trình chứng nhận và cơ chế tài chính,

các doanh nghiệp, nhà đầu tư và cơ quan quản lý sẽ có một khung tham chiếu thống nhất, góp phần hình thành chuỗi cung ứng vật liệu - công trình - tài chính mang tính bền vững hơn.

Việc triển khai Luật số 77/2025/QH15 dự kiến sẽ tác động mạnh đến 3 nhóm chủ thể chính gồm: doanh nghiệp sản xuất VLXD, nhà đầu tư công trình xanh và cơ quan quản lý nhà nước.

Đối với doanh nghiệp VLXD, đây là cơ hội quan trọng để tiếp cận các nguồn vốn xanh, chính sách ưu đãi thuế và tín dụng ưu tiên, đồng thời nâng cao uy tín thương hiệu, đáp ứng yêu cầu của các thị trường xuất khẩu lớn. Tuy nhiên, thách thức cũng đáng kể, bởi doanh nghiệp phải đầu tư đổi mới công nghệ sản xuất, nâng cao hiệu suất năng lượng và xây dựng hệ thống thử nghiệm - kiểm định đạt chuẩn quốc gia, nhằm đáp ứng quy định dán nhãn năng lượng trước khi sản phẩm được lưu thông trên thị trường.

Với nhà đầu tư công trình xanh, quy định mới giúp dễ dàng lựa chọn vật liệu đạt chuẩn năng lượng, từ đó giảm chi phí vận hành, tăng giá trị công trình và cải thiện khả năng tiếp cận nguồn vốn quốc tế. Tuy vậy, thực tế hiện nay cho thấy thị trường vật liệu dán nhãn năng lượng tại Việt Nam còn hạn chế, giá thành cao hơn so với vật liệu truyền thống, đòi hỏi cần có lộ trình triển khai hợp lý cùng cơ chế hỗ trợ tài chính phù hợp để khuyến khích áp dụng trên diện rộng.

Đối với cơ quan quản lý nhà nước, Luật số 77/2025/QH15 mang lại công cụ pháp lý và kỹ thuật rõ ràng để giám sát hiệu quả năng lượng trong xây dựng, giúp tăng tính minh bạch và khả năng đánh giá chính sách. Tuy nhiên, để bảo đảm quy định được thực thi hiệu quả, các bộ, ngành và địa phương cần sớm hoàn thiện hệ thống tiêu chuẩn, quy chuẩn, danh mục vật liệu bắt buộc dán nhãn, đồng thời thiết lập cơ chế thanh tra, phối hợp liên ngành giữa Bộ Xây dựng, Bộ Công Thương và các cơ quan liên quan.

Bên cạnh đó, việc triển khai đồng bộ Luật số 77/2025/QH15 sẽ giúp chuẩn hóa quy trình sản xuất - lưu thông vật liệu tiết kiệm năng lượng, gắn kết quản lý năng lượng với chiến lược tăng trưởng xanh và mục tiêu phát thải ròng bằng 0 (Net Zero 2050), đồng thời thúc đẩy thị trường tín dụng và trái phiếu xanh trong lĩnh vực xây dựng. Đây là bước tiến quan trọng hướng tới việc hình thành một hệ sinh thái công trình xanh toàn diện, trong đó vật liệu, thiết kế, thi công và vận hành đều được quản lý trên cùng một nền tảng chính sách và tiêu chuẩn thống nhất.

Bộ Xây dựng được giao các nhiệm vụ trọng tâm: Ban hành danh mục VLXD phải dán nhãn năng lượng (2026-2030); Xây dựng tiêu chuẩn quốc gia (TCVN) và quy chuẩn kỹ thuật (QCVN) về hiệu suất năng lượng VLXD; Phối hợp Bộ Công Thương trong công nhận và kiểm định phòng thử nghiệm; Hướng dẫn địa phương, doanh nghiệp triển khai và công bố dữ liệu công khai.

Việc thực thi hiệu quả sẽ giúp hình thành chuỗi cung ứng vật liệu xanh trong nước, đồng thời tạo cơ sở dữ liệu quốc gia về năng lượng trong xây dựng, phục vụ quản lý, giám sát và truyền thông.



Tháp Vietcombank (LEED).

5. KẾT LUẬN

Năm 2025 đánh dấu giai đoạn trưởng thành của công trình xanh Việt Nam, khi thị trường đạt quy mô hàng trăm dự án, hàng chục triệu mét vuông sàn và bước vào một khung pháp lý hoàn chỉnh hơn.

Luật số 77/2025/QH15 không chỉ điều chỉnh hành vi sử dụng năng lượng, mà còn mở rộng tầm ảnh hưởng đến chuỗi cung ứng VLXD, giúp ngành Xây dựng Việt Nam tiệm cận chuẩn mực quốc tế về minh bạch năng lượng.

Với sự kết hợp giữa tăng trưởng thị trường thực tế và chính sách pháp lý mới, Việt Nam đang từng bước chuyển từ “xây dựng tiết kiệm năng lượng” sang “xây dựng bền vững toàn diện”, góp phần hiện thực hóa mục tiêu phát thải ròng bằng 0 vào năm 2050, đồng thời khẳng định vị thế mới của ngành Xây dựng trong kỷ nguyên tăng trưởng xanh.❖

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Quốc hội (2025). Luật số 77/2025/QH15 sửa đổi, bổ sung một số điều của Luật Sử dụng năng lượng tiết kiệm và hiệu quả năm 2010.
- Bộ Xây dựng (2025). Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia QCVN 09:2025/BXD về các công trình xây dựng sử dụng năng lượng hiệu quả.
- Tổ chức Tài chính Quốc tế - IFC (2025). Báo cáo Vietnam Green Building Market Summary, quý III/2025.

PHÁT TRIỂN XANH TRONG NGÀNH XÂY DỰNG:

Nhận diện điểm nghẽn và gợi mở từ kinh nghiệm quốc tế

> BÍCH DIỆP

Tổ chức Tài chính Quốc tế đã chỉ ra những điểm nghẽn lớn nhất cản trở ngành Xây dựng chuyển mình, đồng thời đề xuất các gợi mở chính sách mang tính đột phá để đưa lĩnh vực này trở thành trụ cột của nền kinh tế xanh.

NGÀNH XÂY DỰNG PHẢI ĐI ĐẦU GIẢM PHÁT THẢI

Theo Báo cáo “Triển vọng kinh tế xanh Việt Nam - Gợi mở cho ngành Xây dựng” do Tổ chức Tài chính Quốc tế (IFC) công bố năm 2025, Việt Nam đang tăng trưởng nhanh, song vẫn đi theo mô hình phát thải carbon cao.

Mức phát thải CO₂ bình quân đầu người của Việt Nam đã đạt 5,2 tấn/năm, cao hơn mức trung bình 4,56 tấn của nhóm quốc gia thu nhập trung bình. Trong thập kỷ qua, tốc độ tăng phát thải lên tới 6,2%/năm, chủ yếu đến từ các ngành năng lượng, giao thông và xây dựng.

Ngành Xây dựng hiện đóng góp gần 40% tổng phát thải khí nhà kính toàn cầu, phần lớn do tiêu thụ năng lượng, xi măng, thép và vật liệu hóa thạch.

IFC cảnh báo, nếu không thay đổi mô hình phát triển, Việt Nam sẽ gặp thách thức lớn trong việc đạt được cam kết Net Zero 2050.

Báo cáo nhấn mạnh: “Tăng trưởng của Việt Nam hiện nay là tăng trưởng phát thải; muốn đạt Net Zero, ngành Xây dựng phải đi đầu trong giảm phát thải.”

Theo đó, Việt Nam cần chuyển nhanh sang mô hình công trình phát thải thấp, áp dụng vật liệu tiết kiệm năng lượng, sử dụng năng lượng tái tạo và tăng tỷ lệ tái chế trong vòng đời công trình.

Việc xanh hóa hoạt động xây dựng không chỉ giúp giảm phát thải mà còn nâng cao năng lực cạnh tranh, mở rộng khả năng tiếp cận các nguồn vốn quốc tế dành cho các dự án bền vững.

Cùng với vấn đề phát thải, tính dễ tổn thương của hạ tầng trước BĐKH là một rủi ro lớn. IFC phân tích, nếu không có các biện pháp thích ứng, thiệt hại kinh tế do BĐKH có thể khiến Việt Nam mất từ 12 - 16% GDP trong vài thập kỷ tới.

Các đô thị ven biển như: TP.HCM, Cần Thơ, Hải Phòng hay Đà Nẵng đang đối mặt với tình trạng ngập úng, nước biển dâng và bão nhiệt đới nghiêm trọng hơn.

Hiện phần lớn công trình ở Việt Nam chưa được thiết kế

theo tiêu chuẩn “Climate Resilient Buildings” - công trình có khả năng chống chịu khí hậu.

Trong khi đó, nhiều quốc gia như: Hà Lan hay Bangladesh đã ban hành quy chuẩn riêng cho hạ tầng resilient, yêu cầu mọi dự án xây dựng lớn phải có đánh giá rủi ro khí hậu trước khi được cấp phép. IFC nhận định: “Xây dựng để phát triển là chưa đủ, cần xây dựng để chống chịu”.

Theo nghiên cứu của IFC và Munich RE, mỗi 1 USD đầu tư cho công trình xanh có thể giúp tiết kiệm tới 4 USD chi phí khắc phục sau thiên tai, chi phí đầu tư chỉ tăng thêm khoảng 3% nhưng hoàn vốn trong vòng 3 năm. Vì vậy, IFC khuyến nghị Việt Nam xây dựng hệ thống quy chuẩn kỹ thuật riêng cho công trình chống chịu khí hậu, đặc biệt ở các đô thị ven biển và khu công nghiệp, đồng thời tích hợp tiêu chí thích ứng khí hậu vào quy hoạch đô thị, hạ tầng và đầu tư công.

CẦN THIẾT LẬP QUỸ TÍN DỤNG XANH

Một điểm nghẽn lớn khác được IFC nhấn mạnh là thiếu hệ sinh thái tài chính xanh - điều kiện tiên quyết để công trình xanh phát triển bền vững.

Theo Viện Chiến lược, Chính sách nông nghiệp và môi trường (Bộ NN&MT), Việt Nam cần khoảng 368 tỷ USD đầu tư xanh đến năm 2040, song dư nợ tín dụng xanh hiện mới chiếm 4,2% tổng dư nợ nền kinh tế. Hầu hết ngân hàng thương mại chưa có sản phẩm tín dụng đặc thù dành cho công trình xanh hoặc chưa coi chứng nhận xanh (EDGE, LEED, LOTUS) là điều kiện ưu tiên trong cấp vốn.

Kinh nghiệm từ Colombia cho thấy vai trò dẫn dắt của IFC có thể tạo nên bước ngoặt. Tại đây, IFC đã đầu tư 115 triệu USD thông qua trái phiếu xanh của Bancolombia, hỗ trợ phát triển công trình và nhà ở xanh trả góp. Chỉ sau 5 năm, 18 triệu m² sàn xây dựng đạt chứng nhận xanh, 200 nghìn căn nhà được chứng nhận EDGE, trong đó 60% là nhà ở xã hội (NOXH); người mua nhà tiết kiệm trung bình 20 USD/tháng chi phí năng lượng.

Thành công này lan tỏa đến toàn hệ thống tài chính, khi 6 ngân hàng Colombia phát triển sản phẩm tín dụng xanh. Năm 2022, IFC tiếp tục rót 200 triệu USD vào BBVA để mở rộng mô hình nhà ở “Zero Carbon Ready”, hướng tới trung hòa carbon toàn ngành BĐS.

Đối chiếu với Việt Nam, mặc dù Quyết định số 21/2025/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ đã quy định tiêu chí môi trường và việc xác nhận dự án đầu tư thuộc danh mục phân loại xanh, nhưng việc triển khai trên thực tế vẫn còn chậm.

Một số ngân hàng như HDBank và Standard Chartered Việt Nam đã thử nghiệm sản phẩm “Green Mortgage” dành cho người mua nhà đạt chứng nhận xanh; trong khi BIDV triển khai gói tín dụng 10 nghìn tỷ đồng hỗ trợ doanh nghiệp BĐS phát triển dự án xanh. Tuy nhiên, các chương trình này vẫn mang tính thử nghiệm, quy mô nhỏ và chưa có khung chính sách hỗ trợ lãi suất đồng bộ.

Trong bối cảnh đó, Bộ Tài chính đang dự thảo Nghị định quy định về hỗ trợ lãi suất 2%/năm cho doanh nghiệp khu vực kinh tế tư nhân, hộ kinh doanh, cá nhân kinh doanh khi vay vốn thông qua các Quỹ tài chính nhà nước ngoài ngân sách để thực hiện dự án xanh, tuần hoàn hoặc áp dụng khung tiêu chuẩn môi trường, xã hội và quản trị (ESG).

Theo dự thảo, khoản vay được hỗ trợ lãi suất phải thuộc Danh mục dự án xanh, tuần hoàn, ESG được Bộ NN&MT công bố; chưa được hưởng ưu đãi từ NSNN khác; có lãi suất tối thiểu 2%/năm; và được giải ngân, phát sinh dư nợ sau thời điểm Nghị định có hiệu lực.

Nguồn kinh phí hỗ trợ được bố trí từ ngân sách đầu tư công trung ương và địa phương, tùy theo cấp quản lý Quỹ. Mức hỗ trợ 2%/năm sẽ được giảm trừ trực tiếp vào số tiền lãi phải trả của khách hàng vay vốn.

Theo Bộ Tài chính, cơ sở pháp lý của chính sách này được xác định tại Nghị quyết số 198/2025/QH15, nhằm cụ thể hóa chủ trương hỗ trợ khu vực tư nhân tham gia đầu tư xanh. Tuy nhiên, Quyết định hướng dẫn xác định dự án xanh, tuần hoàn và ESG của Thủ tướng Chính phủ hiện chưa ban hành, khiến việc triển khai trên thực tế còn chậm và khó đánh giá nhu cầu nguồn lực.

Vì vậy, việc sớm thiết lập Quỹ tín dụng xanh cho ngành Xây dựng được IFC đề xuất là cần thiết, nhằm tạo kênh tài chính trung gian hiệu quả, có thể kết hợp giữa nguồn vốn ngân sách và tín dụng thương mại, cho phép khấu trừ thuế hoặc ưu đãi lãi suất đối với các công trình đạt chứng nhận: EDGE, LEED, LOTUS, đồng thời mở rộng khả năng tiếp cận Quỹ Khí hậu xanh (GCF) và Quỹ Môi trường toàn cầu (GEF).

Bên cạnh đó, thể chế và khung pháp lý cho công trình xanh ở Việt Nam vẫn còn yếu. Sau hơn 10 năm triển khai, hệ thống EDGE (IFC) hiện là chứng nhận phổ biến nhất, chiếm 43,8% diện tích công trình xanh, vượt LEED (41,5%) và Green Mark (11%), nhưng tổng diện tích công trình xanh vẫn chiếm tỷ lệ rất nhỏ trong hàng trăm triệu mét vuông sàn xây mới mỗi năm.

Nguyên nhân nằm ở việc các quy định hiện hành mới dừng ở khuyến khích tự nguyện. QCVN 09:2025/BXD về sử dụng năng lượng hiệu quả mới chỉ mang tính định hướng;

Luật Xây dựng và Luật Nhà ở chưa quy định bắt buộc tiêu chí xanh trong thẩm định, cấp phép hay đấu thầu dự án.

Trong khi đó, Singapore đã yêu cầu tất cả công trình mới đạt chứng nhận Green Mark từ năm 2023, còn Malaysia áp dụng GBI (Green Building Index) như điều kiện cấp phép đầu tư.

IFC nhận định: “Cần biến công trình xanh từ lựa chọn tự nguyện thành điều kiện bắt buộc trong đầu tư công, quy hoạch đô thị và NOXH”. Theo đó, Việt Nam nên sửa đổi Luật liên quan, lồng ghép tiêu chí xanh vào quy chuẩn, quy hoạch và cấp phép đầu tư, đồng thời thiết lập hệ thống kiểm định - xác minh độc lập (MRV) để đảm bảo công trình xanh thực chất, tránh hình thức. Các công trình đạt chứng nhận xanh cũng nên được gắn với chương trình tín chỉ carbon quốc gia để tạo động lực kinh tế trực tiếp.

MỖI MÉT VUÔNG SÀN XANH LÀ MỘT BƯỚC TIẾN

Một vấn đề mang tính nền tảng khác là thiếu dữ liệu và năng lực quản trị xanh. IFC cho biết Việt Nam hiện chưa có cơ sở dữ liệu thống nhất về phát thải, tiêu thụ năng lượng và vật liệu trong ngành Xây dựng, khiến việc kiểm kê và lập kế hoạch giảm phát thải gặp nhiều khó khăn. Các dữ liệu hiện phân tán giữa cơ quan trung ương, địa phương và doanh nghiệp, chưa được chuẩn hóa theo chuẩn MRV quốc tế.

Trong khi đó, các quốc gia Đông Nam Á như Philippines và Thái Lan đã triển khai bộ công cụ dữ liệu xanh (Green Data Tools) do IFC hỗ trợ, bao gồm: bản đồ rủi ro khí hậu đô thị, khung đánh giá khả năng chống chịu công trình, và công cụ MRV đo lường, báo cáo, thẩm định phát thải. Các công cụ này giúp tích hợp thông tin phát thải vào quy hoạch, cho phép Chính phủ và nhà đầu tư đưa ra quyết định chính xác hơn.

Việt Nam có thể tận dụng kinh nghiệm này để xây dựng cơ sở dữ liệu quốc gia ngành Xây dựng, phục vụ chương trình MRV quốc gia và thị trường tín chỉ carbon nội địa (2028) theo Nghị định số 119/2025/NĐ-CP sửa đổi, bổ sung một số điều của Nghị định số 06/2022/NĐ-CP của Chính phủ quy định giảm nhẹ phát thải khí nhà kính và bảo vệ tầng ozon. Khi đó, doanh nghiệp xây dựng có thể đo lường, xác minh và bán lượng phát thải giảm được trên sàn giao dịch carbon, tạo nguồn thu mới cho hoạt động đầu tư xanh.

Từ những phân tích trên, có thể thấy 5 rào cản mà IFC nêu ra cũng chính là 5 định hướng chiến lược cho ngành Xây dựng Việt Nam trong giai đoạn 2025-2050: (i) chuyển đổi sang mô hình phát thải thấp; (ii) tăng khả năng chống chịu khí hậu; (iii) mở rộng hệ sinh thái tài chính xanh; (iv) hoàn thiện khung pháp lý và tiêu chuẩn kỹ thuật; (v) thiết lập hệ thống dữ liệu và công cụ quản trị phát thải. Đây không chỉ là nhiệm vụ riêng của Bộ Xây dựng, mà là yêu cầu phối hợp giữa các Bộ, ngành và cộng đồng doanh nghiệp.

Bài học từ Colombia, Singapore hay Malaysia cho thấy, chỉ khi thể chế, tài chính và công nghệ cùng vận hành, công trình xanh mới trở thành xu thế tất yếu. Như khẳng định của IFC: “Mỗi mét vuông sàn xanh không chỉ là giá trị vật chất, mà là một bước tiến của Việt Nam trên hành trình hướng tới Net Zero”.❖

Kỳ vọng doanh nghiệp sản xuất VLXD dẫn dắt hành trình chuyển đổi xanh

> THANH TÂM

Giảm phát thải không chỉ là yêu cầu của các cam kết quốc tế mà đang trở thành động lực đổi mới công nghệ, nâng cao năng lực cạnh tranh của ngành vật liệu xây dựng (VLXD). Doanh nghiệp VLXD được kỳ vọng sẽ dẫn dắt hành trình chuyển đổi xanh giai đoạn 2025 - 2030.

ĐỊNH HÌNH LỘ TRÌNH GIẢM PHÁT THẢI CHO NGÀNH VẬT LIỆU

Ngành VLXD là một trong những lĩnh vực công nghiệp trọng điểm, có đóng góp lớn cho GDP và phát triển hạ tầng quốc gia, đồng thời cũng là một trong các ngành có mức phát thải khí nhà kính (KNK) cao nhất.

Theo ước tính tổng hợp ngành VLXD, tổng phát thải KNK từ sản xuất xi măng, gạch nung và các vật liệu khác chiếm gần 10% tổng phát thải quốc gia, trong đó riêng ngành xi măng chiếm khoảng 60% lượng phát thải của toàn ngành VLXD.

Trong bối cảnh Việt Nam đã cam kết tại COP26 đạt phát thải ròng bằng 0 vào năm 2050, Bộ Xây dựng đang triển khai đồng bộ các chính sách và chương trình hành động cụ thể nhằm giảm phát thải KNK. Một trong những tài liệu định hướng quan trọng là Kế hoạch giảm phát thải KNK ngành sản xuất VLXD đến năm 2030, đang được Viện VLXD biên soạn.

Theo dự thảo Kế hoạch, ngành VLXD đặt mục tiêu đến năm 2030 giảm ít nhất 15,03% lượng phát thải so với kịch bản phát triển thông thường (BAU), tương đương khoảng 23,2 triệu tấn CO₂ tương đương (CO₂e). Khi có hỗ trợ thêm của quốc tế, mức giảm có thể đạt 20,06%, tương ứng 30,97 triệu tấn CO₂e. Đây là bước tiến quan trọng hướng tới mục tiêu quốc gia về giảm phát thải, đồng thời đặt ra thách thức lớn cho các doanh nghiệp trong ngành, đặc biệt là trong giai đoạn 2024 - 2030 khi nhu cầu đầu tư đổi mới công nghệ trở nên cấp bách.

Kế hoạch giảm phát thải KNK ngành sản xuất VLXD được xây dựng trên cơ sở xác định rõ các nhóm biện pháp giảm phát thải chủ yếu đối với các lĩnh vực xi măng, gạch nung và các quá trình công nghiệp liên quan, được xây dựng dựa trên hệ thống văn bản gồm: (i) Luật Bảo vệ môi trường năm 2020: quy định tại Điều 91, 92 và 139 về giảm nhẹ phát thải KNK, bảo vệ tầng ozon và phát triển thị trường carbon; (ii) Nghị định số 06/2022/NĐ-CP, ngày 07/01/2022 của Chính phủ quy định giảm nhẹ phát thải KNK và bảo vệ tầng ozon; (iii) Nghị định số 119/2025/NĐ-CP sửa đổi, bổ sung một số điều của Nghị định số 06/2022/NĐ-CP; (iv) Cùng các cam kết quốc tế, trong đó có Đóng góp do quốc gia tự quyết định (NDC) cập nhật năm 2022.

Khi dự thảo Kế hoạch được ban hành, sẽ là lần đầu tiên ngành VLXD có lộ trình định lượng cụ thể về cường độ phát thải và cơ chế giám sát. Bộ Xây dựng đóng vai trò cơ quan chủ quản; Vụ KHCNMT&VLXD, Viện VLXD là đầu mối thực hiện, phối hợp với Sở Xây dựng các tỉnh, thành phố, các tổng công ty xi măng, hiệp hội và doanh nghiệp sản xuất vật liệu để triển khai.

DOANH NGHIỆP ĐẨY MẠNH CHUYỂN ĐỔI CÔNG NGHỆ GIẢM PHÁT THẢI

Trong tiến trình thực hiện cam kết giảm phát thải KNK của Việt Nam, ngành VLXD được xác định là một trong những lĩnh vực cần chuyển đổi sớm, bởi đây là nhóm ngành có cường độ phát thải lớn và tiêu thụ năng lượng cao.

Mục tiêu kép đang được ngành hướng tới là vừa tuân thủ các cam kết quốc tế về giảm phát thải, vừa thúc đẩy đổi mới công nghệ, tiết kiệm năng lượng và phát triển thị trường tín chỉ carbon trong nước, qua đó hình thành cơ hội kinh tế mới cho những doanh nghiệp chủ động thích ứng.

Các giải pháp kỹ thuật trọng tâm được ưu tiên triển khai trong ngành thời gian qua gồm: (i) thu hồi và tận dụng nhiệt thải trong sản xuất; (ii) tối ưu hóa công nghệ nung và nghiền; (iii) thay thế một phần clinker bằng phụ gia khoáng; (iv) sử dụng nhiên liệu thay thế; và (v) tăng cường kiểm kê, giám sát và báo cáo phát thải.

Trong đó, giải pháp thu hồi và tận dụng nhiệt thải mang lại hiệu quả giảm phát thải rõ rệt nhất trong ngành xi măng - lĩnh vực phát thải nhiều nhất trong chuỗi VLXD. Nhiệt thải từ lò nung clinker có thể được thu hồi để phát điện hoặc gia nhiệt cho các công đoạn khác.

Hiện nay, có khoảng 34 dây chuyền xi măng trên cả nước đã đầu tư hệ thống phát điện tận dụng nhiệt dư với tổng công suất khoảng 248 MW. Tiêu biểu như Công ty Xi măng Vicem Bút Sơn đã khánh thành hệ thống phát điện nhiệt thừa khí thải công suất 12 MW, cung cấp gần 30% nhu cầu điện năng của nhà máy, giúp giảm phát thải khoảng 86 nghìn tấn CO₂ mỗi năm. Đây là minh chứng cho hiệu quả "lợi kép", vừa tiết kiệm chi phí năng lượng, vừa giảm phát thải gián tiếp từ điện mua ngoài.

Giải pháp sử dụng nhiên liệu thay thế (Alternative Fuels - AFR) như: rác thải công nghiệp, sinh khối, bùn thải hoặc chất thải rắn sinh hoạt đang dần được áp dụng trong các nhà máy xi măng lớn. Việc thay thế một phần than cám giúp giảm đáng kể phát thải CO₂ và góp phần xử lý chất thải địa phương.

Tại Vicem Hoàng Thạch và Xi măng Bút Sơn, tỷ lệ thay thế nhiên liệu đã đạt khoảng 25 - 30% tổng nhu cầu nhiệt. Một số doanh nghiệp, như xi măng Lam Thạch, thậm chí đã triển khai mô hình “đổi rác lấy tiền”, thu gom rác thải sinh hoạt để đồng xử lý, qua đó vừa giảm chi phí nhiên liệu 10 - 15%, vừa xử lý rác hiệu quả.

Dù vậy, tỷ lệ sử dụng nhiên liệu thay thế của toàn ngành vẫn mới đạt khoảng 3 - 4%, cho thấy dư địa còn rất lớn nếu có cơ chế hỗ trợ phù hợp về logistics, tiêu chuẩn kỹ thuật và tín dụng xanh.

Giải pháp giảm tỷ lệ clinker và tăng phụ gia khoáng: Quá trình sản xuất clinker là nguyên liệu chính của xi măng phát sinh lượng lớn CO₂ do phản ứng nhiệt phân CaCO₃. Việc giảm tỷ lệ clinker trong phối liệu xi măng, thay thế bằng tro bay, xỉ lò cao, đá vôi nghiền mịn, bùn thải xử lý, được xem là giải pháp “giảm phát thải hóa học” hiệu quả nhất.

Tỷ lệ clinker trung bình trong xi măng Việt Nam hiện khoảng 70 - 75%, trong khi nhiều nước phát triển đã giảm xuống còn 60 - 65%. Nếu toàn ngành giảm được 5% tỷ lệ clinker, lượng phát thải có thể giảm tương ứng 3 - 4 triệu tấn CO₂ mỗi năm.

Giải pháp nâng cao hiệu suất năng lượng và quản lý điện năng: Để sản xuất 1 tấn clinker, các nhà máy xi măng hiện tiêu thụ khoảng 120 - 140 kg than và 60 - 65 kWh điện; tương ứng phát thải khoảng 0,85 - 0,9 tấn CO₂/tấn clinker. Các giải pháp tự động hóa, kiểm soát cân bằng nhiệt, và áp dụng hệ thống quản lý năng lượng ISO 50001 giúp giảm từ 5 - 10% cường độ năng lượng, tương đương hàng trăm nghìn tấn CO₂ mỗi năm.

Nhà máy Xi măng Long Sơn (Thanh Hóa), sau khi triển khai dự án tối ưu hóa năng lượng và tận dụng nhiệt, đã tiết kiệm được hơn 160 triệu kWh điện, tương đương 26% tổng tiêu thụ điện đầu vào, một con số ấn tượng trong bối cảnh giá điện tăng và chi phí sản xuất bị siết chặt.

Các doanh nghiệp xi măng lớn như: Vicem, Fico-YTL, Bim Sơn, Xuân Thành hay Viglacera đều đã có chương trình hành động giảm phát thải cụ thể. Trong đó, Vicem đặt mục tiêu giảm 10% cường độ phát thải CO₂/tấn xi măng vào năm 2025 và 20% vào năm 2030.

Vicem Hoàng Thạch đã áp dụng hệ thống MRV (Measurement - Reporting - Verification) để kiểm kê phát thải KNK, trong khi Viglacera Hạ Long tập trung cải tiến dây chuyền gạch tuynel tiết kiệm năng lượng và áp dụng công nghệ đốt LPG thay than cám, giúp giảm 15% phát thải và 20% chi phí vận hành.

Bên cạnh đó, một số doanh nghiệp lớn trong ngành xi măng và VLXD đã hợp tác với các tổ chức tài chính quốc tế như IFC trong các chương trình hỗ trợ chuyển đổi công nghệ và sử dụng năng lượng hiệu quả. Đây là hướng đi phù hợp xu thế, giúp doanh nghiệp tiếp cận tín dụng xanh, đầu tư thiết bị thu hồi nhiệt và giảm phát thải bền vững.

CƠ CHẾ CARBON - ĐỘNG LỰC THÚC ĐẨY CHUYỂN ĐỔI XANH

Dù có nhiều nỗ lực, nhưng phần lớn doanh nghiệp VLXD

đang gặp những rào cản lớn như: (i) Chi phí đầu tư ban đầu cao, đặc biệt với các hệ thống tận dụng nhiệt, AFR hoặc thiết bị kiểm soát khí thải; (ii) Thiếu cơ chế ưu đãi cụ thể về thuế, tín dụng, và khấu trừ carbon để khuyến khích đầu tư xanh; (iii) Chuỗi cung ứng nhiên liệu thay thế chưa ổn định, chi phí vận chuyển rác, sinh khối, phế thải cao; (iv) Thiếu nhân lực kỹ thuật am hiểu kiểm kê và tính toán phát thải theo phương pháp IPCC; (v) Cạnh tranh thị trường khốc liệt khiến các doanh nghiệp khó cân đối giữa chi phí đầu tư xanh và giá bán sản phẩm.

Những khó khăn này đòi hỏi sự hỗ trợ mạnh mẽ hơn từ cơ quan quản lý, cũng như cơ chế tài chính linh hoạt để doanh nghiệp có thể “xanh hóa” mà không mất đi sức cạnh tranh.

Mặc dù vậy, cơ hội cũng đang mở ra từ chính sách thị trường carbon bằng việc ban hành Nghị định số 119/2025/NĐ-CP về phát triển thị trường carbon, được xem là cú hích cho doanh nghiệp VLXD. Theo đó, doanh nghiệp thực hiện giảm phát thải vượt chỉ tiêu có thể bán tín chỉ carbon, trong khi doanh nghiệp chưa đạt yêu cầu có thể mua bổ sung.

Ngành xi măng, với tổng phát thải hơn 80 triệu tấn CO₂/năm, nếu giảm được 1% phát thải tương ứng 800 nghìn tín chỉ carbon (1 tín chỉ = 1 tấn CO₂e). Với mức giá quốc tế hiện khoảng 5 - 10 USD/tín chỉ, giá trị kinh tế có thể đạt 4 - 8 triệu USD/năm, là con số đáng kể để tái đầu tư công nghệ. Đây chính là động lực kinh tế để các doanh nghiệp VLXD coi “giảm phát thải” không chỉ là nghĩa vụ, mà còn là nguồn thu và lợi thế cạnh tranh trong tương lai.

Theo các chuyên gia và định hướng của Viện VLXD, để hoàn thành mục tiêu giảm phát thải 15,03% đến năm 2030, cần đồng thời triển khai các nhóm giải pháp. Trong đó, về phía Nhà nước, cần sớm ban hành danh mục cơ sở phải kiểm kê KNK ngành VLXD và hướng dẫn phương pháp MRV; xây dựng quỹ hỗ trợ chuyển đổi công nghệ xanh, cho phép doanh nghiệp khấu trừ chi phí đầu tư tiết kiệm năng lượng vào thuế TNDN; tăng cường hợp tác quốc tế để doanh nghiệp tiếp cận nguồn vốn ưu đãi từ Quỹ Khí hậu xanh (GCF) và Quỹ Môi trường toàn cầu (GEF).

Về phía doanh nghiệp, cần chủ động kiểm kê phát thải, lập kế hoạch giảm phát thải nội bộ, đào tạo cán bộ phụ trách môi trường; Tăng cường đầu tư vào thiết bị thu hồi nhiệt, sử dụng nhiên liệu thay thế và phụ gia khoáng; Phát triển sản phẩm “xi măng xanh”, “gạch carbon thấp” có chứng nhận môi trường, phù hợp xu hướng thị trường quốc tế; Tham gia các dự án thí điểm tín chỉ carbon trong nước, tận dụng cơ hội tài chính mới từ thị trường carbon.

Kế hoạch giảm phát thải KNK ngành VLXD đến năm 2030 là bước ngoặt quan trọng trong chính sách môi trường của Bộ Xây dựng, đánh dấu giai đoạn chuyển mình mạnh mẽ của một ngành có tác động lớn đến phát triển kinh tế và môi trường. Doanh nghiệp VLXD, nếu chỉ coi việc giảm phát thải là nghĩa vụ sẽ gặp khó khăn, nhưng nếu nhìn nhận đây là cơ hội tái cấu trúc công nghệ và tăng năng suất xanh, họ sẽ trở thành những người dẫn đầu trong hành trình chuyển đổi bền vững.

Con đường đến năm 2030 đòi hỏi sự kiên định, minh bạch và hợp tác giữa Nhà nước - doanh nghiệp - tổ chức quốc tế. Khi đó, việc giảm phát thải không chỉ góp phần thực hiện cam kết quốc gia, mà còn là chìa khóa để ngành VLXD Việt Nam bước vào chuỗi giá trị toàn cầu với vị thế mới “xây dựng xanh cho tương lai”.

Giao thông xanh - trụ cột của chuyển đổi phát triển bền vững

> THANH BÌNH

Chuyển đổi xanh không còn là lựa chọn, mà là yêu cầu bắt buộc để Việt Nam thực hiện các cam kết quốc tế về khí hậu. Trong bức tranh đó, ngành giao thông chiếm hơn 75% tổng lượng phát thải khí nhà kính, đang trở thành mắt xích quyết định của quá trình chuyển đổi xanh.

HƯỚNG ĐI CÔNG NGHIỆP HÓA HIỆN ĐẠI

Khi dân số đô thị, nhu cầu logistics và sở hữu phương tiện cá nhân tăng nhanh, lượng phát thải CO₂ từ giao thông sẽ tiếp tục leo thang nếu không có bước ngoặt về công nghệ, hạ tầng và chính sách.

Theo báo cáo của Viện Chiến lược, Chính sách nông nghiệp và môi trường (Bộ NN&MT), Việt Nam cần huy động khoảng 368 tỷ USD đến năm 2040 để đạt mục tiêu Net Zero 2050. Trong đó, giao thông và năng lượng là hai lĩnh vực cần lượng vốn đầu tư xanh lớn nhất. Hiện nay, dư nợ tín dụng xanh của Việt Nam chỉ chiếm khoảng 4,2% tổng dư nợ nền kinh tế, cho thấy khoảng trống tài chính xanh còn rất lớn.

ThS Tạ Đức Bình - Viện Chiến lược, Chính sách nông nghiệp và môi trường, nhấn mạnh: “Không thể đạt được mục tiêu trung hòa carbon nếu không điện hóa giao thông vận tải và phát triển hạ tầng sạc trước một bước.”

Trong khi đó, xu hướng toàn cầu đang chuyển mạnh sang đầu tư carbon thấp: xe điện, hạ tầng sạc, vận tải công cộng sạch, nhiên liệu hydro và ammonia xanh. Đông Nam Á đang ở thời điểm bản lề, vừa là khu vực tiêu thụ năng lượng nhanh, vừa là nguồn cung khoáng sản chiến lược (niken, đất hiếm) cho chuỗi cung ứng pin toàn cầu.

Vì vậy, Việt Nam cần chủ động nắm lấy “cửa sổ cơ hội công nghiệp mới” thông qua việc xanh hóa giao thông - không chỉ vì môi trường, mà còn là hướng đi công nghiệp hóa hiện đại, giúp Việt Nam tham gia sâu hơn vào chuỗi giá trị xanh khu vực ASEAN và toàn cầu.

KINH NGHIỆM TỪ TRUNG QUỐC VÀ ẤN ĐỘ

Theo ThS Tạ Đức Bình, Trung Quốc và Ấn Độ là hai mô hình điển hình ở châu Á về điện hóa giao thông và phát triển hạ tầng

xanh. Tại Trung Quốc, xe điện (EV) chiếm hơn 50% tổng doanh số xe mới năm 2024. Ba yếu tố làm nên thành công gồm: (i) Chính sách trợ giá mạnh mẽ; (ii) Làm chủ chuỗi cung ứng pin - sạc - linh kiện; (iii) Chi phí sở hữu xe điện (TCO) thấp hơn 10% so với xe xăng truyền thống.

Chính phủ Trung Quốc không chỉ hỗ trợ sản xuất, mà còn đầu tư mạnh vào mạng lưới trạm sạc có công suất trung bình 35 kW/xe, cao hơn nhiều so với mức trung bình toàn cầu.

Tại Ấn Độ, chiến lược “bắt đầu từ dưới lên” tập trung vào xe ba bánh và xe bus đô thị, giúp EV 3 bánh đạt 60% thị phần năm 2024. Nhờ chính sách ưu đãi thuế, giảm chi phí pin và mở rộng trạm sạc tăng 140% giai đoạn 2021-2025, Ấn Độ nhanh chóng hình thành thị trường quy mô và giảm mạnh chi phí công nghệ.

ThS Tạ Đức Bình nhấn mạnh, những mô hình này cho thấy một quy luật rõ ràng: Chính phủ phải đi trước đầu tư vào hạ tầng, cơ chế tài chính và chính sách ưu đãi phải đi trước khi kỳ vọng khu vực tư nhân hoặc người tiêu dùng tham gia. Việt Nam đang ở đúng giai đoạn cần đi trước một bước như vậy.

6 ĐỊNH HƯỚNG CHÍNH SÁCH CHO GIAO THÔNG XANH VIỆT NAM

Từ kinh nghiệm quốc tế và đặc thù trong nước, ThS Tạ Đức Bình đề xuất 6 định hướng trọng tâm để thúc đẩy giao thông xanh, hướng tới mục tiêu Net Zero 2050:

Thứ nhất, phát triển hạ tầng sạc và hệ thống đổi pin trước một bước. Hệ thống trạm sạc, đổi pin và hạ tầng năng lượng sạch cần được đầu tư đồng bộ, ưu tiên tại các đô thị lớn và tuyến logistics trọng điểm. Đây là điều kiện tiên quyết để thị trường xe điện hình thành và mở rộng.

Thứ hai, ưu tiên điện hóa xe công, xe bus và logistics trước xe cá nhân. Các phương tiện công vụ, vận tải hành



khách công cộng và vận tải hàng hóa có tần suất cao cần được chuyển đổi trước, giúp giảm phát thải nhanh và tạo thị trường quy mô ban đầu.

Thứ ba, khuyến khích doanh nghiệp nội địa tham gia chuỗi giá trị pin - sạc - phần mềm. Việt Nam có tiềm năng về niken, đất hiếm, và nhân lực kỹ thuật; cần hình thành các cụm công nghiệp hỗ trợ để nâng tỷ lệ nội địa hóa, giảm chi phí và tạo việc làm xanh.

Thứ tư, kết hợp chính sách tài khóa và tín dụng xanh. Ưu đãi thuế nhập khẩu, thuế tiêu thụ đặc biệt và gói tín dụng xanh cần gắn liền với tiêu chí phát thải thấp. Ngân hàng Nhà nước nên có chương trình tín dụng riêng cho xe điện và hạ tầng sạc.

Thứ năm, thiết lập các "Khu thử nghiệm xe điện" (EV Pilot Zones). Thí điểm mô hình đô thị hoặc khu công nghiệp vận hành hoàn toàn bằng phương tiện điện - nơi tích hợp hệ thống sạc, logistics thông minh và dữ liệu giao thông số hóa.

Thứ sáu, thành lập "Quỹ hạ tầng xe điện Việt Nam". Quỹ tập trung nguồn lực từ ngân sách, ODA, quỹ khí hậu, vốn tư nhân và tín chỉ carbon, hỗ trợ trực tiếp các dự án hạ tầng sạc và đổi pin.

Sáu nhóm giải pháp này nếu được triển khai đồng bộ sẽ hình thành "vòng tròn phát triển xanh" giữa ba trụ cột: năng lượng tái tạo - hạ tầng giao thông - công nghiệp hỗ trợ, tạo nền tảng vững chắc cho nền kinh tế carbon thấp.

LIÊN KẾT CHÍNH SÁCH LIÊN NGÀNH - CHÌA KHÓA CỦA THÀNH CÔNG

Theo ThS Tạ Đức Bình, Việt Nam không thể phát triển giao thông xanh tách rời khỏi các chiến lược và quy hoạch quốc gia khác, gồm: (i) Quy hoạch điện VIII: đảm bảo nguồn điện tái tạo cho hạ tầng sạc; (ii) Chiến lược tăng trưởng xanh quốc gia 2021 - 2030; (iii) Đề án phát triển thị trường carbon trong

nước; (iv) Kế hoạch hành động kinh tế tuần hoàn Quyết định số 222/QĐ-TTg, ngày 23/01/2025 của Thủ tướng Chính phủ, ban hành Kế hoạch hành động quốc gia thực hiện kinh tế tuần hoàn đến năm 2035; (v) Danh mục phân loại xanh (Quyết định số 21/2025/QĐ-TTg, ngày 04/7/2025 của Thủ tướng Chính phủ, quy định tiêu chí môi trường và việc xác nhận dự án đầu tư thuộc danh mục phân loại xanh, trong đó giao thông vận tải là một trong bảy lĩnh vực ưu tiên.

Sự đồng bộ giữa các chiến lược này là điều kiện tiên quyết để hình thành hệ sinh thái đầu tư xanh thống nhất, thu hút vốn tư nhân, FDI và các quỹ khí hậu quốc tế.

Nói cách khác, nếu thiếu tính liên kết, dòng vốn xanh sẽ không vào đúng địa chỉ, Việt Nam có thể đánh mất cơ hội vàng để tái cấu trúc ngành giao thông theo hướng bền vững.

Đứng trước xu thế dịch chuyển chuỗi cung ứng xanh toàn cầu và dòng vốn ESG, ThS Tạ Đức Bình khuyến nghị Việt Nam cần sớm hoàn thiện hệ sinh thái giao thông xanh toàn diện, gồm: (i) Khung pháp lý minh bạch, đồng bộ; (ii) Cơ chế ưu đãi vượt trội về thuế và đất đai; (iii) Hệ thống giám sát, báo cáo, kiểm định phát thải (MRV) đáng tin cậy; (iv) Cơ chế hợp tác công - tư (PPP) linh hoạt cho các dự án hạ tầng sạc, bến bãi, vận tải công cộng điện hóa. Chỉ khi đó, Việt Nam mới có thể biến cam kết Net Zero thành hành động thực tế, đưa ngành giao thông trở thành động lực tăng trưởng xanh của nền kinh tế.

Giao thông xanh không chỉ là phương tiện của tương lai, mà là nền tảng của phát triển bền vững. Với sự phối hợp giữa các bộ, ngành và cộng đồng doanh nghiệp, Việt Nam hoàn toàn có thể hình thành hệ sinh thái giao thông xanh toàn diện, nơi mỗi tuyến đường, mỗi đô thị và mỗi phương tiện đều góp phần vào mục tiêu phát triển carbon thấp - thịnh vượng - bền vững. ❖

Tạo lập chính sách phát triển nhà ở xã hội đồng bộ



HUY THẢO

Đề án 1 triệu căn nhà ở xã hội (NOXH) đã thực hiện hơn nửa chặng đường với gần 60% mục tiêu được khởi động, cho thấy hiệu quả bước đầu của một chủ trương an sinh lớn.

QUYẾT TÂM CHÍNH TRỊ VÀ KHUNG CHÍNH SÁCH ĐỒNG BỘ

Phát triển NOXH không còn là một chính sách riêng lẻ mà trở thành một nhiệm vụ trọng tâm, thể hiện quyết tâm chính trị cao độ của toàn hệ thống. Thủ tướng Chính phủ Phạm Minh Chính, với vai trò Trưởng Ban chỉ đạo Trung ương về chính sách nhà ở và thị trường BĐS, đã liên tục chủ trì các cuộc họp, ban hành nhiều công điện chỉ đạo, nhấn mạnh mục tiêu phải hoàn thành ít nhất 100 nghìn căn NOXH trong năm 2025.

Sự quyết tâm này được cụ thể hóa bằng một lộ trình chính sách bài bản. Cột mốc quan trọng là việc phê duyệt Đề án “Đầu tư xây dựng ít nhất 01 triệu căn hộ NOXH cho đối tượng thu nhập thấp, công nhân KCN giai đoạn 2021 - 2030” tại Quyết định số 338/QĐ-TTg ngày 03/4/2023.

Quyết định này đã tạo ra một khung chính sách tổng thể, là nền tảng để các địa phương đẩy mạnh triển khai trong giai đoạn 2023 - 2024. Nhằm tăng tốc và cụ thể hóa các mục tiêu sau giai đoạn khởi động này, Chính phủ đã tiếp tục ban hành Quyết định số 444/QĐ-TTg ngày 27/02/2025, chính thức giao chỉ tiêu hoàn thành NOXH cụ thể cho từng địa phương trong năm 2025 và các năm tiếp theo, mở ra một giai đoạn chạy nước rút quyết liệt hơn.

Để chính sách đi vào thực tiễn, dòng vốn là yếu tố huyết mạch. Ngân hàng Nhà nước Việt Nam (NHNN) đã triển khai Chương trình tín dụng quy mô lên tới 145 nghìn tỷ đồng theo Nghị quyết 33/NQ-CP. Điểm nổi bật của chương trình này là lãi suất ưu đãi liên tục được điều chỉnh giảm. Tính đến nay, lãi suất cho vay chỉ còn 6,4%/năm đối với chủ đầu tư và 5,9%/năm đối với người mua nhà, giảm đáng kể so với mức 8,7% và 8,2% tại thời điểm bắt đầu.

Để khuyến khích các ngân hàng thương mại tham gia, NHNN cho phép không tính dư nợ cho vay của chương trình này vào chỉ tiêu tăng trưởng tín dụng hằng năm, đồng thời chỉ

đạo cho vay đối với người trẻ dưới 35 tuổi mua nhà. Tính đến cuối tháng 7/2025, doanh số cho vay của chương trình này đã đạt 4.578 tỷ đồng.

BỘ, NGÀNH VÀO CUỘC VÀ SỰ TƯƠNG PHẢN GIỮA CÁC ĐỊA PHƯƠNG

Báo cáo tổng hợp của Bộ Xây dựng cho thấy, tính đến hết quý III/2025, cả nước đã hoàn thành 43.681 căn NOXH, đạt 43,6% chỉ tiêu năm. Dự kiến đến hết năm, con số này có thể đạt 82.926/100.275 căn, tương đương 83% kế hoạch. Nhìn vào bức tranh tổng thể của Đề án 1 triệu căn hộ, tiến độ đang ở mức khả quan.

Hiện cả nước có 692 dự án đang được triển khai với quy mô 633.559 căn. Trong đó, 165 dự án đã hoàn thành 110.436 căn, 147 dự án đã khởi công (135.033 căn) và 380 dự án được chấp thuận chủ trương đầu tư (388.090 căn). Tổng số căn hộ đã, đang và sẽ sớm triển khai này tương đương 59,6% mục tiêu của Đề án.

Dù bức tranh chung có nhiều điểm sáng, nhưng khi đi sâu vào từng địa phương lại cho thấy sự phân hóa rõ rệt. Nhiều tỉnh, thành đã bứt phá mạnh mẽ, trở thành những điểm sáng trên cả nước. Điển hình như Nghệ An dự kiến hoàn thành 173% chỉ tiêu năm, Phú Thọ 125%, Huế 120%, Hưng Yên 113%, Thái Nguyên và Tây Ninh cùng 106%, Hải Phòng 101% và Cà Mau 100%. Bắc Ninh cũng là một địa phương nỗ lực khi đã hoàn thành 8.919 căn trong 9 tháng và dự kiến đạt 102% kế hoạch năm.

Trái ngược những con số ấn tượng trên, hai đầu tàu kinh tế lớn nhất lại đang đối mặt với nhiều thách thức. Hà Nội mới hoàn thành 2.060/4.670 căn, đạt 44% và dự kiến cả năm chỉ đạt 68%, thiếu hụt 1.510 căn. Tình hình tại TP.HCM còn khó khăn hơn khi mới hoàn thành 4.277/13.040 căn và dự kiến thiếu tới 6.138 căn để đạt mục tiêu năm. Đáng báo động hơn, một số địa phương như Sơn La và Hà Tĩnh chưa hoàn thành được dự án nào và khả năng đạt chỉ tiêu năm 2025 là 0%.



Dự án NOXH do HUD đầu tư tại tỉnh Khánh Hòa.



Đề án 1 triệu căn NOXH đã đi được hơn nửa chặng đường với gần 60% mục tiêu được khởi động, cho thấy hiệu quả bước đầu của một chủ trương an sinh lớn.

Bên cạnh các địa phương, các cơ quan Trung ương cũng tích cực tham gia. Bộ Công an đã triển khai khởi công 4 dự án với quy mô khoảng 3.200 căn tại Hà Nội và TP.HCM. Bộ Quốc phòng cũng đang phối hợp chặt chẽ với các địa phương để triển khai các dự án cho lực lượng vũ trang. Tổng Liên đoàn Lao động Việt Nam đã khởi công 1 dự án 525 căn tại Đồng Tháp và dự kiến khởi công thêm 4 dự án nữa tại: Vĩnh Long, Bắc Ninh, Quảng Ngãi từ nay đến cuối năm.

Mặc dù quyết tâm chính trị cao và chính sách đã có, thực tế triển khai còn vướng nhiều "điểm nghẽn". Thứ nhất, một số địa phương chưa thực sự quan tâm, chưa đưa chỉ tiêu phát triển NOXH vào kế hoạch phát triển kinh tế - xã hội và chưa thành lập Ban chỉ đạo riêng.

Thứ hai, vướng mắc về quỹ đất rất nan giải. Báo cáo của Bộ Xây dựng chỉ rõ, nhiều ô đất được quy hoạch ở những vị trí xa trung tâm, thiếu kết nối hạ tầng kỹ thuật và xã hội, gây khó khăn cho việc thu hút người dân. Công tác giải phóng mặt bằng chậm cũng trực tiếp ảnh hưởng đến tiến độ. Thứ ba, năng lực của một số chủ đầu tư được lựa chọn còn hạn chế về tài chính và kinh nghiệm, dẫn đến dự án triển khai ị ạch.

Báo cáo từ NHNN cho thấy một "điểm nghẽn" từ góc độ thị trường và tài chính. Thị trường đang thiếu trầm trọng nhà ở giá phù hợp, trong khi tỷ số giá nhà trên thu nhập tại Việt Nam lên tới 23,7 lần, cao hơn nhiều so với mức trung bình thế giới. Nhiều chủ đầu tư vẫn phụ thuộc lớn vào vốn tín dụng ngân hàng do các kênh huy động vốn dài hạn khác như trái phiếu doanh nghiệp chưa phát triển, tiềm ẩn rủi ro về thanh khoản.

HÀNH ĐỘNG QUYẾT LIỆT VÀ CÁC GIẢI PHÁP TRÚNG ĐÍCH

Trước những thách thức trên, Chính phủ đã có những chỉ đạo quyết liệt, kịp thời. Ngày 25/9/2025, Văn phòng Chính phủ đã có văn bản số 9142/VPCP-CN truyền đạt ý kiến chỉ đạo của

Thủ tướng, yêu cầu Bộ Xây dựng thành lập 5 đoàn công tác để trực tiếp đi kiểm tra, xử lý, tháo gỡ khó khăn tại các địa phương. Quyết định thành lập các đoàn công tác này do các Thứ trưởng Bộ Xây dựng làm trưởng đoàn đã được ban hành ngay sau đó, nhắm thẳng vào các địa phương đang chậm tiến độ như: Hà Nội, Hải Phòng, Hưng Yên, Ninh Bình, Thanh Hóa, Hà Tĩnh, Khánh Hòa...

Để hiện thực hóa các chỉ đạo này, Bộ Xây dựng cũng nêu rõ các giải pháp trọng tâm mà Bộ sẽ thực hiện. Cụ thể, Bộ sẽ chủ trì, phối hợp với Bộ Tài chính để nghiên cứu, xây dựng và trình Chính phủ Nghị định về Quỹ nhà ở quốc gia và Nghị định sửa đổi, bổ sung Nghị định số 100/2025/NĐ-CP về phát triển và quản lý NOXH. Song song với đó, Bộ sẽ tăng cường công tác kiểm tra, đôn đốc các địa phương và doanh nghiệp nhằm đẩy mạnh việc triển khai đầu tư xây dựng, đảm bảo hoàn thành các chỉ tiêu đã được Thủ tướng Chính phủ giao.

Bên cạnh đó, các giải pháp liên ngành cũng được đề xuất. Bộ Tài chính cần tiếp tục hoàn thiện các quy định về thị trường chứng khoán và trái phiếu doanh nghiệp để tạo kênh dẫn vốn dài hạn. Các địa phương phải đẩy nhanh thủ tục hành chính, rà soát công tác đấu giá quyền sử dụng đất để đảm bảo minh bạch, chống trục lợi, và ưu tiên bố trí quỹ đất sạch cho NOXH. Đặc biệt, Thủ tướng chỉ đạo đôn đốc các chủ đầu tư thi công với tinh thần "3 ca, 4 kíp", "vượt nắng, thắng mưa", phấn đấu hoàn thành các chỉ tiêu đề ra trong năm 2025.

Có thể thấy, chưa bao giờ quyết tâm hoàn thành mục tiêu NOXH lại được thể hiện mạnh mẽ và toàn diện đến vậy. Sự vào cuộc của cả hệ thống chính trị, từ việc hoàn thiện chính sách, khơi thông dòng vốn đến các mệnh lệnh hành chính quyết liệt, được kỳ vọng sẽ tạo ra một cú hích mạnh mẽ, giúp chương trình NOXH vượt khó và cán đích nửa chặng đầu thành công trong năm 2025, tạo tiền đề vững chắc cho mục tiêu 1 triệu căn NOXH vào năm 2030.❖

PHÁT TRIỂN NHÀ Ở XÃ HỘI:

"Điểm nghẽn" không ở vốn mà là thủ tục tại địa phương

> **THANH TRÀ** (thực hiện)

Dù nhiều chính sách đột phá và gói tín dụng ưu đãi đã được ban hành, tiến độ triển khai chương trình 1 triệu căn hộ nhà ở xã hội (NOXH) trên thực tế vẫn chưa như kỳ vọng. Biên tập viên Tạp chí Xây dựng đã có cuộc trao đổi với ông Dương Văn Mậu - Phó Tổng giám đốc Tổng công ty CP Xuất nhập khẩu và xây dựng Việt Nam (Vinaconex) về những rào cản và giải pháp cần tháo gỡ.

◆ *Thưa ông, một trong những vấn đề được quan tâm nhất hiện nay là gói tín dụng 120 nghìn tỷ đồng với lãi suất ưu đãi cho cả chủ đầu tư và người mua NOXH. Tuy nhiên, các báo cáo gần đây cho thấy tốc độ giải ngân còn khá khiêm tốn. Từ kinh nghiệm thực tế của Vinaconex, ông nhận định đâu là rào cản chính khiến dòng vốn này chưa thực sự khơi thông?*

- Thực tế cho thấy với các cơ chế, chính sách ưu đãi của Chính phủ hiện nay và sự quan tâm vào cuộc của hệ thống ngân hàng thì việc huy động tài trợ vốn cho các dự án NOXH cho cả người mua nhà và chủ đầu tư là không gặp khó khăn.

Tất cả các dự án có điều kiện pháp lý rõ ràng, chủ đầu tư và người mua nhà có nhu cầu vay vốn đều được các tổ chức tín dụng sẵn sàng tài trợ vốn và giải ngân ngay.

Về số liệu báo cáo cho rằng tốc độ giải ngân còn khiêm tốn, theo chúng tôi có thể đến từ việc số lượng dự án đã hoàn thành pháp lý đủ điều kiện để giải ngân cho chủ đầu tư và người mua nhà chưa thực sự nhiều, các vướng mắc có thể đến từ các thủ tục pháp lý về quản lý đầu tư xây dựng dự án chưa được hoàn thiện, tình trạng chưa hoàn thành GPMB và được giao đất của dự án hoặc chứng minh năng lực tài chính tối thiểu của chủ đầu tư hay người mua nhà chưa đáp ứng được yêu cầu theo quy định của tổ chức tài trợ vốn để giải ngân; Tính khả thi của dự án NOXH do doanh nghiệp đề xuất xây dựng so với nhu cầu và khả năng tài chính của người mua nhà tại địa phương để ngân hàng thẩm định chấp thuận tài trợ giải ngân cho dự án và người mua nhà.

◆ *Quốc hội đã có Nghị quyết 201/2025/QH15 và Chính phủ đã ban hành Nghị định 192/2025/NĐ-CP với nhiều cơ chế đột phá. Từ khi các quy định mới này có hiệu lực, Vinaconex đã cảm nhận được sự chuyển biến tích cực trong việc tháo gỡ thủ tục hay chưa?*

- Quốc hội đã ban hành Nghị quyết 201/2025/QH15, Chính phủ ban hành Nghị định 192/2025/NĐ-CP nhằm tạo cơ chế đột phá và tháo gỡ khó khăn, đẩy nhanh thủ tục pháp lý NOXH, hiện đã đầy đủ điều kiện pháp lý và rất rõ ràng để các cơ quan chức năng, doanh nghiệp và người dân tham gia phát triển NOXH.

Tuy nhiên, thực tế muốn phát triển, xây dựng nhanh NOXH mấu chốt là doanh nghiệp phải có sẵn quỹ đất sạch hoặc dự án đã có đầy đủ pháp lý để triển khai. Theo đó Nghị định 192/2025/NĐ-CP đã hướng dẫn rất chi tiết về trường hợp các doanh nghiệp có đất sạch muốn tham gia phát triển nhà ở tại Khoản 7 Điều 7 Nghị định 192/2025/NĐ-CP.

Đặc biệt, hiện một số địa phương còn đang chưa hiểu rõ, không biết trình tự thủ tục pháp lý thực hiện thế nào mặc dù Nghị định 192/2025/NĐ-CP đã quy định rất rõ: UBND tỉnh chấp thuận chủ trương đầu tư, giao Nhà đầu tư, căn cứ vào chủ trương đầu tư cơ quan có thẩm quyền địa phương thực hiện cập nhật điều chỉnh quy hoạch chung (quy hoạch phân khu).

◆ *Ông vừa đề cập đến một điểm rất đáng chú ý, đó là "sự không hiểu rõ" của một số địa phương trong việc áp dụng quy định tại Khoản 7 Điều 7 Nghị định 192/2025/*



Ông Dương Văn Mậu
Phó Tổng giám đốc Vinaconex

ND-CP, dù văn bản đã hướng dẫn rất rõ. Phải chăng sự thiếu thống nhất và kéo dài trong cách làm của địa phương chính là rào cản lớn nhất làm chậm tiến độ các dự án, gây tổn kém chi phí và làm nản lòng doanh nghiệp lúc này?

- Sự hiểu không nhất quán và giải quyết kéo dài trong thủ tục hành chính sẽ khó đáp ứng được mục tiêu của Chính phủ đề ra về phát triển NOXH. Nếu hướng dẫn doanh nghiệp theo quy trình điều chỉnh quy hoạch chung trước khi chấp thuận chủ trương đầu tư đối với dự án NOXH hiện nay, theo cách làm thông thường sẽ kéo dài nhiều năm và không tận dụng được cơ chế ưu tiên thí điểm của Chính phủ theo Nghị định 192/2025/NĐ-CP.

Theo chúng tôi, Bộ Xây dựng là cơ quan có thẩm quyền xem xét có tổ công tác và xây dựng đường dây nóng để tiếp nhận và hướng dẫn nhanh và trúng nội dung đang vướng hoặc hiểu chưa đúng để các địa phương, các doanh nghiệp thực hiện.

Nếu các vấn đề vướng mắc về đất đai, giao nhà đầu tư và cập nhật quy hoạch chung được thực hiện theo đúng Khoản 7 Điều 7 Nghị định 192/2025/NĐ-CP và các vướng mắc phát sinh khác được giải quyết kịp thời.

Chúng tôi tin rằng, đây là điểm chốt sẽ giúp tăng rất nhanh quỹ NOXH phục vụ nhân dân, giúp hiện thực hóa sớm chương trình và kế hoạch phát triển NOXH của Chính phủ.

♦ **Vậy từ những vướng mắc đã chỉ ra, dưới góc độ một nhà đầu tư phải cân đối giữa mục tiêu an sinh và**

hiệu quả tài chính, theo ông đâu là giải pháp đột phá nhất lúc này để thực sự thu hút doanh nghiệp tham gia mạnh mẽ vào lĩnh vực NOXH?

- NOXH là sản phẩm BĐS bền vững đáp ứng nhu cầu cấp thiết và chính đáng của nhiều người dân. Hiện Chính phủ và các Bộ ngành đã vào cuộc và ban hành đầy đủ chính sách, cơ chế, hỗ trợ tài chính để cơ quan chức năng, chính quyền địa phương, doanh nghiệp và nhân dân thực hiện.

Để đẩy nhanh và tạo đột phá trong phát triển NOXH, chúng tôi kiến nghị các địa phương cần khuyến khích và tạo điều kiện cho các doanh nghiệp, có sẵn quỹ đất sạch sẵn sàng tham gia điều chỉnh sang phát triển dự án NOXH.

Theo đó, các cơ quan có thẩm quyền, chính quyền địa phương cùng đồng hành và quyết liệt giải quyết nhanh, dứt điểm thủ tục pháp lý dự án cho doanh nghiệp để có đủ điều kiện triển khai xây dựng NOXH ngay.

♦ **Ông có đề xuất gì về một cơ chế giám sát, hướng dẫn từ cấp Trung ương để đảm bảo chính sách được thực thi đồng bộ và hiệu quả tại các địa phương?**

- Theo tôi, cơ quan thường trực của Bộ Xây dựng xem xét có cổng thông tin để tiếp nhận, hướng dẫn và giải quyết nóng các vấn đề còn chưa rõ, chưa thống nhất trong quá trình giải quyết pháp lý cho các doanh nghiệp, người dân tại các địa phương có dự án NOXH đang cần ưu tiên đầu tư và công khai để các bên biết và thực hiện.♦

♦ **Trân trọng cảm ơn ông!**

Hoàn thiện cơ sở định mức phục vụ quản lý chi phí dự án đường sắt



THANH NGÀ

Lần đầu tiên Bộ Xây dựng ban hành hệ thống định mức công tác đường sắt tại Thông tư số 08/2025/TT-BXD, tạo cơ sở pháp lý thống nhất cho việc tính chi phí, lập và thẩm định các dự án đầu tư xây dựng đường sắt hiện đại.

CHƯA CÓ HỆ THỐNG ĐỊNH MỨC RIÊNG CHO ĐƯỜNG SẮT

Bộ Xây dựng đã ban hành Thông tư số 08/2025/TT-BXD sửa đổi, bổ sung một số định mức xây dựng đã được ban hành tại Thông tư số 12/2021/TT-BXD, có hiệu lực thi hành từ ngày 15/7/2025. Thông tư số 08/2025/TT-BXD có nhiều điểm đổi mới quan trọng, như: mở rộng phạm vi, hoàn thiện cấu trúc phụ lục và tăng số lượng định mức; bổ sung các định mức công tác đường sắt và công tác đường, vật liệu mới; điều chỉnh, thay thế các định mức thi công cọc, cừ và xử lý nền; bổ sung trọng lượng đơn vị “cát ướt”; đồng thời sửa đổi định mức chi phí lập Báo cáo kinh tế - kỹ thuật.

Trước đây, Thông tư số 12/2021/TT-BXD chưa có hệ thống định mức riêng cho công tác thi công đường sắt. Các công tác có liên quan như rải đá, san lấp, lắp ray chỉ nằm rải rác trong nhóm định mức vật liệu hoặc bê tông, chưa được định danh là công tác đường sắt. Do đó, khi lập dự toán, các dự án đường sắt thường phải tạm sử dụng định mức của công trình đường bộ hoặc tự xây dựng định mức nội bộ, dẫn đến việc tính toán chi phí thiếu thống nhất, gây khó khăn cho cơ quan quản lý và chủ đầu tư trong quá trình lập, thẩm định và quyết toán vốn đầu tư.

Theo Tờ trình của Viện Kinh tế xây dựng, trong quá trình biên soạn dự thảo Thông tư số 08/2025/TT-BXD, cơ quan chuyên môn đã rà soát, cập nhật và hoàn thiện 79 định mức công tác đường sắt. Các định mức này được xây dựng trên cơ sở hệ thống định mức tạm áp dụng do Bộ Xây dựng công bố trước đây, đồng thời bổ sung, hoàn thiện theo yêu cầu quản lý chi phí cho các dự án xây mới, cải tạo và nâng cấp tuyến đường sắt hiện hành.

Bên cạnh đó, để bảo đảm việc xây dựng và ban hành các định mức dự toán công tác đường sắt phù hợp với thực tiễn, Cục Kinh tế - Quản lý đầu tư xây dựng và Viện Kinh tế xây dựng đã tổ chức làm việc với các cơ quan quản lý, vận hành và tư vấn đầu tư xây dựng trong lĩnh vực đường sắt, gồm: Cục Đường sắt Việt Nam, BQLDA Đường sắt và Tổng công ty

Đường sắt Việt Nam, trong các ngày 08/4/2025 và 22/4/2025, để hoàn thiện nội dung bộ định mức.

Theo đó, tại Phụ lục I của Thông tư số 08/2025/TT-BXD, đã có 28 định mức chuyên ngành đường sắt được quy định và mã hóa (từ AD.41100 đến AD.74600). Đây được xem là nhóm nội dung có tính thay đổi nổi bật nhất trong Thông tư lần này.

Việc ban hành Thông tư số 08/2025/TT-BXD đã bổ sung một số phần còn thiếu trong hệ thống định mức quốc gia, tạo cơ sở pháp lý thống nhất, minh bạch cho việc tính toán chi phí đầu tư các dự án đường sắt đang được đẩy mạnh triển khai trong thời gian tới. Dù chưa hoàn thiện toàn bộ, song hệ thống định mức này được kỳ vọng sẽ tiếp tục được Bộ Xây dựng nghiên cứu, hoàn thiện và mở rộng trong giai đoạn ngắn sắp tới.

BAN HÀNH 28 ĐỊNH MỨC ĐƯỜNG SẮT

Theo Phụ lục I của Thông tư số 08/2025/TT-BXD, hệ thống định mức công tác đường sắt được xây dựng khá toàn diện, bao gồm từ việc đặt đường, làm nền, rải đá, lắp ghi cho đến lắp đặt hệ thống tín hiệu, thông tin, điện khí hóa.

Một tuyến đường sắt thường được cấu thành bởi 5 bộ phận kỹ thuật chính tương ứng với 5 giai đoạn thi công và quản lý chi phí trong dự án đầu tư xây dựng công trình đường sắt. Do đó, 28 định mức đường sắt được ban hành theo Phụ lục I của Thông tư số 08/2025/TT-BXD được mã hóa từ AD.41100 - AD.74800, có thể được chia thành 5 nhóm sau:

Thứ nhất, đường ray và tà vẹt với chức năng chính là xây lắp kết cấu đường sắt chính tuyến, có 8 định mức, gồm: AD.41100 - Đặt đường sắt khổ 1,00 m; ray P43; tà vẹt gỗ, sợi tổng hợp; AD.41200 - Đặt đường sắt khổ 1,00 m; ray P43; tà vẹt sắt; AD.41300 - Đặt đường sắt khổ 1,00 m; ray P43; tà vẹt bê tông dự ứng lực; AD.42100 - Đặt đường sắt khổ 1,435 m; ray P43; tà vẹt gỗ, sợi tổng hợp; AD.42200 - Đặt đường sắt khổ 1,435 m; ray P43; tà vẹt bê tông dự ứng lực/thường; AD.43100 - Đặt đường lồng; ray P43; tà vẹt gỗ, sợi tổng hợp; AD.43200 - Đặt đường lồng; ray P43; tà vẹt bê tông dự ứng lực/thường;



AD.52000 - Đặt các loại ghi (đường rẽ, giao nhau, chuyển hướng). Nhóm này phản ánh toàn bộ khâu thi công lắp đặt đường ray chính, đường lồng và ghi chuyển hướng, là phần xương sống của tuyến đường sắt.

Thứ hai, phụ kiện - liên kết kỹ thuật với chức năng chính là liên kết, cố định và bảo đảm an toàn, có 3 định mức: AD.51100 - Lắp thanh giằng cự ly; AD.51200 - Lắp thiết bị phòng xô; AD.51300 - Lắp giá ray dự phòng. Nhóm này giúp hoàn thiện kết cấu kỹ thuật và an toàn vận hành của tuyến đường.

Thứ ba, nền đường với chức năng chính là chịu tải và ổn định tuyến, có 2 định mức: AD.61100 - Làm nền đá ba lát các loại đường; AD.61200 - Làm nền đá ba-lát các loại ghi. Nhóm này là phần bảo đảm độ bền, ổn định, chống lún và giảm rung cho tuyến đường sắt.

Thứ tư, hệ thống tín hiệu - thông tin với chức năng chính là quản lý, điều hành giao thông tàu và bảo đảm an toàn chạy tàu, có 10 định mức, gồm: AD.71100 - Lắp dựng cột km; AD.71200 - Lắp dựng cột và biển đường cong; AD.71300 - Lắp dựng biển đối dốc; AD.71400 - Lắp dựng biển kéo còi, biển báo đường ngang, biển chú ý tàu hỏa; AD.71500 - Lắp dựng cột thông tin, tín hiệu; AD.72100 - Lắp đặt phụ kiện cột tín hiệu, cột đánh dấu đầu cáp; AD.73100 - Lắp đặt ghi tín hiệu; AD.74100 - Kéo rải dây thông tin; AD.74200 - Lắp đặt xà thông tin; AD.74300 - AD.74800 - Lắp đặt mạch điện, hộp cáp, máy thông tin và mạng cáp ngầm. Nhóm này là phần "mắt - tai" của tuyến đường sắt, giúp hệ thống nhận biết, điều khiển và truyền dẫn tín hiệu vận hành tàu một cách đồng bộ, chính xác và an toàn.

Thứ năm, các công tác kỹ thuật đặc thù hỗ trợ vận hành, gồm các hạng mục chuyên sâu trong hệ thống tín hiệu - thông tin như: AD.74500 - Lắp đặt hộp cáp, hòm biến thế tín hiệu; AD.74600 - Lắp các loại relay tín hiệu chạy tàu; AD.74700 - Lắp đặt máy thông tin; AD.74800 - Lắp đặt mạng cáp ngầm. Các định mức này không hình thành nhóm mã độc lập mà thuộc phạm vi nhóm tín hiệu - thông tin, được tách ra để

nhấn mạnh vai trò phục vụ vận hành, giám sát và bảo trì tuyến đường sắt hiện đại, an toàn và liên tục.

Mặc dù Thông tư số 08/2025/TT-BXD đã bao quát nhiều hạng mục quan trọng, song vẫn thiếu các định mức cần thiết, đặc biệt là thí nghiệm đất, đá chịu tải trọng lắp chu trình, tải trọng động, cũng như các công tác quan trắc, thu thập dữ liệu phục vụ duy tu, bảo dưỡng đường sắt.

Theo TS Nguyễn Huy Hiệp (Học viện Kỹ thuật quân sự), các định mức cần được cập nhật theo hướng tiếp cận các nước tiên tiến, bổ sung đầy đủ đầu việc phù hợp với khối lượng thực tế và yêu cầu kỹ thuật quốc tế. Nhiều công tác nếu không được thực hiện ngay trong quá trình xây dựng sẽ rất khó bổ sung hoặc kiểm soát khối lượng ở giai đoạn vận hành sau này.

Bên cạnh đó, theo quy định hiện hành, các công trình đường sắt phải áp dụng Mô hình thông tin công trình (BIM) để quản lý vòng đời và chuẩn hóa dữ liệu theo tiêu chuẩn quốc tế. Vì vậy, hệ thống định mức cần tiếp tục được bổ sung và hoàn thiện, đặc biệt là các công tác phục vụ duy tu, bảo dưỡng, vận hành, theo hướng ưu tiên nội địa hóa, như: thí nghiệm vật liệu chuyên sâu, hệ thống giám sát trong nước sản xuất và vận hành. Điều này không chỉ giúp nâng cao tính chủ động, tiết kiệm chi phí mà còn bảo đảm tính bền vững và tự chủ công nghệ của hạ tầng đường sắt Việt Nam.

Tóm lại, việc công bố hệ thống 28 định mức công tác đường sắt là bước đặt nền móng quan trọng cho việc hình thành bộ định mức chuyên ngành đường sắt, điều mà nhiều cơ quan quản lý, tư vấn và chủ đầu tư mong đợi. Dù số lượng định mức hiện tại chưa bao quát toàn bộ, song đây là bộ định mức cơ sở, tạo tiền đề để Bộ Xây dựng tiếp tục mở rộng trong các giai đoạn tiếp theo, bao gồm: điện khí hóa, cầu cạn, nhà ga, hệ thống điều khiển giao thông tập trung và giám sát - điều khiển - thu thập dữ liệu (SCADA).

Đây là những cấu phần quan trọng hướng tới chuẩn hóa, tự động hóa và hội nhập quốc tế trong lĩnh vực quản lý chi phí đầu tư xây dựng công trình đường sắt hiện đại. ❖

Phân tích điểm tương đồng các hệ thống tiêu chuẩn đường sắt trên thế giới



PHAN VĂN NINH¹



NGUYỄN HUY HIỆP²



ĐINH QUANG TRUNG³

Cần tham khảo, thu thập các thiết kế mẫu của các tuyến đường sắt đô thị, đường sắt cao tốc trên thế giới để làm rõ sơ đồ chất tải, sơ đồ tổ hợp tải trọng và công nghệ nền, công nghệ lõi làm nền tảng xây dựng tiêu chuẩn đường sắt chung cho Việt Nam.

1. PHÂN TÍCH HỆ THỐNG ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ, ĐƯỜNG SẮT XUYỀN NÚI, ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC

Đường sắt truyền thống ở nước ta vốn được người Pháp xây dựng từ hơn 100 năm trước, sử dụng khổ ray 1 m. Đây là hệ thống phục vụ cả chở hàng và hành khách, nhưng tốc độ không cao và hiện đã lạc hậu.

Đường sắt đô thị thì khác, được xây dựng trong nội đô, phục vụ riêng cho vận tải hành khách. Hiện Việt Nam đã có 3 tuyến đường sắt đô thị được xây dựng tại Thủ đô Hà Nội và TP.HCM. Mặc dù vận tốc tương đương hoặc cao hơn một chút so với đường sắt truyền thống, nhưng đường sắt đô thị nằm ngay trong khu vực thành thị, nên dễ ảnh hưởng đến các công trình dân dụng xung quanh. Những yếu tố như lún, rung chấn và mất ổn định theo thời gian là điều không thể bỏ qua.

Còn đường sắt cao tốc, loại hình vẫn chưa khởi công ở Việt Nam, có tốc độ trên 250 km/h, sử dụng khổ ray tiêu chuẩn 1.435 mm, được bố trí ngoài khu dân cư, thường chạy qua vùng ngoại thành hoặc nông thôn. Với tuyến dài Bắc - Nam khoảng 1.500 km, hệ thống này đòi hỏi khối lượng nhân lực khổng lồ trong quá trình xây dựng cũng như vận hành. Nếu không làm chủ được công nghệ lõi, sẽ không thể bảo đảm an toàn vận hành hoặc đủ tài chính cho bảo trì lâu dài. Việt Nam đang xây dựng đường sắt đô thị và hướng tới xây dựng đường sắt cao tốc nên việc hiểu rõ 2 loại hình này sẽ giúp triển khai một cách hệ thống và hiệu quả hơn.

Trên thực tế, cả 2 loại hình đều cần có một cách tiếp cận

⁽¹⁾ *Binh chủng Công Binh, mrvninh23@gmail.com*

^(2,3) *Học viện Kỹ thuật Quân sự*

tổng thể từ quy hoạch đến tổ chức thực hiện dựa trên các bản thiết kế chi tiết và đặc biệt là trong vai trò của đội ngũ chuyên gia kỹ thuật nắm vững công nghệ để bảo đảm dự án hoàn thành mà không vướng mắc về vấn đề kỹ thuật.

Dẫu vậy, do đặc thù khác nhau, vẫn có một số điểm khác biệt quan trọng. Đường sắt đô thị thường chỉ triển khai trong một khu vực thành thị nhất định nên điều kiện khí hậu, nhiệt độ, địa chất ít biến động. Các yêu cầu về vật liệu và thiết kế vì thế cũng đồng nhất hơn.

Ngược lại, đường sắt cao tốc trải dài từ Bắc tới Nam, nghĩa là phải đi qua nhiều vùng địa chất khác nhau, với khí hậu, nhiệt độ, tải trọng thay đổi đáng kể. Tuy nhiên, chỉ có một đoàn tàu chạy xuyên suốt tuyến nên việc kết nối đường ray, vật liệu, cấu kiện... bảo đảm cho cả đoàn tàu vận hành ổn định ở tốc độ cao là một bài toán kỹ thuật phức tạp. Nhiều quốc gia phát triển đường sắt cao tốc chỉ làm được khi đã tự nghiên cứu và làm chủ công nghệ.

2. HỆ THỐNG TIÊU CHUẨN ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC TRÊN THẾ GIỚI

Trên thế giới có các hệ thống tiêu chuẩn đường sắt cao tốc: hệ thống tiêu chuẩn đường sắt cao tốc châu Âu, tiêu chuẩn đường sắt cao tốc Nhật Bản, tiêu chuẩn đường sắt cao tốc Trung Quốc, tiêu chuẩn đường sắt cao tốc Hàn Quốc, tiêu chuẩn đường sắt cao tốc LB Nga.

Hệ thống tiêu chuẩn đường sắt châu Âu: ở châu Âu có thuật ngữ TSI (Technical Specifications for Interoperability) gọi là thông số kỹ thuật dùng chung cho hệ thống đường



sắt, trong đó quy định cụ thể hơn về: Hướng tuyến, đầu máy, toa xe, các thiết bị trên đầu máy, toa xe... TSI quy định cụ thể hơn quy chuẩn, nhưng so với tiêu chuẩn thì tiêu chuẩn lại cụ thể hơn TSI và dựa trên TSI hay một bộ thông số kỹ thuật chung như ở châu Âu để làm quy chuẩn. Ở châu Âu, TSI là bắt buộc áp dụng cho tất cả các nước, không phải là khuyến nghị vì ở châu Âu có sự vận hành chung các tuyến đường sắt giữa các nước trong khu vực. Ngoài ra, phần xây lắp cũng có tiêu chuẩn liên quan đến sơ đồ chất tải, tính toán các bộ phận chính của đường sắt: cầu, hầm, đường.

Tiêu chuẩn đường sắt cao tốc Nhật Bản: Nhật Bản là đất nước có công nghệ cao về phát triển đường sắt cao tốc và có kinh nghiệm rất lâu năm về lĩnh vực này. Về cơ bản, Nhật Bản cũng tham khảo các tài liệu của châu Âu và dần dần tự xây dựng riêng cho mình các tiêu chuẩn mang bản sắc riêng. (Hình 1, 2)

Tiêu chuẩn đường sắt cao tốc Trung Quốc: Trung Quốc cũng dựa trên nền tảng là các tài liệu châu Âu, tự nghiên cứu phát triển các công nghệ riêng và đạt được thành tựu to lớn trong lĩnh vực xây dựng, xây dựng đường sắt cao tốc. Năm 1990, một báo cáo đề xuất xây dựng đường sắt cao tốc được nộp lên Chính phủ Trung Quốc, do nhiều cơ quan chính phủ Trung Quốc cùng thực hiện, với mục tiêu giảm tình trạng quá tải trên các tuyến đường sắt và đường cao tốc. Năm 2004, Trung Quốc chọn 4 hãng công nghệ lớn trên thế giới gồm: Alstom, Siemens, Bombardier và Kawasaki Heavy Industries để ký hợp đồng chuyển giao công nghệ với 2 hãng sản xuất tàu lớn của nước này là: China Southern Railway Corp (CSR) và

China Northern Railway Corp (CNR). Năm 2008, tuyến đường sắt cao tốc đầu tiên của Trung Quốc bắt đầu hoạt động, kết nối Bắc Kinh và Thiên Tân, rút ngắn thời gian di chuyển từ 70 phút xuống còn 30 phút. Dù xây đường sắt cao tốc sau những nước khác hàng chục năm, Trung Quốc phát triển thần tốc và hiện đứng đầu thế giới với mạng lưới dài hơn 42.000 km, vượt xa các nước khác trên thế giới dù xuất phát sau. Tính đến năm 2021, quốc gia đứng thứ hai về đường sắt cao tốc là Tây Ban Nha với tổng chiều dài 3.661 km, trong khi nước này đã xây dựng mạng lưới từ năm 1992, theo số liệu của Statista và SCMP. Nhật Bản, quốc gia vận hành đường sắt cao tốc từ năm 1964, đứng thứ ba với 3.081 km.

Tiêu chuẩn đường sắt Hàn Quốc: Hàn Quốc đã từng bước xây dựng hệ thống tiêu chuẩn đường sắt cao tốc của riêng mình và là nước có hệ thống tiêu chuẩn khá bài bản. Năm 1992, dự án xây dựng đường sắt cao tốc Gyeongbu từ Seoul đến Busan dài 350 km được khởi công, thì đến tháng 10/1999 đã thử nghiệm thành công con tàu cao tốc đầu tiên chạy trên khổ đường 1,435 m. Đến năm 2004, Hàn Quốc chính thức bước vào câu lạc bộ 5 quốc gia trên thế giới có đường sắt cao tốc (vào thời điểm đó là: Nhật Bản, Tây Ban Nha, Pháp, Đức và Hàn Quốc) trong buổi lễ thông tuyến đường sắt cao tốc KTX ở quảng trường ga Seoul. Điều đặc biệt là trước đó 2 năm cũng chính các kỹ sư Hàn Quốc đã chế tạo thành công đoàn tàu cao tốc của riêng mình - niềm tự hào Hàn Quốc. Như vậy, chỉ 12 năm kể từ ngày khởi công năm 1992, quốc gia này đã có tuyến đường sắt cao tốc ngang tầm thế giới với số vốn đầu tư 12.000 tỷ WON

(khoảng 10,5 tỷ USD) cùng 30.000 kỹ sư, nhân công làm việc.

Tiêu chuẩn đường sắt LB Nga: là nước đi sau, hiện nay Nga mới dựa trên tiêu chuẩn châu Âu biên soạn riêng tiêu chuẩn đường sắt cao tốc và đang xây dựng cũng như tự đóng hệ thống tàu cao tốc của riêng mình.

3. PHÂN TÍCH SƠ ĐỒ TÍNH TOÁN ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC

Để xây dựng đường sắt cao tốc cần rất nhiều công nghệ: công nghệ vật liệu, thi công, thiết bị, tín hiệu, ray... nhưng quan trọng nhất là phần xây dựng và bảo trì 3 công trình quan trọng dành cho đường sắt cao tốc: cầu, hầm, đường. Với tuyến dài của đường sắt cao tốc cùng hệ thống: nền móng, cầu cạn, ray, mặt đường... phải duy trì ổn định độ lún cho phép trong suốt thời gian khai thác. Đặc biệt, độ lún và lún lệch cho phép là cực kỳ thấp. Có 2 phương pháp tính toán được dùng trong các tiêu chuẩn tính toán: sơ đồ tĩnh và sơ đồ động. Theo các tài liệu chúng tôi có được, ở tuyến đường sắt cao tốc tuyến Moscow - Saint Petersburg, có tới 45 trường hợp tổ hợp tải trọng trong trường hợp quy về tĩnh tải. (Hình 3)

Ngoài ra, sơ đồ tính toán động cũng được kiến nghị để xem xét ổn định đoàn tàu, tính toán độ bền vật liệu. Xem xét các sơ đồ tính của các nước thì có đặc điểm chung như phân tích hình 2: (Hình 4)

Việc thiết kế bắt đầu từ khâu khảo sát địa chất tính nền móng có các tham số: tức thời, tĩnh, động theo các mô hình địa kỹ thuật phù hợp với sơ đồ tính. Các tham số của vật liệu: ray, balat, nền, móng cọc... chuyển về các mô hình đơn giản: đại diện là các lò xo và piston. Tương ứng với từng loại vật liệu sẽ có các giá trị tương ứng kiểm soát tính chất vật liệu: tĩnh, động, nhiệt bảo đảm đoàn tàu hoạt động mà không có sự cố gì. Do đó, việc quan trọng nhất là xác định sơ đồ tính toán phụ thuộc vào tốc độ đoàn tàu, loại tàu. Thiết kế đoạn chuyển tiếp giữa cầu - đường, giữa đường - hầm và giữa cầu - hầm bảo đảm độ cứng giảm dần hoặc tăng dần tránh giật cục, ảnh hưởng đến hoạt động của đoàn tàu. Hiện nay, có nhiều phần mềm hiện đại để ứng dụng mô phỏng, tính toán thiết kế đường sắt tốc độ cao. (Hình 5)

Ngoài sơ đồ tính cơ bản cần tính đến các trường hợp: hai toa tàu gặp nhau gây áp lực xung, áp lực nén lên hầm khi tàu vào hầm, áp lực gió, động đất... Trong tiêu chuẩn tính toán nhiều khi chỉ có vài chữ, vài dòng nhưng để dựng mô hình tính cần chuyên gia nắm bắt công nghệ, am hiểu chuyên sâu các thiết bị thí nghiệm trong phòng, hiện trường, quan trắc thực tế để đánh giá sơ đồ tính, phát hiện sự cố trong quá trình vận hành. Như vậy, dù tiêu chuẩn nào cũng cần phải có sơ đồ tính toán làm chuẩn và lựa chọn khổ ray, toa tàu, đầu tàu... làm chuẩn cho cả các loại hình đường sắt đô thị, đường sắt tốc độ cao để dễ duy tu, bảo dưỡng và vận hành. (Hình 6)

Để đoàn tàu êm thuận và bảo đảm độ ổn định lún lệch thì cần xử lý độ cứng ở đoạn chuyển tiếp giữa cầu - đường - hầm. Do đó, thiết kế và bảo trì đường sắt cần chuyên môn cả cầu - đường - hầm. Nghiên cứu độ ổn định bảo đảm độ lún trong giới hạn cho phép, độ lún lệch dưới các loại trọng

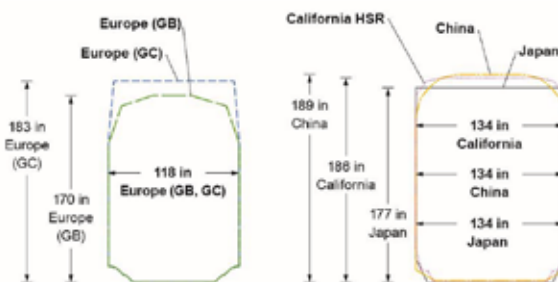
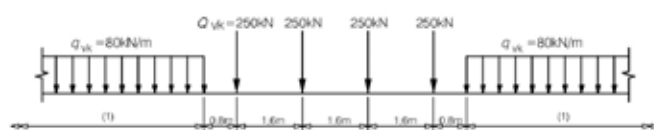


Figure 2-4. Comparison of rolling stock static envelopes. Heights are measured from top of rail (TOR) [15][19][119]

Hình 1. So sánh các đường bao tĩnh của toa xe. Chiều cao được đo tính từ đỉnh ray.



Hình 2. Sơ đồ chất tải theo trạng thái giới hạn 2 theo tiêu chuẩn châu Âu EN 1991-2:2003 được Nga sử dụng cho nền đường sắt cao tốc.

động, nhiệt là bài toán phức tạp. Sơ đồ tính cần bảo đảm tính thực tế, tương tác giữa kết cấu công trình và nền bên dưới là quan trọng.

4. KẾT LUẬN

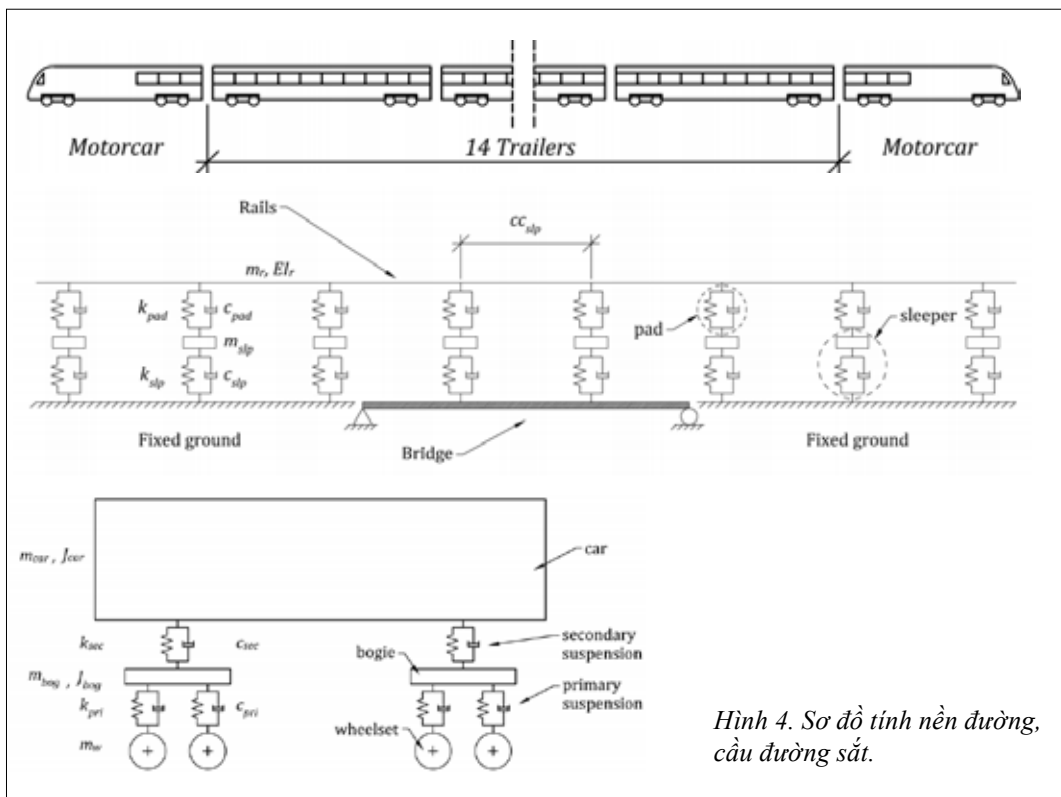
Mặc dù có nhiều tiêu chuẩn đường sắt cao tốc trên thế giới nhưng các tiêu chuẩn đều có đặc điểm chung từ sơ đồ tính toán, dùng chung các phần mềm tính, am hiểu các bài toán cơ học (tĩnh, động, nhiệt). Do đó, việc lựa chọn tiêu chuẩn đường sắt cao tốc cho Việt Nam cần bảo đảm yếu tố phổ quát, tạo điều kiện để các kỹ sư - chuyên gia tiếp cận, phát triển, làm chủ tiêu chuẩn.

Mặt khác, đường sắt đô thị và đường sắt cao tốc có nhiều thứ có thể dùng chung, do đó khi chọn tài liệu theo tiêu chuẩn châu Âu có nhiều thuận tiện trong việc đẩy nhanh tốc độ biên soạn hoặc giữ nguyên nội dung tiêu chuẩn tiếng Anh và dán thêm TCVN vào tiêu chuẩn đó để thành tiêu chuẩn quốc gia mà vẫn bảo đảm các kỹ sư - chuyên gia Việt Nam hiểu và áp dụng vì ngôn ngữ tiếng Anh đã trở nên thông dụng ở Việt Nam, có nhiều chuyên gia học từ châu Âu về. Nếu các phần khác chưa rõ, có thể tham khảo thêm các tiêu chuẩn các ngôn ngữ khác và dẫn bổ sung, phát triển riêng phù hợp cho điều kiện Việt Nam.

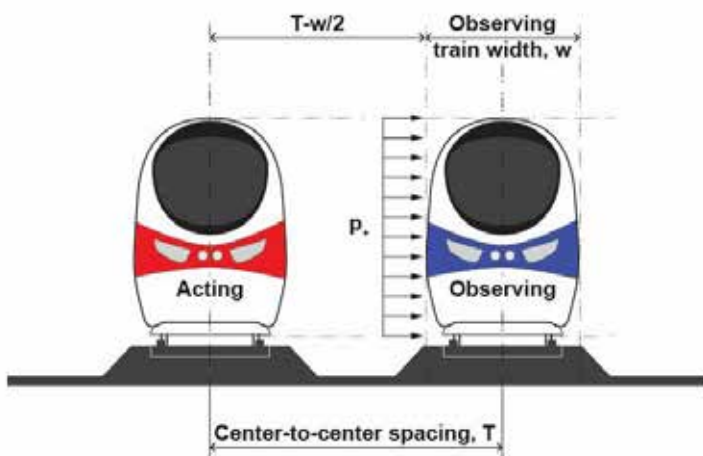
Cần tham khảo các bộ thiết kế mẫu tiêu chuẩn đường sắt cao tốc của các nước trên thế giới. Trong nội dung bài báo tác giả đã sử dụng thiết kế mẫu của tuyến Moscow - Saint Petersburg để thấy rằng, sơ đồ tải trọng và tổ hợp tải trọng đóng vai trò quan trọng trong thiết kế. Ngoài ra, cũng

№ сочетания по таблице СП1453	Нагрузка от ВСП				Нагрузка СК				Природные воздействия				Особые и техногенные					№ сочетания в программе Опора-Х при расчете на нагрузку ВСП**	№ сочетания в программе Опора-Х при расчете на нагрузку «С8**
	Вертикальная	Центробежная сила	Поперечные удары	Торможение	Вертикальная	Центробежная сила	Поперечные удары	Торможение	Ветер	Лед	Температура	Морозное пучение	Сейсмика	Навал судов и наезд снизу	Сход поездов с рельсов	Образование карстового провала	Тренировка в опорных частях		
	Основные сочетания																		
	ВСП, два пути				С8, один путь				Не учитываются				Не учитываются						
1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 и 6	-
2	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 и 6	-
3	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 3 6 и 8
4	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 3 6 и 8
	Дополнительные сочетания																		
	ВСП, два пути				С8, один путь				Не учитываются				Не учитываются						
5	0,8	-	0,7	-	-	-	-	-	-	0,7	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-
6	0,8	0,8	-	-	-	-	-	-	0,5	0,7	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-
7	0,7	-	0,8	-	-	-	-	-	-	0,7	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-
8	0,8	0,8	-	0,8	-	-	-	-	0,5	-	0,7	-	-	-	-	-	-	2 5 7 и 10	-
9	0,7	0,7	-	-	-	-	-	-	0,5	0,8	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-
10	0,7	-	0,7	-	-	-	-	-	-	0,8	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-
11	0,7	0,7	-	0,7	-	-	-	-	0,5	-	0,8	-	-	-	-	-	-	-	-
12	0,7	0,7	-	-	-	-	-	-	0,5	0,7	0,8	-	-	-	-	-	-	-	-
13	0,7	-	0,7	-	-	-	-	-	-	0,7	0,8	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	0,8	-	0,7	-	-	0,7	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	0,8	0,8	-	-	0,5	0,7	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	0,7	-	0,8	-	-	0,7	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	0,8	0,8	-	0,8	0,5	-	0,7	-	-	-	-	-	-	-	2 4 5 7 9 10
18	-	-	-	-	0,7	0,7	-	-	0,5	0,8	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	0,7	-	0,7	-	-	0,8	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	0,7	0,7	-	0,7	0,5	-	0,8	-	-	-	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	0,7	0,7	-	-	0,5	0,7	0,8	-	-	-	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	0,7	-	0,7	-	-	0,7	0,8	-	-	-	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	12	12
24	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8	0,7	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8	-	0,7	0,7	-	-	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	0,8	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	11	11
29	-	-	-	-	-	-	-	-	0,7	0,7	0,8	-	-	-	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-	-	-	-	0,7	-	0,8	0,7	-	-	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
32	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	0,7	0,8	-	-	-	-	-	-	-
	Особые сочетания																		
	ВСП, один путь				С8, один путь				Не учитываются				Не учитываются						
33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
34	0,8	0,7	-	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8	-	-	-	-	-	-
35	-	-	-	-	0,7	0,7	-	0,7	-	-	-	-	0,8	-	-	-	-	-	-
36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	g***	g***
37	0,7	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8	-	-	-	-	-
38	0,7	-	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8	-	-	-	-	-
39	0,8	-	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,7	-	-	-	-	-
40	0,7	-	0,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,7	-	-	-	-	-
41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	*
42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
43	0,8	0,7	-	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8	-	-	-
44	-	-	-	-	0,7	0,7	-	0,7	-	-	-	-	-	-	-	0,8	-	-	-
45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	15	15
* - сочетание вводится вручную.																			
** - расчет на нагрузки ВСП и «С8 производится в разных файлах ПК "Опора-Х", поэтому нумерация сочетаний повторяется. Пример: сочетание №1 в ПК "Опора-Х" при расчете на нагрузку ВСП учитывает сочетания №1 и 2 по нумерации таблицы 1.1, а при расчете на нагрузку «С8 учитывает сочетания №3 и №4.																			
*** - сочетание №36 учтено в ПК "Опора-Х", но в рассматриваемом далее примере не учтено по причине отсутствия под опорой №2 путепровода на ПК6103 (том 960-07-1356-ТКР9.19) автомобильной дороги.																			

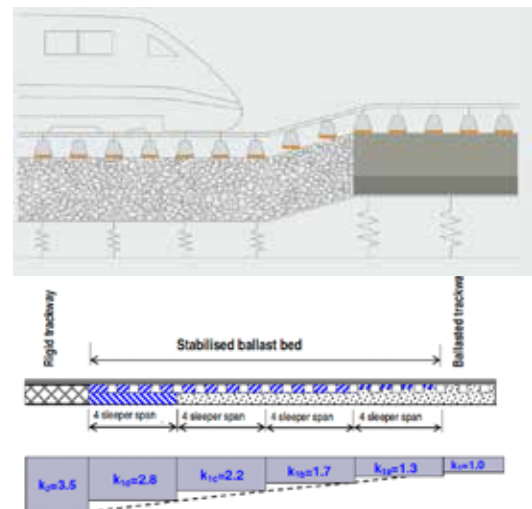
Hình 3. Các trường hợp tổ hợp tải trọng tính cầu đường sắt theo trạng thái giới hạn I tuyến đường sắt cao tốc Moscow - Saint Petersburg.



Hình 4. Sơ đồ tính nền đường, cầu đường sắt.



Hình 5. Các kích thước liên quan trong tính toán xung áp suất cho các đoàn tàu gặp nhau.



Hình 6. Sơ đồ tính đoạn chuyển tiếp cầu - đường - hầm.

theo ý kiến của các chuyên gia Nga, nhiều hạng mục tính toán phức tạp được tách riêng liên quan đến các thí nghiệm và thiết kế chuyên sâu không được chia sẻ vì được coi là công nghệ nền, công nghệ lõi. Việc xác định các công nghệ lõi và chuyên gia là yếu tố quan trọng khi triển khai các dự án đường sắt ở Việt Nam.❖

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

1. Hồ sơ thiết kế đường sắt cao tốc tuyến Moscow- Saint Petersburg.
2. Phạm Kiến Quốc, Vương Đông Nguyên. Công nghệ xây dựng đường sắt

cao tốc Trung Quốc (tập 1, 2). NXB Xây dựng, 2025.

3. CP 453.1325800.2019. Kết cấu công trình đường sắt cao tốc. Quy định về thiết kế và thi công (tiêu chuẩn LB Nga).

4. TCVN 13594-1:2022, Thiết kế cầu đường sắt khổ 1.435 mm, vận tốc đến 350 km/h - Phần 1: Yêu cầu chung.

5. 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.

6. EN 1990+A2, Basic of Structure Design, EN 1991-2, Action on Bridge-Traffic loads on Bridges.

7. California High-Speed Train Project Design Criteria (CHSTDC), 2014.

Xây dựng hệ thống tiêu chuẩn đường sắt mang bản sắc Việt Nam dựa trên các tiêu chuẩn hiện hành



NGUYỄN HUY HIỆP¹



TRẦN TRUNG ĐỨC²

Từ kinh nghiệm thiết kế hầm Khe Nét, nghiên cứu địa kỹ thuật Quảng Ninh và rà soát tiêu chuẩn nền móng, giúp cơ quan quản lý lựa chọn hệ thống tiêu chuẩn phù hợp cho đường sắt đô thị và cao tốc Việt Nam.

1. HỆ THỐNG HÓA CÁC TIÊU CHUẨN Ở VIỆT NAM

Hiện nay, các tuyến đường sắt đô thị tại Việt Nam được xây dựng và vận hành theo nhiều công nghệ khác nhau. Điều này dẫn đến tình trạng máy móc, thiết bị, cũng như hệ thống kỹ thuật của tuyến này không thể sử dụng cho tuyến khác, gây lãng phí lớn về nguồn lực. Hơn nữa, việc phụ thuộc vào công nghệ và thiết bị nhập khẩu khiến công tác bảo trì, bảo dưỡng và vận hành trong tương lai gặp nhiều khó khăn. Từ thực tế đó, Việt Nam cần sớm xây dựng một khung tiêu chuẩn kỹ thuật thống nhất dành riêng cho đường sắt đô thị, làm cơ sở cho thiết kế, thi công, vận hành và bảo dưỡng. Bên cạnh đó, đường sắt cao tốc có nhiều điểm tương đồng với đường sắt đô thị, đặc biệt trong các hạng mục nền đường, cầu và hầm. Do đó, việc hệ thống hóa và phân tích các tiêu chuẩn hiện hành của Việt Nam trong các lĩnh vực này là bước quan trọng để xây dựng bộ tiêu chuẩn kỹ thuật chung, có thể áp dụng cho cả hai loại hình đường sắt. Bài viết sử dụng các tài liệu, tiêu chuẩn và hồ sơ thiết kế của Việt Nam và quốc tế (được liệt kê tại phần Tài liệu tham khảo) để phân tích, đối chiếu và đề xuất hệ thống tiêu chuẩn đường sắt phù hợp với điều kiện Việt Nam.

^(1, 2) Học viện Kỹ thuật Quân sự, huyhiengnuy@ gmail.com

Ngoài ra, Bộ Xây dựng cũng đang xây dựng và chuẩn bị ban hành nhiều tiêu chuẩn quan trọng. Trong đó, TCVN 11823:2017 được biên soạn theo hệ thống tiêu chuẩn của Hoa Kỳ, áp dụng cho cầu, móng cầu và đường, nhưng hiện mới giới hạn trong lĩnh vực đường bộ, chưa áp dụng cho đường sắt. Hai tiêu chuẩn Việt Nam là TCVN 10304:2014 (Móng cọc) và TCVN 9362:2012 (Nền nhà và công trình) được biên soạn, cập nhật dựa trên hệ thống tiêu chuẩn của LB Nga. Bản gốc của các tiêu chuẩn này ở Nga được áp dụng cho cả công trình cầu, đường và công trình thủy lợi - thủy điện; tuy nhiên, khi chuyển đổi sang Việt Nam, nội dung đã được rút gọn, chủ yếu giữ lại phần nền móng cho nhà và công trình dân dụng. Hiện nay, Bộ Xây dựng đang tổ chức soát xét và cập nhật hai tiêu chuẩn này, dự kiến ban hành các phiên bản mới (TCVN 10304:2025 và TCVN 9362:202x), mở rộng phạm vi áp dụng cho công trình giao thông, công trình ngầm và đường sắt cao tốc. Dựa trên các tiêu chuẩn gốc, LB Nga đã ban hành tài liệu CP 453.1325800.2019, trong đó có tham khảo hệ thống tiêu chuẩn Eurocode để phục vụ thiết kế và thi công đường sắt cao tốc.

Về tiêu chuẩn đường sắt tại Việt Nam, TCVN 4527:1988 (dịch từ tài liệu LB Nga) được sử dụng để thiết kế hầm đường sắt xuyên núi, đồng thời có thể áp dụng cho hầm ô tô. Tiêu

chuẩn này đã được sử dụng, kết hợp với tài liệu số 4 của Hàn Quốc, để thiết kế hầm Khe Nét qua gần 20 điều kiện địa chất khác nhau (từ đất yếu, đứt nê đến đá cứng). Cần nhấn mạnh, dự án hầm Khe Nét là hầm đường sắt xuyên núi xây mới đầu tiên sau hơn 100 năm kể từ khi người Pháp xây dựng tuyến đường sắt Bắc - Nam. Qua nghiên cứu và triển khai thực tế tại hầm Khe Nét, Korean Tunnel Design Standard (KR Code) - ENG được hiểu là bản dịch và nâng cấp từ tiêu chuẩn hầm của Mỹ AASHTO. Các tuyến hầm còn lại chủ yếu là hầm đường bộ (như hầm Hải Vân theo tài liệu số 5, do Nhật Bản tài trợ ODA). Các dự án đường sắt đô thị được triển khai bởi các nguồn Trung Quốc, Pháp, Nhật Bản theo từng dự án riêng, chưa đồng bộ về hệ thống tiêu chuẩn.

Xét về nguồn gốc, nhiều quốc gia lấy Eurocode làm nền tảng để biên soạn, điều chỉnh cho phù hợp điều kiện địa chất, khí hậu và công nghệ của mình. Không phải quốc gia xây nhiều tuyến hay có tốc độ xây dựng nhanh thì tiêu chuẩn/công nghệ mặc nhiên tiên tiến nhất; điều quan trọng là xác định rõ công nghệ lõi, công nghệ nền và tiêu chuẩn gốc của từng hệ để đối chiếu, so sánh, kiểm soát và lựa chọn công nghệ phù hợp với Việt Nam.

Về mặt tiêu chuẩn thì cần bộ tiêu chuẩn thống nhất cho các loại hình: đường sắt đô thị, đường sắt xuyên núi, đường sắt cao tốc. Nhưng ở Việt Nam, đang tồn tại quá nhiều hệ thống tiêu chuẩn riêng biệt. Các nước phát triển thậm chí dùng chung tiêu chuẩn chung cho xây dựng dân dụng và giao thông, nhưng ở Việt Nam hai tiêu chuẩn tách riêng. Do đó, khi tính toán ảnh hưởng của đường sắt tới các công trình dân dụng, đặc biệt là đào các tuyến metro nằm cạnh - bên dưới cần tính toán ảnh hưởng qua lại giữa hai công trình sẽ gặp nhiều khó khăn, tranh luận dẫn đến kéo dài thời gian xây dựng, đội giá thành.

Về mặt con người thì để thiết kế, xây dựng đường sắt đô thị cần có các kỹ sư, chuyên gia am hiểu về cả 3 loại hình: cầu, đường, hầm dành cho đường sắt. 3 công trình này cần kết nối hài hòa với nhau để tàu chạy một cách trơn tru. Hiện nay, đội ngũ kỹ sư được đào tạo bài bản còn thiếu. Do đó, Bộ Xây dựng cần ban hành khung năng lực, tiêu chuẩn cho kỹ sư đường sắt để tránh đào tạo thừa hoặc năng lực kém không đáp ứng được yêu cầu thực tế, gây lãng phí đối với xã hội.

2. PHÂN BIỆT TIÊU CHUẨN, CÔNG NGHỆ VÀ CHUYÊN GIA

Trong các dự án, có thể có nhiều lựa chọn khác nhau về tiêu chuẩn, song cần phân biệt rõ giữa tiêu chuẩn, công nghệ và chuyên gia. Theo thông lệ ở các quốc gia có nền xây dựng phát triển, mỗi công trình quan trọng đều gắn với tổng công trình sư - người chịu trách nhiệm cao nhất, nắm vững công nghệ, trực tiếp ra quyết định và chịu trách nhiệm toàn diện về chất lượng, tiến độ và an toàn của dự án. Trong khi đó, ở Việt Nam, các dự án thường được ghi nhận là “của tập thể” hoặc “của Nhà nước”, mà hiếm khi công khai tên tuổi cá nhân tổng công trình sư chịu trách nhiệm chuyên môn.

Qua rà soát hệ thống tiêu chuẩn, có thể rút ra một số nhận xét:

- Mỗi hệ thống tiêu chuẩn đều có đội ngũ chuyên gia đảm nhiệm công tác xây dựng, kiểm soát, ban hành và cập nhật. Các chuyên gia này thường là kỹ sư có nhiều năm kinh nghiệm, được xã hội công nhận, hoặc giảng viên, nhà nghiên cứu thuộc các trường đại học, viện nghiên cứu có chuyên môn sâu, trực tiếp đóng góp vào việc hình thành và hoàn thiện các tiêu chuẩn quốc gia.

- Trong các tiêu chuẩn kỹ thuật, nhiều nội dung tưởng như chỉ là vài dòng ngắn gọn nhưng thực chất hàm chứa công nghệ và phương pháp kỹ thuật phức tạp, như kỹ thuật đo đạc, thí nghiệm, tính toán, đòi hỏi phải có chuyên gia thực hiện.

- Lĩnh vực xây dựng còn bao gồm nhiều nội dung mang tính bí mật quốc gia của các nước, như: xây dựng công trình tại vùng Bắc Cực, ổn định các đảo nhân tạo, hay các công trình ngầm có khả năng chống chịu trong tình huống chiến tranh. Các thiết kế này thường dùng chung nền công nghệ, nhưng nhiều quốc gia không công bố chi tiết trong tiêu chuẩn kỹ thuật. Tương tự, tại Việt Nam, Nhà nước cũng đã ban hành Luật Phòng thủ dân sự (Luật số 18/2023/QH15) nhằm quy định các yêu cầu kỹ thuật đặc thù khi ứng phó thiên tai, chiến tranh.

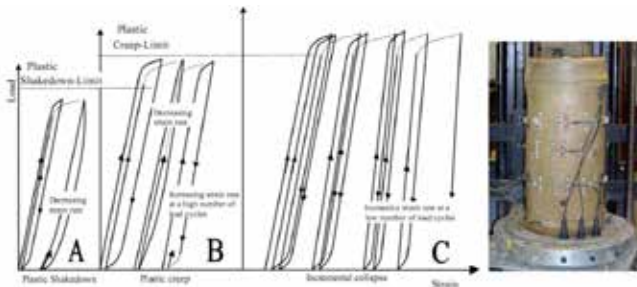
- Đối với các công trình Metro và đường sắt cao tốc, là những công trình có ý nghĩa chiến lược về an ninh quốc gia, có thể được huy động làm nơi trú ẩn, di chuyển nhân lực hoặc vận chuyển khí tài quân sự khi cần thiết. Vì vậy, trong khâu thiết kế và tính toán, cần có sự tham vấn của Bộ Quốc phòng và Bộ Công an, tương tự như cách mà các quốc gia phát triển luôn giới hạn công khai thông tin ở những phần có yếu tố an ninh.

3. XÂY DỰNG HỆ THỐNG TIÊU CHUẨN ĐƯỜNG SẮT MANG BẢN SẮC VIỆT NAM

Hệ thống tiêu chuẩn của mỗi quốc gia phải phù hợp với điều kiện khí hậu và dải nhiệt độ đặc trưng của quốc gia đó. Các nước có hệ thống đường sắt cao tốc phát triển thường nằm trong vùng khí hậu ôn đới hoặc hàn đới, có nhiệt độ âm và băng giá, do đó yêu cầu kỹ thuật đối với độ dẫn nở nhiệt, chống đóng băng và ổn định vật liệu thường khắt khe hơn nhiều so với điều kiện tại Việt Nam. Trong khi đó, khí hậu Việt Nam mang tính nhiệt đới ẩm, ít chịu ảnh hưởng của băng giá, vì vậy việc nghiên cứu, lựa chọn vật liệu phù hợp với dải nhiệt độ trong nước là cần thiết, thậm chí có thể giúp giảm chi phí xây dựng và bảo trì so với các quốc gia vùng lạnh.

Bên cạnh đó, điều kiện địa chất của Việt Nam có tính đặc thù cao, với sự phân bố đa dạng của các loại đất và đá, nên cần xây dựng hệ thống nghiên cứu và tiêu chuẩn thí nghiệm địa kỹ thuật bài bản. Qua rà soát, chúng tôi nhận thấy các tiêu chuẩn thí nghiệm đất và đá hiện hành ở Việt Nam còn lạc hậu so với quốc tế, thiếu nhiều loại thí nghiệm cơ bản phục vụ thiết kế công trình hiện đại như: thí nghiệm ba trục (nén - dỡ tải), thí nghiệm cột cộng hưởng, thí nghiệm ba trục động đất/đá, đo ứng suất nguyên sinh...

Các tham số này là dữ liệu nền tảng để xác định đặc tính cơ học và động học của đất, đá trong khu vực tuyến. Nếu quá trình lấy mẫu và thí nghiệm không được chuẩn hóa ngay từ đầu, sẽ dẫn đến tình trạng mất mẫu, thiếu dữ liệu hoặc kết



Hình 1. Thí nghiệm cấp phối đá dăm xác định các tham số từ biến rung do tàu chạy nhằm xác định cấp phối hợp lý và tuổi thọ lớp balat.

quả không đồng bộ, gây lãng phí nguồn lực và ảnh hưởng đến độ chính xác của thiết kế. Quan trọng hơn, việc không xây dựng được bộ dữ liệu địa kỹ thuật chuẩn hóa và số hóa sẽ khiến Việt Nam khó hình thành cơ sở dữ liệu quốc gia phục vụ thiết kế, thi công và bảo trì các công trình đường sắt cao tốc, đường sắt đô thị và hạ tầng ngầm trong tương lai.

Khi biên dịch và ban hành các tiêu chuẩn dựa trên tiêu chuẩn của các quốc gia khác, sẽ có nhiều nội dung không hoàn toàn rõ ràng hoặc khó áp dụng trực tiếp, do sự khác biệt về điều kiện tự nhiên, vật liệu, công nghệ và phương pháp thi công. Việc chuyển hóa các tiêu chuẩn này đòi hỏi kiến thức nền vững chắc và năng lực thực hiện các thí nghiệm chuyên sâu, nhằm xác định các tham số kỹ thuật cho vật liệu và điều kiện địa chất phù hợp với đặc thù của Việt Nam. Đây cũng là yêu cầu tất yếu trong chiến lược lâu dài phát triển ngành Xây dựng, với trọng tâm là các công trình đường sắt đô thị và đường sắt cao tốc đóng vai trò điểm tựa cho hệ thống tiêu chuẩn mới.

Trên Hình 2, khi thiết kế tuyến đường sắt cao tốc Moscow - Saint Petersburg, các kỹ sư Nga đã tham khảo đồng thời tiêu chuẩn của Trung Quốc và hệ thống Eurocode, kết hợp với quan trắc thực địa và mô phỏng số để hiệu chỉnh và hoàn thiện giải pháp thiết kế. Cách làm này cho thấy tầm quan trọng của việc xây dựng tiêu chuẩn dựa trên cơ sở khoa học nền tảng, có thể tiếp thu tinh hoa quốc tế nhưng vẫn phù hợp với khí hậu, địa chất và điều kiện kỹ thuật trong nước.

Thực tế, trong một số đề tài nghiên cứu và nghiệm thu về định hướng tiêu chuẩn hầm do Bộ Xây dựng chủ trì, các chuyên gia cũng khẳng định rằng Việt Nam cần lấy hệ thống tiêu chuẩn của các nước khối tiếng Anh (như: Mỹ, Anh, Australia...) làm nền tảng, từ đó xây dựng bộ tiêu chuẩn hầm thống nhất, có thể kết nối với các tiêu chuẩn hiện hành về bê tông cốt thép, tải trọng, địa kỹ thuật... đang được áp dụng trong nước. Cách tiếp cận này sẽ giúp giảm khối lượng biên soạn, tận dụng lực lượng kỹ sư hiện có, đồng thời đảm bảo tính đồng bộ, khả thi và hội nhập quốc tế khi triển khai các dự án đường sắt quy mô lớn trong thời gian tới.

4. KẾT LUẬN

Đường sắt đô thị và đường sắt cao tốc là nhu cầu cấp thiết

Normative or research	Value of train load	Coefficient of increase
СТУ	60 кПа	-
Китайские нормы (ТВ 10001-2016)	40,4 кПа	1,5
Европейские нормы (Ril 836)	52 кПа	1,2
Натурные измерения (ПГУПС)	36 кПа	1,7
Численное моделирование	35,6* кПа (от высокоскоростного подвижного состава типа CRH380)	1,7
	38,9* кПа (при нагружении условной нагрузкой 23тс/ось от локомотива ЭП20)	1,5

Hình 2. Giá trị tải trọng đoàn tàu tính theo tiêu chuẩn Trung Quốc, Eurocod, đo đạc và mô phỏng số.

của Việt Nam. Hiệu quả mà hai loại công trình này mang lại sẽ rất lớn nếu Việt Nam làm chủ được công nghệ. Từ các dự án đã triển khai, có thể kế thừa hệ thống tiêu chuẩn của các nước đã phát triển đường sắt và tra cứu trực tiếp các nguồn tài liệu gốc bằng tiếng Anh. Việc lựa chọn tiêu chuẩn dựa trên nguồn tài liệu tiếng Anh và xây dựng đội ngũ chuyên gia am hiểu công nghệ là hết sức quan trọng. Có thể “trộn” và bù đắp các phần còn khuyết thiếu từ nhiều tiêu chuẩn và tài liệu chuyên sâu khác nhau. Kinh nghiệm của nhóm nghiên cứu khi tham khảo hồ sơ mẫu, tài liệu thiết kế của các nước cho thấy: nhiều quốc gia có xu hướng không công bố toàn bộ công nghệ, tách riêng các nghiên cứu chuyên sâu. Tuy nhiên, nếu biết cách tổng hợp và nghiên cứu, vẫn có thể hình thành bản hoàn chỉnh để xây dựng bộ tiêu chuẩn khả dụng, mang lại lợi ích cho quốc gia và nhân dân.❖

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

- Hồ sơ dự án cải tạo đường sắt khu vực đèo Khe Nét, tuyến đường sắt Hà Nội - TP.HCM.
- Phạm Kiến Quốc, Vương Đồng Nguyên. Công nghệ xây dựng đường sắt cao tốc Trung Quốc (tập 1, 2). NXB Xây dựng, 2025.
- Tiêu chuẩn thiết kế Hầm đường sắt và hầm đường ô tô: TCVN 4527:1988
- Tiêu chuẩn thiết kế đường hầm của Hàn Quốc (Mã KR) - ENG (Korean Tunnel Design Standard (KR Code)-ENG)
- Tiêu chuẩn thiết kế hầm qua núi, tiêu chuẩn Nhật Bản - 1996. (tham khảo) - (Japanese standard for tunneling 1996)
- TCVN 11823:2017. Tiêu chuẩn thiết kế cầu - đường bộ
- Nghị quyết số 172/2024/QH15 của Quốc hội: Về chủ trương đầu tư Dự án đường sắt tốc độ cao trên trục Bắc - Nam. Số ký hiệu, 172/2024/QH15
- Eurocode, các tiêu chuẩn - chỉ dẫn thiết kế đường sắt.
- СП 453.1325800.2019. Kết cấu công trình đường sắt cao tốc. Quy định về thiết kế và thi công (tiêu chuẩn LB Nga).
- TCVN 10304:2025. Tiêu chuẩn móng cọc.
- TCVN 9362:202x. Tiêu chuẩn thiết kế nền nhà và công trình (sắp ban hành).
- TCVN 13594:2022 Thiết kế cầu đường sắt
- TCVN 13342:2021. Thiết kế đường sắt tốc độ cao - tham số thiết kế tuyến đường
- TCVN 13566:2022. Ứng dụng đường sắt - Đường ray - Tà vẹt và tấm đỡ bê tông.
- Luật số 18/2023/QH15 của Quốc hội: Luật Phòng thủ dân sự.
- Hồ sơ thiết kế đường sắt cao tốc tuyến Moscow - Saint Petersburg.

"Tư duy toàn cầu để định vị doanh nghiệp Việt trên bản đồ thế giới"



NGUYỄN HẠNH (thực hiện)

"Trong bối cảnh ngành cơ khí Việt Nam chủ yếu gia công quy mô nhỏ, thiếu thương hiệu lớn, chưa tham gia sâu vào chuỗi cung ứng toàn cầu và hạn chế về kinh nghiệm hội nhập, nếu các doanh nghiệp lớn liên kết với nhau, Việt Nam hoàn toàn có thể sản xuất các sản phẩm và dự án tầm cỡ quốc tế", ông Trịnh Văn Huyền - Phó Tổng giám đốc thường trực Công ty CP Cơ khí xây dựng thương mại Đại Dũng (Tập đoàn Đại Dũng) đã chia sẻ với BTV Tạp chí Xây dựng sau khi chinh phục nhiều công trình lịch sử cùng khát vọng vươn tầm quốc tế.

HÀNH TRÌNH LỊCH SỬ...

♦ *Thưa ông, câu chuyện thi công Trung tâm Hội chợ Triển lãm Quốc gia (Hà Nội) trong thời gian 10 tháng, đang trở thành niềm tự hào của giới xây dựng Việt Nam về một công trình có kết cấu mái vòm thép lớn nhất thế giới, toàn bộ thép sản xuất tại Việt Nam. Ông nghĩ sao về điều này?*

- Chúng tôi thực sự tự hào! Đây là công trình có ý nghĩa đặc biệt không chỉ đối với chúng tôi mà còn là niềm tự hào rất lớn đối với ngành Xây dựng Việt Nam vì người Việt Nam chúng ta đã hoàn toàn thực hiện hợp đồng EPC cho những dự án quy mô lớn. Với kinh nghiệm đã thi công kết cấu thép của hàng loạt công trình mang tính biểu tượng trên thế giới, và với vai trò là nhà thầu chính, chúng tôi đã huy động tối đa nguồn lực từ khâu thiết kế, cung ứng tới sản xuất lắp dựng với chiến lược đồng bộ theo chuỗi giá trị của Đại Dũng Group với tinh thần vượt mọi giới hạn của từng con người Đại Dũng Group, chúng tôi đã áp dụng tối đa công nghệ và năng lực của toàn hệ thống để đạt được mục tiêu đề ra của dự án này.

Mái vòm thép của Nhà triển lãm Kim Quy với khối lượng khoảng 24 nghìn tấn, thi công chưa đầy 10 tháng, sai số lắp đặt chỉ vài mi-li-mét và không có cơ hội làm lại. Đặc biệt, trong khi nhiều công trình quốc tế phải nhập khẩu, nhưng với mái vòm thép Nhà triển lãm Kim Quy thuộc top 10 thế giới này, toàn bộ thép được sản xuất tại Việt Nam.

Chúng ta đã 100% nội địa hóa từ khâu thiết kế, cung ứng nguyên liệu, chế tạo cho tới thi công. Đây là giá trị thương hiệu Việt rất lớn. Nó chứng minh rằng chúng ta không chỉ

"làm thuê" mà hoàn toàn có thể xuất khẩu công nghệ và dịch vụ thi công ra thế giới.

♦ *Để tạo được lòng tin cho chủ đầu tư, chắc Đại Dũng Group đã khẳng định năng lực của mình qua các công trình trọng điểm trong nước?*

- Ở trong nước, Đại Dũng Group là đối tác tin cậy cho nhiều công trình trọng điểm, góp phần vào sự phát triển hạ tầng của nước nhà.

Ngoài Trung tâm Hội chợ Triển lãm Quốc gia (Cổ Loa, Hà Nội) như kể trên, chúng tôi còn thực hiện nhiều công trình lớn như Nhà ga T3 Sân bay Tân Sơn Nhất. Thiết kế nhà ga lấy cảm hứng từ tà áo dài truyền thống Việt Nam, với phần mái cong mềm mại, thanh lịch. Đây là sự kết hợp hài hòa giữa công năng hiện đại và yếu tố văn hóa bản địa. Đại Dũng Group đảm nhận việc sản xuất và lắp dựng kết cấu thép cho phần mái của nhà ga. Việc hoàn thành kết cấu mái là một trong những cột mốc quan trọng nhất của dự án, định hình nên "bộ mặt" của nhà ga mới hiện đại của TP.HCM.

Đại Dũng Group tự hào là một trong các nhà thầu kết cấu thép cho nhà ga hành khách của Sân bay Quốc tế Long Thành (Đồng Nai), một trong những cảng hàng không trung chuyển hàng đầu Đông Nam Á, với công suất thiết kế lên đến 100 triệu hành khách/năm. Nhà ga hành khách được thiết kế bởi Heerim Architects & Planners (Hàn Quốc) với ý tưởng chủ đạo là hình ảnh bông sen cách điệu.

Đại Dũng Group cũng đã cung cấp 80 nghìn tấn kết cấu



Doanh nghiệp Việt Nam không chỉ làm thuê, mà có thể chinh phục cả những dự án mang tầm vóc toàn cầu, có đủ năng lực để chinh phục những chuẩn mực quốc tế khắt khe nhất”.

Ông Trịnh Văn Huyền



thép cho dự án Khu liên hợp sản xuất gang thép Hòa Phát Dung Quất, một trong những dự án công nghiệp nặng quy mô lớn nhất tại Việt Nam. Đáng chú ý, công trình này bao gồm một kho than với khẩu độ vượt nhịp 170 m, chịu được bão cấp 18 và được ghi nhận là lớn nhất Đông Nam Á...

Khác với nhiều doanh nghiệp chỉ tham gia một phần công đoạn, Đại Dũng Group đảm nhận toàn bộ chuỗi giá trị gồm thiết kế, cung ứng, sản xuất, vận chuyển và lắp dựng, làm chủ công nghệ kết cấu thép siêu trường - siêu trọng, có thể ứng phó cả những kịch bản thiên tai khắt khe nhất.

ĐỊNH VỊ DOANH NGHIỆP VIỆT TRÊN BẢN ĐỒ THẾ GIỚI

◆ **Nghe nói, với Đại Dũng Group còn có một giai thoại khác mang tên "kỳ tích phút 89" tại Qatar, nơi sẽ diễn ra trận chung kết World Cup 2022 và từ đó, tên tuổi Đại Dũng Group xuất hiện trong danh sách nhà thầu của FIFA và các tập đoàn xây dựng hàng đầu thế giới. Chuyện là như thế nào vậy?**

- Chúng tôi tự hào khi đã ghi tên mình vào lịch sử World Cup với sự đóng góp vào các sân vận động nổi tiếng tại Qatar. Năm 2017, tại Qatar, dự án sân Lusail - nơi sẽ diễn ra trận chung kết World Cup 2022 - gặp sự cố, nhà thầu Thổ Nhĩ Kỳ không hoàn thiện được các cấu kiện. Đại Dũng Group được gọi vào "phút 89", phải vượt qua hàng loạt vòng thẩm định nhà máy, phương án sản xuất, năng lực thi công. Chỉ trong 1 năm, Đại Dũng Group cung cấp 6 nghìn tấn thép cho sân Lusail và toàn

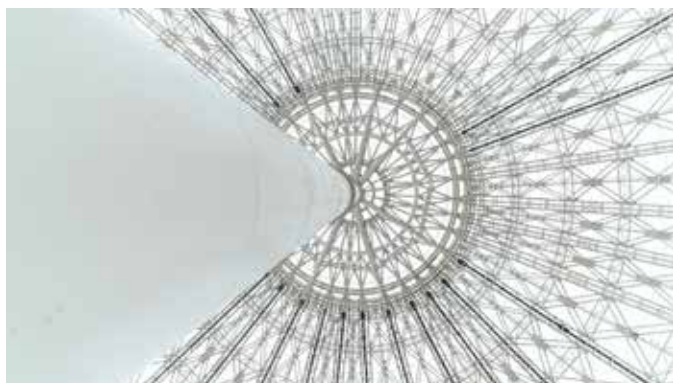
bộ 28 nghìn tấn cho sân Ras Abu Aboud (sân 974) - công trình Lego khổng lồ không lỗi mỗi hàn, sai số chỉ 2 mm.

Sân vận động 974 - Ras Abu Aboud sức chứa 45 nghìn chỗ ngồi, xây dựng trên diện tích 450 nghìn m², được lắp ghép kết hợp giữa kết cấu thép và 974 container, đây là công trình xanh tiêu biểu đạt chuẩn quốc tế, thiết kế này cho phép công trình có thể tháo rời hoàn toàn và tái lắp đặt ở địa điểm khác, hoặc chuyển đổi thành các công trình như bệnh viện, trường học, sân vận động nhỏ hơn. Từ đó, tên tuổi Đại Dũng Group xuất hiện trong danh sách nhà thầu của FIFA và các tập đoàn xây dựng hàng đầu thế giới.

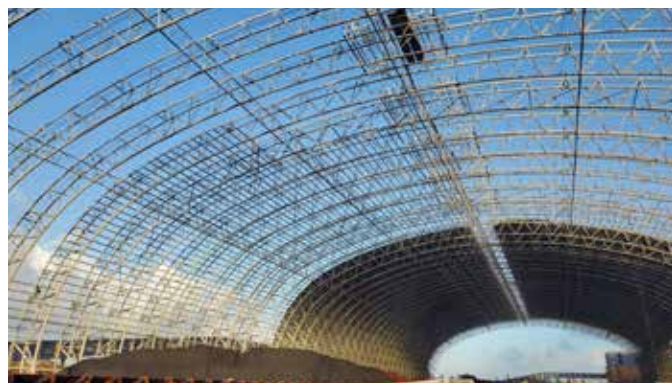
◆ **Nghe chuyện này, trong tôi cũng thấy dâng lên một niềm tự hào Việt Nam! Vì tôi biết rằng Đại Dũng Group còn tham gia vào nhiều dự án mang tính biểu tượng, khẳng định năng lực của mình trên toàn cầu nữa, đúng vậy không? Và Đại Dũng Group đã vươn ra thế giới như thế nào, thưa ông?**

- Chắc bạn đã nghe đến Bảo tàng Powerhouse Parramatta tọa lạc bên bờ sông Parramatta, ngay trung tâm khu vực phát triển nhanh và đa dạng nhất của Sydney. Nơi này sẽ trở thành biểu tượng văn hóa mới của miền Tây Sydney và toàn nước Úc. Đây là dự án mới lớn nhất bang New South Wales và được xem là một trong những công trình bảo tàng quan trọng nhất thế giới đang được xây dựng.

Chúng tôi đã tham gia công trình này và đã đạt được nhiều cột mốc quan trọng, như hoàn thành lắp dựng toàn bộ kết



Trung tâm Hội chợ Triển lãm Quốc gia với thiết kế mái vòm đường kính 360 m, cột trung tâm đường kính 2,4 m.



Khu liên hợp sản xuất gang thép Hòa Phát Dung Quất với nhà kho vượt nhịp 170 m - khẩu độ lớn nhất Đông Nam Á.



Công nghệ tự động hóa linh hoạt giúp sản xuất nhanh chóng các sản phẩm đa dạng, từ những sản phẩm tiêu chuẩn đến sản phẩm tùy chỉnh.



Cảng hàng không quốc tế Long Thành, Đại Dũng đảm nhận vai trò nhà thầu kết cấu thép, với khối lượng lên tới hàng chục nghìn tấn cho các hạng mục như mái nhà ga hành khách và hệ thống cầu ống lồng.

cấu thép exoskeleton, topping out ở độ cao 75 m, và 2 trong số 7 không gian triển lãm lớn đã sẵn sàng cho công tác lắp đặt hiện vật. Các hạng mục còn lại đang được gấp rút hoàn thiện để đảm bảo tiến độ bàn giao cuối năm 2025, trước khi chính thức khai trương vào năm 2026. Đại Dũng Group đã cung cấp 8.851 tấn kết cấu thép cho dự án này.

Tại thị trường Nhật Bản, đây là thị trường khó tính và yêu cầu kỹ thuật và độ thẩm mỹ cao cũng như chống động đất của Nhật Bản, chúng tôi đã cung cấp kết cấu thép cho hàng loạt các dự án nhà cao tầng, trong đó phải kể đến Dự án Nihonbashi - đây là một dự án nhà cao tầng được kết hợp giữa kết cấu thép và gỗ đầu tiên và có quy mô lớn nhất tại Nhật Bản.

Tại thị trường Trung Đông, Bảo tàng Misk Ilmi không chỉ là trung tâm khoa học công nghệ lớn bậc nhất mà còn là biểu tượng cho khát vọng đổi mới sáng tạo, phát triển giáo dục và hội nhập quốc tế của Ả Rập Saudi trong kỷ nguyên mới. Với diện tích 38 nghìn m², Trung tâm có kiến trúc hình cầu cách tân, nhiều khu chức năng lớn, sử dụng kết cấu thép siêu trường, siêu trọng. Đại Dũng Group là nhà thầu kết cấu thép và thi công lắp dựng cho dự án này.

Tại thị trường châu Âu chúng tôi còn tham gia thực hiện

dự án Hầm xuyên biển Fehmarn Belt Fixed Link, là dự án hạ tầng ngầm mang tính biểu tượng toàn cầu, với tổng chiều dài 18 km, kết nối đảo Lolland (Đan Mạch) và đảo Fehmarn (Đức) dưới đáy biển Baltic. Đây là đường hầm xuyên biển dài nhất thế giới cho phép cả xe lửa lẫn ô tô lưu thông, rút ngắn thời gian di chuyển giữa hai nước từ 45 phút xuống còn 7 phút. Đặc biệt ở công trình này là sử dụng phương pháp lắp ghép ống chìm khổng lồ dưới đáy biển, mỗi đoạn dài khoảng 217 m, nặng tới 73 nghìn tấn, đòi hỏi tiêu chuẩn kỹ thuật và kết cấu cực kỳ khắt khe.

Chúng tôi đã vinh dự cung ứng các cấu kiện thép trọng yếu, đáp ứng tiêu chuẩn châu Âu. Đây là minh chứng rõ nét cho năng lực sản xuất, quản trị và uy tín thương hiệu đẳng cấp quốc tế của ngành công nghiệp thép Việt. Sự hiện diện tại Fehmarn Belt Fixed Link không chỉ là một bước tiến kỹ thuật mang tầm quốc tế, mà còn là lời khẳng định mạnh mẽ về vị thế và năng lực sản xuất của ngành kết cấu thép Việt Nam trên bản đồ công nghiệp toàn cầu.

Và còn nhiều công trình khác nữa thuộc danh mục các sản phẩm chiến lược của Đại Dũng từ công trình công nghiệp nặng, công trình dân dụng, giao thông, năng lượng... không thể kể hết trong một bài viết, như Trang trại điện gió ngoài



Bảo tàng Misk Ilmi (Ả Rập Saudi).



Thi công Bảo tàng Powerhouse Parramatta (Úc).



Fehmarn Belt Fixed Link là dự án hạ tầng ngầm mang tính biểu tượng toàn cầu, với tổng chiều dài 18 km, kết nối đảo Lolland (Đan Mạch) và đảo Fehmarn (Đức) dưới đáy biển Baltic.



Sân vận động 974 (Qatar) được lắp ghép hoàn toàn bằng 974 container tái chế và thép module.

khởi Greater Changhua là dự án điện gió ngoài khơi lớn nhất Đài Loan và thuộc nhóm lớn nhất châu Á - Thái Bình Dương; Dự án Shiplift Platform hệ thống sà lan nâng tàu cho BAE Systems là hệ thống nâng tàu quân sự lớn nhất thế giới, đòi hỏi các cấu kiện thép có kích thước và trọng lượng vượt trội, đáp ứng tiêu chuẩn kỹ thuật và chất lượng nghiêm ngặt của ngành công nghiệp quốc phòng Hoa Kỳ; Sân bay Quốc tế Techo Takhmao (Phnom Penh, Campuchia) là dự án sân bay mới và lớn nhất lịch sử Campuchia...

Tham gia những dự án trên là minh chứng rõ ràng nhất cho khả năng của doanh nghiệp Việt Nam vươn ra biển lớn. Và, khẳng định vị thế của doanh nghiệp Việt tại các công trình lớn nổi tiếng của thế giới.

KHÁT VỌNG VƯƠN TẦM TOÀN CẦU

◆ **Vậy làm sao để doanh nghiệp Việt Nam có một tâm thế mới trong khát vọng vươn tầm toàn cầu, thưa ông?**

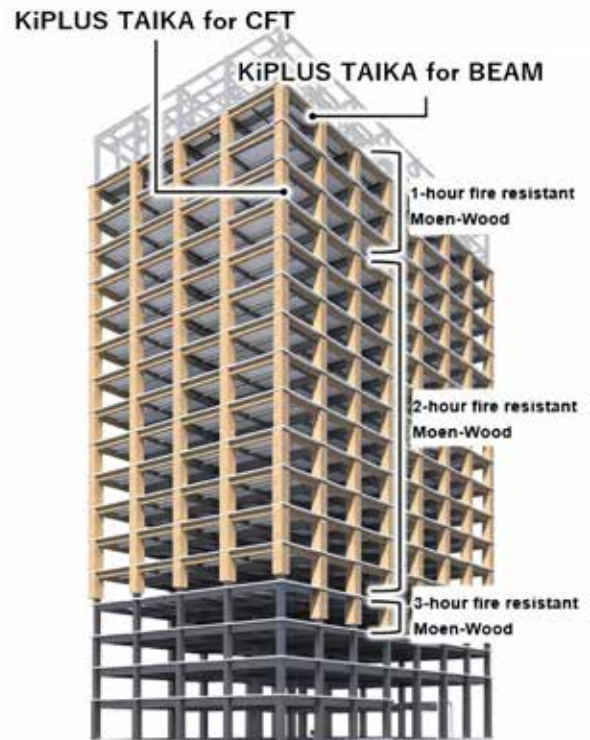
- Doanh nghiệp Việt đã và đang thực hiện những công trình trọng điểm được coi là biểu tượng của các nước phát triển, giàu có, từ xây dựng nhà cao tầng chống động đất, trung tâm logistic, hàng không, metro đến hậu cần quân sự... ở Tokyo, Sydney, Qatar, Ả Rập Saudi, châu Âu, Hoa Kỳ...



Khi doanh nghiệp tư nhân được trao cơ hội và niềm tin, chúng ta có thể tạo ra công trình mang tầm thế giới. Tôi tin rằng kinh tế tư nhân sẽ tiếp tục đóng vai trò động lực quan trọng, giúp Việt Nam hiện thực hóa những công trình và mục tiêu “không có gì là không thể”.

từ thực hiện một phần cho đến toàn bộ công trình, đã khẳng định năng lực trong cơ khí chế tạo và kết cấu thép của doanh nghiệp Việt. Điều đó cho thấy “không có gì là không thể”.

Tôi nghĩ, các doanh nghiệp Việt Nam vốn đã có ý chí, luôn có khát vọng vươn tầm và tinh thần “Dẫn đầu - Đổi mới - Kiến tạo”. Do đó đã là doanh nhân thì phải dẫn thân, phải bản lĩnh và phải bắt đầu từ nội tại của chính doanh nghiệp mình. Cần



Dự án nhà cao tầng tại Nihonbashi (Tokyo, Nhật Bản) được thiết kế theo tiêu chuẩn chống động đất nghiêm ngặt, ứng dụng hệ thống giảm chấn HiDAX-R hiện đại, giúp giảm 50% biên độ dao động và rút ngắn thời gian rung lắc chỉ còn 1/10 so với bình thường.



Tại sao cứ phải trông chờ vào Nhà nước? Tư duy toàn cầu là cần tận dụng những gì mà nhà nước đã tạo lập cho chúng ta ở sân chơi quốc tế. Đó là cần tận dụng hiệu quả các Hiệp định thương mại tự do (FTA) mà Việt Nam đã ký kết. Ở đây, điều cần thiết với mỗi doanh nghiệp là cần minh bạch, trung thực và tuân thủ văn hóa kinh doanh quốc tế”.

thoát ra khỏi những gì thụ động đã tồn tại dai dẳng bấy lâu nay và thúc đẩy khát vọng lớn, không chỉ dừng lại ở thị trường trong nước mà là tầm nhìn toàn cầu từ đó có lộ trình nâng cao năng lực của doanh nghiệp Việt Nam chúng ta, từ việc xây dựng hệ thống quản trị, trang bị các tiêu chuẩn, chứng chỉ, nâng cao năng lực đội ngũ cho tới cơ sở hạ tầng sản xuất quy mô lớn, năng lực tài chính nhằm đáp ứng yêu cầu ngày càng cao của thị trường cũng như có thể chống chọi các rủi ro. Chủ động tìm kiếm, kết nối và tham gia vào chuỗi giá trị

toàn cầu, không thụ động trông chờ hay tự ti. Mà bài học từ việc tham gia công trình các sân vận động nổi tiếng tại Qatar năm 2017 mà chúng tôi vượt qua là một minh chứng.

Thêm nữa, tại sao cứ phải trông chờ vào Nhà nước? Tư duy toàn cầu là cần tận dụng những gì mà nhà nước đã tạo lập cho chúng ta ở sân chơi quốc tế. Đó là cần tận dụng hiệu quả các Hiệp định thương mại tự do (FTA) mà Việt Nam đã ký kết. Ở đây, điều cần thiết với mỗi doanh nghiệp là cần minh bạch, trung thực và tuân thủ văn hóa kinh doanh quốc tế. Trong đó, minh bạch quản trị và tài chính, đặc biệt là trong báo cáo kiểm toán, để tạo lòng tin với đối tác quốc tế, nhất là các thị trường khó tính như Hoa Kỳ, EU.

Tâm thế của chúng ta trong đàm phán, hợp tác là luôn trung thực và đi thẳng vào vấn đề. Tuân thủ nghiêm ngặt các yêu cầu pháp lý, quy định của nước sở tại cũng như các chuẩn mực quốc tế. Liên tục đổi mới tư duy và mô hình quản lý để thích nghi với môi trường kinh doanh toàn cầu cạnh tranh và biến động liên tục như hiện nay.

♦ Ông vừa nhắc đến đổi mới tư duy. Thật sự, điều này không mới, nhưng ở tầm vóc quốc tế, cụ thể là gì, thưa ông?

- Tư duy mới và quản trị mới là yếu tố then chốt giúp doanh nghiệp Việt Nam thành công khi vươn ra thế giới và hợp tác quốc tế. Ngay với Đại Dũng Group, chúng tôi luôn tâm niệm và tư duy rằng, cần chuyển từ cạnh tranh nội địa sang hợp tác và cạnh tranh toàn cầu.

Cần phải rõ ràng rằng, thay vì chỉ tập trung triệt tiêu lẫn

Ông Trịnh Văn Huyền sinh năm 1980 tại làng Yên Định, xã Định Tân, huyện Yên Định (cũ), tỉnh Thanh Hóa; là Cử nhân hệ thống điện, Kỹ sư xây dựng.

Ông là một trong những người dẫn dắt Công ty CP Cơ khí Xây dựng Thương mại Đại Dũng (Tập đoàn Đại Dũng) trở thành một trong những doanh nghiệp đầu ngành kết cấu thép và cơ khí chế tạo Việt Nam.

Với triết lý và là tinh thần xuyên suốt “Muốn thay đổi thế giới, hãy thay đổi từ bên trong bạn”, Đại Dũng Group không ngừng chuyển mình mạnh mẽ, phát triển hệ thống nhà máy công nghệ cao, tự động hóa sản xuất, chuẩn hóa theo tiêu chuẩn quốc tế, đào tạo đội ngũ nhân lực tinh hoa. Từ nền tảng đó, Đại Dũng Group đã vươn lên trở thành một trong những biểu tượng của ngành kết cấu thép Việt Nam và khu vực, là sự lựa chọn hàng đầu cho các công trình có ý nghĩa đặc biệt quan trọng đối với sự phát triển của một quốc gia, đồng thời là biểu tượng kiến trúc, phát triển bền vững toàn cầu.

nhau trên sân nhà, doanh nghiệp Việt Nam cần học cách hợp tác với các đối thủ trong nước để tạo thành sức mạnh tổng hợp, xây dựng chuỗi cung ứng vững chắc, và nâng cao vị thế đàm phán khi ra quốc tế.

Tôi cho rằng cần chuyển sang cạnh tranh dựa trên chất lượng, đổi mới, và thương hiệu, thay vì chỉ dựa vào chi phí thấp, chuyển từ sản xuất gia công sang giá trị và thương hiệu. Chú trọng nghiên cứu và phát triển, áp dụng công nghệ cao để tạo ra sản phẩm/dịch vụ có giá trị gia tăng lớn, thay vì chỉ dừng lại ở khâu lắp ráp hoặc gia công. Tập trung vào việc xây dựng và bảo vệ thương hiệu Việt trên trường quốc tế, coi trọng chất lượng và uy tín sản phẩm. Đặc biệt, tư duy phát triển bền vững và toàn diện đang là yếu tố tất yếu hiện nay. Đây là xu hướng và tiêu chuẩn bắt buộc của nhiều đối tác và thị trường phát triển đã và sẽ áp dụng cho từng thị trường theo lộ trình khác nhau.

Một điều nữa đó là các doanh nghiệp Việt Nam cần hướng tới kinh doanh có trách nhiệm, hướng tới chuỗi cung ứng xanh, minh bạch, giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường, và tạo ra giá trị cho xã hội, cho cộng đồng.

◆ Ông có cho rằng việc khuyến khích các nhà thầu Việt Nam xuất ngoại là khả thi?

- Tôi hoàn toàn ủng hộ! Khi tham gia thị trường quốc tế, chúng ta không chỉ mở rộng doanh thu mà còn học hỏi được tiêu chuẩn mới, nâng cao năng lực quản trị, từ đó nâng cao năng lực cạnh tranh của mình. Thành công ở các dự án quốc tế là cách tốt nhất để nâng vị thế doanh nghiệp Việt trên bản đồ thế giới. Trong bối cảnh ngành cơ khí Việt Nam chủ yếu gia công quy mô nhỏ, thiếu thương hiệu lớn, chưa tham gia sâu vào chuỗi cung ứng toàn cầu và hạn chế về kinh nghiệm

hội nhập.

Theo tôi, các doanh nghiệp Việt Nam của chúng ta đang đứng trước cơ hội to lớn với nhiều lợi thế mà ít quốc gia khác có được từ nguồn lực nhân sự tay nghề cao, chi phí thấp cho tới hạ tầng cảng biển và đặc biệt là chúng ta có một hệ thống 16 Hiệp định thương mại FTA rộng khắp đã có hiệu lực cùng với chính sách mới của Chính phủ đối với kinh tế tư nhân. Do đó, nếu các doanh nghiệp chúng ta liên danh, liên kết với nhau, Việt Nam hoàn toàn có thể sản xuất các sản phẩm và dự án tầm cỡ quốc tế. Ngược lại, doanh nghiệp nội vẫn sẽ chỉ dừng lại ở mức gia công và làm thuê, bỏ lỡ cơ hội phát triển chiến lược.

Các doanh nghiệp Việt Nam muốn vươn ra thế giới, đừng phát triển nhỏ lẻ mạnh ai nấy làm, mà cần kết hợp sức mạnh để cạnh tranh với các doanh nghiệp nước ngoài, cùng khẳng định mình qua những công trình tầm cỡ, từ đó mới định vị được mình trên trường quốc tế.

Những dự án mà chúng tôi thực hiện cho thấy doanh nghiệp Việt đều có thể vượt qua các điều kiện khắt khe nhất và hoàn thành tốt nhất.

◆ Ông nghĩ sao về kinh tế tư nhân Việt Nam khi thực hiện mong muốn này?

- Tôi cho rằng khi doanh nghiệp tư nhân được trao cơ hội và niềm tin, cùng với các chính sách mới của Chính phủ, doanh nghiệp Việt chúng ta hoàn toàn có thể tạo ra công trình mang tầm thế giới. Tôi tin rằng kinh tế tư nhân sẽ tiếp tục đóng vai trò động lực quan trọng của nền kinh tế, giúp Việt Nam hiện thực hóa những công trình và mục tiêu “không có gì là không thể”.

◆ Trân trọng cảm ơn ông về cuộc trò chuyện này!

Đầu đo quá lâu về căn nhà thứ 2!



NGUYỄN HOÀNG LINH

Đến nay, việc áp mức thuế cho căn nhà thứ 2 vẫn còn bỏ ngỏ, tuy nhiều người đều hiểu rằng, căn nhà thứ 2 hoặc nhiều hơn nữa, là thuộc về tài sản cá nhân nhưng cũng đồng thời nằm trong cấu thành tài sản quốc gia, là một trong những nguồn lực can huy động để phát triển đất nước.

Mới đây, Dự thảo Nghị quyết về cơ chế kiểm soát, kiểm chế giá BĐS do Bộ Xây dựng trình Chính phủ có đề xuất nhiều biện pháp để kiểm chế sự tăng giá nhà ở bất hợp lý, trong đó có “động” đến căn nhà thứ 2, một đối tượng điều chỉnh của pháp luật mà gần 20 năm nay, chính sách vĩ mô vẫn đầu đo mãi.

NÓNG KHI CHỈ MỚI ĐIỀU CHỈNH TỶ LỆ VAY...

Dự thảo quy định các tổ chức tín dụng đang hoạt động tại Việt Nam áp dụng hạn mức cho vay không quá 50% giá trị hợp đồng mua bán nhà ở đối với các khoản vay mua nhà ở thứ 2 và không quá 30% đối với các khoản vay mua nhà ở từ thứ 3 trở lên.

Tại đây mới chỉ đề cập điều chỉnh mức vay tín dụng từ mức thông thường 70% xuống còn 50% cho căn nhà thứ 2 và 30% cho các căn tiếp theo mà đã nhận được không ít ý kiến lo lắng.

Ý kiến thứ nhất cho rằng dự thảo có vẻ như đang can thiệp vào thị trường vốn hoạt động của ngân hàng và chính sách tiền tệ. Thị trường BĐS nói riêng và thị trường tài chính tín dụng nói chung, cần sự ổn định lâu dài, không nên tìm kiếm giải pháp ngắn hạn.

Theo ý kiến thứ hai, việc giới hạn mức cho vay có thể hạn chế tính cơ động của thị trường, gây ảnh hưởng lớn. Bởi ngành BĐS còn nhiều khó khăn và chưa đáp ứng đủ cho số đông người có nhu cầu nhà ở tại các thành phố lớn.

Ngược lại, có nhiều ý kiến đánh giá bản Dự thảo này đã đề cập tới 3 nhóm giải pháp đều rất tích cực. Đó là minh bạch trong giao dịch; phân biệt tỷ lệ cho vay (theo giá trị căn nhà) giữa căn nhà thứ nhất với căn nhà thứ 2, thứ 3 trở lên; tăng cung nhà ở thương mại giá phù hợp.

Bởi lẽ hạn chế tín dụng BĐS là một trong những công cụ thuộc chính sách can thiệp vĩ mô, được rất nhiều quốc gia trên thế giới áp dụng, đặc biệt là sau cuộc khủng hoảng tài chính 2008. Nguyên nhân xuất phát của nó là cho vay mua nhà dưới chuẩn, thiếu kiểm soát. Nhiều quốc gia đã áp dụng các công cụ này để chống đầu cơ, “thổi giá” BĐS, từ đó ngăn chặn rủi ro của hệ thống như Singapore, Hàn Quốc, Trung Quốc, Thái Lan, Anh, Mỹ, Canada...

Ngoài ra, việc giới hạn tỷ lệ cho vay sẽ giúp hạn chế tín dụng chảy vào đầu cơ BĐS nhưng khó ngăn cản được những nhà đầu cơ không dùng vốn vay. Hành vi đầu cơ găm giữ, thổi giá BĐS khó mà bị chặn lại bởi giới đầu cơ hiện nay không hề thiếu tiền và chỉ cần đặt cọc một khoản nhỏ là đã có thể lũng đoạn thị trường...

...VÀ GIAN NAN KHI BÀN VỀ TÍNH THUẾ NGÔI NHÀ THỨ 2

Từ năm 2008, Bộ Tài chính đã dự thảo Luật Thuế tài sản nhưng không thể trình ra được Quốc hội vì nhận được nhiều ý kiến trái chiều.

Năm 2017, UBND TP.HCM có văn bản kiến nghị Bộ Xây dựng áp dụng mức thuế suất cao đối với BĐS thứ 2 trở



XI MĂNG CẨM PHẢ
CÔNG NGHỆ NHẬT BẢN

HÂN HẠNH TÀI TRỢ CHUYÊN MỤC

lên, bởi theo khảo sát thực tiễn, có đến 60 - 70% lượng người mua căn hộ tại TP.HCM trong thời gian qua là để đầu tư hoặc đầu cơ. Trong khi đó, đối với các dự án đất nền vùng ven, có đến gần 100% người mua không để ở, do đối tượng mua đã có nhà ở trong các thành phố lớn trong khi các dự án còn rất lâu mới hoàn thiện cơ sở hạ tầng...

Cũng trong năm đó, ngày 10/8/2017, trước đề xuất đánh thuế nhà căn thứ 2 trở lên của Bộ Tài chính, Chính phủ đã có văn bản chỉ đạo cần nghiên cứu kỹ việc vì BĐS thị trường sau nhiều năm trầm lắng đang rất cần sự hỗ trợ của chính sách nên việc áp thuế tăng thêm khi mua căn nhà thứ 2 tại thời điểm này là không phù hợp.

Nhiều chuyên gia cũng có những phản biện khá quyết liệt trước đề xuất đánh thuế nhà căn thứ 2. Ông Nguyễn Mạnh Hà - Phó chủ tịch Hiệp hội BĐS Việt Nam (VNREA) cho biết, việc đánh thuế tài sản không có tác dụng chống đầu cơ vì đầu cơ thường bán ngay, việc đánh thuế có thể sẽ "giết chết" thị trường cho thuê.

Ông dẫn chứng các nước phát triển như Đức, Pháp, châu Âu, thị trường nhà ở cho thuê chiếm 70% quỹ nhà, còn Việt Nam xấp xỉ trên dưới 10%. Nếu đánh thuế cao đối với BĐS thì dẫn đến nguồn cung giảm đi và nếu đánh thuế nhà thứ 2 sẽ ảnh hưởng tới thị trường nhà ở cho thuê, sẽ thiếu nguồn cung cho thị trường này.

Ông Lê Viết Hải - Chủ tịch HĐQT Tập đoàn Xây dựng Hoà Bình đề xuất nên đánh thuế cho tất cả BĐS, không chỉ căn nhà thứ 2. Ông nói: "Tôi nghĩ nếu đánh thuế phải làm như vậy mới đảm bảo sự phát triển ổn định của BĐS. Bởi không thể công bằng khi một chủ nhà có diện tích 1.000 m2 không phải đóng thuế, còn một chủ khác có 2 nhà, mỗi nhà chỉ 50 m2 lại phải chịu thuế. Nên đánh thuế cho tất cả các BĐS, có tác động tích cực với thị trường BĐS vì những khu đất có giá trị cao sẽ đi vào khai thác sớm".

GS Đặng Hùng Võ cũng nhất trí với quan điểm đánh thuế vào nhà ở thứ 2 là đánh vào phân khúc nhà cho thuê. Mà khi cầu từ những nhà đầu tư thứ cấp giảm thì cung từ các dự án sẽ giảm, sẽ làm giảm cả cung lẫn cầu. Điều chúng ta cần bàn là phải cải cách thêm về thuế sử dụng đất phi nông nghiệp đang được áp dụng. Hiện mức thuế này là 0,03%, trong khi các nước khác là 1%. Nếu như các nước họ sử dụng số tiền thu được từ thuế đất để phát triển hạ tầng đô thị, phát triển dịch vụ đô thị thì ở nước ta lại vay ODA để phát triển hạ tầng đô thị, dịch vụ.

Chính vì những ý kiến phản biện quyết liệt như vậy mà cho đến nay, việc áp mức thuế cho căn nhà thứ 2 vẫn còn bỏ ngỏ, tuy mọi người đều hiểu rằng, căn nhà thứ 2 hoặc nhiều hơn nữa, là tài sản thuộc về cá nhân nhưng cũng đồng thời nằm trong cấu thành tài sản quốc gia, là một trong những nguồn lực cần huy động để phát triển đất nước.

ĐỀ PHÒNG BONG BÓNG BĐS

Theo báo cáo của Cushman & Wakefield - Tổ chức dẫn đầu xu hướng đầu tư khu vực Đông Nam Á - trong 2 năm qua, thị trường nhà ở tại các thành phố lớn của Việt Nam

"Điều tiết thị trường BĐS ở mỗi quốc gia luôn luôn là nhiệm vụ trọng đại, khó khăn và nhạy cảm, kể cả đối với những nền kinh tế đứng đầu thế giới như Mỹ, Trung Quốc, Nhật Bản..."

đã chứng kiến sự bùng nổ. Trong quý II/2025, giá căn hộ tại Hà Nội đã tăng 33% so với cùng kỳ năm trước, đạt trung bình 3.000 USD/m2. Xu hướng tương tự cũng được ghi nhận tại TP.HCM, nơi mà giá sơ cấp trung bình của các dự án căn hộ mới trong quý I/2025 đạt 4.691 USD/m2, tăng 47% so với cùng kỳ năm trước.

TS Trần Xuân Lượng - Phó viện trưởng Viện Nghiên cứu đánh giá thị trường BĐS Việt Nam, cảnh báo: "Mặt bằng giá nhà đất trong quý I và II/2025 đã bị đẩy lên quá cao, vượt ngoài dự báo trước đó. Điều này khiến thị trường tiềm ẩn rủi ro thanh khoản và gia tăng khoảng cách giữa giá bán và giá trị thực".

Trước thực trạng đó, việc Chính phủ ban hành một nghị quyết về cơ chế kiểm soát, kiểm chế giá BĐS trong thời gian tới là cần thiết và bắt buộc.

Ngoài việc quy định các tổ chức tín dụng đang hoạt động tại Việt Nam áp dụng hạn mức cho vay không quá 50% giá trị của hợp đồng mua bán nhà ở đối với các khoản vay mua nhà ở thứ 2 và không quá 30% đối với các khoản vay mua nhà ở từ thứ 3 trở lên, trừ nhà ở xã hội, nghị quyết còn đề cập chính sách phát triển nhà ở thương mại giá phù hợp với một số cơ chế đặc thù, như chủ đầu tư có thể được lựa chọn mà không phải qua đấu giá, đấu thầu; tiền sử dụng đất và tiền thuê đất được tính theo bảng giá đất và hệ số điều chỉnh giá đất do pháp luật quy định; lợi nhuận định mức tối đa mà chủ đầu tư được hưởng là 20% tổng vốn đầu tư xây dựng dự án...

Dự thảo Nghị quyết còn đề xuất thành lập Trung tâm giao dịch BĐS nhằm công khai và minh bạch hóa các giao dịch trên thị trường. Đây sẽ là đầu mối sử dụng dữ liệu do Nhà nước quản lý, bảo đảm mọi hoạt động mua bán, chuyển nhượng, cho thuê mua BĐS đều được giám sát và xác thực...

Có thể nhận thấy rằng, điều tiết thị trường BĐS ở mỗi quốc gia là nhiệm vụ trọng đại, luôn luôn khó khăn và nhạy cảm, kể cả đối với những nền kinh tế đứng đầu thế giới như Mỹ, Trung Quốc, Nhật Bản..., đặc biệt không được để thị trường này lâm vào tình trạng cung cầu ảo, thường được gọi là bong bóng.

Bong bóng BĐS có thể hiểu là hiện tượng giá BĐS tăng nhanh, vượt xa giá trị thực, thường do đầu cơ và tâm lý đám đông, dẫn đến một thị trường không bền vững. Khi bong bóng vỡ, giá trị BĐS giảm mạnh, hậu quả của chúng cực kỳ nặng nề đối với nền kinh tế quốc gia.❖

Phát triển hạ tầng đường bộ cao tốc đồng bộ hiện đại

> KHÁNH LÊ

Trong những năm qua ngành Xây dựng đã đẩy mạnh phát triển kết cấu hạ tầng giao thông đồng bộ, hiện đại với mục tiêu cuối năm 2025 sẽ có 3.000 km đường cao tốc. Trong đó, đã đẩy nhanh đầu tư trạm dừng nghỉ trên các tuyến cao tốc, đáp ứng yêu cầu khai thác an toàn, phục vụ nhu cầu của người dân.

BẢO ĐẢM ĐỒNG BỘ TRONG KHAI THÁC HẠ TẦNG ĐƯỜNG BỘ CAO TỐC

Theo lãnh đạo Cục Đường bộ Việt Nam, trong 5 năm qua Cục đã đơn đốc tổ chức thực hiện đối với 21 dự án xây dựng đường cao tốc, trong đó 7 dự án gồm: Chợ Mới - Bắc Kạn, Cao Lãnh - Lộ Tẻ, Lộ Tẻ - Rạch Sỏi, Dự án thành phần 2 thuộc cao tốc Khánh Hòa - Buôn Ma Thuột, Chơn Thành - Đức Hòa, Mỹ An - Cao Lãnh và Dầu Giây - Tân Phú do Bộ Xây dựng làm chủ đầu tư và 14 dự án: Vành đai 4 Hà Nội, Hòa Bình - Mộc Châu, Đồng Đăng - Trà Lĩnh, Hữu Nghị - Chi Lăng, Tuyên Quang - Hà Giang, Ninh Bình - Hải Phòng (2 đoạn qua Ninh Bình, Nam Định và Thái Bình), Hòa Bình - Mộc Châu, Dự án thành phần 1 và 3 thuộc cao tốc Khánh Hòa - Buôn Ma Thuột, Vành đai 3 TP.HCM, TP.HCM - Chơn Thành, Cao Lãnh - An Hữu, Tuyên Quang - Phú Thọ, Châu Đốc - Cần Thơ - Sóc Trăng do địa phương làm chủ đầu tư. Trong đó, đã đầu tư trạm dừng nghỉ trên các tuyến cao tốc bảo đảm đồng bộ với khai thác đường cao tốc, đáp ứng yêu cầu khai thác an toàn, phục vụ nhu cầu của người dân.

Theo Thông tư 06/2024/TT-BGTVT của Bộ GTVT (nay là Bộ Xây dựng) về Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về đường bộ cao tốc, tốc độ thiết kế đường bộ cao tốc được phân làm 3 cấp: Cấp 120 có tốc độ thiết kế là 120 km/h; cấp 100 có tốc độ thiết kế là 100 km/h; cấp 80 có tốc độ thiết kế là 80 km/h; đối với vị trí địa hình đặc biệt khó khăn, yếu tố quốc phòng an ninh khổng chế, cho phép áp dụng tốc độ thiết kế 60 km/h.

Đường bộ cao tốc có quy mô tối thiểu 4 làn xe chạy (2 làn xe cho mỗi chiều), có làn dừng xe khẩn cấp được bố trí liên tục (trừ các vị trí: qua cầu có khẩu độ nhịp từ 150 m trở lên; cầu có trụ cao từ 50 m trở lên; hầm; có bố trí làn tăng, giảm tốc; làn phụ leo dốc).

Cũng theo Thông tư 06/2024/TT-BGTVT, số làn xe chạy được xác định trên cơ sở lưu lượng xe thiết kế, nhưng không ít hơn 2 làn xe cho mỗi chiều. Chiều rộng làn xe chạy tối thiểu

3,75 m đối với đường cấp 120, cấp 100 và tối thiểu 3,50 m đối với đường cấp 80. Làn dừng xe khẩn cấp có chiều rộng tối thiểu 3 m đối với đường cấp 120, cấp 100 và tối thiểu 2,50 m đối với đường cấp 80.

Trên đường bộ cao tốc có thể có những đoạn áp dụng cấp khác nhau, nhưng đoạn này phải dài từ 15 km trở lên và tốc độ thiết kế của hai đoạn liên tiếp không được chênh nhau quá 20 km/h. Trường hợp đường bộ cao tốc áp dụng cấp tốc độ thiết kế quá một cấp (20 km/h), phải có một đoạn quá độ dài ít nhất 2 km có cấp tốc độ thiết kế trung gian.

Các công trình gắn với đường bộ cao tốc bao gồm: Trung tâm quản lý, điều hành giao thông tuyến; trạm dừng nghỉ; hệ thống thu phí điện tử không dừng đối với tuyến đường có thu phí; trạm kiểm tra tải trọng xe; hàng rào bảo vệ...

HỆ THỐNG TRẠM DỪNG NGHỈ HIỆN ĐẠI VÀ TIỆN ÍCH

Theo Lãnh đạo Cục Đường bộ Việt Nam, để khai thác hiệu quả hệ thống đường cao tốc thời gian qua, Bộ Xây dựng đang triển khai đồng loạt các dự án xây dựng hệ thống trạm dừng nghỉ trên cao tốc Bắc - Nam theo tiêu chuẩn Thông tư số 09/2024/TT-BGTVT về Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về trạm dừng nghỉ đường bộ của Bộ GTVT (nay là Bộ Xây dựng) sửa đổi 01:2024 QCVN 43:2012/BGTVT. Hiện nay, trên tuyến cao tốc Bắc - Nam phía Đông đã duyệt mạng lưới trạm dừng nghỉ gồm 36 trạm, trong đó, đã triển khai đầu tư 21 trạm.

Theo đó, Thông tư 09/2024/TT-BGTVT nêu rõ: trạm dừng nghỉ là công trình thuộc kết cấu hạ tầng giao thông đường bộ, được xây dựng trên tuyến đường cao tốc, tuyến quốc lộ hoặc đường tỉnh để cung cấp các dịch vụ phục vụ người và phương tiện tham gia giao thông. Các trạm dừng nghỉ phải phù hợp với quy hoạch kết cấu hạ tầng giao thông đường bộ được phê duyệt.

Các công trình, thiết bị của trạm dừng nghỉ phải được xây dựng, lắp đặt bảo đảm tương ứng với cấp công trình theo



Xây dựng các trạm dừng nghỉ phải phù hợp với quy hoạch kết cấu hạ tầng giao thông đường bộ được phê duyệt.



quy định tại TCVN 4319:2012 và các quy định liên quan khác.

Ngoài ra, hệ thống điện, nước, chiếu sáng, thông tin liên lạc của trạm dừng nghỉ phải bảo đảm đồng bộ, hoàn chỉnh, tuân thủ theo các quy định tại QCVN 07:2010/BXD, TCVN 4319:2012 để có thể cung cấp an toàn, liên tục, ổn định các dịch vụ cho người, phương tiện giao thông.

Hệ thống điện phục vụ cho các trụ, thiết bị sạc điện cho xe ô tô điện phải bảo đảm đồng bộ, hoàn chỉnh theo nhu cầu sử dụng và từng giai đoạn đầu tư. Thông tư nêu rõ, các hạng mục công trình cơ bản của trạm dừng nghỉ được chia làm 3 nhóm, gồm: Các công trình dịch vụ công (cung cấp dịch vụ miễn phí), các công trình dịch vụ thương mại và các công trình bổ trợ.

Các trạm dừng nghỉ được xây dựng chia làm 4 loại, căn cứ vào diện tích tối thiểu và các hạng mục công trình bắt buộc phải có và các hạng mục khuyến khích. Diện tích mặt bằng tối thiểu để xây dựng trạm dừng nghỉ loại 1 là 10.000 m², loại 2 là 5.000 m², loại 3 là 3.000 m², loại 4 là 500 m².

Trạm loại 1 và loại 2 bắt buộc phải có số vị trí đỗ xe tối thiểu có thể bố trí xe ô tô vào sạc điện chiếm 10% tổng vị trí đỗ xe; việc đầu tư hạ tầng dành để lắp đặt trụ sạc, thiết bị sạc

phụ thuộc vào nhu cầu sử dụng và từng giai đoạn đầu tư; đường ra vào riêng biệt; khu kiểm tra, bảo dưỡng phương tiện hoặc khu rửa xe; trạm cấp nhiên liệu. Trạm loại 3 và loại 4 đường ra vào chung rộng tối thiểu 7,5 m còn các hạng mục như trên thì khuyến khích có.

Tất cả các trạm dừng nghỉ đều phải bố trí tối thiểu trên 3% tổng diện tích xây dựng và có nơi vệ sinh phục vụ người khuyết tật theo QCVN 10:2014/BXD; phải có phòng nghỉ tạm thời cho lái xe (diện tích tối thiểu cho các loại là 36 m, 24 m, 18 m, 18 m); Không gian nghỉ ngơi có mái che và khu vực trồng cây xanh ghế ngồi tối thiểu 10% diện tích mặt bằng trạm. Các hạng mục: Nơi cung cấp thông tin, khu vực ăn uống giải khát, khu vực giới thiệu văn hóa và bán hàng, phòng trực cứu hộ, sơ cứu tai nạn giao thông tất cả các trạm đều phải có.

Mới đây, Bộ trưởng Bộ Xây dựng Trần Hồng Minh đã có Công điện gửi các đơn vị về đẩy nhanh tiến độ hoàn thành công tác giải phóng mặt bằng và triển khai các dự án đầu tư kinh doanh công trình trạm dừng nghỉ trên tuyến cao tốc Bắc - Nam phía Đông, trong đó lưu ý hoàn thành các công trình dịch vụ công trước ngày 30/12/2025.❖

Cấp bách tổ chức lại giao thông trên toàn tuyến QL5

> HOÀNG LONG

Nhằm ngăn ngừa các vụ tai nạn giao thông (TNGT) liên quan đến ô tô và xe máy trên QL5, Cục Đường bộ Việt Nam tổ chức lại giao thông trên tuyến với việc tách mô tô, xe gắn máy khỏi làn dành cho ô tô.

LƯU LƯỢNG VƯỢT NHIỀU LẦN THIẾT KẾ

QL5 là tuyến giao thông huyết mạch nối các tỉnh Hưng Yên, Hải Dương (cũ), TP Hải Phòng với Thủ đô Hà Nội, theo kết quả đếm xe của Xí nghiệp Xây dựng và bảo trì đường bộ thuộc Tổng Công ty Phát triển hạ tầng và Đầu tư tài chính Việt Nam (VIDIFI) trong tháng 8/2025 mỗi ngày có 40.820 lượt ô tô/ngày đêm, không tính đến xe máy. Dọc hai bên quốc lộ có mật độ dân cư khá đông, các nhà máy xí nghiệp, doanh nghiệp, trường học, chợ và nhiều điểm giao cắt do dân tự mở diễn ra khá phức tạp. Phương tiện tham gia giao thông đông, nguy cơ mất trật tự an toàn giao thông (TTATGT) luôn tiềm ẩn xảy ra.

Theo thống kê của Ban ATGT tỉnh Hải Dương (nay là TP Hải Phòng), tính trong 5 tháng đầu năm (từ 15/12/2024 đến 14/5/2025) trên địa bàn toàn tỉnh Hải Dương đã xảy ra 230 vụ TNGT, làm chết 99 người, bị thương 176 người. Trong đó, QL5 xảy ra 19 vụ, làm 5 người chết, 18 người bị thương.

VIDIFI đã cùng với các cơ quan chức năng của tỉnh Hưng Yên và Hải Dương (cũ) kiểm tra hiện trường, thống nhất phương án tổ chức giao thông cho mô tô và xe gắn máy trên QL5. Theo đó, các bên thống nhất kiến nghị tổ chức lại giao thông đoạn từ Km13+880 - Km77+830 theo phương án không cho mô tô, xe gắn máy đi trên làn số 2 từ dải phân cách giữa ra, các phương tiện xe mô tô, xe gắn máy đi trên làn số 3 (sát lề đường). Đoạn Km11+135 - Km13+880 do vướng cống chui chợ Như Quỳnh (có 2 làn) nên giữ nguyên như hiện nay.

Theo ông Phạm Thái Sơn - Phó Tổng giám đốc VIDIFI, hiện nay lưu lượng trên QL5 rất lớn, vượt nhiều lần lưu lượng thiết kế, trong đó xe tải, xe container chiếm tỷ trọng lớn. Việc để xe mô tô, xe máy đi chung với ô tô tiềm ẩn tai nạn giao thông rất cao, đã có nhiều vụ tai nạn xảy ra. Vì vậy, việc tổ chức giao thông theo phương án không cho xe

mô tô, xe máy đi chung với ô tô ở làn số 1, 2 là hết sức cần phải triển khai sớm.

TỔ CHỨC LẠI GIAO THÔNG TRÊN TOÀN TUYẾN

Theo Cục Đường bộ Việt Nam, với lưu lượng phương tiện tham gia giao thông trên QL5 lớn, mặt khác cho phép xe mô tô, xe gắn máy đi chung với ô tô trên cùng làn xe sẽ tiềm ẩn nguy cơ mất ATGT. Vì vậy, việc tổ chức giao thông theo hướng không cho xe mô tô, xe gắn máy, xe thô sơ đi vào làn số 1, số 2 (2 làn liền kề, sát dải phân cách giữa) là cần thiết. Để nâng cao an toàn giao thông trên QL5, Cục Đường bộ Việt Nam thống nhất điều chỉnh tổ chức giao thông, phân làn đường trên QL5 (phân làn xe mô tô, xe gắn máy, xe thô sơ), không cho xe mô tô, xe gắn máy, xe thô sơ đi vào làn đường số 1, số 2.

Do đó, để triển khai điều chỉnh tổ chức giao thông, phân làn đường Cục Đường bộ Việt Nam yêu cầu VIDIFI cập nhật đầy đủ các ý kiến góp ý của các cơ quan đơn vị về việc điều chỉnh tổ chức giao thông, phân làn đường; Kiểm tra, rà soát, tổng hợp khối lượng, phương án bố trí báo hiệu đường bộ (biển báo, vạch sơn kẻ đường, cột cảnh vờn...) để phục vụ công tác tổ chức giao thông, phân làn xe nêu trên; để bảo đảm tính đồng bộ, thống nhất, cần rà soát và triển khai thực hiện trên toàn bộ QL5 địa phận tỉnh Hưng Yên và TP Hải Phòng (toàn bộ tuyến do VIDIFI quản lý). Trên cơ sở đó, căn cứ vào khối lượng, kinh phí dự kiến để triển khai thực hiện đầu tư, xây dựng theo quy định, hợp đồng BOT; kinh phí thực hiện được bổ sung vào phương án tài chính Hợp đồng BOT của Dự án theo quy định. Trong quá trình phê duyệt kế hoạch, phương án phân làn, lưu ý rà soát các khu vực cần hạn chế tốc độ phương tiện để bố trí biển báo cho phù hợp (biển tốc độ tối đa cho phép, biển hết tốc độ tối đa cho phép...). Đồng thời phối hợp với



Để nâng cao an toàn giao thông trên QL5, Cục Đường bộ Việt Nam thống nhất điều chỉnh tổ chức giao thông, phân làn đường trên QL5.



chính quyền địa phương, Ban ATGT các tỉnh, thành phố và các cơ quan truyền thông thực hiện tuyên truyền về việc điều chỉnh tổ chức giao thông, phân làn đường.

Hiện nay, trên QL5 nhiều vị trí làn đường xe mô tô, xe gắn máy đã được cải tạo mở rộng và góp phần tạo thuận lợi cho người tham gia giao thông. Để nâng cao ATGT trên tuyến sau khi điều chỉnh tổ chức giao thông, phân làn đường trên QL5, đề nghị VIDIFI chỉ đạo các cơ quan, đơn vị rà soát các vị trí có thể cập mở rộng nền, mặt đường để mở rộng làn đường dành cho xe mô tô, xe gắn máy; đồng thời rà soát các vị trí để lắp đặt camera theo dõi, xử lý tình trạng vi phạm giao thông trên tuyến.

Cục Đường bộ Việt Nam cũng giao Khu Quản lý đường bộ I tiếp tục phối hợp với Phòng Cảnh sát giao thông - Công an tỉnh Hưng Yên (PC08 Hưng Yên) và Phòng Cảnh sát giao thông - Công an TP Hải Phòng (PC08 Hải Phòng)

để xin ý kiến góp ý về việc điều chỉnh phương án tổ chức giao thông, phân làn đường nêu trên. Bên cạnh đó, phối hợp, đôn đốc VIDIFI trong việc triển khai thực hiện công tác tổ chức giao thông, phân làn xe trên QL5; đồng thời thống nhất các nội dung về bố trí báo hiệu đường bộ phục vụ công tác này.

Để việc triển khai thực hiện việc điều chỉnh tổ chức giao thông, phân làn đường trên QL5 được hiệu quả, Cục Đường bộ Việt Nam đề nghị PC08 Hưng Yên và PC08 Hải Phòng phối hợp chỉ đạo lực lượng chức năng tăng cường tuần tra, kiểm soát xử lý tình trạng xe phương tiện lưu thông không đúng làn đường theo quy định. PC08 Hưng Yên, PC08 Hải Phòng và VIDIFI quan tâm triển khai thực hiện; Khu Quản lý đường bộ I hỗ trợ VIDIFI thực hiện có hiệu quả công tác tổ chức phân luồng giao thông theo hướng khoa học, hợp lý, nhằm kéo giảm TNGT. ❖

CHÌA KHÓA HÓA GIẢI THÁCH THỨC KÉP CỦA KIẾN TRÚC NET-ZERO

Vai trò đột phá của vật liệu chống cháy thụ động trong kiến trúc Net - Zero

Mục tiêu **Net-Zero** và xu hướng **Kiến trúc xanh bền vững** toàn cầu đang thúc đẩy việc sử dụng vật liệu sinh học và vật liệu tái tạo. Tuy nhiên, thách thức sống còn là sự đối nghịch giữa tính dễ cháy của các vật liệu “xanh” và yêu cầu nghiêm ngặt về an toàn PCCC. Bài viết này phân tích kinh nghiệm quốc tế về việc tích hợp an toàn cháy nổ vào tiêu chuẩn xanh (LEED, BREEAM) và giới thiệu giải pháp **Vật liệu chống cháy thụ động (Passive Fire Protection Material- PFP)** - đại diện bởi công nghệ của Miviko - như một lời giải cho “Thách thức Kép” (Dual Challenge: Sustainability vs. Fire Safety). Nghiên cứu khẳng định PFP thế hệ mới không chỉ là giải pháp phản ứng, mà là một yếu tố **chủ động** bảo tồn thẩm mỹ, kinh tế và di sản trong kỷ nguyên bền vững.

1. DẪN NHẬP: THÁCH THỨC KÉP VÀ YÊU CẦU TÁI ĐỊNH NGHĨA “BỀN VỮNG”

Thách thức Kép (Dual Challenge): Làm thế nào để duy trì tính bền vững, khả năng tái tạo của vật liệu sinh học mà vẫn đáp ứng chuẩn an toàn cháy nổ cao nhất, đặc biệt khi các giải pháp chống cháy truyền thống sử dụng Halogen lại đi ngược lại các tiêu chí xanh về chất lượng không khí nội thất (IEQ)?

Kinh nghiệm quốc tế đã chứng minh: **Một công trình không an toàn cháy nổ thì không thể được coi là bền vững.** Các hệ thống chứng nhận xanh (Giai đoạn 2 theo phân tích quốc tế) đã tích hợp PFP vì cháy nổ không chỉ gây tổn thất sinh mạng mà còn hủy hoại vốn đầu tư «xanh» và giải phóng ô nhiễm thứ cấp nghiêm trọng. Bài toán hiện nay không phải là «chống cháy», mà là **“Bảo tồn vẻ đẹp và giá trị sinh học của vật liệu thông qua công nghệ chống cháy”.**

2. PFP VÀ KINH NGHIỆM TÍCH HỢP BỀN VỮNG QUỐC TẾ

Thế giới đã trải qua ba giai đoạn phát triển trong việc ứng dụng vật liệu PFP, từ phản ứng đến chủ động:

2.1. Phân tích các tiêu chuẩn xanh và an toàn

Các hệ thống chứng nhận công trình xanh hàng đầu đã

nhận ra rằng an toàn cháy nổ là một thành phần **không thể thiếu** của tính bền vững.

LEED (Mỹ): Mặc dù LEED không trực tiếp kiểm tra PCCC, nhưng nó khuyến khích vật liệu có **hàm lượng hợp chất hữu cơ dễ bay hơi thấp (Low-VOC)**. Điều này tạo lợi thế cho các giải pháp PFP gốc nước, không Halogen, vì chúng góp phần vào điểm số **chất lượng môi trường nội thất (IEQ)** mà không làm ảnh hưởng đến khả năng chống cháy.

BREEAM (Anh): BREEAM tích hợp trực tiếp các tiêu chí về **khả năng chống chịu (Resilience)** của tòa nhà trước hỏa hoạn, khuyến khích sử dụng vật liệu không độc hại và các biện pháp giảm thiểu rủi ro lan truyền lửa qua mặt dựng (Facade).

Tiêu chuẩn châu Âu (Euroclass/EN 13501): Hệ thống này phân loại vật liệu từ A1 (không cháy) đến F. Việc nâng cấp vật liệu sinh học (thường là Class D/E) lên Class B hoặc Class A2 thông qua PFP là điều kiện tiên quyết để chúng được sử dụng rộng rãi trong các công trình công cộng và công trình sử dụng gỗ khối lượng lớn (Mass Timber Construction) tại châu Âu.

2.2. Đổi mới cho vật liệu sinh học

Các quốc gia tiên phong về kiến trúc gỗ (Canada, Phần Lan, Áo) đã đầu tư mạnh vào **công nghệ ngâm tẩm chống cháy (Impregnation Technology)** cho gỗ khối lớn. Họ không chỉ sử dụng lớp phủ ngoài mà còn phát triển các dung dịch thẩm thấu sâu vào lõi vật liệu, cho phép gỗ được phơi lộ (Exposed Timber), bảo toàn vẻ đẹp tự nhiên mà vẫn duy trì được khả năng chịu lửa cần thiết.

3. CÔNG NGHỆ PFP NANO CỦA MIVIKO: GIẢI PHÁP CHO VẬT LIỆU NỘI THẤT VÀ HOÀN THIỆN XANH

Công nghệ PFP Nano của Miviko là sự kế thừa và cải tiến các thành tựu quốc tế, đặc biệt phù hợp với các vật liệu nội thất và hoàn thiện có mật độ sử dụng cao tại Việt Nam:

3.1. Vật liệu gỗ công nghiệp chống cháy (FR MDF/ Plywood) (Bảng 1)

3.2. Nội thất bọc nệm và mỹ nghệ đan lát tự nhiên an toàn (Bảng 2)



Bảng 1

Vật liệu	Giải pháp PFPM	Kết quả Đạt được
Gỗ, Plywood/MDF	Xử lý bằng hóa chất ngấm tẩm “xanh” không Halogen, áp dụng trong buồng chân không/áp suất.	Nâng cấp phân loại cháy lên mức cao, đáp ứng QCVN 06:2022/BXD và các tiêu chuẩn quốc tế Class A/B (ví dụ: EN 13501-1).
Gỗ 3D & Acoustic Panel	Gỗ, ván MDF/ Plywood kết hợp với công nghệ tạo hình 3D hay đục lỗ, chạy rãnh tiêu âm.	Đạt được tính năng tiêu âm (giảm ồn) song song với chức năng chống cháy, tạo ra vật liệu đa năng, tiết kiệm vật liệu.

Bảng 2

Vật liệu	Giải pháp PFPM	Lợi ích cho kiến trúc bền vững
Mút xốp và vải bọc nệm	Sử dụng mút xốp Chống cháy và dung dịch Nano/Bio phủ vải (Fire Retardant Fabric Treatment).	Giảm thiểu khói độc và khí VOC, đảm bảo chất lượng không khí (IEQ). Tuân thủ các tiêu chuẩn nghiêm ngặt về nội thất bọc nệm (như NFPA 701, BS 5852, QCVN 06:2022/BXD).
Mỹ nghệ đan lát từ mây, cói, lục bình...	Dung dịch Nano/Bio chống cháy thẩm thấu.	Bảo tồn vẻ đẹp di sản: Vật liệu thủ công được nâng cấp an toàn, mở rộng không gian ứng dụng ra các khu vực công cộng cao cấp (resort, sảnh khách sạn, đồ mỹ nghệ xuất khẩu...) mà không mất đi tính mộc mạc.

3.3. Cơ chế Khoa học của PFPM Miviko

PFPM Miviko hoạt động dựa trên nguyên tắc tạo ra một **màng chắn cách nhiệt vô hình** ở cấp độ phân tử. Thay vì chỉ tạo lớp phủ dày bên ngoài, các hạt nano thẩm thấu sâu vào cấu trúc xốp của vật liệu. Khi tiếp xúc với nhiệt độ cao, các hợp chất này phản ứng, tạo ra một lớp **than xốp ổn định** và **không độc hại** (dựa trên các hợp chất photpho, ni tơ...), ngăn chặn sự giải phóng hơi dễ cháy và làm chậm quá trình cháy lan, đặc biệt giảm thiểu tối đa việc tạo khói độc.

4. LỢI ÍCH TOÀN DIỆN TRONG KỶ NGUYÊN NET-ZERO

Việc tích hợp PFP Nano vào vật liệu xanh mang lại những lợi ích vượt ngoài phạm vi an toàn kỹ thuật:

4.1. Tối ưu hóa kinh tế và tuổi thọ Công trình

Tăng giá trị tài sản: Công trình sử dụng vật liệu xanh, bền vững và đạt chuẩn an toàn cháy nổ cao có giá trị thương mại và cho thuê cao hơn.

Hiệu quả Tài nguyên: Sử dụng **Plywood/MDF chống cháy** giúp tối ưu hóa nguồn gỗ (tái tạo), giảm thiểu chất thải xây dựng và chi phí thay thế do hư hỏng.

4.2. Khai thác lợi ích phong thủy và sức khỏe

Phong thủy & sức khỏe: Vật liệu tự nhiên (Mộc) mang lại

cảm giác ấm áp, cân bằng. Việc sử dụng các công thức **không Halogen, VOC thấp** đảm bảo môi trường sống **thuần khiết**, hỗ trợ tối đa cho các tiêu chí **WELL Building Standard** và triết lý **Thiên-Địa-Nhân Hợp Nhất**.

4.3. Bảo tồn di sản và văn hóa thủ công

Nâng tầm thủ công: PFPM Miviko giúp các sản phẩm thủ công mỹ nghệ Việt Nam xuất khẩu (từ lục bình, mây, cói...) không chỉ là vật trang trí mà còn là vật liệu nội thất an toàn, đủ điều kiện tham gia vào chuỗi cung ứng toàn cầu và các dự án cao cấp, góp phần **bảo tồn và phát huy di sản văn hóa** theo hướng bền vững.

5. KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ CHIẾN LƯỢC

Đề tài "Kết hợp vật liệu chống cháy thụ động với kiến trúc xanh và nội thất bền vững" không còn là một lựa chọn mà là **một yêu cầu bắt buộc** để đạt được các mục tiêu Net-Zero. Công nghệ PFPM, tiêu biểu như giải pháp của Miviko, đại diện cho bước tiến khoa học quan trọng, cho phép ngành xây dựng Việt Nam:

Duy trì lý tưởng xanh: Tiếp tục sử dụng vật liệu sinh học mà không thỏa hiệp về an toàn.

Tích hợp công nghệ: Biến PFPM thành một yếu tố **thẩm mỹ và đa chức năng** (chống cháy, tiêu âm, kháng khuẩn).❖

Panasonic cung cấp đa dạng
giải pháp cho

CÔNG TRÌNH XANH

Panasonic – thương hiệu Nhật Bản uy tín với hơn 100 năm kinh nghiệm toàn cầu – mang đến giải pháp Sức khỏe toàn diện, góp phần xây dựng một Việt Nam khỏe mạnh và phát triển bền vững. Không chỉ dẫn đầu điện tử tiêu dùng, Panasonic còn đồng hành cùng doanh nghiệp qua các giải pháp B2B tổng thể cho tất cả các không gian sống giúp nâng cao hiệu quả vận hành cho các công trình xanh.

Panasonic giới thiệu loạt giải pháp tiên tiến, thân thiện môi trường và lấy con người

làm trung tâm, mang đến sự an toàn, an tâm, tiện nghi, bền vững trong mọi sản phẩm từ sản phẩm hỗ trợ hạ tầng thiết bị xây dựng điện, nước, chất lượng không khí trong nhà, cùng các giải pháp HVAC hàng đầu với hệ thống điều hòa trung tâm VRF thế hệ mới hiệu suất cao, công nghệ nanoe™ X lọc khí chủ động mang lại không gian sống trong lành, giải pháp đô thị thông minh S.iCity kết hợp chuông cửa hình và khóa thông minh, và quản lý năng lượng bền vững.

Giải pháp

ĐIỀU HÒA KHÔNG KHÍ

- Điều hòa treo tường
- Điều hòa cục bộ thương mại
- Điều hòa Multi Split
- Điều hòa VRF/VRF mini
- Hệ thống điều khiển
- Hệ thống quản lý không khí toàn diện (CAMS)



- Quạt trần DC
- Quạt hút mùi
- Quạt cấp gió lọc bụi PM 2.5
- Máy lọc không khí nanoe™ X

CHẤT LƯỢNG KHÔNG KHÍ TRONG NHÀ



Giải pháp

CHIẾU SÁNG

- Đèn công nghiệp
- Đèn dân dụng
- Đèn đường thông minh
- Đèn chức năng



Giải pháp

AN TOÀN ĐIỆN

- Thiết bị nối dây
- Thiết bị đóng ngắt
- Năng lượng mặt trời
- Giải pháp quản lý điện năng



Giải pháp

ĐÔ THỊ THÔNG MINH S.iCITY



Giải pháp

KHÓA ĐIỆN TỬ THÔNG MINH



GIẢI PHÁP CHUÔNG CỬA CÓ HÌNH





 **NHỰA ĐƯỜNG PETROLIMEX**
Dẫn bước thành công

Cấu trúc quy hoạch hành lang xanh thành phố Hà Nội

> AN NHIÊN

Cuốn “Cấu trúc quy hoạch hành lang xanh TP Hà Nội” là kết quả nghiên cứu công phu, tổng hợp từ cơ sở lý luận, thực tiễn và kinh nghiệm quốc tế về quy hoạch đô thị sinh thái.

Sách gồm 5 Chương: từ khái quát kinh nghiệm thiết lập hành lang xanh ở các đô thị trên thế giới (Chương 1), đến phân tích thực trạng không gian xanh, hệ sinh thái và quản lý hành lang xanh Hà Nội (Chương 2). Tiếp đó, Chương 3 trình bày cơ sở khoa học, pháp lý và phương pháp luận xây dựng hành lang xanh gắn với quy hoạch sử dụng đất, bảo tồn và phát triển bền vững.

Trọng tâm của sách nằm ở Chương 4 về hệ thống giải pháp và định hướng cấu trúc quy hoạch hành lang xanh, được cụ thể hóa bằng các mô hình, phân vùng và hạ tầng kỹ thuật xanh.

Kết thúc, Chương 5 bàn luận về giá trị ứng dụng, quy trình huy động cộng đồng và khả năng nhân rộng mô hình cho các đô thị Việt Nam.

Trong bối cảnh Hà Nội đang triển khai điều chỉnh Quy hoạch chung Thủ đô đến năm 2045, tầm nhìn 2065, cuốn sách là công trình nghiên cứu có giá trị đặc biệt. Sách không chỉ tổng hợp kết quả nghiên cứu khoa học và kinh nghiệm quốc tế về quy hoạch hành lang xanh, mà còn đề xuất hệ thống giải pháp cụ thể cho việc hình thành cấu trúc hạ tầng xanh - nền tảng cho đô thị carbon thấp, thích ứng BĐKH.

Tại Chương 4, tác giả xác lập các nguyên tắc quy hoạch chủ đạo: bảo tồn địa hình, mặt nước, rừng và đất nông nghiệp; thiết lập mạng lưới liên hoàn giữa cây xanh - mặt nước - không gian công cộng; tích hợp quy hoạch xanh với quy hoạch giao thông, năng lượng, nước và không gian ngầm.

Tổng diện tích hành lang xanh Hà Nội được đề xuất



khoảng 60 - 70 nghìn ha, chiếm gần một nửa diện tích vùng ngoài đô thị trung tâm, với 5 vùng chính: Sóc Sơn - Đông Anh, Sơn Tây - Ba Vì, Quốc Oai - Chương Mỹ, Phú Xuyên - Ứng Hòa và hành lang sông Đáy - sông Hồng.

Một điểm nổi bật của Chương này là hệ thống hạ tầng kỹ thuật xanh. Tác giả đưa ra khái niệm “hạ tầng xanh liên thông” gồm 3 nhóm trụ cột: (i) hệ sinh thái tự nhiên, (ii) văn hóa - dịch vụ, và (iii) kinh tế - năng lượng tái tạo. Cấu trúc này được ví như “mạch tuần hoàn sinh thái” của đô thị, giúp điều tiết khí hậu, thoát nước, tái tạo năng lượng, đồng thời tạo cảnh quan thân thiện và nâng cao sức khỏe cộng đồng.

Phát triển hành lang xanh chính là xây dựng hệ thống hạ tầng sinh thái liên kết công trình - không gian - con người. Khi được triển khai đồng bộ, hành lang xanh không chỉ giúp kiểm soát lan tỏa đô thị, mà còn tạo vành đai hấp thụ khí CO₂, giảm đảo nhiệt, cải thiện chất lượng không khí và nước, nâng cao khả năng thích ứng khí hậu của Hà Nội.

Đặc biệt, đề xuất mô hình hành lang xanh sông Đáy ở cuối Chương 4 được xem là ví dụ điển hình cho hướng tiếp cận tích hợp: vừa bảo tồn sinh thái, vừa phát triển du lịch, nông nghiệp xanh và năng lượng tái tạo. Đây có thể là mô hình thí điểm đô thị carbon thấp đầu tiên của Hà Nội trong tương lai gần...

Với lối trình bày khoa học, minh họa trực quan và tư duy quy hoạch hiện đại, cuốn sách là tài liệu tham khảo quan trọng cho giới quy hoạch, kiến trúc, quản lý đô thị và các nhà đầu tư trong giai đoạn Hà Nội hướng tới phát triển bền vững, hiện đại và phát thải ròng bằng “0” vào năm 2050.

Sách được NXB Xây dựng phát hành bản in, bản điện tử (ebook) tại địa chỉ: <https://nxbxaydung.com.vn/> ❖

Đô thị thông minh và nông thôn thông minh trong bối cảnh chính quyền hai cấp: Tiếp cận tích hợp và chuyển đổi số lãnh thổ

Smart cities and smart rural area in the context of a two-tier government: An integrated approach to territorial digital transformation

> PGS.TS.GVCC.KTS NGUYỄN VŨ PHƯƠNG

Học viện Chiến lược, bồi dưỡng cán bộ xây dựng ACST (BXD)

TÓM TẮT

Việt Nam đang đẩy mạnh cải cách hành chính, theo mô hình chính quyền hai cấp, qua đó đặt ra yêu cầu đổi mới quản trị lãnh thổ và tổ chức không gian phát triển phù hợp thực tiễn mới. Nghị quyết số 57-NQ/TW ngày 22/12/2024 của Ban Chấp hành TW Đảng xác định khoa học, công nghệ, đổi mới sáng tạo và chuyển đổi số (CĐS) là đột phá chiến lược; Nghị quyết số 66-NQ/TW ngày 30/4/2025 của Ban Chấp hành TW Đảng nhấn mạnh đổi mới công tác xây dựng và thực thi pháp luật trong bối cảnh CĐS và hội nhập quốc tế. Hai nghị quyết này tạo nền tảng cho mô hình tăng trưởng mới, hiện đại hóa quản trị quốc gia theo hướng số hóa, tích hợp và minh bạch.

Mặc dù Việt Nam đã triển khai Đô thị thông minh (ĐTTM) theo Đề án 950/QĐ-TTg (01/08/2018) của Thủ tướng Chính phủ đồng thời thí điểm Nông thôn mới thông minh (NTTM) từ năm 2022, song các chương trình vẫn mang tính phân tán theo ngành hoặc cấp hành chính, chưa hình thành khung tích hợp đô thị - nông thôn phù hợp với bối cảnh chính quyền địa phương hai cấp. Đặc biệt, hiện chưa có bộ chỉ số chung đánh giá mức độ trưởng thành của ĐTTM và NTTM trong cùng một lãnh thổ số. Điều này đặt ra nhu cầu xây dựng mô hình lãnh thổ thông minh tích hợp, kết nối hạ tầng, dữ liệu, kinh tế và xã hội để hỗ trợ quản trị và điều phối phát triển Vùng chức năng đô thị - nông thôn ở cấp tỉnh.

Nghiên cứu này tiếp cận từ góc nhìn tích hợp, coi ĐTTM và NTTM là hai "chân" của hệ sinh thái lãnh thổ thông minh, có sự tương tác chặt chẽ về hạ tầng, dữ liệu và quản trị số. Trong mô hình chính quyền hai cấp, ĐTTM đóng vai trò là đầu tàu công nghệ, trong khi NTTM là không gian lan tỏa giá trị số, cùng hướng tới phát triển xanh - thông minh - bao trùm - bền vững.

Từ khóa: Đô thị thông minh, nông thôn thông minh, chuyển đổi số, lãnh thổ thông minh, vùng chức năng (FUA/FRA), quản trị tích hợp, phát triển bao trùm.

ABSTRACT

Vietnam is accelerating administrative reform toward a two-tier government model (province - commune/ward), which requires renewing territorial governance and spatial organization in line with emerging realities. Resolution No. 57-NQ/TW (22 Dec 2024) identifies science, technology, innovation, and digital transformation (DX) as a strategic breakthrough, while Resolution No. 66-NQ/TW (30 Apr 2025) emphasizes the need to modernize lawmaking and enforcement in the context of digital transformation and international integration. Together, these resolutions provide the foundation for a new growth model and the modernization of national governance toward greater digitization, integration, and transparency.

Although Vietnam has implemented Smart Cities (SC) under Decision 950/QĐ-TTg (2018) and piloted Smart new rural areas (SNRA) since 2022, these programs remain sectoral and fragmented by administrative level, lacking an integrated urban-rural framework suited to the two-tier governance system. Moreover, no unified index currently exists to measure the maturity level of Smart Cities and Smart Villages within a shared digital territory. This gap calls for the development of an integrated smart territorial model that connects infrastructure, data, economy, and society, supporting provincial-level governance and coordination of Functional urban and rural areas (FUA/FRA).

This study adopts an integrated perspective, viewing Smart Cities and Smart Villages as two “pillars” of a unified Smart territorial ecosystem, closely interacting through infrastructure, data, and digital governance. Within the two-tier government model, Smart Cities serve as technological engines, while Smart Villages act as spaces for digital diffusion and local adaptation, together advancing green, smart, inclusive, and sustainable development.

Keywords: Smart city, smart villages, digital transformation, smart territorial ecosystem, functional Urban/Rural Areas (FUA/FRA), integrated governance, inclusive development.

1. BỐI CẢNH, CHÍNH SÁCH VÀ CƠ SỞ PHÁP LÝ

1.1. Bối cảnh cải cách hành chính và CDS quốc gia

Việt Nam đang bước vào giai đoạn CDS sâu rộng gắn với cải cách hành chính theo mô hình chính quyền địa phương hai cấp. Cơ cấu mới này giúp giảm bớt tầng nấc trung gian, phân quyền mạnh mẽ ở cấp tỉnh và tăng sự chủ động của cấp cơ sở xã/phường, đồng thời đặt ra **yêu cầu đổi mới quản trị lãnh thổ và tổ chức không gian phát triển**, đặc biệt trong liên kết chức năng đô thị - nông thôn.

Trên bình diện chính sách, Chính phủ đang hoàn thiện khung thể chế cho CDS và phát triển thông minh: **Quyết định 749/QĐ-TTg** (03/06/2020) của Thủ tướng Chính phủ về Chương trình CDS quốc gia, coi CDS là động lực tăng trưởng và đổi mới mô hình quản trị, **Quyết định 922/QĐ-BTTTT** (20/05/2022) của Bộ Thông tin và Truyền thông ban hành Bộ chỉ số DTI, công cụ đánh giá năng lực và tiến độ số hóa của các địa phương.

1.2. Chính sách phát triển ĐTTM & NTTM

Đối với đô thị, Bộ Xây dựng đã ban hành công văn số 6862/BXD-PTĐT (12/12/2024) hướng dẫn áp dụng *Bộ tiêu chí đô thị thông minh bền vững phiên bản 1.0*, áp dụng thử nghiệm cho 6 đô thị trực thuộc TW đến hết 31/12/2026. Đồng thời, Dự thảo Nghị định phát triển ĐTTM do Bộ Xây dựng chủ trì đã xác lập nguyên tắc: **“Người dân là trung tâm - Dữ liệu là nền tảng - An toàn là điều kiện - Đổi mới sáng tạo là động lực.”** Đô thị thông minh được coi là đầu tàu công nghệ, góp phần nâng cao năng lực quản trị và chất lượng sống đô thị.

Đối với nông thôn, Nghị quyết 19-NQ/TW (16/06/2022) của Ban Chấp hành TW Đảng định hướng **“Nông nghiệp sinh thái - Nông thôn hiện đại - Nông dân văn minh”**, tạo nền tảng cho phát triển nông thôn bền vững. Quyết định 924/QĐ-TTg (02/08/2022) của Thủ tướng Chính phủ phê duyệt Chương trình CDS trong xây dựng nông thôn mới, tiếp theo là Công văn 3445/BNVN-VPĐP (29/05/2023) do Bộ NN&PTNT ban hành về mô hình thí điểm “xã NTM thông minh” và “xã thương mại điện tử”, làm khung triển khai cho địa phương. Đặc biệt, chủ trương hợp nhất hai Chương trình mục tiêu quốc gia (MTQG) về xây dựng nông thôn mới và giảm nghèo bền vững trong giai đoạn 2026-2035 nhằm đồng bộ hóa nguồn lực, tránh chồng chéo và định vị NTTM như một trụ cột trong Chương trình nông thôn mới nâng cao gắn với CDS.

1.3. Hướng tới hệ sinh thái lãnh thổ thông minh (đô thị & nông thôn)

Đô thị thông minh (Smart City) là mô hình đô thị vận hành dựa trên dữ liệu, công nghệ và đổi mới sáng tạo, hướng tới quản trị số, dịch vụ số và hạ tầng thông minh, lấy người dân làm trung tâm, dữ liệu làm nền tảng (EU/OECD)

Nông thôn thông minh (Smart Village) là không gian nông thôn được số hóa hạ tầng, quản trị, kinh tế và đời sống, nhằm nâng cao năng suất, khả năng chống chịu và tính bao trùm, đồng thời kết nối chuỗi giá trị và dữ liệu với đô thị (EU/OECD)

Tổng thể các chính sách này đang tạo dựng khung thể chế tích hợp, hình thành mối quan hệ tương hỗ giữa ĐTTM và NTTM trong một hệ sinh thái lãnh thổ thông minh, thống nhất và bao trùm. Tuy

nhiên, liên kết đô thị - nông thôn trong quản trị hai cấp và CDS lãnh thổ vẫn là khoảng trống cần hoàn thiện, **đòi hỏi tiếp cận tích hợp dựa trên liên kết chức năng đô thị - nông thôn**, trong đó đô thị đóng vai trò đầu tàu công nghệ, còn nông thôn là không gian hấp thụ và lan tỏa giá trị số.



Hình 1. Chương trình bồi dưỡng cán bộ tại địa phương theo mô hình chính quyền hai cấp

2. MỐI QUAN HỆ TƯƠNG HỖ ĐTTM - NTTM TRONG KỶ NGUYÊN SỐ

2.1. Khung tiếp cận chuyển từ Đô thị hóa sang Liên kết chức năng đô thị - nông thôn

Theo UN Habitat và OECD, Liên kết chức năng đô thị - nông thôn RUF (**Rural-Urban Functional Linkages**) phản ánh sự trao đổi lao động, hàng hóa, dịch vụ, tri thức, tài chính và dữ liệu, vượt qua ranh giới hành chính để hình thành vùng chức năng liên kết vùng, đa trung tâm. **Trước đây, phát triển thiên lệch về đô thị khiến hai khu vực phát triển song song và thất thoát nguồn lực nông thôn.** Với mô hình chính quyền hai cấp, cấp tỉnh trực tiếp điều phối vùng chức năng đô thị - nông thôn, đòi hỏi tích hợp quy hoạch - đầu tư - dữ liệu và phân bổ nguồn lực theo hiệu quả liên kết vùng.

UN-Habitat nhấn mạnh rằng, để mô hình NTTM “Smart Villages” phát huy hiệu quả, cần thiết lập các liên kết linh hoạt và đa chiều giữa đô thị và nông thôn, bảo đảm tương tác sâu rộng trên các phương diện kinh tế, xã hội, dữ liệu và quản trị. Tiếp cận SMART được sử dụng như một khái niệm mở, phản ánh bản chất “thông minh” của các liên kết này.



Hình 2. Rural-Urban Functional Linkages theo khung OECD-Rural 3.0

Ghi chú: Cường độ và chất lượng các luồng tương tác này phụ thuộc vào **khoảng cách vật lý, quy mô, và hiệu quả vận hành** của từng khu vực.

Bảng 1. Liên kết đô thị - nông thôn theo tiếp cận SMART của UN Habitat

KHÍA CẠNH	LIÊN KẾT ĐÔ THỊ → NÔNG THÔN	LIÊN KẾT NÔNG THÔN → ĐÔ THỊ
Hạ tầng & Cơ sở vật chất	Mở rộng mạng lưới viễn thông, dữ liệu, hạ tầng kỹ thuật.	Cung cấp nguồn tài nguyên (nông sản, sản phẩm địa phương).
Dịch vụ & Tiện ích	Cung cấp dịch vụ chuyên môn cao (y tế, giáo dục) cho CDS nông thôn.	Dịch vụ tiêu dùng đô thị mở rộng thị trường cho nông thôn.
Dữ liệu & Công nghệ	Đô thị chia sẻ dữ liệu, công cụ phân tích, nền tảng dùng chung.	Nông thôn cung cấp dữ liệu cảm biến, thông tin đất đai, sản xuất.
Quản trị & Chính sách	Cấp đô thị hỗ trợ quản trị vùng, chuẩn hóa, điều phối liên tỉnh.	Nông thôn tham gia quản trị vùng, phản hồi chính sách ở cấp xã.
Kinh tế sáng tạo & Khởi nghiệp	Doanh nghiệp đô thị hợp tác phát triển mô hình CDS, nông thôn thông minh.	Cộng đồng nông thôn sáng tạo ứng dụng công nghệ địa phương.

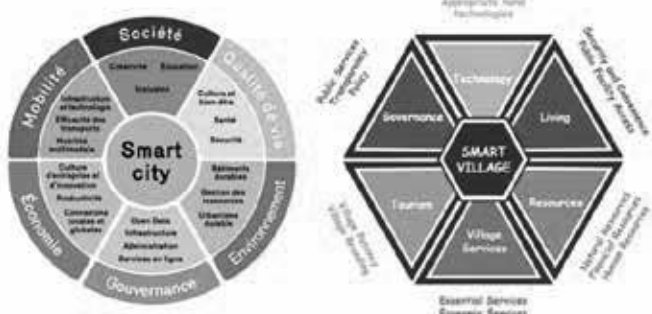
Tiếp cận SMART được sử dụng như một khái niệm mở, phản ánh bản chất “thông minh” của các liên kết này. Cụ thể, Lãnh thổ thông minh S.M.A.R.T là tập hợp các thuộc tính: **S - Sustainable** (Bền vững); **M - Measurable** (Đo lường được); **A - Adaptive/Action-oriented** (Thích ứng/Hành động); **R - Resilient/Relevant** (Chống chịu/Phù hợp); **T - Territorial/Technology-enabled** (Lãnh thổ/Ứng dụng công nghệ).

2.2. Dòng chảy người - hàng hóa - dữ liệu và mối quan hệ “hai chân”

Trong kỷ nguyên số, liên kết đô thị - nông thôn được thể hiện qua dòng chảy con người, hàng hóa và dữ liệu, hình thành chuỗi giá trị số liên thông giữa các vùng chức năng. Từ nông thôn đến đô thị, từ xã đến phường dòng chảy bao gồm nông sản, năng lượng tái tạo, dịch vụ sinh thái, cùng dữ liệu truy xuất, chất lượng và logistics thông minh, giúp nông thôn gia tăng giá trị và đô thị tiếp cận nguồn cung bền vững.

Ngược lại, đô thị cung cấp cho nông thôn công nghệ, tài chính, bảo hiểm, dữ liệu thị trường, thúc đẩy chuyển đổi mô hình sản xuất và kinh tế số. Bên cạnh đó, lao động và dịch vụ công số vận hành linh hoạt theo mô hình “con lắc”, cho phép người dân học tập, làm việc, tiếp cận y tế - hành chính công trực tuyến ngay tại cộng đồng. Trong hệ sinh thái lãnh thổ thông minh, ĐTTM và NTTM hoạt động như hai chân tương hỗ:

- **Đô thị thông minh đóng vai trò nguồn cung** - đầu tàu công nghệ, phát triển nền tảng công nghệ, chuẩn dữ liệu và dịch vụ số;
- **Nông thôn thông minh là bên tiếp nhận và lan tỏa giá trị** - ứng dụng, thử nghiệm và phản hồi dữ liệu thực tiễn.



Hình 3. Chuyển đổi số và mối liên kết lãnh thổ từ Smart City đến Smart Village

- **Khung Smart City** do EU/UN-Habitat/ISO 37120 phát triển,
- thể hiện 6 trụ cột chính của ĐTTM (quản trị, kinh tế, di chuyển, xã hội, chất lượng sống, môi trường)

- **Khung Smart Village** do FAO/OECD/UNESCAP đề xuất, thể hiện 6 hợp phần trọng yếu của NTTM (quản trị, công nghệ, đời sống, tài nguyên, dịch vụ nông thôn, du lịch-bản sắc)

Chu trình thiết kế - thử nghiệm - tích hợp - nhân rộng giữa đô thị và nông thôn hình thành cơ chế tương tác hai chiều, giúp quá trình chuyển đổi số lãnh thổ được khởi tạo từ cấp xã, phường và từng bước mở rộng tới cấp tỉnh, hướng tới phát triển xanh, thông minh, bao trùm và bền vững.

3. BÀI HỌC TỪ CÁC MÔ HÌNH - KINH NGHIỆM QUỐC TẾ

Trong quá trình CDS và hướng đến lãnh thổ bao trùm & thông minh, nhiều quốc gia đã triển khai các mô hình tích hợp đô thị - nông thôn thành công, kết hợp giữa công nghệ, cộng đồng và quản trị địa phương, tạo nên giá trị bền vững và lan tỏa. Một số kinh nghiệm tiêu biểu có thể tham khảo gồm:

3.1. Hàn Quốc - Mô hình Saemaul ICT 4.0

Hàn Quốc phát triển **Đô thị thông minh song hành với Nông thôn thông minh**, hình thành trục số đô thị - nông thôn trong cùng hệ sinh thái lãnh thổ thông minh. Ở khu vực đô thị, quốc gia này tập trung xây dựng nền tảng dữ liệu, dịch vụ công số và logistics thông minh, tạo động lực lan tỏa công nghệ ra nông thôn.

Kế thừa Phong trào **Làng mới 새마을** (Saemaul Undong) từ thập niên 1970, Hàn Quốc phát triển lên giai đoạn Saemaul ICT 4.0, thúc đẩy chuyển đổi số nông thôn qua thương mại nông sản trực tuyến, đào tạo kỹ năng số, học tập từ xa và xây dựng cộng đồng nông dân số kết nối với chuỗi giá trị đô thị.



Hình 4. Báo cáo chỉ số ĐTTM hàng năm và CDS nông thôn (NTTM) ở Hàn Quốc

Đặc biệt, Hàn Quốc đã xây dựng **“Chỉ số kết nối đô thị - nông thôn”** như một bộ chỉ số tích hợp đô thị - nông thôn thông minh, nhằm đo lường mức độ chia sẻ dữ liệu, hạ tầng và dòng giá trị số giữa hai khu vực. Trong mô hình này, Chính phủ giữ vai trò kiến tạo thể chế và phát triển hạ tầng nền tảng, trong khi chính quyền địa phương và cộng đồng đảm nhiệm vai trò vận hành, duy trì và nhân rộng mô hình, hướng tới phát triển lãnh thổ thông minh, tích hợp và bao trùm.

3.2. Kinh nghiệm Đức - Tích hợp Smart City và Digital Villages

Đức triển khai mô hình phát triển **tích hợp Đô thị thông minh và Làng thông minh**, hướng tới không gian lãnh thổ số thống nhất, nơi công nghệ số phục vụ đồng thời cho quản trị, sản xuất và đời sống ở cả đô thị và nông thôn. Nổi bật là Chương trình Làng kỹ thuật số (Digital Villages) với mô hình **Không gian thử nghiệm thực tế số** (Digital Living Lab) - nơi chính quyền, doanh nghiệp và cộng đồng cùng đồng quản trị và đồng thiết kế các giải pháp số cho phát triển nông nghiệp - nông thôn.

Mô hình này kết nối đô thị và nông thôn thông minh qua các trụ cột: dịch vụ công số, di chuyển bền vững, thương mại điện tử, chia sẻ dữ liệu và nền tảng quản trị địa phương, bảo đảm dòng thông tin - giá trị - dịch vụ liên mạch. Đúc kết biệt có trọng sự tham gia của người dân trong toàn bộ chu trình chuyển đổi số, từ **đồng kiến tạo**

- thử nghiệm - phản hồi - điều chỉnh, hình thành hệ sinh thái chuyển đổi số mở, linh hoạt và thích ứng theo từng vùng chức năng.



Hình 5. Báo cáo Smart City index và Mô hình “Digital living lab” tại Đức

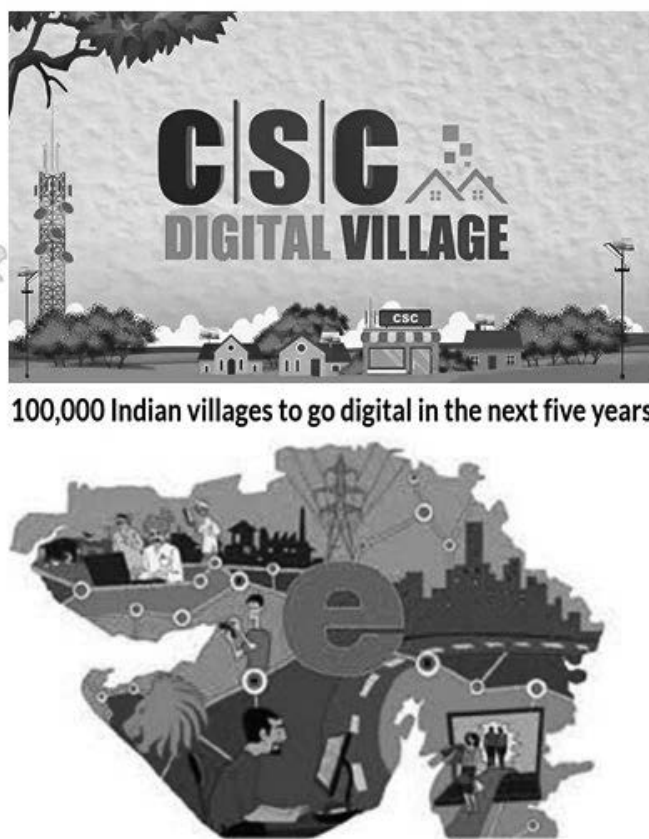
3.3 Kinh nghiệm Ấn Độ - Smart Cities Mission & Digital India Village

Chương trình **Smart Cities Mission** của Chính phủ Ấn Độ đặt mục tiêu xây dựng 100 đô thị thông minh, được **tích hợp với sáng kiến Digital India Village** hướng tới 100.000 làng xã, nhằm hoàn thiện quá trình chuyển đổi số toàn diện vào năm 2030. Trong mô hình này, Chính phủ giữ vai trò kiến tạo chiến lược và thể chế; doanh nghiệp công nghệ đảm nhiệm phát triển nền tảng và hạ tầng số; trong khi người dân chủ động tham gia, sử dụng và phản hồi dữ liệu, hình thành chu trình cải tiến liên tục trong quản trị.



Hình 6. Smart Cities Mission và Digital India Village đến năm 2030 của Ấn Độ

Digital India Village không chỉ đưa chuyển đổi số đến khu vực nông thôn, giúp người dân tiếp cận dịch vụ công, giáo dục, y tế và tài chính số, mà còn đóng vai trò là **mô hình thí điểm** cho chính quyền điện tử và kinh tế số ở cấp cơ sở, qua đó thu hẹp khoảng cách số giữa đô thị và nông thôn, tăng cường khả năng tiếp cận chính sách, giao dịch và thương mại trực tuyến mà không cần trung gian.



Ấn Độ đồng thời áp dụng **bộ 25 chỉ số chung** để đánh giá mức độ lan tỏa công nghệ, dịch vụ và dữ liệu giữa đô thị và nông thôn, hướng tới phát triển **không gian lãnh thổ số hóa đồng bộ và bao trùm**.

3.4. Liên minh châu Âu EU và OECD

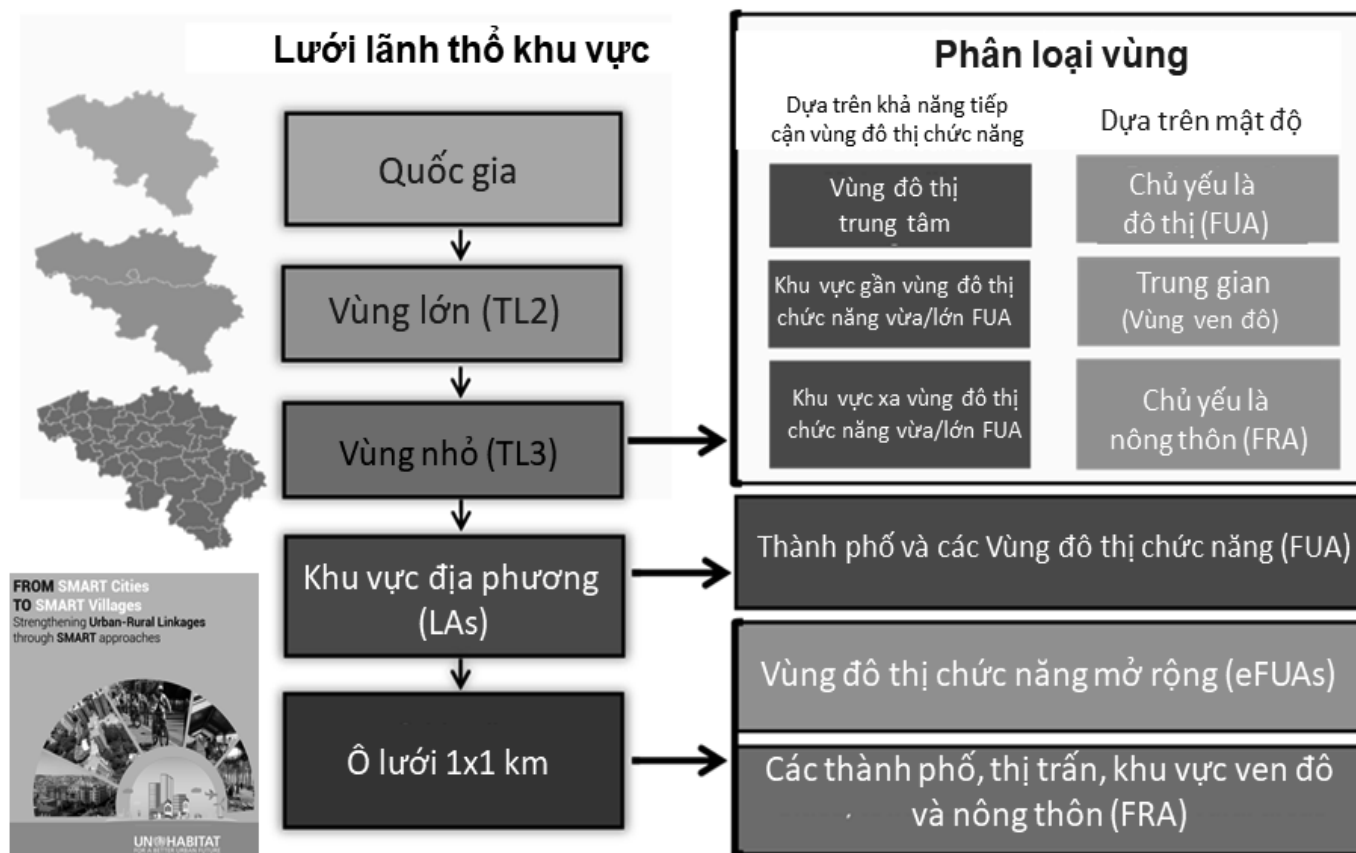
Liên minh châu Âu (EU) đang thúc đẩy triển khai **Khung phát triển lãnh thổ thông minh** (Smart Territorial Framework), được xây

dựng trên cơ sở tích hợp các bộ chỉ số ISO 37120, ISO 37122 và ISO 37123 dành cho ĐTTM (Smart City), đồng thời liên kết với Chương trình Phát triển Nông thôn (Rural Development Programmes - RDPs). Cách tiếp cận này cho phép đánh giá phát triển lãnh thổ theo vùng chức năng (Functional Areas) - bao gồm Vùng chức năng đô thị (FUA) và Vùng chức năng nông thôn (FRA) - thay vì dựa vào ranh giới hành chính, từ đó phản ánh mối liên kết thực chất về dữ liệu, hạ tầng và dòng giá trị số giữa hai không gian đô thị và nông thôn.

Theo cùng định hướng, OECD và UN-Habitat cũng coi Smart Territorial Framework là nền tảng của hệ sinh thái lãnh thổ thông minh, trong đó Đô thị thông minh (Smart City) và Nông thôn thông minh (Smart Village) được xem là hai cấu phần tương hỗ, đồng phát triển và lan tỏa giá trị số. Các tổ chức quốc tế này đã phát triển nhóm

chỉ số chung tập trung vào dữ liệu, hạ tầng, năng lượng, đổi mới sáng tạo và phát triển bao trùm, nhằm đo lường mức độ tích hợp, tương tác và lan tỏa số trên toàn lãnh thổ.

Cách tiếp cận này góp phần **chuyển đổi tư duy phát triển lãnh thổ**, từ mô hình quản lý dựa trên địa giới hành chính sang quản trị theo vùng chức năng (FUA/FRA), dựa trên mật độ dân cư, luồng di chuyển của con người, hàng hóa và dữ liệu số. Phương pháp này được OECD và Eurostat phát triển dựa trên hệ thống phân loại DEGURBA và bản đồ thống kê theo ô lưới 1 km², giúp đánh giá tính kết nối, tính động và khả năng thích ứng của lãnh thổ trong bối cảnh đô thị hóa nhanh và chuyển đổi số toàn diện (xem thêm: Nguyễn Vũ Phương - Tạp chí Xây dựng, 9/2025).



Hình 7. Khung phân loại lãnh thổ và vùng chức năng (EU - OECD)

4. ĐỀ XUẤT KHUNG MÔ HÌNH TÍCH HỢP ĐTTM - NTTM CHO VIỆT NAM

4.1. Liên kết hạ tầng số theo vùng chức năng đô thị - nông thôn (FUA / FRA)

Trong bối cảnh mô hình chính quyền địa phương hai cấp gắn với CDS, việc thiết lập liên kết hạ tầng số vùng chức năng giữa đô thị và nông thôn là nền tảng cho phát triển lãnh thổ thông minh. Trước hết, cần xây dựng mạng 5G và IoT liên vùng, phủ các trục sản xuất - tiêu thụ, bảo đảm luồng dữ liệu thông suốt và an toàn. Ở cấp tỉnh, trung tâm dữ liệu cùng nền tảng dữ liệu dùng chung phải được triển khai để liên thông hệ thống xã - phường, phục vụ quản trị tích hợp và ra quyết định dựa trên dữ liệu.

Song song, Trung tâm giám sát điều hành thông minh (IOC) cấp tỉnh cần đồng bộ, tích hợp cảnh báo rủi ro thiên tai - dịch bệnh - an ninh mạng, theo mô hình an ninh mạng hiện đại "zero-trust", bảo đảm an toàn dữ liệu và dịch vụ công số liên tục.

Bên cạnh đó, hệ sinh thái dữ liệu dùng chung giữa đô thị và nông thôn - gồm dữ liệu địa lý, dân cư, hạ tầng, sản xuất, kinh tế - xã hội - giúp điều phối nguồn lực và tối ưu phát triển không gian. Cùng với đó, hình thành dòng chảy hai chiều:

- **Nông thôn → Đô thị:** nông sản, dịch vụ sinh thái, dữ liệu truy xuất và logistics.
- **Đô thị → Nông thôn:** công nghệ, tài chính, dịch vụ và tiêu chuẩn hóa.

Các nền tảng thương mại điện tử như Postmart, Voso, Shopee... tạo thị trường số chung, giúp kết nối cung - cầu và chuỗi giá trị hai chiều. ĐTTM đóng vai trò chân cung cấp - nền tảng, công nghệ, dịch vụ, còn NTTM là chân hấp thụ lan tỏa, thử nghiệm và phản hồi thực tiễn. Hai chân này chỉ tạo giá trị bền vững khi vận hành đồng bộ trên cùng không gian số - dữ liệu - hạ tầng, dưới điều phối vùng chức năng của cấp tỉnh.

Bảng 2. Tích hợp ĐTTM - NTTM theo mô hình chính quyền hai cấp

CẤP HÀNH CHÍNH	NỘI DUNG & VAI TRÒ TRONG HỆ THỐNG TÍCH HỢP ĐTTM - NTTM
Tỉnh / Thành phố	- Quản lý và điều phối dữ liệu liên thông giữa đô thị và nông thôn. - Phát triển và bảo đảm hạ tầng số vùng chức năng (5G, Cloud, IoT). - Hình thành thị trường số chung (TMĐT, dữ liệu mở, nền tảng dịch vụ). - Đảm bảo an toàn - an ninh mạng và quản trị dữ liệu liên vùng. - Đóng vai trò “đầu kéo công nghệ” trong hệ sinh thái lãnh thổ.
Cấp Phường → Xã	- Vận hành nền tảng đô thị thông minh (IOC, CIM). - Cung cấp dịch vụ công số, dữ liệu đô thị, logistics và năng lượng . - Chia sẻ hạ tầng và dữ liệu đô thị cho vùng nông thôn. - Đầu tàu công nghệ và dịch vụ thông minh cho liên phường/xã.
Cấp Xã → Phường	- Triển khai dịch vụ số thiết yếu (giáo dục, y tế, hành chính, TMĐT). - Số hóa sản xuất, đời sống và dịch vụ cộng đồng. - Là không gian thử nghiệm: tiếp nhận - phản hồi - cải tiến giải pháp. - Thực thi và phản hồi tại cơ sở.

Ghi chú: Mô hình phản ánh sự phân tầng chức năng rõ ràng giữa điều phối - vận hành - ứng dụng, bảo đảm CDS đồng bộ giữa đô thị - nông thôn, trong bối cảnh chính quyền hai cấp của Việt Nam.

Bảng 3. Đề xuất bộ chỉ số của Hệ sinh thái lãnh thổ theo 4 tầng trụ cột

TRỤ CỘT NỘI DUNG	MỤC TIÊU ĐÁNH GIÁ	NHÓM CHỈ SỐ GỢI Ý
TẦNG 1 Hạ tầng số & Dữ liệu liên thông (5G, Cloud, IoT)	Đánh giá mức độ sẵn sàng và liên thông hạ tầng số phục vụ quản lý vùng chức năng (FUA/FRA)	• Tỷ lệ phủ 5G theo trục sản xuất - tiêu thụ. • Tỷ lệ thiết bị IoT vận hành trong quản lý và sản xuất. • Mức độ sẵn sàng hạ tầng điện toán đám mây và trung tâm dữ liệu cấp tỉnh. • Điểm an toàn - an ninh mạng (Zero-trust). • Tỷ lệ vùng có bản đồ CIM/GIS tích hợp FUA/FRA.
TẦNG 2 Chính quyền số (cấp tỉnh và cấp xã/phường)	Đo lường năng lực quản trị số, mức độ số hóa hành chính và liên thông đa cấp	• Chỉ số trưởng thành dịch vụ công trực tuyến. • Tỷ lệ hồ sơ xử lý tự động/điện tử. • Mức độ liên thông hồ sơ đô thị - xã/phường. • Hiệu quả dashboard IOC trong giám sát thiên tai, dịch bệnh, an sinh.
TẦNG 3 Kinh tế số (Nông nghiệp - Dịch vụ - TMĐT)	Đánh giá mức độ số hóa hoạt động kinh tế và khả năng tiếp cận thị trường số	• Tỷ lệ HTX/DN nông thôn ứng dụng nền tảng số/ERP (Hoạch định nguồn lực doanh nghiệp). • Doanh thu TMĐT nông sản. • Tỷ lệ thanh toán số không tiền mặt. • Chi phí logistics lạnh/km (chuỗi cung ứng TM) • Số mô hình nông nghiệp chính xác.
TẦNG 4 Xã hội số (Giáo dục - Y tế - Văn hóa)	Đo lường tác động CDS đến chất lượng sống, năng lực số và tính bao trùm xã hội	• Tỷ lệ lớp học số/học liệu mở. • Số phiên khám chữa bệnh từ xa/1.000 dân. • Chỉ số năng lực số cộng đồng. • Tỷ lệ dịch vụ văn hóa - du lịch được số hóa. • Tỷ lệ thẻ dân cư số kích hoạt và sử dụng thực tế.

4.2. Xây dựng bộ chỉ số tích hợp lãnh thổ thông minh ĐTTM - NTTM

2.2.1. Mục tiêu & nguyên tắc thiết kế

Mục tiêu của **bộ chỉ số là đo lường mức độ “thông minh” của lãnh thổ** dựa trên một khung tích hợp duy nhất, phản ánh hiệu quả liên kết đô thị - nông thôn trong kỷ nguyên số. Nguyên tắc xây dựng bộ chỉ số bao gồm:

(i) Tiếp cận theo hai cấp (tỉnh - xã/phường) nhằm bảo đảm tính phản ánh toàn diện;

(ii) Xây dựng nhóm chỉ số chung thể hiện **bốn trụ cột cốt lõi**: dữ liệu, năng lượng, đổi mới sáng tạo và phát triển bao trùm;

(iii) Đánh giá vùng chức năng thông qua các liên kết **“người - hàng hóa - dữ liệu”**;

(iv) Chuẩn hóa theo khung quốc tế như SDGs (UN) và ISO 37120/37122/37123, bảo đảm khả năng so sánh và hội nhập toàn cầu.

4.2.2. Mô hình 4 tầng của Hệ sinh thái lãnh thổ thông minh

Mô hình **Hệ sinh thái lãnh thổ thông minh** (Smart Territorial Ecosystem) mô tả cấu trúc đa tầng của lãnh thổ số, gồm 4 trụ cột chức năng: hạ tầng - thể chế - kinh tế - xã hội, phản ánh tiến trình

chuyển đổi số toàn diện. Mỗi tầng bảo đảm liên thông dữ liệu, liên kết vùng chức năng và tác động thực tiễn đến người dân, doanh nghiệp.

Khung này tích hợp các chuẩn mực quốc tế như ISO 37120/37122/37123; Smart city index (UN-Habitat); OECD Rural 3.0; EU Smart Rural 27; ITU U4SSC KPIs; cùng kinh nghiệm trong nước từ Bộ chỉ số DTI (2022) và ĐTTM 1.0 (2024). Bộ chỉ số được thiết kế để đánh giá mức độ trưởng thành của ĐTTM - NTTM, với 4 tầng trụ cột và có thể được lựa chọn 8-12 chỉ số cho mỗi "tầng", xác định rõ đơn vị đo, nguồn dữ liệu, tần suất và điểm chuẩn mục tiêu.

Kết quả tổng hợp cấp tỉnh được xác định thông qua ma trận trọng số tích hợp, trong đó - dựa trên kinh nghiệm quốc tế, cơ cấu đề xuất gồm 40% **nhóm chỉ số chung**, 30% **nhóm đô thị**, và 30% **nhóm nông thôn**. Tỷ lệ này có thể điều chỉnh linh hoạt tùy theo mục tiêu phát triển và ưu tiên của từng địa phương theo cấp độ trưởng thành.

4.2.3. Nhóm chỉ số chung (áp dụng cho cả đô thị & nông thôn)

(i) **Dữ liệu & mở dữ liệu:** Mức trưởng thành LGSP/IOC; tỷ lệ cơ sở dữ liệu dùng chung kết nối liên cấp; số lượng giao diện lập trình ứng dụng (API) liên thông vùng chức năng đô thị - nông thôn (FUA/FRA); chỉ số chất lượng - cập nhật dữ liệu.

(ii) **Năng lượng & môi trường:** Tỷ lệ năng lượng tái tạo trong tiêu thụ khu vực; cường độ năng lượng / GDP địa phương; cảm biến chất lượng môi trường kết nối IoT.

(iii) **Đổi mới sáng tạo:** Chi cho Nghiên cứu và phát triển (R&D)/đầu người; số doanh nghiệp đổi mới sáng tạo/1.000 DN; Số môi trường thử nghiệm chính sách hoặc công nghệ (sandbox/living labs) đô thị - nông thôn hoạt động.

(iv) **Bao trùm xã hội:** Tỷ lệ hộ có băng rộng cố định/di động (giới/nhóm yếu thế); tiếp cận dịch vụ công - dịch vụ số (giáo dục, y tế, an sinh) theo nhóm đối tượng.

Khung đánh giá cần bảo đảm so sánh ngang giữa địa phương và liên kết dọc theo cấp hành chính, hỗ trợ điều phối, giám sát và nhân rộng mô hình. Mô hình vừa tương thích quốc tế, vừa phù hợp thể chế hai cấp của Việt Nam, cho phép đánh giá tích hợp ĐTTM - NTTM trong một lãnh thổ thống nhất từ cấp xã/phường.

5. KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ

Trong bối cảnh CDS toàn diện và mô hình chính quyền hai cấp, việc phát triển toàn diện ĐTTM và NTTM cần được xem là hai trụ cột tương hỗ trong cùng một hệ sinh thái lãnh thổ thông minh. Thực tế, ở cấp cơ sở xã/phường ngày càng mang tính đan xen giữa đô thị và nông thôn: trong đó trung tâm xã là các thị trấn, thị xã (đô thị loại 4, 5 cũ) và vẫn có yếu tố đô thị hóa, còn nhiều phường sau khi sáp nhập và mở rộng vẫn tồn tại đặc điểm và yếu tố nông thôn.

Vì vậy, việc xây dựng và tích hợp bộ chỉ số ĐTTM - NTTM là cần thiết nhằm bảo đảm dòng chảy dữ liệu, công nghệ và nguồn lực được kết nối thông suốt, qua đó thúc đẩy phát triển lãnh thổ theo xu hướng xanh - thông minh - bao trùm - bền vững, phù hợp với quá trình hội nhập và chuẩn mực quốc tế.

Để hiện thực hóa quá trình tích hợp ĐTTM và NTTM hiệu quả, cần:

1. Ban hành khung chính sách tích hợp ĐTTM - NTTM trong các chương trình mục tiêu quốc gia giai đoạn 2026-2035, gắn với quá trình chuyển đổi số lãnh thổ.

2. Thống nhất xây dựng Bộ chỉ số tích hợp ĐTTM - NTTM, do Bộ Xây dựng chủ trì, phối hợp với Bộ Nông nghiệp và Tài nguyên Môi trường. Bộ chỉ số gồm ba nhóm chính:

(i) **Nhóm chỉ số chung:** phản ánh các yếu tố về dữ liệu, năng lượng, đổi mới sáng tạo và phát triển bao trùm;

(ii) **Nhóm chỉ số đô thị:** tập trung vào hạ tầng, quản trị và dịch vụ công thông minh;

(iii) **Nhóm chỉ số nông thôn:** đánh giá các mặt sản xuất, môi trường, cộng đồng số.

3. Lồng ghép các chỉ tiêu số hóa đô thị - nông thôn vào Bộ chỉ số DTI cấp địa phương và Bộ tiêu chí nông thôn mới nâng cao để hình thành công cụ đánh giá thống nhất.

4. Tăng cường năng lực số cho cán bộ xã/phường, thúc đẩy quản trị dữ liệu, cung cấp dịch vụ công số và điều hành lãnh thổ thông minh ở cấp xã/phường.

5. Khuyến khích mô hình đồng quản trị giữa *chính quyền - doanh nghiệp - người dân*, phát huy vai trò cộng đồng số trong triển khai và phản hồi chính sách.

Nếu Singapore hướng tới mục tiêu trở thành Quốc gia thông minh (Smart Nation) vào năm 2030, thì việc Việt Nam triển khai đồng bộ các giải pháp trên sẽ góp phần định hình mô hình lãnh thổ thông minh đặc thù, kết nối hiệu quả giữa đô thị và nông thôn, thúc đẩy chuyển đổi số quốc gia, nâng cao chất lượng sống toàn diện, đồng thời tăng cường năng lực cạnh tranh ở khu vực và quốc tế.

"Hướng tới Việt Nam - Lãnh thổ thông minh, phát triển Xanh, Thông minh, Bao trùm và Bền vững". NVP ACST - 10/2025.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Vũ Phương, Tạp chí Xây dựng (8/2025); Tích hợp quy hoạch đô thị bền vững gắn với cải cách chính quyền hai cấp ở Việt Nam.
- [2]. Nguyễn Vũ Phương, Tạp chí Xây dựng (8/2025); Đổi mới phân loại đô thị - nông thôn ở Việt Nam: Tiếp cận chức năng - không gian và Kinh nghiệm quốc tế.
- [3]. Bộ Thông tin và Truyền thông (2022), Bộ chỉ số chuyển đổi số quốc gia (DTI).
- [4]. Chính phủ (2022), Quyết định 924/QĐ-TTg-Chương trình CDS trong xây dựng NTM, hướng tới nông thôn mới thông minh giai đoạn 2021-2025
- [5]. Bộ Xây dựng (2024), Bộ chỉ số đô thị thông minh 1.0.
- [6]. Alfonso Vegara, Juan Luis De Las Rivas (2020); Supercities-Territorial Intelligence
- [7]. UN-Habitat (2023), Guidelines for Smart Urban-Rural Linkages.
- [8]. OECD (2021), Rural 3.0 - People-Centred Rural Policy Framework.
- [9]. Julio Navío-Marco, Beatriz Rodrigo-Moya, Paolo Gerli (2020), The rising importance of the "Smart territory" concept: definition and implications.
- [10]. IUTC - Korea (2024), KPIs for Smart Sustainable Cities and Communities.
- [11]. Germany BMI (2021), Digital Villages Initiative Report.
- [12]. Government of India (2023), Digital India - Smart Cities and Digital Villages Integration Strategy.
- [13]. <https://www.kas.de/vi/web/vietnam/einzeltitel/-/content/smart-village-solutions-for-sustainable-development-of-rural-areas-in-eu-lesson-learn-for-vietnam>.

Mô hình quản lý giá trị tăng thêm từ đất (LVCA) các khu vực phát triển theo định hướng giao thông công cộng (TOD) tại TP.HCM

Land Value Capture Management Models in Transit-Oriented Development (TOD) Areas in Ho Chi Minh City

> **TỔNG THỊ HẠNH**

NCS. Cục trưởng Cục Nhà ở và Thị trường bất động sản, Bộ Xây dựng

TÓM TẮT

Bài báo trình bày khung lý luận và thực tiễn của các mô hình quản lý giá trị tăng thêm từ đất (LVCA) gắn với phát triển theo định hướng giao thông công cộng (TOD) tại TP.HCM. Trọng tâm nghiên cứu là xác định ranh giới LVCA (vùng lõi 0-400m, vùng chuyển tiếp 400-800m, vùng ảnh hưởng 800-1.200m), xây dựng ba mô hình quản lý (LVCA công, LVCA chia sẻ, LVCA xã hội hóa) và phân tích ưu - nhược điểm của từng mô hình. Bài báo cũng đề xuất nguyên tắc tái đầu tư nguồn lực tại chỗ nhằm bảo đảm minh bạch, nâng cao sự đồng thuận xã hội và thúc đẩy phát triển đô thị bền vững. Kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học và thực tiễn cho việc triển khai cơ chế LVCA trong TOD tại TP.HCM, đồng thời có thể tham khảo để nhân rộng cho các đô thị lớn khác của Việt Nam.

Từ khóa: Phát triển theo định hướng giao thông (TOD), giá trị tăng thêm từ đất (LVCA), đường sắt đô thị TP.HCM, tài chính đất đai.

ABSTRACT

This paper presents both the theoretical framework and practical aspects of land value capture (LVCA) management models associated with transit-oriented development (TOD) in Ho Chi Minh City. The study focuses on delineating LVCA boundaries (core zone: 0-400m, transition zone: 400-800m, and influence zone: 800-1.200m), developing three management models (public LVCA, shared LVCA, and community-based LVCA), and analyzing the advantages and limitations of each model. The paper also proposes the principle of reinvesting of captured resources back into the local TOD areas to ensure transparency, enhance social consensus, and promote sustainable urban development. The findings provide both scientific and practical foundations for implementing LVCA mechanisms in TOD areas of Ho Chi Minh City, and they can serve as a reference for scaling up to other big cities in Vietnam.

Keywords: Transit-oriented development (TOD), land Value Capture (LVCA), Ho Chi Minh City metro, land-based financing.

1. MỞ ĐẦU

Trong quá trình phát triển đô thị hiện nay, TP.HCM đang đứng trước yêu cầu cấp bách về đầu tư và hoàn thiện hệ thống đường sắt đô thị. Đây được xem là giải pháp trọng tâm nhằm giảm ùn tắc giao thông, cải thiện môi trường và nâng cao chất lượng sống cho người dân. Tuy nhiên, khó khăn lớn nhất chính là việc huy động nguồn lực tài chính khổng lồ để triển khai đồng bộ các tuyến metro. Các dự án đã và đang thực hiện cho thấy, tổng mức đầu tư rất lớn, trong khi khả năng cân đối từ ngân sách và vốn ODA còn hạn chế, dẫn tới tình trạng chậm tiến độ, đội vốn, giảm hiệu quả đầu tư xây dựng.

Sự xuất hiện của các tuyến metro và dự kiến đầu tư xây dựng thí điểm các khu vực phát triển theo định hướng giao thông công cộng (TOD) tại TP.HCM đã làm gia tăng đáng kể giá trị đất đai và bất động sản xung quanh phạm vi ảnh hưởng các nhà ga. Một số đánh giá cho thấy giá đất quanh các nhà ga đã tăng ngay cả trước khi tuyến metro chính thức đi vào vận hành. Điều này chứng minh hạ tầng giao thông công cộng đã góp phần tạo nên các giá trị tăng thêm từ đất cho khu vực xung quanh các điểm nhà ga. Mặc dù vậy, cho đến nay chưa có cơ

chế chính sách đầy đủ quản lý và phân phối lại phần giá trị tăng thêm do đầu tư công tạo nên để tái đầu tư phát triển đô thị, hài hòa lợi ích giữa Nhà nước, người dân, doanh nghiệp và cộng đồng; chưa có cơ chế gắn kết việc phát triển hệ thống đường sắt đô thị với việc thực hiện chính sách an sinh xã hội, khai thác hiệu quả hệ thống đường sắt đô thị như: phát triển nhà ở thương mại có giá phù hợp (Affordable Housing), phát triển nhà ở xã hội và các dịch vụ đô thị tại các khu vực TOD để người thu nhập trung bình, thu nhập thấp dễ dàng tiếp cận sử dụng phương tiện giao thông công cộng, tăng tính hiệu quả của hệ thống giao thông công cộng, góp phần tái cấu trúc đô thị và phân bố dân cư đô thị.

Mặt khác, phát triển TOD cũng đặt ra nhiều thách thức xã hội như di dời, tái định cư, thay đổi sinh kế và thói quen đi lại của người dân. Nếu không có cơ chế phân phối lại hợp lý, nguy cơ gia tăng bất bình đẳng và khoảng cách giàu nghèo trong không gian đô thị sẽ ngày càng rõ nét. Việc áp dụng LVCA vì thế không chỉ mang ý nghĩa tài chính, mà còn là giải pháp để bảo đảm công bằng xã hội, nâng cao sự đồng thuận cộng đồng và thúc đẩy phát triển đô thị bền vững.

Do vậy việc nghiên cứu và đề xuất mô hình quản lý giá trị tăng thêm từ đất trong các khu vực TOD tại TP.HCM là hết sức cần thiết. Đây là công cụ đa ngành, mang tính kinh tế, xã hội, giúp thành phố khai thác hiệu quả nguồn lực đất đai, tái đầu tư cho hạ tầng, nhà ở xã hội và dịch vụ công, đồng thời hiện thực hóa định hướng phát triển đô thị xanh, thông minh và bền vững.

2. ĐIỀU KIỆN VÀ CƠ SỞ CHÍNH TRỊ, CƠ SỞ PHÁP LÝ TRIỂN KHAI THÍ ĐIỂM CÁC KHU VỰC PHÁT TRIỂN THEO ĐỊNH HƯỚNG GIAO THÔNG CÔNG CỘNG (TOD) TẠI TP.HCM

Hiện nay về cơ sở chính trị, cơ sở pháp luật, việc nghiên cứu các giải pháp quản lý giá trị tăng thêm từ đất các khu vực định hướng phát triển theo định hướng giao thông đã cơ bản được thống nhất từ các chủ trương của Đảng, Luật, Nghị quyết của Quốc hội đến hệ thống khung Luật pháp và các đề án, nghiên cứu cụ thể của thành phố Hồ Chí Minh, gồm những cơ sở chính sau đây:

Về các chủ trương chính sách của Đảng: Kết luận số 72-KL/TW ngày 23/02/2024 của Bộ Chính trị về tiếp tục thực hiện Nghị quyết số 13-NQ/TW ngày 16/01/2012 của Ban Chấp hành Trung ương Đảng khóa XI về xây dựng kết cấu hạ tầng đồng bộ nhằm đưa nước ta cơ bản trở thành nước công nghiệp; Nghị quyết số 31-NQ/TW ngày 30/12/2022 của Bộ Chính trị về phương hướng, nhiệm vụ phát triển TP.HCM đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045

Về cơ chế chính sách thí điểm: Nghị quyết số 188/2025/QH15 ngày 19/2/2025 của Quốc hội 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.HCM và Nghị quyết 98/2023/QH15 ngày 11/7/2023 của Quốc hội về thí điểm một số cơ chế, chính sách đặc thù phát triển TP.HCM là hai văn bản quan trọng định hướng cho các nội dung công việc.

Về hoàn thiện hệ thống Luật mới tạo sự đồng bộ về chính sách như, Luật đường sắt số 95/2025/QH15, Luật Quy hoạch đô thị và nông thôn số 47/2024/QH15, Luật Đất đai số 31/2024/QH15, Luật Nhà ở số 27/2023/QH15...

Hệ thống khung chính sách và pháp luật là cơ sở TP.HCM đã tiến hành nghiên cứu thực hiện “Đề án Phát triển hệ thống đường sắt đô thị TP.HCM theo Kết luận số 49-KL/TW của Bộ Chính trị”. Trong đó đã có những nhận diện thách thức ban đầu của việc khai thác giá trị gia tăng từ đất, nghiên cứu thí điểm áp dụng các cơ chế tài chính - đất đai đặc thù, huy động nguồn lực xã hội vào phát triển hạ tầng đô thị.

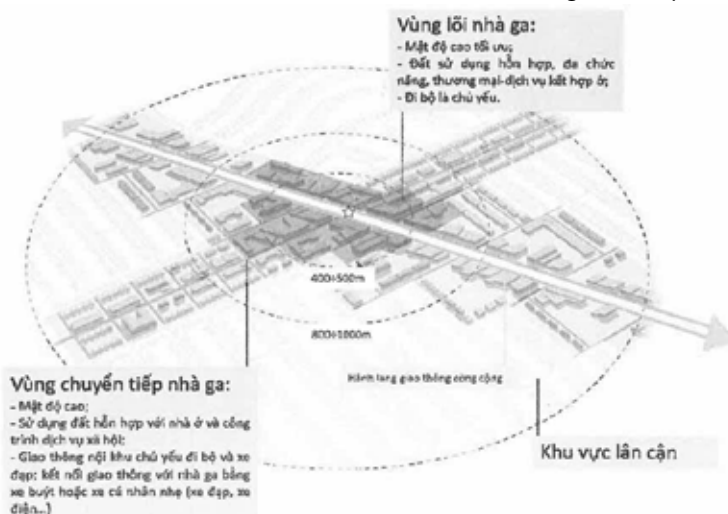
3. CƠ SỞ LÝ LUẬN VÀ THỰC TIỄN

Về cơ sở lý luận, khái niệm thu giữ giá trị từ đất (Land Value Capture - LVC) và khái niệm mới đề xuất về Quản lý giá trị tăng thêm từ đất (Land Value Capture Area - LVCA) được hiểu là tập hợp các công cụ chính sách nhằm thu hồi và phân phối một phần giá trị tăng thêm từ đất do tác động của đầu tư công, đặc biệt là hạ tầng giao thông đô thị.

Về lý thuyết, mô hình phát triển theo định hướng giao thông công cộng (Transit-Oriented Development - TOD), tạo nên các giá trị đất quanh các nhà ga gia tăng mạnh nhờ lợi thế tiếp cận và sự phát triển hỗn hợp đa chức năng (mixed-use). Các nghiên cứu quốc tế chỉ ra rằng, các đô thị có thể thu hồi giá trị đất tăng thêm để tái đầu tư vào hệ thống giao thông và phúc lợi xã hội. Do vậy mô hình LVCA đề xuất sẽ vừa là công cụ tài chính, vừa là công cụ nghiên cứu áp dụng từ quy hoạch. LVCA gắn liền với định hướng quản lý không gian đô thị, điều chỉnh sử dụng đất, các chính sách ưu đãi hệ số sử dụng đất, cũng như chính sách an sinh xã hội và bảo vệ môi trường.

Những kinh nghiệm quốc tế khẳng định TOD không chỉ nâng cao hiệu quả giao thông mà còn tạo ra giá trị đất đai khổng lồ, nếu quản lý tốt sẽ trở thành nguồn lực quan trọng cho đô thị. Cụ thể như tại Nhật Bản: các tập đoàn đường sắt tư nhân (như Tokyu, JR East) triển khai TOD đồng bộ: xây dựng tuyến metro, khai thác quỹ đất quanh ga (trung tâm thương mại, nhà ở, văn phòng), qua đó tái đầu tư vào hạ tầng. Hồng Kông: mô hình “Rail + Property” của MTR cho phép chính quyền giao đất quanh ga cho doanh nghiệp khai thác, đổi lại doanh nghiệp phải đầu tư và vận hành tuyến metro. Đây là điển hình thành công của mô hình LVCA chia sẻ. Singapore: áp dụng thuế phát triển (Development Charge), đấu giá đất TOD, kết hợp với quy hoạch chặt chẽ để vừa kiểm soát giá đất, vừa tạo nguồn thu bền vững. Hoa Kỳ & Canada: triển khai thuế bất động sản tăng thêm (Tax Increment Financing - TIF) và cơ chế hợp đồng phát triển để tái đầu tư hạ tầng.

Hiện nay, TP.HCM đang chuẩn bị đưa vào vận hành tuyến metro số 1 và triển khai tuyến metro số 2. Tuy nhiên, chưa có cơ chế thu hồi giá trị, việc thu hồi giá trị còn rất hạn chế, chủ yếu thông qua thuế sử dụng đất và phí trước bạ, không đủ để bù đắp chi phí đầu tư hạ tầng. Ngoài ra, việc quy hoạch chưa đồng bộ quanh các ga metro dẫn đến tình trạng phát triển manh mún, hiệu quả sử dụng đất chưa cao. Cơ chế pháp lý mới theo Luật Đất đai số 31/2024/QH15, Nghị quyết số 98/2023/QH15 và Nghị quyết số 188/2025/QH15 đã tạo khung cho TP.HCM thí điểm LVCA, nhưng cần có mô hình nghiên cứu phù hợp để vận hành hiệu quả.



Hình 1. Nguyên lý xác định vùng lõi nhà ga và vùng chuyển tiếp nhà ga đối với mô hình TOD quanh đường sắt đô thị tại TP.HCM (nguồn: Sở QHKT TP.HCM)

4. ĐỀ XUẤT MÔ HÌNH QUẢN LÝ GIÁ TRỊ TĂNG THÊM TỪ ĐẤT (LVCA) CÁC KHU VỰC PHÁT TRIỂN THEO ĐỊNH HƯỚNG GIAO THÔNG CÔNG CỘNG (TOD) TẠI TP.HCM

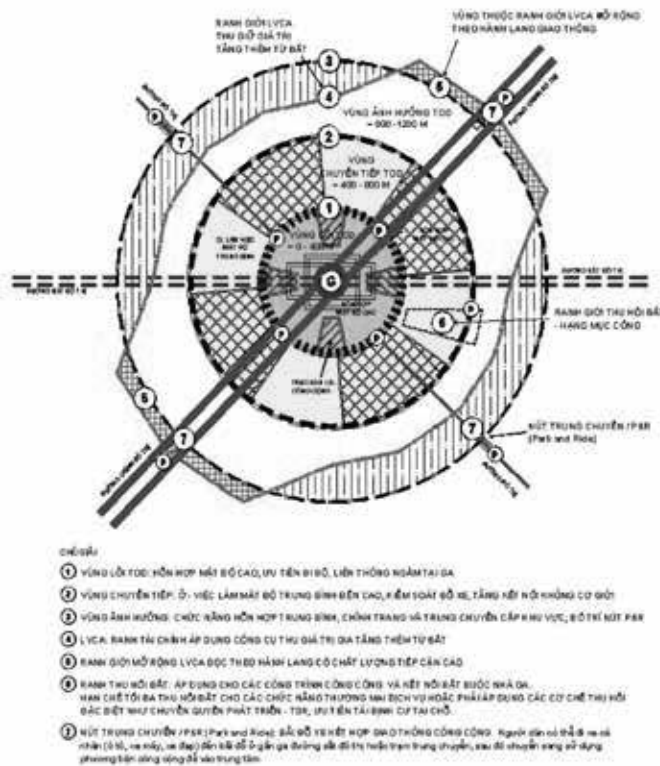
4.1. Sơ đồ quản lý ranh giới LVCA

Xác định ranh giới khu vực quản lý giá trị tăng thêm từ đất (LVCA) trong TOD tại TP.HCM là điều kiện tiên quyết để áp dụng hiệu quả các công cụ chính sách.

Sơ đồ xác định ranh giới được giải thích như sau:

- Vùng lõi TOD (0-400m quanh ga metro): Đây là phạm vi có giá trị đất tăng mạnh nhất do lợi thế tiếp cận trực tiếp hệ thống vận tải khối lượng lớn. Tại khu vực này, Nhà nước cần áp dụng các công cụ thu hồi giá trị trực tiếp như: Đấu giá quyền sử dụng đất đối với các khu đất công; Thuế phát triển, thuế tài sản gắn với điều chỉnh hệ số sử dụng đất; Công cụ điều chỉnh đất (land readjustment) để tái phân bổ đất và hạ tầng.

- Vùng chuyển tiếp (400-800m): Giá trị đất tăng ở mức trung bình, hình thành các dự án thương mại – dịch vụ và nhà ở hỗn hợp. Công cụ phù hợp gồm: Hợp đồng phát triển giữa Nhà nước và chủ đầu tư bất động sản; Áp dụng hệ số sử dụng đất cộng thêm (bonus FAR) kèm nghĩa vụ tài chính cho hạ tầng; Cơ chế chia sẻ lợi ích thông qua Quỹ TOD - LVCA.



Hình 2. Sơ đồ ranh giới LVCA quản lý giá trị tăng thêm

- Vùng ảnh hưởng (800-1.200m): Đây là phạm vi tác động gián tiếp, giá trị đất tăng chậm hơn. Nhà nước áp dụng các biện pháp mềm: Điều chỉnh quy hoạch phân khu, quy hoạch sử dụng đất. Áp dụng phí phát triển hạ tầng và cơ chế nghĩa vụ tài chính bổ sung. Phát hành trái phiếu đô thị gắn với giá trị đất gia tăng.

Ranh giới đất công cho hạ tầng TOD: Bao gồm depot, bãi đỗ xe, hành lang kỹ thuật, nhà ga. Đây là phần Nhà nước phải kiểm soát trực tiếp nhằm bảo đảm tính an toàn và liên tục của hệ thống hạ tầng.

4.2. Các mô hình quản lý giá trị tăng thêm từ đất các khu vực phát triển theo định hướng giao thông công cộng (LVCA) tại TP.HCM

Ba mô hình quản lý LVCA phù hợp với bối cảnh TP.HCM, phản ánh ba cấp độ khác nhau về vai trò Nhà nước - tư nhân - cộng đồng:

Mô hình LVCA công:

Nhà nước giữ vai trò kiểm soát tuyệt đối, thu hồi toàn bộ giá trị tăng thêm từ đất quanh các ga metro thông qua thuế, phí phát triển, đấu giá đất và thu hồi đất để tái phân bổ. Nguồn thu này chủ yếu tái đầu tư vào hạ tầng giao thông công cộng, chỉnh trang đô thị, nhà ở xã hội. Mô hình này áp dụng cho các dự án trọng điểm quốc gia, có quy mô lớn, cần Nhà nước dẫn dắt mạnh.

Mô hình LVCA chia sẻ:

Đây là hình thức công - tư kết hợp, trong đó Nhà nước và các doanh nghiệp bất động sản cùng chia sẻ lợi ích. Các chủ đầu tư dự án quanh ga đóng góp một phần giá trị đất tăng thêm vào Quỹ TOD - LVCA, đổi lại được hưởng quyền lợi về chỉ tiêu quy hoạch hoặc ưu đãi đầu tư. Mô hình này đảm bảo cân bằng lợi ích Nhà nước - doanh nghiệp - cộng đồng, đồng thời tăng cường sự đồng thuận xã hội.

Mô hình LVCA xã hội hóa:

Nhà nước đóng vai trò điều phối, còn doanh nghiệp và cộng đồng trực tiếp tham gia khai thác giá trị tăng thêm. Công cụ thường dùng gồm: land readjustment, hệ số sử dụng đất ưu đãi (bonus FAR), và quỹ phát triển cộng đồng. Mô hình này giúp huy động tối đa nguồn lực xã hội, giảm gánh nặng cho ngân sách, đồng thời gắn kết tái đầu tư với phát triển cộng đồng.

Cần nhấn mạnh rằng để tạo niềm tin và sự đồng thuận, tối thiểu 60-70% nguồn lực thu được từ LVCA cần được tái đầu tư trực tiếp vào chính khu vực TOD. Điều này không chỉ bảo đảm tính minh bạch mà còn tạo động lực phát triển bền vững tại chỗ.

5. KHUYẾN NGHỊ CHÍNH SÁCH

Kết quả nghiên cứu cho thấy ba mô hình LVCA (công, chia sẻ, xã hội hóa) đều có cơ sở áp dụng trong bối cảnh phát triển TOD tại TP.HCM, song mức độ can thiệp của Nhà nước và khả năng huy động nguồn lực xã hội có sự khác biệt rõ rệt.

Ở mô hình công, ưu điểm lớn nhất là Nhà nước nắm quyền kiểm soát tuyệt đối, giúp tập trung nguồn lực để đầu tư vào các dự án hạ tầng trọng điểm, hạn chế tình trạng phân tán lợi ích. Cơ chế này đặc biệt phù hợp với các khu vực có giá trị đất công lớn hoặc những dự án quan trọng quốc gia. Tuy nhiên, hạn chế của mô hình công là gánh nặng quản lý dồn lên ngân sách, nguy cơ tạo tâm lý đối kháng từ phía nhà đầu tư tư nhân do ít được chia sẻ lợi ích.

Ngược lại, mô hình chia sẻ thể hiện tính linh hoạt cao hơn. Việc hình thành Quỹ TOD-LVCA với sự tham gia của cả Nhà nước, doanh nghiệp và cộng đồng tạo điều kiện cho phân bổ lợi ích công bằng và bền vững. Đây là mô hình có thể năng cao đồng thuận xã hội, giảm áp lực cho ngân sách, đồng thời khuyến khích tư nhân đầu tư vào khu vực TOD. Song, nhược điểm là cần khung pháp lý chặt chẽ và cơ chế giám sát minh bạch để bảo đảm hài hòa lợi ích và việc phân bổ nguồn lực thực sự hiệu quả.

Đối với mô hình xã hội hóa, ưu điểm nổi bật là khả năng huy động tối đa nguồn lực xã hội, đặc biệt thông qua các công cụ như tái phân bổ đất (land readjustment), hệ số sử dụng đất ưu đãi (bonus FAR), hay quỹ phát triển cộng đồng. Mô hình này

tạo điều kiện để các doanh nghiệp và cộng đồng trực tiếp tham gia vào phát triển hạ tầng, giảm gánh nặng cho Nhà nước. Tuy nhiên, rủi ro nằm ở tính phức tạp trong phối hợp, đòi hỏi năng lực quản lý đô thị và công cụ pháp lý rõ ràng hơn để điều tiết. Nếu thiếu cơ chế giám sát, mô hình này có thể dẫn tới mất cân đối lợi ích hoặc khai thác quá mức không gian đô thị.

Nhìn chung, các mô hình LVCA tại TP.HCM cần được triển khai theo hướng kết hợp thay vì áp dụng đơn lẻ. Mô hình công phù hợp với tuyến metro và các ga trung tâm có giá trị chiến lược; mô hình chia sẻ thích hợp cho khu vực chuyển tiếp với sự tham gia mạnh của doanh nghiệp; trong khi mô hình xã hội hóa có thể áp dụng cho các khu vực ảnh hưởng rộng hơn, nhằm huy động nguồn lực cộng đồng. Bên cạnh đó, việc bảo đảm nguyên tắc tái đầu tư tối thiểu 60-70% nguồn lực tại chỗ, như luận án đã đề xuất, là yếu tố cốt lõi để tăng cường niềm tin xã hội và tạo động lực phát triển bền vững cho TOD.

6. KẾT LUẬN

Việc áp dụng mô hình quản lý giá trị tăng thêm từ đất trong các khu vực phát triển theo định hướng giao thông công cộng (LVCA) tại TP.HCM là hết sức cần thiết nhằm giải quyết bài toán thiếu hụt vốn cho hạ tầng đô thị, đồng thời bảo đảm công bằng xã hội và phát triển bền vững. Trên cơ sở sơ đồ phân tích ranh giới LVCA và 03 mô hình quản lý LVCA (công, chia sẻ, xã hội hóa) nghiên cứu đề xuất, có thể thấy mỗi mô hình đều có ưu điểm và hạn chế riêng, song đều mở ra cơ hội huy động, thu giữ và phân bổ nguồn lực đất đai hiệu quả hơn.

Trong bối cảnh mới thực hiện tổ chức chính quyền địa phương 02 cấp, TP.HCM có nhiều điều kiện thuận lợi để thí điểm các cơ chế của mô hình LVCA. Trong đó, việc lựa chọn mô hình phù hợp cần gắn liền với đặc thù từng khu vực TOD: Mô hình LVCA công cho các tuyến và ga trọng điểm, Mô hình LVCA chia sẻ cho khu vực chuyển tiếp, và Mô hình LVCA xã hội hóa cho vùng ảnh hưởng mở rộng. Do vậy, nghiên cứu áp dụng thí điểm các nguyên tắc phân bổ tái đầu tư tại chỗ và ngoài khu vực có thể là chìa khóa để củng cố niềm tin, tạo sự đồng thuận và lan tỏa tác động tích cực đến cộng đồng trong chủ trương phát triển TP.HCM theo mô hình giao thông công cộng TOD.

Như vậy, mô hình LVCA không chỉ là công cụ tài chính, mà còn là giải pháp tích hợp đa ngành gồm: quy hoạch, xã hội và môi trường, những dự án thí điểm triển khai áp dụng mô hình LVCA trong các khu vực TOD tại TP.HCM sẽ góp phần tái cấu trúc đô thị, làm mới đô thị và hình thành mô hình đô thị phát triển theo định hướng giao thông công cộng TOD, theo hướng xanh, thông minh và bền vững, cung cấp hình mẫu thực tiễn để nhân rộng ra các đô thị của Việt Nam trong tương lai.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Arup Group. (2023). Phương pháp đánh giá lựa chọn các nhà ga ưu tiên triển khai TOD. Báo cáo kỹ thuật, Hà Nội.
- [2]. Crossrail Ltd. (2019). Crossrail business rate supplement and community infrastructure levy. UK Government.
- [3]. Hung, W. (2014). Transit-oriented development and value capture: The Hong Kong experience. Hong Kong University Press.
- [4]. International Transport Forum (ITF) & OECD. (2024). Land-value capture and public transport funding. OECD Publishing.
- [5]. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2022). Global compendium of land value capture policies. OECD Publishing.
- [6]. Salat, S., & Ollivier, G. (2017). Transforming the urban space through transit-oriented development: The 3V approach. World Bank.

[7]. Suzuki, H., Cervero, R., & Iuchi, K. (2013). Transforming cities with transit: Transit and land-use integration for sustainable urban development. Washington, DC: World Bank.

[8]. United States Government Accountability Office (GAO). (2010). Public transportation: Federal role in value capture strategies for transit. GAO.

[9]. Phe, H. H., & Wakely, P. (2000). "Status, quality and the other trade-off: Towards a new theory of urban residential location". The Donald Robertson Memorial Prizewinner 2000, Urban Studies, 37(1), 7-35.

[10]. World Bank. (2019). Land value capture: Investment in infrastructure. World Bank, City Resilience Program.

[11]. UBND TP.HCM. (2025). Quyết định phê duyệt danh mục 46 khu đất TOD để khai thác giá trị gia tăng từ đất. TP.HCM.

[12]. UBND TP.HCM, (12/2024), Đề án Phát triển hệ thống đường sắt đô thị TP.HCM theo kết luận số 49-KL/TW của Bộ Chính trị

[13]. UBND TP.HCM (2025), Sở Tài nguyên và Môi trường, Tờ trình số 2619/STNMT-BTTĐC ngày 15/4/2025 về việc đề xuất bổ sung các vị trí có quỹ đất đảm bảo tiêu chí để thực hiện TOD vào Quyết định số 4863/QĐ-UBND ngày 30/10/2024 của UBND thành phố;

[14]. UBND TP.HCM (2024), Sở Quy hoạch Kiến trúc, văn bản số 2903/SQHKT-HTKT ngày 10/7/2024 về việc hoàn thiện Kế hoạch thực hiện các khu vực TOD dọc theo tuyến metro số 1, metro số 2, tuyến Vành đai 3 theo Nghị quyết số 98/2023/QH15;

[15]. UBND TP.HCM (2024), Sở Tài nguyên và Môi trường, Tờ trình số 4872/TTr-STNMT-BTTĐC ngày 27/5/2024 về việc đề nghị chấp thuận phê duyệt Đề án "Thực hiện tạo quỹ đất tại các vùng phụ cận nhà ga thuộc các tuyến đường sắt đô thị, các nút giao thông dọc tuyến vành đai";

Tác động của tỷ lệ hẻm núi đô thị và hướng đường phố tới điều kiện vi khí hậu và tiện nghi nhiệt ngoài trời tại thành phố Đà Nẵng, Việt Nam

Impacts of urban canyon aspect ratio and street orientation on microclimate and outdoor thermal comfort in Da Nang, Vietnam

> NGUYỄN HOÀNG ANH¹, NGÔ THỊ KIM DUNG²

¹NCS Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội, Email: justarch.ha@gmail.com

²Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội

TÓM TẮT

Môi trường nhiệt độ ở ngoài trời ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng cuộc sống, sức khỏe thể chất và tinh thần của con người trong đô thị. Cải thiện điều kiện nhiệt ở không gian ngoài trời do đó đã trở thành vấn đề quan trọng cho một đô thị phát triển bền vững. Nghiên cứu này đánh giá tác động của hướng và tỷ lệ hẻm núi đô thị (tỷ lệ giữa chiều cao và chiều rộng) lên các tham số vi khí hậu và chỉ số nhiệt ở tầng người đi bộ trong các hẻm phố trong điều kiện khí hậu TP Đà Nẵng, Việt Nam. Phần mềm ENVI-met v5.6.1. được sử dụng để tính toán hiệu suất nhiệt ngoài trời ở các kịch bản nghiên cứu. Kết quả nghiên cứu cho thấy tỷ lệ hẻm núi và hướng đường phố có ảnh hưởng đáng kể đến vùng vi khí hậu ngoài trời tại Đà Nẵng. Gia tăng tỷ lệ hẻm núi giúp giảm nhiệt độ không khí và vùng PET nóng ở mọi hướng đường phố. Hướng đường phố cũng ảnh hưởng đến tần suất và vùng phân bố của bóng đổ trong các hẻm núi. Hướng Bắc-Nam được coi là hướng tối ưu nhất cho tiện nghi nhiệt ngoài trời, ngược lại hướng Đông-Tây là hướng bất lợi nhất. Hai hướng trung gian cho mức giảm nhiệt độ không khí và vùng PET nóng khá tương đồng nhau trong suốt thời gian trong ngày.

Từ khóa: Tiện nghi nhiệt ngoài trời, tỷ lệ hẻm núi, hướng đường phố, ENVI-met, hình học đô thị.

ABSTRACT

Outdoor thermal environment directly affects the quality of life as well as the physical and mental health of urban residents. Improving outdoor thermal conditions has therefore become one of the critical issues in achieving sustainable urban development. This study investigates the impacts of street orientation and urban canyon aspect ratio (the ratio of building height to street width) on microclimatic parameters and thermal indices at the pedestrian level under the climatic conditions of Da Nang, Vietnam. The ENVI-met v5.6.1. was employed to predict the outdoor thermal performance across the study scenarios. The findings show that the canyon aspect ratio and street orientation substantially influence the outdoor microclimate in Da Nang. Increasing the canyon aspect ratio reduces air temperature and hot PET areas under all street orientations. Street orientation further determines the spatial distribution of shading within the canyons. The North-South orientation is identified as the most favorable for outdoor thermal comfort, while the East-West orientation proves to be the least favorable. The two diagonal orientations show relatively similar reductions in air temperature and hot PET areas throughout the day.

Keywords: Outdoor thermal comfort, canyon aspect ratio, street orientation, ENVI-met, urban geometry.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đà Nẵng, một thành phố cảng quan trọng của miền Trung, là đô thị lớn đang phát triển và giữ vai trò trọng yếu trong vùng kinh tế khu vực. Theo Quyết định số 359/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ, thành phố này hướng tới phát triển thành một trung tâm kinh tế - du lịch, với định hướng phát triển du lịch toàn thành phố [3]. Mặc dù vậy, hiện nay Đà Nẵng đang đối diện với nhiều thách thức về môi trường ảnh hưởng đến chất lượng sống, trong đó có Đảo nhiệt đô

thị (UHI) và Biến đổi khí hậu (BĐKH). Gia tăng dân số và thay đổi diện tích sử dụng đất đã làm gia tăng đáng kể nhiệt độ tại thành phố này. Quá trình mở rộng xây dựng nhằm đáp ứng nhu cầu dân cư đã làm nhiệt độ ở những khu vực có mật độ xây dựng cao vượt hơn 4-6°C so với các khu vực ngoại ô xung quanh [10]. Bên cạnh đó, với vị trí địa lý ven biển miền Trung, Đà Nẵng nằm trong khu vực chịu ảnh hưởng rõ rệt của BĐKH [1]. Số ngày và đêm nóng tại thành phố gia tăng, với ngày có nhiệt độ vượt ngưỡng 35°C đã tăng thêm từ hai

đến bảy ngày mỗi thập kỷ. Những ngày có nhiệt độ rất cao, lên đến 37°C , cũng được dự báo sẽ xuất hiện nhiều hơn trong các tháng hè, từ tháng 4 đến tháng 10 trong năm [12]. Theo dự báo, người dân Đà Nẵng sẽ đối diện với nguy cơ căng thẳng nhiệt ở mức cao nếu không có các chiến lược cải thiện tiện nghi nhiệt ngoài trời.

Không gian ngoài trời trong đô thị mang lại nhiều lợi ích cho con người và xã hội. Môi trường thoải mái về nhiệt đáp ứng nhu cầu đi bộ hằng ngày và gia tăng các hoạt động ngoài trời, giúp nâng cao sức khỏe con người và đóng góp vào sức sống trong đô thị [8]. Cải thiện điều kiện nhiệt của môi trường ngoài trời do đó đóng vai trò quan trọng trong sự phát triển của một đô thị bền vững. Hiện nay, đã có nhiều nghiên cứu cải thiện môi trường nhiệt ngoài trời được thực hiện ở nhiều vùng khí hậu khác nhau. Riêng tại khu vực Đông Nam Á, những nước với nền kinh tế khá như Malaysia hoặc cao như Singapore đã ghi nhận số lượng các nghiên cứu cải thiện tiện nghi nhiệt ngoài trời vượt trội; trong khi đó, số lượng các ấn phẩm ở các nước Indonesia, Việt Nam và Thái Lan còn khá hạn chế [7]. Đây là một khoảng trống nghiên cứu tương đối lớn, đặc biệt trong bối cảnh những đô thị lớn như Hà Nội, TP.HCM và Đà Nẵng đang chịu tác động mạnh mẽ của tình trạng đảo nhiệt đô thị và BĐKH.

Nhiều chiến lược cải thiện môi trường nhiệt ngoài trời đã được đề xuất, trong đó phổ biến nhất là điều chỉnh hình học đô thị, tích hợp cây xanh, sử dụng vật liệu phản xạ và sử dụng khối nước [4]. Mỗi chiến lược đều có tiềm năng làm giảm nhiệt độ ngoài trời riêng; mặc dù vậy, hiệu quả đạt được không đồng đều và phụ thuộc lớn vào đặc điểm không gian đô thị cũng như điều kiện khí hậu tại từng khu vực cụ thể. Trong số các giải pháp này, hình học đô thị được chứng minh mang lại hiệu quả giảm nhiệt cao và ổn định nhất [9]. Khả năng làm mát của hình học đô thị ảnh hưởng đến vi khí hậu của môi trường đường phố ở cấp độ người đi bộ. Hầu hết những nghiên cứu về hình học đô thị thường tập trung vào việc tối ưu hóa hai yếu tố hình học là tỷ lệ hẻm núi đô thị-một chỉ số xác định bởi tỷ lệ giữa chiều cao công trình và chiều rộng mặt đường (H/W) và hướng của đường phố. Đây là hai yếu tố hình học quan trọng quyết định khả năng tiếp nhận bức xạ mặt trời và vận tốc gió trong các hẻm núi đô thị [11]. Nghiên cứu này sẽ thực hiện đánh giá tác động của hai yếu tố này lên điều kiện vi khí hậu trong các hẻm núi tại TP Đà Nẵng.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

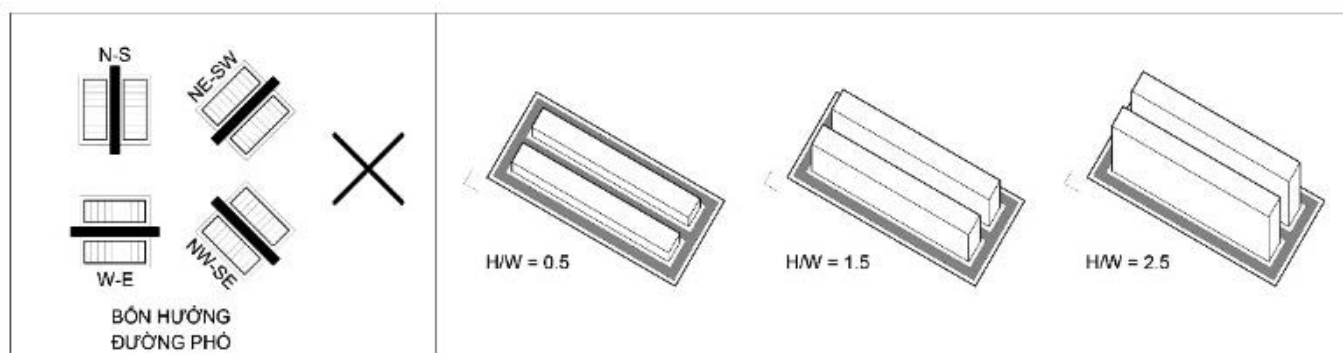
2.1. Dữ liệu vi khí hậu

Đà Nẵng nằm trong khu vực nhiệt đới gió mùa với đặc điểm hai mùa rõ rệt, và có nền nhiệt độ trung bình năm tương đối cao, vào khoảng $25,9^{\circ}\text{C}$. Nghiên cứu này sử dụng giá trị dữ liệu trung bình của tháng 6, tháng nóng nhất trong năm tại Đà Nẵng, trích xuất từ dữ liệu đo đạc tại sân bay Quốc tế Đà Nẵng năm 2004 đến 2018, để làm dữ liệu đầu vào tính toán các kịch bản mô phỏng. Biến thiên

nhiệt độ không khí trong ngày tại Đà Nẵng có một số đặc điểm như sau. Giá trị nhiệt độ trung bình thường ghi nhận mức thấp vào buổi sáng, dao động trung bình từ $26,3^{\circ}\text{C}$ đến $26,6^{\circ}\text{C}$, và đạt mức cao vào thời gian buổi trưa, từ 11:00 đến 14:00, với nền nhiệt độ trung bình dao động từ $32,9^{\circ}\text{C}$ đến $33,3^{\circ}\text{C}$; trong đó, một số ngày trong tháng ghi nhận mức giá trị rất cao, dao động từ $36,1^{\circ}\text{C}$ đến $36,8^{\circ}\text{C}$. Độ ẩm trung bình tại thành phố có chu kỳ dao động ngày đêm, với giá trị trung bình ghi nhận mức thấp vào buổi trưa, từ 63,9% đến 68,6%, và đạt mức cao vào buổi tối, với dao động từ 86,8% đến 89,4%. Bức xạ ngang toàn cầu thường ghi nhận giá trị lớn nhất trong ngày vào lúc giữa trưa với giá trị trung bình dao động từ $667,6 \text{ Wh/m}^2$ đến $773,7 \text{ Wh/m}^2$. Hướng gió cũng có sự thay đổi đáng kể tùy theo thời gian trong ngày ở các tháng nóng. Hướng gió chính vào ban đêm thường dao động xung quanh mốc 210° (hướng Tây Nam); tuy nhiên, trong thời gian ban ngày, đặc biệt từ 11:00 đến 22:00, hướng gió tại thành phố phân tán tùy theo ngày, dao động xung quanh ba hướng chính là Tây Nam, Đông và Bắc. Với đặc tính thay đổi không ổn định trong phần lớn thời gian trong ngày, hướng gió là một tham số khó kiểm soát khi áp dụng vào các mô phỏng tiện nghi nhiệt ngoài trời. Một hướng đường phố có thể được hưởng lợi từ hướng gió ngày hôm nay nhưng lại không duy trì được lợi thế đó vào những ngày sau. Chính vì sự bất định khó kiểm soát này, để giảm thiểu yếu tố gây nhiễu và đảm bảo tính nhất quán khi so sánh giữa các kịch bản mô phỏng, một số nghiên cứu đã lựa chọn loại bỏ yếu tố này bằng cách giả định hướng gió luôn vuông góc với hướng đường phố trong các kịch bản mô phỏng [5].

2.2. Xây dựng kịch bản nghiên cứu

Nghiên cứu xây dựng kịch bản dựa theo hai tuyến đường khu vực chính của thành phố, là những tuyến đường có lòng đường rộng 5,5 m và 7,5 m. Theo quy chế quản lý kiến trúc của TP Đà Nẵng, chiều cao công trình ở những tuyến đường có lòng đường này sẽ có giới hạn tối đa [2]. Khi xét đến tỷ lệ mặt cắt ngang của hẻm núi, những tuyến đường rộng 5,5 m sẽ có tỷ lệ hẻm núi tối đa có thể là 2,65; trong khi đó, ở tuyến đường rộng 7,5 m, tỷ lệ tối đa có thể là 2,55. Như vậy, những tỷ lệ hẻm núi dưới ngưỡng 2,55 như 0,5; 1; 1,5; 2 và 2,5 là các tỷ lệ phản ánh đặc trưng hình học của công trình dạng nhà ống liên kế ở Đà Nẵng. Trong nghiên cứu này, ba mức tỷ lệ 0,5; 1,5 và 2,5 được lựa chọn để đánh giá tác động khi gia tăng chiều cao của công trình. Từ cơ sở này, nghiên cứu xây dựng 12 kịch bản mô phỏng, dựa trên sự thay đổi ở ba mức tỷ lệ nêu trên và bốn hướng của đường phố (Hình 1). Để dễ theo dõi và phân tích, mỗi kịch bản sau đó được ký hiệu dựa theo tỷ lệ của hẻm núi và hướng tương ứng. Theo đó, một kịch bản ví dụ được ký hiệu "1,5 N-S" sẽ mô tả một cấu hình có tỷ lệ $H/W = 1,5$ với hướng đường theo trục Bắc-Nam.



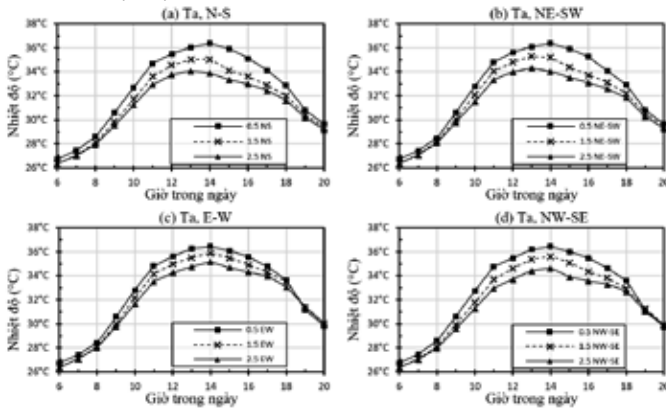
Hình 1. 12 kịch bản mô phỏng tỷ lệ hẻm núi đô thị dựa trên tham số hướng đường phố và tỷ lệ hẻm núi

2.3. Mô phỏng với ENVI-met v5.6.1

ENVI-met, một mô hình mô phỏng vi khí hậu ba chiều dạng lưới phát triển bởi Bruse (2004), được sử dụng để tính toán các kết quả trong nghiên cứu này. Nhờ khả năng xử lý với độ phân giải không gian cao (thường từ 0,5 đến 10 m), ENVI-met cung cấp các đầu ra tương đối chính xác, bao gồm nhiệt độ không khí ($^{\circ}\text{C}$), độ ẩm tương đối (%), tốc độ gió (m/s), nhiệt độ bức xạ trung bình ($^{\circ}\text{C}$), và bức xạ mặt trời [6]. Miền mô phỏng của nghiên cứu được thiết lập với kích thước 60×76 ô lưới, với độ phân giải mỗi ô 2 m. Mô hình mô phỏng bao gồm hai dãy nhà song song, cách nhau khoảng cách cố định 16 m, với chiều cao được thiết lập để tạo thành các hẻm núi tỷ lệ 0,5; 1,5 và 2,5. Ngày 10/6, một ngày hè điển hình với nhiệt độ cao, được lựa chọn để thực hiện mô phỏng, nhằm tái hiện quỹ đạo biểu kiến của mặt trời trong tháng nóng nhất của năm. Những thông số khí tượng như nhiệt độ không khí, độ ẩm, bức xạ trực tiếp và khuếch tán được thiết lập thủ công dựa trên giá trị trung bình từng giờ trong ngày của tháng 6. Riêng vận tốc gió và hướng gió được thiết lập cố định, với vận tốc 2,1 m/s và luôn vuông góc với hướng của đường phố. Các kết quả mô phỏng được trích xuất ở độ cao 1,4 m so với mặt nền, độ cao mà người đi bộ cảm nhận điều kiện không gian ngoài trời. Thời gian chạy mô hình được thiết lập trong 14 giờ, từ 6:00 đến 20:00. Ngoài ra, nghiên cứu không xét đến những yếu tố ảnh hưởng đến điều kiện tiện nghi nhiệt ngoài trời khác như sử dụng cây xanh hoặc sự thay đổi của bề mặt vật liệu.

3. KẾT QUẢ

3.1. Nhiệt độ không khí



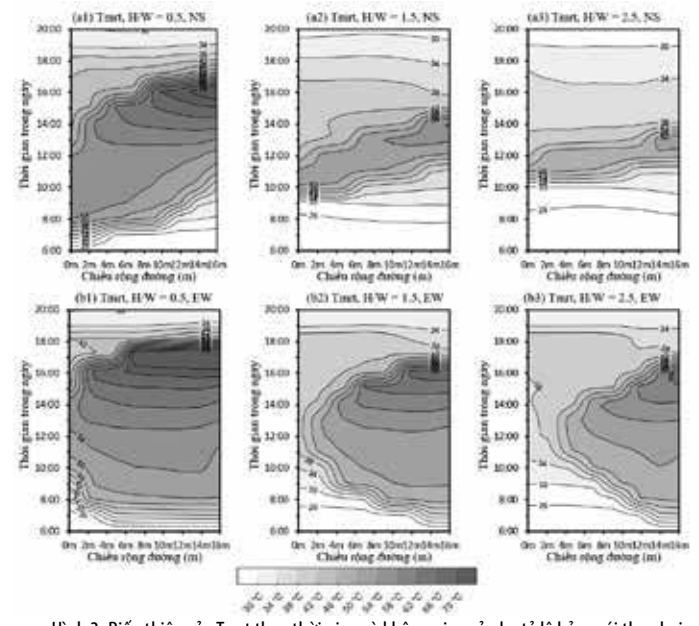
Hình 2. Biến thiên theo giờ của nhiệt độ không khí theo tỷ lệ hẻm núi đô thị ở bốn hướng đường phố: (a) N-S; (b) NE-SW; (c) E-W; (d) NW-SE

Tỷ lệ hình học của hẻm phố cùng với hướng tuyến đường ảnh hưởng trực tiếp đến cả thời gian và cường độ bức xạ mặt trời tác động lên bề mặt đường, qua đó chi phối nhiệt độ không khí tại cao độ người đi bộ. Việc điều chỉnh các tham số hình học này dẫn đến sự thay đổi giá trị nhiệt độ không khí (T_a). Hình 2 thể hiện biến thiên của nhiệt độ không khí khi tỷ lệ hẻm phố tăng dần ở bốn hướng đường khác nhau (Bắc-Nam, Đông-Tây, Đông Bắc-Tây Nam, Tây Bắc-Đông Nam). Kết quả cho thấy tỷ lệ hẻm núi cao mang lại hiệu quả giảm nhiệt độ không khí đáng kể. Ở tỷ lệ 2,5, tỷ lệ cao nhất trong các kịch bản khảo sát, giá trị nhiệt độ không khí ghi nhận mức thấp nhất trên tất cả các hướng đường phố. Mức chênh lệch nhiệt độ trung bình của tỷ lệ hẻm núi này so với mức trung bình chung lần lượt là $-0,6^{\circ}\text{C}$ ở N-S, NE-SW, NW-SE và $-0,4^{\circ}\text{C}$ ở E-W. Mốc thời gian 14:00 ghi nhận mức giảm nhiệt độ lớn nhất, với mức giảm dao động từ $0,7^{\circ}\text{C}$ đến $1,2^{\circ}\text{C}$. Trong khi đó, mức chênh lệch nhỏ nhất thường ghi nhận vào buổi sáng sớm và chiều muộn, khi giá trị chênh lệch trung bình luôn dưới $0,2^{\circ}\text{C}$. Trái ngược với hiệu quả giảm nhiệt ở tỷ lệ hẻm phố cao, tại tỷ lệ thấp nhất (0,5), nhiệt độ không khí duy trì ở mức cao

trong hầu hết thời gian trong ngày. Chênh lệch trung bình của tỷ lệ hẻm núi này so với trung bình chung dao động từ $0,4^{\circ}\text{C}$ đến $0,8^{\circ}\text{C}$. Thời điểm 15:00 ghi nhận mức nhiệt độ cao nhất ở tỷ lệ này, với chênh lệch so với trung bình chung lần lượt là $+1,5^{\circ}\text{C}$ ở N-S, $+1,3^{\circ}\text{C}$ ở NE-SW, $+0,7^{\circ}\text{C}$ ở E-W và $+1^{\circ}\text{C}$ ở NW-SE.

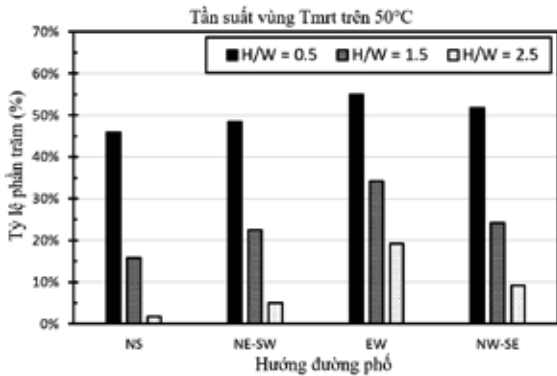
3.2. Nhiệt độ bức xạ trung bình

Nhiệt độ bức xạ trung bình chịu ảnh hưởng trực tiếp từ vùng bóng đổ tạo ra bởi công trình, và do đó biến thiên theo sự thay đổi của tỷ lệ và hướng đường phố. Trong nghiên cứu này, nhiệt độ bức xạ trung bình ở mỗi kịch bản hẻm núi được phân tích dựa trên tần suất xuất hiện theo thời gian và không gian trong hẻm núi. Phạm vi phân tích không gian được giới hạn ở khu vực giữa hai khối công trình có chiều rộng là 16 m và khoảng thời gian tính toán được thiết lập từ 6:00 đến 20:00. Kết quả tần suất phân bố Tmrt theo thời gian và không gian ở hai hướng đường phố N-S và E-W được minh họa trong Hình 3 dưới đây.



Hình 3. Biến thiên của Tmrt theo thời gian và không gian của ba tỷ lệ hẻm núi theo hai hướng đường phố: (a) hướng Bắc-Nam và (b) hướng Đông-Tây.

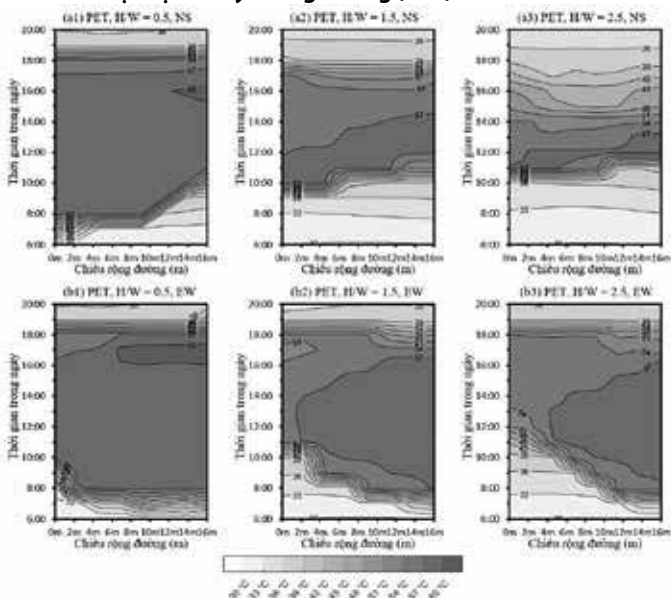
Dựa trên vùng biến thiên nhiệt độ bức xạ trung bình ở tỷ lệ hẻm núi 0,5, có thể nhận thấy vùng giá trị trên 50°C chiếm tần suất rất lớn, với tỷ lệ lần lượt 45,8% ở hướng N-S, 48,3% ở NE-SW, 55% ở E-W và 51,7% ở NW-SE. Vùng giá trị này thể hiện những khu vực bề mặt đường phố chịu tác động trực tiếp từ bức xạ mặt trời và do đó giá trị Tmrt tương đối cao. Ngưỡng giá trị Tmrt trên 50°C do đó được sử dụng làm mốc chính để đánh giá tác động khi thay đổi tỷ lệ hẻm núi và hướng đường phố. Từ kết quả vùng Tmrt này ở ba kịch bản tỷ lệ hẻm núi, có thể thấy rằng, gia tăng tỷ lệ hẻm núi giúp giảm vùng Tmrt nóng ở tất cả các hướng đường phố (Hình 4). Các tỷ lệ hẻm núi lớn mang lại hiệu quả giảm Tmrt đáng kể. Tần suất vùng Tmrt nóng ở tỷ lệ hẻm núi 2,5 có giá trị thấp nhất ở mọi hướng đường phố, với 1,7% (N-S), 5% (NE-SW), 19,2% (E-W) và 9,2% (NW-SE). Khi so với tỷ lệ 0,5, chênh lệch vùng Tmrt luôn ở mức cao nhất, với mức giảm tuyệt đối ở hai hướng lần lượt là 44,2 điểm phần trăm (N-S), 43,3 p.p. (NE-SW), 35,8 p.p. (E-W) và 42,5 p.p. (NW-SE). Vùng Tmrt nóng có xu hướng giảm đồng đều cùng với sự gia tăng của tỷ lệ hẻm núi. Khi gia tăng tỷ lệ hẻm núi, vùng Tmrt nóng có xu hướng giảm đồng đều ở tất cả các hướng phố, với giá trị trung bình lần lượt là 50,2% (H/W = 0,5), 24,2% (H/W = 1,5) và 8,8% (H/W = 2,5).



Hình 4. Tần suất vùng Tmrt trên 50°C ở bốn hướng đường phố của ba tỷ lệ hẻm núi

Hướng đường phố cũng là một yếu tố quan trọng chi phối vùng bóng đổ của công trình và do đó tác động trực tiếp đến bức xạ trung bình trong các hẻm núi. Dựa trên kết quả tần suất vùng Tmrt nóng, có thể nhận thấy rằng trong bốn hướng đường phố, hướng N-S luôn duy trì giá trị vùng Tmrt nóng thấp nhất ở mọi tỷ lệ hẻm núi. So với mức trung bình chung, vùng Tmrt nóng ở hướng này luôn thấp hơn, với chênh lệch tuyệt đối lần lượt là -4,4 điểm phần trăm (H/W = 0,5), -8,3 p.p. (H/W = 1,5) và -7,1 p.p. (H/W = 2,5). Ở hướng đường phố này, công trình hai bên luôn tạo bóng đổ luân phiên che chắn một phần bề mặt đường phố trong ngày, dẫn đến vùng Tmrt nóng tương đối thấp hơn khi so với các hướng khác. Ngược lại, hướng E-W luôn ghi nhận giá trị vùng Tmrt nóng cao nhất ở tất cả các tỷ lệ hẻm núi. Vùng bóng đổ của công trình ở hướng đường phố này chỉ che chắn được một phần bề mặt đường ở phía Bắc; trong khi đó, nửa mặt đường ở phía Nam luôn tiếp xúc với bức xạ trực tiếp từ mặt trời trong ngày và do đó vùng Tmrt nóng ở hướng đường phố này thường bắt đầu sớm và kéo dài hầu hết thời gian trong ngày. Đối với hai hướng trung gian, vùng Tmrt nóng ở hướng NW-SE luôn có giá trị cao hơn so với NE-SW; mặc dù vậy, chênh lệch vùng Tmrt nóng giữa hai hướng đường phố này tương đối nhỏ, luôn duy trì dưới 5 điểm phần trăm.

3.3. Nhiệt độ sinh lý tương đương (PET)

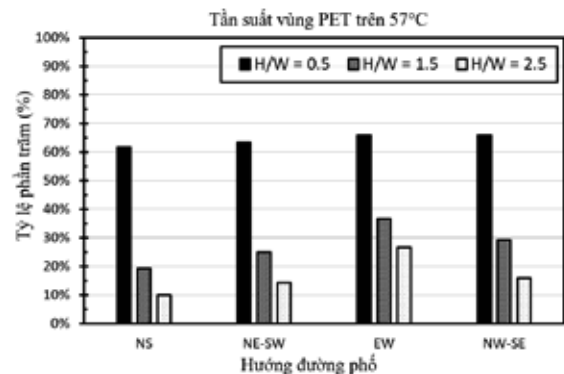


Hình 5. Biến thiên của PET theo thời gian và không gian của ba tỷ lệ hẻm núi theo hai hướng đường phố: (a) hướng Bắc-Nam và (b) hướng Đông-Tây.

Chỉ số nhiệt độ sinh lý tương đương (PET - Physiologically Equivalent Temperature) được sử dụng để đánh giá tác động của tỷ lệ hẻm núi và hướng đường phố lên điều kiện tiện nghi nhiệt ngoài

trời ở mỗi kịch bản. Việc phân tích PET được thực hiện dựa trên tần suất xuất hiện theo thời gian và không gian của vùng giá trị này trong hẻm núi. Dựa trên kết quả biến thiên của chỉ số PET, có thể thấy trong kịch bản hẻm núi thấp (H/W = 0,5), vùng có giá trị PET vượt 57°C chiếm tần suất rất lớn, lần lượt là 61,7% (N-S), 63,3% (NE-SW) và 65,8% (E-W và NW-SE) (Hình 5). Ngưỡng PET nóng này do đó được chọn làm mốc chính để đánh giá tác động của tỷ lệ hẻm núi và hướng đến vùng tiện nghi nhiệt ngoài trời.

Hình 6 thể hiện tần suất vùng PET trên 57°C khi gia tăng tỷ lệ hẻm núi ở bốn hướng đường phố. Gia tăng tỷ lệ hẻm núi cho mức giảm vùng PET nóng ở tất cả các hướng đường phố. Những tỷ lệ hẻm núi lớn mang lại hiệu quả giảm vùng PET nóng đáng kể. Trong đó, tỷ lệ hẻm núi cao nhất (H/W = 2,5) ghi nhận tần suất PET nóng thấp nhất, với giá trị lần lượt 10% (N-S), 14,2% (NE-SW), 26,7% (E-W) và 15,8% (NW-SE). Việc gia tăng chiều cao công trình giúp mở rộng vùng bóng đổ, giảm bức xạ trực tiếp từ mặt trời và cải thiện vùng PET nóng trong các hẻm núi. Mặc dù vậy, mức giảm vùng PET nóng không đồng đều giữa các mức gia tăng của tỷ lệ hẻm núi. Gia tăng từ tỷ lệ 0,5 lên 1,5 cho hiệu quả giảm tần suất PET nóng lớn nhất, với mức giảm vùng PET nóng trung bình lên đến 36,7%. Ngược lại, gia tăng từ tỷ lệ 1,5 lên 2,5 cho hiệu quả thấp hơn đáng kể, với mức giảm trung bình chỉ 10,8%.



Hình 6. Tần suất vùng PET trên 57°C ở bốn hướng đường phố của ba tỷ lệ hẻm núi

Giống với biến thiên vùng Tmrt nóng, vùng PET nóng ở hướng N-S cũng luôn duy trì giá trị thấp nhất ở mọi kịch bản tỷ lệ hẻm núi. Trong khi đó, vùng PET nóng ở hướng E-W luôn duy trì ở mức cao nhất ở tất cả các tỷ lệ hẻm núi. Thời gian xuất hiện vùng PET nóng cũng thay đổi ở mỗi hướng đường phố khác nhau. Ở mức tỷ lệ 1,5 và 2,5, vùng PET nóng ở hướng N-S luôn xuất hiện muộn hơn so với các hướng còn lại, lần lượt vào lúc 10:00 (H/W = 1,5) và 11:00 (H/W = 2,5); nhưng đồng thời, cũng kết thúc sớm hơn. Thời gian vùng PET nóng bao phủ phần lớn bề mặt đường ở hướng này cũng thay đổi tương đối ngắn, chỉ tập trung quanh mốc 12:00. Bóng đổ từ các công trình hai bên ở hướng đường phố này che phủ luân phiên trong suốt thời gian trong ngày, giúp bề mặt đường phố luôn được che chắn một phần vào buổi sáng và buổi chiều. Khác với sự xuất hiện muộn và kết thúc sớm của vùng PET nóng ở hướng N-S, vùng PET nóng ở hướng E-W hình thành sớm và kéo dài gần như suốt cả ngày, bắt đầu từ 8:00 và chỉ kết thúc trước 17:00. Ở hướng đường phố này, mặt đường hướng Nam chịu tác động mạnh và kéo dài bởi bức xạ mặt trời, khiến vùng PET nóng hầu như tập trung chủ yếu ở mặt hướng này. Thời gian vùng PET nóng bao phủ phần lớn bề mặt đường ở hướng này cũng kéo dài hơn, từ 11:00 đến 13:00. Ở hai hướng trung gian, bóng đổ từ công trình hai bên đường cũng luân phiên che chắn mặt đường giống như ở hướng N-S. Tuy

nhiên, dãy công trình theo hướng NE-SW cho phép ánh sáng mặt trời xâm nhập vào hẻm phố sớm hơn vào buổi sáng; ngược lại, công trình ở hướng NW-SE tạo ít bóng đổ hơn vào đầu giờ chiều. Thời gian bắt đầu vùng PET nóng xuất hiện sớm hơn ở hướng NE-SW và kết thúc cùng lúc so với hướng N-S. Trong khi đó, vùng PET nóng ở hướng NW-SE có xu hướng xuất hiện trễ hơn, nhưng kéo dài hơn vào buổi chiều.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này thực hiện đánh giá tác động của tỷ lệ hẻm núi và hướng đường phố lên tiện nghi nhiệt ngoài trời khu vực dân cư trong điều kiện khí hậu TP Đà Nẵng. Từ dữ liệu phân tích, nghiên cứu có một số kết quả đầu ra như sau. Tỷ lệ hẻm núi có ảnh hưởng đáng kể đến các chỉ số nhiệt trong hẻm phố tại Đà Nẵng, với giá trị thấp nhất được ghi nhận ở tỷ lệ hẻm núi cao nhất (2,5) và ngược lại. Đối với nhiệt độ không khí, tác động giảm nhiệt khi gia tăng tỷ lệ hẻm núi thường rõ rệt vào buổi trưa (11:00-13:00), giai đoạn bức xạ mặt trời trực tiếp lớn nhất trong ngày. Đối với nhiệt độ bức xạ trung bình và PET, việc gia tăng tỷ lệ hẻm núi giúp giảm tần suất xuất hiện vùng Tmrt và PET nóng ở tất cả các hướng phố.

Cùng với tỷ lệ hẻm núi, hướng đường phố cũng tác động đáng kể lên các chỉ số nhiệt trong các hẻm núi. Trong bốn hướng đường phố, hướng N-S được coi là hướng thuận lợi nhất cho tiện nghi nhiệt ngoài trời. Nhiệt độ không khí ở hướng đường phố này luôn duy trì ở mức thấp ở mọi kịch bản tỷ lệ hẻm núi. Vùng Tmrt và PET nóng ở hướng đường phố này có tần suất xuất hiện cũng ở mức tối thiểu, với thời gian bắt đầu muộn và kết thúc sớm hơn. Thời gian bất lợi nhất cho tiện nghi nhiệt ở hướng đường phố này chỉ diễn ra ngắn, quanh mốc 12:00, khi phần lớn bề mặt đường ghi nhận vùng PET nóng trong thời gian này. Trái ngược với hướng N-S, hướng E-W được coi là một hướng bất lợi nhất cho tiện nghi nhiệt ngoài trời. Nhiệt độ không khí luôn đạt giá trị cao trong tất cả các kịch bản tỷ lệ hẻm núi ở hướng đường phố này. Tần suất xuất hiện của các vùng Tmrt và PET nóng cũng ở mức tối đa, với thời điểm xuất hiện sớm nhất và kết thúc muộn nhất trong bốn hướng khảo sát. Hướng đường phố này do đó cần thêm các chiến lược thụ động khác như gia tăng cây xanh để cải thiện điều kiện nhiệt ngoài trời. Hai hướng trung gian (NE-SW và NW-SE) có nhiều đặc điểm tương đồng so với N-S. Vùng bóng đổ từ công trình hai bên ở hai hướng này cũng luân phiên che chắn bề mặt đường phố trong ngày. Tuy nhiên, ở hướng NE-SW, thời gian vùng PET nóng xuất hiện sớm hơn, nhưng kết thúc sớm; ngược lại, vùng PET nóng ở NW-SE tuy xuất hiện muộn hơn nhưng kéo dài hơn vào buổi chiều.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Cảnh, Đ. T. N., L. Dân, and V. N. Dương, "Đánh giá xu thế biến đổi của các yếu tố khí tượng thủy văn khu vực Quảng Nam - Đà Nẵng bằng phương pháp ước lượng phi tham số," *Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng*, pp. 8-13, 2021.
- [2]. Quyết định số 63/2023/QĐ-UBND, "Quy chế quản lý kiến trúc thành phố Đà Nẵng, ngày 28/12/2023," 2023.
- [3]. Quyết định số 359/QĐ-TTg, "Phê duyệt Điều chỉnh quy hoạch chung thành phố Đà Nẵng đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045," 2021.
- [4]. Abdollahzadeh, N. and N. Biloría, "Outdoor thermal comfort: Analyzing the impact of urban configurations on the thermal performance of street canyons in the humid subtropical climate of Sydney," *Frontiers of Architectural Research*, vol. 10, no. 2, pp. 394-409, 2021.
- [5]. Ali-Toudert, F. and H. Mayer, "Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate," *Build Environ*, vol. 41, no. 2, pp. 94-108, 2006.

[6]. Bruse, M. and H. Fleer, "Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model," *Environmental Modelling & Software*, vol. 13, no. 3-4, pp. 373-384, 1998.

[7]. Fong, C. S., N. Aghamohammadi, L. Ramakreshnan, N. M. Sulaiman, and P. Mohammadi, "Holistic recommendations for future outdoor thermal comfort assessment in tropical Southeast Asia: A critical appraisal," *Sustain Cities Soc*, vol. 46, p. 101428, 2019.

[8]. Huang, Z., B. Cheng, Z. Gou, and F. Zhang, "Outdoor thermal comfort and adaptive behaviors in a university campus in China's hot summer-cold winter climate region," *Build Environ*, vol. 165, p. 106414, 2019.

[9]. Lai, D., W. Liu, T. Gan, K. Liu, and Q. Chen, "A review of mitigating strategies to improve the thermal environment and thermal comfort in urban outdoor spaces," *Science of The Total Environment*, vol. 661, pp. 337-353, 2019.

[10]. Linh, N. H. K. and H. Van Chuong, "Assessing the impact of urbanization on urban climate by remote sensing perspective: A case study in Danang city, Vietnam," *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, vol. 40, no. 7W3, pp. 207-212, 2015.

[11]. Oke, T. R., "Street design and urban canopy layer climate," *Energy Build*, vol. 11, no. 1-3, pp. 103-113, 1988.

[12]. Opitz-Stapleton, S., L. Sabbag, K. Hawley, P. Tran, L. Hoang, and P. H. Nguyen, "Heat index trends and climate change implications for occupational heat exposure in Da Nang, Vietnam," *Clim Serv*, vol. 2-3, pp. 41-51, 2016.

Nghiên cứu tái phát triển khu vực đất nâu: Trường hợp khu vực phía Tây TP.HCM

Research on brownfield redevelopment: A case study of the Western area Ho Chi Minh City

> **THS.KTS THÁI ANH VŨ***, **PGS.TS TRỊNH TÚ ANH**

Viện Đô thị Thông minh và Quản lý (ISCM)

*Email: vuta@ueh.edu.vn

TÓM TẮT

Quá trình đô thị hóa nhanh chóng tại TP.HCM đã khiến nhiều khu công nghiệp (KCN), cơ sở sản xuất cũ tại các phường vùng ven, như phía Tây, bị bao bọc bởi khu dân cư, hình thành nên các khu vực “**đất nâu**”. Theo mạng lưới CABERNET, đất nâu được định nghĩa là: “*Những địa điểm bị bỏ hoang, không sử dụng đúng mục đích, có thể ô nhiễm theo thực tế hoặc tiềm ẩn rủi ro về ô nhiễm, chủ yếu nằm trong các khu đô thị đã phát triển và cần can thiệp để tái sử dụng có hiệu quả.*” Các khu vực này không chỉ gây ô nhiễm môi trường, xung đột về quy hoạch, mà còn sử dụng tài nguyên đất đai kém hiệu quả.

Nghiên cứu này nhằm phân tích thực trạng, phân loại và đề xuất các giải pháp tái phát triển các khu vực đất nâu tại phía Tây TP.HCM theo định hướng phát triển bền vững. Thông qua phương pháp phân tích hiện trạng và phỏng vấn chuyên gia, nghiên cứu đã xác định 5 khu vực đất nâu trọng điểm và phân loại theo mô hình A-B-C (dựa trên tiềm năng kinh tế và mức độ phức tạp trước khi tái phát triển). Kết quả nghiên cứu đề xuất một bộ giải pháp tích hợp về môi trường, quy hoạch, kinh tế - xã hội và chính sách, phù hợp với từng nhóm khu vực, nhằm biến các vùng đất nâu thành động lực phát triển mới, góp phần nâng cao chất lượng sống và bảo vệ môi trường cho toàn khu vực.

Từ khóa: Khu vực đất nâu, tái phát triển đô thị, phía Tây TP.HCM, đô thị hóa, phát triển bền vững, mô hình A-B-C.

ABSTRACT

Rapid urbanization in Ho Chi Minh City has led to many industrial zones and production facilities in peripheral wards-particularly in the western area-to become surrounded by residential neighborhoods, resulting in the emergence of brownfield sites. According to the CABERNET network, brownfield land is defined as “*Abandoned sites that are not being used for their intended purposes, which may be contaminated in reality or pose a potential risk of contamination, primarily located within developed urban areas and requiring intervention for beneficial reuse.*”, these areas not only generate environmental pollution and planning conflicts but also reflect inefficient land-use practices. This study aims to analyze the current situation, classify, and propose solutions for redeveloping brownfield areas in the western region of Ho Chi Minh City under the framework of sustainable development. Using site assessments and expert interviews, the research identifies five priority brownfield zones and categorizes them into A-B-C models based on economic potential and pre-redevelopment complexity. The findings present an integrated package of environmental, planning, socio-economic, and policy interventions tailored to each category, transforming brownfields into new growth engines that improve quality of life and safeguard the local environment.

Keywords: Brownfield sites, urban redevelopment, western Ho Chi Minh City, urbanization, sustainable development, A-B-C model.

1. GIỚI THIỆU

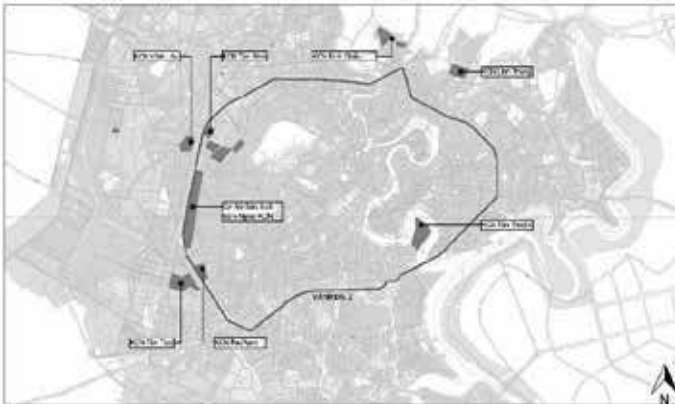
Quá trình đô thị hóa tại TP.HCM tạo ra các “khu vực đất nâu” chủ yếu do sự chuyển dịch cơ cấu kinh tế, di dời cơ sở sản xuất không đồng bộ. Cụ thể, việc chuyển từ công nghiệp nặng sang dịch vụ và công nghiệp chế biến nhẹ đã khiến nhiều khu đất công nghiệp trước đây nằm nội đô bị di dời nhưng chưa được tái sử dụng kịp thời, dẫn đến hoang hoá và xuống cấp. Đồng thời, hoạt động đầu cơ giữ đất chờ tăng giá đã kéo dài thời gian bỏ hoang, làm thiếu hụt nguồn lực cho công tác đánh giá, xử lý ô nhiễm và đầu tư hạ tầng (Phan Nhật Duy, 2020) (Phạm, T. N., & Phan, T. V., 2020). Quy hoạch đô thị phân mảnh, thiếu liên kết giữa khu dân cư, công nghiệp và không gian xanh càng khiến nhiều khu vực có quy mô nhỏ khó tiếp cận

đầu tư và dễ rơi vào cảnh bỏ không (Sở Tài nguyên & Môi trường TP.HCM, 2021).

Ngoài ra, áp lực mở rộng mạng lưới giao thông, cảng biển và khu logistics ra vùng ven đã đẩy các hoạt động sản xuất ra ngoại thành, tại các vị trí trung tâm cũ để lại lõi đất bị bỏ hoang chờ tái quy hoạch (Sở Tài nguyên & Môi trường TP.HCM, 2021). Thuật ngữ đất nâu (Brownfield) để nói những khu đất đã từng được phát triển cho mục đích công nghiệp hoặc thương mại nhưng sau đó bị bỏ hoang, sử dụng không đúng mức hoặc đang chờ tái phát triển.

Theo mạng lưới CABERNET, đất nâu được định nghĩa là “những địa điểm bị bỏ hoang, không sử dụng đúng mục đích, có thể ô nhiễm theo thực tế hoặc tiềm ẩn rủi ro về ô nhiễm, chủ yếu nằm

trong các khu đô thị đã phát triển và cần can thiệp để tái sử dụng có hiệu quả” (CABERNET, 2006). Cơ quan Bảo vệ Môi trường Hoa Kỳ (EPA, 2002) bổ sung rằng, khái niệm này còn bao hàm yếu tố phức tạp do sự hiện diện của các chất độc hại. Tùy theo từng khu vực, cách hiểu về đất nâu có thể khác nhau: tại châu Âu, khái niệm này nhấn mạnh đến bối cảnh công nghiệp hóa; trong khi đó, ở Bắc Mỹ, yếu tố ô nhiễm lại được đề cao hơn (Franz, 2006). Tuy nhiên, điểm chung trong định nghĩa của các quốc gia là đều nhấn mạnh nhu cầu can thiệp để hồi sinh không gian theo hướng bền vững.



Hình 1. Các khu công nghiệp nằm ở vùng ven TP.HCM

Các khu công nghiệp nằm ở phía Tây TP.HCM là một ví dụ điển hình cho thực trạng đất công nghiệp bị bao vây bởi đô thị hóa nhanh chóng. Kể từ khi được thành lập vào năm 2003, các phường Bình Hưng Hòa, Bình Tân, Bình Trị Đông và Tân Tạo thuộc quận Bình Tân (trước đây) đã chứng kiến tốc độ đô thị hóa và gia tăng dân số cơ học thuộc loại cao nhất thành phố.

Quá trình phát triển này đã khiến nhiều KCN, cụm công nghiệp và cơ sở sản xuất vốn từng nằm ở vùng ven bị đẩy sâu vào lõi đô thị. Điều đó gây ra hàng loạt hệ lụy nghiêm trọng như ô nhiễm môi trường, áp lực lên hạ tầng và xung đột trong quy hoạch sử dụng đất.

Việc tái phát triển các khu vực đất nâu này không chỉ là yêu cầu cấp thiết để giải quyết các vấn đề môi trường, xã hội mà còn là cơ hội để tái cấu trúc không gian đô thị, sử dụng hiệu quả quỹ đất và tạo ra các giá trị kinh tế mới. Vì vậy, nghiên cứu này được thực hiện nhằm mục đích:

- Đánh giá thực trạng và xác định các khu vực đất nâu tại khu vực các phường phía Tây TP.HCM.
- Phân loại các khu vực này để xác định mức độ ưu tiên và phương pháp tiếp cận phù hợp.
- Đề xuất các giải pháp chiến lược và lộ trình tái phát triển theo định hướng bền vững.

2. MÔ HÌNH VÀ BÀI HỌC KINH NGHIỆM TÁI PHÁT TRIỂN ĐẤT NÂU

2.1. Mô hình phân loại A-B-C

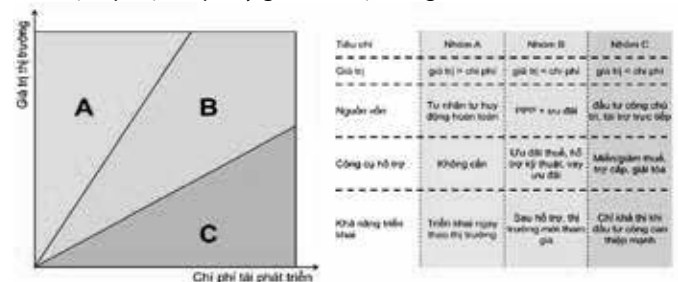
Mô hình A-B-C do mạng lưới CABERNET phát triển nhằm phân loại và đánh giá tiềm năng tái phát triển kinh tế của các khu đất nâu thông qua việc so sánh chi phí tái phát triển với giá trị đất kỳ vọng sau tái phát triển (CABERNET, 2006) (Doleželová, 2014). Trục ngang của mô hình biểu diễn chi phí tái phát triển, trục dọc là giá trị thị trường ước tính, xác định “khoảng cách chi phí và giá trị”. Khu đất nào có giá trị mới lớn hơn hoặc tương đương chi phí sẽ nằm trong vùng A, nếu giá trị chỉ thấp hơn chi phí rơi vào vùng B, còn giá trị chỉ đạt được khi có can thiệp công nghệ mạnh mẽ thì là vùng C.

- Khu vực nhóm A: giá trị sau tái phát triển lớn hơn chi phí để phát triển, dự án có thể tự huy động vốn tư nhân mà không cần hỗ

trợ công. Dự án thường do nhà đầu tư tư nhân triển khai ngay trên cơ sở lợi nhuận thị trường.

- Khu vực nhóm B: chi phí và giá trị sau phát triển tương đương hoặc sự chênh lệch không đáng kể, đòi hỏi khu vực đất nâu nhóm này cần các công cụ là khoản vay ngắn hạn hoặc quan hệ đối tác công-tư (PPP) để lấp khoảng trống tài chính. Sau khi cải thiện chi phí hoặc gia tăng giá trị (như ưu đãi thuế, hỗ trợ kỹ thuật), thị trường có thể tham gia tái phát triển.

- Khu vực nhóm C: khoảng cách chi phí lớn hơn giá trị sau tái phát triển, bất khả kinh tế với vốn tư nhân, chỉ có thể hồi sinh khi khu vực công hoặc chính quyền cấp thành phố đứng ra tài trợ trực tiếp hoặc áp dụng các công cụ pháp lý mạnh như miễn, giảm thuế đất, trợ cấp trực tiếp hay giải tỏa mặt bằng.



Hình 2. Mô hình phân loại A-B-C (Tổ chức CABERNET)

Nhờ vào mô hình A-B-C, chính quyền địa phương và các nhà đầu tư tư nhân có thể nhanh chóng xác định nhóm đất nâu theo mức độ ưu tiên và hình thức can thiệp phù hợp. Cụ thể, nhóm A gồm các khu vực đủ hấp dẫn để thu hút đầu tư tư nhân; nhóm B là những khu vực cần hợp tác công - tư với các cơ chế khuyến khích; trong khi nhóm C phải được xếp vào danh mục ưu tiên can thiệp của ngân sách công hoặc các cơ chế đặc biệt. Từ đó, chính quyền có thể điều chỉnh chính sách, kế hoạch tài chính và chiến lược tái phát triển cho phù hợp với từng nhóm.

2.2. Bài học kinh nghiệm

Để làm rõ cách thức và hiệu quả của việc tái phát triển quỹ đất nâu trong các bối cảnh địa lý, pháp lý và xã hội khác nhau, nghiên cứu lựa chọn bốn trường hợp điển hình quốc tế gồm Trento (Ý), Kavlinge (Thụy Điển) và Yokohama (Nhật Bản), đồng thời đối chiếu với trường hợp tại Việt Nam. Trento áp dụng công nghệ đánh giá kích bản đô thị; Kavlinge tích hợp hệ thống giao thông công cộng và không gian xanh; còn Yokohama triển khai quy hoạch đa chức năng trên khu vực đất lấn biển. Việc so sánh các mô hình này nhằm rút ra bài học thực tiễn cho quá trình tái phát triển đất nâu tại TP.HCM.

Kavlinge, đô thị cũ ở Tây Skane (Thụy Điển), đang tái phát triển đất nâu thành khu dân cư bền vững thông qua tích hợp giao thông công cộng và quy hoạch xanh (Hilläker, 2014). Chính quyền đặt mục tiêu tận dụng đất hiện hữu, tăng mật độ xây dựng và đảm bảo 80% cư dân tiếp cận xe buýt, tàu hỏa. Hai dự án tiêu biểu là Scan - chuyển lò mổ cũ thành khu đô thị xanh 1.300 căn hộ, và Barseback - tái cấu trúc nhà máy điện hạt nhân thành “thị trấn biển” đa chức năng. Scan cho thấy lợi ích của quy hoạch tích hợp và giao thông xanh, trong khi Barseback đối mặt thách thức chi phí phá dỡ và rủi ro môi trường. Cả hai nhấn mạnh vai trò của quy hoạch tổng thể, minh bạch tài chính và sự tham gia cộng đồng trong chuyển đổi đất nâu hiệu quả.

Trento, thành phố 120.000 dân bên sông Adige, đã triển khai quy trình tái phát triển 13 khu đất nâu (tổng 44 ha) nhằm ngăn chặn mở rộng đô thị và cải thiện chất lượng sống (Pedrotti & Gardi, 2018). Các khu vực được xác định và phân loại theo vị trí, quy mô, mức suy thoái và khoảng cách đến dân cư. Nhóm quy hoạch xây dựng kịch bản chuyển

đổi thành công viên hoặc không gian công cộng, thu thập dữ liệu hạ tầng, mật độ dân cư và khả năng tiếp cận giao thông. Các buổi hội thảo liên ngành xác định tiêu chí ưu tiên như chi phí, lợi ích cộng đồng, khả năng duy trì không gian xanh. Nghiên cứu áp dụng phân tích đa tiêu chí theo ba hướng chính sách (người cao tuổi, trẻ em, cân bằng chung). Quy trình này nhấn mạnh vai trò của phân loại chính xác, hợp tác liên ngành và minh bạch khi ra quyết định, với tiềm năng áp dụng cho các đô thị gặp vấn đề đất nâu tương tự.

Yokohama là điển hình về tái phát triển đất nâu bài bản, bắt đầu từ việc xác định và phân loại các KCN cũ và khu vực đất lấn biển. Dự án nổi bật là Minato Mirai 21 (260 ha, khởi động năm 1983), phối hợp công - tư để xử lý ô nhiễm, xây dựng hạ tầng và bảo tồn di tích công nghiệp. Kanazawa (660 ha) áp dụng mô hình tương tự, chú trọng sản xuất sạch và kiểm soát chất thải. Cả hai đều tổ chức các buổi hội thảo với cộng đồng và chuyên gia nhằm đảm bảo minh bạch tài chính, hiệu quả kỹ thuật và duy trì không gian công cộng. Nhờ đó, Minato Mirai 21 trở thành trung tâm thương mại - văn hóa lớn, còn Kanazawa là khu công nghiệp hiện đại, thân thiện môi trường, góp phần vào tăng trưởng bền vững cho thành phố.

Royal City và Times City, hai khu đô thị mới tại Hà Nội, được hình thành từ việc tái phát triển các khu đất công nghiệp cũ thành khu dân cư - thương mại hiện đại, tích hợp cả hạ tầng giao thông và tiện ích đô thị đồng bộ. Royal City xây dựng trên nền Nhà máy Cơ khí Hà Nội tại số 72A Nguyễn Trãi, còn Times City thay thế khu vực Nhà máy Dệt 8/3 và Hanosimex ở Minh Khai. Cả hai dự án đều hướng tới mục tiêu tận dụng hiệu quả quỹ đất nội đô, gia tăng mật độ sử dụng hợp lý, đồng thời cải thiện cảnh quan và chất lượng sống trong khu vực đô thị. Royal City được phát triển như một khu đô thị thu nhỏ, bao gồm hơn 4.000 căn hộ, trung tâm thương mại, công viên nước và sân trượt băng trong nhà. Trong khi đó, Times City phát triển theo ba giai đoạn, với hơn 20 tòa căn hộ, cùng hệ thống tiện ích bao gồm bệnh viện Vinmec, trường học Vinschool, quảng trường nhạc nước và hồ điều hòa. Về hạ tầng kết nối, cả hai dự án đều tiếp cận thuận tiện với mạng lưới giao thông chính: Times City nằm gần các tuyến đường vành đai và cầu Vĩnh Tuy, trong khi Royal City tiếp giáp trực giao thông Nguyễn Trãi - Nguyễn Xiển.

3. TỔNG QUAN VÀ HIỆN TRẠNG CÁC KHU VỰC ĐẤT NÂU

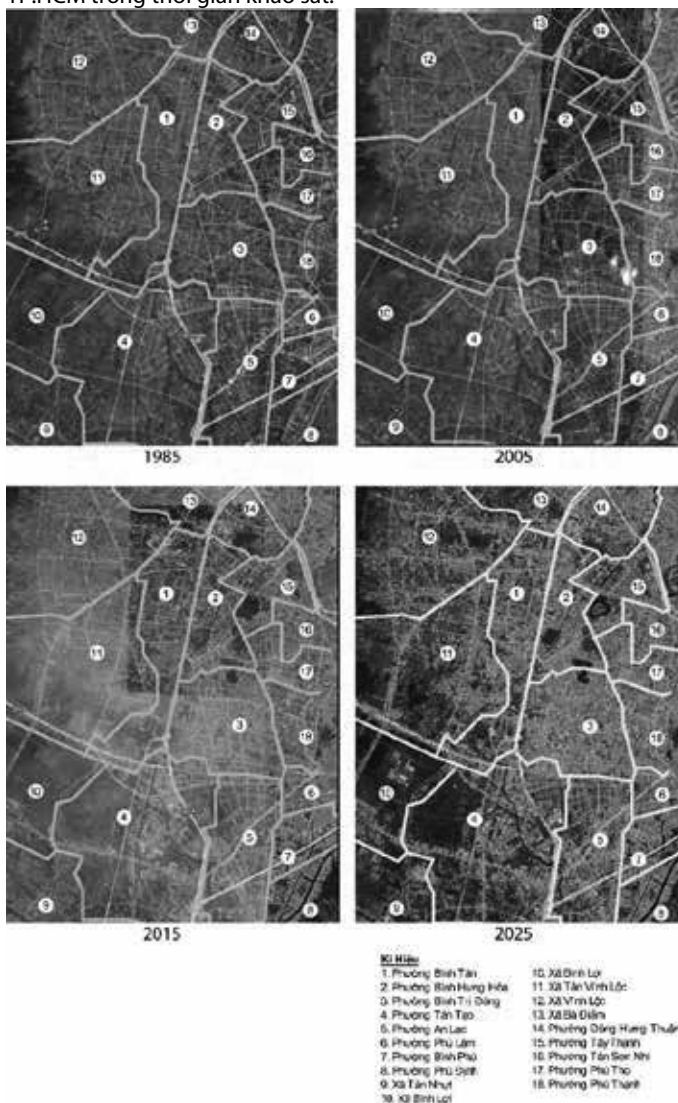
3.1. Tổng quan khu vực phía Tây TP.HCM

Khu vực phía Tây TP.HCM từng là vùng ven đô với hạ tầng hạn chế, nhưng đã chuyển mình mạnh mẽ về kinh tế và quy hoạch đô thị. Nhờ vị trí chiến lược và kết nối giao thông thuận lợi, nơi đây ngày càng thu hút đầu tư vào công nghiệp, dịch vụ và nhà ở. Trong tương lai, khu vực này sẽ tiếp tục được quy hoạch toàn diện, trở thành động lực tăng trưởng mới của thành phố, với tốc độ đô thị hóa nhanh và diện mạo đô thị ngày càng hiện đại.

Khu vực phía Tây TP.HCM đang chứng kiến tốc độ gia tăng dân số nhanh do dòng di cư từ các tỉnh lân cận. Kinh tế khu vực chuyển dịch mạnh mẽ sang thương mại, dịch vụ và công nghiệp, được hỗ trợ bởi hệ thống giao thông liên vùng ngày càng hoàn thiện. Tuy nhiên, tiềm năng quỹ đất và lao động chưa được khai thác hiệu quả, trong khi áp lực từ dân cư và sản xuất gây quá tải hạ tầng, suy giảm chất lượng môi trường sống đặc biệt về không khí, tiếng ồn và tài nguyên nước. Quá trình đô thị hóa đã làm thay đổi sâu sắc cảnh quan, đặt ra yêu cầu cấp thiết về quy hoạch bền vững.

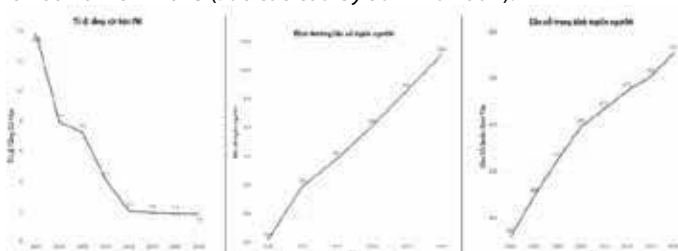
Trong quá trình thực hiện nghiên cứu, các phường Bình Hưng Hòa, Bình Tân, Bình Trị Đông và Tân Tạo vốn nằm trên địa bàn quận Bình Tân (trước đây) được xem là các khu vực trọng tâm của khu vực phía Tây TP.HCM. Do đó, phần lớn số liệu sử dụng trong nghiên cứu được lấy từ nguồn dữ liệu liên quan đến quận Bình Tân. Mặc dù hiện nay đơn vị hành chính đã có sự điều chỉnh, việc sử dụng số liệu quận

Bình Tân vẫn bảo đảm tính đại diện và phản ánh chính xác hiện trạng kinh tế - xã hội, môi trường và hạ tầng của khu vực phía Tây TP.HCM trong thời gian khảo sát.



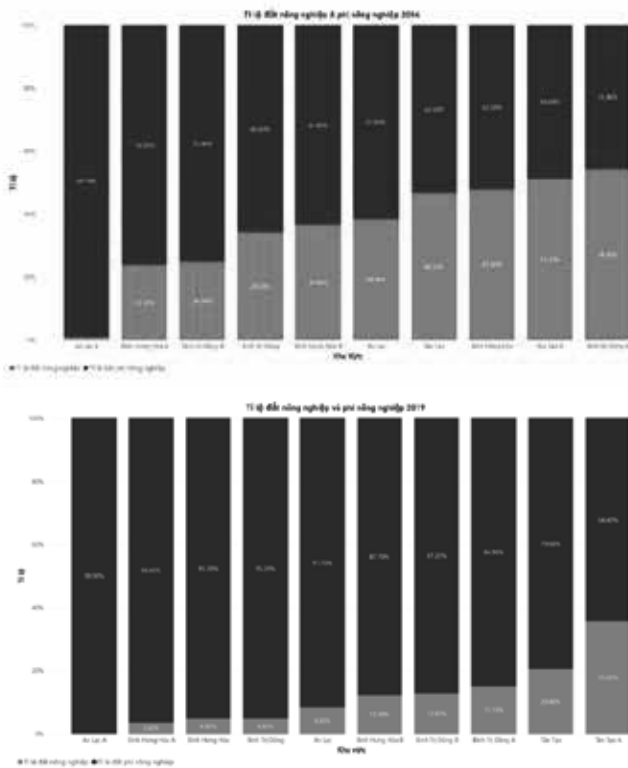
Hình 3. Quá trình đô thị hóa từ 1985 - 2025

Dân số năm 2018, dân số của khu vực các phường phía Tây thành phố là 745 nghìn người, mật độ dân số 14.494 người/km². Dự báo đến năm 2030, dân số sẽ đạt mốc 1054 nghìn người, tăng 1,4 lần so với năm 2018 (Báo cáo của Ủy ban nhân dân).



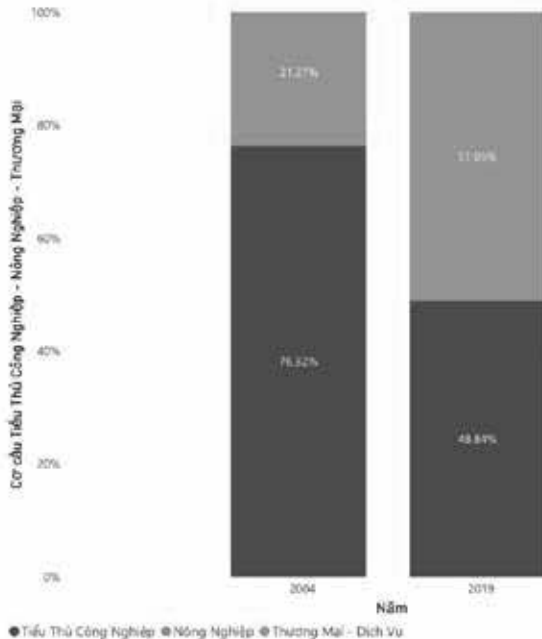
Hình 4. Tỷ lệ, định hướng và dân số trung bình

Đến năm 2020, diện tích đất công nghiệp và tiểu thủ công nghiệp trên địa bàn đạt khoảng 760 ha, được chia thành ba nhóm chính: đất khu công nghiệp, đất cụm công nghiệp và đất xây dựng các cơ sở công nghiệp, tiểu thủ công nghiệp.



Hình 5. Tỷ lệ đất nông nghiệp và phi nông nghiệp 2004 & 2019

Cơ sở hạ tầng tiếp tục cải tạo, nâng cấp các tuyến đường trọng yếu. Đường sắt: Định hướng xây dựng tuyến đường sắt đô thị nhằm giảm bớt áp lực giao thông trên khu vực (*Báo cáo của Ủy ban nhân dân*).

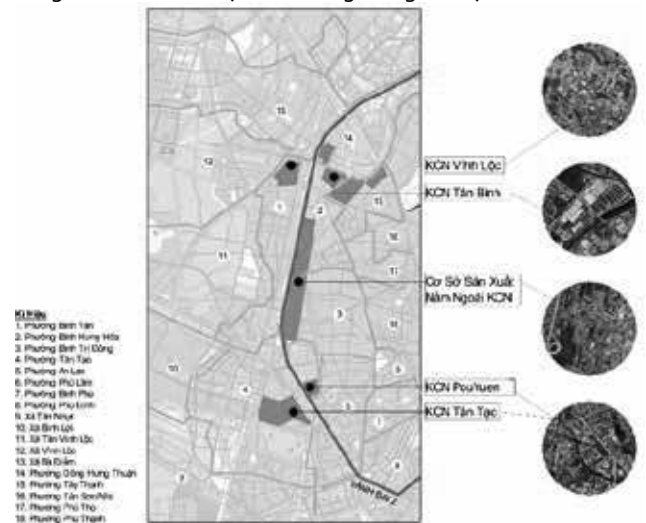


Hình 6. Cơ cấu ngành nghề

3.2. Hiện trạng các khu vực được xác định đất nâu

Khu vực phía Tây TP.HCM là điểm tập trung công nghiệp lớn của thành phố, với hàng chục KCN và hàng nghìn doanh nghiệp đang hoạt động, góp phần quan trọng vào tăng trưởng kinh tế và giải quyết việc làm. Tuy nhiên, sự phát triển nhanh chóng cũng kéo theo áp lực đáng kể lên hạ tầng, môi trường và quy hoạch đô thị. Điều

này đặt ra yêu cầu cần có các chiến lược quản lý và chuyển đổi phù hợp, nhằm đảm bảo sự phát triển bền vững, cân bằng giữa tăng trưởng kinh tế và bảo vệ môi trường trong dài hạn.



Hình 7. Hiện trạng các khu vực đất nâu

KCN Vĩnh Lộc ở phía Tây TP.HCM, với diện tích 207 ha, hoạt động từ năm 1997 đến 2047. Trong đó, 137 ha dành cho xây dựng nhà máy, xí nghiệp (đã cho thuê 85,67%), còn lại 70 ha phục vụ hạ tầng kỹ thuật, cây xanh và dịch vụ. KCN tập trung nhiều ngành như nhựa, điện - điện tử, may mặc, thực phẩm, gỗ mỹ nghệ....Tuy nhiên, hoạt động sản xuất phát sinh nhiều vấn đề môi trường: nước thải vượt chuẩn COD, BOD, khí thải từ xi mạ, dung môi, bụi vải làm chất lượng không khí vượt ngưỡng (bụi 0,32 mg/m³, tiếng ồn 80-83 dBA). Tiếng ồn và độ rung chủ yếu đến từ máy móc, vận chuyển vật liệu. Chất thải rắn từ sinh hoạt và sản xuất, gồm hóa chất và bùn thải, gây áp lực lên hệ thống hạ tầng và môi trường đô thị (*Báo cáo giám sát môi trường KCN Vĩnh Lộc, 2019*).

KCN Tân Tạo tại phía Tây TP.HCM có diện tích 444 ha và hoạt động trong 50 năm, gồm khu hiện hữu và khu mở rộng. Đây là trung tâm sản xuất nhiều ngành như cơ khí, điện tử, dệt may, thực phẩm, vật liệu xây dựng... nhưng công nghệ lạc hậu, thâm dụng lao động và phát sinh ô nhiễm cao. Nước thải từ các ngành giấy, thực phẩm, xi mạ và dệt nhuộm vượt chuẩn, khí thải chứa bụi mịn, dung môi và hơi độc, còn chất thải rắn chưa được phân loại hiệu quả. KCN cũng đang đối mặt với tình trạng lấn chiếm ngoài ranh quy hoạch, vi phạm hành lang cây xanh. Đáng chú ý, lượng bụi phát thải đạt 270,18 tấn/năm, chiếm 14,3% tổng bụi hộ gia đình TP.HCM, vượt mức trung bình quốc gia. Những vấn đề này cho thấy KCN cần nâng cấp công nghệ và quy hoạch lại theo hướng công nghiệp xanh, bền vững (*Ban Quản lý các khu chế xuất và công nghiệp TP.HCM*).

Cụm công nghiệp Pouyuen ở phía Tây TP.HCM (gần 80 ha) do Công ty TNHH Pouyuen Việt Nam đầu tư từ năm 1996, với khoảng 56.000 lao động. Đây là tổ hợp sản xuất giày thể thao lớn, đóng góp vào xuất khẩu và giải quyết việc làm, đặc biệt cho lao động nữ từ nông thôn. Tuy nhiên, cụm này cũng gặp nhiều thách thức: năng suất lao động thấp, thu nhập hạn chế, điều kiện làm việc còn bất cập. Môi trường bị ảnh hưởng bởi khí thải từ máy móc, xe vận chuyển, gây AQI vượt ngưỡng, đặc biệt giờ cao điểm. Các hoạt động mạ, nhuộm, giặt công nghiệp tạo ra lượng lớn chất thải rắn và nước thải. Về mặt xã hội, mặc dù Pouyuen có cung cấp một số dịch vụ y tế và giáo dục, nhưng hoạt động của nhà máy vẫn dẫn đến tình trạng quá tải dân cư và giao thông, đồng thời làm phát sinh các vấn đề về an ninh trật tự. Bên cạnh việc thúc đẩy quá trình đô thị hóa vùng ven, sự phát triển này cũng gây áp lực đáng kể lên hệ thống hạ tầng, chất lượng môi trường sống và tạo ra tiếng ồn ảnh hưởng đến

cư dân lân cận.

KCN Tân Bình tại phía Tây TP.HCM, thành lập năm 2012 với diện tích 128,7 ha, chủ yếu phục vụ công nghiệp và dịch vụ hỗ trợ. Chỉ 13,3% diện tích (17,13 ha) dành cho thuê sản xuất, phần còn lại dùng cho hạ tầng kỹ thuật và khu dân cư phụ trợ. Nhờ vị trí gần sân bay Tân Sơn Nhất, Quốc lộ 1A nên khu công nghiệp có lợi thế về kết nối giao thông và thu hút doanh nghiệp. Tuy nhiên, mỗi năm KCN phát sinh khoảng 6.000 m³ chất thải nguy hại và 1.200.000 m³ chất thải không nguy hại, gây ô nhiễm không khí, nước mặt và nước ngầm. Hoạt động sản xuất và vận chuyển tạo thêm tiếng ồn, ùn tắc và lượng rác thải sinh hoạt lớn, đặt áp lực lên hạ tầng và công tác quản lý môi trường tại khu vực.

Các cơ sở sản xuất ven Quốc lộ 1A thuộc phường Bình Trị Đông tạo nên một cụm sản xuất và thương mại dày đặc với hơn 36.000 cơ sở (17.000 doanh nghiệp, 19.000 hộ sản xuất - kinh doanh), trong đó 80% hoạt động không phù hợp quy hoạch (*Ủy ban nhân dân quận Bình Tân, 2021*). Sự phát triển này kéo theo hàng loạt vấn đề môi trường: chỉ số chất lượng không khí AQI trung bình đạt 156 (qua ngưỡng 100) do khói bụi từ sản xuất và giao thông, khiến khu vực trở thành một trong những "điểm nóng" ô nhiễm của TP.HCM (Sở Tài nguyên và Môi trường TP.HCM, 2020), đồng thời phát sinh khoảng 1.200 tấn rác thải công nghiệp mỗi ngày, chiếm gần 20% tổng lượng rác công nghiệp thành phố, gây áp lực lớn lên hệ thống thu gom và xử lý. Ô nhiễm không chỉ ảnh hưởng trực tiếp đến sức khỏe của cư dân và người lao động mà còn làm giảm giá trị bất động sản, giảm tuổi thọ hạ tầng và suy giảm chất lượng sản phẩm công nghiệp. Đánh giá chung cho thấy nếu không được kiểm soát chặt, các cơ sở sản xuất xen cài trong khu dân cư sẽ:

- Gia tăng ô nhiễm không khí, tiếng ồn và chất thải độc hại.
- Chiếm dụng quỹ đất đô thị có thể dành cho không gian xanh, giải trí hoặc nhà ở.
- Tạo áp lực lưu thông, ùn tắc giao thông.
- Tiêu thụ lớn tài nguyên, làm giảm khả năng phục hồi và tính bền vững của hệ sinh thái đô thị.

Qua phân tích trên, có thể thấy nhiều KCN ở phía Tây TP.HCM mang các đặc điểm điển hình của đất nâu như hạ tầng lạc hậu, tình trạng ô nhiễm và quỹ đất chưa được khai thác hiệu quả. Tuy nhiên, phần diện tích còn chưa cho thuê, hệ thống giao thông đang dần cải thiện, cùng với xu hướng chuyển đổi sang các ngành công nghệ cao đã mở ra cơ hội tái phát triển các khu vực này. Việc kết hợp xử lý ô nhiễm môi trường với quy hoạch lại theo hướng đa chức năng, đồng thời khuyến khích đầu tư vào công nghệ sạch, sẽ giúp chuyển hóa các "điểm nóng" công nghiệp thành không gian sinh thái - logistics xanh. Đây là một giải pháp quan trọng, góp phần vào mục tiêu phát triển đô thị bền vững và nâng cao giá trị sử dụng đất tại TP.HCM.

4. PHÂN LOẠI ĐẤT NÂU

Mô hình A-B-C của tổ chức CABERNET phân loại đất nâu theo ba yếu tố: sức hấp dẫn kinh tế, rào cản môi trường và bối cảnh địa phương. Sức hấp dẫn phản ánh tiềm năng đầu tư và hiệu quả kinh tế, rào cản môi trường liên quan đến mức độ ô nhiễm và chi phí khắc phục, còn bối cảnh địa phương gồm quy hoạch, hạ tầng và nhu cầu xã hội. Tác giả xây dựng bộ tiêu chí định lượng và định tính để đo lường từng yếu tố, từ đó khảo sát ý kiến chuyên gia nhằm xác định trọng số. Bộ tiêu chí được xây dựng dựa trên ba nhóm yếu tố chính: (1) Khả năng thực thi, (2) Khả năng kinh tế, và (3) Đóng góp cho phát triển bền vững.

- Khả năng thực thi: Đánh giá mức độ thuận lợi về vị trí và hạ tầng kết nối (giao thông, metro, trục vành đai), mức độ phù hợp với quy hoạch chung, tình trạng ô nhiễm môi trường và quy mô - tính tập trung của quyền sở hữu đất (ít hay nhiều chủ sở hữu).

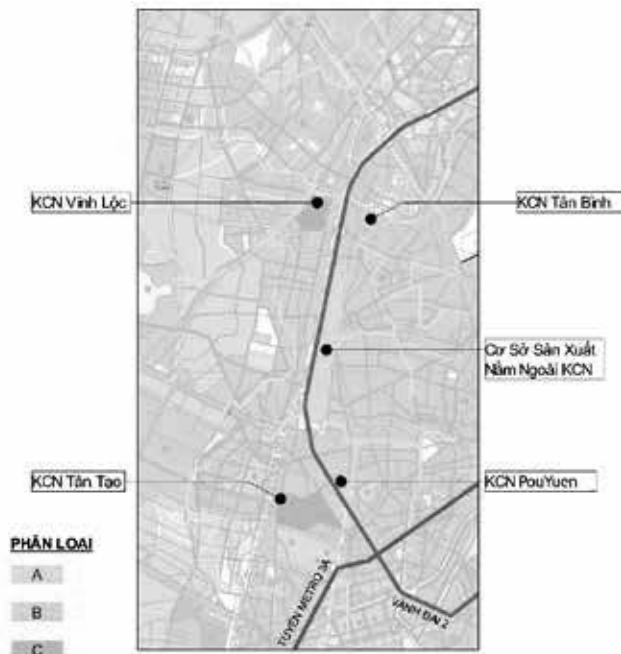
- Khả năng kinh tế: Xem xét sức hấp dẫn thị trường sau khi tái phát triển, bao gồm giá trị đất và lợi ích kinh tế dự kiến; so sánh chi phí xử lý, xây dựng, vận hành với tiềm năng sinh lợi; dự báo lợi nhuận và khả năng thu hút nhà đầu tư.

- Đóng góp cho phát triển bền vững: Đánh giá tác động tích cực đến môi trường (cải thiện chất lượng không khí, nước, đất), hiệu quả sử dụng không gian đô thị (giảm áp lực mở rộng tràn lan), lợi ích xã hội - văn hóa (tạo việc làm chất lượng, nâng cao đời sống cộng đồng) và khả năng hài hòa với cảnh quan, hạ tầng hiện hữu.

Mỗi tiêu chí được đo lường bằng cả chỉ số định lượng và định tính, chấm điểm theo các mức cao - trung bình - thấp để so sánh. Từ đó phân loại khu vực vào nhóm A, B hoặc C theo mô hình A-B-C của CABERNET, phục vụ xác định mức ưu tiên và phương án tái phát triển. Kết quả phân loại các khu đất nâu thành ba nhóm ưu tiên:

- Nhóm A: hấp dẫn cao, rào cản thấp
- Nhóm B: mức trung bình
- Nhóm C: hấp dẫn thấp, rào cản cao

Sau khi áp dụng bộ tiêu chí đánh giá cho từng khu vực đất nâu ở phía Tây TP.HCM, tác giả đã tổng hợp được bảng điểm phân loại như sau:



Hình 8. Phân loại các khu vực đất nâu

- KCN Vinh Lộc: 3 tiêu chí đạt mức cao, 5 tiêu chí trung bình, 2 tiêu chí thấp. Điều này cho thấy khu vực có một số tiềm năng nhất định, nhưng vẫn tồn tại nhiều yếu tố trung tính và hạn chế khiến việc tái phát triển cần lộ trình dài hạn.

- KCN Tân Tạo: kết quả tương tự Vinh Lộc với 3 cao, 5 trung bình, 2 thấp, phản ánh mức độ hấp dẫn không quá nổi trội và vẫn chịu nhiều rào cản về chi phí, công nghệ và môi trường.

- Cụm CN Pouyuen: nổi bật hơn với 7 cao, chỉ 2 trung bình và 1 thấp, chứng tỏ tiềm năng kinh tế - xã hội và giá trị đất sau chuyển đổi rất lớn, có thể thu hút mạnh nhà đầu tư tư nhân khi tái phát triển.

- KCN Tân Bình: 5 cao, 3 trung bình, 2 thấp, phản ánh mức độ khả thi khá, song vẫn cần hợp tác công - tư để xử lý hạ tầng và môi trường.

- Các cơ sở sản xuất ven Quốc lộ 1A: dẫn đầu với 8 cao, không có tiêu chí trung bình, chỉ 2 thấp. Kết quả này khẳng định đây là khu vực có vị trí chiến lược, giá trị đất cao, khả năng sinh lời vượt trội và cần ưu tiên tái phát triển sớm.

Dựa trên bảng khảo sát từ chuyên gia, tác giả đề xuất các khu vực đất nâu thuộc các nhóm khác nhau như sau:

- **Nhóm A:** Cụm công nghiệp Pouyuen, Các cơ sở sản xuất ven QL 1A. Những khu vực này cần được ưu tiên tái phát triển đất nâu để tạo ra giá trị kinh tế và môi trường.
- **Nhóm B:** KCN Tân Bình, khu vực này cần được xem xét tái phát triển đất nâu khi có cơ hội và nguồn lực.
- **Nhóm C:** KCN Vĩnh Lộc, KCN Tân Tạo. Những khu vực này không cần thiết phải tái sử dụng đất nâu trong thời gian ngắn hạn.

5. KẾT QUẢ VÀ ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP

5.1. Kết quả nghiên cứu

Trong khuôn khổ nghiên cứu, dựa trên phân tích đặc điểm công nghệ, mức độ ô nhiễm, vị trí địa lý và áp lực hạ tầng - xã hội, đã xác định năm nhóm khu vực đất nâu điển hình tại khu vực phía Tây TP.HCM:

- **KCN Vĩnh Lộc:** Công nghệ cũ, có dấu hiệu ô nhiễm nước và không khí, một số cơ sở sản xuất nằm ngoài ranh giới quy hoạch.
- **KCN Tân Tạo:** Tương tự KCN Vĩnh Lộc, công nghệ lạc hậu, phát thải bụi cao, thâm dụng lao động, nằm gần các trục giao thông chính.
- **Cụm CN Pouyuen:** Mật độ lao động cực lớn (~56.000 người), gây áp lực lớn lên hạ tầng giao thông và xã hội, nguy cơ về môi trường và dịch tễ.
- **KCN Tân Bình:** Chủ yếu là kho bãi, logistic, gây ô nhiễm không khí từ hoạt động vận tải và phát sinh chất thải rắn.
- **Các cơ sở sản xuất ven Quốc lộ 1A:** Hơn 36.000 cơ sở xen cài trong khu dân cư, phần lớn không phù hợp quy hoạch, gây ô nhiễm cục bộ và mất mỹ quan đô thị.

Dựa trên kết quả đánh giá hiện trạng & khảo sát ý kiến chuyên gia, các khu vực trên được phân loại như sau:

NHÓM A (Ưu tiên cao, khả năng sinh lời lớn):

- Cụm công nghiệp Pouyuen
- Các cơ sở sản xuất ven Quốc lộ 1A

Đặc điểm chung: Các khu vực này nằm ở vị trí đắc địa, có giá trị đất cao sau khi chuyển đổi. Việc di dời hoặc tái cấu trúc mang lại lợi ích kinh tế - xã hội lớn, đủ sức hấp dẫn các nhà đầu tư tư nhân.

NHÓM B (Ưu tiên trung bình, cần hợp tác công-tư):

- KCN Tân Bình

Đặc điểm chung: Khu vực có tiềm năng phát triển nhưng cũng tồn tại các rào cản nhất định về chi phí cải tạo hạ tầng và xử lý môi trường, cần sự chung tay của nhà nước và doanh nghiệp.

NHÓM C (Ưu tiên dài hạn, nhà nước chủ đạo):

- KCN Vĩnh Lộc
- KCN Tân Tạo

Đặc điểm chung: Đây là các KCN quy mô lớn, việc di dời hoặc chuyển đổi toàn bộ rất tốn kém và phức tạp. Giá trị kinh tế hiện tại không đủ bù đắp chi phí. Do đó, cần có lộ trình dài hạn do nhà nước dẫn dắt để chuyển đổi dần sang mô hình KCN sinh thái, công nghệ cao.

5.2. Đề xuất giải pháp tái phát triển

Tác giả tập trung xây dựng các giải pháp tích hợp, dựa trên kết quả phân loại ưu tiên các nhóm khu vực đất nâu A, B và C. Mỗi nhóm giải pháp sẽ kết hợp các biện pháp về công nghệ, chính sách, tài chính và quy hoạch không gian, nhằm khắc phục điểm yếu, phát huy thế mạnh và hướng đến mục tiêu phát triển bền vững. Các nhóm giải pháp tích hợp được đề xuất:

Nhóm A (Pouyuen, Ven QL 1A)	Nhóm B (KCN Tân Bình)	Nhóm C (Vĩnh Lộc, Tân Tạo)
Nhóm giải pháp môi trường		
Giao trách nhiệm xử lý môi trường cho nhà đầu tư tư nhân thông qua các cam kết ràng buộc. Áp dụng các giải pháp dựa vào thiên nhiên (hạ tầng xanh, công viên) để tăng giá trị đất.	Hợp tác công-tư để đầu tư hệ thống xử lý chất thải rắn tập trung, kiểm soát khí thải từ hoạt động logistic, tăng cường mảng xanh.	Nhà nước đầu tư, yêu cầu nâng cấp toàn bộ hệ thống xử lý nước thải, khí thải. Chuyển đổi sang mô hình KCN sinh thái, kinh tế tuần hoàn. Kiểm soát chặt chẽ các cơ sở ngoài ranh.
Nhóm giải pháp quy hoạch		
Lập quy hoạch 1/500 để chuyển đổi chức năng sang khu đô thị phức hợp (dân cư, thương mại, dịch vụ). Di dời các cơ sở sản xuất nhỏ lẻ vào các KCN tập trung.	Bổ sung quy hoạch hạ tầng giao thông kết nối, cải thiện các nút giao thông. Tăng cường không gian công cộng và tiện ích cho khu vực.	Bổ sung mảng xanh cách ly. Lập quy hoạch dài hạn để chuyển đổi dần sang các ngành công nghệ cao, ít thâm dụng lao động. Di dời các hộ dân bị ảnh hưởng bởi ô nhiễm.
Nhóm giải pháp kinh tế - xã hội		
Tạo ra các dự án nhà ở, trung tâm thương mại, việc làm trong ngành dịch vụ. Tăng cường an ninh trật tự sau khi tái cấu trúc. Thu hút sự tham gia của cộng đồng vào quy hoạch không gian công cộng.	Phát triển các dịch vụ logistic chất lượng cao. Cải thiện điều kiện sống và làm việc cho người lao động.	Khuyến khích doanh nghiệp đầu tư vào công nghệ cao, các ngành có giá trị gia tăng lớn. Đào tạo lại nguồn nhân lực để đáp ứng yêu cầu mới.
Nhóm giải pháp chính sách		
Ban hành cơ chế, chính sách ưu đãi (thuế, tín dụng) để thu hút đầu tư tư nhân. Có chính sách bồi thường, hỗ trợ di dời và giải quyết việc làm thỏa đáng cho các cơ sở và người lao động bị ảnh hưởng.	Xây dựng khung pháp lý cho mô hình hợp tác công-tư (PPP) trong lĩnh vực cải tạo môi trường và hạ tầng. Cung cấp hỗ trợ kỹ thuật và tài chính ban đầu.	Ban hành các chính sách ưu đãi đặc thù (thuế, tiền thuê đất) cho các doanh nghiệp đầu tư vào công nghệ xanh. Sử dụng ngân sách nhà nước để đầu tư cho các hạng mục môi trường và hạ tầng mang tính nền tảng.
Nhóm giải pháp công nghệ		
Áp dụng GIS và các công cụ mô phỏng để lập quy hoạch tối ưu. Sử dụng các công nghệ chứng chỉ xây dựng xanh (LEED, LOTUS) trong các dự án mới.	Sử dụng công nghệ để quản lý giao thông thông minh, tối ưu hóa chuỗi cung ứng nhằm giảm phát thải.	Áp dụng công nghệ giám sát môi trường tự động tại nguồn. Nghiên cứu và chuyển giao các công nghệ sản xuất sạch hơn.

5.3. Đề xuất lộ trình thực hiện

- **Giai đoạn 2025-2030 (Ưu tiên Nhóm A):** Khảo sát, đánh giá chi tiết. Lập quy hoạch và xây dựng cơ chế chính sách để kêu gọi đầu tư. Bắt đầu triển khai các dự án di dời, giải phóng mặt bằng.

- **Giai đoạn 2030-2035 (Triển khai Nhóm A & B):** Triển khai các dự án tái phát triển tại Nhóm A. Bắt đầu các dự án PPP tại Nhóm B để nâng cấp hạ tầng.

- **Giai đoạn sau 2035 (Tập trung Nhóm C):** Thực hiện kế hoạch dài hạn, chuyển đổi mô hình hoạt động của các KCN lớn theo hướng công nghệ cao và bền vững.

6. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã làm rõ vấn đề đất nâu tại khu vực phía Tây TP.HCM, tập trung vào bốn phường: Bình Hưng Hòa, Bình Tân, Bình Trị Đông và Tân Tạo, nơi hiện diện nhiều dạng đất công nghiệp cũ và các cụm sản xuất xen kẽ trong lòng đô thị. Việc áp dụng mô hình phân loại A-B-C giúp xác định mức độ ưu tiên can thiệp cũng như đặc điểm xử lý phù hợp cho từng khu vực, làm cơ sở định hướng cho các chiến lược tái phát triển hiệu quả hơn.

Trên cơ sở đó, nhóm giải pháp tích hợp được đề xuất bao gồm: xử lý môi trường, cải tạo cảnh quan, ban hành chính sách khuyến khích đầu tư, quy hoạch đa chức năng và tăng cường năng lực quản lý đô thị. Những giải pháp này nhằm hướng tới việc cải thiện chất lượng không khí, nước và đất; đồng thời giảm áp lực lên hạ tầng hiện hữu và thúc đẩy hình thành các khu chức năng phát triển bền vững.

Nếu được triển khai hiệu quả, quá trình tái phát triển đất nâu sẽ từng bước chuyển hóa khu vực phía Tây TP.HCM thành mô hình công nghiệp sinh thái kết hợp đô thị thông minh. Điều này không chỉ góp phần định hình diện mạo phát triển mới cho thành phố, mà còn tạo tiền đề mở rộng mô hình ra các đô thị khác trên cả nước.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tài liệu trong nước

- [1]. Cục Thống kê TP.HCM (2019), Thực trạng dân số qua tổng điều tra dân số và nhà ở năm 2019 TP.HCM.
- [2]. Nguyễn Hữu Đoàn (2019), Bài giảng đô thị hóa và phát triển, NXB Đại học Kinh tế quốc dân.
- [3]. Nguyễn Trọng Hòa (2016), Quản lý đô thị tại TP.HCM - Bài học kinh nghiệm và thách thức, NXB Xây dựng.
- [4]. Phạm, T. N., & Phan, T. V. (2020). Tổng quan về khu vực ven đô các thành phố lớn trong quá trình đô thị hóa nhanh. Tạp chí Quy hoạch Xây dựng số 103+104.
- [5]. Phan Nhứt Duy, Nguyễn Thị Lan Anh, & Trần Trung Vinh. (2020). Phát triển đô thị ra vùng ven: Rủi ro và thách thức đối với TP.HCM trước các hiểm họa môi trường liên quan đến vấn đề tập trung dân cư và đô thị hóa. Tạp chí Quy hoạch Xây dựng số 103+104.
- [6]. Phòng Quản lý đô thị quận Bình Tân (2018), Báo cáo kết quả 15 năm thành lập quận Bình Tân.
- [7]. Sở Tài nguyên và Môi trường (2021), Báo cáo hiện trạng môi trường TP.HCM năm 2021.
- [8]. Tổng Cục thống kê và UNFPA (2020), Chuyên khảo di cư và đô thị hóa ở Việt Nam: thực trạng, xu hướng và những khác biệt, NXB Tài chính.
- [9]. UBND quận Bình Tân (2017), Báo cáo thuyết minh tổng hợp kế hoạch sử dụng đất năm 2017 quận Bình Tân - TP.HCM.
- [10]. Võ Kim Cương (2017), Chính sách đô thị - Tầm nhìn bao quát và hệ thống của nhà quản lý đô thị, NXB Xây dựng.

Tài liệu quốc tế

- [11]. Ahmad, N., Yuming, Z., Shafait, Z., Waheed, A., & Mohmand, Y. T. (2019). Critical barriers to brownfield redevelopment in developing countries: The case of Pakistan. Journal of Cleaner Production, 212, 1193-1209. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.061>
- [12]. Hilläker, A. (2014). Brownfield site developments: A case study of Kävlinge

municipality (Master's thesis). Department of Human Geography, Lund University. Retrieved from <https://www.lunduniversity.lu.se/lup/publication/4628241>

[13]. Pedrotti, L., & Gardi, C. (2018). Mapping and assessing ecosystem services to support urban planning: A case study on brownfield regeneration in Trento, Italy. One Ecosystem, 3, e25477. <https://doi.org/10.3897/oneeco.3.e25477>

[14]. Rey, E., Laprise, M., & Lufkin, S. (2022). Neighbourhoods in transition: Brownfield regeneration in European metropolitan areas. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-82208-8>.

[15]. Lee Oliver, U. F. D. G. K. M. and P. N. (2005). The Scale and Nature of European Brownfields. In Proceedings of CABERNET 2005: The International Conference on Managing Urban Land, Land Quality Management Press, Nottingham, 2005.

[16]. Ganser, R., & Williams, K. (2007). Brownfield development: Are we using the right targets? Evidence from England and Germany. Urban Studies, 44(5-6), 1217-1241. <https://doi.org/10.1080/09654310600852654>

[17]. Oliveira e Costa, S., Kellecioglu, I., & Weber, R. (2018). Developing brownfields via public-private-people partnerships. Nordregio. <https://doi.org/10.30689/R2018:1.1403-2503>

[18]. Toshio Taguchi (2017), The Use of Indicators to Assess Urban Regeneration Performance for Climate-Friendly Urban Development: The Case of Yokohama Minato Mirai 21, Journal of Architecture and Planning.

[19]. Doleželová, L., Hadlač, M., Kadlecová, M., Martinát, S., & Poledník, M. (2014). Redevelopment potential of brownfields: A-B-C classification and its practical application. E+M Ekonomie a Management, 17(2), 34-44. <https://doi.org/10.15240/tul/001/2014-2-003>

[20]. CABERNET Coordination Team. (2006). Sustainable Brownfield Regeneration: CABERNET Network Report. Land Quality Management Group, University of Nottingham.

https://sig.urbanismosevilla.org/sevilla.art/sevlab/m004_UEb_files/m004_UE.pdf

[21]. United States Environmental Protection Agency. (2016, August 3). Brownfields laws and regulations. Retrieved July 17, 2025, from https://19january2017snapshot.epa.gov/brownfields/brownfields-laws-and-regulations_.html

[22]. Franz, M., Pahlen, A., Nathanail, P. A., et al. (2006). Sustainable development and brownfield regeneration: What defines the quality of derelict land recycling? Environmental Sciences, 3(2), 135-151. <https://doi.org/10.1080/15693430600800873>

Nghiên cứu tổ chức vận tải theo mô hình TOD: Trường hợp nhà ga Thảo Điền thuộc tuyến đường sắt đô thị số 1 - TP Hồ Chí Minh

A study on transport organization based on the TOD model: The case of Thao Dien station on urban railway line No. 1 - Ho Chi Minh City

> PGS.TS TRẦN QUANG PHÚ¹, PGS.TS NGUYỄN HỒNG THÁI², THS BÙI QUỐC AN^{1,*}

¹Trường Đại học Giao thông vận tải TP.HCM

²Trường Đại học Giao thông vận tải

*Email: an.bui@ut.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo đánh giá cơ sở khoa học, hiện trạng hướng đến tổ chức vận tải theo mô hình TOD cho tuyến đường sắt đô thị (ĐSĐT) số 1, với trọng tâm là khu vực nhà ga Thảo Điền. Hai kịch bản mô phỏng hiện trạng và mô phỏng tổ chức vận tải khi thực hiện các giải pháp tổ chức vận tải theo mô hình TOD được đề xuất. Kết quả so sánh về các chỉ tiêu đánh giá mạng lưới giao thông khu vực nhà ga Thảo Điền, cho thấy kịch bản thực hiện tổ chức vận tải theo mô hình TOD cải thiện các chỉ số hoạt động của mạng lưới vận tải, đặc biệt là về tốc độ và giảm thời gian trễ cho hành khách.

Từ khóa: Phát triển định hướng vận tải hành khách công cộng; tuyến đường sắt đô thị số 1; tổ chức vận tải.

ABSTRACT

This paper evaluates the scientific foundation and current status of organizing transport according to the Transit-Oriented Development (TOD) model for Urban Railway Line 1, with a particular focus on the Thao Dien station area. Two simulation scenarios are proposed: The existing conditions and the scenario implementing TOD-based transport organization measures. Comparative results of performance indicators for the transport network around Thao Dien station show that the TOD-based organization scenario enhances network operational metrics-especially average speed-and reduces passenger delay.

Keywords: Transit Oriented Development (TOD); urban railway No. 1; transport organization.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

TP.HCM là trung tâm kinh tế lớn nhất cả nước, đang trải qua quá trình đô thị hóa mạnh mẽ, kéo theo nhu cầu đi lại ngày càng tăng của người dân. Dù đã có nhiều nỗ lực trong việc đầu tư phát triển hạ tầng giao thông vận tải (GTVT), đặc biệt là hệ thống giao thông công cộng (GTCC), tuy nhiên tỷ lệ người dân sử dụng phương tiện công cộng vẫn còn rất thấp, chỉ chiếm dưới 5% tổng số chuyến đi [1]. Vì vậy, nhu cầu phát triển hệ thống vận tải hành khách khối lượng lớn đóng vai trò quan trọng trong việc chuyển đổi hành vi đi lại và giảm phụ thuộc vào phương tiện cá nhân. Một trong những mô hình được áp dụng hiệu quả tại nhiều đô thị lớn trên thế giới là mô hình phát triển đô thị định hướng GTCC - TOD [2].

Tuyến ĐSĐT số 1 của TP.HCM (Bến Thành - Suối Tiên) là tuyến metro đầu tiên được triển khai, đi qua các khu vực đô thị có mật độ dân cư cao và các trung tâm thu hút hành khách lớn. Trong đó, nhà ga Thảo Điền đóng vai trò quan trọng khi nằm tại khu vực có tiềm năng

phát triển không gian đô thị và nhu cầu di chuyển lớn. Việc tổ chức lại không gian vận tải và kết nối các phương thức giao thông tại khu vực xung quanh nhà ga theo mô hình TOD sẽ góp phần tăng tỷ lệ sử dụng GTCC, khuyến khích các hình thức di chuyển bền vững, đồng thời nâng cao hiệu quả khai thác tuyến metro số 1.

Khu vực ga Thảo Điền của tuyến metro số 1 là một trong những khu vực đô thị phát triển nhanh, tập trung dân cư có mức sống cao, mật độ xây dựng lớn và nhiều hoạt động thương mại - dịch vụ đa dạng. Tuy nhiên, hạ tầng giao thông hiện hữu trong khu vực này chưa theo kịp tốc độ phát triển, đặc biệt thiếu sự kết nối hiệu quả giữa các phương thức vận tải với nhà ga. Hệ thống đường bộ nhỏ hẹp, thiếu vỉa hè liên tục và an toàn cho người đi bộ, thiếu bãi đỗ xe đạp, xe buýt chưa tiếp cận gần ga... là những rào cản lớn ảnh hưởng đến hiệu quả khai thác của tuyến metro cũng như khả năng dịch chuyển của cư dân.

Tổ chức vận tải kết nối tại các nhà ga đường sắt giữ vai trò trung

tâm trong việc đảm bảo tính liên thông và hiệu quả khai thác của toàn bộ hệ thống giao thông đô thị. Khi các loại hình vận tải được tích hợp tại một điểm trung chuyển như nhà ga, hành khách có thể dễ dàng chuyển đổi phương tiện, giúp nâng cao trải nghiệm người dùng, đóng vai trò thúc đẩy người dân sử dụng GTCC thay vì phương tiện cá nhân [3]. Sự phối hợp hài hòa giữa đường sắt và các loại hình vận tải tiếp cận như xe buýt, xe đạp công cộng hay taxi là giải pháp tối ưu hóa khả năng tiếp cận, đồng thời giảm áp lực giao thông cho các khu vực xung quanh nhà ga.

Việc nghiên cứu tổ chức vận tải theo mô hình TOD tại ga Thảo Điền có thể rút ra bài học, cơ sở khoa học quan trọng để đề xuất các phương án tổ chức giao thông tối ưu, hài hòa với quy hoạch sử dụng đất và mục tiêu phát triển bền vững của đô thị. Mô hình tổ chức và giải pháp kỹ thuật để nhân rộng cho các nhà ga khác trong mạng lưới metro của TP.HCM trong tương lai.

2. THỰC TRẠNG TỔ CHỨC VẬN TẢI KHU VỰC NHÀ GA THẢO ĐIỀN - TUYẾN ĐSĐT SỐ 1

2.1. Giới thiệu tuyến ĐSĐT số 1

Tuyến metro số 1 (Bến Thành - Suối Tiên) được khởi công xây dựng từ năm 2012 và chính thức đưa vào vận hành từ ngày 22/12/2024. Tuyến có tổng chiều dài 19,7 km, trong đó bao gồm 3,8 km đoạn đi ngầm qua khu vực trung tâm thành phố và 14 ga dừng đón trả khách.

Theo báo cáo từ Công ty TNHH MTV ĐSĐT số 1 TP.HCM - đơn vị quản lý và khai thác tuyến metro, dự kiến tuyến metro số 1 có thể phục vụ từ 70.000 đến 100.000 hành khách mỗi ngày [4]. Việc thay thế phương tiện cá nhân bằng phương tiện công cộng như metro không chỉ góp phần giảm lưu lượng giao thông đường bộ mà còn làm giảm lượng khí thải nhà kính, tiết kiệm năng lượng và giảm thiểu ô nhiễm không khí, tiếng ồn trong nội đô.

2.2. Thực trạng tổ chức vận tải kết nối tuyến ĐSĐT số 1

Hệ thống ĐSĐT tại TP.HCM được kỳ vọng sẽ trở thành trục GTCC chủ đạo, giúp giảm tải áp lực giao thông và nâng cao hiệu quả di chuyển trong đô thị. Tuy nhiên, để metro phát huy tối đa hiệu quả, việc tổ chức hệ thống vận tải kết nối tại các nhà ga đóng vai trò quan trọng. Hiện nay, hệ thống kết nối metro với các phương tiện công cộng và cá nhân vẫn còn nhiều hạn chế, chưa đảm bảo tính liên thông và thuận tiện cho hành khách.

- Kết nối với hệ thống xe buýt:

Hệ thống xe buýt trên địa bàn TP.HCM bao gồm 144 tuyến, trong đó 107 tuyến được trợ giá, với chiều dài bình quân mỗi tuyến là 20,4 km và hoạt động trung bình 14 giờ mỗi ngày [5]. TP.HCM đã triển khai 17 tuyến xe buýt trợ giá nhằm tăng cường kết nối đa phương thức với tuyến ĐSĐT số 1, góp phần thúc đẩy hiệu quả vận hành hệ thống GTCC. Đây là một trong những nỗ lực để giải quyết vấn đề "chặng cuối", đồng thời tối ưu hóa mạng lưới vận tải khi metro số 1 đi vào hoạt động.

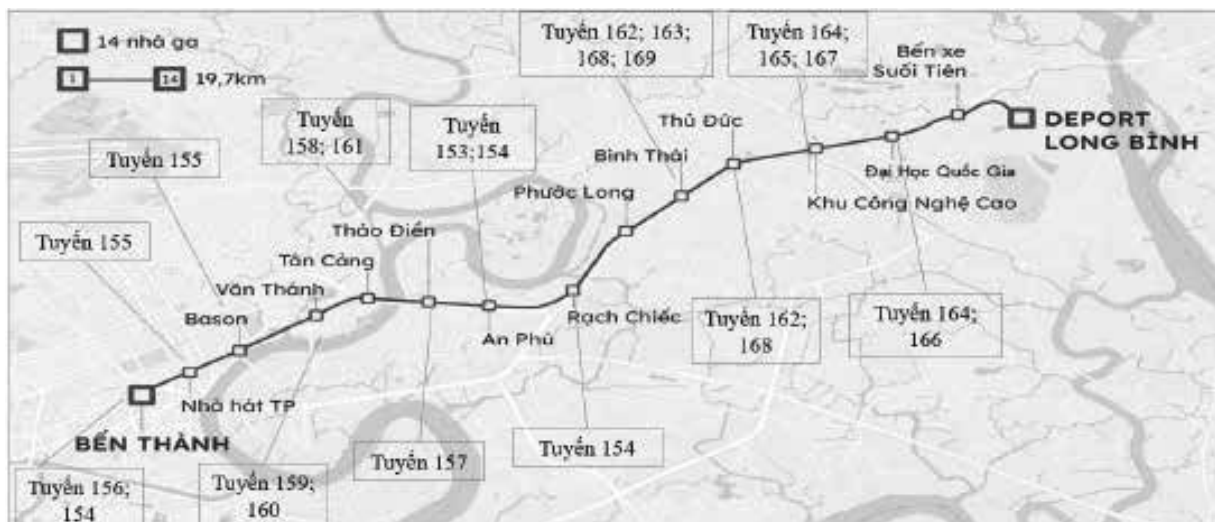
Các tuyến xe buýt được thiết kế để kết nối 14 nhà ga dọc tuyến metro số 1 với các khu vực dân cư, trung tâm thương mại và khu công nghiệp lân cận. Phạm vi kết nối của các tuyến tập trung các khu vực Quận 1, Thủ Đức, Bình Thạnh (cũ), với tổng chiều dài trung bình mỗi tuyến từ 10 - 15 km và tần suất hoạt động cao (10 - 15 phút/chuyến vào giờ cao điểm), cùng mức giá vé được trợ giá (5.000 - 10.000 đồng/vé) [6]. Tuy nhiên, nhiều trạm dừng xe buýt nằm cách xa nhà ga metro, không có lối đi thuận lợi hoặc thiếu mái che, ghế ngồi, biển báo thông tin chi tiết về lộ trình và thời gian xe buýt hoạt động. Điều này làm giảm tính hấp dẫn của xe buýt với vai trò là phương tiện trung chuyển, đồng thời hạn chế hiệu quả khai thác của hệ thống metro.

- Kết nối với hệ thống phương tiện cá nhân:

Xe cá nhân, bao gồm ô tô và xe máy vẫn là phương tiện di chuyển chủ yếu của người dân TP.HCM. Hiện nay, toàn tuyến có 10 bãi giữ xe phía dưới các nhà ga trên cao và 5 bãi chuyên dụng cho xe máy được bố trí tại các ga Văn Thánh, Thảo Điền, Rạch Chiếc, Phước Long và Bình Thái [5]. Ở một số khu vực, việc thiếu làn đường dành riêng cho xe đưa đón hành khách hoặc bãi dừng ngắn hạn dẫn đến tình trạng ùn tắc giao thông vào giờ cao điểm. Hành khách gặp khó khăn trong việc tiếp cận nhà ga, đặc biệt là khi sử dụng các phương tiện như taxi, xe công nghệ hoặc ô tô cá nhân.

- Kết nối với hệ thống giao thông xanh (xe đạp, đi bộ):

Lối đi bộ đến các nhà ga metro chưa được đầu tư đúng mức. Nhiều khu vực vỉa hè chật hẹp, thiếu an toàn hoặc không thân thiện với người đi bộ. Đối với xe đạp, mặc dù TP.HCM đã có hệ thống GTCC bằng xe đạp, tuy nhiên hạ tầng hỗ trợ như làn đường riêng và bãi đỗ xe đạp tại các nhà ga metro chưa được triển khai. Việc thiếu các chính sách khuyến khích như dịch vụ chia sẻ xe đạp hoặc tích hợp vé liên thông giữa metro và các phương tiện giao thông xanh cũng là rào cản đối với sự phát triển của loại hình vận tải này.



2.3. Tổng hợp phân tích SWOT tổ chức vận tải theo mô hình TOD khu vực nhà ga Thảo Điền

Trong khi các phương tiện GTCC như xe buýt đã đóng góp một phần vào việc giảm tải giao thông, thì sự phát triển mạnh mẽ và bền vững của hệ thống GTCC, đặc biệt là các tuyến ĐSĐT (metro) được coi là giải pháp căn bản và lâu dài. Phân tích SWOT tập trung vào khía cạnh tổ chức vận tải theo mô hình TOD tại tuyến ĐSĐT số 1 (Bến Thành - Suối Tiên) gắn với phát triển đô thị tích hợp xung quanh các nhà ga.

Bảng 1. Phân tích SWOT tổ chức vận tải theo mô hình TOD tuyến ĐSĐT số 1

Điểm mạnh (Strengths, S)	Cơ hội (Opportunities, O)
- Tuyến metro số 1 đi qua các khu dân cư đông đúc, thuận lợi tổ chức trung chuyển. - Metro đóng vai trò trục chính, định hướng tổ chức GTCC theo mô hình TOD. - Đã có quy hoạch phân khu và quy hoạch kết nối tại nhiều nhà ga. - Có khả năng thúc đẩy thay đổi hành vi đi lại từ xe máy sang phương tiện công cộng.	- TOD là định hướng phát triển được chính quyền thành phố ưu tiên. - Tuyến metro số 1 là dự án mẫu để mở rộng mạng lưới TOD toàn thành phố. - Ứng dụng công nghệ (vé điện tử, dữ liệu lớn, phần mềm điều hành...) hỗ trợ tổ chức vận tải hiệu quả. - Có cơ hội huy động vốn từ quốc tế và hợp tác công tư để tổ chức vận tải theo TOD.
Điểm yếu (Weaknesses, W)	Thách thức (Threats, T)
- Thiếu kết nối đồng bộ giữa metro và các phương tiện gom khách (buýt, xe đạp). - Cơ sở hạ tầng tiếp cận nhà ga còn yếu, thiếu tiện nghi cho người đi bộ và người khuyết tật. - Thiếu cơ chế điều phối GTCC liên thông (metro - buýt - taxi - xe đạp). - Thiếu dữ liệu thống nhất và công cụ hỗ trợ lập kế hoạch vận tải TOD.	- Thói quen đi xe máy vẫn phổ biến, khó thu hút khách sang metro. - Phát triển đô thị không đồng bộ với hạ tầng GTCC ở nhiều khu vực quanh ga. - Mạng lưới xe buýt hiện tại yếu, khó đảm bảo vai trò gom khách hiệu quả. - Chi phí đầu tư lớn, rủi ro trong quản lý và vận hành mạng lưới tích hợp.

Phân tích SWOT cho thấy tổ chức vận tải theo mô hình TOD tại tuyến metro số 1 có nhiều tiềm năng nhưng cũng tồn tại các thách thức. Tuyến đi qua các khu vực dân cư đông đúc, đóng vai trò trục chính trong mạng lưới giao thông, thuận lợi để triển khai mô hình TOD và thay đổi hành vi di chuyển của người dân. Nhiều nhà ga đã có quy hoạch phân khu và kết nối, tạo nền tảng phát triển tích hợp. Tuy nhiên, mô hình hiện vẫn thiếu sự kết nối đồng bộ giữa metro với các phương tiện gom khách như xe buýt, xe đạp công cộng; hạ tầng tiếp cận nhà ga còn bất cập và thiếu cơ chế điều phối cũng như dữ liệu phục vụ quản lý vận tải.

3. TỔ CHỨC VẬN TẢI THEO MÔ HÌNH TOD CHO TUYẾN ĐSĐT SỐ 1: TRƯỜNG HỢP NHÀ GA THẢO ĐIỂN

3.1. Hệ thống GTVT khu vực nhà ga Thảo Điền

Nhà ga Thảo Điền của tuyến metro 1 được xây dựng trên cao tại khu vực Thảo Điền với nhiều dự án bất động sản, trung tâm thương mại và các tiện ích công cộng. Khu vực xung quanh nhà ga, các tuyến xe buýt điện, xe đạp công cộng và hệ thống cầu bộ hành đã được đầu tư, kết nối nhà ga trên cao không chỉ giúp hành khách tiếp cận an toàn từ khu vực đường Trần Nãi mà còn đảm bảo lối thoát hiểm trong trường hợp khẩn cấp.

Khu vực xung quanh nhà ga Thảo Điền đối mặt với một số thách thức như lưu lượng xe cá nhân tăng cao vào giờ cao điểm gây áp lực lên hạ tầng giao thông. Cơ sở hạ tầng như vỉa hè, lối đi bộ và bãi đỗ xe còn hạn chế, không đủ đáp ứng nhu cầu chuyển đổi giữa các phương tiện. Điều này dẫn đến việc người dân phải mất thêm thời gian để di chuyển từ phương tiện cá nhân sang các hệ thống GTCC, gây ra sự không đồng bộ và giảm hiệu quả kết nối.

3.2. Giải pháp và mô phỏng tổ chức vận tải khu vực nhà ga Thảo Điền



Hình 2. Mô phỏng hình học hiện trạng khu vực nhà ga Thảo Điền

Nghiên cứu mô phỏng khu vực nhà ga Thảo Điền để đánh giá luồng di chuyển, tổ chức vận tải, tác động đến hệ thống giao thông khu vực của nhà ga Thảo Điền, thuộc tuyến metro số 1.

Các thông số hình học của khu vực nhà ga Thảo Điền đưa vào mô hình để phân tích hệ thống ĐSĐT, xe buýt, hệ thống giao thông đường bộ gồm hình dạng, kích thước hình học từng nhánh nút, số làn xe, bề rộng làn xe, bán kính bó vỉa, vị trí vạch dừng xe, vạch người đi bộ, vị trí đèn tín hiệu giao thông... được mô hình hóa. Trên cơ sở dữ liệu định lượng thu thập được và phương pháp mô hình hóa giao thông, để so sánh 2 kịch bản tổ chức vận tải:

- Kịch bản 1: Đánh giá hiện trạng giao thông năm 2025 với hệ thống tổ chức vận tải như hiện tại để kiểm định mô hình.

- Kịch bản 2: Áp dụng tổ chức vận tải theo mô hình TOD với định hướng phát triển đô thị mật độ cao, kết nối đa phương tiện, ưu tiên GTCC và phi cơ giới, bao gồm:

- + Tạo tuyến đường đi bộ có mái che, xây dựng cầu đi bộ hoặc đường hầm dành riêng cho người đi bộ, kết nối ga với các khu dân cư, trung tâm thương mại và trạm xe buýt.
- + Bố trí không gian dành cho xe đạp và phương tiện cá nhân nhỏ để khuyến khích di chuyển bền vững.
- + Tái cấu trúc các tuyến vận tải bằng xe buýt kết nối nhà ga theo hướng kết nối trực tiếp nhà ga, bố trí các vị trí “Kiss and ride” thuận lợi cho phương tiện đón, trả khách.
- + Mở rộng các vị trí đậu đỗ phương tiện cá nhân cho hành khách sử dụng metro.
- + Xây dựng tuyến đường kết nối nhà ga Bình An của tuyến buýt đường sông Bạch Đằng - Linh Đông kết nối vào ga.
- + Phân loại các lối vào/ra theo khu vực để giảm ùn tắc.
- + Thiết kế không gian mở với nhiều tiện ích như công viên, khu vui chơi, quán cà phê tích hợp trong khu vực ga để tạo trải nghiệm tốt hơn.
- + Phát triển bãi đậu xe đạp thông minh hoặc dịch vụ xe đạp công cộng, giúp hành khách có thể di chuyển linh hoạt trong khu vực Thảo Điền.

Bảng 2. Kết quả đánh giá mạng lưới giao thông khu vực nhà ga Thảo Điền

STT	Tham số	Kết quả kịch bản 1	Kết quả kịch bản 2
1	Vận tốc đi lại trung bình [km/h]	20,88	21,93
2	Thời gian trễ trung bình [s/veh]	19,05	18,14
3	Tổng quãng đường di chuyển [km]	20,125	20,327
4	Tổng thời gian di chuyển [h]	964	927
5	Tổng thời gian trễ [h]	184	177
6	Số lượng dừng	3,152	3,061

Kết quả cho thấy, hệ thống GTCC kết nối mặc dù đã có những cải tiến như việc triển khai các tuyến xe buýt điện mới và xây dựng cầu bộ hành nhưng vẫn gặp phải vấn đề về thời gian chờ đợi và sự không liên thông đồng bộ. Một số tuyến xe buýt được vận hành vẫn chưa có lộ trình tối ưu, gây ra khoảng cách chuyển giao không hợp lý và thời gian chờ xe kéo dài, đặc biệt ở những khu vực xa trạm. Mô phỏng, đánh giá hiệu quả của hệ thống giao thông và đề xuất giải pháp tối ưu hóa luồng di chuyển của hành khách và phương tiện có thể được áp dụng để cải thiện tổ chức giao thông tại nhà ga.

4. KẾT LUẬN

Việc quy hoạch và tổ chức kết nối hệ thống GTCC (xe buýt, xe đạp, đi bộ...) theo định hướng TOD vào các nhà ga ĐSDT sẽ góp phần đáng kể vào việc tăng lượng hành khách sử dụng metro và cải thiện chất lượng di chuyển trong khu vực. Xung quanh các nhà ga cần hình thành các trung tâm đô thị hỗn hợp với mật độ cao, bao gồm thương mại, dịch vụ, tiện ích công cộng và nhà ở, nhằm tạo động lực phát triển bền vững. Khi đó, ĐSDT sẽ trở thành trục chính trong mạng lưới giao thông đô thị, hỗ trợ vận chuyển hành khách khối lượng lớn. Để tổ chức hiệu quả không gian đô thị quanh ga cần xác lập quy hoạch nén, hoàn thiện mạng lưới buýt kết nối và tích hợp chặt chẽ các loại hình vận tải khác với hoạt động của tuyến

metro, từ đó tối ưu hóa trải nghiệm của người dân và khuyến khích chuyển đổi từ phương tiện cá nhân sang GTCC.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Sở GTVT TP.HCM (10/2022), Báo cáo tình hình hạ tầng giao thông TP.HCM tr.1-3.
[2]. T. Li. (2019), Assessing the Efficiency of TOD in Urban Land Use Management, Urban Studies Journal, vol.55, no.4, pp.1-18.
[3]. L. Bertolini and T. Spit (1998), Cities on Rails: The Redevelopment of Railway Station Areas, Routledge.
[4]. Công ty TNHH MTV ĐSDT số 1 TP.HCM (2025), Báo cáo sản lượng hoạt động của tuyến ĐSDT số 1.
[5]. Trung tâm Quản lý GTCC (2025), Báo cáo kết quả hoạt động giai đoạn 2020 - 2024.
[6]. Công ty Cổ phần Xe khách Phương Trang (2024), Báo cáo đề xuất 17 tuyến xe buýt điện kết nối tuyến ĐSDT số 1.
[7]. P. Calthorpe (1993), The Next American Metropolis: Ecology, Community and the American Dream, Princeton Architectural Press.
[8]. R. Cervero, S. Murphy, C. Ferrell, et al (2004), Transit-Oriented Development in the United States: Experiences, Challenges, and Prospects, Transportation Research Board.
[9]. B. Cervero (2004), Efficient Urbanization: Economic Performance and the Shape of the Metropolis, Urban Studies, vol.41, no.3.
[10]. Transportation Research Board (2010), Highway Capacity Manual 2010, Washington, D.C.

Công viên nghĩa trang - mô hình hạ tầng xanh mới hướng tới đô thị bền vững

Cemetery park - a new green infrastructure model towards sustainable urban development

> TS TRẦN QUÝ DƯƠNG¹, TS NGUYỄN THANH TÚ¹, TS NGUYỄN THÀNH TRUNG²

¹Khoa Kiến trúc và Quy hoạch, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

²Khoa Kỹ thuật môi trường, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

TÓM TẮT

Khái niệm “công viên nghĩa trang” (CVNT) không còn xa lạ trên thế giới, song tại Việt Nam, khái niệm này mới chỉ được đề cập trong những năm gần đây. Bài báo tập trung nghiên cứu mô hình CVNT theo hướng tiếp cận xanh như một giải pháp quy hoạch hạ tầng bền vững trong bối cảnh đô thị hóa nhanh và quỹ đất ngày càng hạn chế. Trên cơ sở tổng hợp cơ sở lý luận và phân tích thực trạng quy hoạch, thiết kế và quản lý nghĩa trang hiện nay, bài viết chỉ ra những tồn tại trong tổ chức không gian an táng, đặc biệt là sự thiếu hụt quy định pháp lý và xu hướng phát triển tự phát, manh mún. Từ đó, bài báo đề xuất hệ thống giải pháp quy hoạch CVNT tích hợp hạ tầng xanh (HTX), bao gồm: tổ chức không gian đa chức năng, bảo tồn hệ sinh thái, ứng dụng công nghệ hỏa táng thân thiện với môi trường, sử dụng vật liệu bền vững và lồng ghép các yếu tố văn hóa - xã hội trong thiết kế. Nghiên cứu này góp phần bổ sung cơ sở lý luận và thực tiễn cho việc phát triển mô hình nghĩa trang xanh, phù hợp với định hướng đô thị bền vững tại Việt Nam.

Từ khóa: Công viên nghĩa trang, hạ tầng xanh, đô thị bền vững, an táng sinh thái.

ABSTRACT

The concept of a “cemetery park” is no longer unfamiliar in many parts of the world; however, in Vietnam, it has only recently been introduced. This paper examines the cemetery park model with a green-oriented approach as a sustainable infrastructure planning solution in the context of rapid urbanization and increasingly limited land resources in Vietnam. Based on a synthesis of theoretical foundations and an analysis of the current state of cemetery planning, design, and management, the study identifies key shortcomings in the spatial organization of burial areas - particularly the lack of legal regulations and the spontaneous, fragmented development of cemeteries. From these findings, the paper proposes a planning framework for cemetery parks integrated with green infrastructure. This includes multifunctional spatial organization, ecological conservation, the application of clean cremation technologies, the use of environmentally friendly materials, and the integration of cultural and social elements. The study contributes to both the theoretical and practical foundations for the development of green cemetery models aligned with Vietnam’s sustainable urban development strategies.

Keywords: Cemetery park, green infrastructure, sustainable urban development, ecological burial.

1. MỞ ĐẦU

Trong bối cảnh tốc độ đô thị hóa ngày càng gia tăng, nhu cầu về không gian an táng văn minh, bền vững trở thành một vấn đề cấp thiết tại nhiều quốc gia, đặc biệt là những nơi có mật độ dân cư cao và quỹ đất hạn chế. Mô hình CVNT, nơi kết hợp giữa chức năng an táng, không gian công cộng (KGCC) và cảnh quan sinh thái, đã được nghiên cứu và triển khai tại nhiều quốc gia từ đầu thế kỷ 20, góp phần giải quyết hiệu quả các vấn đề bất cập giữa phát triển đô thị và nhu cầu chôn cất người đã khuất.

Trên thế giới, nhiều CVNT được quy hoạch theo mô hình công viên tưởng niệm hiện đại, với không gian xanh, kiến trúc cảnh quan hài hòa và các dịch vụ phục vụ cộng đồng. Điển hình là CVNT Skogskyrkogården tại Stockholm (Thụy Điển), được UNESCO công nhận là di sản thế giới nhờ cách tổ chức không gian nhân văn, sinh

thái và thẩm mỹ cao.



Hình 1. Công viên nghĩa trang Skogskyrkogården tại Thụy Điển (Nguồn: Wikipedia, 2024)

Tại Việt Nam, khái niệm CVNT còn tương đối mới mẻ. Hệ thống văn bản quy phạm pháp luật hiện hành chủ yếu đề cập đến “nhà tang lễ”, “nghĩa trang”, “cơ sở hỏa táng”, trong khi chưa có hướng dẫn cụ thể nào về quy hoạch, thiết kế nghĩa trang theo mô hình CVNT hiện đại. Trên thực tế, nhiều địa phương đã có các dự án nghĩa trang

được xây dựng theo hướng mở rộng chức năng, kết hợp cảnh quan xanh và yếu tố văn hóa tâm linh, tuy nhiên vẫn mang tính tự phát, thiếu sự định hướng tổng thể và khung pháp lý đồng bộ.

Trước thực trạng đó, việc nghiên cứu mô hình CVNT theo hướng xanh, tích hợp chức năng sinh thái, văn hóa và công cộng là hết sức cần thiết. Đây không chỉ là giải pháp giảm áp lực cho quỹ đất đô thị, mà còn góp phần nâng cao chất lượng môi trường sống, gìn giữ bản sắc văn hóa và thúc đẩy phát triển bền vững.

Mục tiêu nghiên cứu

Mục tiêu của bài báo là nghiên cứu và đề xuất mô hình CVNT theo hướng xanh, sinh thái như một giải pháp quy hoạch bền vững trong bối cảnh đô thị hóa ngày càng gia tăng tại Việt Nam. Cụ thể:

(1) Làm rõ khái niệm và vai trò của CVNT trong phát triển đô thị bền vững;

(2) Đánh giá thực trạng quy hoạch và quản lý nghĩa trang tại Việt Nam hiện nay, chỉ ra các tồn tại, bất cập;

(3) Đề xuất hệ thống giải pháp quy hoạch, thiết kế và quản lý CVNT tích hợp HTX, thân thiện môi trường, gắn với văn hóa - xã hội địa phương.

Tính mới của nghiên cứu

Nghiên cứu này tiếp cận vấn đề nghĩa trang từ góc nhìn HTX và KGCC đa chức năng, một hướng tiếp cận còn khá mới trong bối cảnh Việt Nam. Khác với các nghiên cứu truyền thống vốn chỉ tập trung vào vấn đề kỹ thuật hoặc tâm linh, bài viết tích hợp các yếu tố quy hoạch đô thị, môi trường, giao thông, vật liệu, công nghệ và văn hóa trong thiết kế nghĩa trang. Đặc biệt, bài báo đề xuất khung giải pháp cụ thể để chuyển đổi nghĩa trang từ dạng hạ tầng “xám” sang hạ tầng “xanh - nhân văn”, có khả năng kết nối với hệ thống không gian xanh đô thị và phù hợp với định hướng phát triển bền vững, thích ứng biến đổi khí hậu. Đây là đóng góp mới về mặt lý luận và thực tiễn trong quy hoạch nghĩa trang hiện đại.

2. CÁC KHÁI NIỆM

2.1. Khái niệm về nghĩa trang và CVNT

Nghĩa trang (bao gồm cả nghĩa địa): Là nơi táng người chết tập trung theo các hình thức táng khác nhau, thuộc các đối tượng khác nhau và được quản lý, xây dựng theo quy hoạch [2]. Tại Việt Nam, các hình thức an táng phổ biến bao gồm:

- Chôn cất một lần (mai táng vĩnh viễn): chôn thi hài trực tiếp trong đất, không cải táng.
- Hung táng: chôn thi hài trong một thời gian nhất định, sau đó cải táng.
- Cát táng: an táng hài cốt sau cải táng hoặc lưu giữ tro cốt sau hỏa táng.
- Hỏa táng: thiêu hủy thi hài bằng nhiệt độ cao, sau đó lưu tro cốt.

CVNT còn gọi là “hoa viên nghĩa trang” hay “công viên tưởng niệm”, là mô hình nghĩa trang hiện đại được thiết kế và tổ chức như một KGCC - sinh thái - tâm linh đa chức năng. CVNT không chỉ là nơi chôn cất, tưởng niệm người đã khuất mà còn đóng vai trò như một phần của hệ thống không gian xanh đô thị, nơi người sống có thể đến để thư giãn, suy niệm và kết nối giữa văn hóa tâm linh với môi trường tự nhiên.

Các đặc điểm cơ bản của mô hình CVNT bao gồm:

- Thiết kế hòa quyện với tự nhiên: tận dụng địa hình, thảm thực vật, mặt nước và vật liệu địa phương để tạo không gian trang nghiêm nhưng gần gũi.
- Tổ chức an táng theo hướng sinh thái: khuyến khích hỏa táng, sử dụng vật liệu thân thiện môi trường, tiết kiệm đất.
- Quản lý vận hành đồng bộ: hệ thống kỹ thuật (nước, rác, chiếu sáng, giao thông...) được tổ chức bài bản, hiện đại, phù hợp quy

chuẩn.

2.2. Khái niệm về HTX

HTX (Green Infrastructure) là hệ thống các yếu tố tự nhiên và nhân tạo được thiết kế nhằm tăng cường khả năng điều tiết sinh thái, giảm thiểu tác động môi trường và cải thiện chất lượng sống đô thị. HTX không chỉ dừng lại ở cây xanh đơn lẻ mà bao gồm một mạng lưới kết nối liên tục giữa cây xanh, mặt nước, công viên, hành lang sinh thái, vỉa hè thấm nước, mái xanh, và các công trình thân thiện môi trường khác.

Việc áp dụng HTX trong quy hoạch đô thị nói chung và trong CVNT nói riêng mang lại nhiều lợi ích như:

- Giảm hiện tượng nước mưa chảy tràn, chống ngập;
- Cải thiện chất lượng không khí, điều tiết vi khí hậu;
- Bảo tồn đa dạng sinh học;
- Giảm tải cho hạ tầng “xám” truyền thống;
- Tăng khả năng chống chịu trước biến đổi khí hậu.

Kết hợp HTX vào thiết kế CVNT là hướng tiếp cận mới giúp tối ưu hóa công năng đất nghĩa trang, đồng thời gia tăng giá trị sinh thái và xã hội cho đô thị.

Lợi ích	Giảm nước mưa chảy tràn				Tăng khả năng cung cấp nước	Tăng lưu trữ nước ngầm	Giảm sử dụng muối	Giảm sử dụng năng lượng	Nâng cao chất lượng không khí	Giảm CO ₂ trong không khí	Giảm hiện tượng đảo nhiệt đô thị	Đa dạng sinh học	Phát triển giáo dục cộng đồng
	Giảm nhu cầu xử lý nước	Nâng cao chất lượng nước	Giảm nhu cầu hạ tầng xám	Giảm ngập lụt									
HTX													
Mái xanh													
Trồng cây xanh													
Giữ nước và lọc nước SH													
Vườn bề mặt lát													
Thu, trữ nước													

● Có ◐ Có thể ○ Không

Hình 2. Các lợi ích của HTX (Nguồn: Center for Neighborhood Technology & American Rivers, 2010)

3. THỰC TRẠNG HOẠT ĐỘNG AN TÁNG VÀ NGHĨA TRANG Ở VIỆT NAM

3.1. Thực trạng hoạt động an táng

Việt Nam là quốc gia đa dân tộc với 54 thành phần dân cư, mỗi vùng miền có các phong tục, tín ngưỡng và hình thức an táng khác nhau. Đặc biệt, tại các khu vực miền Trung (như TP Huế, TP Đà Nẵng...), Tây Nguyên cũng như nhiều khu vực nông thôn, tập quán chôn cất theo hình thức hungr táng và chôn vĩnh viễn (đào sâu chôn chặt một lần) vẫn còn phổ biến. Đây là những hình thức sử dụng nhiều diện tích đất, kéo dài thời gian chiếm dụng và khó kiểm soát về môi trường.

Sự phát triển của kinh tế và mức sống trong thời gian gần đây cũng dẫn đến xu hướng đầu tư xây dựng mộ mã quy mô lớn, mang tính phô trương, làm gia tăng áp lực lên quỹ đất và cảnh quan đô thị. Đồng thời, tình trạng lấn chiếm đất nông nghiệp, đất rừng để làm khu nghĩa trang tự phát, chưa qua quy hoạch, diễn ra khá phổ biến, gây khó khăn cho công tác quản lý đất đai, giải phóng mặt bằng và triển khai các dự án phát triển hạ tầng, nhà ở.

3.2. Thực trạng quy hoạch, quản lý và hạ tầng nghĩa trang

a. Quy hoạch và kiến trúc cảnh quan nghĩa trang

Tình trạng quy hoạch nghĩa trang tại nhiều địa phương hiện vẫn

còn thiếu đồng bộ và chưa có tầm nhìn dài hạn. Theo thống kê, tại hơn 7.500 xã trên toàn quốc trước đây (nay còn 3.321 xã, theo các Nghị quyết của Ủy ban Thường vụ Quốc hội ban hành ngày 16/6/2025 về việc sắp xếp các đơn vị hành chính cấp xã tại 34 tỉnh, thành phố), mỗi xã trung bình có từ 2 đến 5 nghĩa trang [4], chủ yếu là nhỏ lẻ, manh mún và hoạt động một cách tự phát.

Phần lớn đồ án quy hoạch xây dựng hiện nay mới chỉ xác định tên, vị trí và diện tích nghĩa trang hiện hữu, mà chưa đề cập đến thực trạng công tác quản lý quy hoạch và xây dựng nghĩa trang. Việc quy hoạch sử dụng đất cho nghĩa trang được lồng ghép trong quy hoạch sử dụng đất của xã; tuy nhiên, định mức của loại đất dành cho mục đích này còn chưa cụ thể, thiếu cơ sở để phân tích hiệu quả sử dụng đất. Do vậy, quy hoạch đất nghĩa trang thường xuyên bị phá vỡ và phần lớn mang tính hình thức, dẫn đến tình trạng quy hoạch đất nghĩa trang chỉ mang tính hình thức.



Nghĩa trang phường Biên Hòa, tỉnh Đồng Nai (Nguồn: Báo Tiền Phong. (n.d.).)



Nghĩa trang nhân dân ở Hưng Yên (Nguồn: Đài Phát thanh - Truyền hình Thái Bình. (n.d.).)

Hình 3. Nghĩa trang tự phát, lộn xộn trong công tác quy hoạch và quản lý

Những năm gần đây, đời sống kinh tế có bước phát triển đáng kể, việc xây dựng mô mã biến tướng thành "phong trào". Nhiều người dân tự khoan bao, lấn chiếm đất nông - lâm nghiệp làm quỹ đất nghĩa địa dự trữ cho gia đình - dòng họ, dẫn đến việc thu hồi đất để xây dựng khu dân cư và các công trình công cộng tốn kém, chi phí đến bù và giải tỏa tăng cao. Nhiều nghĩa trang sát khu dân cư hoặc nguồn nước sinh hoạt, đa phần huyết mộ được đào sâu không

có giải pháp cách ly sự phân hủy của thi thể gây ô nhiễm nguồn nước và đất làm tăng nguy cơ về dịch bệnh.

Công tác quản lý kiến trúc cảnh quan nghĩa trang cũng chưa được quan tâm đúng mức. Hầu hết các nghĩa trang hiện nay thiếu các yếu tố thiết kế cảnh quan như cây xanh cách ly, mặt nước, bãi đỗ xe, không gian đệm hay các quy định rõ ràng về hình thức, vật liệu và tỷ lệ xây dựng mộ phần. Điều này làm suy giảm giá trị cảnh quan và chất lượng môi trường của khu vực xung quanh, ảnh hưởng đến mỹ quan đô thị và sức khỏe cộng đồng.

b. Hạ tầng kỹ thuật và vệ sinh môi trường

Phần lớn các nghĩa trang, đặc biệt là nghĩa trang nhân dân và nghĩa trang tự phát, chưa được đầu tư hệ thống hạ tầng kỹ thuật đồng bộ. Các vấn đề tồn tại phổ biến gồm:

- Nước mặt và nước thải: nước mưa chảy tràn cuốn theo tạp chất, chất thải từ hoạt động an táng gây nguy cơ ô nhiễm nguồn nước mặt và nước ngầm. Nước thải từ quá trình cải táng hoặc từ huyết mộ không được xử lý hợp lý chứa nhiều mầm bệnh nguy hiểm.

- Giao thông nội bộ: đường nội bộ trong nhiều nghĩa trang còn nhỏ hẹp, xuống cấp, chủ yếu là đường đất hoặc bê tông đơn giản, không đáp ứng được nhu cầu di chuyển và không thuận tiện cho người cao tuổi, người khuyết tật. Thiếu bãi đỗ xe và hệ thống giao thông xanh là những hạn chế rõ rệt.

- Chiếu sáng và tiện ích công cộng: do quan niệm nghĩa trang là nơi không hoạt động ban đêm, nhiều nơi không được đầu tư hệ thống chiếu sáng. Các tiện ích hỗ trợ như nhà vệ sinh, vòi nước công cộng, ghế nghỉ... cũng hiếm khi được bố trí đồng bộ.

- Cây xanh và quản lý rác thải: phần lớn các nghĩa trang không có hệ thống cây xanh chuyên dụng hoặc vùng đệm sinh thái. Bên cạnh đó, việc thiếu đơn vị quản lý nghĩa trang chuyên trách dẫn đến tình trạng rác thải, hương nhang, tro bụi tồn đọng không được xử lý định kỳ, gây ô nhiễm môi trường và giảm chất lượng cảnh quan.

Bảng 1. So sánh nghĩa trang truyền thống và CVNT theo hướng xanh

STT	Tiêu chí	Nghĩa trang truyền thống	CVNT theo hướng xanh
1	Vị trí	Xa khu dân cư, tách biệt	Gần dân cư, kết nối giao thông công cộng
2	Quy hoạch	Thiếu đồng bộ, tự phát	Có định hướng tổng thể, tích hợp HTX
3	Cảnh quan	Đơn điệu, ít cây xanh	Thiết kế hài hòa, nhiều không gian sinh thái
4	Hạ tầng kỹ thuật	Thiếu xử lý nước thải, chiếu sáng, giao thông	Hệ thống kỹ thuật đồng bộ, thông minh
5	Phong tục an táng	Chủ yếu chôn cất vĩnh viễn, hung táng	Ưu tiên hỏa táng, cát táng, lưu tro cốt
6	Ý nghĩa xã hội	Gắn liền với tâm linh	Kết hợp tâm linh, sinh thái, giáo dục cộng đồng

4. ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP QUY HOẠCH, THIẾT KẾ CVNT THEO HƯỚNG MÔ HÌNH HTX MỚI - ÁP DỤNG TẠI VIỆT NAM

Trên thế giới, CVNT đã được nhìn nhận và thiết lập như một dạng thức KGCC đặc biệt với hình thức chủ yếu là công viên, vườn tưởng niệm xanh. Đó vừa là nơi là dung dưỡng cảm xúc, kỷ niệm và gắn kết các thế hệ dân cư đô thị (dù còn, hay đã mất), duy trì phát huy các giá trị văn hoá truyền thống; vừa là nơi giúp tăng cường sức khoẻ thể chất, tinh thần của từng cá nhân và cộng đồng. Ở nhiều quốc gia tiên tiến còn phát triển các CVNT với chức năng, hình thức mới nhằm giúp đô thị chống chọi được với thiên tai, BĐKH và các thách thức tự nhiên, môi trường khác.

Như vậy, nghĩa trang là một dạng thức hạ tầng kỹ thuật "xám" và "khô cứng" ("gray"- "hard"infrastructure) đã và đang được chuyển đổi theo hướng mới, trở thành một dạng hạ tầng "xanh - nhân văn" (green/eco-socio infrastructure) góp phần giúp đô thị phát triển theo hướng bền vững hơn, văn minh hiện đại và nhân văn hơn.

Hiện nay, xu hướng phát triển bền vững và quá trình toàn cầu hóa trong thiết kế, xây dựng CVNT xanh hơn và hướng tới cộng

đồng hơn đang dần được áp dụng tại các quốc gia phát triển. Tại Việt Nam, với đặc điểm văn hóa, tự nhiên và đô thị hóa nhanh, việc áp dụng mô hình CVNT theo hướng HTX là cần thiết và khả thi. Dưới đây là các nhóm giải pháp đề xuất:

4.1. Phát triển nghĩa trang trở thành KGCC đa chức năng và không gian xanh sinh thái

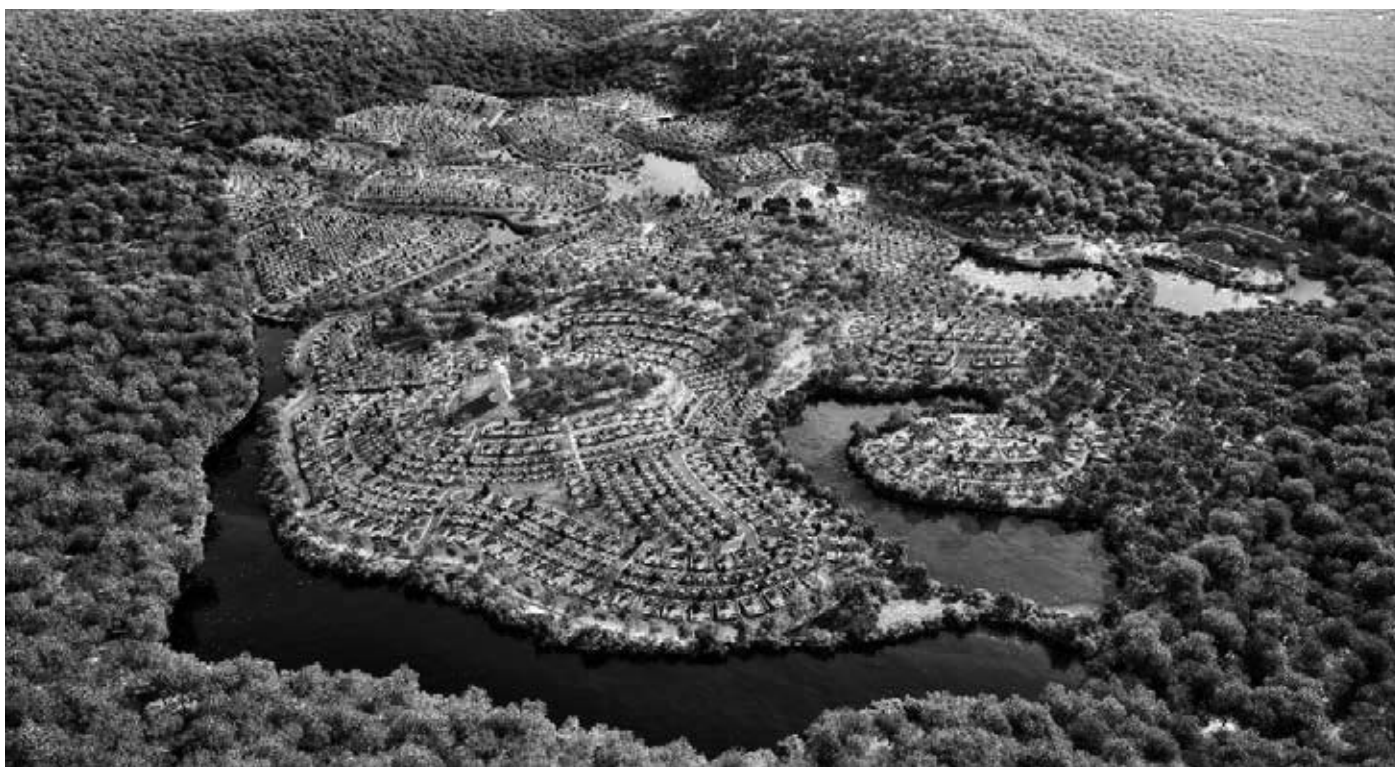
a. Bổ sung vai trò, chức năng mới

CVNT cần được nhìn nhận như một phần của hệ thống hạ tầng không chỉ phục vụ mục đích an táng mà còn tích hợp vai trò xã hội và sinh thái. Hai hướng tiếp cận có thể được áp dụng:

- (1) Quy hoạch toàn bộ nghĩa trang như một công viên chuyên đề - "Công viên vĩnh hằng";

- (2) Tái cấu trúc một phần diện tích thành KGCC, vườn hoa, phục vụ sinh hoạt cộng đồng.

Cần cứ vào tần suất thăm viếng NT ở Việt Nam (từ vài lần/năm đến 1-2 lần/tháng) và nhu cầu sử dụng không gian xanh, mô hình CVNT dạng mới có thể được xác định tương đương với công viên đô thị cấp khu vực hoặc cấp thành phố.



Hình 4. Cảnh quan CVNT Hương An Viên, TP Huế (Nguồn: Trần Quý Dương, 2024)

b. Quy hoạch vị trí phù hợp

Việc lựa chọn vị trí CVNT cần đảm bảo kết nối hạ tầng, thuận tiện trong tiếp cận nhưng vẫn tách biệt hợp lý với khu dân cư. Khoảng cách tối ưu được đề xuất trong bán kính phục vụ 2 - 3 km. CVNT cần được bố trí gần các trục giao thông công cộng để tăng khả năng tiếp cận và giảm sử dụng phương tiện cá nhân.

c. Quy mô và mạng lưới

CVNT có thể được tổ chức theo quy mô đa dạng, từ vài ha cho đến hàng trăm ha tùy thuộc vào cấp đô thị. Không nhất thiết mỗi khu dân cư đều có nghĩa trang, mà nên thiết lập hệ thống mạng lưới phân cấp (cấp khu vực, đô thị, vùng). CVNT nên được kết nối với hệ thống không gian xanh tổng thể của đô thị.

d. Tổ chức không gian và thiết kế thành phần

CVNT cần được phân vùng chức năng rõ ràng theo mức độ công cộng - riêng tư. Khu mộ phần và khu tường niệm nên bố trí kín đáo, trang nghiêm, đảm bảo kiểm soát ra vào. Trong khi đó, các khu vực phục vụ cộng đồng cần được thiết kế mở, sinh động hơn, có ranh giới rõ ràng và dễ tiếp cận. Hai nhóm không gian này có thể bố trí theo hướng khác nhau, với lối vào riêng biệt nhưng liên kết bằng các tuyến xe điện, đi bộ hoặc xe đạp. Cần có vùng đệm giữa hai khu vực để cách ly tiếng ồn, tạo sự chuyển đổi cảm xúc và thể hiện sự tôn trọng đối với người đã khuất.

e. Bổ sung tiện ích hỗ trợ cộng đồng

CVNT cần bổ sung nhiều tiện ích nhân văn để thúc đẩy tính bền vững xã hội, đảm bảo khoảng cách phục vụ không quá 300 m. Đây là yếu tố then chốt để CVNT thực sự trở thành không gian phục vụ cộng đồng. Bao gồm:

- Ghế ngồi phù hợp nhiều lứa tuổi, người khuyết tật, đặt tại nhiều vị trí có bóng cây, mái che. Cần có không gian ngồi nhóm nhỏ (3 - 4 người) đến lớn (10 - 15 người) gần khu vực mộ phần để phục vụ gia đình, nhóm thăm viếng.
- Không gian vui chơi nhẹ nhàng cho trẻ em, sử dụng vật liệu

thân thiện môi trường.

- Khu vực luyện tập thể thao và thiết bị tăng cường tương tác xã hội như bàn chơi cờ.
- Nhà vệ sinh và vòi nước công cộng với bồn rửa tay, sàn rửa chân cần được bố trí tại mỗi phân khu.

4.2. Tạo cảnh quan xanh - sinh thái, bảo tồn và phát triển đa dạng sinh học

a. Tổ chức hệ thống cảnh quan xanh

CVNT có thể phát triển đa dạng các loại hình vườn như vườn tường niệm, vườn cảnh quan và vườn ươm. Các loại vườn này có thể tổ chức độc lập hoặc lồng ghép với nhau nhằm tạo nên không gian xanh sinh thái hài hòa. Việc tăng diện tích cây xanh và đa dạng loài cây, đặc biệt ưu tiên cây bản địa, sẽ giúp CVNT trở thành một phần quan trọng của hệ thống xanh đô thị. Điều này góp phần cải thiện môi trường, nâng cao chất lượng không khí và hỗ trợ ứng phó với biến đổi khí hậu.

Tại các khu mộ phần và tường niệm, cây xanh cần được tổ chức gọn gàng, sạch sẽ và trang trọng. Trong khi đó, khu vực cộng đồng và bảo tồn sinh vật có thể sử dụng cây trồng đa dạng về hình thái, địa hình và màu sắc, tạo sự sinh động. Việc chọn lựa cây hoa có thể được khai thác để tạo bản sắc cảnh quan văn hóa đặc trưng cho từng khu vực trong CVNT.

b. Bảo tồn sinh học và cảnh quan tự nhiên

CVNT còn có thể đóng vai trò như một khu bảo tồn động, thực vật và cảnh quan sinh thái tự nhiên, góp phần tăng cường đa dạng sinh học đô thị. Các khu vực như vườn cảnh quan, vùng đệm xanh và hồ nước tự nhiên là nơi lý tưởng để phát triển chức năng này. Có thể cải tạo hoặc xây dựng mới các hệ sinh thái như rừng cây nhỏ, vùng ngập nước hoặc hồ nước nhằm cung cấp môi trường sống cho sinh vật. Cần lưu ý giải pháp thu - thoát nước bền vững để đảm bảo môi trường ổn định.

c. Phát triển hệ thống giao thông xanh

CVNT cần kết nối thuận lợi với đô thị thông qua hệ thống giao thông công cộng và các tuyến đường bộ, đường xe đạp. Trạm xe buýt gần CVNT nên được thiết kế như các điểm trung chuyển chính, có mái che, trang bị tiện nghi, hài hòa với kiến trúc cảnh quan. Với các CVNT quy mô lớn, cần tổ chức hệ thống xe điện phục vụ nội bộ, cùng với các tuyến đi bộ - đạp xe kết nối giữa các phân khu và với giao thông đô thị bên ngoài. Bố trí điểm đỗ xe đạp và xe máy tại các vị trí thuận tiện trong và xung quanh CVNT.



Hình 5. Phương tiện di chuyển thân thiện môi trường tại CVNT Hương An Viên, TP Huế (Nguồn: Website Hương An Viên, 2024)



Bảng 2. Các giải pháp HTX áp dụng cho CVNT

STT	Hạng mục ứng dụng	Giải pháp cụ thể	Lợi ích chính
1	Cảnh quan xanh	Trồng cây bản địa, vườn tường niệm, vườn cảnh	Làm mát vi khí hậu, tăng đa dạng sinh học
2	Mặt nước - thu gom nước	Hồ điều hòa, mương sinh thái, vỉa hè thấm nước	Giảm ngập, cải thiện nước ngầm, giảm nhiệt đô thị
3	Giao thông nội bộ	Tuyến đi bộ, xe điện, trạm xe buýt	Giảm khí thải, thuận tiện tiếp cận
4	Năng lượng	Pin mặt trời, đèn năng lượng mặt trời	Giảm tiêu thụ điện, thân thiện môi trường
5	Quản lý rác thải	Thùng rác thông minh, phân loại tại nguồn	Giảm ô nhiễm, nâng cao ý thức cộng đồng

4.3. Ứng dụng HTX trong quy hoạch và phát triển hệ hạ tầng kỹ thuật theo hướng xanh

a. Tổ chức hệ thống cây xanh - mặt nước thành một hệ thống HTX

Phát triển hệ thống cây xanh - mặt nước trong CVNT là một trong những chiến lược quan trọng nhằm hướng tới đô thị xanh - sinh thái. CVNT cần được quy hoạch để đóng vai trò như những “vùng chứa nước dự phòng”, hỗ trợ giảm thiểu nguy cơ ngập lụt trong đô thị. Hồ điều hòa, kênh mương sinh thái và mặt nước nhân tạo được tích hợp với hệ thống cây xanh tạo thành HTX linh hoạt, hỗ trợ điều hòa vi khí hậu và cải thiện không khí. Những yếu tố xanh này còn giúp làm mát không gian thông qua quá trình thoát hơi nước từ cây xanh. Trồng cây dọc các tuyến đường và vỉa hè giúp tăng bóng mát và nâng cao trải nghiệm cho người sử dụng.

b. Thiết lập hệ thống hạ tầng kỹ thuật xanh - thông minh

Việc thiết lập hạ tầng thông minh trong CVNT được đề xuất nhằm nâng cao hiệu quả quản lý và vận hành. Các công nghệ thông minh như hệ thống cấp nước cảm biến, thùng rác thông minh, đèn năng lượng mặt trời và hệ thống giám sát môi trường cần được áp dụng để tối ưu vận hành, giảm phát thải, thúc đẩy phát triển bền vững và nâng cao chất lượng dịch vụ trong CVNT.

c. Sử dụng vật liệu thân thiện môi trường

Trong các công trình phụ trợ (nhà đón tiếp, vệ sinh, chòi nghỉ...), cần ưu tiên vật liệu bền vững như tre, gỗ tự nhiên, gạch không nung, kính tiết kiệm năng lượng... nhằm giảm tác động đến môi trường và tạo bản sắc sinh thái cho CVNT.



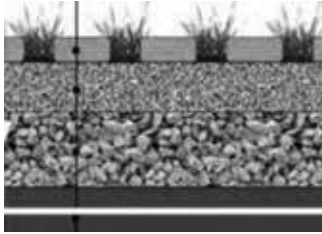
Hình 6. Nhà đón tiếp sử dụng vật liệu tre tại CVNT Hương An Viên, TP Huế (Nguồn: VTN Architects, 2021)



Hình 7. Nhà vệ sinh công cộng kết hợp tre và gạch không nung (Nguồn: VTN Architects, 2021).



Vỉa hè thấm nước giúp nước mưa thấm vào đất, giảm thu gom nước, tăng phủ xanh và giảm ô nhiễm không khí, CO₂. Giải pháp này còn hạ nhiệt bề mặt, giảm hình thành ozone tầng thấp, làm mát không khí và hạn chế hiệu ứng đảo nhiệt đô thị, góp phần tạo môi trường đô thị bền vững hơn.



Hình 8. Vật liệu thấm nước góp phần làm mát đô thị (Nguồn: Nguyễn Văn Hùng, Lê Thị Mai, 2020)



d. Giải pháp thiết kế, quy hoạch khuôn viên mộ phần

Mộ phần nên được thiết kế theo mô đun đồng bộ, sử dụng vật liệu đá tự nhiên, đá ong, vỉa hè kỹ thuật chống thấm để ngăn chặn ô nhiễm từ chất thải phân hủy. Tỷ lệ cây xanh trong khuôn viên mộ cần được duy trì ở tỷ lệ cao nhằm đảm bảo mỹ quan và sinh thái.



Khuôn viên xanh mộ phần tại CVNT Hương An Viên, TP Huế



Khuôn viên mộ phần sử dụng đá ong trên CVNT Lạc Hồng Viên, Lương Sơn, tỉnh Phú Thọ

Hình 9. Thiết kế khuôn viên mộ phần sử dụng đá ong và cây xanh (Nguồn: Trần Quý Dương, 2024)

4.4. Ứng dụng công nghệ hỏa táng thân thiện môi trường

Hỏa táng là phương pháp an táng sạch, ít phát thải, hiệu quả cao về mặt môi trường, sử dụng đất và thuận lợi trong quản lý. Các công nghệ hỏa táng hiện đại như điện hoặc gas nên được ưu tiên sử dụng.

Quan tài dùng cho hỏa táng được làm từ vật liệu dễ cháy, không chứa kim loại và có khả năng ngăn chất lỏng rò rỉ từ thi thể. Quá trình hỏa táng diễn ra qua hai buồng đốt: buồng sơ cấp duy trì nhiệt độ từ 650 - 850°C giúp đốt cháy hoàn toàn thi thể và chất thải; buồng thứ cấp hoạt động ở 850 - 1200°C, xử lý các chất độc hại như CO, dioxin, furan nhằm đảm bảo khí thải đầu ra không gây ô nhiễm.

Hệ thống xử lý khí thải hiện đại giúp loại bỏ hoàn toàn mùi hôi, khói đen và khí độc sau khi vận hành. Quá trình xử lý gồm: làm lạnh khí thải nhanh bằng thiết bị trao đổi nhiệt; xử lý bằng dung dịch kiềm loãng để trung hòa các axit như HF, HNO₃, H₂SO₄, HCl; hấp phụ và khử mùi bằng vật liệu hoạt tính. Cuối cùng, khí thải được kiểm soát chặt chẽ nồng độ trước khi xả ra môi trường, đảm bảo tiêu chuẩn môi trường không khí đô thị.

4.5. Thay đổi phong tục chôn cất, gắn kết văn hóa địa phương trong hoạt động tưởng niệm, thờ cúng

Việc xây dựng CVNT theo mô hình xanh, tiện nghi và hiện đại sẽ góp phần thay đổi nhận thức của người dân về hình thức an táng truyền thống. Bên cạnh đó, các không gian tưởng niệm có thể tích hợp hoạt động giáo dục văn hóa - lịch sử, giúp duy trì các giá trị tâm linh, truyền thống qua các công trình như đền thờ, điện trình, tượng Phật, hay nhà thờ tổ... phù hợp với đặc điểm từng vùng miền

a. Thay đổi phong tục chôn cất

Việc hình thành mô hình CVNT và sự phổ biến ngày càng rộng với những ưu điểm về cảnh quan, sinh thái và hệ thống dịch vụ chăm sóc mộ phần sẽ góp phần lớn vào sự thay đổi quan niệm chôn cất của người dân nói chung. Các loại hình an táng sạch được áp dụng tại CVNT gồm cát táng, hỏa táng, lưu tro cốt với các chỉ tiêu diện tích phù hợp theo quy chuẩn vừa đảm bảo tính đồng nhất, vừa tiết kiệm quỹ đất cho đô thị.

b. Xây dựng khu tưởng niệm và giáo dục phù hợp với phong tục, tín ngưỡng

CVNT cần được quy hoạch lồng ghép các không gian giáo dục về lịch sử - văn hóa, hoạt động tưởng niệm, quá trình phát triển của cộng đồng cũng như các giá trị văn hóa truyền thống của từng địa phương. Nhiều không gian văn hóa tâm linh đã được đưa vào trong các CVNT như: chùa (trúc lâm thiền viện), đền thờ anh hùng liệt sỹ, nhà thờ tổ, đền trình, tượng Phật... Những công trình mang nét văn hoá, lịch sử và tâm linh này sẽ có tác dụng lớn trong việc giáo dục con người về đạo lý đối với tổ tiên, về trách nhiệm đối với xã hội, giữ gìn được văn hoá của người Việt.



Điện trình



Lầu chuông

Hình 10. Công trình văn hóa, tâm linh trong Nghĩa trang CVVH, xã Đà Lộc, TP Đà Nẵng (Nguồn: Trần Quý Dương, 2024)

4.6. Tạo lập các yếu tố văn hoá, xã hội

CVNT không chỉ là nơi an táng mà còn có thể trở thành điểm đến tâm linh, không gian văn hóa đặc trưng. Việc tổ chức các hoạt động cộng đồng như lễ Vu lan, lễ Phật đản, lễ tưởng niệm anh hùng liệt sỹ... sẽ góp phần thu hút người dân, tăng tính gắn kết xã hội và gìn giữ bản sắc văn hóa dân tộc trong không gian sinh thái - nhân văn.



Vườn "Nhị Thập Tứ Hiếu", CVVH Long Thành, tỉnh Đồng Nai



Đại lễ Vu lan báo hiếu tại CVNT Hương An Viên, TP Huế

Hình 11. Không gian tâm linh và lễ hội cộng đồng tại CVNT (Nguồn: Website CVNT Long Thành & Hương An Viên, 2024).

Bảng 4. Tác động tích cực của mô hình CVNT theo hướng HTX

STT	Lĩnh vực tác động	Lợi ích mang lại
1	Môi trường	Giảm phát thải CO ₂ , cải thiện chất lượng không khí, nước
2	Xã hội - văn hóa	Gìn giữ giá trị tâm linh, nâng cao ý thức cộng đồng
3	Kinh tế - sử dụng đất	Tiết kiệm đất, giảm chi phí đền bù di dời, thu hút đầu tư
4	Đô thị - cảnh quan	Tạo KGCC, tăng diện tích xanh đô thị

5. KẾT LUẬN

Trong bối cảnh đô thị hóa nhanh và nhu cầu thay đổi về phong tục an táng, mô hình CVNT hướng tới HTX nổi lên như một giải pháp thiết thực và bền vững cho đô thị Việt Nam. Không chỉ đơn thuần là nơi an nghỉ cho người đã khuất, CVNT còn là KGCC đa chức năng, góp phần cải thiện chất lượng sống, nâng cao giá trị cảnh quan - sinh thái, và bảo tồn đa dạng sinh học trong lòng đô thị.

Việc quy hoạch và thiết kế CVNT cần được tiếp cận một cách tổng thể, tích hợp các yếu tố HTX, kiến trúc thân thiện môi trường, giao thông xanh, và sử dụng vật liệu bền vững. Đồng thời, ứng dụng công nghệ hỏa táng sạch, cải tiến hình thức an táng, kết hợp các yếu tố văn hóa - tâm linh sẽ góp phần thay đổi nhận thức cộng đồng, tiết kiệm quỹ đất và giảm thiểu tác động đến môi trường.

Để triển khai hiệu quả mô hình CVNT, cần có những quy định pháp lý cụ thể, chính sách hỗ trợ đồng bộ và sự tham gia của cả nhà nước, doanh nghiệp và cộng đồng. CVNT vì vậy không chỉ là xu thế quy hoạch xanh trong tương lai mà còn là biểu tượng cho đô thị văn minh, hiện đại và nhân văn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tài liệu trong nước

- [1]. Bộ Xây dựng. (2021). Thông tư số 01/2021/TT-BXD: Ban hành QCVN 01:2021/BXD - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về quy hoạch xây dựng. Truy cập từ <https://vanban.chinhphu.vn/default.aspx?pageid=27160&docid=200405>.
- [2]. Bộ Xây dựng. (2023). QCVN 07:2023/BXD - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về các công trình hạ tầng kỹ thuật: Phần công trình nghĩa trang. Truy cập từ <https://qppl.moha.gov.vn/van-ban/chi-tiet/230410>.
- [3]. Báo Nhân Dân. (2024, 3/ 10). Giải bài toán quy hoạch nghĩa trang. Truy cập từ <https://nhandan.vn/giai-bai-toan-quy-hoach-nghia-trang-post742960.html>.
- [4]. Báo Tiền Phong. (n.d.). Nghĩa trang tự phát mọc giữa thành phố ở Đồng Nai. Truy cập từ <https://tienphong.vn/nghia-trang-tu-phat-moc-giua-thanh-pho-o-dong-nai-post1657736.tpo>.
- [5]. Công viên Vĩnh Hằng Long Thành. (n.d.). Vườn Nhị Thập Tứ Hiếu tại Công viên Vĩnh Hằng Long Thành. Truy cập từ <https://vinhanglongthanhdongnai.com/vuon-nhi-thap-tu-hieu-tai-cong-vien-vinh-hang-long-thanh/>.
- [6]. Đài Phát thanh - Truyền hình Thái Bình. (n.d.). Bắt cập trong quản lý nghĩa trang ở Thái Bình. Truy cập từ <https://thaibinh.vn/news/0/44931/bat-cap-trong-quan-ly-nghia-trang-o-thai-binh>.
- [7]. Nguyễn Văn Hùng, & Lê Thị Mai. (2020). Giải pháp sử dụng vật liệu thấm nước trong giảm nhiệt đô thị. Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải, (66), 43-50.
- [8]. Nghĩa trang Hương An Viên. (n.d.). Trang thông tin chính thức. Truy cập từ <https://nghiatranghuonganvien.com/>.
- [9]. VTN Architects. (2021, 7 tháng 1). Nhà đón tiếp công viên nghĩa trang Hương An Viên. Kiến Việt. Truy cập từ <https://kienviet.net/2021/1/7/nha-don-cong-vien-nghia-trang-huong-an-vien-vtn-architects/>

Tài liệu quốc tế

- [10]. Center for Neighborhood Technology & American Rivers. (2010). The value of green infrastructure: A guide to recognizing its economic, environmental and social benefits. Truy cập từ https://cnt.org/sites/default/files/publications/CNT_Value-of-Green-Infrastructure.pdf.
- [11]. Wikipedia. (n.d.). Skogsskyrkogården. Truy cập ngày 16/ 6/ 2025, từ <https://en.wikipedia.org/wiki/Skogsskyrkog%C3%A5rden>.

Biểu hiện kiến trúc cổ điển phương Tây trên mặt đứng nhà cổ ở Sa Đéc, tỉnh Đồng Tháp

Manifestations of Western Classical architecture on the façades of historic houses in Sa Dec, Dong Thap province

> **THS.KTS LÊ HỒ TUYẾT NGÂN**

GV Khoa Kiến trúc, Trường Đại học Xây dựng Miền Tây

Email: lehotuyetngan@mtu.edu.vn

TÓM TẮT

Bài viết nghiên cứu biểu hiện của kiến trúc cổ điển phương Tây trên mặt đứng các công trình nhà cổ tại TP Sa Đéc, tỉnh Đồng Tháp, một bối cảnh kiến trúc đô thị độc đáo được hình thành từ cuối thế kỷ XIX. Thông qua phương pháp phân tích đặc điểm mặt đứng kết hợp với thống kê định lượng trên 36 công trình, nghiên cứu cho thấy ngôn ngữ kiến trúc phương Tây không được sao chép nguyên bản, mà đã trải qua một quá trình tiếp nhận có chọn lọc và bản địa hóa sâu sắc. Kết quả đã nhận diện và phân loại ba nhóm phong cách chính: (1) Cổ điển toàn diện & mẫu mực, (2) Tối giản & đối xứng, và (3) Chiết trung & bất đối xứng. Sự phân loại này cho thấy quá trình lai ghép diễn ra ở nhiều cấp độ, từ việc duy trì các nguyên tắc bố cục kinh điển như đối xứng, đến việc biến đổi sáng tạo các chi tiết và dung hợp với các yếu tố bản địa. Nghiên cứu khẳng định rằng giá trị di sản của nhà cổ Sa Đéc nằm chính ở tính lai ghép độc đáo này, qua đó cung cấp luận cứ khoa học quan trọng cho công tác bảo tồn, đồng thời nhấn mạnh sự cần thiết phải tôn trọng các yếu tố bản địa hóa trong quá trình trùng tu.

Từ khóa: Kiến trúc cổ điển phương Tây, nhà cổ Sa Đéc, bản địa hóa, mặt đứng kiến trúc.

ABSTRACT

This article investigates the manifestations of Western Classical architecture on the façades of historic houses in Sa Dec city, Dong Thap province, a unique urban architectural context formed since the late 19th century. Through morphological analysis of façades and quantitative statistics on 36 buildings, the study indicates that the Western architectural language was not merely replicated but underwent a process of selective reception and profound vernacularization. The results have identified and classified three main stylistic groups: (1) Comprehensive & Exemplary Classical, (2) Minimalist & Symmetrical and (3) Eclectic & Asymmetrical. This classification reveals that the hybridization process occurred at multiple levels, from maintaining classical composition principles like symmetry to creatively transforming details and integrating them with local elements. The study affirms that the heritage value of Sa Dec's historic houses lies precisely in this unique hybridity, thereby providing a significant scientific basis for conservation efforts and emphasizing the need to respect vernacularized elements during restoration processes.

Keywords: Western Classical architecture, Sa Dec historic houses, vernacularization, architectural façade.

1. GIỚI THIỆU

Vào cuối thế kỷ XIX, dưới tác động của bối cảnh thuộc địa, kiến trúc cổ điển phương Tây được du nhập vào Việt Nam và dần tạo nên những ảnh hưởng sâu sắc đến diện mạo đô thị. Ngôn ngữ kiến trúc này, với các nguyên tắc về đối xứng, tỷ lệ và hệ thống trang trí kinh điển, không được sao chép nguyên bản, mà trải qua một quá trình thích ứng và lai ghép phức tạp nhằm phù hợp với khí hậu, vật liệu và văn hóa bản địa [1]. Chính quá trình này đã khai sinh ra phong cách kiến trúc Đông Dương (Indochine) đặc sắc, thể hiện rõ nét sự giao thoa giữa hai nền văn hóa Đông - Tây.

Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL), với vai trò là một trung tâm kinh tế năng động, đã trở thành một không gian tiêu biểu cho sự hòa trộn kiến trúc Đông - Tây. Trong đó, Sa Đéc nổi lên như một trung tâm thương mại sầm uất, nơi tầng lớp thương nhân đã xây

dựng những ngôi nhà phố có mặt đứng mang đậm dấu ấn phong cách phương Tây nhưng không gian sinh hoạt bên trong vẫn giữ nếp truyền thống [2]. Tầng lớp thương nhân người Kinh và Hoa tại đây đã xây dựng nên nhiều công trình nhà ở và biệt thự có mặt đứng mang đậm dấu ấn Tân cổ điển và Beaux-Arts, trong khi bố cục không gian bên trong vẫn tuân thủ theo lối sống truyền thống Á Đông. Những ngôi nhà cổ còn tồn tại đến ngày nay là minh chứng vật chất quý giá cho một thời kỳ giao lưu văn hóa sôi động.

Trước bối cảnh đó, nghiên cứu này được thực hiện với mục tiêu chính là nhận diện, phân tích và hệ thống hóa các biểu hiện của kiến trúc cổ điển phương Tây trên mặt đứng các công trình nhà cổ tại Sa Đéc. Câu hỏi nghiên cứu trọng tâm được đặt ra là: Những yếu tố của kiến trúc cổ điển phương Tây đã biểu hiện cụ thể như thế nào trên mặt đứng nhà cổ ở Sa Đéc? Kết quả của nghiên cứu sẽ góp phần

chuyển hóa của ngôn ngữ kiến trúc cổ điển phương Tây trong bối cảnh nhà ở truyền thống Nam Bộ. Do đó, việc chọn Sa Đéc làm địa bàn nghiên cứu cho phép nhận diện rõ những biểu hiện của kiến trúc cổ điển phương Tây trên mặt đứng nhà cổ trong mối liên hệ mật thiết với bối cảnh kinh tế - xã hội địa phương.

Theo Hình 2, khu vực nghiên cứu tập trung tại các phường 1, 2, 3, 4 của TP Sa Đéc (trước khi sáp nhập). Đối tượng khảo sát là những nhà cổ có đặc điểm kiến trúc phương Tây còn hiện diện ở khu vực nghiên cứu.

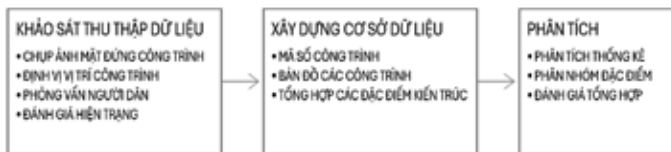
3.2. Quy trình và các phương pháp nghiên cứu chính

Nghiên cứu được thiết kế theo phương pháp tiếp cận đa chiều, tích hợp giữa khảo sát thực địa, phân tích hình thức kiến trúc và phân tích không gian-lịch sử. Quy trình nghiên cứu được cấu trúc chặt chẽ qua ba giai đoạn chính: (1) Thu thập dữ liệu đa nguồn tại hiện trường; (2) Xây dựng và xử lý cơ sở dữ liệu tích hợp; và (3) Phân tích, tổng hợp dữ liệu (Hình 3).

Giai đoạn đầu tiên tập trung vào việc khảo sát thực địa và thu thập dữ liệu sơ cấp từ 47 công trình nhà ở cổ tại Sa Đéc, sau đó lựa chọn 36 công trình tiêu biểu dựa trên các tiêu chí về giá trị lịch sử và kiến trúc để phân tích sâu. Tại mỗi công trình, các lớp thông tin được thu thập một cách đồng bộ, bao gồm: dữ liệu hình thức kiến trúc được ghi nhận thông qua quan sát và tư liệu hóa bằng hình ảnh nhằm nhận diện sự hiện diện của các yếu tố kiến trúc theo một danh mục 25 đặc điểm đã được xây dựng trước; dữ liệu lịch sử và bối cảnh được thu thập qua phỏng vấn và tra cứu tư liệu để xác định năm xây dựng, chức năng và lịch sử sở hữu; và dữ liệu không gian được xác định bằng thiết bị định vị toàn cầu (GPS) để làm cơ sở cho việc lập bản đồ phân bố.

Sau khi thu thập, dữ liệu thô được chuẩn hóa và cấu trúc hóa trong giai đoạn hai. Dữ liệu về đặc điểm chi tiết kiến trúc được chuyển hóa thành định dạng số bằng phương pháp mã hóa nhị phân, trong đó giá trị "1" biểu thị đặc điểm có mặt và "0" khi đặc điểm không xuất hiện. Dữ liệu tọa độ GPS được nhập vào phần mềm Hệ thống Thông tin Địa lý (QGIS) để xây dựng một bản đồ số hóa. Các thông tin về lịch sử, chức năng và hiện trạng cũng được hệ thống hóa và liên kết với từng mã định danh riêng của công trình (từ SD01 đến SD47), tạo nên một cơ sở dữ liệu đa lớp và toàn diện.

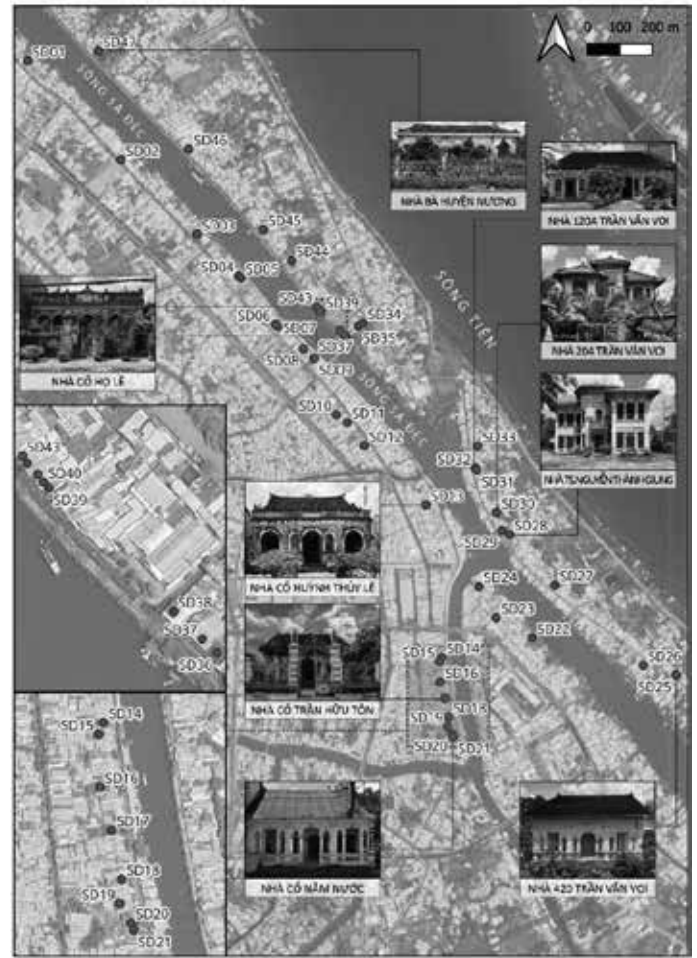
Cuối cùng, cơ sở dữ liệu tích hợp được khai thác trong giai đoạn phân tích và tổng hợp. Phương pháp phân tích không gian được thực hiện bằng công cụ GIS để làm rõ các quy luật phân bố của công trình, qua đó giúp xác định các cụm di sản và mối liên hệ giữa vị trí địa lý với đặc trưng kiến trúc. Song song đó, phương pháp thống kê mô tả được áp dụng để định lượng tần suất xuất hiện của từng đặc điểm kiến trúc trong toàn bộ mẫu nghiên cứu, từ đó xác định các xu hướng phổ biến và đặc trưng nhất trên mặt đứng của quần thể nhà cổ Sa Đéc.



Hình 3. Quy trình các bước khảo sát và xây dựng dữ liệu, phân tích trong nghiên cứu

4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ BÀN LUẬN

Kết quả phân tích định lượng 36 công trình nhà cổ tại Sa Đéc cho thấy sự phân hóa đáng kể trong mức độ tiếp nhận và ứng dụng các yếu tố kiến trúc cổ điển phương Tây. Thay vì tái hiện nguyên mẫu theo chuẩn Hy Lạp - La Mã, các công trình này phản ánh sự chọn lọc và biến đổi để phù hợp với điều kiện không gian, kỹ thuật xây dựng và tập quán sử dụng tại Nam Bộ cuối thế kỷ XIX - đầu XX.



Hình 4. Bản đồ phân bố các công trình nhà cổ biểu hiện kiến trúc cổ điển phương Tây tại Sa Đéc

4.1. Đặc điểm chung

Trong tổng thể khảo sát, nhà một tầng chiếm ưu thế tuyệt đối (78%), cho thấy sự thích ứng với quy mô đô thị và điều kiện kinh tế - xã hội của thị dân Sa Đéc. Tỷ lệ cao của loại hình nhà biệt lập (69%) cũng phản ánh xu hướng phát triển quỹ đất theo chiều ngang, phù hợp với môi trường đô thị sông nước. Đáng chú ý, hành lang trước (front veranda) xuất hiện với tần suất 75%, đóng vai trò vừa là không gian chuyển tiếp, vừa điều tiết vi khí hậu, một giải pháp tương đồng với nhận định của Fletcher (1996) trong ấn phẩm *A History of Architecture* [19] về việc các hình thức bản địa thường điều chỉnh mặt đứng để thích ứng khí hậu nhiệt đới.

Ngược lại, các chi tiết mang tính biểu tượng đặc trưng của kiến trúc phương Tây như điểm mái (entablature) trên mặt tiền lại xuất hiện với tỷ lệ rất thấp, chỉ 11% số công trình. Đặc điểm này cho thấy việc áp dụng chi tiết cổ điển không đồng đều: chúng thường tập trung ở những dinh thự lớn hoặc nhà phố có tính chất biểu trưng, thay vì phổ biến đại trà. Quan sát này phù hợp với nhận định của Summerson (1980) trong ấn phẩm *The Classical Language of Architecture* [3], rằng trong môi trường ngoài châu Âu, các yếu tố cổ điển thường được "chọn lọc và nhấn mạnh" ở những vị trí biểu tượng hơn là tái hiện toàn diện.

4.2. Biểu hiện của các nguyên tắc tổ hợp kinh điển trong kiến trúc cổ điển phương Tây

Phân tích 36 công trình cho thấy các nguyên tắc tổ hợp mặt đứng là nhóm yếu tố được duy trì ổn định và phổ biến nhất, đóng

vai trò như “linh hồn” của phong cách cổ điển phương Tây. Những nguyên tắc này không chỉ mang tính hình thức mà còn thể hiện nền tảng tư duy thẩm mỹ gắn với quan niệm trật tự, tỷ lệ và sự hài hòa đã được Vitruvius, Alberti và nhiều nhà lý luận nhấn mạnh trong suốt lịch sử kiến trúc phương Tây [3], [5].

Trong số đó, nguyên tắc đối xứng xuất hiện ở 89% công trình, gần như là quy luật tuyệt đối trong tổ chức mặt đứng. Đối xứng ở đây thường được thể hiện qua trục chính giữa với cửa chính hoặc hiên trung tâm, hai bên bố trí cửa sổ hoặc chi tiết trang trí cân xứng. Điều này phản ánh một trong những nguyên tắc căn cốt của kiến trúc cổ điển: sự cân bằng thị giác và tính trật tự được xem là biểu hiện của lý tính và thẩm mỹ chuẩn mực [20].

Bên cạnh đó, nguyên tắc nhân hình hóa - tức việc tổ chức mặt đứng theo logic ba phần (nền, thân, mái) và chú trọng xử lý phần trung tâm như “bộ mặt” của ngôi nhà, cũng được áp dụng ở mức cao, chiếm 81%. Tại Sa Đéc, nguyên tắc này thường được thể hiện qua phần nền vững chắc, thân nhà với nhịp cột hoặc mảng cửa đều đặn và phần mái hoặc điểm mái làm điểm kết thúc rõ ràng cho bố cục tổng thể.

Đặc biệt, tổ hợp ba ngăn Palladian (Palladian motif), một dạng thức phức hợp hơn, kết hợp của giữa lớn và hai cửa bên nhỏ, vốn được Andrea Palladio khai triển từ thế kỷ XVI, xuất hiện với tần suất trung bình (56%) (Hình 5). Mặc dù không phổ biến tuyệt đối như đối xứng hay bố cục ba phần, nhưng khi xuất hiện, motif Palladian thường giữ vai trò điểm nhấn trung tâm của mặt đứng, góp phần nâng cao giá trị biểu trưng và thể hiện sự am hiểu, chọn lọc tinh tế của giới chủ nhân trong việc vận dụng ngôn ngữ cổ điển [3], [21].



Hình 5. Tổ hợp 3 ngăn Palladian và đối xứng, nhân hình hóa trên mặt đứng nhà SD25

4.3. Biểu hiện của các bộ phận, chi tiết kiến trúc cổ điển phương Tây

Kết quả phân tích cho thấy sự hiện diện của các chi tiết kiến trúc cổ điển phương Tây trên mặt đứng nhà cổ ở Sa Đéc không diễn ra một cách đồng loạt, mà phản ánh một quá trình phân tầng và chọn lọc có chủ đích. Các chi tiết có tính chất vừa kết cấu vừa thẩm mỹ, hoặc những thành phần hình khối cơ bản, được ưu tiên sử dụng với tần suất cao. Cụ thể, hệ cột mặt tiền, giúp định hình trật tự nhịp điệu mặt đứng, xuất hiện ở 72% công trình, cho thấy mức độ phổ biến rộng rãi của chi tiết này. Tương tự, chỉ phức ngang (string course) nhấn mạnh đường chân mái, đạt tần suất 81%, phản ánh một trong những nguyên tắc thị giác cốt lõi của kiến trúc Tân cổ điển châu Âu [3]. Ngoài ra, vòm cuốn (arches) cũng được ứng dụng với tỷ lệ cao (67%), vốn nguyên gốc để đáp ứng yêu cầu kỹ thuật vượt nhịp, nay chỉ mang tính biểu tượng, gợi nhắc đến truyền thống kiến trúc La Mã.

Ngược lại, các chi tiết thiên về trang trí, không giữ vai trò cấu trúc trực tiếp, lại có sự hiện diện ở mức trung bình hoặc thấp hơn. Lan can lục bình (balustrades) được ghi nhận ở 50% công trình, thể hiện tính phổ biến nhưng không đồng nhất, chủ yếu mang tính trang trí phần dưới hàng hiên trước nhà dùng để kết nối các cột với nhau. Viên đá khóa (keystone), một chi tiết trang trí có nguồn gốc từ kiến trúc vòm cổ điển, biểu trưng cho sự “khóa chặt” kết cấu - xuất hiện với tần suất 39%, phản ánh tính chất biểu tượng nhiều hơn là kỹ thuật thực tế trong điều kiện xây dựng tại Nam Bộ [22].

Đáng chú ý, phần lớn các chi tiết tinh xảo và mang tính đặc thù cao trong ngôn ngữ cổ điển lại rất hiếm gặp. Đường diềm giọt chấm (dentils), vốn là đặc điểm kinh điển trong bộ dầm (entablature) Hy Lạp - La Mã, chỉ được tìm thấy ở 22% công trình. Trụ liên tường (engaged columns) và cột áp tường (pilasters) có tần suất xuất hiện lần lượt là 14% và 8%, thường chỉ hiện diện ở những công trình thuộc về tầng lớp thượng nhân giàu có hoặc nhà phố có tính chất biểu trưng. Sự hiếm hoi này phản ánh một quy luật chọn lọc: các chi tiết yếu cầu tay nghề cao hoặc mang nặng tính “hàn lâm” của kiến trúc cổ điển phương Tây ít được tái hiện đầy đủ trong bối cảnh Sa Đéc, mà thay vào đó, gia chủ ưu tiên những yếu tố vừa dễ thi công vừa dễ nhận diện tính cổ điển.



Hình 6. Chi tiết lan can con tiện, viên đá khóa và đường diềm trang trí trên mặt đứng nhà SD07

4.4. Kết quả phân loại và nhận diện các nhóm phong cách mặt đứng

Kết quả phân loại cho thấy sự kết hợp giữa các nguyên tắc bố cục, chi tiết và yếu tố trang trí cổ điển đã dẫn đến sự hình thành những phong cách mặt đứng khác biệt trong kiến trúc nhà cổ Sa Đéc. Trên cơ sở phân tích định lượng và so sánh, có thể nhận diện ba nhóm chính: (1) Cổ điển toàn diện & mẫu mực, (2) Tối giản & đối xứng và (3) Chiết trung & bất đối xứng. Mỗi nhóm phản ánh một chiến lược khác nhau trong việc tiếp thu, điều chỉnh và bản địa hóa ngôn ngữ kiến trúc cổ điển phương Tây trong bối cảnh đô thị Nam Bộ. Cụ thể:

- Nhóm 1: Cổ điển toàn diện & mẫu mực. Nhóm này biểu đạt đầy đủ nhất các nguyên tắc cổ điển, tuân thủ chặt chẽ bố cục đối xứng, bố cục ba phần và sử dụng dày đặc các chi tiết đặc trưng như tổ hợp ba ngăn Palladian, hệ cột, vòm cuốn và lan can lục bình [3], [22]. Đây là biểu hiện của sự đầu tư công phu, gắn với tinh thần hàn lâm.

- Nhóm 2: Tối giản & đối xứng. Hướng tiếp cận này mang tính thực dụng hơn, vẫn duy trì nghiêm ngặt nguyên tắc đối xứng và bố cục ba phần-vốn là “linh hồn” của trật tự cổ điển [20], nhưng lược bỏ hầu hết các chi tiết trang trí cầu kỳ. Mặt đứng thường phẳng, mạch lạc, chỉ sử dụng chỉ phức ngang làm điểm nhấn.

- Nhóm 3: Chiết trung & bất đối xứng. Đây là nhóm tự do và linh hoạt nhất, phá vỡ nguyên tắc đối xứng kinh điển [3]. Mặc dù bất đối xứng, các công trình này vẫn vay mượn có chọn lọc một số yếu tố như vòm cuốn hoặc lan can lục bình nhưng sắp đặt theo cách phi chuẩn, nhấn mạnh sự cá nhân hóa và thích ứng linh hoạt với nhu cầu của gia chủ.

Bảng 1. Tổng hợp phân nhóm và nhận diện các đặc điểm kiến trúc cổ điển Phương Tây trên mặt đứng nhà cổ ở Sa Đéc

Phân nhóm	Nhóm 1: Cổ điển toàn diện & mẫu mực	Nhóm 2: Tối giản & đối xứng	Nhóm 3: Chiết trung & bất đối xứng
Số lượng	16 công trình	16 công trình	4 công trình
Nguyên tắc bố cục	Tuân thủ chặt chẽ bố cục đối xứng và nhân hình hóa.	Duy trì triệt để nguyên tắc đối xứng và nhân hình hóa.	Phá vỡ hoàn toàn nguyên tắc đối xứng.
Đặc điểm chính	- Kết hợp dày đặc các chi tiết đặc trưng của truyền thống cổ điển châu Âu. - Hiện diện tổ hợp ba ngăn Palladian. - Tái hiện hệ cột, vòm cuốn, lan can lục bình và diềm mái (entablature).	- Lược bỏ phần lớn các chi tiết cầu kỳ. - Mặt đứng được tổ chức phẳng, mạch lạc. - Chỉ phức ngang (string course) là chi tiết tạo điểm nhấn chủ đạo.	- Tất cả đều là nhà hai tầng. - Vay mượn có chọn lọc một số yếu tố (vòm cuốn, lan can lục bình). - Sắp đặt các chi tiết theo cách phi chuẩn.
Lý giải các đặc điểm	Biểu đạt trọn vẹn và đầy đủ nhất các nguyên tắc kiến trúc cổ điển, thể hiện mức độ đầu tư chỉnh chu.	Hướng tiếp cận thực dụng và giản lược hơn, phản ánh xu hướng bản địa hóa ở mức vừa phải.	Hướng tiếp nhận tự do và linh hoạt, nhấn mạnh sự cá nhân hóa và thích ứng theo nhu cầu.
Công trình	SD7, SD13, SD45, SD32, SD6, SD17, SD20, SD34	SD2, SD27, SD8, SD1, SD4, SD11, SD38, SD46	SD9, SD19, SD28, SD30
Hình ảnh các công trình			

Đánh giá tổng hợp của nghiên cứu (Bảng 1) cho thấy ba nhóm phong cách này không chỉ phản ánh các mức độ tiếp thu khác nhau của kiến trúc Cổ điển phương Tây, mà còn làm rõ cơ chế biến đổi và thích ứng trong bối cảnh Sa Đéc cuối thế kỷ XIX - đầu thế kỷ XX. Sự tồn tại song song của ba nhóm này cho thấy kiến trúc cổ điển không được “sao chép nguyên bản”, mà trở thành một hệ thống biểu đạt đa dạng, gắn với nhu cầu xã hội, khả năng kinh tế và thị hiếu thẩm mỹ của cư dân địa phương.

4.5. Bàn luận

Kiến trúc nhà cổ Sa Đéc không phải là sự sao chép nguyên bản mà là một quá trình tiếp nhận có chọn lọc và biến đổi sáng tạo ngôn ngữ cổ điển phương Tây. Thay vì tái hiện các thức cột kinh điển, người thợ địa phương đã tạo ra những biến thể hỗn hợp, thay đổi

cả về hình dáng (tiết diện tròn, vuông, lục giác) lẫn chi tiết trang trí (phù điêu hoa lá, biểu tượng phong thủy). Các tổ hợp phức tạp như mô-típ cửa ba ngăn Palladian cũng được giản lược hóa và điều chỉnh linh hoạt, trong khi các chi tiết như lan can lục bình được tái sử dụng với chức năng trang trí thuần túy.

Quá trình này không chỉ biến đổi yếu tố phương Tây mà còn dung hợp một cách chủ động các yếu tố bản địa và Á Đông. Hoa tiết hoa cúc, men sứ nhiều màu đặc trưng của thủ công Hoa kiều và các giải pháp thích ứng khí hậu nhiệt đới như cửa lá sách, con-sô-lê hay lam gỗ đã được tích hợp một cách hài hòa. Sự kết hợp này tạo ra một hình thức kiến trúc lai ghép độc đáo: vừa duy trì các nguyên tắc cốt lõi về đối xứng và tỷ lệ của phương Tây, vừa thể hiện rõ nét thẩm mỹ, kỹ thuật và vật liệu địa phương.

Tuy nhiên, giá trị của sự lai ghép này vẫn chưa được đánh giá đầy đủ. Các nghiên cứu hiện tại mới dừng ở mức mô tả tổng thể, chưa đi sâu phân tích cơ chế biến đổi hình thức hay vai trò văn hóa của các yếu tố bản địa. Do đó, cần có những nghiên cứu hệ thống hơn để làm rõ cách thức mà kiến trúc cổ điển phương Tây đã được “nhiệt đới hóa” và bản địa hóa một cách sáng tạo trong bối cảnh văn hóa Nam Bộ.

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này khẳng định rằng kiến trúc nhà cổ Sa Đéc không phải là sự sao chép nguyên bản, mà là kết quả của một quá trình tiếp nhận có chọn lọc và bản địa hóa sáng tạo ngôn ngữ kiến trúc cổ điển phương Tây. Các nguyên tắc nền tảng như tính đối xứng và bố cục ba phần được duy trì rộng rãi; trong khi đó, các chi tiết như thức cột và mô-típ Palladian được biến đổi một cách linh hoạt, đồng thời dung hợp hài hòa với yếu tố Á Đông và các giải pháp thích ứng với khí hậu nhiệt đới.

Về mặt đóng góp, nghiên cứu đã nhận diện ba nhóm phong cách chính: Cổ điển toàn diện & mẫu mực, Tối giản & đối xứng, và Chiết trung & bất đối xứng. Sự phân loại này phản ánh sự đa dạng trong nhu cầu biểu đạt, điều kiện kinh tế và thẩm mỹ của tầng lớp thương nhân địa phương. Đồng thời, nghiên cứu đã cung cấp một phân tích hệ thống, qua đó làm rõ rằng giá trị đặc trưng của di sản này nằm chính ở tính lai ghép độc đáo, chứ không phải ở sự thuần khiết của phong cách cổ điển. Phát hiện này mang ý nghĩa quan trọng, định hướng cho công tác bảo tồn cần tôn trọng và gìn giữ các yếu tố “nhiệt đới hóa” và bản địa hóa đặc sắc trong kiến trúc nhà cổ Sa Đéc.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. N. T. Tung and H. B. Long, "Classification and characteristics of colonial architecture in Hue city, Vietnam," presented at the International Conference on Sustainable Development of Civil, Urban and Transportation Engineering, Ho Chi Minh City, Vietnam, 2021.
- [2]. B. T. Tran, "Sa Đéc - xứ sở của trăm công trình kiến trúc cổ, di tích văn hóa," *VnExpress*, 13/08/2024. [Trực tuyến]. Available: <https://vnexpress.net/sa-dec-xu-so-cua-tram-cong-trinh-kien-truc-co-di-tich-van-hoa-4925742.html>.
- [3]. J. Summerson, *The Classical Language of Architecture*. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 1980.
- [4]. J. S. Curl, *Classical Architecture: An Introduction to Its Vocabulary and Essentials, with a Select Glossary of Terms*. New York, NY, USA: W. W. Norton & Company, 2003.
- [5]. J. Rykwert, *The Dancing Column: On Order in Architecture*. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 1996.
- [6]. D. Watkin, *A History of Western Architecture*, 4th ed. London, UK: Laurence King Publishing, 2005.
- [7]. G. Wright, *The Politics of Design in French Colonial Urbanism*. Chicago, IL, USA: University of Chicago Press, 1991.
- [8]. H. Pelen, "The Evolution of colonial French houses architecture in Vietnam and former Indochina: how European-based architecture has had to adapt to the local climate," *Architecture & Environment Journal*, 2015.
- [9]. P.-P. Pham, "The Transition of the Spatial Configuration of Houses Built from 1858 to 1945 in Vietnam's Mekong Delta Based on Space Syntax Analysis," *Journal of the Korean Housing Association*, vol. 31, no. 6, pp. 67-76, 2020.
- [10]. J. Boardman and D. J. Watkin, "Western architecture: Classicism, Revivalism, Eclecticism (1830-1930)," *Encyclopaedia Britannica*.
- [11]. P. De Berardinis, M. Rotilio, C. Marchionni, and A. Friedman, "Energy and comfort. The historical evolution of the façade in Western architecture," *Energy and Buildings*, vol. 75, pp. 232-241, 2014.
- [12]. T. R. Metcalf, *An Imperial Vision: Indian Architecture and Britain's Raj*. Berkeley, CA, USA: University of California Press, 1989.
- [13]. A. Kusno, *Behind the Postcolonial: Architecture, Urban Space and Political Cultures in Indonesia*. London, UK: Routledge, 2000.

- [14]. S. Yoo, T. T. Duong, and J. Lee, "The Transition of Vernacular Housing in the Mekong Delta under Socio-environmental Conditions," *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, vol. 19, no. 3, pp. 249-261, 2020.
- [15]. N. T. H. Hanh, "Traditional Houses in the Mekong Delta: Spatial Adaptations to Riverine Culture," *Can Tho University Journal of Science*, vol. 54, no. 8, pp. 91-99, 2018.
- [16]. B. T. Quynh, "Giá trị kiến trúc nhà ở truyền thống vùng Đồng bằng sông Cửu Long," *Luận văn Thạc sỹ, Trường Đại học Kiến trúc TP.HCM*, 2018.
- [17]. N. T. Q. Thong and P. B. An, "Nghiên cứu các giá trị và đề xuất giải pháp bảo tồn kiến trúc nhà ở truyền thống vùng Nam Sông Tiền - Đồng Tháp theo hướng bền vững," *Tạp chí Kiến trúc Việt Nam*, số 2, 2024.
- [18]. Ban Biên tập, "Huỳnh Thủy Lê's Ancient House: A Cultural and Tourism Perspective," *Tạp chí Văn hóa Du lịch Đồng Tháp*, 2019.
- [19]. B. Fletcher, Sir Banister Fletcher's *A History of Architecture*, 20th ed., D. Cruickshank, Ed. Architectural Press, 1996.
- [20]. S. Kostof, *A History of Architecture: Settings and Rituals*, 2nd ed. New York, NY, USA: Oxford University Press, 1995.
- [21]. J. S. Ackerman, *Palladio*. Harmondsworth, UK: Penguin Books, 1966.
- [22]. R. Wittkower, *Architectural Principles in the Age of Humanism*. London, UK: Academy Editions, 1974.

Thiết kế bao trùm trong nhà ở xã hội, nghiên cứu trường hợp tại Hà Nội

Inclusive design in social housing, case-study in Hanoi

> TS LÊ LAN HƯƠNG*, THS NGUYỄN THÙY TRANG,
NGUYỄN ANH DŨNG, HOÀNG THANH NAM, TẠ TUẤN VIỆT, TRẦN TRÂM ANH

Khoa Kiến trúc và Quy hoạch, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

*Tác giả liên hệ, Email: huongll@huce.edu.vn

TÓM TẮT

Thiết kế bao trùm (TKBT) đóng vai trò then chốt trong việc xây dựng đô thị công bằng, an toàn và dễ tiếp cận đối với mọi cư dân, bất kể khả năng hay hoàn cảnh sống. Tuy nhiên, tại Việt Nam, đặc biệt là trong các dự án nhà ở xã hội (NOXH), vấn đề này vẫn chưa nhận được sự quan tâm đúng mức. Nghiên cứu này khái quát các khái niệm và nguyên tắc cơ bản của TKBT, đồng thời tiến hành khảo sát đánh giá thực tế tại 20 dự án NOXH trên địa bàn Hà Nội. Trên cơ sở đó, nhóm tác giả nhận diện những tồn tại trong thiết kế, và đề xuất một số định hướng nhằm thúc đẩy ứng dụng TKBT, hướng tới việc kiến tạo môi trường sống an toàn, tiện nghi và công bằng cho tất cả mọi người.

Từ khóa: Nhà ở xã hội, tiếp cận, thiết kế bao trùm, thiết kế phổ quát, thiết kế cho tất cả mọi người.

ABSTRACT

Inclusive design plays a pivotal role in making cities fair, safe, and accessible for all residents, regardless of abilities or living circumstances. However, this issue has not received adequate attention in Vietnam, particularly in social housing projects. This study outlines the conceptual framework and core principles of inclusive design, and evaluates 20 social housing projects in Hanoi through on-site surveys. Based on the findings, the authors identify key issues and propose directions for inclusive design aimed at creating living environments that are safe, comfortable, and equitable for everyone.

Keywords: Social housing, accessibility, inclusive design, universal design, design for all.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

NOXH là một trong những vấn đề hiện đang được Đảng, Nhà nước nói chung và TP Hà Nội nói riêng đặc biệt quan tâm. Trong giai đoạn từ 2021 - 2030, Hà Nội đã, đang và dự kiến triển khai 63 dự án

đầu tư xây dựng NOXH với khoảng 61.900 căn hộ [1]. Có thể thấy, công tác đầu tư xây dựng các dự án NOXH ở Hà Nội đang diễn ra khẩn trương, với bộ khung pháp lý ngày một hoàn thiện, hướng đến mục tiêu tạo sự bình đẳng trong việc tiếp cận thị trường nhà ở cho người dân với những điều kiện kinh tế khác nhau, nhất là người thu nhập thấp. Tuy nhiên, bình đẳng trong cơ hội mua và sở hữu nhà không đồng nghĩa với việc bình đẳng trong việc tiếp cận và sử dụng không gian sống. Môi trường sống không chỉ cần đáp ứng các nhu cầu tối thiểu về chỗ ở mà còn phải trở thành một nơi an toàn, phù hợp và thân thiện với tất cả mọi người. Trong khi TKBT, được xem như là “thiết kế không rào cản” đã trở nên phổ biến ở nhiều quốc gia, các dự án NOXH Việt Nam hiện nay phần lớn mới chỉ dừng lại ở việc giải quyết vấn đề chỗ ở về mặt số lượng, mà chưa thực sự chú trọng đến yếu tố đa dạng nhu cầu của cư dân. Đặc biệt, nhóm người yếu thế như người khuyết tật, người cao tuổi, trẻ em, phụ nữ mang thai... vẫn gặp nhiều khó khăn khi tiếp cận, sử dụng và tận hưởng không gian sống tại các khu NOXH hiện hữu.

Trên cơ sở đó, nhóm tác giả phân tích, nhận diện những tồn tại trong thiết kế, đồng thời đề xuất một số định hướng nhằm phát triển các khu NOXH theo hướng bình đẳng trong tiếp cận và sử dụng không gian sống.

2. TỔNG QUAN VỀ TKBT

2.1. Khái niệm TKBT

Các ý tưởng về thiết kế có thể sử dụng cho mọi người bắt nguồn từ các thảo luận về khả năng tiếp cận (*Accessibility*) từ những năm 1980 - 1990. KTS Ronal Mace, người đã bị bại liệt từ năm 9 tuổi và phải ngồi xe lăn trong suốt phần đời còn lại, là kiến trúc sư có vai trò quan trọng trong việc thúc đẩy các quy chuẩn xây dựng Hoa Kỳ hướng đến tất cả mọi người, đặc biệt là người khuyết tật [2]. Thuật ngữ *Universal design* (UD) (thường được dịch là thiết kế phổ quát), được KTS Ronald Mace đưa ra năm 1985 là “*Thiết kế các sản phẩm và môi trường để mọi người có thể sử dụng được ở mức độ cao nhất có thể, mà không cần con người cố gắng để thích nghi hoặc phải bổ sung thêm các thiết kế chuyên dụng*” [3]. Để việc ứng dụng UD vào thực tiễn một cách hiệu quả, năm 1977, Ronald Mace và một nhóm các kiến trúc sư, kỹ sư và nhà thiết kế đã đặt ra 7 nguyên tắc của Thiết kế phổ quát (Hình 1). Định nghĩa của Ronald Mace và 7 nguyên tắc, được phát triển trong giai đoạn đầu của UD, dựa trên nền tảng từ phong trào Quyền của Người Khuyết tật phát triển rất mạnh mẽ giai đoạn đó. [4]

Thế giới đã thay đổi đáng kể trong gần ba thập kỷ qua, với những chuyển đổi về công nghệ, khoa học, y học, nhân khẩu học toàn cầu, chính trị và các chuẩn mực văn hóa xã hội. Những thay đổi này cũng đã

thúc đẩy sự cải thiện về UD trong các ngành nghề thiết kế, khiến cho UD được mở rộng và phát triển thành một phương pháp tiếp cận mới, *Design for All* (DfA), không chỉ bao gồm chức năng vật lý, mà còn bao gồm các vấn đề khác góp phần vào hạnh phúc của con người, là “*Thiết kế hướng đến sự đa dạng của con người, hòa nhập xã hội, bình đẳng*” [5]. Khái niệm này loại bỏ các tham chiếu truyền thống đến môi trường xây dựng, và thay vào đó, lựa chọn một phương pháp tiếp cận tổng quát hơn. Steinfeld và Maisel, năm 2012 cho rằng “*Quy trình thiết kế cho phép và trao quyền cho một nhóm dân số đa dạng bằng cách cải thiện hiệu suất, sức khỏe và sự khỏe mạnh của con người, cũng như sự tham gia xã hội*” [6]. Các định nghĩa mới đã chuyển từ việc chỉ tập trung vào khuyết tật sang các khái niệm khác bao gồm địa vị kinh tế xã hội, văn hóa, chủng tộc, sắc tộc, bản dạng giới, tôn giáo, tuổi tác, sức khỏe thể chất và tinh thần.

Thiết kế bao trùm (Inclusive Design) trong các nghiên cứu gần đây được sử dụng rộng rãi, như một thuật ngữ bao quát để chỉ cả thiết kế phổ quát (Universal Design) và thiết kế cho tất cả mọi người (Design for All) [7]. Mặc dù có nguồn gốc khác nhau và một số khác biệt về mặt ngữ nghĩa, tất cả các phương pháp thiết kế này đều có chung một mục đích là hướng đến tất cả mọi người với các khác biệt đa dạng từ tuổi, giới, bối cảnh xã hội và đặc biệt là tình trạng sức khỏe. Trong bài viết này, nhóm nghiên cứu sử dụng thuật ngữ “Thiết kế bao trùm”, với các tư liệu tra cứu bao gồm cả Inclusive Design, Universal Design và Design for All.

2.2. Các nguyên tắc và mục tiêu TKBT

Dù đã ra đời từ cách đây gần 30 năm (năm 1997), 7 nguyên tắc TKBT do KTS Ronald Mace và nhóm nghiên cứu hiện nay vẫn được sử dụng trong việc đưa các thiết kế vào thực tiễn. Theo như Trung tâm TKBT ở Đại học bang North Carolina, các nguyên tắc này “có thể được ứng dụng để đánh giá các thiết kế đang tồn tại, định hướng cho quá trình thiết kế và nâng cao nhận thức của nhà thiết kế và người tiêu dùng về đặc tính của một sản phẩm hoặc môi trường mà họ có thể sử dụng” [8]. 7 nguyên tắc này bao gồm: 1) Công bằng trong sử dụng; 2) Linh hoạt trong cách sử dụng; 3) Cách sử dụng trực quan và đơn giản; 4) Thông tin dễ nhận biết; 5) Giảm thiểu khả năng rủi ro; 6) Ít yêu cầu về nỗ lực thể chất; 7) Kích thích và không gian phù hợp để tiếp cận và sử dụng. (Hình 1). Những nguyên tắc này hướng dẫn các nhà thiết kế tạo ra các sản phẩm, dịch vụ và môi trường có thể sử dụng và tiếp cận được với nhiều người nhất, bất kể khả năng, kinh nghiệm hay hoàn cảnh của họ.



Hình 1. Các nguyên tắc thiết kế bao trùm [8]

Khung lý thuyết về TKBT trong những năm sau đó vẫn luôn được nghiên cứu và sửa đổi tùy vào bối cảnh xã hội. Dựa trên cơ sở 7 nguyên tắc, năm 2012, Trung tâm IDEA ở Đại học tại Buffalo đã mở rộng và phát triển các nguyên tắc này theo hướng thực tiễn hơn, cân nhắc cả những yếu tố xã hội, sức khỏe và tinh thần [9]. Kết quả của nghiên cứu này là 8 mục tiêu TKBT, cụ thể là:

1. *Phù hợp với thể trạng*: Đáp ứng các kích thước của cơ thể và khả năng sử dụng
2. *Sự thoải mái*: Các yêu cầu sử dụng nằm trong giới hạn chịu đựng của chức năng cơ thể
3. *Nhận thức*: Đảm bảo các thông tin quan trọng có thể được nhận biết dễ dàng
4. *Tính dễ hiểu*: Làm cho cách sử dụng và vận hành trở nên trực quan
5. *Sức khỏe tốt*: Góp phần nâng cao sức khỏe, phòng ngừa bệnh tật, bảo vệ khỏi nguy hiểm
6. *Hòa nhập xã hội*: Đối xử có đạo đức và tôn trọng tất cả các nhóm đối tượng
7. *Cá nhân hóa*: Tích hợp cơ hội chọn lựa và sở thích cá nhân
8. *Phù hợp về văn hóa*: Tôn trọng và củng cố các giá trị truyền thống, bối cảnh môi trường và xã hội.

2.3. TKBT trong kiến trúc xây dựng

Trong hai thập kỷ qua, TKBT nổi lên như một khung tiếp cận then chốt để giảm rào cản trong môi trường xây dựng, hướng tới công bằng sức khỏe và phúc lợi xã hội. Các chuẩn mực quốc tế như ISO 21542:2021 và UNE-EN 17210 định hình yêu cầu chức năng cho khả năng tiếp cận, trong khi ADA Standards, ICC A117.1 (Mỹ), BS 8300 và Approved Document M (Anh), AS 1428 (Úc), CSA B651 (Canada) cụ thể hóa thông số ở mức triển khai. Bằng chứng thực nghiệm cho thấy can thiệp bao trùm ở các cấp quy hoạch, kiến trúc và vận hành giúp giảm chấn thương do té ngã, nâng cao mức độ sử dụng không gian, và cải thiện chất lượng sống của nhóm dễ bị tổn thương (người cao tuổi, người khuyết tật, trẻ em). [10]

Tại Việt Nam, năm 2014, Bộ Xây dựng đã ban hành “Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về xây dựng công trình đảm bảo người khuyết tật tiếp cận sử dụng” (QCVN-10/2014), và đến năm 2024 là “Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về xây dựng công trình đảm bảo tiếp cận sử dụng” (QCVN-10/2024). Có thể nhận thấy có sự thay đổi về nhận thức khi chuyển trọng tâm từ “người khuyết tật” sang “mọi người gặp khó khăn khi tiếp cận”, tương đồng với những thay đổi trên thế giới.

3. TKBT TRONG NOXH HÀ NỘI

3.1. Phương pháp nghiên cứu

Nhóm nghiên cứu đã tiến hành khảo sát thực trạng TKBT tại 20 khu NOXH tại Hà Nội. Phạm vi nghiên cứu là các không gian chung, nơi mà mọi người đều có quyền tiếp cận, bao gồm không gian ngoài nhà (lối đi, vỉa hè, đường dạo, sân chơi), không gian trong tòa nhà (sảnh, cầu thang, hành lang). Các tiêu chí đánh giá được xác định dựa trên tiêu chuẩn Việt Nam QCVN-10/2024 kết hợp với tổng hợp các tư liệu từ một số nước như Úc, Mỹ.

Bên cạnh việc khảo sát thực địa, nhóm nghiên cứu đã tiến hành điều tra xã hội học tại 3 khu nhà bao gồm: khu NOXH thuộc khu đô thị Đặng Xá (huyện Gia Lâm cũ), khu NOXH CT21A, thuộc khu đô thị Việt Hưng (phường Phúc Đồng, quận Long Biên cũ) và khu NOXH số 987 Tam Trinh (phường Yên Sở, quận Hoàng Mai cũ). Nhóm đã thực hiện phỏng vấn, với bảng hỏi theo cấu trúc 18 người, thuộc nhiều độ tuổi, khả năng thể chất và tình trạng khuyết tật khác nhau. Vì số lượng người tham gia phỏng vấn khá khiêm tốn, thông tin này chỉ có ý nghĩa tham khảo về cảm nhận và nhu cầu của người dân, không sử dụng để đánh giá, so sánh chất lượng thiết kế giữa các dự án.

3.2. Kết quả và bàn luận

Bảng 1. Tổng hợp đánh giá TKBT trong các dự án NOXH (Nguồn: Tác giả)

STT	TÊN KHU NOXH	VIA HÈ VÀ ĐƯỜNG DẠO						SÂN CHƠI & SÂN THỂ THAO		LỐI VÀ LỐI VÀO SÂN				NHÀ ĐỂ XE		HÀNH LANG CÁN BỘ				THANG				
		Kích thước	Gạch xúc giác	Kích thước người đi	Chỗ nghỉ	Độ bằng phẳng	Mái che	Đặc biệt	Thiết bị	Bể mặt mềm	Chỗ nghỉ	Tam cấp	Ram dốc	Gia sân	Chỗ nghỉ	Bình thông tin	Chỗ đậu	Chỉ dẫn	Đặc biệt	Kích thước	Đặc biệt	Cửa ra vào	Thang bộ	Thang máy
1	Kết Giang Xá																							
2	Khu nhà ở Hưng Thịnh																							
3	KC121A - Khu đô thị mới Việt Hưng																							
4	NST Tân Thịnh																							
5	NOXH Hacinco Nguyễn Xiển (Khai Sơn Green)																							
6	HTT Kien Trung																							
7	HO22A - Khu NOXH NHS Trung Văn																							
8	Tổ hợp NOXH và dịch vụ thương mại AZ Thăng Long (HTT Tân Cảng)																							
9	Khu NOXH Ecohome 1																							
10	Khu NOXH Ecohome 2																							
11	Khu NOXH Ecohome 3																							
12	Khu NOXH Phú Mỹ Hưng (Phu My Residences)																							
13	SOO Tower (Chuyển đổi từ NOXH sang NOXH)																							
14	HH1 FLC Garden City																							
15	Phú Lâm (Thị trấn)																							
16	Khu nhà ở xã hội KCC (Tổ hợp Thanh Trì)																							
17	Khu NOXH Rice City - Tây Nam Linh Đàm																							
18	NST Hume Phụng Công																							
19	Khu NOXH ở đô thị KCC (Khu đô thị mới Kim Chung - CT4 Thăng Long Green City)																							
20	NOXH ngõ 422 Minh Khai																							

đạt

đạt một phần

không đạt

hạng mục không tồn tại

không đủ thông tin

đạt
đạt một phần
không đạt
hạng mục không tồn tại
không đủ thông tin

3.2.1. Đánh giá chung về TKBT trong các dự án NOXH

Kết quả khảo sát cho thấy, đa phần người dân đều đánh giá khu nhà của họ ở mức trung bình hoặc tương đối hài lòng. Không gian nhận được nhiều đánh giá tích cực nhất là vườn hoa, sân thể dục và các khu nghỉ ngơi. Ngược lại, các không gian công cộng trong nhà như nhà vệ sinh chung và phòng sinh hoạt cộng đồng bị người dân đánh giá thấp. Tuy nhiên, phần lớn người được hỏi có tâm lý “chấp nhận” vì cho rằng “với giá tiền như vậy, không thể đòi hỏi hơn”.

Để có cái nhìn cụ thể về những điểm đã làm tốt và còn tồn tại của từng dự án, nhóm nghiên cứu đã tổng hợp đánh giá 20 khu NOXH theo 6 nhóm không gian và 24 tiêu chí đánh giá. (Bảng 1)

Về mức độ, có 3 mức đánh giá “đạt”, “đạt một phần” và “không đạt” cho từng chỉ số đánh giá. Ví dụ, với hạng mục ram dốc: thiết kế “không đạt” khi kích thước không đủ cho xe lăn, độ dốc quá lớn, “đạt một phần” khi đảm bảo kích thước và độ dốc, có tay vịn 1 bên, bề mặt chống trơn trượt; “đạt” khi bổ sung thêm gạch xúc giác hoặc có màu tương phản ở 2 đầu ram dốc, có tay vịn 2 bên.

Có thể thấy, đa phần các khu NOXH tại TP Hà Nội có chất lượng ở mức từ “Đạt một phần” trở lên. Trong đó, hai khu Ecohome 3 và Phúc Đồng Hope Residences có nhiều hạng mục nhận được đánh giá “Đạt” nhất trong số 20 khu khảo sát. Theo sau là khu nhà ở Hưng Thịnh và NHS Trung Văn, cũng ghi nhận nhiều hạng mục đạt tiêu chuẩn, phản ánh nỗ lực cải thiện khả năng tiếp cận cho các nhóm yếu thế. Các khu Ecohome 2, Hacinco Nguyễn Xiển, HH1 FLC Garden City cũng nhận được đánh giá “Đạt” khá nhiều, chỉ có 1 hạng mục bị đánh giá là “Không đạt”.



Ram dốc vào công trình



Bảng điều khiển thang máy



Chỗ đỗ xe ưu tiên phụ nữ

Hình 2. Một số hình ảnh TKBT tại NOXH (Nguồn: Ảnh khảo sát của nhóm nghiên cứu)

Về từng không gian cụ thể, không gian vỉa hè và đường dạo có số lượng tiêu chí ở mức “Đạt” tương đối cao, tập trung chủ yếu ở các khía cạnh như kích thước, độ bằng phẳng, không có chướng ngại vật. Sân chơi và sân thể thao chỉ “Đạt” ở các khu Ecohome 1, Ecohome 2, khu Phúc Đồng và khu Phú Lâm, ở các hạng mục chỗ

ngồi và bề mặt mềm. Sân và lối vào sân của 20 khu đều đạt chất lượng tương đối tốt trở lên, khoảng 4-7 khu có tam cấp, ram dốc và ghế ngồi chất lượng rất tốt. Về nhà để xe, đây là không gian có độ cao tương đối thoải mái, đảm bảo việc đi lại. Có duy nhất một khu Ecohome 3 có chỗ đỗ xe ưu tiên.

Ở các tầng trên, hành lang kết nối các căn hộ đa phần có kích thước lớn, đủ cho xe lăn sử dụng thoải mái mà không ảnh hưởng đến người đi bộ. Gạch lát chân tường các khu này cũng được thiết kế tốt, phân tách rõ tường và sàn; cửa ra vào đa phần “Đạt một phần” trừ khu Hacinco Nguyễn Xiển vẫn có một số cửa dùng tay nắm xoay. Thang máy ở 20 khu đều đạt chất lượng tương đối tốt, đặc biệt là khu Ecohome 3, Phúc Đồng, HH1 FLC và NOXH ngõ 622 Minh Khai sử dụng thang máy có gờ nổi để người khiếm thị cũng có thể sử dụng; khu HH1 FLC còn có thêm thang máy chữa cháy.

3.2.2. Các vấn đề còn tồn tại

Bên cạnh một số khu NOXH có TKBT tốt, một số khu chỉ đảm bảo quy chuẩn ở mức tối thiểu, không đầu tư nhiều vào các tiện ích nâng cao chất lượng không gian sống cho nhóm người yếu thế nói riêng và mọi cư dân nói chung. Điều này được thể hiện ở một số vấn đề cụ thể như sau:

a. Vỉa hè và đường dạo

- Không khu nào có hệ thống gạch xúc giác ở vỉa hè và đường dạo cho người khiếm thị.
- Nhiều khu thiếu chỗ nghỉ dọc đường đi dài, chưa đáp ứng được nhu cầu những người có vấn đề về thể chất.
- Một số khu có ram dốc dẫn lên sảnh nhưng lại không có dốc bó vỉa từ đường nhựa lên vỉa hè, dẫn đến người đi xe lăn vẫn không thể tự mình tiếp cận lối vào công trình.
- Vỉa hè và đường dạo ngoài nhà hẹp, bị chiếm dụng bán hàng, gạch lát gỗ ghế không bằng phẳng (Cụ thể là khu Rice City Tây Nam Linh Đàm).

b. Sân chơi và sân thể thao

- Gần một nửa số khu NOXH không có thiết bị vui chơi và tập thể dục, hoặc thiết bị “Không đạt”, tiềm ẩn nguy cơ gây nguy hiểm cho người sử dụng, nhất là người già và trẻ nhỏ. Một số khu có thiết bị chơi thì lại thiếu bề mặt cỏ nhân tạo, thiết bị được đặt trên nền bê tông hoặc gạch lát, không giảm thiểu được các rủi ro có thể xảy ra khi trẻ vui chơi. Một số khu có ghế nghỉ không có tựa lưng hoặc số lượng ghế ít, không thoải mái khi sử dụng.
- Các công trình có quỹ đất hạn chế gần như không có sân chơi, sân thể thao trong khuôn viên nhà, bao gồm: Hacinco Nguyễn Xiển,

19T1 Kiến Hưng, NHS Trung Văn, THT New City, SDU Tower, HH1 FLC.

c. Sảnh và lối vào sảnh

- Phần lớn các khu thiếu các thông tin chỉ dẫn hướng đi trong tòa nhà, điều đặc biệt quan trọng với những người lớn tuổi có vấn đề về trí nhớ.

- Các khu Đặng Xá, 987 Tam Trinh và Rice City Tây Nam Linh Đàm có thiết kế ram dốc với độ dốc quá lớn, người đi xe lăn không thể tự mình sử dụng. Các khu khác tuy đảm bảo về độ dốc, nhưng thường thiếu tay vịn ở 1 hoặc 2 bên. Ngoài ra, đường dốc này thường chỉ được bố trí ở góc công trình, thiếu kết nối với lối vào chính. Điều này chứng tỏ thiết kế các khu NOXH mặc dù đã quan tâm đến nhóm đối tượng yếu thế, nhưng chưa dành cho họ sự đối đãi bình đẳng như những người khác, thậm chí là chỉ thiết kế về mặt hình thức mà bỏ qua hiệu quả thực tiễn.



Lối lên không có đường dốc cho người khuyết tật



Cửa núp xoay, mở ra ngoài, cản trở người đi xe lăn



Đường dốc thiếu tay vịn, không đảm bảo an toàn



Thiết bị chơi cho trẻ nhỏ không đảm bảo an toàn



Vĩa hè nội khu với các lối đi không đảm bảo khả năng di chuyển, đặc biệt cho người khuyết tật



Thiết bị chắn xe máy làm cản trở người đi lại khó khăn



Sân chơi với thiết kế cao độ gây khó khăn cho xe lăn
Hình 3. Một số vấn đề trong TKBT tại NOXH (Ảnh: Nhóm nghiên cứu)



Hành lang nhiều góc ngoặt, không có biển chỉ dẫn

- Đa phần các khu đều sử dụng cửa kính có tay kéo, trừ CT21A Việt Hưng dùng cửa nhựa. Các khu Ecohome 1,2,3 là trường hợp đặc biệt, khi không khu nào trong số này có cửa ở sảnh, an ninh được đảm bảo nhờ bảo vệ và camera.

d. Nhà để xe: Các khu vực để xe đều không có khu vực ưu tiên cho người khuyết tật.

e. Thang

- Nhiều cụm thang máy không đảm bảo đầy đủ các yếu tố hỗ trợ người khuyết tật. Một số thiếu toàn bộ các yếu tố hỗ trợ như gương, tay vịn, bảng điều khiển có chữ nổi, bề mặt xúc giác trên sàn dẫn đến thang...

- Thang bộ trong các dự án thiếu hầu hết các yếu tố hỗ trợ các đối tượng như: thiếu tay vịn cầu thang ở cả 2 bên, thiếu tay vịn cao độ khác nhau cho trẻ em, không có biển báo bằng chữ nổi.

3.2.3. Nguyên nhân của việc thiếu hụt trong TKBT tại các khu NOXH Hà Nội

- **Thiếu nhận thức về TKBT:** Kiến trúc sư thiết kế thiếu kiến thức về TKBT, hoặc chưa coi trọng vào việc thiết kế không gian dễ tiếp cận đối với mọi đối tượng. Phần lớn kiến trúc sư tham gia thiết kế công trình không nắm được khái niệm và nội dung của TKBT. Các kiến trúc sư dựa trên các tiêu chuẩn hiện có để đưa ra các thiết kế đảm bảo đáp ứng yêu cầu tối thiểu về mặt tiếp cận của người khuyết tật, chứ chưa thực sự có nhận thức về các nhu cầu đa dạng của nhiều nhóm người. TKBT cũng không nằm trong chương trình giảng dạy của các trường kiến trúc, hoặc đề cập đến một cách chưa đầy đủ.

- **Vấn đề kinh phí đầu tư:** Chung cư NOXH thường có kinh phí đầu tư thấp hơn các dạng nhà ở thương mại, nên chất lượng xây dựng thường không tốt, nhanh xuống cấp hoặc thiếu các tiện ích. Một nhận thức sai là TKBT làm tăng chi phí xây dựng công trình cũng dẫn đến điều này bị bỏ qua/xem nhẹ trong các dự án NOXH.

- **Thiếu giám sát, phản hồi và xử lý sai phạm:** Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về xây dựng công trình đảm bảo người khuyết tật được tiếp cận sử dụng quy định rõ về đường cho xe lăn phải đảm bảo chiều ngang, độ dốc, tay vịn, cửa thang máy, nhà vệ sinh... Thế nhưng, nhiều nơi làm cho có, hoặc bớt xén diện tích. Điều này cũng thể hiện việc thiếu vai trò của các tổ chức đại diện cho tiếng nói của nhóm người khuyết tật.

- **Thiếu tài liệu hướng dẫn về TKBT:** Hiện nay ngoài Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về xây dựng công trình đảm bảo tiếp cận sử dụng (QCVN-10/2024), chưa có các nghiên cứu chuyên sâu hay tài liệu nào hướng dẫn chi tiết về TKBT trong lĩnh vực kiến trúc ở Việt Nam.

4. ĐỊNH HƯỚNG GIẢI PHÁP TKBT CHO NOXH HÀ NỘI

Để thực sự tạo ra một không gian sống hướng tới tất cả mọi người, nâng cao chất lượng sống của những nhóm đối tượng yếu thế, Hà Nội cần nghiên cứu phát triển các giải pháp chiến lược cụ thể. Các định hướng chính như sau:

- **Khung chính sách:** Mở rộng nhóm đối tượng yếu thế trong quy chuẩn xây dựng hiện hành; Đồng bộ quy chuẩn tiếp cận (ví dụ: tương thích ADA, ISO 21542, EN 17210 với QCVN); Có các cơ chế khuyến khích-bắt buộc như tích hợp tiêu chí TKBT vào cấp phép xây dựng, thẩm định PCCC, nghiệm thu, thậm chí kiểm toán tiếp cận (accessibility audit).

- **Quy trình thiết kế:** Thực hiện đồng thiết kế (co-design) với đa dạng người dùng như: người khuyết tật vận động, thị giác, thính giác; người cao tuổi, trẻ em, phụ nữ mang thai; người chăm sóc, người dùng tạm thời bị hạn chế (tay xách đồ, đẩy xe nôi). Đồng thời nghiên cứu trải nghiệm thông qua khảo sát hành trình người dùng (journey mapping), xây dựng nhân vật-kịch bản (persona/scenario), thử nghiệm mô phỏng, đánh giá đa giác quan, gắn với các bối cảnh dự án.

- **Thiết kế:** Tuân thủ nghiêm ngặt các nguyên tắc TKBT, có các giải pháp hiệu quả, sáng tạo trong thiết kế tiếp cận vật lý, định vị dẫn hướng, âm học, chiếu sáng, an toàn, tiện ích... cho khu nhà. Khuyến khích kiến tạo các không gian, nội thất linh hoạt (có thể điều chỉnh), các giải pháp hòa trộn, tránh tách riêng (ví dụ: dốc tích hợp trong lộ trình chính, không phải lối phụ).

- **Công nghệ và chuyển đổi số:** Xây dựng BIM cho khả năng tiếp cận (với thư viện có tham số tiếp cận, kiểm tra xung đột quay xe lăn, tầm với, đường thoát); Sử dụng mô phỏng, VR, AR trong thử nghiệm; lắp đặt hệ thống thông minh AI (điều khiển giọng nói, cảm biến hiện diện, cửa tự động, thang máy ghi nhớ tầng, biển điện tử tương phản cao); Ứng dụng định vị trong nhà hỗ trợ dẫn đường, phiên dịch ngôn ngữ ký hiệu AI, phụ đề thời gian thực...

- **Vật liệu và trang thiết bị:** Vật liệu chống trượt khi ướt, tương phản thị giác, hấp thụ âm, dễ bảo trì; Tối ưu chi phí vòng đời thông qua việc giảm chi phí cải tạo về sau và tăng giá trị sử dụng của các trang thiết bị.

- **Quản lý vận hành:** Các khu NOXH cần có quy trình hỗ trợ khách dùng xe lăn, người khiếm thính/thị; Đào tạo nhân viên giao tiếp thân thiện; Cung cấp các website/app hỗ trợ.

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này khẳng định vai trò trọng yếu của TKBT trong nâng cao an toàn, tiện nghi và công bằng trong tiếp cận của NOXH. Thông qua đánh giá thực địa tại 20 khu NOXH Hà Nội, nghiên cứu cho thấy các rào cản phổ biến vẫn hiện diện ở nhiều lớp không gian, từ quy hoạch giao thông, sân chơi, đường dạo, đến thiết kế chi tiết công trình như lối vào, nhà vệ sinh, thang máy, cho đến biển báo thông tin. Các rào cản này tác động trực tiếp đến nhóm cư dân dễ bị tổn thương như người khuyết tật, người già, trẻ nhỏ, phụ nữ mang bầu hay đẩy xe nôi. Nghiên cứu cũng phân tích nguyên nhân và đưa ra một số đề xuất định hướng trong thiết kế để tích hợp TKBT.

Hạn chế của nghiên cứu nằm ở số mẫu và khu vực quan sát, do đó các nghiên cứu tiếp theo nên mở rộng phạm vi (tăng thêm các không gian trong căn hộ), kết hợp đo lường định lượng với nghiên cứu định tính, phỏng vấn sâu người sử dụng. Dù vậy, các phát hiện hiện tại cũng đã cung cấp cơ sở thực chứng, chỉ ra sự cần thiết phải áp dụng cách tiếp cận của TKBT trong các dự án NOXH, hướng tới môi trường sống an toàn, tiện nghi và công bằng cho mọi cư dân.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Bá Nguyên. Thực trạng và định hướng phát triển nhà ở xã hội tại Hà Nội, Tạp chí Kiến trúc số 1/2024.
- [2]. Beth Tauke. The Evolution of Universal Design. Barrierefrei und inklusiv planen. Informationen zur Raumentwicklung, Heft 5/2019.
- [3]. Mace, Ronald L., 1985: Universal Design, Barrier Free Environments for Everyone. In Designers West Conference Proceedings. Los Angeles, California, USA: 147-152.
- [4]. CUD - Center for Universal Design, 1997: The Principles of Universal Design. https://projects.ncsu.edu/ncsu/design/cud/about_ud/udprinciplestext.htm.
- [5]. Design for All Europe, 2004: EIDD Stockholm Declaration Accessed: <http://dfaeurope.eu/what-is-dfa/> [retrieved on 25.10.2019].
- [6]. Steinfeld, Edward; Maisel, Jordana, 2012: Universal Design: Creating Inclusive Environments. Hoboken, New Jersey, USA.
- [7]. Heylighen, A., Linden, V. V., & Steenwinkel, I. V. Ten questions concerning inclusive design of the built environment. Building and Environment, (Volume 114, March 2017),507-517.
- [8]. Centre for Excellent Universal Design. <https://universaldesign.ie/about-universal-design/the-7-principles>.
- [9]. University at Buffalo. The Goals of Universal Design. <https://www.buffalo.edu/access/basics/universal-design/goals.html>
- [10]. Matteo Zallio, P. John Clarkson. Inclusion, diversity, equity and accessibility in the built environment: A study of architectural design practice, Building and Environment, Volume 206, 2021.

Đặc điểm kiến trúc lăng mộ An Bằng, thành phố Huế

Architectural features of An Bang tombs in Hue City

> **NGUYỄN NGỌC TÙNG***, **ĐẶNG HOÀNG BẢO KHƯƠNG**,
TRẦN NHƯ GIA HÂN, **DƯƠNG XUÂN THÁI**, **NGUYỄN DIỆU THIÊN**

Khoa Kiến trúc, Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế

*Email: Kts.nguyentung@hueuni.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu khảo sát 353 lăng mộ tại làng An Bằng, TP Huế (≈13,59 ha) nhằm nhận diện đặc điểm kiến trúc-nghệ thuật và các yếu tố chi phối hình thái. Dữ liệu thu thập qua đo vẽ, chụp ảnh, phỏng vấn cư dân/thợ xây; định vị không gian; lập hồ sơ mặt bằng, mặt đứng, mặt cắt; mô hình hoá (AutoCAD/SketchUp) và thống kê tổng hợp. Kết quả cho thấy lăng mộ tổ chức theo trục đối xứng, mô phỏng mô-típ cung đình và biểu hiện mạnh mẽ sự dung hợp tín ngưỡng (Phật giáo, Nho giáo, Công giáo, Đạo giáo và tín ngưỡng dân gian). Niên đại các lăng mộ được khảo sát phân lớn sau 1990; nhiều nhất 2001-2010 (129 mộ - 37%); tiếp đến 1990-2000 (96 mộ - 27%), 2011-2020 (77 mộ - 22%), 2020-2025 (30 mộ - 8%); 17 trường hợp không - xác định; 2 trường hợp trước 1990 (1883, 1988). Trong các lăng mộ được khảo sát, 88% có tường thành; 53% có nhà bia (tứ giác 56%, lục giác 42%, vòm 2%); 334/353 có quách (≈88% tính theo toàn mẫu là dạng chữ nhật). Hình thức lối vào phổ biến: tứ trụ 54%, tứ trụ biến thể 23%, tam quan 18%, nhất quan/song trụ 5% (điều chỉnh để tổng = 100%). Vật liệu chủ đạo: xi măng sơn màu, khảm sành sứ, gạch/đá mài. Nghiên cứu góp phần nhận diện giá trị văn hóa, kiến trúc của quần thể lăng mộ dân gian An Bằng và gợi mở các định hướng kiểm kê, hướng dẫn thiết kế - bảo tồn, diễn giải/du lịch văn hóa, và quản lý xây dựng theo quy hoạch trong bối cảnh đương đại.

Từ khóa: An Bằng, kiến trúc dân gian, lăng mộ, phong thủy, tín ngưỡng.

ABSTRACT

This study surveyed 353 tombs in An Bang village (≈13.59 ha) to identify architectural-artistic characteristics and the factors shaping their morphology. Data were collected through field measurements, photography, interviews with residents and builders, spatial mapping, preparation of ground plans, elevations, and sections, as well as modeling (AutoCAD/SketchUp) and statistical synthesis. The results show that the tombs are organized along symmetrical axes, drawing on imperial motifs and strongly reflecting a syncretism of beliefs (Buddhism, Confucianism, Catholicism, Taoism, and folk religion). Most of the surveyed tombs date after 1990; the largest proportion belongs to 2001-2010 (37%), followed by 1990-2000 (27%), 2011-2020 (22%), and 2020-2025 (8%); 17 cases are undated, and 2 cases predate 1990 (1883, 1988). Among the surveyed tombs, 88% feature enclosing walls; 53% include a stele house (56% quadrangular, 42% hexagonal, 2% vaulted); and 334/353 contain burial chambers (≈88% of which are rectangular in form). Common entrance types include: four-pillared gates (54%), four-pillared variants (23%), three-entrance gates (18%), and single/double-pillared gates (5%, adjusted to total 100%). Primary materials are painted cement, ceramic mosaic inlay, and brick/polished stone. This research contributes to recognizing the cultural and architectural values of the An Bang vernacular tomb complex and suggests directions for inventory, design-conservation guidelines, cultural tourism interpretation, and construction management within contemporary planning contexts.

Keywords: An Bang, vernacular architecture, tomb, geomancy, religious beliefs.

1. MỞ ĐẦU

Lăng mộ là một thiết chế giàu tính biểu tượng của văn hoá Huế, phản ánh tín ngưỡng dân gian và quan niệm đạo đức, luân lý về "sự sống" và "cái chết" của người Việt [6, tr. 61]. Tuy nhiên, so với các công trình kiến trúc khác, lăng mộ dân gian vẫn còn ít được nghiên cứu một cách hệ

thống, mặc dù việc lựa chọn vị trí chôn cất cũng quan trọng không kém việc xây dựng nhà ở [10, tr. 40]. Tại TP Huế, bên cạnh hệ thống lăng tẩm vua chúa nổi tiếng với giá trị lịch sử và nghệ thuật, các lăng mộ dòng họ và người dân thường do thợ làng xây dựng, nhìn chung vẫn chưa được quan tâm nghiên cứu đầy đủ dưới góc độ kiến trúc¹.

Lăng mộ là một thiết chế giàu tính biểu tượng của văn hoá Huế, phản ánh tín ngưỡng dân gian và quan niệm đạo đức, luân lý về “sự sống” và “cái chết” của người Việt [6, tr. 61]. Tuy nhiên, so với các công trình kiến trúc khác, lăng mộ dân gian vẫn còn ít được nghiên cứu một cách hệ thống, mặc dù việc lựa chọn vị trí chôn cất cũng quan trọng không kém việc xây dựng nhà ở [10, tr. 40]. Tại TP Huế, bên cạnh hệ thống lăng tẩm vua chúa nổi tiếng với giá trị lịch sử và nghệ thuật, các lăng mộ dòng họ và người dân thường do thợ làng xây dựng, nhìn chung vẫn chưa được quan tâm nghiên cứu đầy đủ dưới góc độ kiến trúc.

Hệ thống lăng mộ, nghĩa địa này có thể quan sát ở hầu hết mọi làng quê ở Huế với kiến trúc, quy mô, mật độ, loại hình... rất đa dạng và phong phú. Trong bối cảnh đó, khu lăng mộ làng An Bằng nổi bật với quy mô lớn, nguy nga tráng lệ, kiến trúc phong phú và giá trị văn hóa - nghệ thuật đặc sắc bậc nhất không chỉ ở Huế mà cả Việt Nam ([2], [3]). Chính vì vậy, đây là một ví dụ tiêu biểu cần được nhận diện và nghiên cứu nghiêm túc. Không chỉ là nơi an nghỉ của người đã khuất, lăng mộ An Bằng còn thể hiện sâu sắc tín ngưỡng thờ cúng tổ tiên, lòng hiếu thảo của con cháu, và đời sống tâm linh phong phú của cộng đồng, đặc biệt trong bối cảnh có sự đóng góp lớn từ nguồn kiều hối của người Việt xa quê [2]. Ngoài ra, khu lăng mộ này còn thể hiện sự giao thoa giữa kiến trúc truyền thống Việt Nam và ảnh hưởng của nhiều nền văn hóa khác, tạo nên các công trình chạm trổ công phu, có giá trị thẩm mỹ cao. Việc nghiên cứu không chỉ góp phần bảo tồn và phát huy giá trị văn hóa kiến trúc độc đáo, mà còn có thể mở ra tiềm năng phục vụ du lịch văn hóa tại địa phương trong tương lai. Từ những lý do trên, bài viết hướng tới: (1) đánh giá hiện trạng; (2) nhận diện đặc điểm kiến trúc - nghệ thuật; (3) đề xuất định hướng gìn giữ, phát huy trong bối cảnh đương đại.

2. PHƯƠNG PHÁP, NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

Để đạt được các mục tiêu nghiên cứu đã đề ra, để tài sử dụng kết hợp nhiều phương pháp tiếp cận khác nhau. Trước hết là phương pháp phân tích và tổng hợp tài liệu thứ cấp, thông qua việc thu thập các nguồn tư liệu có liên quan như sách, báo, tạp chí, đề tài nghiên cứu, bản vẽ, bản đồ và hình ảnh nhằm xây dựng cái nhìn tổng quan về hệ thống lăng mộ tại làng An Bằng.

Tiếp theo, nhóm nghiên cứu tiến hành quan sát, chụp ảnh và đo vẽ kiến trúc các lăng mộ tiêu biểu. Từ đó, hình thành bộ hồ sơ bản vẽ hiện trạng, làm cơ sở cho việc phân tích kiến trúc, mỹ thuật và đề xuất giải pháp quy hoạch bảo tồn phù hợp.

Bên cạnh đó, phương pháp điều tra xã hội học được áp dụng thông qua phỏng vấn người dân và thợ xây nhằm thu thập thông tin về lịch sử hình thành, quá trình tu sửa, cũng như ý nghĩa của các hoa văn trang trí.

Nhóm nghiên cứu sử dụng phương pháp thống kê định lượng để phân tích và xử lý dữ liệu bằng cách định vị các lăng mộ trên nền bản đồ Google Maps, số hóa bản vẽ 2D, 3D bằng phần mềm AutoCAD và SketchUp, và tổng hợp thống kê qua Excel. Những dữ liệu này phục vụ cho việc đánh giá hiện trạng và đề xuất các định hướng quy hoạch, bảo tồn cụ thể cho khu nghĩa trang An Bằng.

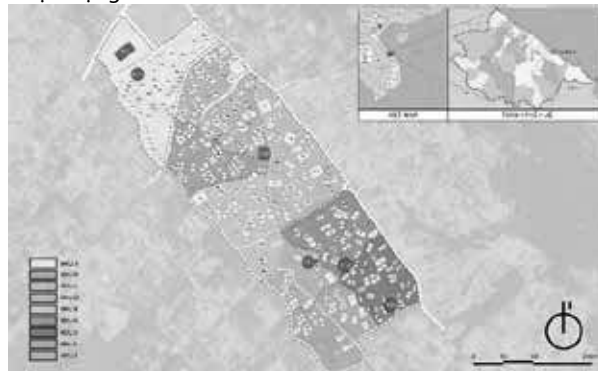
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Khảo sát chung và phân bố

3.1.1. Bản đồ vị trí các lăng mộ được khảo sát

Nhóm nghiên cứu đề tài đã tiến hành khảo sát 353 lăng mộ trong phạm vi nghiên cứu có tổng diện tích 13, 59 ha ở làng An Bằng (Hình 1). Trong số 353 lăng mộ ở khu vực nghiên cứu đã khảo sát, năm lăng mộ điển hình cho năm loại hình được tiến hành khảo sát chi tiết bằng hình thức đo đạc, vẽ ghi, chụp ảnh. Đối với 348 lăng

mộ còn lại được khảo sát sơ bộ để lấy số liệu nghiên cứu và chụp ảnh hiện trạng.



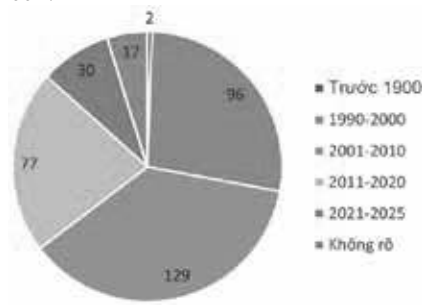
Hình 1. Vị trí các lăng mộ được khảo sát (Nguồn: Tác giả)

3.1.2. Niên đại xây dựng lăng mộ

Niên đại được xác lập từ các ghi chép trên bình phong, lư hương, bia mộ và qua phỏng vấn người dân địa phương. Đa số các ngôi mộ được khảo sát được xây dựng chủ yếu từ năm 1990 đến 2020, trong đó giai đoạn 2001-2010 là thời kỳ xây dựng nhiều nhất (Hình 2). Trong tổng số 353 lăng mộ được khảo sát, có 17 lăng mộ không xác định được niên đại cụ thể do không có bất kỳ thông tin nào trên bình phong, lư hương hoặc bia mộ, hoặc đó là những mộ đơn lẻ không có các thành phần này cấu thành. Chỉ có một lăng mộ được xây dựng trước năm 1990; hai lăng mộ được ghi nhận xây dựng vào các năm 1883 và 1988, tuy nhiên hiện nay đã được bốc dỡ. Do phạm vi khảo sát còn hạn chế nên chưa thể xác định đây có phải là mốc khai lập nghĩa trang hay không. Theo khảo sát phỏng vấn và tư liệu tra cứu từ internet, từ đầu thập niên 1990, người dân bắt đầu sửa sang, xây mới mộ phần với quy mô lớn và trang trí công phu, dẫn đến hiện tượng “thi đua xây mộ” đặc trưng ở làng An Bằng [3].

Giai đoạn từ năm 2001 đến 2010 có 129/353 lăng mộ, chiếm tỉ lệ lớn nhất 37%, đa phần là các năm 2001, 2004 theo khảo sát thực tế. Giai đoạn từ năm 1990 đến 2000 là giai đoạn khởi đầu của phong trào xây mộ ở làng An Bằng, có 96/353 lăng mộ được xây dựng, chiếm tỉ lệ 27%. Xếp lần lượt tiếp theo là giai đoạn năm 2011 đến 2020 (22%) và giai đoạn năm 2020 đến 2025 (8%), đây là giai đoạn dành cho công việc tu sửa là chủ yếu, lăng mộ xây mới giảm dần.

Giai đoạn từ năm 2001 đến 2010 có 129/353 lăng mộ, chiếm tỉ lệ lớn nhất với 37%, tập trung nhiều vào các năm 2001 và 2004 theo khảo sát thực tế. Giai đoạn từ năm 1990 đến 2000 được xem là thời kỳ khởi đầu của phong trào xây mộ tại làng An Bằng, với 96 lăng mộ được xây dựng, chiếm 27%. Tiếp theo lần lượt là giai đoạn 2011-2020 với 22% và giai đoạn 2020-2025 với 8%; đây là giai đoạn chủ yếu dành cho công tác tu sửa, số lượng lăng mộ xây mới có xu hướng giảm dần.



Hình 2. Thời gian xây dựng các lăng mộ được khảo sát (Nguồn: Tác giả)

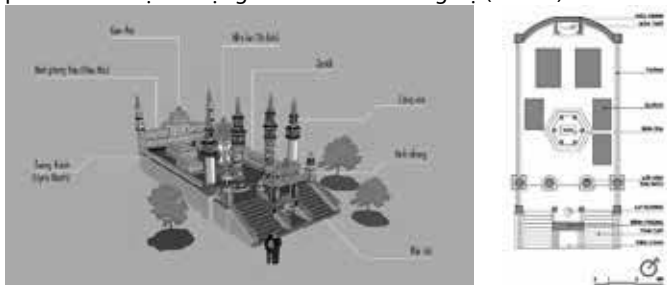
3.2. Đặc điểm kiến trúc lăng mộ phổ biến

Các nghiên cứu trước đây dựa vào hình dáng để chia lăng mộ ở Huế thành chín dạng [12]. Lăng mộ ở An Bằng có thể phân thành

năm loại chính dựa vào quy mô và đối tượng chôn cất: mộ tổ, mộ đơn, mộ ông-bà/cha-mẹ, mộ gia đình và mộ dòng tộc. Khác với các nghĩa trang đô thị, nơi phần lớn chỉ gồm bia và quách, một ngôi mộ điển hình ở An Bằng thường bao gồm đầy đủ các thành phần: bậc cấp, lối vào, bình phong, lư hương, tường thành, nhà thờ, quách và gian thờ. Sự hiện diện phong phú này phản ánh mức độ đầu tư lớn cả về vật chất lẫn tâm linh, đặc biệt nhờ nguồn kiều hối từ cộng đồng Việt kiều gửi về để xây mộ cho tổ tiên.

Mặc dù có sự khác biệt về cách sắp đặt và mức độ hoàn thiện các thành phần, đa số lăng mộ ở An Bằng vẫn tuân thủ nguyên tắc phong thủy trong lựa chọn vị trí, hướng, kiểu dáng và bố cục tổng thể. Mục tiêu là đảm bảo “long mạch” thuận lợi, thu hút sinh khí, mang lại phúc thịnh cho con cháu. Khảo sát cho thấy phần lớn mộ xoay về các hướng Đông Bắc (29%), Tây Nam (25%) và Đông Nam (18%); tuy nhiên, vị trí phần mộ nổi bên trên không phải lúc nào cũng trùng khớp hoàn toàn với huyệt mộ bên dưới [8]. Việc lựa chọn huyệt mộ, thể đất và hướng chôn cất chịu ảnh hưởng mạnh mẽ từ nguyên tắc phong thủy, nhằm định đúng “long mạch,” tạo thế cân bằng âm dương, vừa là chốn “an nghỉ ngàn thu” cho người quá cố, vừa đem lại tài lộc và phúc khí cho hậu duệ [4]. Về mặt kiến trúc, lăng mộ ở An Bằng mang hình thái kiến trúc gợi nhớ các công trình cung đình thu nhỏ (Hình 3).

Về vật liệu, lăng mộ thường sử dụng loại cao cấp như khảm sành sứ, đá cẩm thạch, gạch men nhập khẩu, kết hợp với hoa văn chạm khắc rồng, phượng, kỳ lân, rùa - những linh vật giàu ý nghĩa phong thủy - tạo nên dấu ấn đặc trưng của khu nghĩa trang (Hình 4, 5). Đặc biệt, nơi đây còn phổ biến phong tục xây “mộ chờ” hay “sinh phần” quy mô lớn dành cho người còn sống. Hình thức này vừa phản ánh sự chuẩn bị chu đáo cho hậu sự, vừa thể hiện khát vọng bảo đảm phúc khí và thịnh vượng lâu dài cho cả dòng họ (Hình 6).



Hình 3. Phối cảnh 3D và mặt bằng mô phỏng lăng mộ tiêu biểu (Nguồn: Tác giả)



Hình 4. Lăng mộ khảm sành sứ (Nguồn: Tác giả)



Hình 5. Lăng mộ xi măng đá (Nguồn: Tác giả)



Hình 6. Mộ chờ (Nguồn: Tác giả)

3.3. Đặc trưng các thành phần kiến trúc

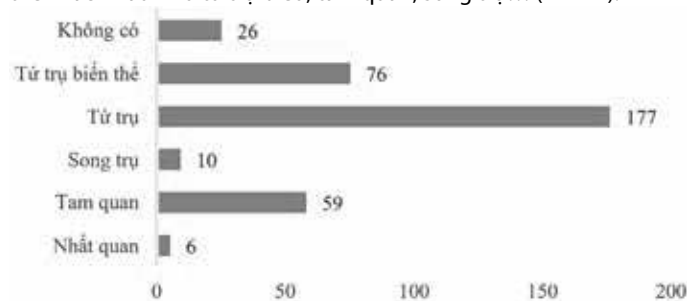
3.3.1. Bậc cấp

Phần lớn lăng mộ được khảo sát đều có bậc cấp, một yếu tố gần như bắt buộc trong cấu trúc tổng thể. Số bậc dao động từ 3 đến 13, với chiều cao trung bình mỗi bậc khoảng 150 mm, nhằm nâng cốt nền và giảm thiểu ảnh hưởng của ngập lụt.

Tại An Bằng, hệ thống bậc cấp vừa đảm nhận chức năng kiến trúc, vừa mang ý nghĩa phong thủy và xã hội. Bậc cấp giúp nâng nền, tránh úng ngập, đồng thời tạo sự trang nghiêm cho không gian mộ phần. Kết quả khảo sát cho thấy phổ biến nhất là 5, 6 và 7 bậc, mỗi con số gắn với ý nghĩa riêng: số 5 biểu thị sự hài hòa của Ngũ hành và sự khởi đầu mới; số 6 tượng trưng cho lộc tài, thịnh vượng; còn số 7 mang tính thiêng liêng, quyền uy và sự viên mãn.

3.3.2. Lối vào

Lối vào lăng mộ thường được bố trí sau bậc cấp, bình phong và lư hương, với hình thức đa dạng tùy theo nguyện vọng của gia chủ và sự tư vấn của thầy phong thủy. Theo mô thức cung đình truyền thống, cổng tam quan vốn phổ biến, song tại An Bằng có nhiều biến thể khác nhau như tứ trụ biểu, tam quan, song trụ... (Hình 7).



Hình 7. Phân loại các hình thức lối vào (Nguồn: Tác giả)

Tứ trụ chiếm tỷ lệ lớn nhất (177 mộ - 54%), với hai dạng chính là trụ vuông và trụ tròn. Vật liệu và kỹ thuật trang trí thường gặp gồm khảm sành sứ, đắp xi măng, sơn màu (gắn đây có xu hướng sơn mạ vàng), ốp gạch men hoặc vẽ nghệ thuật. Tứ trụ biến thể chiếm 23%, là dạng có thêm xà ngang hoặc vòm nổi, thường kèm họa tiết trang trí; hình thức này phổ biến ở các lăng theo Công giáo. Tam quan chiếm 18% (59 mộ), thường gặp ở lăng mộ Phật giáo với hoa văn sen, bánh xe luân hồi, tượng Phật, rồng, phượng - gắn với quan niệm luân hồi và giải thoát. Nhóm hiếm gặp nhất là nhất quan và song trụ, chỉ chiếm 5%, thường thấy ở mộ nhỏ, lâu đời, với vật liệu đơn giản như xi măng và sơn màu.

Việc lựa chọn hình thức cổng vào thể hiện sự kết hợp giữa tín ngưỡng, phong thủy và thẩm mỹ. Tứ trụ phổ biến nhờ giá trị biểu tượng cao, thể hiện sự trang nghiêm và quan niệm “môn hộ phân minh” để dẫn khí vào mộ. Tam quan gắn với Phật giáo, mang ý nghĩa giải thoát ba cõi. Tứ trụ biến thể cho thấy ảnh hưởng kiến trúc Công giáo. Trong khi đó, nhất quan và song trụ phản ánh sự mộc mạc, điều kiện kinh tế hạn chế, hoặc dấu ấn lịch sử của các giai đoạn hình thành khu lăng mộ.

3.3.3. Bình phong

Bình phong, hay còn gọi “ngoại án”, giữ vai trò quan trọng cả về phong thủy lẫn kiến trúc. Về phong thủy, bình phong được đặt ở phía trước nhằm cản hỏa khí, trấn phong và bảo vệ không gian bên trong [1].

Hình thức bình phong đa dạng, phụ thuộc vào điều kiện xây dựng và sở thích gia chủ. Có bốn loại chính: bình phong đặc, bình phong rỗng, bình phong tượng Phật hoặc tượng Chúa, và bình phong kết hợp lư hương với mái che. Trong đó, loại đặc chiếm ưu thế (148/353), tiếp đến là rỗng (91/353), tượng Phật (27 trường hợp), tượng Chúa (1 trường hợp), còn lại là bình phong gắn lư hương hoặc vòm. Về hình thức, mặt đứng chủ yếu là chữ nhật hoặc đĩa tròn.

Bình phong trong kiến trúc lăng mộ không chỉ đóng vai trò che chắn mà còn mang ý nghĩa phong thủy, giúp ổn định thế đất, ngăn chặn những tác động xấu từ bên ngoài và tạo sự trang nghiêm cho không gian linh thiêng. Song song với đó, một số lăng mộ có thêm non bộ - sự kết hợp giữa đá và nước - được bố trí nhằm cân bằng sinh khí, góp phần “tụ thủy, tích phúc” cho gia chủ. Theo thời gian, cả bình phong và non bộ không chỉ giữ vai trò phong thủy mà còn trở thành yếu tố trang trí, làm phong phú thêm giá trị thẩm mỹ cho lăng mộ và kiến trúc truyền thống [1].

Các đề tài trang trí trên bình phong và ngoại án, vốn bắt nguồn từ thời Nguyễn, khá đa dạng nhưng vẫn tuân theo quy chuẩn. Thông qua họa tiết, có thể nhận diện phần nào địa vị xã hội, nghề nghiệp hoặc vai vế của gia chủ [14]. Các mô-típ phổ biến gồm tứ linh, hoa lá, và chữ Hán hoặc Quốc ngữ.

3.3.4. Lư hương

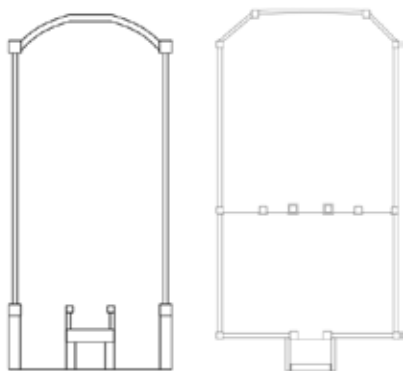
Trong số 353 lăng mộ được khảo sát, có 177 trường hợp có lư hương, chiếm 48%. Lư hương thường được trang trí hoa văn hoa lá, chữ Quốc ngữ, chữ Hán hoặc khắc ghi năm xây dựng. Hầu hết được đúc bằng đồng, sơn mạ vàng hoặc phủ màu, với chiều cao dao động từ 0,6 m đến 1,5 m tùy quy mô lăng mộ.

Không phải lăng mộ nào ở An Bằng cũng có lư hương; sự hiện diện hay vắng mặt của lư hương phản ánh sự khác biệt về tín ngưỡng, điều kiện kinh tế và mục đích xây dựng. Một số lăng mộ không đặt lư hương do là sinh phần, nên thường giản lược yếu tố thờ cúng. Ngoài ra, các gia đình theo Công giáo hoặc một số tôn giáo khác không sử dụng hình thức thắp hương trong nghi lễ của mình.

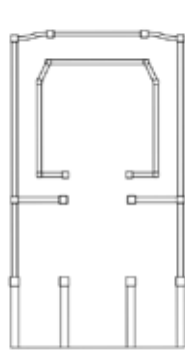
Theo khảo sát, lư hương thường được đặt ở phía trước hoặc phía sau bình phong, đôi khi ở vị trí trung tâm của lăng mộ. Đây là các vị trí nằm trên trục chính, được coi là “huyệt đạo”, nơi hội tụ sinh khí. Theo quan niệm phong thủy, việc đặt lư hương tại đây giúp tụ khí tốt, duy trì tính linh thiêng và tránh khí tàn mạn. Khi được đặt sau bình phong, lư hương có tác dụng giữ lại khí tốt cho phần mộ; còn khi đặt ở trung tâm, nó thể hiện trực kết nối âm - dương, là điểm giao tiếp giữa con cháu và người đã khuất

3.3.5. Tường thành

Theo thuật ngữ Hán văn, tường bao quanh lăng gọi là uynh thành [9]. Các lăng mộ ở An Bằng đều sử dụng dạng thành vuông, còn gọi là khuông thành, có thể xây đơn hoặc kép (Hình 8, 9). Ở đoạn giữa bức tường phía sau, thành thường được nâng cao tạo thành bình phong hậu (hậu đầu), nhằm che chắn, giảm tác động gió ngược vào phần đầu mộ. Một số trường hợp, bình phong hậu kết hợp với gian thờ, có bia hoặc bát hương nhỏ gọi là “kỷ” [9].



Hình 8. Uynh thành đơn (Nguồn: Tác giả)



Hình 9. Uynh thành kép (Nguồn: Tác giả)

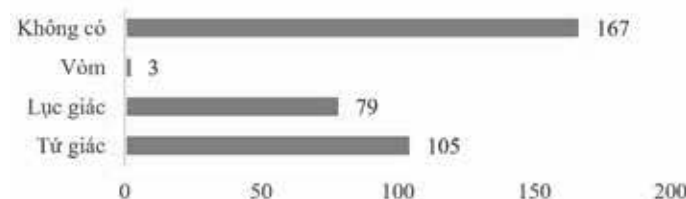
Khảo sát cho thấy 313/353 lăng mộ có tường thành, chiếm 88%; 40 lăng còn lại không có tường bao, thường là mộ đơn nhỏ hoặc một số lăng lớn nhưng thiết kế mở. Sự hiện diện hay vắng mặt của tường thành phản ánh điều kiện kinh tế, quan niệm thẩm mỹ và ảnh hưởng của phong thủy - tôn giáo. Tường thành vừa định hình không gian linh thiêng, vừa tạo ranh giới rõ ràng giữa phần mộ và cảnh quan xung quanh.

Chiều cao trung bình của tường thành từ 0,5-0,8 m tính từ nền lăng; một số lăng lớn có thể đạt tới 1,5 m. Vật liệu phổ biến là xi măng sơn màu, kết hợp kỹ thuật khảm sành sứ để tăng tính thẩm mỹ.

3.3.6. Nhà bia

Nhà bia không phải thành phần bắt buộc, thường đặt giữa bình phong và quách. Thông thường, nếu lăng có nhà bia phía trước thì phía sau sẽ không có gian thờ, và ngược lại. Trong 353 lăng khảo sát, 186 có nhà bia (53%), còn lại 167 không có (47%).

Hình thức kiến trúc của nhà bia khá đa dạng: tứ giác (105 mộ - 56%), lục giác (79 mộ - 42%) và vòm (3 mộ - 2%). Nhà bia thường xây bằng xi măng sơn màu hoặc khảm sành sứ, đảm bảo độ bền và tăng tính trang trí. Mái nhà bia thường mô phỏng kiến trúc cung đình, lợp ngói và trang trí rồng, phượng bằng kỹ thuật khảm sành sứ, tạo vẻ uy nghiêm và trang trọng. Một số nhà bia trong lăng tổ còn có rùa đội bia, biểu tượng của trí tuệ, sự bền vững và địa vị cao quý, đồng thời gợi liên tưởng đến tầng lớp quan lại hoặc người có công trạng lớn của dòng tộc.



Hình 10. Phân loại các hình thức nhà bia (Nguồn: Tác giả)

3.3.7. Quách

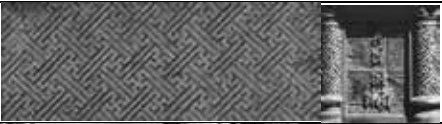
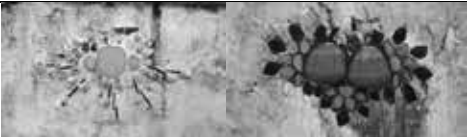
Quách là thành phần cốt lõi trong lăng mộ. Tuy nhiên, tại An Bằng hiện nay đang phát triển phong trào mộ sống, nhiều sinh phần không xây quách mà chỉ chuẩn bị sẵn hộc mộ (hay hố huyệt) dưới lòng đất.

Khảo sát cho thấy có 334/353 lăng mộ sử dụng quách, với vật liệu đa dạng như: gạch thẻ, gạch bóng, đá mài, xi măng... Hình thức quách cũng phong phú, trong đó phổ biến nhất là dạng hình chữ nhật (311 trường hợp, chiếm 88%), bao gồm ba dạng nhỏ: quách vuông vức, quách phình thân và quách chia nhiều ngăn (thường dành cho nhiều thành viên trong cùng dòng họ, đồng thời mang ý nghĩa gắn bó, đoàn kết). Tiếp theo là quách hình tròn (chiếm 3%), thường dành cho mộ tổ hoặc mộ quan, trang trí với họa tiết sen, rùa. Mộ liếp, một dạng đặc biệt với mái che được chạm khắc tinh xảo, chiếm khoảng 2% và thường gắn với những nhân vật có địa vị cao trong gia đình. Ngoài ra, khảo sát chỉ ghi nhận duy nhất một quách hình lục giác và một tháp mộ theo phong cách Phật giáo.

3.4. Kiểu thức trang trí

Kiểu thức trang trí trong lăng mộ An Bằng hết sức phong phú và đa dạng. Các lăng mộ có thể chỉ sử dụng sơn vẽ, đắp nổi, hoặc khảm sành sứ, tùy thuộc vào quy mô và mức độ đầu tư. Những họa tiết này do các nghệ nhân dân gian thực hiện, vừa mang tính mỹ thuật truyền thống, vừa phản ánh ước nguyện, lòng thành kính của con cháu đối với tổ tiên. Do tính phức tạp và số lượng lớn, nhóm nghiên cứu tập trung khảo sát và thống kê các chủ đề trang trí tiêu biểu, thể hiện trong Bảng 1.

Bảng 1. Chủ đề trang trí ở các lăng mộ An Bằng (Nguồn: Tác giả)

Chủ đề	Các loại hình thức phổ biến	Ý nghĩa của các họa tiết trang trí ([7], [11], [13], [14])	Hình ảnh
Họa tiết trang trí hình học, chữ, câu đối	Đường hoa văn gợn chữ Thọ	Họa tiết cách điệu chữ <i>Vạn - Thọ</i> thể hiện qua các đường hoa văn uốn lượn, mang ý nghĩa “vạn lần trường sinh”, biểu trưng cho phúc lạc, hạnh phúc. Dạng trang trí này gọi chung là <i>hồi văn</i> “回文”, “đường nét quy hồi” lại ngay chính nó.	
	Hồi văn chữ vạn “卐”		
	Hồi văn hoa lá	Họa tiết thường được kết thúc với hình ảnh hoa lá hay dải vải hay tua, hình ảnh hoa lá được cách điệu, phát sinh thêm hình thức các chuỗi mắc xích. Xuất hiện nhiều ở các mép gờ.	 
	Chữ Thọ	Biểu trưng cho ý nghĩa trường sinh bất tử, trường tồn cùng thời gian.	 
	Chữ Vạn	Mang ý nghĩa may mắn, cát tường và trường tồn. Trong ngữ cảnh Phật giáo, chữ Vạn tượng trưng cho trí tuệ, ánh sáng và công đức của Phật.	 
	Chữ số	Thể hiện năm xây dựng hoặc tu sửa lăng mộ.	 
	Câu đối	Nội dung thể hiện những điều tốt lành, may mắn, tựa như bùa hộ mệnh. Luôn có hình thức Hán ngữ và Quốc ngữ.	
	Chữ Hán ngữ	Một số chữ như Phúc, Lộc, Thọ - tượng trưng cho hạnh phúc, của cải, sự sống lâu.	
	Chữ Quốc ngữ	Đa số đều là câu đối hoặc các chữ Phúc - Lộc - Thọ	
Hoa lá, nhành cây và hoa quả	Tứ quý, tứ thời, tứ hựu	Mai: tượng trưng cho mùa xuân Lan: Tượng trưng cho mùa hạ Cúc: Tượng trưng cho mùa thu Tùng: Tượng trưng cho mùa đông	
	Tứ bửu (lê, lựu, đào, mãng cầu)	Lê: Ý nghĩa “lập tử” sinh con dễ dàng Lựu: Tượng trưng cho sự dồi dào nhiều con Đào: Loài cây huyền bí, gỗ đào đuổi được ma quỷ	

		Mãng cầu: Mang biểu tượng tính phồn thực nhưng cũng mang ý nghĩa sự mẫn nguyện, toại nguyện.		
	Quả bầu hồ lô	Có tính dân gian biểu tượng của Phật giáo, tượng trưng cho sự dồi dào, giàu có.		
	Sen	Biểu tượng của đông con, do gương sen có nhiều hạt. Hoa của nó là biểu tượng của Phật giáo.	 	
Động vật	Long	Mang tính biểu tượng quyền lực và cao quý, vừa là linh thú bảo hộ, đồng thời thể hiện khát vọng trường tồn, vinh hiển của con người sau khi qua đời.		
	Lân	Mang ý nghĩa cát tường, bảo hộ, phúc lộc và tôn vinh đức hạnh, góp phần tạo sự linh thiêng và trang nghiêm cho không gian tưởng niệm.		
	Quy	Mang ý nghĩa trường thọ, vững bền, che chở và ghi nhớ công đức, là biểu tượng của sự bền vững lâu dài cho cả người mất lẫn dòng tộc.		
	Phụng	Biểu tượng của thanh cao, đức hạnh, sự hòa hợp âm dương và phúc lộc cát tường, đồng thời bổ sung ý nghĩa cho rồng để tạo thành bộ đôi thiêng liêng trong nghệ thuật tâm linh.		
Nhân vật, tích xưa, phong cảnh	Bát tiên	Gắn liền với Đạo giáo, cầu linh hồn người mất được siêu thoát, mang lại phúc đức, bình an, hưng thịnh cho con cháu.		
	Tam Đa	Phúc: Cầu cho người mất được an yên, con cháu đời sau hạnh phúc. Lộc: Mong hậu thế hưng thịnh, gia tộc phú quý. Thọ: Tượng trưng cho sự bất tử, linh hồn người mất được trường tồn cùng trời đất.		

Qua khảo sát, có thể nhận diện bốn nhóm chủ đề chính: (1) họa tiết hình học, chữ, câu đối; (2) hoa, lá, quả; (3) động vật; (4) nhân vật, tích xưa, phong cảnh. Đây đều là các chủ đề quen thuộc với cư dân xứ Huế. Ở nhóm chữ và câu đối, phổ biến nhất là chữ “Phúc - Lộc - Thọ”, chữ ghi năm xây dựng, chữ “Vạn” (liên quan đến gia đình Phật tử), hay câu đối ca ngợi công đức, lòng hiếu thảo. Nhóm hoa, lá, quả thường thể hiện tứ thời (mai, lan, cúc, trúc), đôi khi đi kèm động vật biểu trưng như mai - điều, tùng - nai, lan - thỏ, trúc - én. Ngoài ra, quả bầu, hổ lô và hoa sen xuất hiện nhiều, mang ý nghĩa phồn thực và tâm linh. Ở nhóm động vật, hình tượng tứ linh (long, lân, quy, phụng) chiếm ưu thế, thể hiện khát vọng về quyền lực, sự trường tồn và phúc lộc. Nhóm nhân vật, tích xưa, phong cảnh thường gắn với thần tiên, Tam Đa hoặc phong cảnh làng quê, góp phần tạo nên chiều sâu biểu tượng.

Mặc dù tín ngưỡng thờ cúng tổ tiên giữ vị trí chủ đạo, kiến trúc làng mộ An Bằng đồng thời phản ánh sự giao thoa và dung hòa tôn giáo. Ảnh hưởng Phật giáo thể hiện qua tượng Quan Thế Âm, hoa sen, bánh xe luân hồi, chữ Vạn - biểu trưng cho lòng từ bi và khát vọng giải thoát. Nho giáo hiện diện trong cấu trúc tam quan, bia đá, câu đối Hán văn và nguyên tắc bố cục phong thủy, nhấn mạnh hiếu đạo, trật tự và sự hài hòa thiên-địa-nhân. Công giáo góp mặt qua hình ảnh thánh giá, tượng Đức Mẹ, phong cách Gothic hay La Mã, phản ánh sự tiếp nhận yếu tố ngoại lai. Bên cạnh đó, Đạo giáo và tín ngưỡng dân gian đóng vai trò nền tảng, thể hiện ở linh vật tứ linh, bát quái, hình ảnh tiên cảnh, cùng việc tuân thủ chặt chẽ nguyên tắc phong thủy. Vai trò của thầy địa lý, thầy cúng trong nghi lễ càng củng cố niềm tin về sự trường tồn và phúc đức cho con cháu.

Như vậy, làng mộ An Bằng không chỉ là công trình kiến trúc tang lễ, mà còn là tấm gương phản chiếu sự dung hợp tôn giáo - tín ngưỡng, thể hiện khát vọng về sự vinh hiển, phúc lộc và an lành của cộng đồng. Có thể xem đây là minh chứng sống động cho sự đa dạng văn hóa - tôn giáo ở Huế, nơi Phật giáo, Nho giáo, Thiên Chúa giáo và tín ngưỡng dân gian kết hợp linh hoạt, tạo nên một quần thể kiến trúc độc đáo, vừa phản ánh tự do tín ngưỡng, vừa cho thấy khả năng bản địa hóa sáng tạo của cộng đồng.

4. KẾT LUẬN

Khảo sát 353 lăng mộ tại thôn An Bằng cho thấy sự hình thành một hệ hình kiến trúc, nghệ thuật dân gian độc đáo, vừa bảo lưu yếu tố truyền thống, vừa sáng tạo trong thích ứng bối cảnh đương đại. Nổi bật nhất là sự mô phỏng mô-típ cung đình, mật độ trang trí dày đặc, cùng sự dung hợp tôn giáo tín ngưỡng đa dạng. Về niên đại, đa số công trình được xây dựng sau 1990, đạt đỉnh trong giai đoạn 2001-2010, phản ánh sự gắn kết giữa chuyển biến kinh tế - xã hội và dòng kiểu hổi. Về cấu trúc, phần lớn lăng có tường thành (≈88%), nhà bia (≈53%), quách chữ nhật (≈88%); lối vào chủ yếu là tứ trụ (≈54%), bên cạnh tam quan (≈18%) và các dạng biến thể khác. Về cấu trúc, tường thành chiếm 88%, nhà bia 53%, quách chữ nhật 88%; hình thức cổng chủ yếu là tứ trụ (54%), kế đến tam quan (18%) và các biến thể khác. Vật liệu phổ biến là xi măng, khám sành sứ, gạch/đá mài, cho phép kết hợp kỹ thuật trang trí tinh xảo với chi phí tương đối hợp lý. Để tài trang trí phong phú (tứ linh, hổi văn, hoa điều, phong cảnh) không chỉ phản ánh thẩm mỹ dân gian mà còn là minh chứng sống động cho sự dung hợp Phật giáo, Nho giáo, Công giáo và tín ngưỡng truyền thống.

Từ góc nhìn khoa học, nghiên cứu này khẳng định lăng mộ An Bằng không chỉ là một dạng thức kiến trúc tang lễ mà còn là tư liệu văn hóa sống, nơi ký ức cộng đồng, đạo hiếu, tâm linh và sáng tạo nghệ nhân được kết tinh trong hình thái kiến trúc. Điểm mới của nghiên cứu nằm ở việc lần đầu tiên thiết lập một cơ sở dữ liệu định lượng có hệ thống (353 trường hợp, với số liệu hình thái chi tiết), đồng thời gợi mở phương

pháp tiếp cận liên ngành kết hợp khảo sát hiện trạng, đo vẽ kiến trúc, phân tích phong thủy, tín ngưỡng và thống kê định lượng.

Tuy nhiên, nghiên cứu vẫn còn những giới hạn: một số trường hợp chưa xác định được niên đại; phạm vi đo vẽ chi tiết còn hẹp; dữ liệu thống kê chưa khai thác triệt để mối quan hệ giữa niên đại, tôn giáo, hình thức cổng, vật liệu. Đây là những gợi ý quan trọng cho các nghiên cứu tiếp theo, đặc biệt trong hướng phân tích động lực hình thái gắn với biến đổi kinh tế, xã hội và tín ngưỡng.

Trên cơ sở đó, bài nghiên cứu đề xuất bốn hướng hành động:

(1) Lập hồ sơ kiểm kê có toạ độ/GIS, chuẩn hóa thuật ngữ và mô tả hình thái;

(2) Xây dựng bộ hướng dẫn thiết kế, bảo tồn ở cấp thôn (quy mô, cao độ nền, vật liệu, màu, bố cục chi tiết) để giảm nguy cơ lai tạp cục đoan;

(3) Tổ chức diễn giải di sản (tuyến tham quan, bảng chú giải, dữ liệu số) gắn với sinh kế cộng đồng, bảo đảm ứng xử tôn nghiêm với không gian mộ phần;

(4) Mở rộng nghiên cứu so sánh liên vùng và tăng cường thống kê định lượng (bảng chéo, mô hình hồi quy mô tả) nhằm làm rõ động lực hình thái trong bối cảnh đương đại.

Tóm lại, làng mộ An Bằng là một diện mạo thẩm mỹ đặc sắc, một tư liệu kiến trúc, văn hóa độc đáo và cũng là chứng nhân lịch sử xã hội phản ánh sự chuyển dịch kinh tế, tâm linh và văn hóa của cộng đồng. Việc nhận diện, hướng dẫn và bảo tồn thích ứng quần thể này sẽ là chìa khóa không chỉ để gìn giữ giá trị văn hóa, kiến trúc đặc thù của Huế, mà còn để đóng góp vào diễn ngôn quốc tế về bảo tồn di sản dân gian trong bối cảnh toàn cầu hóa.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Đặng Mai Anh (2014). Đôi nét về binh phong ngoại án thời Nguyễn ở Huế, Tạp chí Di sản Văn hóa, số 3 (48), tr. 44-45.
- [2]. Nam Anh (2022). Khám phá thành phố làng mộ nổi tiếng bậc nhất xứ Huế. Dân trí [Online], Website: <https://dantri.com.vn/van-hoa/kham-pha-thanh-pho-lang-mo-noi-tieng-bac-nhat-xu-hue-20221025224743660.htm> [Truy cập: 13/9/2025].
- [3]. Lê Chung (2022), Ngỡ ngàng với vẻ xa hoa, tráng lệ của "thành phố lăng mộ" nghìn tỷ bậc nhất Việt Nam. Website: <https://toquoc.vn/ngo-ngang-voi-ve-xa-hoa-trang-le-cua-thanh-pho-lang-mo-nghin-ty-bac-nhat-viet-nam-20191122155044484.htm> [Truy cập: 14/9/2025].
- [4]. Vương Ngọc Đức, Hương Thảo (2011), Phong thủy đặt mộ & xem thế đất. NXB Thời Đại.
- [5]. Phan Thanh Hải (2010), Lăng mộ hoàng gia thời Nguyễn tại Huế, Tạp chí Nghiên cứu và Phát triển, Số 5 (82), Huế, tr. 18 - 30.
- [6]. Lê Nguyễn Lưu (2010). Lăng mộ - một loại hình di tích xứ Huế. Tạp chí Sông Hương, Số 119, tr. 61-64.
- [7]. E. Lip (1999), Nghệ thuật kiến trúc theo văn hóa cổ Trung Hoa. Người dịch: Nguyễn Hoàng Hải. NXB Văn hóa Thông tin.
- [8]. Tuệ Linh (2018), Cách xác định hướng mộ theo phong thủy. Website: <https://realtimes.vn/cach-xac-dinh-huong-mo-theo-phong-thuy-20230601.htm> [Truy cập: 30/9/2025].
- [9]. L. Cadière (1928), Lăng mộ của người An Nam trong phụ cận Huế. Những người bạn Cổ Đô Huế. Người dịch: Hà Xuân Liêm, Hiệu đính: Nhị Xuyên. Tr. 5-248. Huế: Nxb Thuận Hóa 2004.
- [10]. Louis Bezacier (1954), L'Art Vietnamien. Éditions de L'Union Française. 3, Rue Blaise-Desgoffe - Paris - VI.
- [11]. Marcel Bernanose (1922), Les arts décoratifs au Tonkin, Henri Laurens, Editeur, 6 Rue de Tournon.
- [12]. Phạm Đức Mạnh (2020), Mộ cổ Nam bộ. NXB Tổng hợp TP.HCM.
- [13]. Nguyễn Hữu Thông (2023), Mỹ thuật Huế nhìn từ góc độ ý nghĩa và biểu tượng trang trí. NXB Thế giới. ISBN 978-60477-7469-2.
- [14]. Ung Tiểu (2011), Hoa văn cung đình Huế, NXB Tổng hợp TP.HCM. ISBN 978-604-58-0084-3.

¹ Theo quy định của triều Nhà Nguyễn, “lăng” thường chỉ dùng cho hoàng đế và hoàng hậu, “tăm” được dùng cho thân vương, phi, tần. Đối với thân dân, không phân biệt giàu nghèo thì gọi là “mộ” [5, tr. 22]. Tuy nhiên, trong bài viết này, nhóm nghiên cứu sử dụng từ “lăng mộ” chung cho các mộ nghiên cứu.

Nước với sức khỏe cộng đồng và vai trò của quản lý cấp nước đô thị

Water and public health the role of urban water supply management

> PGS.TS NGUYỄN HỒNG TIẾN

Nguyên Cục trưởng Cục Hạ tầng kỹ thuật, Bộ Xây dựng

TÓM TẮT

Nước sạch là một loại thực phẩm, hàng hóa đặc biệt, có tác động trực tiếp đến sức khỏe và mọi hoạt động thiết yếu khác của cuộc sống con người. Mọi hoạt động phát triển kinh tế - xã hội của đất nước đều liên quan đến việc sử dụng tài nguyên nước và nguồn nước sạch. Cùng với tốc độ phát triển kinh tế - xã hội và chất lượng cuộc sống ngày càng được nâng cao, việc tiếp cận nguồn nước sạch và đảm bảo cung cấp nước an toàn, ổn định cần được quan tâm nhiều hơn. Bài viết tổng hợp vai trò của nước đối với sức khỏe và sự phát triển của cộng đồng, làm rõ trách nhiệm trong việc cung cấp dịch vụ cấp nước, từ đó đưa ra các kiến nghị phù hợp.

Từ khóa: Cấp nước an toàn, quản lý cấp nước, nước sạch và vệ sinh.

ABSTRACT

Clean water is a vital commodity that directly impacts public health and all essential human activities. The socio-economic development of a nation is intrinsically linked to the utilization of its water resources and the availability of clean water. As socio-economic conditions and living standards improve, ensuring safe, reliable, and sustainable access to clean water requires greater attention. This paper synthesizes the critical role of water in public health and clarifies the responsibilities inherent in providing water supply services, culminating in the proposal of relevant recommendations for the sector.

Keywords: Safe water supply, water supply management, Clean water and sanitation.

1. NƯỚC VỚI SỨC KHỎE CỘNG ĐỒNG

- *Nước là sự sống:* Nước sạch có vai trò rất quan trọng đối với sức khỏe và cuộc sống con người. Nước là nguồn sống; con người, động - thực vật đều không thể tồn tại nếu thiếu nước. Tuy nhiên, khi nguồn nước bị ô nhiễm hoặc biến đổi, nó có thể gây ra những hiểm họa khôn lường đối với sức khỏe và môi trường sống. Hằng ngày, con người sử dụng nước sạch cho các nhu cầu sinh hoạt như nấu ăn, tắm giặt, rửa rau, rửa bát,... Trong cơ thể người, nước chiếm khoảng 70-80% trọng lượng, đóng vai trò thiết yếu trong mọi quá trình sống.

- *Nước duy trì hệ sinh thái:* Nước giúp duy trì cân bằng của bầu khí quyển đem lại cho con người bầu không khí trong lành.

- *Nước sạch là một loại sản phẩm:* hàng hóa đặc biệt phục vụ nhu cầu thiết yếu của cuộc sống con người và phát triển kinh tế - xã hội.[3, 4]

- *Yêu cầu đối với Nước:*

+ Nước sạch sử dụng trong đời sống hàng ngày cần đảm bảo trong suốt, không màu, không mùi, không vị, không chứa mầm bệnh và các chất độc hại gây ảnh hưởng đến sức khỏe của người sử dụng.

+ Chất lượng nước sạch sử dụng mục đích sinh hoạt (ăn uống, vệ sinh cá nhân) phải bảo đảm theo các quy chuẩn kỹ thuật do cơ quan nhà nước có thẩm quyền ban hành. Việc sử dụng nguồn nước không bảo đảm chất lượng là một trong những nguyên nhân gây bệnh nguy hiểm. Do đó, kiểm tra, giám sát chất lượng nước sạch tại các đơn vị cấp nước là một trong những nhiệm vụ bắt buộc, nhằm bảo đảm chất lượng nguồn nước an toàn, lâu dài.

+ Cấm các đơn vị cấp nước cung cấp nước sạch cho mục đích sinh hoạt không bảo đảm quy chuẩn kỹ thuật do cơ quan nhà nước có thẩm quyền ban hành [1].

- *Những thách thức:* Đến năm 2025, lượng nước mặt nội sinh bình quân đầu người ở Việt Nam chỉ đạt 2.830 m³/người/năm, thấp hơn so với mức trung bình của thế giới là 4.000 m³/người/năm (theo Bộ Tài Nguyên và Môi trường). Vì thế, nếu không có những chính sách có hiệu quả trong vòng 50 năm nữa, Việt Nam sẽ đối mặt với vấn đề thiếu nước trầm trọng khi mà tình trạng khô kiệt sẽ diễn ra trên diện rộng và ngày càng nhiều người dân phải sử dụng nguồn nước không đảm bảo vệ sinh, dẫn đến ảnh hưởng tới sức khỏe của người sử dụng và kéo theo hàng loạt hệ lụy khác.

- *Mục tiêu của thiên niên kỷ:* Mục tiêu số 6 trong 17 Mục tiêu Phát triển Bền vững (SDGs) của Liên Hợp Quốc là "Nước sạch và vệ sinh" (Clean Water and Sanitation), với trọng tâm là bảo đảm mọi người đều được tiếp cận với nguồn nước sạch, an toàn và điều kiện vệ sinh đầy đủ vào năm 2030. Mục tiêu này nhằm giải quyết các thách thức về khan hiếm nước, ô nhiễm và đảm bảo vệ sinh cá nhân, ảnh hưởng đến sức khỏe, an ninh lương thực và giáo dục.

Quản lý cấp nước hiệu quả góp phần bảo vệ sức khỏe cộng đồng bằng cách đảm bảo nguồn nước sạch, an toàn, ổn định, liên tục thông qua việc kiểm soát chất lượng nước theo quy định pháp luật, quản lý rủi ro trong hoạt động cấp nước và duy trì ổn định các công trình cấp nước. Tăng cường công tác xử lý nước thải, ngăn ngừa ô nhiễm nguồn nước đồng thời nâng cao ý thức cộng đồng về sử dụng nước sạch tiết kiệm và bảo vệ nguồn nước.



Hình 1. Nước bẩn và Nước sạch

2. CÁC QUY ĐỊNH CỦA PHÁP LUẬT LIÊN QUAN ĐẾN QUẢN LÝ CẤP NƯỚC VỚI SỨC KHỎE CỘNG ĐỒNG

Pháp luật hiện hành quy định khá cụ thể về trách nhiệm của các cơ quan, tổ chức, cá nhân cung cấp dịch vụ cấp nước phải tuân thủ cũng như có các chế tài đầy đủ.

Theo Nghị định 117/2007/NĐ-CP của Chính phủ

- Hoạt động cấp nước là loại hình hoạt động sản xuất kinh doanh chịu sự kiểm soát của nhà nước nhằm bảo đảm quyền và lợi ích hợp pháp của đơn vị cấp nước và khách hàng sử dụng nước.

- Tổ chức sản xuất an toàn, cung cấp ổn định dịch vụ cấp nước cho các khách hàng sử dụng nước về chất lượng nước, áp lực, lưu lượng và tính liên tục theo quy chuẩn kỹ thuật và Hợp đồng dịch vụ cấp nước đã ký kết. Trong trường hợp có sự cố xảy ra trên hệ thống cấp nước, đơn vị cấp nước cần thông báo kịp thời cho các khách hàng sử dụng nước có biện pháp dự trữ nước trong thời gian khôi phục dịch vụ cấp nước.

Theo Luật Đầu tư 2020

Kinh doanh nước sạch (nước sinh hoạt) thuộc danh mục ngành nghề đầu tư kinh doanh có điều kiện (số thứ tự 102, Phụ lục IV)

Theo Luật Bảo vệ người tiêu dùng năm 2023

Người tiêu dùng

- Được bảo đảm an toàn tính mạng, sức khỏe, quyền, lợi ích hợp pháp khác khi tham gia giao dịch, sử dụng sản phẩm, hàng hóa, dịch vụ do tổ chức, cá nhân kinh doanh cung cấp.

- Yêu cầu tổ chức, cá nhân kinh doanh bồi thường thiệt hại khi sản phẩm, hàng hóa có khuyết tật, sản phẩm, hàng hóa, dịch vụ không phù hợp tiêu chuẩn, quy chuẩn kỹ thuật, không bảo đảm an toàn, đo lường, số lượng, khối lượng, chất lượng, công dụng, giá,...không đúng với cam kết của tổ chức, cá nhân kinh doanh.

Tổ chức, cá nhân hoạt động kinh doanh

- Phải bảo đảm an toàn số lượng, khối lượng, chất lượng, công dụng sản phẩm, hàng hóa, dịch vụ bán, cung cấp cho người tiêu dùng theo đúng nội dung đã đăng ký, thông báo, công bố, niêm yết, quảng cáo, giới thiệu, giao kết, cam kết hoặc theo quy định của pháp luật.

- Phải cảnh báo sản phẩm, hàng hóa, dịch vụ có khả năng gây mất an toàn, ảnh hưởng xấu đến tính mạng, sức khỏe, tài sản của người tiêu dùng và thông báo về các biện pháp phòng ngừa theo quy định của pháp luật.

Theo Luật An toàn thực phẩm

- Sản xuất, kinh doanh thực phẩm là hoạt động có điều kiện; tổ chức, cá nhân sản xuất, kinh doanh thực phẩm phải chịu trách nhiệm về an toàn đối với thực phẩm do mình sản xuất, kinh doanh.

- Tổ chức, cá nhân sản xuất, kinh doanh thực phẩm vi phạm pháp luật về an toàn thực phẩm thì tùy theo tính chất, mức độ vi phạm mà bị xử lý vi phạm hành chính hoặc bị truy cứu trách nhiệm hình sự, nếu gây thiệt hại thì phải bồi thường và khắc phục hậu quả theo quy định của pháp luật.

Theo Luật Bảo vệ sức khỏe nhân dân

- Các cơ quan, xí nghiệp cấp nước phải bảo đảm tiêu chuẩn vệ sinh nước dùng trong sinh hoạt của nhân dân.

- Nghiêm cấm các tổ chức nhà nước, tập thể, tư nhân và mọi công dân làm ô nhiễm các nguồn nước dùng trong sinh hoạt của nhân dân.

Thông tư 52/2024/TT-BYT ngày 31/12/2024 của Bộ Y tế

QCVN 01-1:2024/BYT, ban hành kèm theo Thông tư 52/2024/TT-BYT ngày 31/12/2024, có hiệu lực từ ngày 01/07/2025. Quy chuẩn này quy định các chỉ tiêu chất lượng và giới hạn cho phép đối với nước sử dụng cho mục đích ăn uống, vệ sinh của con người. Đối tượng áp dụng cho các đơn vị cung cấp nước, đơn vị sử dụng nước, hộ gia đình tự khai thác, và các cơ quan quản lý, kiểm tra chất lượng nước.

Như vậy trong hệ thống pháp luật hiện hành đều đề cao vai trò, trách nhiệm của các tổ chức, cá nhân tham gia cung ứng các dịch vụ có liên quan đến sức khỏe của cộng đồng và truy cứu, xử lý vi phạm nếu để xảy ra các thiệt hại cụ thể.

3. MỘT SỐ SỰ CỐ CUNG CẤP NƯỚC SẠCH ẢNH HƯỞNG ĐẾN SỨC KHỎE CỘNG ĐỒNG TRONG NHỮNG NĂM GẦN ĐÂY

Điểm qua một số sự cố trong thời gian vừa qua để thấy rõ vai trò và tầm quan trọng của quản lý dịch vụ cấp nước:

- Tháng 10/2019, tại huyện Kỳ Sơn, tỉnh Hòa Bình (cũ) xảy ra vụ việc một số đối tượng đổ trộm dầu thải xuống mặt đường và chảy xuống suối Trầm thuộc xóm Quyết Tiến, xã Phúc Tiến, chảy đến hồ Đầm Bài...là nơi cung cấp nước cho Nhà máy nước sạch Sông Đà, gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến môi trường và nguồn nước cung cấp cho Nhà máy nước sạch Sông Đà. Đây là khởi đầu cho "cuộc khủng hoảng" nước sạch của 18% dân số Hà Nội ở khu vực Tây Nam thành phố. Đánh giá lại sự cố này cho thấy các cơ quan quản lý nhà nước, chính quyền địa phương và các đơn vị sản xuất nước sạch chưa thực sự quan tâm đến cấp nước an toàn. Một lỗ hổng rất lớn trong vấn đề pháp lý liên quan đến trách nhiệm thực sự trong quản lý, trong kiểm tra chất lượng nước và ngay cả trong quá trình quản lý khai thác, vận chuyển, cung cấp nước sạch cho người dân.



Hình 2. Vết dầu loang tại con suối Khai (xã Phú Minh, Kỳ Sơn, Hòa Bình 10/2019)



Hình 3. Người dân thục đêm lấy nước

- Sự cố mất nước tại Khu đô thị Thanh Hà, Hà Nội vào tháng 10/2023 xuất phát từ việc nguồn nước ngầm được xử lý tại Trạm xử lý nước sạch Thanh Hà không đảm bảo chất lượng. Nhiều chỉ số trong nguồn nước vượt quá giới hạn cho phép theo quy chuẩn của Bộ Y tế, dẫn đến việc ngừng cấp nước. Hậu quả là người dân phải đối mặt với tình trạng mất nước kéo dài, buộc nhiều hộ phải đi xin nước hoặc trữ nước để sử dụng tạm thời.



Hình 4. Tình trạng mất nước sạch ở Khu đô thị Thanh Hà (10/2023)

Qua sự cố mất nước tại Khu đô thị Thanh Hà, có thể thấy công tác chuẩn bị và ứng phó với sự cố của các đơn vị cấp nước còn rất bị động, thiếu sự phối hợp và kế hoạch dự phòng hiệu quả. Việc mất nước kéo dài đã gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến đời sống sinh hoạt của người dân, buộc nhiều hộ phải mua nước đóng chai để sử dụng, nghỉ làm để chờ hứng nước, thậm chí tự bỏ tiền thuê xe téc chở nước về dùng. Trong khi đó, các đơn vị cung cấp nước lại có dấu hiệu né tránh trách nhiệm, đổ lỗi cho nhau, chưa có đơn vị nào đứng ra nhận trách nhiệm chính thức. Vấn đề đặt ra là: những thiệt hại mà người dân phải gánh chịu trong thời gian qua sẽ được giải quyết ra sao, và ai sẽ là người chịu trách nhiệm bồi thường hoặc khắc phục hậu quả?

- Tháng 4/2023, cư dân tại cụm nhà HH2, chung cư Xuân Mai Complex, phường Yên Nghĩa, TP Hà Nội phát hiện nước có dấu hiệu vẩn đục, lắng cặn. Công ty nước sạch Hà Đông đã đến lấy mẫu nước kiểm tra. Ban Quản trị chung cư cũng chủ động làm các xét nghiệm nước độc lập tại những căn hộ phản ánh, kết quả cho thấy các chỉ số nitrat, nitrit, mangan vượt ngưỡng tiêu chuẩn. Số lượng hộ dân phản ánh nước ô nhiễm chiếm 30-40% trong tổng số hơn 1.700 hộ. Trách nhiệm để xảy ra tình trạng này thuộc về ai?

- Một số sự cố do vỡ đường ống do đường ống cũ, do việc thi công các công trình xây dựng mới, cải tạo, nâng cấp ảnh hưởng đến việc cung cấp nước cũng thường xảy ra tại một số thành phố lớn.

Điểm qua một số sự cố trên cho thấy cấp nước ảnh hưởng trực tiếp đến đời sống của người dân. Khi nước không bảo đảm chất lượng ảnh hưởng trực tiếp đến sức khỏe của người sử dụng. Sức khỏe cộng đồng phải được đặt lên hàng đầu. Để bảo đảm an toàn trong cấp nước, cần có sự nỗ lực chủ động từ chính ngành cấp nước, sự quản lý hiệu lực, hiệu quả của chính quyền đô thị các cấp, cùng với sự tham gia tích cực của các tổ chức, đoàn thể, cơ quan truyền thông và sự ủng hộ của người dân.

4. VAI TRÒ VÀ TRÁCH NHIỆM QUẢN LÝ CẤP NƯỚC VỚI SỨC KHỎE CỘNG ĐỒNG

Quản lý cấp nước hiện hành được quy định như sau [1]

1. Trách nhiệm của các cơ quan quản lý nhà nước

- Chính phủ: Thống nhất quản lý nhà nước về cấp nước, ban hành chiến lược, quy hoạch, định hướng, chương trình, kế hoạch phát triển.

- Bộ Xây dựng: Quản lý cấp nước ở đô thị và khu công nghiệp.

- Bộ Nông nghiệp và Môi trường: Quản lý cấp nước ở khu vực nông thôn.

- Bộ Y tế: Chịu trách nhiệm về sức khỏe cộng đồng, ban hành quy chuẩn kỹ thuật nước sạch, giám sát việc thực hiện quy chuẩn trên toàn quốc.

- Bộ Tài chính: Phối hợp trong quản lý nhà nước về cấp nước.

- Ủy ban nhân dân cấp tỉnh: Quản lý cấp nước trên địa bàn tỉnh, phân cấp quản lý cho cấp xã.

2. Trách nhiệm của đơn vị sản xuất, cung cấp nước sạch

- Đảm bảo chất lượng nước sạch: Cung cấp nước sạch, đạt tiêu chuẩn, an toàn cho sức khỏe người dân.

- Ổn định nguồn cung: Duy trì hoạt động ổn định của hệ thống, giảm thất thoát, thất thu nước sạch.

- Nâng cấp, cải tạo hệ thống: Rà soát, khắc phục sự cố, kiểm tra, bảo trì đường ống, bể chứa để chống rò rỉ.

- Được tạm ngừng cung cấp dịch vụ trong các trường hợp như hệ thống bị sự cố, hư hỏng đột xuất, hoặc di chuyển, sửa chữa, cải tạo theo kế hoạch hằng năm của đơn vị, nhưng phải có trách nhiệm thông báo cho khách hàng trên phương tiện thông tin đại chúng và chuẩn bị phương án cấp nước ngay bằng xe téc đối với khu vực mất nước.

3. Đối với người sử dụng nước

- Được cung cấp đầy đủ, kịp thời về số lượng, bảo đảm về chất lượng dịch vụ đã nêu trong hợp đồng; Yêu cầu đơn vị cấp nước kịp thời khôi phục việc cấp nước khi có sự cố; Được bồi thường thiệt hại do đơn vị cấp nước gây ra theo quy định của pháp luật; Khiếu nại, tố cáo các hành vi vi phạm pháp luật về cấp nước của đơn vị cấp nước hoặc các bên có liên quan;

- Người sử dụng nước phải ký hợp đồng cung cấp và sử dụng dịch vụ. Trong trường hợp đóng chậm sẽ bị tạm ngừng cung cấp nước và phải nộp thêm một số khoản tiền phạt sinh. Người sử dụng nước có trách nhiệm sử dụng nước tiết kiệm, hiệu quả và an toàn.

Qua phần trình bày ở trên cho thấy, các quy định về vai trò và trách nhiệm của các bên tham gia trong lĩnh vực cấp nước, bao gồm cơ quan quản lý nhà nước Trung ương (Bộ, ngành), chính quyền các cấp, đơn vị cấp nước và người sử dụng nước, nhìn chung đã khá rõ ràng và cụ thể.

Tuy nhiên, khi xảy ra sự cố, việc phối hợp giữa các bên để xử lý còn thiếu chặt chẽ; trách nhiệm giải quyết không được phân định rõ ràng, trong khi chế tài xử lý còn thiếu hoặc hiệu lực chưa cao. Hệ quả là tình trạng né tránh trách nhiệm, thậm chí đổ lỗi cho nhau, hoàn toàn có thể xảy ra trong thực tế.

5. MỘT SỐ ĐỀ XUẤT LIÊN QUAN ĐẾN QUẢN LÝ CẤP NƯỚC HIỆU QUẢ GÓP PHẦN BẢO VỆ SỨC KHỎE CỘNG ĐỒNG

Để quản lý hiệu quả hoạt động cấp nước, đồng thời phân định rõ trách nhiệm và hài hòa lợi ích giữa Nhà nước, doanh nghiệp và người dân, với mục tiêu cao nhất là bảo vệ sức khỏe cộng đồng, bài viết đề xuất một số nội dung sau:

Về hoàn thiện thể chế

- Nước sạch là một loại hàng hoá thiết yếu, quan trọng mà Nhà nước có trách nhiệm quản lý, bảo đảm cho người dân được tiếp cận công bằng, đầy đủ, an toàn. Trong khi nhiều lĩnh vực chuyên ngành như giao thông, môi trường, điện lực, thủy lợi, tài nguyên nước, phòng chống thiên tai ... đều đã có các luật riêng được ban hành đối với lĩnh vực cấp nước, thoát nước và xử lý nước thải cũng có tính đặc thù riêng nhưng hiện chưa có luật mang tính kỹ thuật chuyên ngành. Vì vậy cần tiếp tục hoàn thiện dự thảo Luật Cấp, thoát nước để sớm trình Quốc hội xem xét ban hành nhằm hoàn thiện khung pháp lý, đảm bảo quyền của người dân được tiếp cận nước sạch ổn định, góp phần bảo vệ môi trường và bảo vệ sức khỏe cộng đồng, đáp ứng yêu cầu phát triển kinh tế - xã hội bền vững và hội nhập quốc tế.

- Khẩn trương rà soát, cập nhật, bổ sung hoặc sửa đổi các quy định đã được ban hành tại Nghị định số 117/2007/NĐ-CP của Chính phủ về sản xuất, cung cấp và tiêu thụ nước sạch và Nghị định số 80/2014/NĐ-CP của Chính phủ về thoát nước và xử lý nước thải, nhằm bảo đảm tính phù hợp với thực tiễn, đáp ứng yêu cầu quản lý hiệu quả hoạt động cấp nước trong giai đoạn hiện nay.

- Tổng kết các chương trình chống thất thoát; chương trình quốc gia bảo đảm cấp nước an toàn; các định hướng về cấp, thoát nước để xây dựng chương trình, định hướng mới cho giai đoạn 2025-2030 phù hợp với giai đoạn phát triển mới của đất nước.

- Rà soát, bổ sung quy định pháp luật về điều kiện năng lực, điều kiện kinh doanh của doanh nghiệp thực hiện cung cấp các dịch vụ nước sạch (kinh doanh nước sạch theo Luật Đầu tư 2020); Xây dựng tiêu chí đánh giá và quy định chứng nhận công trình bảo đảm cấp nước an toàn.

Về tổ chức và thực hiện quản lý

- Nâng cao hiệu lực, hiệu quả quản lý nhà nước về cấp nước; thống nhất đầu mối quản lý cấp nước sinh hoạt ở đô thị và nông thôn;

- Rà soát chức năng quản lý; kiểm tra việc thực hiện phân cấp, ủy quyền để có giải pháp hỗ trợ, hoàn thiện tổ chức, bộ máy và con người quản lý cho phù hợp.

- Tăng cường kiểm tra việc chấp hành pháp luật của các doanh nghiệp cấp nước kết hợp xử lý nghiêm minh, kịp thời các vi phạm. Kiểm soát chặt chẽ việc thực hiện thỏa thuận thực hiện dịch vụ cấp nước (đề nghị thay bằng hợp đồng); hợp đồng dịch vụ cấp nước, điều kiện hoạt động kinh doanh nước, kiểm soát việc cung cấp nước sạch tại các khu đô thị mới, khu chung cư; rà soát công trình cấp nước riêng tại các khu công nghiệp, cơ sở sản xuất, kinh doanh, dịch vụ.

- Rà soát, đánh giá và tổng kết việc thực hiện cổ phần hóa doanh nghiệp nhà nước từ đó đề xuất định hướng và giải pháp cho giai đoạn 2025-2030.

- Xây dựng chương trình và tổ chức tập huấn nâng cao nhận thức cộng đồng về tầm quan trọng của nước sạch, khuyến khích các hành động bảo vệ nguồn nước như không xả rác, hóa chất, sửa chữa rò rỉ, sử dụng các giải pháp thay thế tự nhiên, và thực hiện tiết kiệm nước trong sinh hoạt hàng ngày.

6. KẾT LUẬN

Một lần nữa cần khẳng định rằng nước sạch là một loại thực phẩm, hàng hóa đặc biệt, có tác động trực tiếp đến sức khỏe và mọi hoạt động thiết yếu khác của cuộc sống con người. Mọi hoạt động phát triển kinh tế - xã hội của đất nước có liên quan đến sử dụng tài nguyên nước và nguồn nước sạch. Các sự cố về nguồn nước, công trình cấp nước, tác động của biến đổi khí hậu, đang ngày càng gay gắt đã ảnh hưởng không nhỏ đến cuộc sống, tính mạng, sức khỏe con người trong vùng phục vụ. Cùng với tốc độ phát triển kinh tế - xã hội, chất lượng cuộc sống của người dân ngày càng được quan tâm nhiều hơn. Việc tiếp cận nguồn nước sạch một cách an toàn và bền vững cần phải được thể chế hóa bằng Luật Cấp, thoát nước và các quy định dưới Luật phù hợp với nhu cầu phát triển tất yếu của thời đại.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Nghị định số 117/2007/NĐ-CP ngày 11/7/2007 của Chính phủ về Sản xuất, cung cấp và tiêu thụ nước sạch.

[2]. Nghị định số 80/2014/NĐ-CP ngày 6/8/2014 của Chính phủ về Thoát nước và Xử lý nước thải.

[3]. Quyết định số 1566/QĐ-TTg ngày 9/8/2016 của Thủ tướng Chính phủ phê duyệt Chương quốc gia bảo đảm cấp nước an toàn giai đoạn 2016-2025.

[4]. Chỉ thị số 34/CT-TTg ngày 28/8/2020 của Thủ tướng Chính phủ về tăng cường công tác quản lý hoạt động sản xuất kinh doanh nước sạch, bảo đảm cấp nước an toàn, liên tục.

[5]. Ngân hàng thế giới (2018), nghiên cứu Quản trị ngành Nước Việt Nam hướng tới An ninh nước.

Nghiên cứu giải pháp bố trí hạ tầng kỹ thuật trong không gian tunnel kỹ thuật đa tiện ích phục vụ phát triển đô thị thông minh tại Việt Nam

Research on technical infrastructure arrangement solutions in multi-utility technical tunnel space to serve smart urban development in Vietnam

> **THS NGUYỄN THẾ LỮ**

Ban Quản lý các dự án đầu tư cơ sở hạ tầng ưu tiên TP Đà Nẵng

Email: nguyenthelu1@gmail.com

TÓM TẮT

Đô thị Việt Nam đang đối mặt với tình trạng quá tải hạ tầng trên mặt đất, giao cắt phức tạp giữa các hệ thống kỹ thuật như cấp điện, cấp nước, thoát nước, viễn thông, gây mất mỹ quan, khó bảo trì. Do vậy, việc bố trí các hệ thống hạ tầng kỹ thuật trong cùng một tunnel kỹ thuật đa tiện ích là xu hướng hiện đại, mang lại hiệu quả sử dụng không gian và nâng cao khả năng quản lý, vận hành. Đề xuất các giải pháp kỹ thuật trong việc bố trí hợp lý các hệ thống hạ tầng (cấp nước, thoát nước mưa và nước thải, điện lực, chiếu sáng, thông gió, viễn thông...) trong một tunnel kỹ thuật, đảm bảo tiêu chuẩn an toàn, thuận tiện cho bảo trì, sửa chữa, đồng thời phù hợp với điều kiện thực tế và quy chuẩn xây dựng tại Việt Nam.

Nghiên cứu sử dụng phương pháp tổng hợp nhiều kỹ thuật bao gồm: Phân tích - tổng hợp lý thuyết; so sánh - đánh giá; mô hình hóa - đề xuất giải pháp bố trí; phân tích khả thi về mặt kỹ thuật và kinh tế. Kết quả nghiên cứu mang lại xây dựng được nguyên tắc bố trí tổng thể hạ tầng kỹ thuật trong tunnel kỹ thuật đa tiện ích; đề xuất các mô hình bố trí hạ tầng kỹ thuật điển hình trong tunnel; phân tích hiệu quả áp dụng giải pháp... Việc bố trí hạ tầng kỹ thuật tập trung trong tunnel kỹ thuật là giải pháp tối ưu cho đô thị hiện đại. Tại Việt Nam, giải pháp này cần được nghiên cứu triển khai thí điểm và nhân rộng, kết hợp với ứng dụng công nghệ hiện đại và quy hoạch đồng bộ, nhằm nâng cao chất lượng hạ tầng, đảm bảo phát triển đô thị bền vững và an toàn.

Từ khóa: Tunnel kỹ thuật thông minh, Tunnel kỹ thuật đa tiện ích.

ABSTRACT

Vietnam's urban areas are facing the situation of infrastructure overload on the ground, complex intersections between technical systems such as electricity, water supply, drainage, telecommunications, causing loss of aesthetics, difficult maintenance. Therefore, the arrangement of technical infrastructure systems in the same multi-utility technical tunnel is a modern trend, bringing about effective use of space and improving management and operation capabilities. Proposing technical solutions in the reasonable arrangement of infrastructure systems (water supply, rainwater and wastewater drainage, electricity, lighting, ventilation, telecommunications ...) in a technical tunnel; Ensuring safety standards, convenience for maintenance and repair, while being suitable for actual conditions and construction standards in Vietnam.

The study uses a multi-technique synthesis method including: Theoretical analysis - synthesis; comparison - evaluation; modeling - proposal of arrangement solutions; technical and economic feasibility analysis. The research results provide the establishment of principles for the overall arrangement of technical infrastructure in multi-utility technical tunnels; propose typical technical infrastructure arrangement models in tunnels; Analyze the effectiveness of applying solutions... The arrangement of concentrated technical infrastructure in technical tunnels is the optimal solution for modern urban areas. In Vietnam, this solution needs to be researched, piloted and replicated, combined with the application of modern technology and synchronous planning, to improve the quality of infrastructure, ensuring sustainable and safe urban development.

Keywords: Smart Tunnel Technology, Multi-Utility Technical Tunnel.

1. GIỚI THIỆU

Hiện nay, quá trình đô thị hóa nhanh chóng tại các thành phố lớn ở Việt Nam xảy ra tình trạng ngổn ngang các hệ thống cấp điện, viễn thông, thoát nước, giao thông... gây mất mỹ quan đô thị, khó khăn trong công tác quản lý; giải pháp tunnel kỹ thuật, nơi tích hợp và bố trí đồng bộ các hệ thống hạ tầng đã được nhiều quốc gia trên thế giới áp dụng thành công nhằm hiện đại hóa đô thị. Tuy nhiên, ở Việt Nam, việc ứng dụng tunnel kỹ thuật còn mang tính rời rạc, thiếu quy hoạch tổng thể, thiếu tiêu chuẩn kỹ thuật rõ ràng và gặp nhiều khó khăn trong thiết kế, thi công, vận hành cũng như chi phí đầu tư ban đầu lớn. Vì vậy, nghiên cứu các giải pháp tối ưu cho việc bố trí, tích hợp và quản lý hiệu quả hạ tầng kỹ thuật trong tunnel kỹ thuật đa tiện ích là một yêu cầu cấp thiết nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng đất, đảm bảo an toàn và phát triển đô thị bền vững; [1]

Do gia tăng áp lực đô thị và thiếu không gian trên mặt đất đòi hỏi việc sử dụng hiệu quả không gian ngầm đô thị; tình trạng chồng chéo, xung đột giữa các công trình ngầm đang gây khó khăn cho việc bảo trì, sửa chữa và mở rộng hạ tầng; thiếu cơ sở khoa học và thực tiễn trong việc thiết kế, tích hợp các hệ thống kỹ thuật vào tunnel kỹ thuật một cách hợp lý, an toàn và tiết kiệm chi phí; hướng tới mục tiêu phát triển đô thị xanh, thông minh và bền vững theo định hướng quy hoạch của Chính phủ Việt Nam; [2]

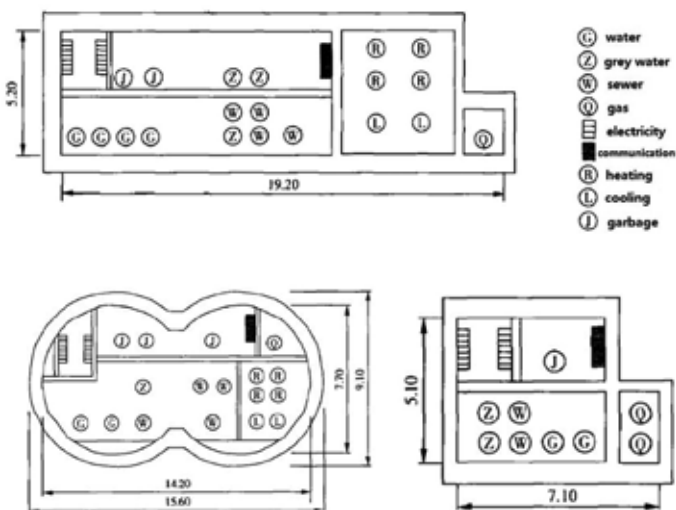
Về ý nghĩa cung cấp luận cứ khoa học và mô hình mặt cắt bố trí hạ tầng trong tunnel kỹ thuật phù hợp với điều kiện Việt Nam; là cơ sở cho việc xây dựng tiêu chuẩn, quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về thiết kế và vận hành tunnel kỹ thuật. Góp phần cải thiện mỹ quan đô thị, giảm thiểu đào xới lòng đường khi thi công hoặc bảo trì hệ thống hạ tầng; nâng cao hiệu quả quản lý và vận hành hệ thống hạ tầng kỹ thuật đô thị; hạn chế rủi ro và tăng độ an toàn trong vận hành hạ tầng kỹ thuật; hỗ trợ công tác quy hoạch đô thị thông minh, hiện đại và thân thiện với môi trường. [3]

2. TỔNG QUAN

2.1. Các công trình dự án quốc tế liên quan [4]

a) Nhật Bản

Một trong những khu vực trung tâm Tokyo là Vịnh Tokyo có hơn 10 loại tunnel tiện ích trong đó bao gồm các hệ thống hạ tầng nước mưa, nước thải, viễn thông, khí đốt, làm mát, sưởi ấm và rác thải hệ thống kết nối với mọi tòa nhà; tổng chiều dài khoảng 16 km tunnels kỹ thuật đa tiện ích với tổng chi phí là 3,2 tỷ USD.



Hình 1. Mặt cắt ngang của tunnels kỹ thuật đa tiên ích tại Vinh Tokyo

b) Singapore

Trong những năm gần đây, Singapore là quốc gia đầu tiên ở Đông Nam Á triển khai tunnels kỹ thuật đa tiện ích trên quy mô toàn diện bao gồm các hệ thống hạ tầng: điện, viễn thông, nước và mạng lưới Newater chứa nước siêu tinh khiết nước tái chế...; với tổng chiều dài khoảng 20 km tunnels kỹ thuật đa tiện ích.



Hình 2. Mặt bằng của Marina Bay về tunnel kỹ thuật đa tiên ích



Hình 3. Mặt cắt điển hình của Marina Bay về tunnel kỹ thuật đa tiên ích

2.2. Các công trình dự án trong nước liên quan

a) Dự án Nhà máy Nhiệt điện Vũng Áng II - Hà Tĩnh [5]

Hạng mục thi công bê tông đúc sẵn hệ thống cống hộp cấp nước và thoát nước cho dự án Nhà máy nhiệt điện. Đây là hệ thống cống hộp cấp và thoát nước bao gồm 148 đốt với tổng chiều dài là 5,4 km.



Hình 4. Mặt bằng dự án Nhà máy Nhiệt điện Vũng Áng liên quan tunnel kỹ thuật

b) Dự án sân bay Long Thành - Đồng Nai [6]

Trong quy hoạch xây dựng Cảng hàng không quốc tế Long Thành, hạng mục hệ thống tunel kỹ thuật được xác định là một trong những cấu phần hạ tầng kỹ thuật trọng yếu; đây là tuyến ngầm tập trung, có chức năng bố trí đồng bộ các loại hạ tầng kỹ

thuật như điện năng, cấp thoát nước, viễn thông, công nghệ thông tin, khí nén, cũng như các tuyến cáp đặc thù phục vụ vận hành sân bay.



Hình 5. Mặt bằng thi công tunnel kỹ thuật tại dự án Sân bay Long Thành
c) Dự án tunnel kỹ thuật dọc Vành đai 4 tại Mê Linh, Sóc Sơn, Hà Nội [7]

Việc xây dựng tuynel kỹ thuật dọc tuyến Vành đai 4 là hướng đi chiến lược, mở ra cơ hội quan trọng để phát triển một hệ thống đô thị hiện đại, tập trung vào kỹ thuật ngầm. Khi đảm bảo được vốn, quy hoạch và năng lực vận hành, tuynel sẽ là đòn bẩy mạnh mẽ cho quản lý hạ tầng, giảm chi phí xã hội, cải thiện môi trường đô thị.



Hình 6. Mặt bằng thi công tunnel kỹ thuật tại dự án Vành đai 4 tại Mê Linh, Sóc Sơn
d) Đánh giá tính tổng quan [8]

Hiện nay, Việt Nam cũng chưa có nhiều tiêu chuẩn quốc gia rõ ràng và đồng bộ cũng như về cách thức bố trí hệ thống hạ tầng đối với tunnel chứa nhiều hệ thống kỹ thuật, ví dụ: hạ tầng giao thông, hạ tầng cấp thoát nước, điện, viễn thông, thông gió, chiếu sáng, giám sát thông minh...). Việc tích hợp các hệ thống này

trong không gian tunnel còn hạn chế đòi hỏi về an toàn cháy, thoát hiểm, chống thấm, chịu tải, tiếp địa, cách điện, cách âm, thoát khí, thông gió; đó là nguyên nhân chính cần nghiên cứu giải pháp bố trí hạ tầng kỹ thuật trong tunnel sao cho khoa học, hiệu quả, bền vững;

Hiện nay, mặc dù có nhiều nghiên cứu cũng như công trình dự án sử dụng GIS, viễn thông, nâng cấp hạ tầng, nhưng chưa có nhiều dự án công bố sử dụng mạng cảm biến thực tế bên trong hầm (như giám sát nhiệt độ, độ ẩm, áp lực nước, rung chấn, khí độc, rò điện...), cũng như giám sát thông minh hầm với hệ thống SCADA dữ liệu theo thời gian thực để cảnh báo và bảo trì.

3. PHƯƠNG PHÁP

3.1. Phương pháp phân tích - tổng hợp lý thuyết [9]

Xác định cơ sở khoa học và pháp lý liên quan đến việc tổ chức hệ thống hạ tầng kỹ thuật ngầm trong đô thị; Hệ thống hóa các kiến thức, kinh nghiệm quốc tế và trong nước về thiết kế, bố trí, khai thác và vận hành tunnel kỹ thuật; Phát hiện khoảng trống nghiên cứu (research gaps), các bất cập trong hệ thống quy chuẩn, quy hoạch và thực tiễn quản lý tại Việt Nam; Làm tiền đề xây dựng khung giải pháp bố trí tích hợp hạ tầng kỹ thuật trong tunnel kỹ thuật, hướng đến đô thị thông minh.

a) Thu thập và phân tích tài liệu lý thuyết

Nguồn tài liệu: Văn bản pháp luật, quy chuẩn, tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN), Thông tư, Nghị định liên quan đến hạ tầng kỹ thuật đô thị, quy hoạch không gian ngầm, giao thông, cấp thoát nước, điện lực, viễn thông, chiếu sáng, PCCC... Báo cáo kỹ thuật và đề tài nghiên cứu khoa học đã công bố tại Việt Nam và quốc tế. Tài liệu kỹ thuật, cẩm nang thiết kế của các quốc gia có hệ thống tunnel kỹ thuật phát triển như Singapore, Nhật Bản, Hàn Quốc, Đức, Pháp... Bản vẽ, hồ sơ kỹ thuật, quy hoạch chi tiết các dự án đã triển khai tại Việt Nam.

Nội dung phân tích: Loại hình tunnel kỹ thuật (kích thước, vật liệu, chức năng đơn/tổ hợp, lớp chống thấm, kết cấu chịu lực...). Cách bố trí các hệ thống kỹ thuật bên trong (theo chiều ngang, dọc; sơ đồ kết nối; yêu cầu kỹ thuật; khoảng cách an toàn...). Các tiêu chuẩn thiết kế về thông gió, chiếu sáng, bảo dưỡng, phòng cháy chữa cháy, tiếp cận khi sự cố... Vai trò của tunnel kỹ thuật trong đô thị thông minh: tích hợp cảm biến, mạng IoT, hệ thống điều khiển thông minh, dữ liệu số hóa hạ tầng ngầm (GIS, BIM...). Ưu điểm - nhược điểm giữa bố trí tách biệt và tích hợp các hệ thống kỹ thuật trong cùng 1 tunnel.

b) Đánh giá tổng hợp

So sánh sự khác biệt giữa quy chuẩn/kinh nghiệm Việt Nam với các nước tiên tiến. Phân loại các mô hình bố trí hệ thống hạ tầng kỹ thuật trong tunnel theo chức năng. Hệ thống hóa các giải pháp bố trí, tiêu chuẩn kỹ thuật, cách tổ chức thi công - vận hành, các rủi ro thường gặp và biện pháp phòng tránh. Đánh giá tính phù hợp, khả năng áp dụng của mô hình quốc tế tại Việt Nam (địa chất, quy hoạch, hạ tầng pháp lý...) Xác định các điểm thiếu hụt trong cơ sở pháp lý, quy chuẩn Việt Nam. Gợi ý định hướng giải pháp kỹ thuật, tổ chức không gian trong tunnel phục vụ cho giai đoạn xây dựng giải pháp đề xuất.

3.2. Phương pháp so sánh - đánh giá [10]

So sánh các mô hình bố trí hạ tầng kỹ thuật trong tunnel tại Việt Nam với các mô hình quốc tế tiên tiến; Đánh giá mức độ phù hợp, hiệu quả và khả năng ứng dụng của từng giải pháp vào điều kiện thực tế Việt Nam (đô thị hóa, địa chất, chính sách, công nghệ); Phân tích ưu điểm, hạn chế của từng phương án bố trí hệ thống kỹ thuật (riêng lẻ - tích hợp; hầm đơn chức năng - đa chức năng); Hỗ trợ lựa chọn giải pháp tối ưu, làm cơ sở để xuất cấu trúc tunnel kỹ thuật phù hợp cho đô thị thông minh.

a) Lựa chọn các mô hình so sánh

Chọn một số mô hình tunnel kỹ thuật đã được triển khai tại các nước có nền hạ tầng phát triển (ví dụ: Singapore, Nhật Bản, Hàn Quốc, Đức, Hà Lan, Pháp...) để làm đối tượng đối chiếu. Đồng thời lựa chọn các dự án hầm kỹ thuật hoặc hệ thống hạ tầng ngầm (nếu có) tại các đô thị lớn của Việt Nam (Hà Nội, TP.HCM, Đà Nẵng, Thủ Thiêm, Metro số 1, Vinhomes...) để đánh giá thực trạng.

b) Xây dựng tiêu chí so sánh - đánh giá

Về kỹ thuật: Loại hình và cấu trúc tunnel (kết cấu, kích thước, vật liệu, khả năng mở rộng); Cách bố trí các hệ thống kỹ thuật bên trong (vị trí, khoảng cách an toàn, sơ đồ phân vùng); Hệ thống thông gió, chiếu sáng, chống thấm, thoát nước bên trong hầm; Cơ chế bảo trì, tiếp cận sự cố, an toàn cháy nổ.

Về công nghệ: Mức độ tích hợp hệ thống thông minh (IoT, cảm biến, giám sát từ xa, quản lý năng lượng); Ứng dụng BIM, GIS trong thiết kế, quản lý.

Về hiệu quả vận hành kinh tế: Chi phí đầu tư - vận hành - bảo trì; Tuổi thọ công trình; Khả năng tích hợp đa hệ thống trong một không gian tunnel; Mức độ đáp ứng nhu cầu phát triển đô thị thông minh.

Về tính khả thi tại Việt Nam: Phù hợp với điều kiện đô thị, địa chất; Tương thích với quy định pháp luật, năng lực thi công, cơ sở kỹ thuật hiện tại.

c) Phân tích so sánh và đánh giá mức độ ứng dụng

Xây dựng bảng so sánh theo các tiêu chí nêu trên giữa các mô hình quốc tế và thực tiễn Việt Nam; Chỉ ra những ưu điểm vượt trội của mô hình tiên tiến và những điểm hạn chế trong thiết kế/thi công tại Việt Nam; Phân tích nguyên nhân khác biệt (kỹ thuật, kinh tế, pháp lý, môi trường, công nghệ...). Chấm điểm hoặc phân loại (ví dụ: Thích hợp cao/trung bình/thấp) đối với từng giải pháp kỹ thuật trong bối cảnh Việt Nam; Đề ra khuyến nghị những mô hình/giải pháp có thể học hỏi, điều chỉnh để áp dụng tại các đô thị thông minh của Việt Nam.

3.3. Mô hình hóa - đề xuất giải pháp bố trí [11]

Hình thành các mô hình cấu trúc không gian tunnel kỹ thuật và cách tổ chức bố trí các hệ thống kỹ thuật bên trong; Phân tích khả năng tích hợp, khả năng vận hành, tính hiệu quả và an toàn của từng mô hình bố trí; Thiết kế các phương án đề xuất phù hợp với điều kiện Việt Nam, đảm bảo tiêu chuẩn kỹ thuật, hiệu quả sử dụng, khả năng thích ứng với đô thị thông minh; Thực quan hóa mô hình để làm cơ sở thảo luận, phản biện, lựa chọn mô hình khả thi.

a) Xác định các yêu cầu kỹ thuật đầu vào

Tổng hợp yêu cầu bố trí của từng hệ thống kỹ thuật (kích thước ống/cáp, bán kính cong, khoảng cách an toàn, yêu cầu bảo trì, thông gió, thoát nước...); Phân loại các hệ thống kỹ thuật theo nhóm chức năng (ví dụ: nhóm cấp nước - thoát nước, nhóm điện - viễn thông, nhóm điều khiển thông minh...); Xác định mối quan hệ giữa các hệ thống: tương thích, xung đột (ví dụ: điện & nước), yêu cầu bảo vệ...

b) Thiết lập mô hình mô phỏng không gian bố trí

Sử dụng phần mềm mô hình hóa (AutoCAD, Revit, SketchUp, Civil 3D, hoặc ArchiCAD...) để xây dựng các sơ đồ bố trí điển hình trong tunnel kỹ thuật; Mô hình hóa các cấu trúc tunnel đơn tuyến, đa tuyến, tunnel tròn - chữ nhật - tầng - vòm; Xây dựng các phương án bố trí khác nhau (theo chiều ngang, chiều dọc, kết hợp nhiều tầng); Tích hợp yếu tố vận hành: đường tiếp cận bảo trì, cửa kiểm tra, hệ thống thông gió, thoát nước hầm, chiếu sáng, lối thoát hiểm, PCCC...

c) Phân tích đánh giá lựa chọn

Áp dụng các tiêu chí đánh giá kỹ thuật (tính an toàn, dễ bảo trì, tối ưu không gian, khả năng mở rộng, khả năng tích hợp hệ thống

thông minh...); So sánh các phương án mô hình hóa theo các tiêu chí định tính - định lượng; Sử dụng công cụ phân tích kỹ thuật như: phân tích dòng khí (CFD), thoát nước, chiếu sáng, PCCC nếu có điều kiện. Chọn ra mô hình bố trí tối ưu nhất theo điều kiện cụ thể (đô thị hiện hữu/mới; loại đất; mật độ kỹ thuật...); Điều chỉnh mô hình để đảm bảo phù hợp với quy chuẩn kỹ thuật Việt Nam và khả năng thi công, vận hành thực tế; Trình bày mô hình đề xuất dưới dạng bản vẽ, sơ đồ, phối cảnh hoặc bản dựng 3D. Tích hợp hệ thống IoT, cảm biến trong mô hình để theo dõi trạng thái các hệ thống kỹ thuật (nhiệt độ, độ ẩm, dòng chảy, rò rỉ điện, cảnh báo khói...); Thiết kế không gian cho thiết bị điều khiển trung tâm, hạ tầng truyền dữ liệu, cáp mạng, hệ thống lưu điện, giám sát tự động...; Gợi ý mô hình quản lý, giám sát tunnel theo thời gian thực.

3.4. Phân tích khả thi về mặt kỹ thuật và kinh tế [12]

Tính khả thi kỹ thuật: mức độ đáp ứng các yêu cầu thiết kế, thi công, vận hành hệ thống hạ tầng trong tunnel kỹ thuật tại Việt Nam; Tính khả thi kinh tế: hiệu quả chi phí - lợi ích khi triển khai các phương án bố trí hạ tầng kỹ thuật, so sánh với các giải pháp truyền thống; Xác định rủi ro và yếu tố ảnh hưởng đến thành công khi triển khai giải pháp trong điều kiện thực tiễn của các đô thị Việt Nam.

a) Về mặt kỹ thuật

Xác định các yêu cầu kỹ thuật chính: Yêu cầu về mặt bằng không gian, kích thước tunnel; Yêu cầu về hệ thống bố trí kỹ thuật (cấp điện, nước, thoát nước, viễn thông, thông gió, chiếu sáng...); Các tiêu chuẩn kỹ thuật liên quan đến an toàn, bảo trì, vận hành (PCCC, thông gió, thoát nước, chống thấm, cách ly giữa các hệ thống...).

Đánh giá khả năng áp dụng kỹ thuật tại Việt Nam: So sánh yêu cầu thiết kế - thi công của mô hình đề xuất với thực trạng công nghệ, năng lực nhà thầu, điều kiện địa chất và hạ tầng tại Việt Nam; Đánh giá tính linh hoạt, khả năng nâng cấp/mở rộng của tunnel; Xác định các yếu tố rủi ro kỹ thuật: điều kiện địa hình - địa chất, nguy cơ ngập lụt, khó khăn thi công, an toàn khi bố trí hệ thống song song.

Phân tích ràng buộc kỹ thuật: Xem xét khả năng tương thích với hệ thống kỹ thuật hiện hữu; Đánh giá yêu cầu đặc thù như thông gió cưỡng bức, xử lý nhiệt ẩm, chiếu sáng khẩn cấp, lối thoát hiểm; Kiểm tra các yêu cầu bảo trì: khả năng tiếp cận khi có sự cố, lối vào tunnel, khoảng cách thiết bị, v.v.

b) Về mặt kinh tế

Ước lượng chi phí đầu tư: Xác định chi phí xây dựng cơ bản cho tunnel kỹ thuật (đào, xây, gia cố, vật liệu); Chi phí thiết bị kỹ thuật: đường ống, cáp điện, hệ thống thông gió, chiếu sáng, thiết bị giám sát...; Chi phí hệ thống điều khiển thông minh (nếu có): IoT, camera, cảm biến, hệ thống giám sát trung tâm; Chi phí bảo trì, vận hành định kỳ; Chi phí quản lý và dự phòng rủi ro.

Ước lượng lợi ích kinh tế - xã hội: Lợi ích giảm thiểu việc đào đường nhiều lần, giảm tắc nghẽn giao thông, giảm chi phí bảo trì riêng lẻ; Tăng hiệu quả quản lý và vận hành hạ tầng kỹ thuật; Nâng cao chất lượng dịch vụ đô thị, đáp ứng mục tiêu đô thị thông minh; Giá trị tăng thêm về sử dụng đất, mỹ quan đô thị, hiệu quả quản lý đô thị. Tính toán tỷ lệ lợi ích/chi phí, thời gian hoàn vốn hoặc giá trị hiện tại ròng nếu có dữ liệu; So sánh mô hình tunnel kỹ thuật tích hợp với các giải pháp hiện hành (bố trí riêng rẽ, đi nổi, đi ngầm riêng...). Đánh giá rủi ro tài chính xem xét tác động từ chi phí biến động, thiếu đồng bộ trong đầu tư đa ngành; Phân tích kịch bản tài chính cho từng mô hình.

4. KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

4.1. Các tiêu chí cơ bản bố trí các hệ thống hạ tầng trong không gian tunnel kỹ thuật [13]

Tiêu chí xây dựng nên hướng đến an toàn con người và tài sản (an toàn cháy nổ, an toàn điện, thoát nạn). Hoạt động liên tục, độ

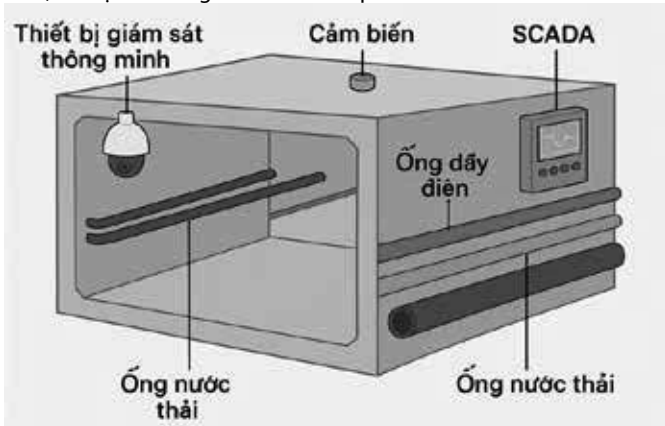
tin cậy cao cho dịch vụ thiết yếu. Dễ vận hành, bảo trì, sửa chữa - tối thiểu thời gian dừng. Khả năng mở rộng, nâng cấp. Tích hợp dữ liệu/IoT để vận hành giám sát theo thời gian thực (hướng tới đô thị thông minh). Tối ưu không gian và chi phí đầu tư/vận hành.

Bảng 1. Bảng thống kê bộ tiêu chí cơ bản làm cơ sở bố trí các hệ thống hạ tầng trong không gian tunnel kỹ thuật

STT	Nội dung tiêu chí	Diễn giải thực hiện tiêu chí	Ghi chú
1	Không gian bố trí	Phân vùng chức năng rõ ràng; Lùm phân chia theo rủi ro; Máng cáp phân tầng; Lộ trình dòng chảy độ dốc; Tuyến tiếp cận cửa bảo trì; Khoảng cách an toàn giữa các hệ; Không gian cho thiết bị cứu hỏa dự phòng	
2	An toàn cháy nổ, thoát nạn	Vật liệu chống cháy hệ thống phát hiện cảnh báo sớm; Hệ thống thông gió khẩn cấp lối thoát nạn bằng chỉ dẫn; Ngắt điện khẩn cấp phân vùng	
3	Điện và nguồn dự phòng	Độ tin cậy nguồn dự phòng; Phân luồng ma trận giám sát năng lượng	
4	Nước mưa, nước thải, cấp nước	Thoát nước ngăn chặn ngập; Tách nước sạch nước bẩn; Hệ bơm dự phòng; Vật liệu chống ăn mòn; Điểm kiểm tra làm sạch	
5	Viễn thông, dữ liệu giám sát thông minh	Mạng cáp băng thông; Chuẩn kết nối; Thời gian thực; Camera cảm biến an ninh dữ liệu; Chuẩn giao diện mở	
6	Thông gió và điều hòa	Lưu lượng phân vùng; Dự phòng quạt; Bố trí miệng hút/thải; Giám sát chất lượng không khí	
7	Chiếu sáng tín hiệu	Chiếu sáng thường khẩn cấp; Hệ đèn LED tiết kiệm điều khiển; Hệ tín hiệu giao thông nội bộ (nếu có xe dịch vụ)	
8	Bảo trì, vận hành & quản lý vòng đời	Tiếp cận thiết bị; Tiêu chuẩn hoá thiết bị; Thẻ thiết bị BIM chu kỳ bảo trì; Hồ sơ vận hành	
9	Khả năng phục hồi	Vị trí bảo vệ chống ngập; Đa dạng nguồn; Thiết kế cho sự cố chuỗi	
10	Môi trường bền vững	Tiết kiệm năng lượng; Tái sử dụng nước; Vật liệu bền để tái chế; Giảm phát thải tiếng ồn	
11	Chuẩn hoá & tuân thủ pháp lý	Tuân thủ quy chuẩn quốc gia quốc tế; Chứng nhận thử nghiệm	
12	An ninh vật lý & an ninh mạng	An ninh vật lý; An ninh mạng	

4.2. Đề xuất mặt cắt điển hình bố trí không gian trong tunnel kỹ thuật [14] [15]

Tunnel hộp có tiết diện hình chữ nhật hoặc vuông, mang lại dung tích lớn hơn đáng kể so với tunnel tròn cho cùng một chiều rộng. Thiết kế này tạo ra một không gian rộng rãi, dễ dàng bố trí và quản lý nhiều hệ thống tiện ích song song trong các ngăn riêng biệt. Cấu trúc hộp có khả năng chịu tải nặng tốt, rất phù hợp khi xây dựng dưới các tuyến đường giao thông có mật độ xe cộ lớn. Ngoài ra, tunnel hộp có thể được đúc sẵn tại nhà máy, giúp quá trình thi công tại hiện trường diễn ra nhanh chóng, giảm thiểu thời gian đào đường và ảnh hưởng đến giao thông. Nhược điểm của tunnel hộp là chi phí sản xuất và lắp đặt thường cao hơn tunnel tròn, và việc thi công đòi hỏi đào đắp lớn hơn.



Hình 7. Mô hình mặt cắt bố trí hạ tầng trong không gian tunnel kỹ thuật dạng hộp
Tunnel tròn tiết diện tròn có cấu trúc hình học tối ưu để chịu áp lực đất và nước từ mọi phía. Nó đặc biệt hiệu quả trong các điều

kiện địa chất phức tạp và sâu. Tunnel tròn thường có chi phí ban đầu và chi phí lắp đặt thấp hơn so với tunnel hộp, và hình dạng tròn giúp dòng chảy thủy lực hiệu quả, giảm tổn thất áp suất khi dẫn chất lỏng. Tuy nhiên, nhược điểm lớn của tunnel tròn là dung tích hạn chế và không gian bên trong khó bố trí các loại tiện ích khác nhau một cách hiệu quả. Diện tích sử dụng không tối ưu cho việc đi lại và vận hành của con người, cũng như lắp đặt các thiết bị lớn. Dạng này thích hợp cho các dự án chuyên biệt như dẫn nước sạch, thoát nước thải hoặc các đường cáp điện, viễn thông riêng lẻ.



Hình 8. Mô hình mặt cắt bố trí hạ tầng trong không gian tunnel kỹ thuật dạng tròn

Dạng tunnel vòm thường được sử dụng trong các công trình hầm đường bộ hoặc đường sắt. Dạng này kết hợp ưu điểm chịu lực tốt của cấu trúc tròn với không gian sử dụng rộng rãi của tunnel hộp. Hình dạng vòm giúp phân tán ứng suất và chống lại áp lực đất hiệu quả, đặc biệt phù hợp với các phương pháp đào hầm trong điều kiện địa chất phức tạp. Mặc dù không có tài liệu nào trực tiếp đề cập đến việc sử dụng tunnel vòm cho hạ tầng kỹ thuật, cấu trúc này là một lựa chọn tiềm năng khi cần không gian rộng lớn và khả năng chịu lực cao, vượt qua giới hạn của các dạng tuynel hộp hoặc tròn truyền thống.



Hình 9. Mô hình mặt cắt bố trí hạ tầng trong không gian tunnel kỹ thuật dạng vòm

4.3. Ý nghĩa

Đối với dạng hộp: Phẳng, dễ bố trí hệ thống ống, cáp, máng kỹ thuật theo tầng hoặc giá đỡ. Người vận hành đi lại thuận tiện; dễ đưa thiết bị cơ giới (xe điện nhỏ, robot bảo trì). Thi công hờ, dễ kiểm soát hướng tuyến trong hạ tầng ngầm chật chội. Có thể chia thành nhiều khoang riêng: khoang điện - khoang nước - khoang viễn thông...

Đối với dạng tròn: Phân bố ứng suất đều quanh chu vi chịu áp lực đất, nước ngầm tốt nhất. Dễ thoát nước, không tạo góc chết cho dòng chảy. Giảm biến dạng kết cấu, ổn định cao. Dễ kết nối với tuyến hiện hữu.

Đối với dạng vòm: Vòm cong giúp phân bố ứng suất đều; đáy phẳng dễ bố trí thiết bị. Dưới có thể bố trí ống hạ tầng; trên cho đường đi bộ, xe bảo trì. Dạng này dùng nhiều ở đô thị châu Âu, Hàn Quốc, Nhật...

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã góp phần xác định cơ sở khoa học và thực tiễn cho việc bố trí đồng bộ các hệ thống hạ tầng kỹ thuật trong tunnel kỹ thuật ngầm tại đô thị Việt Nam. Kết quả cho thấy giải pháp này hoàn toàn khả thi về mặt kỹ thuật, hiệu quả về mặt kinh tế - xã hội, và phù hợp với xu hướng xây dựng đô thị hiện đại, thông minh và bền vững. Giải pháp này cần được nghiên cứu triển khai thí điểm và nhân rộng, kết hợp với ứng dụng công nghệ hiện đại và quy hoạch đồng bộ, nhằm nâng cao chất lượng hạ tầng, đảm bảo phát triển đô thị bền vững và an toàn. Việc ứng dụng công nghệ hiện đại vào quản lý tunnel kỹ thuật ngầm là xu thế tất yếu, phù hợp với định hướng xây dựng đô thị thông minh, bền vững tại Việt Nam. Mô hình quản lý dựa trên IoT, cảm biến, SCADA sẽ góp phần nâng

cao chất lượng sống đô thị, đảm bảo an toàn và tiết kiệm chi phí cho đô thị Việt Nam;

Các hướng nghiên cứu tiếp theo có thể thực hiện: Thí điểm mô hình bố trí tunnel kỹ thuật tại một số tuyến đường trọng điểm tại Hà Nội, TP.HCM... hoặc khu đô thị mới. Bổ sung và điều chỉnh các quy chuẩn xây dựng liên quan để phù hợp với mô hình bố trí đồng bộ. Xây dựng cơ sở dữ liệu hạ tầng ngầm quốc gia tích hợp GIS & BIM. Xây dựng cơ chế phối hợp giữa các chủ sở hữu hạ tầng (điện, cấp nước, viễn thông...) trong khai thác tunnel kỹ thuật ngầm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nghị quyết 06-NQ/TW ngày 24/01/2022 về Quy hoạch, xây dựng, quản lý và phát triển bền vững đô thị Việt Nam đến năm 2023, tầm nhìn đến năm 2045, Bộ Chính trị.
- [2]. Giang Thi Thuý Vu & Trang Nhu Do "Multi-Utility Tunnel (MUT) and Its Application for Urban Cities in Vietnam" Tạp chí Khoa học Kiến trúc và Xây dựng, số 53-2024.
- [3]. TS Nguyễn Hữu Dũng "Nghiên cứu thiết kế mặt cắt ngang hầm đô thị và hầm ngoài đô thị đáp ứng an toàn giao thông" Tạp chí Xây dựng, số 07-2025.
- [4]. Yisha Luo tác giả Luận án "Multi-Criteria Spatial Analysis of Multi-Purpose Utility Tunnels" trường đại học Concordia- Canada, tháng 12-2019.
- [5]. Truy cập website <https://nangluongvietnam.vn/du-an-nhiệt-dien-vung-ang-2-du-kien-se-van-hanh-thuong-mai-vao-nam-2025-30344.html>.
- [6]. Truy cập website https://vi.wikipedia.org/wiki/Sân_bay_quốc_tế_Long_Thành.
- [7]. Truy cập website <https://hanoimoi.vn/cong-truong-2-cau-vuot-song-du-an-vanh-dai-4-doan-qua-huyen-me-linh-696903.html>.
- [8]. Tổng hợp từ các nguồn: Quy hoạch không gian ngầm đô thị - Nguyễn Hồng Tiến (2020); TCVN 10380:2014 - Hạ tầng kỹ thuật đô thị - Đường ống và hào kỹ thuật - Yêu cầu chung về thiết kế và lắp đặt; IEC 60364 - Electrical Installations for Buildings; NFPA 502 (National Fire Protection Association, 2020) - Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways.
- [9]. Truy cập website <https://www.studocu.vn/vn/document/truong-dai-hoc-cong-nghiep-tp-ho-chi-minh/ky-nang-lam-viec-nhom/phuong-phap-phan-tich-va-tong-hop-ly-thuyet/102265339>
- [10]. Truy cập <https://luanvanuytin.com/phuong-phap-so-sanh-trong-nghien-cuu-khoa-hoc>.
- [11]. Truy cập <https://www.scribd.com/document/471966267/phuong-phap-mo-hinh-hoa-vu-thanh-nguyen-giao-trinh-mon-cac-phuong-phap-mo-hinh-hoa-cuuduongthancong-com-2>
- [12]. Truy cập <https://www.studocu.vn/vn/document/truong-dai-hoc-giao-thong-van-tai/phan-tich-hoat-dong-kinh-te-doanh-nghiep/bai-giang-2018/40762582>
- [13]. Lifei Zheng, Xingwei Lian, Dan Huang, Xiaoqing Li, Jinzhou Zou "Research on Seepage of Jointed Rock Mass of Tunnel and Limited Discharge of Grouting"; WATER-2022; truy cập https://www.researchgate.net/figure/Specifications-of-the-utility-tunnel-smart-system_fig3_338689366
- [14]. Park & Yun "Development of optimal cross-section design methods for bored utility tunnels: case study of overseas typical cross-sections and design criteria" Hàn Quốc. Truy cập website https://www.jkta.or.kr/articles/xml/1zkk/?utm_source=chatgpt.com
- [15]. Alsabhan, Sadique, Ahmad "The effect of opening shapes on the stability of underground tunnels: A finite element analysis", 2021.

Nghiên cứu thiết lập quan hệ tải trọng - độ lún từ kết quả nén tĩnh cọc bằng hàm số xấp xỉ

Research on establishing load - settlement relationship from static compression results of piles using approximate functions

> PGS.TS BÙI TRƯỜNG SƠN¹, THS LÊ TIẾN NGHĨA^{2,*}

¹Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường ĐH Bách khoa-ĐH Quốc gia TP.HCM; Email: buitruongson@hcmut.edu.vn

²Khoa Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng Miền Tây; *Email: letiennghia@mtu.edu.vn

TÓM TẮT

Nội dung chính của bài viết trình bày chi tiết thiết lập các hàm số xấp xỉ mô tả quan hệ tải trọng Q - độ lún S của cọc trong thí nghiệm nén tĩnh cọc. Kết quả tính toán áp dụng cho thấy hàm số $1/Q = a + b/S$ cho phép mô tả quan hệ tải trọng - độ lún tốt nhất với số liệu thí nghiệm thực tế trong trường hợp thí nghiệm cọc đạt đến phá hoại hay chưa đạt đến phá hoại. Kết quả ngoại suy quan hệ $Q - S$ theo hai hàm số $Q = ae^{b/S}$ và $Q = a + b/S$ phù hợp với số liệu thí nghiệm nên có thể sử dụng để dự báo khả năng chịu tải của cọc phù hợp. Hàm số $Q = aS^b$ mô tả quan hệ $Q - S$ phù hợp khi đường cong quan hệ này có dạng thoải. Kết quả nghiên cứu có thể sử dụng để ngoại suy quan hệ $Q - S$ trong thí nghiệm nén tĩnh cọc và đánh giá khả năng chịu tải cọc với các tiêu chí phù hợp.

Từ khóa: Thí nghiệm nén tĩnh cọc, khả năng chịu tải cọc, quan hệ tải trọng - độ lún, hàm số xấp xỉ.

ABSTRACT

The main content of the article presents the establishment of approximate functions describing the load - settlement relationship of piles in static loading tests. The applied calculation results show that the function $1/Q = a + b/S$ allows the best description of the load - settlement relationship with actual testing data in the case of pile fail or/and not reaching to fail. The results of extrapolation of the $Q - S$ relationship according to the two functions $Q = ae^{b/S}$ and $Q = a + b/S$ are consistent with experimental data, so it can be used to predict the appropriate bearing capacity of piles. The function $Q = aS^b$ describes the appropriate $Q - S$ relationship when this relationship curve has a relaxed shape. The research results can be used to extrapolate the $Q - S$ relationship in static loading tests and evaluate bearing capacity of pile with appropriate criteria.

Keywords: static loading test of pile, bearing capacity of pile, load - settlement relationship, approximate functions

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Thí nghiệm nén tĩnh cọc là cơ sở để đánh giá khả năng chịu tải của cọc thực tế và hiệu quả nhất. Việc phân tích kết quả thí nghiệm nén tĩnh cọc chủ yếu căn cứ biểu đồ quan hệ tải trọng - độ lún đầu cọc. Giá trị tải trọng giới hạn từ kết quả thí nghiệm nén tĩnh cọc được để nghị chọn lựa căn cứ vào độ lún giới hạn (quy ước chọn bằng 10% đường kính cọc) hay ở điểm biến dạng gia tăng đột ngột [1]. Ngoài ra, một số nhà nghiên cứu căn cứ trên cơ sở các hàm số toán học đã tiến hành phân tích và đề nghị các quan hệ giữa tải trọng nén tĩnh và độ lún đầu cọc. Trên cơ sở đó, khả năng chịu tải theo một số tiêu chí khác nhau được để nghị chọn lựa. Các phương pháp này có thể liệt kê bao gồm: phương pháp Offset Limit (Davisson), Chin-Kondner, De Beer, Decourt, tiêu chí 80% Brinch Hansen, 90% Brinch Hansen [2], [3]. Sử dụng các phương pháp này chẳng những cho phép phân tích kết quả thí nghiệm nén tĩnh và đánh giá khả năng chịu tải của cọc [4], mà trong đó còn có thể sử dụng một số phương pháp để ngoại suy quan hệ tải trọng - độ lún khi tải trọng thí nghiệm lớn nhất chưa đạt đến giá trị tải trọng giới hạn để phục vụ đánh giá khả năng chịu tải cọc [5].

Để thiết lập mối tương quan của các đại lượng thực nghiệm, một trong những phương pháp thường được sử dụng là phương pháp phân tích hồi quy. Đó là phương pháp số học xử lý mối quan hệ lẫn nhau giữa các đại lượng [6]. Xem quan hệ giữa tải trọng Q và độ lún đầu cọc S là các hàm số phụ thuộc vào các tham số, kết hợp với dạng đường cong quan hệ $Q - S$, tiến hành chọn lựa hàm số và lời giải thu nhận được từ các hàm số. Kết quả nghiên cứu các hàm số xấp xỉ cho phép thu nhận các phương pháp ngoại suy quan hệ $Q - S$ và từ đó có thể sử dụng để đánh giá khả năng chịu tải theo các tiêu chí khác nhau như căn cứ độ lún giới hạn hay giá trị tải trọng tiệm cận qui ước.

2. XÂY DỰNG QUAN HỆ TẢI TRỌNG - ĐỘ LÚN TỪ KẾT QUẢ NÉN TĨNH CỌC BẰNG HÀM SỐ XẤP XỈ

2.1. Cơ sở chọn lựa hàm số xấp xỉ theo kết quả thí nghiệm nén tĩnh cọc

Trong thực tế, tồn tại một số hàm số có thể thể hiện quan hệ giữa hai đại lượng tương quan. Đối với đường cong quan hệ tải trọng - độ lún của cọc từ thí nghiệm nén tĩnh cọc, có ít nhất 8 dạng hàm số. Giới

hạn trong nội dung bài viết này, 4 dạng hàm số được chọn lựa trình bày do kết quả tính toán áp dụng cho thấy 4 hàm số này có thể mô tả quan hệ Q - S phù hợp với kết quả thực tế và có thể sử dụng để đánh giá khả năng chịu tải cọc cần cứ các tiêu chí cụ thể. Chi tiết phân tích tính toán và xây dựng các hàm số thể hiện như sau:

(i) Hàm dạng phân thức hệ số mẫu

Xem quan hệ tải trọng - độ lún đầu cọc (Q - S) là hàm số có dạng:

$$1/Q = a + b/S \quad (1)$$

Đặt: $Q' = 1/Q$; $S' = 1/S$, nhận được quan hệ có dạng tuyến tính:

$$Q' = a + bS' \quad (2)$$

Sử dụng phương pháp bình phương cực tiểu:

$$f(a, b) = \sum (Q'_i - a - bS'_i)^2 \rightarrow \min \quad (3)$$

Đạo hàm từng phần theo a và b:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial a} \sum (Q'_i - a - bS'_i)^2 = -2 \sum (Q'_i - a - bS'_i) = 0 \\ \frac{\partial}{\partial b} \sum (Q'_i - a - bS'_i)^2 = -2 \sum S'_i (Q'_i - a - bS'_i) = 0 \end{cases} \quad (4)$$

Từ đó:

$$\begin{cases} \sum Q'_i - na - b \sum S'_i = 0 \\ \sum S'_i Q'_i - a \sum S'_i - b \sum (S'_i)^2 = 0 \\ \sum Q'_i \sum S'_i - na \sum S'_i - b (\sum S'_i)^2 = 0 \\ n \sum S'_i Q'_i - na \sum S'_i - nb \sum (S'_i)^2 = 0 \end{cases} \quad (5)$$

Trừ vế theo vế:

$$\sum Q'_i \sum S'_i - n \sum S'_i Q'_i - b (\sum S'_i)^2 + nb \sum (S'_i)^2 = 0$$

Hệ số b nhận được:

$$b = \frac{\sum Q'_i \sum S'_i - n \sum S'_i Q'_i}{(\sum S'_i)^2 - n \sum (S'_i)^2} \quad (6a)$$

Thay b vào phương trình (5), nhận được hệ số a:

$$a = \frac{\sum Q'_i - b \sum S'_i}{n} \quad (6b)$$

(ii) Hàm số mũ

Xem quan hệ Q - S là hàm số có dạng:

$$Q = ae^{b/S} \quad (7)$$

Lấy logarit tự nhiên 2 vế, nhận được phương trình:

$$\ln Q = \ln a + b/S \quad (8)$$

Đặt: $Q' = \ln Q$; $a' = \ln a$; $S' = 1/S$, nhận được quan hệ dạng tuyến tính:

$$Q' = a' + bS' \quad (9)$$

Sử dụng phương pháp bình phương cực tiểu:

$$f(a', b) = \sum (Q'_i - a' - bS'_i)^2 \rightarrow \min \quad (10)$$

Đạo hàm từng phần theo a' và b:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial a'} \sum (Q'_i - a' - bS'_i)^2 = -2 \sum (Q'_i - a' - bS'_i) = 0 \\ \frac{\partial}{\partial b} \sum (Q'_i - a' - bS'_i)^2 = -2 \sum S'_i (Q'_i - a' - bS'_i) = 0 \end{cases}$$

Từ đó:

$$\begin{cases} \sum Q'_i - na' - b \sum S'_i = 0 \\ \sum S'_i Q'_i - a' \sum S'_i - b \sum (S'_i)^2 = 0 \\ \sum Q'_i \sum S'_i - na' \sum S'_i - b (\sum S'_i)^2 = 0 \\ n \sum S'_i Q'_i - na' \sum S'_i - nb \sum (S'_i)^2 = 0 \end{cases} \quad (11)$$

Trừ vế theo vế:

$$\sum Q'_i \sum S'_i - n \sum S'_i Q'_i - b (\sum S'_i)^2 + nb \sum (S'_i)^2 = 0$$

Hệ số b nhận được:

$$b = \frac{\sum Q'_i \sum S'_i - n \sum S'_i Q'_i}{(\sum S'_i)^2 - n \sum (S'_i)^2} \quad (12a)$$

Thay b vào phương trình (11), nhận được hệ số a':

$$a' = \frac{\sum Q'_i - b \sum S'_i}{n} \quad (12b)$$

(iii) Hàm dạng phân thức hệ số tử

Xem quan hệ Q - S là hàm số có dạng:

$$Q = a + \frac{b}{S} \quad (13)$$

Đặt $S' = 1/S$, nhận được quan hệ có dạng tuyến tính:

$$Q = a + bS' \quad (14)$$

Sử dụng phương pháp bình phương cực tiểu:

$$f(a, b) = \sum (Q_i - a - bS'_i)^2 \rightarrow \min$$

Đạo hàm từng phần theo a và b:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial a} \sum (Q_i - a - bS'_i)^2 = -2 \sum (Q_i - a - bS'_i) = 0 \\ \frac{\partial}{\partial b} \sum (Q_i - a - bS'_i)^2 = -2 \sum S'_i (Q_i - a - bS'_i) = 0 \end{cases}$$

Từ đó:

$$\begin{cases} \sum Q_i - na - b \sum S'_i = 0 \\ \sum S'_i Q_i - a \sum S'_i - b \sum (S'_i)^2 = 0 \\ \sum Q_i \sum S'_i - na \sum S'_i - b (\sum S'_i)^2 = 0 \\ n \sum S'_i Q_i - na \sum S'_i - nb \sum (S'_i)^2 = 0 \end{cases} \quad (15)$$

Trừ vế theo vế:

$$b \left[n \sum (S'_i)^2 - (\sum S'_i)^2 \right] + \sum Q_i \sum S'_i - n \sum S'_i Q_i = 0$$

Hệ số b nhận được:

$$b = \frac{\sum Q_i \sum S'_i - n \sum S'_i Q_i}{(\sum S'_i)^2 - n \sum (S'_i)^2} \quad (16a)$$

Thay b vào phương trình (15), nhận được hệ số a:

$$a = \frac{1}{n} (\sum Q_i - b \sum S'_i) \quad (16b)$$

(iv) Hàm lũy thừa

Xem quan hệ Q - S là hàm số có dạng:

$$Q = aS^b \quad (17)$$

Lấy logarit tự nhiên 2 vế:

$$\ln Q = \ln a + b \ln S \quad (18)$$

Đặt: $Q' = \ln Q$; $a' = \ln a$; $S' = \ln S$, nhận được quan hệ có dạng tuyến tính:

$$Q' = a' + bS' \quad (19)$$

Sử dụng phương pháp bình phương cực tiểu:

$$f(a', b) = \sum (Q'_i - a' - bS'_i)^2 \rightarrow \min$$

Đạo hàm từng phần theo a' và b:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial a'} \sum (Q'_i - a' - bS'_i)^2 = -2 \sum (Q'_i - a' - bS'_i) = 0 \\ \frac{\partial}{\partial b} \sum (Q'_i - a' - bS'_i)^2 = -2 \sum S'_i (Q'_i - a' - bS'_i) = 0 \end{cases}$$

Từ đó:

$$\begin{cases} \sum Q'_i - na' - b \sum S'_i = 0 \\ \sum S'_i Q'_i - a' \sum S'_i - b \sum (S'_i)^2 = 0 \\ \sum Q'_i \sum S'_i - na' \sum S'_i - b (\sum S'_i)^2 = 0 \\ n \sum S'_i Q'_i - na' \sum S'_i - nb \sum (S'_i)^2 = 0 \end{cases}$$

Trừ vế theo vế:

$$\sum Q'_i \sum S'_i - n \sum S'_i Q'_i - b (\sum S'_i)^2 + nb \sum (S'_i)^2 = 0$$

Hệ số b và a':

$$b = \frac{\sum Q_i' \sum S_i' - n \sum S_i' Q_i'}{(\sum S_i')^2 - n \sum (S_i')^2} \quad (20a)$$

$$a' = \frac{\sum Q_i' - b \sum S_i'}{n} \quad (20b)$$

Độ tin cậy của hàm số có thể được đánh giá bằng hệ số tương quan R^2 . Hệ số càng tiếp cận giá trị 1 (hay 100%) thì quan hệ tương quan càng đáng tin cậy. Giá trị hệ số tương quan R^2 được biểu diễn dưới dạng:

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (21)$$

Với: $SSE = \sum (y_i - \bar{y}_i)^2$. Ở đây: y_i - giá trị của đại lượng từ kết quả thí nghiệm; $\bar{y}_i$ - giá trị tính toán theo hàm tương quan.

$$SST = (\sum y_i^2) - \frac{(\sum y_i)^2}{n} \quad (22)$$

2.2. Nhận xét

Đã có một số nghiên cứu đề nghị các phương pháp xác định tải trọng giới hạn của cọc từ thí nghiệm nén tĩnh thông qua quan hệ Q - S. Trong đó, các phương pháp Chin-Kondner, Decourt, tiêu chuẩn 80% Brinch Hansen, Vander Veen được xây dựng trên cơ sở các hàm xấp xỉ theo quan hệ giữa Q - S thu nhận được thí nghiệm [2], [3].

Sử dụng phương pháp phân tích hồi quy trên cơ sở bình phương cực tiểu, 4 quan hệ Q - S được thiết lập căn cứ dạng đường cong quan hệ phổ biến từ thí nghiệm nén tĩnh cọc. Từ dữ liệu thí nghiệm nén tĩnh, có thể xác định được các giá trị hệ số a và b. Từ quan hệ được thiết lập tiến hành phân tích đánh giá so sánh với kết quả thí nghiệm thực tế và mức độ tin cậy cũng như khả năng ứng dụng trong thực tế, đặc biệt trong trường hợp tải trọng thí nghiệm chưa đạt đến giá trị giới hạn.

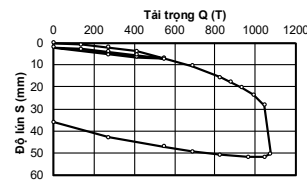
3. KHẢ NĂNG SỬ DỤNG HÀM XẤP XỈ ĐÁNH GIÁ QUAN HỆ TẢI TRỌNG - ĐỘ LÚN ĐẦU CỌC VÀ MỨC ĐỘ TIN CẬY KHI SỬ DỤNG NGOẠI SUY

3.1. Giới thiệu dữ liệu sử dụng phân tích

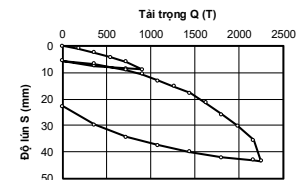
Để đánh giá khả năng sử dụng hàm xấp xỉ trong phân tích khả năng chịu tải của cọc, dữ liệu thí nghiệm nén tĩnh cọc TP01 ở dự án Metro Star (số 360 xa lộ Hà Nội, phường Phước Long A, TP.HCM) và cọc P1 ở dự án Lim Tower (số 9 - 11, Tôn Đức Thắng, phường Sài Gòn, TP.HCM). Chi tiết cọc thí nghiệm được nêu ở Bảng 1 và quan hệ tải trọng - độ lún thể hiện ở Hình 1 và 2. Ngoài kích thước cọc và khả năng chịu tải khác nhau, dữ liệu thí nghiệm nén tĩnh cọc được chọn lựa có thể cho phép đánh giá tải trọng giới hạn và có dạng đường cong quan hệ đặc trưng: phá hoại đột ngột (cọc TP01), tức là biến dạng lún ở cấp áp lực nén sau cùng gia tăng đáng kể gây phá hoại đất nền và không phá hoại đột ngột (cọc P1), tức là biến dạng lún ở cấp áp lực sau cùng có gia tăng do thời gian giữ tải lâu hơn nhưng sẽ phục hồi ngay sau khi dỡ tải.

Bảng 1. Thông tin cọc thí nghiệm

Tên cọc	TP01	P1
Loại cọc	Cọc khoan nhồi	Cọc khoan nhồi
Đường kính cọc, mm	800	1200
Chiều dài cọc, m	63,8	67
Sức chịu tải thiết kế của cọc, tấn	550	900
Tải trọng thí nghiệm, tấn	Tải trọng thiết kế x 200% = 1100	Tải trọng thiết kế x 250% = 2250



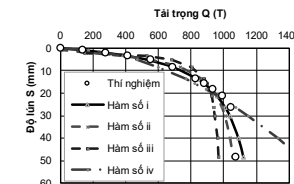
Hình 1. Biểu đồ quan hệ tải trọng - độ lún cọc TP01



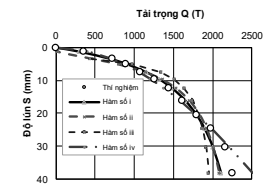
Hình 2. Biểu đồ quan hệ tải trọng - độ lún cọc P1

3.2. Phân tích ứng dụng và đánh giá khả năng sử dụng các hàm số xấp xỉ tương quan để ngoại suy quan hệ tải trọng - độ lún đầu cọc

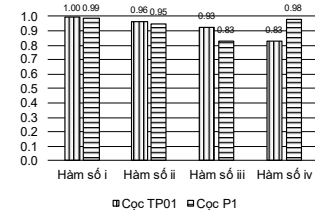
Để đánh giá khả năng ứng dụng thực tiễn, có thể sử dụng các hàm số xấp xỉ để tính toán quan hệ tải trọng - độ lún và so sánh với kết quả thí nghiệm thực tế. Đầu tiên, các hệ số của các hàm số được xác định thông qua dữ liệu thí nghiệm. Sau đó, giá trị tải trọng Q được xác định bằng các hàm số xấp xỉ tương ứng với các giá trị độ lún định sẵn. Việc tính toán chi tiết được thực hiện nhờ các bảng tính thiết lập bằng phần mềm M.O. Excel. Hình 3, 4 và 5 thể hiện đường cong quan hệ Q - S được xác định theo các hàm số và hệ số tương quan. Ở đây, cũng nên lưu ý rằng để thuận tiện trong phân tích sử dụng các hàm số, đường cong quan hệ Q - S được hiệu chỉnh về tọa độ gốc và điều này không ảnh hưởng đến kết quả phân tích dạng đường cong quan hệ.



Hình 3. Biểu đồ quan hệ Q - S của cọc TP01 theo các hàm xấp xỉ khác nhau



Hình 4. Biểu đồ tổng hợp quan hệ Q - S của cọc P1 theo các hàm xấp xỉ khác nhau

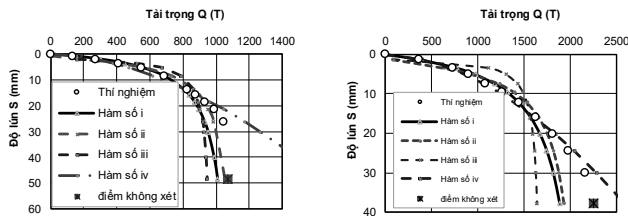


Hình 5. Hệ số tương quan R^2 theo các hàm xấp xỉ so với kết quả thí nghiệm thực tế cọc TP01 và cọc P1

Kết quả Hình 3 và 4 cho thấy hàm số (i) và (ii) cho phép đánh giá quan hệ Q - S phù hợp với kết quả thí nghiệm đo đạc thực tế. Hệ số tương quan R^2 trong trường hợp này có giá trị rất cao: từ 0,95 đến 0,99 cho cả trường hợp cọc có xu hướng phá hoại đột ngột (cọc TP01) và không đột ngột (cọc P1). Hàm số dạng (iii) và (iv) mô tả quan hệ Q - S kém hơn so với các hàm số dạng (i) và (ii). Ở đây, hàm số dạng (iii) có khuynh hướng cho giá trị tải trọng lớn khi độ lún nhỏ nhưng lại nhỏ hơn khi độ lún gia tăng so với kết quả đo thực tế. Tuy nhiên, hàm số dạng (iii) có thể phù hợp sử dụng để mô tả quan hệ Q - S trong trường hợp cọc phá hoại đột ngột khi tải trọng gia tăng thể hiện thông qua giá trị hệ số tương quan R^2 cao khi phân tích cọc TP01 so với cọc P1. Hàm số dạng (iv) cho giá trị tải trọng phù hợp với kết quả thí nghiệm nhưng có xu hướng lớn hơn so với kết quả thí nghiệm thực tế khi tải trọng đạt gần đến giá trị giới hạn. Đối với trường hợp cọc chịu nén có xu hướng phá hoại đột ngột, sử dụng hàm số dạng (iv) kết hợp với các phương pháp khác để đánh giá khả năng chịu tải cọc là không an toàn. Tuy nhiên, trường hợp tải trọng thí nghiệm nhỏ hơn so với tải trọng giới hạn và không xảy ra sự phá hoại cọc đột ngột, hàm số (iv) dự báo quan hệ Q - S phù hợp với kết

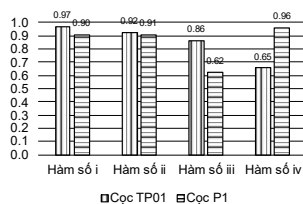
quả thí nghiệm thực tế (Hình 4) tương ứng với giá trị cao của hệ số tương quan R^2 (Hình 5).

Trong thực tế, việc đánh giá khả năng chịu tải cọc bằng kết quả thí nghiệm nén tĩnh cọc có mức độ tin cậy cao khi tải trọng thí nghiệm đạt đến giá trị giới hạn gây độ lún đột ngột hay độ lún đo đạt đến giá trị đủ lớn để cho phép đánh giá tải trọng giới hạn. Đối với cọc có kích thước lớn, điều kiện độ lún cọc thí nghiệm đạt đến 10% đường kính cọc khó thực hiện trong thực tế. Ngoài ra, nhiều kết quả thí nghiệm nén tĩnh cọc cho thấy cấp tải trọng sau cùng chưa đạt đến giá trị cần thiết (và độ lún cọc đo đặc có giá trị bé) để cho phép đánh giá khả năng chịu tải cọc theo các phương pháp khác nhau. Khi đó, cần thiết sử dụng các phương pháp ngoại suy đường cong quan hệ $Q - S$ sao cho việc sử dụng các phương pháp đánh giá khả năng chịu tải cọc có thể thực hiện được. Nhằm phân tích đánh giá khả năng sử dụng các hàm số xấp xỉ để ngoại suy quan hệ $Q - S$, việc phân tích tiếp tục được thực hiện với việc không sử dụng giá trị cấp tải trọng sau cùng gần đạt đến tải trọng giới hạn để xác định các hệ số của hàm số. Hình 6, 7 và 8 thể hiện đường cong quan hệ $Q - S$ theo các hệ số được xác định không xét cấp tải cuối cùng của kết quả thí nghiệm nén tĩnh và hệ số tương quan.



Hình 6. Biểu đồ quan hệ $Q - S$ của cọc TP01 theo các hàm xấp xỉ khác nhau không xét cấp tải cuối của kết quả thí nghiệm

Hình 7. Biểu đồ quan hệ $Q - S$ của cọc P1 theo các hàm xấp xỉ khác nhau không xét cấp tải cuối của kết quả thí nghiệm



Hình 8. Hệ số tương quan R^2 theo các hàm xấp xỉ so với kết quả thí nghiệm thực tế cọc TP01 và cọc P1 không xét cấp tải cuối của kết quả thí nghiệm

Tương tự như trường hợp xét đầy đủ các cấp tải trọng, hàm số dạng (i) và (ii) tỏ ra phù hợp với kết quả thí nghiệm thực tế với hệ số tương quan R^2 khá cao. Ngoài ra, hàm số dạng (ii) cho phép mô tả đánh giá quan hệ $Q - S$ phù hợp với kết quả thí nghiệm hơn cả ở các cấp tải trọng sau cùng kể cả trường hợp cọc có xu hướng phá hoại đột ngột hay chưa đạt đến phá hoại. Đường cong quan hệ $Q - S$ sử dụng hàm số dạng (iii) khác biệt đáng kể so với kết quả thí nghiệm và hệ số tương quan thấp nên không phù hợp sử dụng. Ở đây, giá trị hệ số tương quan R^2 xác định theo hàm số (iii) có giá trị rất bé và tải trọng giới hạn dự báo theo dạng hàm số này nhỏ hơn đáng kể so với thực tế. Trường hợp đường cong quan hệ $Q - S$ không xảy ra phá hoại đột ngột như ở cọc P1 và không xét điểm phá hoại ở cọc TP01 thì hàm số dạng (iv) cho phép mô tả tốt quan hệ này. Hệ số tương quan R^2 xác định theo hàm số (iv) ở cọc P1 có giá trị cao đáng ghi nhận, đặc biệt ở các cấp tải trọng thí nghiệm lớn. Mặc dù hệ số tương quan của hàm dạng (iv) cao nhưng tải trọng giới hạn theo hàm số này có xu hướng lớn hơn so với kết quả thí nghiệm thực tế, đặc biệt trong trường hợp cọc có khả năng phá hoại đột ngột nên việc sử dụng hàm số này có thể không an toàn.

Ngoài các hàm số chọn lựa trình bày, một số dạng hàm số khác như hàm bậc hai ($Q = aS^2 + bS$), hàm logarit ($Q = a + b \ln S$) cũng có thể sử dụng để mô tả quan hệ $Q - S$ và có thể cho phép sử dụng để đánh giá khả năng chịu tải của cọc với các tiêu chí nhất định. Kết quả tính toán và sử dụng các hàm số dạng này cho thấy đường cong quan hệ mô tả chưa phù hợp với kết quả thí nghiệm thực tế nhưng có thể cho phép mô tả các cấp tải trọng cuối phù hợp hoặc thuận lợi sử dụng để đánh giá tải trọng giới hạn.

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Căn cứ cơ sở thuật toán phân tích hồi quy có thể tiến hành thiết lập các hàm số xấp xỉ mô tả quan hệ tải trọng - độ lún đầu cọc trong thí nghiệm nén tĩnh cọc. Việc tính toán áp dụng thực tế cho phép đánh giá mức độ tin cậy thông qua hệ số tương quan R^2 . Kết quả nghiên cứu và tính toán áp dụng cho phép rút ra các kết luận chính như sau:

- Hàm số dạng (i): $1/Q = a + b/S$ cho phép mô tả và ngoại suy quan hệ tải trọng - độ lún xấp xỉ tốt nhất với số liệu thí nghiệm thực tế trong trường hợp kết quả nén tĩnh gây phá hoại đột ngột hay chưa gây phá hoại đột ngột. Giá trị hệ số tương quan R^2 từ 0,90 đến 0,97 khi không xét cấp lực sau cùng gây phá hoại và đạt đến giá trị 0,99 khi xét toàn bộ dữ liệu thí nghiệm cọc đến tải trọng giới hạn.

- Hàm số dạng (ii): $Q = ae^{b/S}$ mô tả quan hệ tải trọng - độ lún tiệm cận với số liệu thí nghiệm ở các cấp tải cuối kể cả trường hợp cọc chịu nén đến giới hạn hay chưa đạt đến giới hạn.

- Trường hợp đường cong quan hệ $Q - S$ không xảy ra phá hoại đột ngột, hàm số dạng (iv): $Q = aS^b$ cho phép mô tả tốt quan hệ này.

Trong thực tế, việc phân tích kết quả thí nghiệm nén tĩnh cọc nhằm mục tiêu xác định giá trị tải trọng giới hạn đúng đắn để đảm bảo an toàn trong xây dựng công trình. Từ quan hệ tải trọng - độ lún, các tiêu chí đánh giá tải trọng giới hạn khác nhau được đề nghị [2], [3]. Việc thiết lập các hàm số phù hợp giúp phát triển hơn các tiêu chí đánh giá khác nhau nhờ sử dụng các hàm số.

Bài báo chỉ sử dụng 2 bộ dữ liệu thực tế (TP01, P1) để phân tích. Ở các nghiên cứu tiếp theo, cần bổ sung nhiều hơn số lượng mẫu nghiên cứu để có thể đưa ra kết luận tổng quát.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. TCVN 9393: 2012. Cọc - phương pháp thử tĩnh hiện trường bằng tải trọng tĩnh ép dọc trục.
- [2]. Shamsher Prakash - Harid Sharma (1999). Móng cọc trong thực tế xây dựng (bản dịch). NXB Xây dựng.
- [3]. N Bengt H. Fellenius (2014). Base of Foundation Design. Canada, Bitech Publishers.
- [4]. Bùi Trường Sơn (2017). Phân tích đánh giá khả năng chịu tải của cọc theo kết quả thí nghiệm nén tĩnh. Tập 19, Tuyển tập kết quả khoa học công nghệ 2016. NXB Nông nghiệp. Trang 328-338.
- [5]. Nguyễn Văn Mót, Bùi Trường Sơn. Ngoại suy quan hệ tải trọng - độ lún của cọc từ kết quả thí nghiệm nén tĩnh trên cơ sở các phương pháp hàm xấp xỉ. Tạp chí Xây dựng, Bộ Xây dựng, số 7, tháng 7-2021. Trang 128-132.
- [6]. Erwin Kreyszig (2011), Advanced Engineering Mathematics - Tenth edition, John Wiley & Sons.

Khung pháp lý về đầu tư và phát triển khu công nghiệp sinh thái tại Việt Nam

Legal framework on investment and development of eco-industrial park in Vietnam

> **THS MAI VŨ DUY¹, PGS.TS BÙI MẠNH HÙNG²**

¹Trường Đại học Cần Thơ, Email: mvd uy@ctu.edu.vn

²Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội, Email: Buimanhhung1150@gmail.com

TÓM TẮT

Trên thế giới, lý thuyết và thực tiễn về hình thành và phát triển khu công nghiệp sinh thái (KCNST) đã có từ lâu, với nhiều lợi ích lớn. Tại Việt Nam, đến nay KCNST chưa được phát triển rộng rãi và bền vững. Sở dĩ chưa phát triển hoặc chưa thể phát triển ở Việt Nam là có nhiều nguyên nhân khác nhau, bao gồm: khung pháp lý chưa được hoàn thiện; thủ tục còn nhiều vướng mắc; chi phí đầu tư ban đầu cao; chuyển đổi công nghệ chậm; thiếu nguồn lực tài chính; thiếu chính sách khuyến khích đầu tư... Bài viết này đề cập đến khía cạnh "Khung pháp lý về đầu tư và phát triển KCNST tại Việt Nam".

Từ khóa: Khung pháp lý, khu công nghiệp sinh thái, đầu tư, phát triển.

ABSTRACT

In the world, the theory and practice of forming and developing ecological industrial parks have existed for a long time, the benefits of investing in developing ecological industrial parks are huge. In Vietnam, up to now, ecological industrial parks have not been widely and sustainably developed. The reason why ecological industrial parks have not developed or cannot develop in Vietnam is due to many different reasons: The legal framework has not been completed; procedures are still complicated; high initial investment costs; slow technology conversion; lack of financial resources; lack of investment incentive policies... This article only mentions the aspect of 'Legal framework on investment and development of ecological industrial parks in Vietnam.

Keywords: Legal framework, eco-industrial park, investment, development.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong xu hướng phát triển hiện nay, Việt Nam đang bước vào một giai đoạn phát triển mới, trong đó các mô hình tổ chức kinh tế theo lãnh thổ có sự thay đổi về mục tiêu phát triển. Theo đó, việc xây dựng khu công nghiệp xanh, KCNST và chuyển đổi các khu

công nghiệp (KCN) hiện hữu thành KCNST đã trở thành nhu cầu cấp thiết để thích ứng với bối cảnh mới [4].

KCNST được hiểu là KCN mà trong đó các doanh nghiệp có sự liên kết, hợp tác để thực hiện các hoạt động sản xuất sạch hơn, sử dụng một cách hiệu quả tài nguyên, giảm thiểu tác động xấu đến môi trường. Tuy nhiên, khung pháp lý về đầu tư phát triển KCNST của nước ta chưa hoàn thiện nên vẫn còn nhiều lúng túng trong quá trình thực hiện.

Nội dung sau đây sẽ đề cập tóm lược thực trạng đầu tư KCNST; hệ thống văn bản pháp lý về đầu tư, phát triển KCNST; đồng thời phân tích các thuận lợi, khó khăn và đưa ra một số kiến nghị nhằm hoàn thiện khung pháp lý về đầu tư, phát triển KCNST.

2. TÓM LƯỢC THỰC TRẠNG, TƯƠNG LAI ĐẦU TƯ, PHÁT TRIỂN KCNST

2.1. Thực trạng đầu tư, phát triển KCNST

Thực tiễn cho thấy, suốt nhiều thập kỷ qua, các quốc gia trên thế giới vẫn xác định KCN và khu kinh tế là mô hình hiệu quả để phát triển công nghiệp và thu hút đầu tư. Thế giới đang xuất hiện những xu hướng mới, xu hướng dịch chuyển đầu tư, xu hướng số - xanh - phát triển bền vững [1].

Tại Việt Nam đang chuyển đổi mô hình tăng trưởng từ rộng sang sâu, từ nâu sang xanh [4], có thể tóm tắt như sau:

- Năm 1992 khi KCN Nomura được xây dựng, đây là KCN có vốn đầu tư nước ngoài đầu tiên kể từ sau khi có Luật Đầu tư nước ngoài (1987).

- Giai đoạn 2015 - 2019, Bộ KH&ĐT đã phối hợp với Tổ chức Phát triển công nghiệp Liên Hợp quốc (UNIDO) [5] triển khai hỗ trợ 04 KCN thí điểm chuyển đổi từ KCN truyền thống sang KCNST, gồm: KCN Khánh Phú, KCN Gián Khẩu, KCN Hòa Khánh và KCN Trà Nóc 1, 2.

- Từ năm 2020 - 2024, Bộ KH&ĐT tiếp tục phối hợp với UNIDO dưới sự tài trợ của Thụy Sĩ nhân rộng mô hình KCNST tại 03 địa phương là Hải Phòng, Đồng Nai và TP.HCM. Theo đó, đã có 90 doanh nghiệp được hỗ trợ với 889 giải pháp hiệu quả tài nguyên và sản xuất sạch hơn tại 4 KCN (Hiệp Phước; Amata; Đình Vũ và Hoà Khánh), góp phần tiết kiệm năng lượng, nước, giảm phát thải CO₂ và đem lại lợi ích kinh tế cho các doanh nghiệp (DN); đề xuất thực hiện 62 cơ hội cộng sinh công nghiệp - đô thị cho 3 KCN với 18 trường hợp có tính khả thi cao, góp phần tối ưu hóa việc tái sử dụng chất thải, cụ thể hóa việc thực hiện kinh tế tuần hoàn.

Tính đến hết năm 2024, cả nước đã có 447 KCN được thành lập, trong số này, có 304 KCN đã đi vào hoạt động và 143 KCN đang trong quá trình xây dựng. Đến hết quý I/2025, đã có 433 KCN đang

hoạt động, bao gồm 369 KCN nằm ngoài các khu kinh tế, 39 KCN nằm trong các khu kinh tế ven biển, 8 KCN thuộc các khu kinh tế cửa khẩu với tổng diện tích đất tự nhiên đạt khoảng 129,9 nghìn ha và tổng diện tích đất công nghiệp đạt khoảng 89,2 nghìn ha. Ngoài ra, cả nước có 18 khu kinh tế ven biển đã thành lập.

2.2. Tương lai đầu tư, phát triển KCNST

Theo quy hoạch sử dụng đất quốc gia (Quốc hội thông qua ngày 13/11/2021), đến hết năm 2030, diện tích đất phát triển các KCN sẽ đạt khoảng 210.930 ha. Như vậy, đến năm 2030 sẽ có thêm khoảng 90.000 ha KCN, trong đó diện tích đất công nghiệp cho thuê khoảng 60 - 65.000 ha.

Theo định hướng của Bộ KH&ĐT, Chính phủ cũng đồng ý với mục tiêu đến năm 2030 có khoảng 40 - 50% địa phương chuyển đổi các KCN hiện hữu sang KCNST và 8 - 10% địa phương có định hướng xây dựng khu sinh thái mới. Tuy nhiên, thực tế triển khai KCNST đang gặp nhiều vướng mắc, trong đó có hành lang pháp lý.

Các KCN tại Việt Nam đã và sẽ trở thành những khu vực trọng điểm thu hút các dự án đầu tư trong và ngoài nước, là điểm đến của nhiều tập đoàn hàng đầu thế giới. Hiện đã có 10.400 dự án đầu tư của doanh nghiệp trong nước với tổng vốn đăng ký đạt 2,54 triệu tỷ đồng.

Ngoài ra, các doanh nghiệp đến từ 65 quốc gia và vùng lãnh thổ đã đầu tư vào các KCN, thu hút hơn 11.200 dự án FDI với tổng vốn đăng ký đạt 231 tỷ USD. Nổi bật trong số đó là 10 đối tác đầu tư lớn, bao gồm: Hàn Quốc, Nhật Bản, Singapore, Hà Lan, British Virgin Islands, Đài Loan, Hồng Kông (Trung Quốc), Trung Quốc, Samoa và Malaysia.

Như vậy, để giữ vững vị thế và đón thêm nhiều dòng vốn FDI mới, nhất là dòng vốn chất lượng cao, Việt Nam cần chú trọng phát triển bền vững và thực hiện cam kết Net Zero.

Trong tương lai, Việt Nam cần mạnh dạn tiên phong thay đổi hướng phát triển các mô hình KCN mới, tập trung đẩy mạnh phát triển mô hình KCNST, trong đó quy hoạch hình thành các khu công nghệ và đổi mới sáng tạo, hướng đến xây dựng "Thung lũng Silicon Việt Nam". Các KCNST cần lấy khoa học công nghệ và đổi mới sáng tạo làm trụ cột cho phát triển trong tương lai.

3. VĂN BẢN PHÁP LÝ VỀ ĐẦU TƯ, PHÁT TRIỂN KCNST

3.1. Về mặt chính sách

Ngày 22/5/2018, Chính phủ ban hành Nghị định số 82/2018/NĐ-CP quy định về quản lý KCN và khu kinh tế, trong đó quy định rõ về KCNST và những tiêu chí để trở thành KCNST.

Ngày 28/5/2022, Chính phủ ban hành Nghị định số 35/2022/NĐ-CP quy định về quản lý KCN và khu kinh tế. Theo đó, đưa ra một số thay đổi, những tiêu chí cơ bản về KCNST được giữ nguyên theo Nghị định 82/2018, nhưng làm rõ hơn về điều kiện, tiêu chí với từng nhóm đối tượng doanh nghiệp. [3]

Nghị định 35/2022 NĐ-CP của Chính phủ đã tạo hành lang pháp lý tinh giản hơn cho nhà đầu tư thực hiện đầu tư vào các dự án KCN mới, KCN chuyên ngành, công nghệ cao và đặc biệt là KCNST, KCN xanh, chuyển đổi các KCN hiện hữu thành KCNST đã trở thành nhu cầu cấp thiết để thích ứng với yêu cầu mới. Quy định về chính sách hỗ trợ và hợp tác phát triển KCNST, tiêu chí xác định, các ưu đãi, trình tự, thủ tục, hồ sơ đăng ký chứng nhận KCNST, doanh nghiệp sinh thái, các quy định liên quan đến chứng nhận lại hoặc chấm dứt hiệu lực, thu hồi Giấy chứng nhận KCNST, doanh nghiệp sinh thái.

Việc tập trung thu hút nguồn vốn đầu tư hình thành một hệ thống KCN hiện đại theo xu thế mới (gồm KCNST, khu công nghệ cao, KCN chuyên biệt/chuyên sâu...) là rất cần thiết trong giai đoạn mới. Thêm vào đó, việc xây dựng KCNST liên quan đến nhiều

luật khác nhau như: Luật Quy hoạch, Luật Đầu tư, Luật Đất đai, Luật Kinh doanh bất động sản... Do vậy, cần hoàn thiện, đồng bộ hệ thống chính sách.

Nghị định 35/2022 NĐ-CP của Chính phủ đã khuyến khích, định hướng việc quy hoạch và xây dựng mới các KCNST thông qua quy hoạch xây dựng, thiết kế hợp lý các phân khu chức năng và định hướng thu hút các dự án đầu tư có ngành, nghề tương đồng để hỗ trợ thực hiện cộng sinh công nghiệp và có ưu đãi để khuyến khích phát triển KCNST mới. Đề ra các tiêu chí, quy chuẩn kỹ thuật về quy hoạch, xây dựng, quản lý, vận hành KCNST, đảm bảo tuân thủ các yêu cầu về môi trường. Đưa ra các hướng dẫn về xây dựng và thực hiện dự án KCNST (bao gồm quy trình, thủ tục đầu tư, đánh giá tác động môi trường...).

Nghị định 35/2022 NĐ-CP của Chính phủ cũng làm rõ hơn thẩm quyền, trách nhiệm của Ủy ban nhân dân cấp tỉnh trong việc định hướng và hỗ trợ triển khai các KCNST tại địa phương, đơn giản hóa các điều kiện, tiêu chí và thủ tục; đã bổ sung các quy định để đảm bảo điều kiện an sinh xã hội cho người lao động làm việc trong KCN; yêu cầu các địa phương phải xác định quy đất để quy hoạch xây dựng nhà ở, công trình dịch vụ, tiện ích công cộng cho người lao động làm việc trong các KCN. Nhấn mạnh sự cần thiết của việc hợp tác giữa nhà nước và khu vực tư nhân trong việc phát triển KCNST.

Đây là điều kiện bắt buộc để được chấp thuận chủ trương đầu tư dự án đầu tư xây dựng kết cấu hạ tầng KCN (hoặc KCN mở rộng), bổ sung quy định về việc xây dựng công trình dịch vụ, tiện ích công cộng, cơ sở lưu trú cho người lao động làm việc trong KCN trên phần đất dịch vụ trong KCN.

- Ngày 24/01/2025, Bộ KH&ĐT đã ban hành Thông tư số 05/2025/TT-BKH&ĐT hướng dẫn xây dựng KCNST [2]. Trong đó, quy định chi tiết về việc xây dựng KCNST, theo đó các doanh nghiệp trong KCN tham gia vào các hoạt động sản xuất sạch hơn, sử dụng hiệu quả tài nguyên và có sự liên kết bền vững; quy định rõ về "Bảo cáo theo dõi, giám sát, đánh giá hiệu quả thực hiện KCNST, doanh nghiệp sinh thái".

3.2. Nhận xét và động thái đối với các văn bản pháp lý về đầu tư, phát triển KCNST

a. Nhận xét và động thái đối với các văn bản pháp lý về đầu tư, phát triển KCNST

Cộng đồng doanh nghiệp cho rằng, mặc dù Việt Nam đang hình thành và phát triển mạnh mẽ các KCNST, nhưng vẫn có nhiều điều mới mẻ. Các hệ thống về quy chuẩn, tiêu chuẩn cho KCNST chưa hoàn thiện, ví dụ:

- Việc lắp đặt hệ thống điện mặt trời áp mái trong KCN là một trong những giải pháp cho KCNST, song chưa có quy định về việc lắp đặt điện mặt trời áp mái tại KCN;

- Quy định pháp lý về việc sử dụng nước tái chế, sử dụng năng lượng mặt trời, năng lượng tái tạo hiện nay chưa rõ ràng;

Nhiều KCN vẫn còn băn khoăn về việc doanh nghiệp sẽ được hưởng những lợi ích gì khi chuyển đổi sang KCNST cũng như quy trình, thủ tục, quyền lợi và trách nhiệm cụ thể trong quá trình chuyển đổi

b. Động thái đối của cơ quan quản lý nhà nước với các văn bản pháp lý về đầu tư, phát triển KCNST

Bộ KH&ĐT phối hợp cùng các bộ, ngành liên quan đã rà soát các quy định pháp lý, có ý kiến góp ý cụ thể đối với việc sửa đổi một số quy định pháp luật như quy định pháp luật về môi trường, các quy định pháp luật về tài nguyên nước... nhằm bảo đảm sự đồng bộ trong chính sách. Qua đó tháo gỡ khó khăn, vướng mắc trong quá trình triển khai các hoạt động cộng sinh công nghiệp.

4. THUẬN LỢI, KHÓ KHĂN VÀ KIẾN NGHỊ KHUNG PHÁP LÝ VỀ ĐẦU TƯ, PHÁT TRIỂN KCNST

4.1. Thuận lợi, khó khăn về đầu tư, phát triển KCNST

Hiện tại việc chuyển đổi các KCN hiện hữu sang KCNST còn rất thấp (theo Bộ Công Thương, đến tháng 5/2024, chỉ khoảng 1-2% trong tổng số 425 KCN tại Việt Nam chuyển đổi sang mô hình KCNST), một số địa phương có định hướng xây dựng khu sinh thái mới bắt đầu từ bước lập quy hoạch xây dựng và định hướng ngành, nghề thu hút đầu tư.

Một số chuyên gia cho rằng, hiện nay hoạt động đầu tư vào KCNST đang gặp nhiều khó khăn và vướng mắc trên cả ba cấp độ: (i) hệ thống pháp luật thiếu đồng bộ, còn tồn tại mâu thuẫn giữa các quy định; (ii) việc ban hành, hướng dẫn và áp dụng các văn bản dưới luật còn thiếu rõ ràng, thống nhất; (iii) quá trình thực thi còn phụ thuộc vào cách hiểu và cách giải thích của đội ngũ cán bộ công chức.

Giai đoạn 2024 - 2028, Chính phủ Thụy Sĩ đã cam kết tiếp tục cùng UNIDO đồng hành với Việt Nam đẩy mạnh triển khai KCNST gắn với kinh tế tuần hoàn. Văn kiện Dự án "Nhân rộng phương pháp tiếp cận KCNST để thúc đẩy kinh tế tuần hoàn tại Việt Nam" với tổng vốn hỗ trợ 3,6 triệu USD do Tổng cục Kinh tế Liên bang Thụy Sĩ tài trợ đã được Bộ trưởng Bộ KH&ĐT phê duyệt tháng 8/2024. Dự án tiếp tục đẩy mạnh thực hiện KCNST tại Hải Phòng, Bắc Ninh, Đồng Nai, TP.HCM trong giai đoạn 2024 - 2028. [6], [7]

Bộ KH&ĐT đang phối hợp với Ngân hàng Thế giới hỗ trợ việc xây dựng KCNST tại Bình Dương (cũ), KCNST đang trở thành tiêu chí lựa chọn của các nhà đầu tư trực tiếp nước ngoài. Nhiều địa phương và nhà đầu tư hạ tầng KCN xác định việc phát triển KCN theo mô hình KCNST là nhu cầu tất yếu, cấp bách để kiến tạo lợi thế cạnh tranh bền vững.

KCNST sẽ đóng góp đáng kể vào nỗ lực ứng phó với biến đổi khí hậu, huy động nguồn lực từ khu vực tư nhân cho giải pháp công nghiệp xanh, đảm bảo an ninh năng lượng, thể hiện quyết tâm chính trị của Chính phủ trong việc thực hiện các cam kết phát triển bền vững [1]. Như vậy, KCNST là xu hướng tất yếu nên doanh nghiệp phải có trách nhiệm và Nhà nước cũng cần có hướng dẫn cụ thể và có cơ chế ưu đãi rõ ràng.

4.2. Khung pháp lý về đầu tư phát triển KCNST

Hiện tại, khung pháp lý về KCNST chủ yếu nằm trong các văn bản dưới luật, chưa có luật riêng biệt về KCN để tạo hành lang pháp lý vững chắc, gây ra sự thiếu nhất quán và chưa đủ mạnh để thúc đẩy phát triển KCNST.

Vẫn còn các quy định và định hướng đầu tư, phát triển các KCNST được đưa ra, nhưng nằm rải rác trong rất nhiều văn bản pháp quy khác nhau trong các bộ luật liên quan (đất đai, xây dựng, môi trường, ...), cộng với thủ tục hành chính cần được hoàn thiện hơn nữa mới có thể thúc đẩy nhanh việc phát triển các loại hình KCNST có hiệu quả cao, theo đúng định hướng phát triển xanh và công nghệ cao đặt ra cho giai đoạn phát triển tới.

Chính phủ cần sớm ban hành Luật Khu công nghiệp riêng biệt để tạo hành lang pháp lý vững chắc, đồng bộ và toàn diện cho sự phát triển của KCNST. Trong đó, cần xây dựng khung khổ pháp lý riêng với đầy đủ chương, mục, điều, khoản cụ thể, hoàn thiện hành lang pháp lý áp dụng cho các trường hợp thành lập mới, hoặc áp dụng cho trường hợp chuyển đổi KCN cũ, truyền thống thành KCNST.

Khung pháp lý về đầu tư phát triển KCNST phải là một hệ thống các quy định, chính sách và hướng dẫn do Chính phủ hoặc các cơ quan có thẩm quyền ban hành nhằm điều chỉnh đầu tư phát triển trong lĩnh vực này. Kung pháp lý này giúp đảm bảo tính tuân thủ pháp luật, bảo vệ quyền và lợi ích hợp pháp của các bên

liên quan, đồng thời duy trì trật tự và ổn định xã hội. Đây là nền tảng pháp lý bắt buộc mà các cá nhân, tổ chức và doanh nghiệp phải tuân thủ khi tham gia đầu tư, phát triển KCNST.

Mục tiêu của khung pháp lý về đầu tư phát triển KCNST bao gồm:

- Mục tiêu đảm bảo tuân thủ: Các quy định pháp lý về đầu tư phát triển KCNST để mọi người thực hiện đúng theo pháp luật, tránh các hành vi vi phạm;
- Mục tiêu bảo vệ quyền lợi: Khung pháp lý đầu tư phát triển KCNST giúp bảo vệ quyền và lợi ích hợp pháp của cá nhân, tổ chức, doanh nghiệp;
- Mục tiêu duy trì trật tự, ổn định: Bằng việc thiết lập các quy tắc rõ ràng, khung pháp lý đầu tư phát triển KCNST giúp duy trì trật tự, ổn định trong xã hội và các hoạt động kinh tế;
- Mục tiêu thúc đẩy cạnh tranh công bằng: Trong kinh doanh, khung pháp lý đầu tư phát triển KCNST cần tạo ra một môi trường bình đẳng cho tất cả các doanh nghiệp, tránh tình trạng cạnh tranh không lành mạnh.

5. KẾT LUẬN

Việt Nam có cơ hội lớn để khẳng định vị thế trong dòng chảy đầu tư toàn cầu nếu biết đón đầu xu hướng và đầu tư đúng hướng. Phát triển KCNST tại Việt Nam không chỉ là xu hướng mà còn điều kiện tiên quyết và cơ hội chiến lược cho các chủ đầu tư và nhà đầu tư trong bối cảnh yêu cầu toàn cầu về phát triển bền vững ngày càng gia tăng. Tuy còn nhiều thách thức về chi phí, công nghệ, quy mô và pháp lý, tiềm năng kinh tế - xã hội và môi trường, nhưng mô hình này chắc chắn sẽ mang lại hiệu quả rất lớn.

Với sự hỗ trợ từ Chính phủ, các tổ chức quốc tế, KCNST có thể trở thành động lực quan trọng thúc đẩy sự phát triển kinh tế xanh, bền vững của Việt Nam, đồng thời nâng cao vị thế cạnh tranh trên bản đồ đầu tư toàn cầu. Chủ đầu tư và nhà đầu tư cần nhìn nhận đây là một cơ hội để tái cấu trúc, đổi mới và khẳng định vai trò tiên phong trong ngành công nghiệp hiện đại, nhưng cũng đòi hỏi sự cam kết mạnh mẽ về nguồn lực, công nghệ và tầm nhìn chiến lược. Mặc dù đã có những bước tiến đáng kể trong việc xây dựng khung pháp lý cho KCNST, Việt Nam cần sớm hoàn thiện hệ thống pháp luật, đặc biệt là ban hành Luật Khu công nghiệp riêng biệt để tạo điều kiện thuận lợi cho sự phát triển của mô hình này. Đây là nền tảng quan trọng để xây dựng một ngành công nghiệp hiện đại, thân thiện với môi trường, có năng lực cạnh tranh quốc tế và góp phần vào phát triển bền vững.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Tuấn Anh (2014), Phát triển Khu công nghiệp sinh thái - Một hướng đi cần thiết nhằm đáp ứng yêu cầu phát triển bền vững, Tạp chí Khoa học Xây dựng và Đô thị - Học viện Cán bộ quản lý xây dựng và đô thị, số 35.
- [2]. Bộ KH&ĐT (2025), Thông tư số 05/2025/TT-BKHĐT (14/01/2025) hướng dẫn xây dựng khu công nghiệp sinh thái.
- [3]. Chính phủ (2022), Nghị định số 35/2022/NĐ-CP (28/5/2022) quy định về quản lý khu công nghiệp và khu kinh tế.
- [4]. Vụ Quản lý các Khu kinh tế, Bộ KH&ĐT (2024). Chuyển đổi sang khu công nghiệp sinh thái để phát triển kinh tế bền vững.
- [5]. United Nations Industrial Development Organization. (2021). Global Eco-Industrial Parks Programme (GEIPP): Final Report. UNIDO. <https://hub.unido.org>
- [6]. UNIDO & World Bank Group. (2017). An international framework for Eco-Industrial Parks. <https://www.unido.org/resources/publications>
- [7]. UNIDO. (2020). Eco-Industrial Parks Toolbox (EIP Toolset). <https://geipp.org/eip-tools>

Nỗ lực của nhà thầu hướng đến thành công dự án nhà công nghiệp: Phân tích nghiên cứu liên quan

Contractor effort toward industrial projects success: An analysis of related studies

> TS LÊ HOÀI LONG¹, NGUYỄN VĂN TÍNH², TS VÕ ĐĂNG KHOA^{3,*}

¹Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Bách khoa - Đại học Quốc gia TP.HCM

²HVCH Ngành Quản lý xây dựng, Trường Đại học Mở Thành phố Hồ Chí Minh

³Khoa Xây dựng, Trường Đại học Mở Thành phố Hồ Chí Minh; *Email: khoa.vd@ou.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu này đề xuất một khung lý thuyết mới để đánh giá thành công của nhà thầu trong các dự án nhà công nghiệp. Khác với cách tiếp cận truyền thống chỉ tập trung vào kết quả cuối cùng, mô hình này nhấn mạnh vào nỗ lực hành vi của nhà thầu. Qua tổng quan tài liệu giai đoạn 2019-2025, tám yếu tố then chốt đã được xác định, bao gồm sáu nhóm nỗ lực cốt lõi (chất lượng, chi phí, tiến độ, an toàn, môi trường, học hỏi - cải tiến) và hai yếu tố kết quả (sự hài lòng của các bên liên quan và thành công bền vững của nhà thầu). Mô hình giả thuyết cho rằng các nỗ lực này tác động tích cực đến sự hài lòng của các bên liên quan, yếu tố này đóng vai trò trung gian, tạo nên thành công bền vững của nhà thầu, được hiểu là khả năng duy trì quan hệ hợp tác và tiếp tục được lựa chọn cho dự án mới.

Về học thuật, nghiên cứu chuyển trọng tâm từ đo lường kết quả sang đo lường hành vi nỗ lực, góp phần làm rõ cơ chế hình thành thành công của nhà thầu. Về thực tiễn, khung đánh giá hỗ trợ nhà thầu tự nhận diện điểm mạnh, điểm cần cải thiện và xây dựng chiến lược cạnh tranh. Đồng thời, mô hình giả thuyết tạo nền tảng cho nghiên cứu định lượng tiếp theo với các phương pháp SEM như PLS-SEM, nhằm kiểm định quan hệ nhân quả và phát triển thang đo chuẩn hóa cho cả nghiên cứu và ứng dụng.

Từ khóa: Thành công nhà thầu, nỗ lực dự án, sự hài lòng các bên liên quan, dự án nhà công nghiệp, PRISMA.

ABSTRACTS

This study proposes a new theoretical framework for evaluating contractor success in industrial building projects. Unlike traditional approaches that primarily emphasize final outcomes, the model highlights the contractor's behavioral efforts. Based on a literature review from 2019–2025, eight key factors are identified, including six core effort dimensions (quality, cost, time, safety, environment, and learning-improvement) and two outcome factors (stakeholder satisfaction and sustainable contractor success). The hypothesized model posits that contractor efforts exert a positive influence on stakeholder satisfaction, which serves as a mediating factor that fosters sustainable contractor success—understood as the ability to maintain long-term cooperation and secure future project opportunities. From an academic perspective, the study shifts the focus from outcome-based measurement to effort-based measurement, thereby clarifying the mechanism through which contractor success is shaped. From a practical perspective, the framework enables contractors to identify strengths, areas for improvement, and strategies for competitive advantage. Furthermore, the hypothesized model provides a foundation for subsequent quantitative research using SEM techniques such as PLS-SEM to test causal relationships and develop standardized measurement scales for both scholarly and practical applications.

Keywords: Contractor success, project efforts, stakeholder satisfaction, industrial construction projects, PRISMA.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngành Xây dựng nhà công nghiệp giữ vai trò thiết yếu trong phát triển hạ tầng, song bối cảnh cạnh tranh ngày càng gay gắt đã đặt ra yêu cầu về các tiêu chuẩn quản trị cao hơn nhằm đảm bảo hiệu suất dự án (Borges et al., 2025). Mặc dù vậy, phần lớn các nghiên cứu trước đây vẫn chủ yếu tập trung vào "tam giác sắt" (chi

phí, tiến độ, chất lượng) - những yếu tố chỉ phản ánh kết quả cuối cùng, trong khi chưa thực sự làm rõ các nỗ lực và hành vi quản trị của nhà thầu trong suốt quá trình thi công (Ingle et al., 2020).

Xu hướng gần đây đã mở rộng tiêu chí thành công sang an toàn, môi trường, học hỏi, và sự hài lòng của các bên liên quan, đồng thời sử dụng các phương pháp luận đa dạng hơn để kiểm định quan hệ

nhân quả (Sharma & Laishram, 2024). Mặc dù vậy, vẫn thiếu một khung đánh giá chuẩn hóa tập trung vào nỗ lực của nhà thầu trong dự án nhà công nghiệp (Beshah et al., 2024).

Từ khoảng trống này, nghiên cứu nhằm tổng hợp và lý thuyết hóa các tiêu chí nội bộ của nhà thầu, phân tích mối quan hệ giữa các tiêu chí này với sự hài lòng của các bên liên quan, từ đó đề xuất một cơ chế thành công bền vững dựa trên nỗ lực (ElSokhn & Ezeldin, 2023). Về mặt lý thuyết, bài viết đóng góp bằng cách chuyển trọng tâm từ đo lường kết quả sang đo lường hành vi; về mặt thực tiễn, nghiên cứu cung cấp một công cụ tự đánh giá nhằm hỗ trợ nhà thầu cải thiện năng lực cạnh tranh.

2. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU

2.1. Khái niệm thành công của nhà thầu trong dự án nhà công nghiệp

Trong quản lý dự án, thành công truyền thống gắn với tiến độ, chi phí và chất lượng, chủ yếu phản ánh kết quả cuối cùng (Ingle et al., 2020). Với dự án nhà công nghiệp có yêu cầu cao, cách tiếp cận này dễ bỏ sót giá trị dài hạn mà nhà thầu tạo ra (ElSokhn & Ezeldin, 2023).

Gần đây, khái niệm thành công được mở rộng, bao gồm sự hài lòng của các bên liên quan, học hỏi, đổi mới và bền vững (Naseer et al., 2022). Sự dịch chuyển từ kết quả sang nỗ lực cho thấy thành công bền vững phụ thuộc vào hành động và cam kết xuyên suốt quá trình thi công (Langston, 2023).

2.2. Các nhóm nỗ lực cốt lõi của nhà thầu

Nỗ lực của nhà thầu là tập hợp các hành động quản lý và cam kết thực thi nhằm đảm bảo thành công dự án và duy trì lòng tin của các bên liên quan (Naseer et al., 2022). Trong các dự án nhà công nghiệp, có thể xác định sáu nhóm nỗ lực cốt lõi bao gồm: chất lượng (Sharma & Laishram, 2024), chi phí (Ghasemi et al., 2022), tiến độ (Homthong et al., 2024), an toàn (Xu et al., 2023), môi trường (Wu et al., 2023), học hỏi - cải tiến (Langston, 2023). Các nhóm này thường được phân tích riêng lẻ trong các nghiên cứu trước. Tuy nhiên, nghiên cứu này tiếp cận tích hợp chúng dưới khái niệm “nỗ lực của nhà thầu”, qua đó phản ánh toàn diện hành động và cơ chế hình thành sự hài lòng của các bên liên quan cũng như thành công bền vững.

2.3. Vai trò của sự hài lòng các bên liên quan

Sự hài lòng của các bên liên quan (Stakeholder Satisfaction - SSC) là cầu nối chiến lược giữa nỗ lực của nhà thầu và thành công bền vững, phản ánh cả mức độ đáp ứng yêu cầu lẫn niềm tin vào cam kết của nhà thầu (Sastoque-Pinilla et al., 2022). SSC giữ vai trò trung gian, chuyển hóa các nỗ lực về chất lượng, chi phí, tiến độ, an toàn, môi trường và học hỏi thành sự tin nhiệm và hợp tác lâu dài (Naseer et al., 2022). Trong dự án công nghiệp, SSC còn gắn với an toàn, trách nhiệm môi trường và đổi mới, qua đó củng cố quan hệ hợp tác và nâng cao uy tín cạnh tranh (Wu et al., 2023).

2.4. Thành công của nhà thầu dựa trên sự hài lòng các bên liên quan

Thành công của nhà thầu (PS) không chỉ đo lường bằng chi phí, tiến độ và chất lượng, mà được thể hiện qua khả năng duy trì hợp tác và tiếp tục được lựa chọn cho các dự án sau (Beshah et al., 2024). Sáu nhóm nỗ lực chính tác động tích cực đến sự hài lòng của các bên liên quan (SSC), vốn giữ vai trò trung gian chuyển hóa nỗ lực thành tín nhiệm và hợp tác lâu dài (Naseer et al., 2022). Cách tiếp cận này phản ánh xu hướng nghiên cứu hiện nay, nhấn mạnh yếu tố hành vi và sự hài lòng thay vì chỉ tập trung vào kết quả ngắn hạn (Langston, 2023).

2.5. Khoảng trống nghiên cứu

Nhiều nghiên cứu quốc tế về thành công của nhà thầu vẫn chủ yếu dựa trên tam giác sắt truyền thống chi phí, tiến độ, chất lượng (Assaad et al., 2020), trong khi ở Việt Nam các công trình thường chỉ

xem xét các khía cạnh riêng lẻ như an toàn hoặc rào cản thi công (Thach et al., 2024). Tuy nhiên, chưa có khung đánh giá chuẩn hóa phản ánh toàn diện nỗ lực hành vi của nhà thầu và vai trò trung gian của sự hài lòng các bên liên quan, đặc biệt trong dự án nhà công nghiệp. Do đó, cần phát triển khung lý thuyết mới theo hướng từ thước đo kết quả (outcome-based) sang thước đo nỗ lực (effort-based), vừa bổ sung giá trị học thuật, vừa hỗ trợ nhà thầu tự đánh giá, cải thiện năng lực và tăng cường năng lực cạnh tranh dài hạn.

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

3.1. Tiếp cận nghiên cứu

Nghiên cứu áp dụng phương pháp tổng quan tài liệu có hệ thống (Systematic Literature Review - SLR) theo quy trình PRISMA nhằm đảm bảo tính minh bạch, toàn diện và khả năng tái lập (Moher et al., 2009). Cách tiếp cận này cho phép nhận diện và hệ thống hóa các tiêu chí phản ánh nỗ lực của nhà thầu trong thi công dự án nhà công nghiệp, làm cơ sở cho việc xây dựng khung khái niệm và mô hình giả thuyết.

3.2. Mục tiêu và câu hỏi nghiên cứu

Nghiên cứu này nhằm mục đích tổng hợp các yếu tố cốt lõi phản ánh nỗ lực nội bộ của nhà thầu trong giai đoạn thi công dự án nhà công nghiệp. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất một mô hình lý thuyết về mối quan hệ giữa những nỗ lực này, sự hài lòng của các bên liên quan (SSC) và thành công bền vững của nhà thầu (PS). Trên cơ sở đó, nghiên cứu đặt ra hai câu hỏi: (1) những tiêu chí nội bộ nào của nhà thầu đã được ghi nhận có liên quan đến thành công dự án nhà công nghiệp? (2) Mối quan hệ giữa các tiêu chí đó, (SSC) và (PS) được lý thuyết hóa như thế nào?

3.3. Chiến lược tìm kiếm tài liệu

Chiến lược tìm kiếm dựa trên các cơ sở dữ liệu uy tín, trong đó Scopus, Web of Science và ScienceDirect được chọn làm nguồn chính nhờ độ bao phủ rộng và chất lượng cao; các nguồn bổ trợ gồm SpringerLink, Emerald Insight, ASCE Library, Taylor & Francis, IEEE Xplore và Google Scholar. Từ khóa tìm kiếm kết hợp ba nhóm: (1) thành công nhà thầu và dự án công nghiệp (contractor success, project success, industrial construction...); (2) nỗ lực nội bộ (quality management, cost control, time management, safety management, environmental performance, lesson learning...); và (3) sự hài lòng bên liên quan (stakeholder satisfaction, stakeholder engagement...). Thời gian tìm kiếm giới hạn 2019 - 2025 nhằm bảo đảm tính cập nhật và bám sát xu hướng nghiên cứu hiện nay.

3.4. Quy trình sàng lọc và đánh giá tài liệu nghiên cứu

Quy trình PRISMA gồm bốn bước: (1) xác định - tìm kiếm và loại bỏ trùng lặp, còn 495 tài liệu từ 512 ban đầu; (2) sàng lọc sơ bộ, đọc tiêu đề và tóm tắt, giữ lại 176 tài liệu; (3) đánh giá đủ điều kiện, loại trừ nghiên cứu thiên về ví mô, chính sách hoặc thị trường, còn 78 tài liệu; (4) lựa chọn, phân tích toàn văn và xác nhận 36 tài liệu đáp ứng mục tiêu, phản ánh các nhóm tiêu chí về chất lượng, chi phí, tiến độ, an toàn, môi trường, học hỏi - cải tiến, sự hài lòng các bên liên quan và thành công dự án trong giai đoạn thi công.

3.5. Trích xuất và tổng hợp dữ liệu

Các nghiên cứu quốc tế chủ yếu xây dựng khung đánh giá thành công cho công trình dân dụng, thiên về kết quả thay vì nỗ lực hành vi và ít chú trọng bối cảnh công nghiệp (Ingle et al., 2020). Một số mô hình tích hợp các tiêu chí như chi phí, tiến độ, chất lượng, an toàn, môi trường và sự hài lòng, nhưng còn thiếu tính khái quát cho dự án công nghiệp (Beshah et al., 2024).

Ở Việt Nam, nghiên cứu vẫn phân tán, thường tập trung vào yếu tố đơn lẻ như an toàn (Thach et al., 2024). Từ khoảng trống này, nghiên cứu đề xuất khung gồm sáu nhóm nỗ lực cốt lõi (chất lượng, chi phí, tiến độ, an toàn, môi trường, học hỏi), trong đó sự hài lòng

các bên liên quan (SSC) giữ vai trò trung gian dẫn đến thành công bền vững của nhà thầu (PS). Khung này nhấn mạnh đo lường nỗ lực hành vi và được thiết kế đặc thù cho dự án nhà công nghiệp.

4. KẾT QUẢ CỦA TỔNG QUAN TÀI LIỆU HỆ THỐNG

4.1. Lựa chọn tài liệu nghiên cứu và sơ đồ PRISMA

Quy trình PRISMA cho thấy từ 512 tài liệu ban đầu, sau khi loại bỏ trùng lặp và sàng lọc theo tiêu chí nghiên cứu, còn lại 36 tài liệu phù hợp để phân tích chi tiết. Kết quả này được minh họa trong Hình 1.

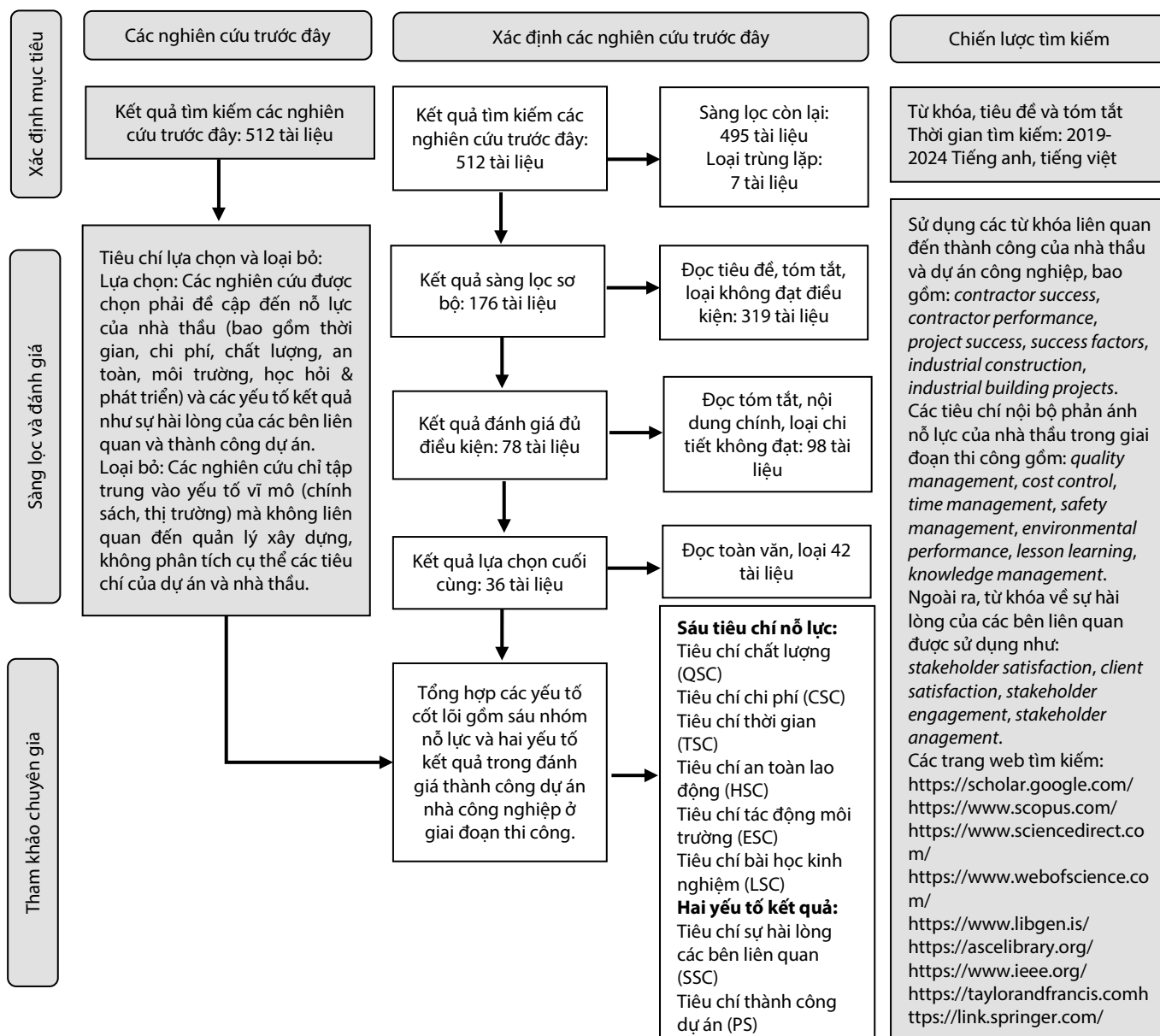
4.2. Thống kê đặc điểm các nghiên cứu được chọn

Phân tích 36 nghiên cứu giai đoạn 2019-2025 cho thấy bốn xu hướng chính. Thứ nhất, các thước đo đánh giá đã mở rộng từ ba yếu tố truyền thống (thời gian, chi phí, chất lượng) sang hành vi, cam kết, sự hài lòng và tính bền vững. Thứ hai, về phạm vi, đa số nghiên cứu tập trung ở bối cảnh quốc tế và các nước phát triển, song cũng có các công trình ở Việt Nam, Thái Lan, Ethiopia, cung cấp giá trị tham chiếu quan trọng. Thứ ba, về loại hình, phần lớn là bài báo đăng trên các tạp chí thuộc Scopus hoặc Web of Science, đảm bảo

tính học thuật. Thứ tư, về phương pháp, khảo sát định lượng chiếm ưu thế, thường kết hợp EFA, CFA, SEM, PLS-SEM; một số nghiên cứu định tính và tình huống bổ sung bằng chứng thực tiễn. Kết quả tổng hợp này được trình bày trong Bảng 1, minh họa rõ sự dịch chuyển từ các thước đo truyền thống dựa trên kết quả (outcome-based) sang thước đo nhấn mạnh hành vi và nỗ lực của nhà thầu (effort-based).

4.3. Xác định các nhóm nỗ lực cốt lõi

Tổng hợp 36 nghiên cứu cho thấy sáu nhóm nỗ lực cốt lõi phản ánh hành vi của nhà thầu trong dự án nhà công nghiệp: chất lượng (QSC), chi phí (CSC), tiến độ (TSC), an toàn (HSC), môi trường (ESC) và học hỏi - cải tiến (LSC). Các nỗ lực này hình thành sự hài lòng của các bên liên quan (SSC), từ đó thúc đẩy thành công tổng thể của nhà thầu (PS) thông qua duy trì hợp tác và được lựa chọn cho dự án tiếp theo. Khung khái niệm này vượt ra ngoài “tam giác sắt”, tích hợp toàn diện các yếu tố phù hợp với đặc thù dự án nhà công nghiệp vốn đòi hỏi cao về tiến độ, an toàn và công nghệ.



Hình 1. Sơ đồ tiến trình thực hiện PRISMA

Bảng 1. Tóm tắt đặc điểm các nghiên cứu về thành công dự án được chọn lọc theo PRISMA (2019-2025)

Đặc điểm	Danh mục	Số lượng	Tỷ lệ (%)	Ghi chú
Xu hướng	Giai đoạn 2019-2021	10	27.78	Tập trung chi phí, tiến độ, chất lượng; ít kiểm định thang đo.
	Giai đoạn 2022-2025	26	72.22	Mở rộng sang an toàn, môi trường, sự hài lòng, học hỏi bài học, kiểm định thang đo; áp dụng phương pháp phân tích nâng cao.
Địa lý	Quốc tế	23	63.89	Xây dựng mô hình, tính khái quát cao.
	Việt Nam	1	2.78	Nghiên cứu an toàn (Thach et al., 2024).
	Các quốc gia khác	12	33.33	Bối cảnh địa phương (Guyana, Úc-NZ, Thái Lan, Ethiopia, Nigeria, Oman, UAE, Ấn Độ, Malaysia, Trung Quốc).
Loại hình công bố	Tạp chí khoa học quốc tế	36	100.00	Tất cả là bài báo khoa học.
Phương pháp nghiên cứu	Khảo sát định lượng	13	36.11	Dữ liệu từ nhà quản lý, nhà thầu, dự án; phù hợp SEM/PLS-SEM.
	Tổng quan tài liệu	7	19.44	Hệ thống hóa yếu tố thành công.
	Phân tích thống kê	9	25.00	EFA, CFA, SEM, PLS-SEM.
	Nghiên cứu tình huống	7	19.44	Minh chứng thực địa.
	Phỏng vấn định tính	4	11.11	Ít, thường bổ trợ khảo sát.
	Xây dựng mô hình/khung đánh giá	6	16.67	Đề xuất khung đánh giá, công cụ phân tích đa tiêu chí.

5. THẢO LUẬN

5.1. Diễn giải khung lý thuyết nỗ lực - kết quả

Phân tích 36 nghiên cứu cho thấy sáu nhóm nỗ lực cốt lõi của nhà thầu gồm: chất lượng, chi phí, tiến độ, an toàn, môi trường và học hỏi - cải tiến. Các nỗ lực này gắn với quản lý và cải tiến quy trình (ElSokhn & Ezeldin, 2023); kiểm soát ngân sách (Sharma & Laishram, 2024), lập kế hoạch và giám sát tiến độ (Assaad et al., 2020), đổi mới thực hành an toàn (Thach et al., 2024), tích hợp yếu tố bền vững (Wu et al., 2023), và nâng cao năng lực qua học hỏi - cải tiến (Naseer et al., 2022). Hai kết quả then chốt là sự hài lòng của các bên liên quan và thành công dài hạn của nhà thầu, phản ánh cơ chế chuyển hóa nỗ lực nội bộ thành giá trị tích lũy (Borges et al., 2025). Khung lý thuyết này cho thấy các nỗ lực vừa bổ trợ lẫn nhau vừa định hình cách thức nhà thầu đạt thành công trong dự án nhà công nghiệp.

5.2. So sánh với các nghiên cứu trước

Kết quả tổng quan cho thấy sự dịch chuyển từ cách tiếp cận truyền thống, chủ yếu xoay quanh “tam giác sắt” (thời gian, chi phí, chất lượng) như nghiên cứu của Altarawneh and Samadi (2019) sang các hướng tiếp cận mở rộng, chú trọng hành vi, an toàn, môi trường và sự hài lòng của các bên liên quan (Beshah et al., 2024). Phương pháp nghiên cứu cũng đa dạng hơn, kết hợp khảo sát định

lượng với SEM, MCDM, ANFIS, cùng nghiên cứu định tính nhằm vừa kiểm định mô hình vừa tăng giá trị thực tiễn (Kiani Mavi et al., 2024). Tuy nhiên, đa số công trình vẫn phân tích rời rạc, thiếu một khung lý thuyết thống nhất mô tả cơ chế chuyển hóa từ nỗ lực nội bộ sang sự hài lòng và thành công bền vững.

Theo Bảng 2, nghiên cứu này góp phần lấp khoảng trống bằng việc tích hợp các yếu tố thành khái niệm “nỗ lực của nhà thầu” và nhấn mạnh vai trò trung gian của sự hài lòng các bên liên quan.

5.3. Xu hướng nghiên cứu mới và phát hiện chính

Tổng quan 36 nghiên cứu giai đoạn 2019-2025 cho thấy sự dịch chuyển từ cách tiếp cận dựa trên kết quả sang nhấn mạnh nỗ lực hành vi của nhà thầu, đặc biệt trong quản lý an toàn, môi trường và đổi mới tổ chức (ElSokhn & Ezeldin, 2023). Đồng thời, sự hài lòng của các bên liên quan nổi lên như cơ chế trung gian giải thích cách nỗ lực nội bộ chuyển hóa thành lợi thế dài hạn (Naseer et al., 2022). Phát hiện then chốt của nghiên cứu là tích hợp sáu nhóm nỗ lực (chất lượng, chi phí, tiến độ, an toàn, môi trường, học hỏi) vào một khung khái niệm toàn diện. Qua đó làm rõ mối quan hệ giữa nỗ lực thi công, sự hài lòng và thành công bền vững trong dự án nhà công nghiệp, một đóng góp mang tính hệ thống so với các nghiên cứu trước còn rời rạc.

Bảng 2. Phân tích so sánh tiêu chí đánh giá thành công trong các nghiên cứu trước đây

Nghiên cứu	Các tiêu chí đánh giá chính	Điểm mạnh	Hạn chế
Altarawneh and Samadi (2019)	Thời gian, chi phí, chất lượng kết hợp, yếu tố tổ chức	Chứng minh mối quan hệ giữa (CSFs) và (SCs) bằng SEM; cơ sở cho mô hình dự báo	Thiên về kết quả cuối cùng, ít phản ánh nỗ lực hành vi
Olawumi and Chan (2022)	Thời gian, chi phí, chất lượng, bền vững	Mở rộng ngoài “tam giác sắt”	Thiếu dữ liệu đa quốc gia, nặng lý thuyết
Gebremikal Beshah et al. (2024)	Chi phí, tiến độ, chất lượng, an toàn, môi trường, stakeholder, học hỏi	Khung định lượng rõ ràng, công cụ hiện đại	Giới hạn bối cảnh Ethiopia, thiếu tính khái quát
Thach et al. (2024)	An toàn lao động, đổi mới an toàn	Nêu bật vai trò an toàn trong thành công dự án tại VN	Phạm vi hẹp, chưa bao quát các yếu tố khác
Nghiên cứu này	Thời gian, chi phí, chất lượng, an toàn, môi trường, sự hài lòng các bên, học hỏi & phát triển, thành công dự án nhà công nghiệp	Đề xuất khung toàn diện, tập trung nỗ lực nhà thầu	Mới ở mức lý thuyết, cần kiểm chứng bằng khảo sát PLS-SEM

5.4. Ý nghĩa thực tiễn và lý thuyết

Về thực tiễn, khung đánh giá dựa trên nỗ lực hỗ trợ nhà thầu tự rà soát, cải thiện điểm yếu và duy trì sự hài lòng các bên liên quan để củng cố hợp tác lâu dài (Elsokhn & Ezeldin, 2023). Về lý thuyết, nghiên cứu dịch chuyển trọng tâm từ thành công theo kết quả sang đo lường nỗ lực, khắc phục hạn chế của “tam giác sắt” và mở hướng phát triển khung lý thuyết về thành công dự án công nghiệp (Naseer et al., 2022).

6. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã thực hiện tổng quan hệ thống theo PRISMA và đề xuất khung lý thuyết về thành công nhà thầu trong dự án nhà công nghiệp, gồm sáu nhóm nỗ lực cốt lõi (chất lượng, chi phí, tiến độ, an toàn, môi trường, học hỏi), cùng sự hài lòng các bên liên quan và thành công bền vững. Về học thuật, nghiên cứu dịch chuyển từ đo lường kết quả sang đánh giá nỗ lực. Về thực tiễn, khung này hỗ trợ nhà thầu nhận diện điểm mạnh và xây dựng lợi thế cạnh tranh. Tương lai, việc chuẩn hóa thang đo và kiểm chứng bằng PLS-SEM với dữ liệu thực tế sẽ củng cố giá trị ứng dụng và góp phần phát triển chuẩn mực quản lý dự án công nghiệp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Altarawneh, J. Y., & Samadi, B. (2019). The relationship between critical success factors and success criteria in construction projects in the United Arab Emirates. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*, 6(7), 43-53.
- [2]. Assaad, R., El-Adaway Islam, H., & Abotaleb Ibrahim, S. (2020). Predicting Project Performance in the Construction Industry. *Journal of Construction Engineering and Management*, 146(5), 04020030. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001797](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001797)
- [3]. Beshah, G. G., Jekale Mengesha, W., & Demiss, B. A. (2024). Developing success criteria model, quantitative evaluation method, and process framework for building projects [Article]. *Cogent Engineering*, 11(1), Article 2373873. <https://doi.org/10.1080/23311916.2024.2373873>
- [4]. Borges, D. B., Soares, C. A. P., Najjar, M., Costa, B. B. F. D., Tam, V. W. Y., & Haddad, A. N. (2025). Project success and critical success factors of construction projects from the perspective of a multicultural team: a case study in Guyana [Article]. *International Journal of Construction Management*, 25(10), 1115-1129. <https://doi.org/10.1080/15623599.2024.2397626>
- [5]. Elsokhn, N., & Ezeldin, A. S. (2023). An Examination of Quality Management System Implementation in Egyptian Contracting Companies. *Lecture Notes in Civil Engineering*,
- [6]. Gebremikal Beshah, G., Jekale Mengesha, W., & Astrey Demiss, B. (2024). Developing success evaluation criteria of building projects for Addis Ababa Ethiopia. *Heliyon*, 10(11), e31770. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31770>
- [7]. Ghasemi, M., Nejad, M. G., Alsaadi, N., Abdel-Jaber, M., Ab Yajid, M. S., & Habib, M. (2022). Performance Measurement and Lead-Time Reduction in EPC Project-Based Organizations: A Mathematical Modeling Approach [Article]. *Mathematical Problems in Engineering*, 2022, Article 5767356. <https://doi.org/10.1155/2022/5767356>
- [8]. Homthong, S., Moungnoi, W., & Charoenngam, C. (2024). Whole life critical factors influencing construction project performance for different objectives: Evidence from Thailand. *Buildings*, 14(4), 999.
- [9]. Ingle, P. V., Mahesh, G., & M.D, D. (2020). Identifying the performance areas affecting the project performance for Indian construction projects. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 19(1), 1-20. <https://doi.org/https://doi.org/10.1108/JEDT-01-2020-0027>
- [10]. Kiani Mavi, N., Brown, K., Fulford, R. G., & Goh, M. (2024). An MCDM analysis of critical success criteria for medium and large construction projects in Australia and New Zealand [Article]. *Engineering, Construction and Architectural Management*. <https://doi.org/10.1108/ECAM-08-2023-0838>
- [11]. Langston, C. (2023). The empirical relationship between contractor success and project innovation [Article]. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 30(6), 2231-2254. <https://doi.org/10.1108/ECAM-05-2021-0460>
- [12]. Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & The, P. G. (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLOS Medicine*, 6(7), e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- [13]. Naseer, S., Abbass, K., Asif, M., Hashmi, H. B. A., Naseer, S., & Achim, M. V. (2022). Impact of critical success factors on project success through the mediation of knowledge creation. *Frontiers in Psychology*, 13, 892488.
- [14]. Olawumi, T. O., & Chan, D. W. M. (2022). Developing project evaluation models for smart sustainable practices implementation in construction projects: a comparative study between Nigeria and Hong Kong [Article]. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 29(3), 1522-1552. <https://doi.org/10.1108/ECAM-11-2020-0906>
- [15]. Sastoque-Pinilla, L., Artelt, S., Burimova, A., Lopez de Lacalle, N., & Toledo-Gandarias, N. (2022). Project success criteria evaluation for a project-based organization and its stakeholders-a q-methodology approach. *Applied Sciences*, 12(21), 11090.
- [16]. Sharma, N., & Laishram, B. (2024). Understanding the relevance and impact of the cost of quality in the construction industry: a systematic literature review using PRISMA. *CONSTRUCTION INNOVATION-ENGLAND*. <https://doi.org/10.1108/CI-08-2023-0197>
- [17]. Thach, T. N., Moon, H., Pham, H. D., Kwon, N., & Ahn, Y. (2024). Construction Safety Innovation and Barriers in Different Company Types and Sizes: A Survey in Vietnam. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 28(8), 3057-3073. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s12205-024-0779-z>
- [18]. Wu, S. W., Yan, Y. F., Pan, J. L., & Wu, K. S. (2023). Linking Sustainable Project Management with Construction Project Success: Moderating Influence of Stakeholder Engagement. *Buildings*, 13(10), Article 2634. <https://doi.org/10.3390/buildings13102634>
- [19]. Xu, J., Cheung, C., Manu, P., Ejohwomu, O., & Too, J. (2023). Implementing safety leading indicators in construction: Toward a proactive approach to safety management. *Safety Science*, 157, 105929. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.105929>

So sánh hiệu quả mô hình SARIMA và SARIMAX trong dự báo lượng hàng container tại cảng Busan

Performance comparison of SARIMA and SARIMAX models in forecasting container cargo volume at Busan Port

> CAO THIÊN ẮN^{1,2}, MÃ CHÍ HIẾU^{1,2,*}

¹Khoa Kỹ thuật xây dựng, Trường Đại học Bách khoa TP.HCM

²Đại học Quốc gia TP.HCM

*Email: chihieuma@hcmut.edu.vn

TÓM TẮT

Dự báo lượng hàng container thông qua cảng là một bước quan trọng nhằm hỗ trợ các cơ quan quản lý trong việc lập kế hoạch và tối ưu hóa hoạt động khai thác. Nghiên cứu này so sánh hiệu quả dự báo của hai mô hình chuỗi thời gian: SARIMA (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average) và SARIMAX (mở rộng từ SARIMA với biến ngoại sinh). Dữ liệu đầu vào bao gồm lượng hàng container theo quý tại cảng Busan (Hàn Quốc) cùng với GDP thực (Real Gross Domestic Product) theo quý, được thu thập từ hệ thống FRED (Federal Reserve Economic Data). Độ chính xác của mô hình được đánh giá thông qua ba chỉ số: sai số trung bình tuyệt đối (MAE), căn bậc hai của sai số bình phương trung bình (RMSE), và sai số phần trăm tuyệt đối trung bình (MAPE). Kết quả cho thấy cả hai mô hình đều mang lại hiệu quả dự báo tốt; tuy nhiên, SARIMAX thể hiện ưu thế vượt trội nhờ khả năng tích hợp thông tin kinh tế vĩ mô. Nghiên cứu này cung cấp cơ sở dữ liệu và công cụ phân tích hữu ích, hỗ trợ công tác dự báo và ra quyết định chiến lược trong lĩnh vực quản lý cảng biển.

Từ khóa: Dự báo lượng hàng, SARIMA, SARIMAX, GDP.

ABSTRACT

Forecasting container throughput is an important step to support port authorities in planning and optimizing port operations. This study compares the forecasting performance of two time series models: SARIMA (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average) and SARIMAX (SARIMA extended with exogenous variables). The input data include quarterly container throughput at two Busan ports (Korea), along with quarterly Real Gross Domestic Product (GDP), collected from the Federal Reserve Economic Data (FRED) system. The accuracy is evaluated through three indicators: mean absolute error (MAE), root mean square error (RMSE), and mean absolute percentage error (MAPE). The results indicate that both models provide good forecasting performance, but SARIMAX shows superiority in utilizing macroeconomic information. This study provides useful database and tools for forecasting and strategic decision making in the field of seaport management.

Keywords: Throughput forecasting, SARIMA, SARIMAX, GDP

1. GIỚI THIỆU

Các cảng biển đóng vai trò then chốt trong việc thúc đẩy hoạt động thương mại toàn cầu, là trung tâm trung chuyển quan trọng ảnh hưởng đến chi phí vận tải, cấu trúc giá cả và hiệu quả lưu thông hàng hóa. Trong số các yếu tố vận hành, lượng hàng container thông qua cảng là một chỉ số thiết yếu đối với việc quy hoạch cơ sở hạ tầng và định hướng phát triển chiến lược. Tuy nhiên, lượng hàng này chịu ảnh hưởng từ nhiều yếu tố phức tạp như điều kiện kinh tế toàn cầu, chi phí vận chuyển, và các biến động chính trị - xã hội khó lường, khiến việc dự báo trở nên đầy thách thức [1].

Nhiều phương pháp dự báo đã được áp dụng để dự đoán lượng hàng hóa qua cảng, từ các mô hình thống kê truyền thống đến những kỹ thuật học máy hiện đại. Trong đó, các mô hình cổ điển như

ARIMA và SARIMA vẫn được ưa chuộng nhờ khả năng giải thích rõ ràng và hiệu quả trong việc mô hình hóa các quy luật tuyến tính theo thời gian. Bên cạnh đó, sự phát triển của các mô hình tích hợp biến ngoại sinh, như SARIMAX (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average with Exogenous Variables), đã mở ra hướng tiếp cận mới trong việc tận dụng thêm các yếu tố kinh tế vĩ mô - điển hình là GDP - nhằm nâng cao độ chính xác trong dự báo [5].

Trong nghiên cứu này, hai mô hình dự báo SARIMA và SARIMAX được áp dụng để phân tích và so sánh hiệu quả dự báo lượng hàng container thông qua cảng Busan. Trong đó, mô hình SARIMAX sử dụng thêm biến GDP làm biến ngoại sinh. Thông qua việc khai thác cả đặc điểm mùa vụ và ảnh hưởng của các yếu tố kinh tế vĩ mô, nghiên cứu kỳ vọng mang lại những gợi ý hữu ích cho công tác quản lý và ra quyết định tại các cảng biển.

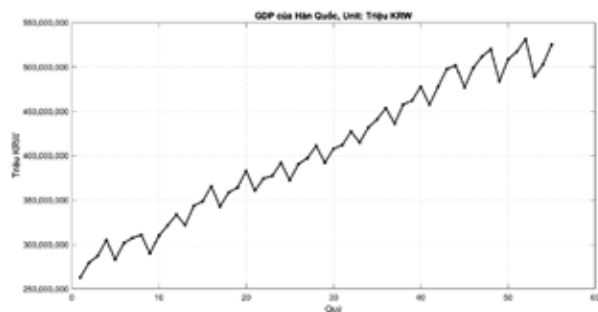
2. TỔNG QUAN VÀ DỮ LIỆU CHUỖI THỜI GIAN VỀ LƯỢNG HÀNG CONTAINER

Cảng Busan là cảng biển lớn nhất của Hàn Quốc và đứng trong nhóm những cảng container nhộn nhịp nhất thế giới. Là trung tâm trung chuyển chiến lược của khu vực Đông Á, cảng Busan đóng vai trò chủ chốt trong việc kết nối các luồng thương mại toàn cầu và là động lực quan trọng cho nền kinh tế Hàn Quốc.

Dữ liệu đầu vào cho các mô hình dự báo trong nghiên cứu này bao gồm lượng hàng container được thu thập từ báo cáo thường niên công bố trên trang web chính thức của cảng Busan [2]. Dữ liệu được chuẩn hóa theo đơn vị TEU (Twenty-foot Equivalent Units), phản ánh khối lượng container theo quý từ quý I năm 2007 đến quý IV 2023 (68 điểm quan sát) cho cảng Busan.



Hình 1. Lượng hàng container qua cảng Busan, Unit: Ngàn TEU



Hình 2. GDP của Hàn Quốc, Unit: Triệu Won

Ngoài ra, để phục vụ cho mô hình SARIMAX, biến ngoại sinh là Tổng sản phẩm quốc nội (GDP) cũng được đưa vào mô hình như một yếu tố kinh tế vĩ mô có khả năng ảnh hưởng đến lượng hàng hóa qua cảng. Dữ liệu GDP theo quý được lấy từ hệ thống FRED (Federal Reserve Economic Data) - một cơ sở dữ liệu kinh tế đáng tin cậy do Cục Dự trữ Liên bang (Hoa Kỳ) cung cấp [3]. Chỉ số GDP phản ánh tốt mối liên hệ giữa tăng trưởng kinh tế và lượng hàng container tại mỗi cảng.

Thông qua việc kết hợp dữ liệu thực tế của lượng hàng tại cảng Busan, cùng với biến kinh tế vĩ mô như GDP, nghiên cứu này nhằm đánh giá và so sánh hiệu quả dự báo giữa hai phương pháp SARIMA và SARIMAX trong bối cảnh đa dạng và phức tạp của thương mại quốc tế.

3. PHƯƠNG PHÁP CỦA CÁC MÔ HÌNH DỰ BÁO

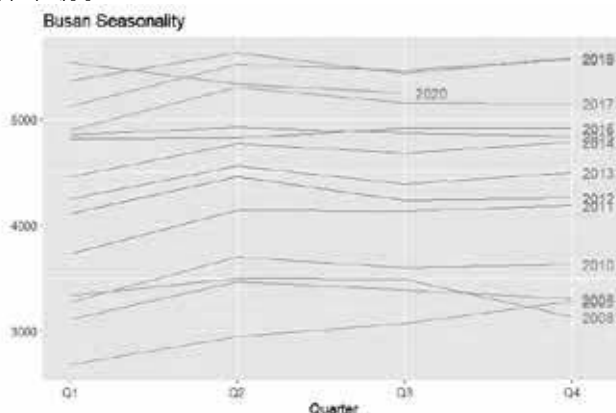
Đối với tập dữ liệu của cảng Busan, bài báo sử dụng 80% số liệu để huấn luyện mô hình và 20% còn lại để kiểm định và đánh giá hiệu quả dự báo. Cụ thể, 55 điểm dữ liệu đầu được dùng để xây dựng mô hình SARIMA và SARIMAX cho cảng. Phần còn lại 20% là 13 điểm dữ liệu được dùng để đánh giá hiệu suất dự báo của mô hình.

3.1. Mô hình SARIMA

Mô hình ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) là một trong những phương pháp phổ biến trong dự báo chuỗi thời

gian, đặc biệt hiệu quả khi dữ liệu có xu hướng tuyến tính và không có yếu tố mùa vụ [1,4]. Tuy nhiên, trong thực tế, nhiều chuỗi thời gian như lượng hàng container qua cảng thường có yếu tố mùa vụ. Qua hình 3 biểu đồ thể hiện sự thay đổi theo quý (Q1 → Q4) của lượng hàng tại cảng Busan qua nhiều năm. Giai đoạn (2009 - 2014) đều cho thấy sự gia tăng lượng hàng trong Q2 so với Q1. Sau khi tăng mạnh ở Q2, nhiều năm có xu hướng giảm nhẹ hoặc đi ngang trong Q3 và sau đó phục hồi hoặc giảm nhẹ ở Q4.

Để phản ánh điều này, mô hình SARIMA (Seasonal ARIMA) được sử dụng với phần mở rộng cho yếu tố mùa vụ, giúp cải thiện độ chính xác trong dự báo. Mô hình này được ký hiệu là SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)[5].



Hình 3. Đồ thị kiểm tra tính mùa vụ của lượng hàng tại cảng Busan

Phương trình tổng quát của mô hình SARIMA

$$y_t = \sum_{i=1}^p \phi_i y_{t-i} + \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t-j} + \sum_{k=1}^P \phi_k y_{t-ks} + \sum_{l=1}^Q \theta_l \varepsilon_{t-ls} + \varepsilon_t \quad (1)$$

Trong đó, y_t là giá trị của chuỗi thời gian tại thời điểm t . Các tham số của mô hình được giải thích như sau:

p là bậc của thành phần tự hồi quy (AR), đại diện cho số lượng giá trị trong quá khứ ảnh hưởng đến giá trị hiện tại; **d** là bậc sai phân, dùng để loại bỏ xu hướng trong dữ liệu và giúp chuỗi trở nên dừng; **q** là bậc của thành phần trung bình trượt (MA), phản ánh mối quan hệ giữa giá trị hiện tại và các sai số dự báo trong quá khứ;

P, D, Q là các tham số tương ứng với thành phần mùa vụ của mô hình; **s** là chu kỳ mùa vụ. Với dữ liệu theo quý $s = 4$. $\phi_i, \theta_j, \phi_k, \theta_l$ là các hệ số của các thành phần AR và MA (không mùa vụ và theo mùa); ε_t là nhiễu trắng (white noise), tức là sai số ngẫu nhiên tại thời điểm t , không có tính chu kỳ hay xu hướng.

3.2. Mô hình SARIMAX

SARIMAX là phần mở rộng của mô hình SARIMA, cho phép bổ sung thêm các biến ngoại sinh (exogenous variables – X) vào quá trình dự báo. Điều này đặc biệt hữu ích khi có các yếu tố bên ngoài ảnh hưởng đến chuỗi thời gian cần dự báo. Cấu trúc tổng quát của mô hình SARIMAX [1] có thể được diễn giải qua phương trình (2):

$$y_t = \text{SARIMA components} + \sum \beta_i X_{i,t} + \varepsilon_t \quad (2)$$

Trong đó, X_t là giá trị biến ngoại sinh tại thời điểm t , β là hệ số hồi quy phản ánh mức độ ảnh hưởng của biến ngoại sinh đến biến phụ thuộc y_t , SARIMA components là các thành phần còn lại tương tự như trong mô hình SARIMA.

3.3. Quy trình xây dựng các mô hình

Lưu đồ trong hình mô tả quy trình xây dựng mô hình SARIMA và SARIMAX. Để đánh giá tính dừng của chuỗi sử dụng kiểm định ADF, KPSS và PP [7]. Việc kết hợp nhiều kiểm định giúp tăng độ tin cậy của kết luận về tính dừng. Nếu chuỗi chưa dừng, việc sai phân (differencing) sẽ được thực hiện tiếp tục cho đến khi chuỗi trở nên dừng.



Hình 4. Lưu đồ xây dựng mô hình SARIMA và SARIMAX

Sau đó, việc xác định các tham số (p, d, q) và (P, D, Q) của mô hình được hỗ trợ thông qua phân tích hàm tự tương quan (ACF) và hàm tự tương quan riêng phần (PACF) [1,4,7]. Khi đã xác định được tập hợp các mô hình khả thi, lựa chọn mô hình tối ưu sẽ dựa vào các tiêu chí đánh giá như AIC, BIC và MAPE [4,7]. Tiêu chí này giúp cân bằng giữa độ phù hợp của mô hình và mức độ phức tạp (số lượng tham số), từ đó tránh hiện tượng quá khớp (overfitting). Công thức AIC [7] được diễn giải qua phương trình (3):

$$AIC = \ln \frac{\sum_{t=1}^n \epsilon_t^2}{n} + \frac{2h}{n} \quad (3)$$

Trong đó, n là số điểm dữ liệu, ϵ_t là sai số ngẫu nhiên tại thời điểm t, h là số lượng tham số của mô hình

Sau khi mô hình được xây dựng, cần kiểm định tính phù hợp thông qua phân tích phần dư. Phần dư phải có phân phối ngẫu nhiên, không chứa thông tin có cấu trúc (white noise). Kiểm định Ljung-Box Q [1] thường được sử dụng để xác minh rằng không tồn tại tự tương quan còn sót lại trong phần dư.

Mô hình SARIMAX với việc đưa thêm biến ngoại sinh giúp mô hình phản ánh tốt hơn các yếu tố kinh tế vĩ mô ảnh hưởng đến lượng hàng hóa qua cảng, từ đó cải thiện độ chính xác của dự báo. Điều kiện cần đáp ứng là biến ngoại sinh phải có mối tương quan với dữ liệu lượng hàng và đảm bảo các điều kiện về tính dừng, được chuẩn hóa trước khi đưa vào mô hình. Các giá trị của biến ngoại sinh trong giai đoạn dự báo cần phải được cung cấp trước, thông qua các kịch bản kinh tế giả định hoặc các mô hình dự báo riêng biệt dành cho các biến ngoại sinh.

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

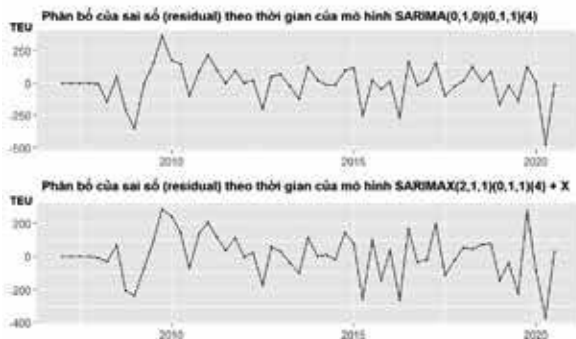
4.1. Kết quả kiểm định mô hình

Hai mô hình SARIMA và SARIMAX được chọn có thông số mô hình trong Bảng 1:

Bảng 1. Thông số các mô hình dự báo cho cảng Busan

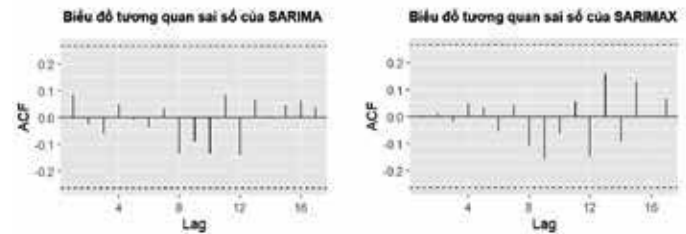
Mô hình	Cấu hình mô hình	AIC	Ljung-Box p-value
SARIMA	SARIMA (0,1,0)(0,1,1)[4]	652.25	0.9467
SARIMAX	SARIMAX (2,1,1)(0,1,1) [4] + X	654.87	0.8452

Cả hai mô hình được chọn dựa trên chỉ số AIC thấp nhất, cả hai đều vượt qua kiểm định Ljung-Box ($p > 0.05$) cho thấy phần dư gần như ngẫu nhiên.



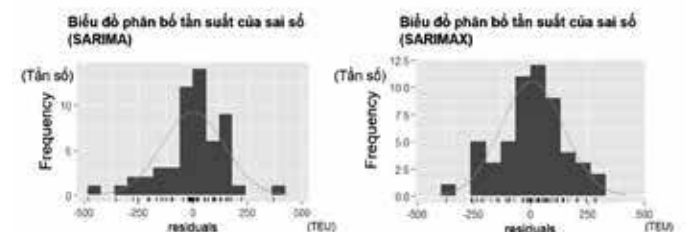
Hình 5. Biểu diễn sai số (residual) theo thời gian của hai mô hình SARIMA và SARIMAX

Trong Hình 5, sai số (residual) theo thời gian dao động tương đối ổn định quanh 0, không có xu hướng rõ ràng ở cả hai mô hình cho thấy sai số là ngẫu nhiên. Sai số ở mô hình SARIMAX dao động giảm nhẹ hơn so với SARIMA.



Hình 6. Biểu đồ kiểm định tương quan giữa các sai số trong từng mô hình

Đối với kết quả ACF của residuals, tất cả các thanh ở hai mô hình đều nằm trong khoảng tin cậy, dấu hiệu sai số không có tính tự tương quan với nhau (Hình 6). Phân phối của residuals trong mô hình SARIMA hơi lệch, có phần đuôi dài biểu thị residuals chưa hoàn toàn tuân theo phân phối chuẩn. Trong khi đó residual trong mô hình SARIMAX đối xứng và tiệm cận hơn với đường cong phân phối chuẩn, cho thấy residuals gần tuân theo phân phối chuẩn hơn mô hình SARIMA, tức mô hình đã giải thích tốt phần lớn dao động của dữ liệu (Hình 7).



Hình 7. Biểu đồ phân bố tần suất của sai số trong từng mô hình

4.2. Kết quả dự báo cho cảng Busan

Kết quả dự báo cụ thể được trình bày trong Bảng 2:

Bảng 2: So sánh độ chính xác của hai mô hình SARIMA và SARIMAX trong dự báo lượng hàng container tại cảng Busan

Năm – Quý	Dữ liệu thực (10 ³ TEU)	SARIMA		SARIMAX	
		Dự báo (10 ³ TEU)	Sai số (%)	Dự báo (10 ³ TEU)	Sai số (%)
2020.4	5716	5278.29	7.66	5440.39	4.82
2021.1	5555	5224.52	5.95	5383.98	3.08
2021.2	5897	5449.63	7.59	5574.15	5.47
2021.3	5598	5369.90	4.07	5492.12	1.89
2021.4	5656	5405.19	4.43	5558.86	1.72
2022.1	5586	5351.42	4.20	5506.00	1.43
2022.2	5672	5576.53	1.68	5697.52	0.45
2022.3	5461	5496.81	0.66	5617.54	2.87
2022.4	5359	5532.09	3.23	5691.43	6.20
2023.1	5676	5478.33	3.48	5636.77	0.69
2023.2	5916	5703.43	3.59	5828.64	1.48
2023.3	5755	5623.71	2.28	5748.85	0.11
2023.4	5807	5659.00	2.55	5822.11	0.26
		Trung bình:		Trung bình:	
		3.95		2.34	

Quan sát bảng sai số cho thấy mô hình SARIMAX thể hiện ưu thế vượt trội hơn mô hình SARIMA trong các giai đoạn có biến động mạnh về khối lượng hàng hóa, đặc biệt là trong giai đoạn dự báo có bị ảnh hưởng bởi COVID-19. Điều này cũng có vai trò của biến ngoại sinh trong việc nắm bắt các cú sốc thị trường không thể hiện rõ qua

dữ liệu nội sinh. Biểu đồ Hình 8 minh họa trực quan khả năng dự báo của hai mô hình:



Hình 8. So sánh kết quả dự báo của hai mô hình SARIMA và SARIMAX tại cảng Busan

Để đánh giá định lượng độ chính xác của các mô hình, ba chỉ số sai số gồm MAE (Mean Absolute Error), RMSE (Root Mean Squared Error) và MAPE (Mean Absolute Percentage Error) đã được tính toán cho cả hai mô hình SARIMA và SARIMAX. Kết quả được tổng hợp trong Bảng 3:

Bảng 3: Đánh giá độ chính xác của các mô hình dự báo tại cảng Busan

Model		MAE (10 ³ TEU)	RMSE (10 ³ TEU)	MAPE (%)
SARIMA	Huấn luyện (55 data point)	97.64	142.03	2.38
	Dự báo (13 data point)	224.84	253.39	3.95
	Tổng thể (68 data point)	121.96	169.09	2.68
SARIMAX	Huấn luyện (55 data point)	102.23	136.00	2.41
	Dự báo (13 data point)	131.91	171.33	2.34
	Tổng thể (68 data point)	107.91	143.43	2.40

Từ Bảng 3 có thể thấy, cả hai mô hình đều cho kết quả dự báo rất tốt. Tuy nhiên, mô hình SARIMAX dự báo tốt hơn SARIMA khi đưa thêm biến ngoại sinh phù hợp, giúp cải thiện đáng kể độ chính xác dự báo, đặc biệt trong các giai đoạn có yếu tố tác động bất thường từ bên ngoài. Mặc dù về tỷ lệ phần trăm (MAPE) của SARIMAX chỉ cải thiện thêm khoảng 1.5 % so với SARIMA, nhưng nếu nhìn vào đơn vị TEU thì hiệu quả đó khá đáng kể. Với MAE (Dự báo), SARIMA có sai số trung bình 224.84×10^3 TEU, còn SARIMAX chỉ còn 131.91×10^3 TEU tức giảm khoảng 92.930 TEU trên mỗi bước dự báo. Với RMSE (Dự báo), SARIMA là 253.39×10^3 TEU, SARIMAX còn 171.33×10^3 TEU tức giảm khoảng 82.060 TEU. Trong bối cảnh một cảng lớn như Busan, việc dự báo chính xác có thể giúp tối ưu trong vận hành, điều này cực kỳ có ý nghĩa đối với việc hoạch định nhân lực, thiết bị và logistics.

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã đánh giá hiệu quả dự báo của hai phương pháp chuỗi thời gian là SARIMA và SARIMAX, sử dụng dữ liệu lượng hàng container theo quý tại cảng Busan. Kết quả cho thấy cả hai mô hình đều đưa ra dự báo đáng tin cậy, trong đó SARIMAX thể hiện độ chính xác cao hơn, đặc biệt ở những giai đoạn có nhiều biến động và ảnh hưởng từ các yếu tố bên ngoài.

Mô hình SARIMA, dựa trên phân tích thống kê chuỗi thời gian truyền thống, có khả năng mô hình hóa tốt các quan hệ tuyến tính và phù hợp với các dữ liệu có xu hướng ổn định. Tuy nhiên, hạn chế của SARIMA nằm ở việc xử lý kém hiệu quả các mối quan hệ phi tuyến hoặc những thay đổi bất thường trong dữ liệu, khiến độ chính xác dự báo giảm khi có nhiều biến động.

Mô hình SARIMAX, bằng cách đưa thêm các biến ngoại sinh thích hợp, giúp mô hình thích ứng tốt hơn với các yếu tố bên ngoài,

từ đó nâng cao độ chính xác dự báo trong các tình huống thực tế. Mô hình này tỏ ra đặc biệt hữu ích trong bối cảnh ngành cảng biển hiện đại, nơi lượng hàng container khai thác thường chịu ảnh hưởng bởi các yếu tố kinh tế, chính sách hoặc sự kiện toàn cầu.

Trong tương lai, các hướng nghiên cứu có thể mở rộng theo hướng kết hợp các mô hình lai, tích hợp điểm mạnh của SARIMA trong việc mô hình hóa tuyến tính với khả năng xử lý phi tuyến của các phương pháp như mạng nơ-ron nhân tạo, để nâng cao hơn nữa hiệu quả dự báo.

Tổng thể, kết quả nghiên cứu khẳng định tính ứng dụng thực tiễn của các mô hình dự báo chuỗi thời gian trong hỗ trợ ra quyết định dựa trên dữ liệu cho công tác quản lý và quy hoạch cảng biển.

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả chân thành cảm ơn Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG – TP.HCM đã tạo điều kiện về thời gian và phương tiện vật chất cho nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Arunraj, N. S., & Ahrens, D. (2016). Application of SARIMAX model to forecast daily sales in food retail industry. *International Journal of Operations Research and Information Systems*, 7(2), 1-22.
- [2]. Busan Port Authority. (n.d.). Port Statistics. Retrieved from <https://www.busanpa.com/eng/Board.do?mCode=MN0043>
- [3]. Federal Reserve Bank of St. Louis. (n.d.). ALFRED - Archival Federal Reserve Economic Data. Retrieved May 23, 2025, from <https://alfred.stlouisfed.org/>
- [4]. Huang, J., Chu, C.-W., & Tsai, Y.-C. (2020). Container throughput forecasting for international ports in Taiwan. *Journal of Marine Science and Technology*, 28(5), 456-469.
- [5]. Gosasang, V., Chandraprakaikul, W., & Kiattisun, S. (2011). A comparison of traditional and neural networks forecasting techniques for container throughput at Bangkok Port. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 27(3), 463-482.
- [6]. Yulianti, R., Amanda, N. T., Notodiputro, K. A., Angraini, Y., & Mualifah, L. N. A. (2025). Comparison of SARIMA and SARIMAX methods for forecasting harvested dry grain prices in Indonesia. *Barekeng: Journal of Mathematics and Its Applications*, 19(1), 0319-0330.

Ứng dụng mô hình System Dynamics trong mô phỏng và đánh giá phương án đầu tư xây dựng dự án nhà phố - chung cư

Application of System Dynamics modeling in simulating and evaluating townhouse - condominium investment alternatives

> NGUYỄN HOÀI NGHĨA

Khoa KT&QLXD, Trường Đại học Quốc tế - Đại học Quốc gia TP.HCM

Email: nhnghia@hcmiu.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu này áp dụng phương pháp System Dynamics (SD) để mô phỏng và đánh giá hiệu quả tài chính của phương án đầu tư nhà phố - chung cư. Mô hình được xây dựng với các biến số chủ yếu như chi phí xây dựng, diện tích, tỷ lệ nhà phố - chung cư, tỷ lệ giao dịch, tỷ lệ vay/ vốn chủ sở hữu. Dữ liệu thu thập và các kịch bản được thực hiện để đánh giá sự biến động của doanh thu và lợi nhuận trong suốt vòng đời dự án. Kết quả mô phỏng cho thấy lợi nhuận chịu tác động bởi tỷ lệ nhà phố - chung cư, số tầng của chung cư, và diện tích căn hộ chung cư. Kết quả nghiên cứu cung cấp một công cụ hữu ích hỗ trợ nhà đầu tư, nhà phát triển dự án và nhà hoạch định chính sách trong việc ra quyết định, đồng thời chứng minh tiềm năng ứng dụng System Dynamics trong quản lý và đánh giá các dự án bất động sản nhà ở tại Việt Nam.

Từ khóa: Bất động sản, nhà phố - chung cư, lợi nhuận, mô phỏng, System Dynamics.

ABSTRACT

This study applies the System Dynamics (SD) method to simulate and evaluate the financial efficiency of the townhouse - apartment investment plan. The model is built with main variables such as construction cost, area, townhouse - apartment ratio, transaction rate, loan/equity ratio. Collected data and scenarios are implemented to evaluate the fluctuations of revenue and profit throughout the project life cycle. Simulation results show that profit is affected by the townhouse - apartment ratio, the number of floors of the apartment, and the area of the apartment. The research results provide a useful tool to support investors, project developers and policy makers in decision making, and demonstrate the potential of applying System Dynamics in the management and evaluation of residential real estate projects in Vietnam.

Keywords: Real estate, townhouse-condominium, profit, simulation, System Dynamics.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bất động sản là một trong những ngành kinh tế chủ chốt tại Việt Nam, đóng góp lớn vào GDP và ảnh hưởng sâu rộng đến nhiều lĩnh vực khác như tài chính, xây dựng và phát triển đô thị. Đặc biệt tại các đô thị lớn như TP.HCM, tốc độ đô thị hóa nhanh cũng như áp lực gia tăng dân số đã khiến nhu cầu nhà ở ngày càng tăng cao. Theo Bộ Xây dựng (năm 2022), diện tích nhà ở bình quân đầu người tại đô thị Việt Nam dù đã tăng từ 19,5 m² (năm 2015) lên 25,0 m² (năm 2022), nhưng vẫn thấp hơn đáng kể so với các quốc gia trong khu vực như Thái Lan hay Malaysia [1]. Tuy nhiên, thị trường bất động sản TP.HCM đang đối mặt với nhiều thách thức lớn, như lãi suất tín dụng tăng mạnh từ 8,5% năm 2021 lên 11,2% năm 2023, ảnh hưởng đáng kể tới khả năng huy động vốn của chủ đầu tư lẫn người mua nhà. Bên cạnh đó, giá vật liệu xây dựng leo thang do lạm phát và gián đoạn chuỗi cung ứng cũng làm chi phí xây dựng tăng từ 15%-20% so với năm 2020, gây áp lực lớn lên hiệu quả đầu tư.

Trong khi đó, nhu cầu nhà ở tại TP.HCM đang thay đổi rõ rệt theo xu hướng tiêu dùng hiện đại. Căn hộ chung cư ngày càng được ưa chuộng bởi các khách hàng trẻ và gia đình trung lưu nhờ giá thành hợp lý, tiện ích đầy đủ và khả năng thanh khoản tốt. Ngược lại, nhà phố thấp tầng vẫn là lựa chọn hấp dẫn với nhà đầu tư dài hạn nhờ sự ổn định về giá trị tài sản, ít bị ảnh hưởng bởi chu kỳ kinh tế, nhưng đòi hỏi vốn đầu tư lớn và thời gian thu hồi vốn kéo dài. Do đó, quyết định lựa chọn đầu tư giữa hai loại hình này không chỉ phụ thuộc vào lợi nhuận kỳ vọng mà còn liên quan đến việc quản lý rủi ro tài chính dài hạn của các chủ đầu tư dự án. Nghiên cứu này sử dụng mô hình động lực học hệ thống (System Dynamics - SD) để mô phỏng, phân tích các yếu tố tác động đến hiệu quả đầu tư của hai loại hình bất động sản nói trên, từ đó đề xuất các chiến lược đầu tư tối ưu cho nhà đầu tư trong điều kiện thị trường biến động.

2. CÁC NGHIÊN CỨU TRƯỚC ĐÂY

2.1. Nghiên cứu trong nước

Bùi và Phạm (2024) tiến hành nghiên cứu các yếu tố tác động đến khả năng sinh lời của các doanh nghiệp bất động sản niêm yết tại Việt Nam [2]. Dữ liệu nghiên cứu được thu thập từ 65 doanh nghiệp bất động sản niêm yết trên Sở Giao dịch Chứng khoán TP.HCM (HoSE) và Sở Giao dịch Chứng khoán Hà Nội (HNX) trong thời gian từ năm 2010 đến năm 2022. Nghiên cứu đã áp dụng mô hình hồi quy theo phương pháp bình phương tối thiểu tổng quát khả thi (FGLS) để phân tích dữ liệu. Kết quả cho thấy quy mô công ty, khả năng thanh toán ngắn hạn và tăng trưởng doanh thu là những yếu tố có tác động tích cực đến khả năng sinh lời thông qua việc đánh giá tỷ suất sinh lời của tài sản (ROA). Trên cơ sở đó, nghiên cứu đã đề xuất một số hàm ý quản trị nhằm nâng cao khả năng sinh lời tại các công ty bất động sản niêm yết ở Việt Nam.

Trần (2024) đã áp dụng mô hình định giá tài sản vốn được Chen và cộng sự giới thiệu năm 2011 vào ngành bất động sản [3]. Với phương pháp ước lượng sai số chuẩn mạnh, nghiên cứu đã đánh giá mức độ ảnh hưởng của các nhân tố đến chi phí sử dụng vốn chủ sở hữu của 70 công ty bất động sản niêm yết trên thị trường chứng khoán Việt Nam trong giai đoạn từ năm 2010 đến năm 2022. Kết quả đã chỉ rõ ba nhân tố bao gồm rủi ro thị trường, quy mô công ty, tỷ số giá trị làm tăng chi phí sử dụng vốn chủ sở hữu của công ty, trong khi đó nhân tố cổ tức làm giảm chi phí sử dụng vốn chủ sở hữu. Như vậy, cả bốn nhân tố rủi ro thị trường, quy mô công ty, tỷ số giá trị và rủi ro thị trường bất động sản đều có xu hướng làm tăng rủi ro cho các công ty và nhà đầu tư. Một số kiến nghị liên quan đến chính sách được đề xuất nhằm hạn chế rủi ro cho các công ty bất động sản ở Việt Nam và nhà đầu tư bao gồm việc đáp ứng nguồn vốn đầy đủ và kịp thời cho các dự án bất động sản.

Một nghiên cứu khác đã chỉ ra rằng các công ty bất động sản tại Việt Nam trong giai đoạn 2008 - 2018 có sử dụng vay nợ ngắn hạn và nợ dài hạn để tài trợ cho hoạt động kinh doanh nhưng đa phần là nợ ngắn hạn [4]. Tuy nhiên, các công ty này không thực hiện điều chỉnh cấu trúc kỳ hạn nợ một cách hợp lý. Do đó, nếu có sự sai lệch trong quyết định về cấu trúc kỳ hạn nợ, công ty có thể phải chịu những thiệt hại tài chính nhất định. Từ phân tích này, nghiên cứu đã nhấn mạnh các nhà quản trị tài chính cần xem xét đặc điểm cụ thể của từng doanh nghiệp để xây dựng và thực hiện chính sách kỳ hạn nợ phù hợp. Các yếu tố như quy mô công ty, cơ hội tăng trưởng và khả năng thanh khoản là những đặc điểm mà nhà quản trị tài chính cần quan tâm, trong đó cơ hội tăng trưởng trong tương lai được xác định là yếu tố ảnh hưởng mạnh nhất đến quyết định vay nợ dài hạn của các công ty bất động sản tại Việt Nam. Với việc chỉ nghiên cứu những đặc điểm công ty có tác động đến cấu trúc kỳ hạn nợ của các công ty bất động sản niêm yết trên sàn HOSE và vận dụng mô hình tĩnh và mô hình động, nghiên cứu này sẽ góp phần đặt nền tảng cho các nghiên cứu tiếp theo trong lĩnh vực quản trị tài chính doanh nghiệp tại Việt Nam.

Nguyễn (2021) đã đánh giá tác động của các yếu tố đến hiệu quả của các doanh nghiệp bất động sản niêm yết tại Việt Nam trong thời kỳ 2010 - 2019. Đầu tiên, nghiên cứu đo lường mức độ hiệu quả của các doanh nghiệp bằng phương pháp phân tích bao dữ liệu (Data Envelopment Analysis - DEA). Sau đó, nghiên cứu sử dụng mô hình Tobit Bayesian Model Averaging (BMA) để xác định các yếu tố tác động đến hiệu quả của các doanh nghiệp này. Kết quả nghiên cứu cho thấy hiệu quả theo quy mô trung bình của các doanh nghiệp ở mức 93,01%, với giá trị CRSTE và VRSTE lần lượt là 80,50% và 86,61%. Kết quả cho thấy các doanh nghiệp chưa sử dụng tối đa các nguồn lực đầu vào. Kết quả mô hình Tobit BMA chỉ ra rằng quy mô doanh nghiệp, vòng quay tài sản, khả năng sinh lời, tỷ lệ sở hữu

của người nước ngoài, giá bất động sản, chỉ số tiếp cận đất đai, tăng trưởng kinh tế, tính dễ tổn thương của khu vực ngân hàng và hiệu quả Chính phủ có tác động cùng chiều, trong khi đó rủi ro hệ thống, cấu trúc vốn, lãi suất và lạm phát có tác động ngược chiều đến hiệu quả của các doanh nghiệp bất động sản tại Việt Nam.

Mặc dù, các nghiên cứu được tiến hành để xác định tác động của các yếu tố liên quan đến bất động sản, tác động qua lại của các yếu tố chưa được đánh giá cụ thể bằng phương pháp phù hợp. Do đó, tại Việt Nam, một số nghiên cứu ứng dụng mô hình động lực học hệ thống (System Dynamics - SD) được áp dụng trong lĩnh vực xây dựng và bất động sản trong khoảng hơn một thập kỷ qua nhằm mục tiêu mô phỏng, dự báo và hỗ trợ ra quyết định trong các giai đoạn khác nhau của dự án. Lưu và Nguyễn (2011) là những người đầu tiên vận dụng mô hình SD vào đánh giá kinh tế - tài chính trong các dự án bất động sản tại TP. HCM [6]. Trong nghiên cứu này, các tác giả đã thiết lập mô hình động dựa trên những biến số như biến động số lượng căn hộ và khu thương mại theo từng giai đoạn bán hàng, chi phí xây dựng theo từng thời điểm, chi phí lãi vay và tỷ lệ vốn chủ sở hữu trên vốn vay. Qua đó, nghiên cứu cho thấy khả năng của mô hình SD trong việc dự báo lợi nhuận và đánh giá mức độ rủi ro tài chính theo các điều kiện thị trường biến động.

Nguyễn và Lưu (2015) cũng đã áp dụng SD để phát triển một mô hình chi tiết hơn nhằm dự báo lợi nhuận của các công ty bất động sản thông qua khảo sát chuyên gia và phân tích thống kê [7]. Nghiên cứu đã xác định được 19 yếu tố ảnh hưởng và chia thành bốn hệ thống phụ bao gồm đặc điểm hộ gia đình và nhu cầu nhà ở, kinh tế - tài chính, cung nhà và chi phí xây dựng. Các tác giả đã xây dựng sơ đồ nhân quả nhằm minh họa rõ mối quan hệ tương tác phức tạp giữa các yếu tố này, từ đó làm nền tảng cho việc phát triển các mô hình định lượng để hỗ trợ dự báo lợi nhuận một cách chính xác và đáng tin cậy hơn.

Trong một nghiên cứu tiếp theo, Nguyễn và Chinda (2018) đã sử dụng mô hình SD để phân tích lợi nhuận dài hạn của các dự án nhà ở tại TP.HCM [8]. Nghiên cứu đã xác định năm nhóm yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến lợi nhuận gồm: dân số đô thị, sức mua của người dân, nguồn cung nhà ở, các yếu tố kinh tế vĩ mô và tài chính nhà ở. Các tác giả đã mô phỏng diễn biến lợi nhuận trong khoảng thời gian 20 năm, từ đó xác định lợi nhuận trung bình dự kiến khoảng 35% (dao động từ 19% đến 41%) và đề xuất chiến lược đầu tư tối ưu gồm tỷ lệ đặt cọc khoảng 30%, thời gian trả góp lên tới 25 năm, và duy trì tỷ lệ nợ/vốn chủ sở hữu khoảng 40%, sẽ giúp tối đa hóa lợi nhuận cũng như ổn định giá bán và tài chính dự án trong giai đoạn đầu.

Gần đây nhất, Nguyễn và cộng sự (2023) đã tiếp tục mở rộng ứng dụng của mô hình SD trong việc đánh giá hiệu quả đầu tư loại hình căn hộ thông minh (Smarthome) [9]. Nghiên cứu đã xác định và đánh giá mức độ ảnh hưởng của các yếu tố như chi phí xây dựng, chi phí thiết bị Smarthome, lãi suất vay xây dựng và giá bán căn hộ. Trên cơ sở đó, nhóm tác giả xây dựng mô hình động nhằm mô phỏng tác động của các yếu tố trên đến hiệu quả đầu tư để xác định được phương án đầu tư tối ưu. Kết quả mô phỏng cho thấy không phải lúc nào việc tăng tỷ lệ xây dựng căn hộ thông minh cũng mang lại lợi nhuận tối đa, và tỷ lệ xây dựng tối ưu được khuyến nghị là khoảng 16%, giúp chủ đầu tư vừa đạt được lợi nhuận cao nhất vừa tránh các rủi ro liên quan đến việc tồn kho.

Bên cạnh đó, Nguyễn và cộng sự (2023) đã tập trung vào việc xác định các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu quả tài chính của các dự án chung cư cao tầng dành cho người thu nhập thấp [10]. Thông qua phương pháp đánh giá dựa trên mức độ xảy ra và mức độ tác động, nghiên cứu đã xác định được mức độ rủi ro của từng yếu tố đối với hiệu quả đầu tư. Kết quả cho thấy phần lớn các yếu tố đều nằm trong ngưỡng rủi ro trung bình đến cao, trong đó nổi bật là những rủi ro liên quan đến chi phí và tiến độ như: chi phí xây dựng tăng đột

biến, thời gian thi công kéo dài, thiếu cơ chế kiểm soát chi phí hiệu quả, năng lực thi công hạn chế, sai lệch trong dự toán, các bên liên quan dự án phối hợp kém và chất lượng vật liệu kém. Những phát hiện này một lần nữa nhấn mạnh tầm quan trọng của việc tích hợp mô hình hệ thống như SD để mô phỏng rủi ro và hỗ trợ nhà đầu tư đưa ra quyết định chính xác hơn trong điều kiện kinh tế biến động.

2.2. Nghiên cứu quốc tế

Nhiều công trình quốc tế cũng đã ứng dụng mô hình động lực học hệ thống (System Dynamics - SD) để phân tích, dự báo và hoạch định chính sách trong lĩnh vực nhà ở đô thị. Marzouk và Hosny (2016) đã xây dựng mô hình SD để phân tích cung - cầu trong thị trường nhà ở tại Ai Cập, đặc biệt là phân khúc nhà ở giá rẻ [11]. Các tác giả đã tiến hành mô phỏng mối quan hệ giữa các biến số trong mô hình. Kết quả phân tích cho thấy nhu cầu nhà ở giá rẻ vượt xa nguồn cung thực tế, dẫn đến áp lực lớn đối với chính sách phát triển nhà ở quốc gia.

Zhang và cộng sự (2018), mặt khác, đã phát triển một mô hình SD để mô phỏng thị trường nhà ở đô thị tại Trung Quốc với mục tiêu hỗ trợ đào tạo doanh nghiệp và đánh giá các chính sách đất đai [12]. Nghiên cứu mô phỏng các yếu tố đặc trưng như đầu cơ và cơ chế tài chính đất đai, từ đó phân tích các kịch bản chính sách theo hướng mệnh lệnh và thị trường. Kết quả cho thấy SD có khả năng phản ánh chính xác sự thay đổi của giá nhà cũng như tác động của các chính sách đối với thị trường bất động sản.

Một nghiên cứu khác ứng dụng SD để mô phỏng thị trường bất động sản được tiến hành ở Hàn Quốc [13]. Các tác giả đã xây dựng một mô hình mô phỏng động nhằm đánh giá tính khả thi kinh tế của dự án phát triển căn hộ. Mô hình xác định năm yếu tố rủi ro then chốt như giá bán, tỷ lệ bán hàng, chi phí xây dựng, giá đất và chi phí tài chính. Mô hình đã ứng dụng vào mô phỏng một dự án thực tế. Kết quả nghiên cứu đã chứng minh khả năng dự báo chính xác tác động của từng yếu tố, từ đó hỗ trợ chủ đầu tư tìm ra các điều kiện tối ưu cho hiệu quả tài chính.

Tại Hoa Kỳ, Ali và cộng sự (2020) đã sử dụng mô hình SD để phân tích mối quan hệ giữa tăng trưởng dân số và biến động cung - cầu nhà ở trong dài hạn [14]. Mô hình tích hợp các yếu tố dân số như tỷ lệ sinh, di cư, tuổi thọ và thời vụ xây dựng để mô phỏng nhu cầu nhà ở theo từng tháng. Kết quả chứng minh rằng SD là một công cụ hữu ích trong việc thử nghiệm các kịch bản tăng trưởng, đặc biệt phù hợp cho các nhà hoạch định chính sách và nhà phát triển bất động sản quy mô lớn.

Gần đây hơn, Yang và cộng sự (2021) đã áp dụng mô hình SD để dự báo tổng cung nhà ở tại TP. Hồ Chí Minh (Trung Quốc) hướng tới mục tiêu phát triển bền vững [15]. Nghiên cứu mô hình hóa quá trình tăng trưởng và phá dỡ nhà ở theo thời gian, đồng thời thử nghiệm các chính sách liên quan đến diện tích sàn, tuổi thọ công trình và tái chế vật liệu xây dựng. Trong số các chính sách được mô phỏng và đánh giá, việc tái sử dụng gạch và bê tông từ công trình cũ được xác định là giải pháp hiệu quả nhất để giảm thiểu tác động môi trường.

Rachmawati và Kim (2022) đã đề xuất một mô hình SD phục vụ quản lý rủi ro trong các dự án phát triển chung cư [16]. Mô hình tập trung vào các yếu tố rủi ro kinh tế như chi phí xây dựng, chi phí tài chính, giá đất và giá bán, đồng thời thiết lập các giới hạn kiểm soát để đảm bảo lợi nhuận ổn định. Bằng việc áp dụng mô hình vào một dự án thực tế, nghiên cứu cho thấy hiệu quả rõ rệt của mô hình quản lý rủi ro trong việc duy trì lợi nhuận tối ưu ngay cả khi các điều kiện thị trường có nhiều biến động.

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu được tiến hành theo quy trình dưới đây:

- Bước 1: Lược khảo các nghiên cứu trước nhằm xác định khoảng trống nghiên cứu và định hướng mục tiêu.

- Bước 2: Kết hợp phỏng vấn chuyên gia và tổng hợp tài liệu để xác định các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu quả đầu tư dự án nhà ở.

- Bước 3: Phát triển bảng câu hỏi khảo sát, thu thập và xử lý dữ liệu khảo sát nhằm đánh giá mức độ ảnh hưởng của từng yếu tố đến hiệu quả vốn đầu tư.

- Bước 4: Xây dựng sơ đồ nhân quả dựa trên lý thuyết System Dynamics để mô hình hóa mối quan hệ giữa các yếu tố.

- Bước 5: Mô phỏng, phân tích kịch bản và đưa ra kết luận, kiến nghị phục vụ ra quyết định đầu tư.

3.1. Hệ thống động (System Dynamic - SD)

Mô hình động lực học hệ thống (System Dynamics - SD), do Jay Forrester đề xuất lần đầu vào năm 1961, là một phương pháp mô phỏng mạnh mẽ nhằm phân tích hành vi của các hệ thống phức tạp theo thời gian. Trong lĩnh vực bất động sản, SD được sử dụng để mô hình hóa các mối quan hệ động giữa các yếu tố tài chính, thị trường và chính sách, từ đó cung cấp cho nhà đầu tư một cái nhìn toàn diện về tác động tương hỗ của các biến số đến hiệu quả đầu tư trong dài hạn. Khác với các mô hình tĩnh truyền thống, SD cho phép mô phỏng chu kỳ biến động của thị trường, dự báo xu hướng trong tương lai và đánh giá tác động của các chính sách vĩ mô lên hành vi đầu tư.

Trong nghiên cứu này, mô hình SD được xây dựng nhằm phân tích hiệu quả vốn đầu tư giữa hai loại hình bất động sản nhà ở phổ biến tại TP.HCM: nhà phố thấp tầng và căn hộ chung cư. Việc xây dựng và mô phỏng mô hình SD cho phép thực hiện các phân tích tình huống khác nhau trong đầu tư bất động sản, từ đó cung cấp cơ sở vững chắc cho việc lựa chọn chiến lược đầu tư phù hợp trong bối cảnh thị trường liên tục biến động.

3.2. Kết quả khảo sát

Dữ liệu khảo sát được thu thập từ 107 chuyên gia đang hoạt động trong lĩnh vực bất động sản tại TP.HCM, bao gồm các nhà đầu tư, quản lý dự án, chuyên gia tài chính và kỹ sư xây dựng. Bảng câu hỏi được thiết kế dựa trên thang đo Likert 5 mức độ nhằm đánh giá mức độ quan trọng của từng yếu tố ảnh hưởng đến hiệu quả đầu tư bất động sản. Kết quả khảo sát cho thấy 23 biến có mức độ ảnh hưởng đến hiệu quả vốn đầu tư dự án. Tất cả các biến có giá trị trung bình lớn hơn 3. Đặc biệt các biến có giá trị trung bình lớn bao gồm: giá bán, chi phí xây dựng, chi phí tài chính, tỷ lệ vốn vay trên vốn chủ đầu tư, số lượng nhà giao dịch, số lượng nhà xây dựng, loại sản phẩm, lãi suất cho vay.

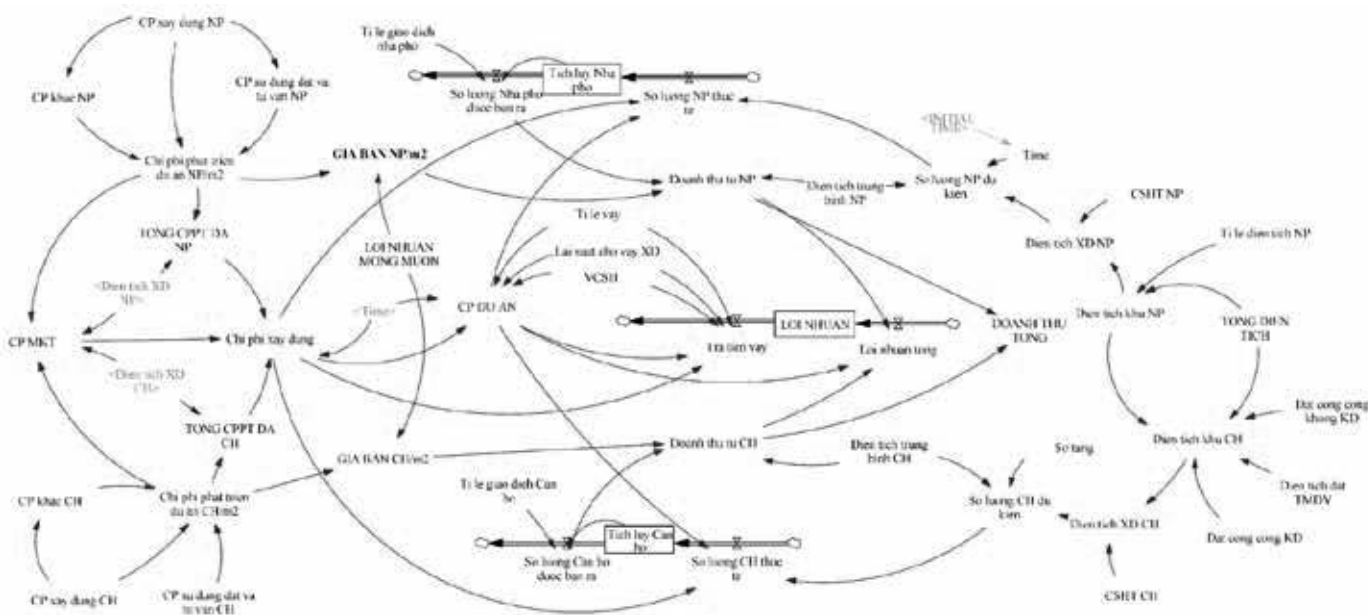
Các biến khảo sát được sử dụng để xây dựng mô hình SD mô phỏng, phân tích hiệu quả vốn đầu tư giữa hai loại hình sản phẩm bất động sản.

3.3. Thu thập dữ liệu mô phỏng

Bên cạnh khảo sát chuyên gia, dữ liệu thứ cấp về thị trường cũng được thu thập nhằm hỗ trợ quá trình mô phỏng và kiểm chứng mô hình nghiên cứu. Các thông tin được lấy từ các nguồn uy tín như Bộ Xây dựng, báo cáo thị trường của CBRE và Batdongsan.com.vn [17, 18, 19]. Dữ liệu lịch sử trong giai đoạn 2015 - 2023 được sử dụng để hiệu chỉnh và xác thực độ chính xác của mô hình động lực học, qua đó đảm bảo mô hình phản ánh đúng xu hướng biến động của thị trường nhà phố thấp tầng và căn hộ chung cư tại TP.HCM.

4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Dựa trên kết quả khảo sát, mô hình động lực học hệ thống (System Dynamics - SD) được xây dựng nhằm phân tích hiệu quả đầu tư của hai loại hình bất động sản: nhà phố và căn hộ chung cư (Hình 1). Mô hình phản ánh các mối quan hệ phi tuyến và tính chất động của thị trường bất động sản thông qua các cấu phần chính gồm: kho (stocks), dòng (flows) và các vòng phản hồi (feedback loops).



Hình 1. Mô hình SD đánh giá phương án đầu tư nhà phố và căn hộ

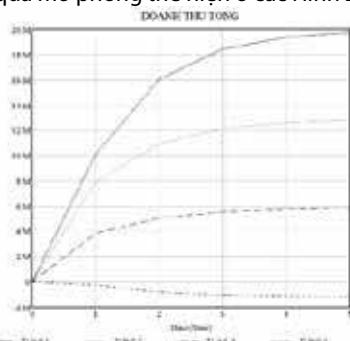
Theo Nguyen và Chinda (2018), các mô hình SD sau khi được xây dựng phải được đánh giá về độ tin cậy [9]. Việc đánh giá độ tin cậy nhằm mục đích xác định mô hình có thể phản ánh đúng các kịch bản thực tế để làm tiền đề tiến hành các bước phân tích tiếp theo. Kết quả mô phỏng càng gần với thực tế càng thể hiện được hiệu quả mô phỏng của mô hình. Trong nghiên cứu này, mô hình SD được kiểm chứng theo cấu trúc và tham số. Cấu trúc của mô hình đã thực hiện thông qua việc đánh giá các mối quan hệ và vòng phản hồi nhằm đảm bảo rằng các sự phụ hợp đối với thị trường bất động sản. Bên cạnh đó, các tham số, đơn vị tính và các phương trình thể hiện mối quan hệ của các yếu tố cũng được kiểm tra để đảm bảo tính nhất quán.

Mô hình còn được đánh giá thông qua việc phân tích độ nhạy. Việc phân tích độ nhạy của mô hình được thực hiện để xem xét mức độ thay đổi của kết quả tương ứng với sự thay đổi của các biến số. Việc phân tích này còn được gọi là phân tích kịch bản nhằm hỗ trợ phân tích các kịch bản của thị trường dưới các quyết định đầu tư khác nhau. Như vậy, phân tích độ nhạy nhằm mục đích hỗ trợ các nhà đầu tư bất động sản phân tích được các rủi ro và các kịch bản khác nhau của các quyết định đầu tư.

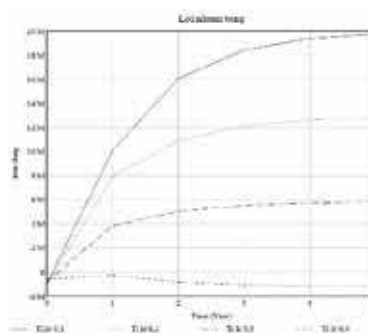
Nghiên cứu này đã tiến hành phân tích các kịch bản đầu tư khác nhau nhằm đánh giá sự biến động của doanh thu và lợi nhuận khi các thông số mô hình thay đổi

Kịch bản 1: Tỷ lệ diện tích nhà phố trong tổng quỹ đất

Tỷ lệ diện tích nhà phố được điều chỉnh lần lượt là 10%, 20%, 30% và 40%. Kết quả mô phỏng thể hiện ở các Hình 2 và 3.



Hình 2. Thay đổi của doanh thu tổng tương ứng với các tỷ lệ diện tích nhà phố/ căn hộ

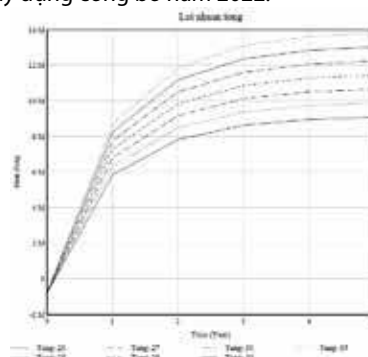


Hình 3. Thay đổi của lợi nhuận tương ứng với các tỷ lệ diện tích nhà phố/ căn hộ

Nhận xét: Kết quả mô phỏng cho thấy, tỷ lệ nhà phố thấp (10%) mang lại doanh thu và lợi nhuận tổng cao nhất. Điều này cho thấy, với việc đầu tư số lượng lớn căn hộ sẽ đem lại doanh thu và lợi nhuận tổng cao nhất. Tuy nhiên, nhà đầu tư cần lưu ý việc đầu tư xây dựng nhà phố có ưu điểm là thu hồi vốn nhanh, phù hợp với mục tiêu xoay vòng vốn trong ngắn hạn. Ngược lại, các dự án căn hộ chung cư thường tiềm ẩn rủi ro cao hơn trong việc kiểm soát dòng tiền và cần đối tài chính trong suốt vòng đời dự án.

Kịch bản 2: Số tầng của căn hộ chung cư

Số tầng căn hộ được điều chỉnh từ 21 - 35 tầng, tăng dần 2 tầng mỗi lần. Các thông số chi phí xây dựng được cập nhật theo suất vốn đầu tư do Bộ Xây dựng công bố năm 2022.

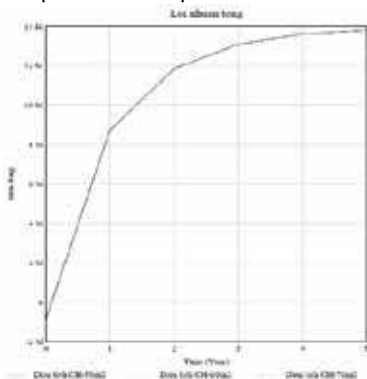


Hình 4. Thay đổi của lợi nhuận tương ứng với việc đầu tư căn hộ với số tầng khác nhau

Nhận xét: Kết quả ở Hình 4 cho thấy với cùng một diện tích nhưng khi tăng số tầng của dự án căn hộ, thì lợi nhuận của dự án tăng. Tuy nhiên, ngân sách thực hiện dự án cũng tăng lên, do đó nhà đầu tư cần xem xét cân đối dòng tiền thực hiện dự án.

Kịch bản 3: Diện tích căn hộ chung cư

Căn cứ vào tiêu chuẩn phân hạng căn hộ, diện tích được lựa chọn mô phỏng lần lượt là 50m², 60m² và 70m². Kết quả lợi nhuận tương ứng của các kịch bản thể hiện ở Hình 5.



Hình 5. Thay đổi của lợi nhuận tổng tương ứng với các diện tích căn hộ khác nhau

Nhận xét: Kết quả cho thấy, diện tích trung bình căn hộ nhỏ hơn cho lợi nhuận cao hơn, do tăng khả năng hấp thụ thị trường. Tuy nhiên, chênh lệch lợi nhuận là không đáng kể nên cần kết hợp tiêu chí chất lượng sống và phân khúc khách hàng khi quyết định diện tích tối ưu.

5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Nghiên cứu đã ứng dụng mô hình động lực học hệ thống để xây dựng mô hình mô phỏng việc đầu tư dự án dân cư để phân tích hiệu quả đầu tư dự án của hai loại hình bất động sản: nhà phố và căn hộ tại TP.HCM. Mô hình thể hiện mối quan hệ động giữa chi phí, doanh thu, thị trường và chính sách trong quá trình phát triển dự án.

Kết quả mô phỏng cho thấy:

- Tỷ lệ diện tích nhà phố thấp (10%) mang lại lợi nhuận tổng cao nhất, tuy nhiên cần lưu ý khả năng thanh khoản và nhu cầu thị trường.
- Tăng số tầng căn hộ giúp tăng lợi nhuận nhưng cần tối ưu hóa chi phí xây dựng và quy mô phù hợp.
- Diện tích căn hộ nhỏ hơn mang lại lợi nhuận cao hơn, tuy nhiên cần cân nhắc về tiêu chuẩn sống và pháp lý.

Việc ứng dụng mô hình động lực học hệ thống (System Dynamics - SD) trong quá trình lập kế hoạch đầu tư bất động sản giúp đánh giá hiệu quả và rủi ro trong trung và dài hạn một cách toàn diện hơn. Các nhà đầu tư cần cân nhắc tỷ lệ hợp lý giữa nhà phố và căn hộ sao cho phù hợp với mục tiêu tài chính, phân khúc khách hàng mục tiêu và định hướng phát triển đô thị bền vững. Đồng thời, các giả định của mô hình nên được điều chỉnh linh hoạt theo từng dự án cụ thể, bao gồm chi phí thực tế, biến động thị trường và các chính sách mới nhất từ Nhà nước. Ngoài ra, cần đánh giá bổ sung các yếu tố xã hội và môi trường, đặc biệt đối với những dự án có quy mô lớn hoặc tác động đáng kể đến hệ thống hạ tầng và mật độ dân cư. Cuối cùng, để tăng tính chính xác và ứng dụng thực tiễn của mô hình, cần tiếp tục hoàn thiện bằng cách tích hợp thêm các yếu tố như rủi ro tài chính, phân khúc người mua, cũng như các kênh huy động vốn trong quá trình đầu tư và phát triển dự án.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Bộ Xây dựng. (2022). "Báo cáo thị trường bất động sản Việt Nam năm 2022", Tạp chí Xây dựng và Đô thị, 18(2), 45-60.

[2]. Bùi D. L., & Phạm, T. T. H. (2024). "Các yếu tố tác động đến khả năng sinh lời của các doanh nghiệp bất động sản niêm yết tại Việt Nam". Tạp chí Kinh tế và Phát triển, 32(1), 73-80.

[3]. Trần, T. M. (2024). "Chi phí sử dụng vốn chủ sở hữu của các công ty ngành bất động sản Việt Nam". Tạp chí Nghiên cứu Tài chính - Marketing, 15(3), 104-119.

[4]. Nguyễn, T. N. (2019). "Tác động của đặc điểm công ty đến cấu trúc kỳ hạn nợ của các công ty bất động sản tại Việt Nam: Nghiên cứu từ mô hình tĩnh đến mô hình động". Tạp chí Nghiên cứu Tài chính - Marketing, 54, 12-22.

[5]. Nguyễn, T. M. P. (2021). "Các yếu tố tác động đến hiệu quả của các doanh nghiệp bất động sản niêm yết tại Việt Nam". Tạp chí Khoa học và Công nghệ, 51, 168-179.

[6]. Lưu, T.V. & Nguyễn, Q.T. (2011). Ứng dụng system dynamics trong dự báo lợi nhuận của dự án bất động sản tại TP.HCM. Luận văn thạc sĩ, Đại học Bách khoa TP.HCM.

[7]. Nguyễn, H. N. & Văn, L. T. (2015). "Xây dựng mô hình dự báo lợi nhuận của công ty bất động sản bằng System Dynamics". Tạp chí Khoa học Đại học Mở TP. Hồ Chí Minh - Kinh tế và Quản trị Kinh doanh, 10(3).

[8]. Nguyen, N. H. & Chinda, T. (2018). "A dynamic model of profit of residential projects in Vietnam". International Journal of Strategic Property Management, 22(6), 489-500. <https://doi.org/10.3846/ijspm.2018.6274>.

[9]. Nguyễn, H. N., Phạm, T. P., Trần, P. H., Phạm, Đ. T., & Trần, Đ. H. (2023). "Ứng dụng hệ thống động hỗ trợ đánh giá phương án đầu tư căn hộ Smarthome". Tạp chí Xây dựng, 08-2023, 38-43.

[10]. Nguyễn, K. Q., Nguyễn, T. B. H., Đỗ, T. M. H., Trần, T. P. H., và Huỳnh, T. N. (2023). "Các nhân tố rủi ro ảnh hưởng đến hiệu quả tài chính khi đầu tư dự án chung cư cho người thu nhập thấp". Tạp chí Xây dựng, 01-2023, 116-121.

[11]. Marzouk, M., & Hosny, I. (2016). "Modeling housing supply and demand using system dynamics". Housing, Care and Support, 19(2), 64-80. <https://doi.org/10.1108/HCS-06-2016-0004>

[12]. Zhang, X., Geltner, D., & Neufville, R. (2018). "System dynamics modeling of Chinese urban housing markets for pedagogical and policy analysis purposes". The Journal of Real Estate Finance and Economics, 57(3), 476-501. <https://doi.org/10.1007/s11146-017-9650-z>.

[13]. Lee, K., Son, S., Kim, D., & Kim, S. (2019). "A dynamic simulation model for economic feasibility of apartment development projects". International Journal of Strategic Property Management, 23(5), 305-316. <https://doi.org/10.3846/ijspm.2019.9822>.

[14]. Ali, G. G., El-Adaway, I. H., & Dagli, C. H. (2020). "A system dynamics approach for study of population growth and the residential housing market in the US". Procedia Computer Science, 168, 154-160. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.02.281>.

[15]. Yang, D., Dang, M., Sun, L., Han, F., Shi, F., Zhang, H., & Zhang, H. (2021). "A system dynamics model for urban residential building stock towards sustainability: The case of Jinan, China". International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(18), 9520. <https://doi.org/10.3390/ijerph18189520>.

[16]. Rachmawati, T. S. N., & Kim, S. (2022). "A risk management model of apartment development projects using system dynamics". Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 22(3), 1492-1506. <https://doi.org/10.1080/13467581.2022.2086558>.

[17]. Bộ Xây dựng. (2022). Công bố suất vốn đầu tư xây dựng công trình và giá xây dựng tổng hợp bộ phận kết cấu công trình năm 2022.

[18]. Danh Khôi Real. (n.d.). The 9 Stellars. Retrieved April 22, 2025, from <https://danhkhoireal.vn/the-9-stellars>.

[19]. CBRE Vietnam. (2023, February 23). Ho Chi Minh City Figures Q4 2022. Retrieved April 22, 2025, from <https://www.cbrevietnam.com/insights/figures/ho-chi-minh-city-figures-q4-2022>.

Nghiên cứu sự vận động của kiểm soát vốn đầu tư công trong xây dựng cơ sở hạ tầng giao thông tại Việt Nam

A study on the dynamics of public investment capital control in transportation infrastructure development in Vietnam

> TS ĐỖ VĂN THUẬN¹, PGS.TS NGUYỄN LƯƠNG HẢI^{2,*}

¹Học viện Chiến lược, bồi dưỡng cán bộ xây dựng

²Trường Đại học Giao thông vận tải

*Email: hainl@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu phân tích sự vận động của 5 chỉ tiêu kiểm soát kế hoạch vốn đầu tư công trong xây dựng công trình giao thông tại Việt Nam, dựa trên khảo sát 136 mẫu hợp lệ từ các cơ quan liên quan. Kết quả cho thấy hiệu quả kiểm soát chỉ đạt mức trên ngưỡng trung bình (3,0588 - 3,4044 trên thang Likert 5 mức độ), phản ánh các hạn chế như hệ thống kiểm soát yếu, thiếu ứng dụng công nghệ và phối hợp liên ngành chưa đồng bộ. Nghiên cứu đề xuất tăng cường công nghệ số, cải thiện cơ chế phối hợp và đánh giá hiệu quả kinh tế - xã hội để giảm thất thoát, lãng phí. Những phát hiện này cung cấp cơ sở cho cải cách quản lý vốn đầu tư công, góp phần thúc đẩy phát triển bền vững cơ sở hạ tầng giao thông.

Từ khóa: Kiểm soát vốn đầu tư công; công trình giao thông; minh bạch; hiệu quả quản lý; phát triển bền vững.

ABSTRACT

This study analyzes the dynamics of five indicators for controlling public investment capital plans in transportation infrastructure construction in Vietnam, based on a survey of 136 valid responses from relevant agencies. Results indicate that control effectiveness is only slightly above average (3.0588 - 3.4044 on a 5-point Likert scale), highlighting limitations such as weak control systems, limited technology application and lack of inter-agency coordination. The study proposes enhancing digital technology, improving coordination mechanisms and evaluating socio-economic impacts to reduce waste and losses. These findings provide a foundation for reforming public investment capital management, contributing to sustainable transportation infrastructure development.

Keywords: Public investment capital control; transportation infrastructure; transparency; management efficiency; sustainable development.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh Việt Nam đang đẩy mạnh đầu tư vào cơ sở hạ tầng giao thông nhằm thúc đẩy phát triển kinh tế - xã hội, việc quản lý và kiểm soát vốn đầu tư công đóng vai trò then chốt để đảm bảo hiệu quả sử dụng nguồn lực tài chính quốc gia. Các dự án đầu tư công, đặc biệt trong lĩnh vực giao thông không chỉ đòi hỏi nguồn vốn lớn mà còn đối mặt với nhiều rủi ro như chậm tiến độ, thất thoát và lãng phí [5]. Theo báo cáo của Bộ Công an ngày 27/6/2022 [1], trong giai đoạn 2016 - 2020, tổng số tiền thất thoát và lãng phí từ các dự án đầu tư công lên tới 31.795,177 tỷ đồng, với số lượng dự án vi phạm tăng đáng kể từ 590 (2016) lên 923 (2020). Những con số này cho thấy sự cấp thiết trong việc hoàn thiện cơ chế kiểm soát

vốn đầu tư công để giảm thiểu rủi ro và nâng cao hiệu quả quản lý.

Hoạt động kiểm soát vốn đầu tư công không chỉ dừng lại ở việc tuân thủ các quy định pháp luật mà còn cần bảo đảm tính minh bạch, trách nhiệm giải trình và hiệu quả kinh tế - xã hội của các dự án. Các nghiên cứu trước đây đã hệ thống hóa cơ sở lý luận về kiểm soát kế hoạch đầu tư công, nhấn mạnh rằng đây là một quá trình vận động liên tục, bao gồm các giai đoạn lập kế hoạch, thẩm định, phê duyệt, triển khai và giám sát. Tuy nhiên, trong bối cảnh các chính sách điều chỉnh gần đây và những thay đổi trong môi trường quản lý, việc đánh giá sự vận động của các chỉ tiêu kiểm soát cụ thể vẫn là một vấn đề cần được nghiên cứu sâu hơn.

Nghiên cứu này tập trung phân tích sự vận động của 5 chỉ tiêu

kiểm soát kế hoạch vốn đầu tư công xây dựng công trình giao thông tại Việt Nam, bao gồm: (1) Giám sát toàn trình kế hoạch vốn, (2) giám sát quá trình thực hiện chương trình/dự án, (3) kiểm tra nợ đọng, lãng phí và thất thoát, (4) nhận diện tồn tại và đề xuất giải pháp và (5) thực hiện giải pháp điều chỉnh sai lệch. Thông qua việc khảo sát 136 mẫu hợp lệ từ các cơ quan liên quan, nghiên cứu không chỉ đánh giá thực trạng mà còn đề xuất các hàm ý chính sách nhằm nâng cao hiệu quả kiểm soát vốn đầu tư công. Kết quả nghiên cứu được kỳ vọng sẽ đóng góp vào việc cải thiện cơ chế quản lý, giảm thiểu lãng phí, thúc đẩy phát triển bền vững cơ sở hạ tầng giao thông, từ đó tạo động lực cho sự phát triển kinh tế - xã hội trong dài hạn.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Khung chỉ tiêu mô tả hoạt động kiểm soát thực hiện kế hoạch vốn đầu tư công

Nội dung cơ sở lý luận về hoạt động kiểm soát kế hoạch đầu tư công đã được các nghiên cứu trước đây thực hiện [3, 4]. Theo đó, việc kiểm soát kế hoạch đầu tư công được tiếp cận dưới góc độ một quá trình vận động liên tục [2], không tách rời khỏi các cơ chế lập, thực hiện và giám sát kế hoạch vốn.

Kế thừa các kết quả đã được công bố trước đây [6], nghiên cứu này tiếp tục khai thác và phân tích sự vận động của 5 chỉ tiêu mô tả hoạt động kiểm soát kế hoạch đầu tư công, gồm:

- (1) Mức độ phù hợp trong giám sát toàn trình kế hoạch vốn đầu tư công (từ lập, thẩm định, phê duyệt đến triển khai (CT1));
- (2) Mức độ phù hợp trong giám sát quá trình thực hiện chương trình, dự án theo đúng nội dung và chỉ tiêu vốn đã phê duyệt (CT2);
- (3) Mức độ phù hợp trong kiểm tra, giám sát nợ đọng xây dựng cơ bản, lãng phí và thất thoát trong đầu tư công (CT3);
- (4) Mức độ phù hợp trong giám sát, đánh giá để nhận diện tồn tại, nguyên nhân và đề xuất giải pháp đối với việc thực hiện kế hoạch vốn đầu tư công (CT4);
- (5) Mức độ phù hợp trong thực hiện các giải pháp điều chỉnh khi phát sinh sai lệch so với kế hoạch vốn đầu tư công được phê duyệt (CT5).

Việc tiếp tục phân tích các chỉ tiêu trên là cần thiết nhằm nhận diện rõ hơn thực trạng vận hành cơ chế kiểm soát kế hoạch đầu tư công trong bối cảnh hiện nay, đặc biệt khi các chính sách điều chỉnh gần đây có thể ảnh hưởng đến tính hiệu lực của các cơ chế kiểm soát này.

2.2. Thu thập số liệu

Để thu thập thông tin khảo sát đối với các chỉ tiêu mô tả hoạt động lập kế hoạch vốn đầu tư công xây dựng công trình giao thông, nhóm nghiên cứu sử dụng thang đo Likert 5 mức độ: (1) Rất không đồng ý; (2) Không đồng ý; (3) Trung lập; (4) Đồng ý; (5) Rất đồng ý.

Quá trình khảo sát đã thu thập được 136 mẫu hợp lệ, trong đó: 74 mẫu từ các ban quản lý dự án công trình giao thông thuộc

cơ quan chủ trì; 29 mẫu từ các cơ quan quản lý vốn đầu tư xây dựng công trình giao thông; 13 mẫu từ cơ quan kế hoạch; 7 mẫu từ cơ quan tài chính; 13 mẫu từ Kiểm toán Nhà nước.

Về lĩnh vực hoạt động, 64% số người trả lời khảo sát đang trực tiếp tham gia quản lý vốn đầu tư công cho công trình giao thông, 33,8% tham gia gián tiếp và chỉ 2,2% không liên quan. Sự phân bố này góp phần đảm bảo tính khách quan và độ tin cậy của dữ liệu thu thập được.

Xét về kinh nghiệm nghề nghiệp, 65,4% đối tượng khảo sát có trên 10 năm kinh nghiệm; 21,3% có từ 5 đến 10 năm và 13,2% dưới 5 năm. Đây là yếu tố thuận lợi giúp nâng cao tính xác thực cho kết quả khảo sát.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ BÀN LUẬN

Phân tích thực trạng kiểm soát thực hiện kế hoạch vốn đầu tư công xây dựng cơ sở hạ tầng giao thông tại Việt Nam cho thấy những nỗ lực đáng ghi nhận của các cơ quan quản lý trong việc đảm bảo tính minh bạch và tuân thủ các quy định pháp luật về đầu tư công. Tuy nhiên, kết quả khảo sát qua 136 mẫu hợp lệ cho thấy giá trị trung bình của các chỉ tiêu kiểm soát (CT1-CT5) dao động từ 3,0588 đến 3,4044 trên thang đo Likert 5 mức độ, chỉ nằm ở mức trên ngưỡng trung bình. Điều này phản ánh rằng, mặc dù đã có những tiến bộ nhất định, hoạt động kiểm soát vốn đầu tư công vẫn còn nhiều hạn chế cần khắc phục để nâng cao hiệu quả.

Dựa trên Bảng 1, chỉ tiêu CT1 (mức độ phù hợp trong giám sát toàn trình kế hoạch vốn đầu tư công) đạt giá trị trung bình cao nhất (3,4044), cho thấy quá trình giám sát từ lập kế hoạch, thẩm định, phê duyệt đến triển khai được đánh giá tích cực nhất trong số các chỉ tiêu. Tuy nhiên, độ lệch chuẩn tương đối thấp (0,64840) cho thấy mức độ đồng thuận cao giữa các nhóm trả lời khảo sát, ngụ ý rằng các cơ quan quản lý đã có sự thống nhất nhất định trong việc thực hiện giám sát toàn trình. Ngược lại, chỉ tiêu CT4 (mức độ phù hợp trong giám sát, đánh giá để nhận diện tồn tại và đề xuất giải pháp) ghi nhận giá trị trung bình thấp nhất (3,0588), với độ lệch chuẩn 0,80521, phản ánh sự thiếu nhất quán trong việc nhận diện nguyên nhân và đề xuất giải pháp khắc phục các vấn đề trong thực hiện kế hoạch vốn đầu tư công.

Chỉ tiêu CT3 (mức độ phù hợp trong kiểm tra, giám sát nợ đọng xây dựng cơ bản, lãng phí và thất thoát) cũng chỉ đạt giá trị trung bình 3,0735, với độ lệch chuẩn cao (0,84004), cho thấy sự khác biệt đáng kể trong nhận thức của các bên liên quan về hiệu quả kiểm soát lãng phí và thất thoát. Điều này phù hợp với báo cáo của Bộ Công an ngày 27/6/2022 [1], khi ghi nhận tổng số tiền thất thoát và lãng phí trong giai đoạn 2016 - 2020 lên tới 31.795,177 tỷ đồng, với 1.086 vụ việc được đưa ra xét xử. Đặc biệt, số lượng dự án chậm tiến độ tăng từ 1.448 (2016) lên 1.867 (2020) và số dự án vi phạm tăng từ 590 (2016) lên 923 (2020) [1], cho thấy tình trạng thất thoát và lãng phí vốn không có dấu hiệu cải thiện đáng kể.

Bảng 1. Chỉ tiêu đánh giá về hoạt động kiểm soát thực hiện kế hoạch vốn đầu tư

Chỉ tiêu (Criteria)	Số lượng mẫu (N)	Giá trị nhỏ nhất (Minimum)	Giá trị lớn nhất (Maximum)	Giá trị trung bình (Mean)	Độ lệch chuẩn (Std. Deviation)
CT1	136	2,00	5,00	3,4044	,64840
CT2	136	2,00	5,00	3,1765	,87671
CT3	136	2,00	5,00	3,0735	,84004
CT4	136	2,00	5,00	3,0588	,80521
CT5	136	2,00	4,00	3,3456	,53581

Một trong những hạn chế lớn nhất là hệ thống kiểm soát chưa đủ mạnh để ngăn ngừa các hành vi vi phạm, lãng phí hay thất thoát vốn đầu tư. Quy trình kiểm soát hiện nay đôi khi vẫn mang tính hình thức, thiếu sự ứng dụng các công cụ quản lý hiện đại như hệ thống công nghệ thông tin hoặc dữ liệu số hóa. Ví dụ, việc ứng dụng các nền tảng quản lý dự án dựa trên công nghệ số (như BIM - Building Information Modeling) hoặc các hệ thống giám sát thời gian thực vẫn còn hạn chế, dẫn đến khó khăn trong việc phát hiện và xử lý kịp thời các sai phạm.

Bên cạnh đó, sự phối hợp giữa các cơ quan liên quan, bao gồm các ban quản lý dự án, cơ quan tài chính, kế hoạch và kiểm toán chưa thật sự đồng bộ. Sự chậm trễ trong phản hồi và thiếu cơ chế chia sẻ thông tin minh bạch giữa các bên làm giảm hiệu quả giám sát. Vai trò của các đơn vị độc lập, chẳng hạn như Kiểm toán Nhà nước và sự tham gia của cộng đồng trong giám sát cũng chưa được phát huy đầy đủ, dẫn đến thiếu tính khách quan trong một số trường hợp.

Cuối cùng, việc kiểm soát vốn đầu tư công hiện nay vẫn tập trung nhiều vào tuân thủ quy trình mà chưa chú trọng đến đánh giá hiệu quả kinh tế - xã hội của các dự án. Điều này dẫn đến việc một số dự án tuy hoàn thành đúng tiến độ nhưng không mang lại giá trị tương xứng với nguồn vốn đầu tư, gây lãng phí tài nguyên dài hạn.

**) Hàm ý đối với chính sách và thực tiễn:*

Kết quả nghiên cứu mang lại một số hàm ý quan trọng đối với công tác quản lý và kiểm soát vốn đầu tư công trong lĩnh vực GTVT tại Việt Nam:

- *Tăng cường ứng dụng công nghệ trong giám sát:* Các cơ quan quản lý cần đầu tư vào các hệ thống công nghệ thông tin hiện đại, chẳng hạn như phần mềm quản lý dự án tích hợp hoặc các nền tảng số hóa, để nâng cao tính minh bạch và hiệu quả giám sát. Việc ứng dụng công nghệ blockchain hoặc các hệ thống giám sát thời gian thực có thể giúp phát hiện sớm các dấu hiệu bất thường, từ đó giảm thiểu thất thoát và lãng phí.

- *Cải thiện cơ chế phối hợp liên ngành:* Cần thiết lập các kênh giao tiếp và chia sẻ thông tin hiệu quả hơn giữa các cơ quan liên quan, bao gồm ban quản lý dự án, cơ quan tài chính và Kiểm toán Nhà nước. Một cơ chế phối hợp đồng bộ, với các tiêu chí giám sát rõ ràng và thống nhất sẽ giúp giảm thiểu sự chậm trễ và tăng cường trách nhiệm giải trình.

- *Tăng cường vai trò của giám sát độc lập và cộng đồng:* Việc khuyến khích sự tham gia của các tổ chức độc lập và cộng đồng trong quá trình giám sát có thể nâng cao tính minh bạch và khách quan. Các cơ chế như công khai thông tin dự án trên các nền tảng trực tuyến hoặc tổ chức các buổi tham vấn cộng đồng cần được triển khai mạnh mẽ hơn.

- *Chuyển hướng sang đánh giá hiệu quả kinh tế - xã hội:* Ngoài việc kiểm soát tuân thủ quy trình, cần xây dựng các bộ tiêu chí đánh giá tác động kinh tế - xã hội của các dự án đầu tư công. Điều này bao gồm việc phân tích chi phí - lợi ích, đánh giá tác động môi trường và đo lường mức độ đóng góp của dự án vào phát triển bền vững. Các công cụ phân tích định lượng, như mô hình kinh tế lượng hoặc phân tích đa tiêu chí nên được áp dụng để hỗ trợ quá trình ra quyết định.

- *Nâng cao năng lực cán bộ và đào tạo:* Với 65,4% đối tượng khảo sát có trên 10 năm kinh nghiệm, việc tổ chức các chương trình đào tạo chuyên sâu về quản lý dự án, ứng dụng công nghệ và phân tích hiệu quả đầu tư là cần thiết. Điều này sẽ giúp nâng cao năng lực của đội ngũ cán bộ, từ đó cải thiện chất lượng kiểm soát vốn đầu tư công.

Nhìn chung, kết quả nghiên cứu không chỉ phản ánh những tiến bộ trong công tác kiểm soát vốn đầu tư công mà còn chỉ ra những thách thức cần giải quyết để nâng cao hiệu quả quản lý. Việc cải cách cơ chế kiểm soát, tăng cường ứng dụng công nghệ và chuyển hướng sang đánh giá hiệu quả kinh tế - xã hội sẽ là những bước đi chiến lược nhằm giảm thiểu lãng phí, thất thoát và thúc đẩy phát triển bền vững cơ sở hạ tầng giao thông. Những hàm ý này không chỉ có giá trị trong ngắn hạn mà còn đóng vai trò định hướng cho các chính sách dài hạn, góp phần tạo động lực cho sự phát triển kinh tế - xã hội của Việt Nam.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã phân tích sự vận động của 5 chỉ tiêu kiểm soát kế hoạch vốn đầu tư công trong lĩnh vực xây dựng công trình giao thông tại Việt Nam, dựa trên khảo sát 136 mẫu hợp lệ từ các cơ quan liên quan. Kết quả cho thấy, mặc dù đã có những tiến bộ trong việc đảm bảo tính minh bạch và tuân thủ quy định pháp luật, hiệu quả kiểm soát vốn đầu tư công vẫn chỉ đạt mức trên ngưỡng trung bình, với các giá trị trung bình của chỉ tiêu CT1-CT5 dao động từ 3,0588 đến 3,4044 trên thang đo Likert 5 mức độ. Những hạn chế chính bao gồm hệ thống kiểm soát chưa đủ mạnh, quy trình giám sát còn mang tính hình thức, sự phối hợp liên ngành thiếu đồng bộ, và việc thiếu tập trung vào đánh giá hiệu quả kinh tế - xã hội của các dự án.

Các phân tích chỉ ra rằng, để nâng cao hiệu quả kiểm soát vốn đầu tư công, cần đẩy mạnh ứng dụng công nghệ số trong quản lý và giám sát, cải thiện cơ chế phối hợp giữa các cơ quan, tăng cường vai trò của giám sát độc lập và cộng đồng, đồng thời chuyển hướng sang đánh giá tác động kinh tế - xã hội của các dự án. Những giải pháp này không chỉ giúp giảm thiểu thất thoát, lãng phí mà còn đảm bảo nguồn vốn được sử dụng hiệu quả, góp phần thúc đẩy phát triển bền vững cơ sở hạ tầng giao thông.

Nghiên cứu này cung cấp cơ sở khoa học và thực tiễn để định hướng cải cách cơ chế kiểm soát vốn đầu tư công tại Việt Nam. Trong tương lai, cần tiếp tục mở rộng nghiên cứu để đánh giá tác động của các chính sách mới và khám phá các công cụ quản lý hiện đại nhằm tối ưu hóa hiệu quả sử dụng nguồn lực công, từ đó hỗ trợ mạnh mẽ hơn cho sự phát triển kinh tế - xã hội trong dài hạn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Quốc hội nước Cộng hòa XHCN Việt Nam (2022), Giám sát thực hành tiết kiệm, chống lãng phí: Nhiều sai phạm trong đầu tư công phải xử lý hình sự, Việt Nam.
- [2]. Từ Quang Phương (2005), Quản lý dự án đầu tư, NXB. Lao động - Xã hội.
- [3]. British Standard (1996), Project Management - Guide to project management, BS 6079-1996, Publisher BSI 1996.
- [4]. PMBOK and Guide (2013), A Guide to the Project Management Body of Knowledge, 5th Edition, Project Management Institute 2013, Inc.
- [5]. Nguyen L. H., Watanabe T., and Le T. T. (2016), An investigation of the relationship between project organizational culture and procurement approach of construction project organizations, Internet Journal of Society for Social Management Systems, 1(10): 50-61.
- [6]. Trần Tuấn Phong và Nguyễn Lương Hải (2025), Xây dựng các chỉ tiêu đánh giá hoạt động kiểm soát vốn đầu tư công xây dựng công trình giao thông tại Việt Nam, Tạp chí Xây dựng, số tháng 8, tr.120-122.

So sánh các khung báo cáo ESG và khuyến nghị đối với các doanh nghiệp xây dựng Việt Nam

Comparison of ESG reporting frameworks and recommendations for Vietnamese construction enterprises

> TS TRẦN TRUNG KIÊN

Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải

Email: kientt@utt.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo phân tích và so sánh các khung báo cáo ESG phổ biến trên thế giới, gồm GRI, SASB, IFRS S1 và IFRS S2 nhằm đánh giá sự phù hợp và đưa ra các khuyến nghị cho các doanh nghiệp xây dựng Việt Nam trong việc lựa chọn và áp dụng khung báo cáo ESG. Kết quả nghiên cứu cho thấy, để lựa chọn khung báo cáo ESG phù hợp, doanh nghiệp cần căn cứ vào quy mô doanh nghiệp, mục tiêu phát triển, đối tượng của báo cáo và mức độ hội nhập quốc tế. Khung báo cáo ESG được sử dụng một cách linh hoạt, có thể bắt đầu với một khung đơn giản, sau đó mở rộng hoặc kết hợp các khung khác để đáp ứng các yêu cầu theo từng giai đoạn phát triển và phù hợp với xu thế hội nhập.

Từ khóa: Doanh nghiệp xây dựng; GRI; IFRS S1; IFRS S2; khung báo cáo ESG; SASB.

ABSTRACT

This paper analyzes and compares widely used ESG reporting frameworks worldwide, including GRI, SASB, IFRS S1 and IFRS S2, to assess suitability and provide recommendations for Vietnamese construction enterprises in selecting and implementing ESG reporting frameworks. The research findings indicate that the selection of a suitable ESG reporting framework should be taken into account the enterprise's scale, development objectives, relevant stakeholders and degree of international integration. ESG reporting frameworks can be utilized flexibly, starting with a simple framework and subsequently expanding or integrating other frameworks to meet the requirements of different development stages and to align with global integration trends.

Keywords: Construction enterprise; GRI; IFRS S1; IFRS S2; ESG reporting frameworks; SASB.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

ESG, viết tắt của Môi trường (Environmental), Xã hội (Social) và Quản trị (Governance) là ba yếu tố cốt lõi được sử dụng để đo lường tác động và tính bền vững của một doanh nghiệp [1, 2]. Trong đó:

- Môi trường (E) tập trung vào cách doanh nghiệp quản lý và giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường tự nhiên. Các chỉ số quan trọng trong khía cạnh này bao gồm lượng khí thải nhà kính phát thải từ hoạt động kinh doanh, mức tiêu thụ năng lượng và tỷ lệ sử dụng năng lượng tái tạo, việc quản lý tài nguyên thiên nhiên như nước và đất, cùng với các phương pháp xử lý và tái chế chất thải [1].

- Xã hội (S) liên quan đến cách doanh nghiệp quản lý mối quan hệ với các bên liên quan, bao gồm nhân viên, nhà cung cấp, khách hàng và cộng đồng nơi doanh nghiệp hoạt động. Các yếu tố xã hội bao gồm điều kiện làm việc (mức lương, giờ làm việc, khám sức khỏe, chính sách bảo hiểm theo quy định của pháp luật), an toàn lao động, việc tôn trọng quyền con người, các chính sách về đa dạng

và hòa nhập cũng như các hoạt động tương tác với cộng đồng [1].

- Quản trị (G) đề cập đến cách một doanh nghiệp được điều hành và quản lý. Điều này bao gồm cấu trúc quản trị của công ty, các chính sách về đạo đức kinh doanh, các biện pháp chống tham nhũng, mức độ minh bạch trong công bố thông tin và việc bảo vệ quyền lợi của cổ đông [1, 2].

Báo cáo ESG là công cụ truyền thông chính thức để các tổ chức cung cấp thông tin về tiến trình giải quyết các vấn đề ESG cho các bên liên quan, đặc biệt là nhà đầu tư [3]. Quá trình triển khai báo cáo ESG, doanh nghiệp cần tuân thủ các hướng dẫn, tiêu chuẩn của các tổ chức nghề nghiệp. Trong đó, khung báo cáo ESG được xem như những nguyên tắc định hướng cơ bản, đóng vai trò nền tảng cho hoạt động kinh doanh có trách nhiệm. Các khung này hỗ trợ doanh nghiệp trong việc nhận diện và quản trị các khía cạnh môi trường, xã hội và quản trị, đồng thời cung cấp một hệ thống nhằm đảm bảo

tính nhất quán và đồng bộ trong báo cáo ESG. Việc tuân thủ các khung báo cáo ESG giúp doanh nghiệp đảm bảo rằng các sáng kiến ESG mang lại kết quả có thể đo lường, khả thi và có độ tin cậy cao. Các khung ESG thường xác định sẵn chủ đề trọng tâm nhằm bao quát toàn diện các khía cạnh bền vững.

Ngoài ra, các khung ESG còn đưa ra định hướng về chỉ số đánh giá để doanh nghiệp lựa chọn phù hợp theo đặc thù ngành nghề. Đặc biệt, các khung cũng quy định quy trình xác định tính trọng yếu thông qua việc cân nhắc mức độ liên quan đến ngành, bối cảnh pháp lý và sự quan tâm của các bên liên quan. Tiêu chuẩn ESG cung cấp hướng dẫn mang tính chi tiết và cụ thể hơn. Nếu khung ESG định hình “nguyên tắc” thì tiêu chuẩn ESG xác định rõ “yêu cầu” và “phương thức” thực hiện. Các tiêu chuẩn ESG thường tập trung vào ba khía cạnh chính: Chỉ số và chỉ báo, phương pháp đo lường, hình thức báo cáo [3].

Khung ESG giữ vai trò nền tảng định hướng, trong khi tiêu chuẩn ESG cụ thể hóa các nguyên tắc thành yêu cầu đo lường và công bố minh bạch. Sự kết hợp giữa hai yếu tố này tạo dựng hệ thống báo cáo bền vững toàn diện, vừa đảm bảo tính trách nhiệm giải trình, vừa thúc đẩy tiến trình hướng tới phát triển bền vững trong dài hạn [3].

Hiện nay có nhiều khung báo cáo ESG, mỗi khung đều có ưu điểm và đặc trưng riêng, phù hợp với những nhu cầu và đặc thù ngành nghề khác nhau. Do đó, việc phân tích, so sánh và lựa chọn khung báo cáo ESG phù hợp là cần thiết đối với các doanh nghiệp xây dựng Việt Nam trong bối cảnh hội nhập và phát triển.

2. TỔNG QUAN VỀ CÁC KHUNG BÁO CÁO ESG

2.1. Global Reporting Initiative (GRI)

GRI được thành lập năm 1997 tại Mỹ bởi Liên minh các nền kinh tế có trách nhiệm với môi trường (Coalition for Environmentally Responsible Economies - CERES), Viện Tellus và Chương trình môi trường Liên hợp quốc (UNEP). GRI là khung báo cáo ESG được sử dụng rộng rãi nhất trên thế giới. Hiện nay, có khoảng hơn 14.000 tổ chức tại hơn 100 quốc gia sử dụng GRI cho báo cáo ESG [4]. Khung GRI cung cấp hệ thống báo cáo dạng mô-đun với các tiêu chí cho các lĩnh vực và chủ đề khác nhau, được thể hiện cụ thể qua ba bộ tiêu chuẩn:

- Universal Standards (Tiêu chuẩn chung) được áp dụng cho mọi tổ chức muốn báo cáo theo GRI. Trong đó: GRI 1 - Foundations để cập đến các nội dung nền tảng như mục đích và phạm vi, nguyên tắc báo cáo, các định nghĩa và khái niệm cơ bản, cách áp dụng bộ tiêu chuẩn, hình thức báo cáo. GRI 2 - General Disclosures cung cấp các thông tin chung về tổ chức. GRI 3 - Material Topics xác định trọng yếu của báo cáo.

- Sector Standards (Tiêu chuẩn ngành): Chỉ dẫn báo cáo cho từng ngành cụ thể như năng lượng, khai khoáng, xây dựng...

- Topic Standards (Tiêu chuẩn chủ đề): Chỉ dẫn báo cáo cho từng khía cạnh cụ thể về môi trường (năng lượng, khí thải, nước, đa dạng sinh học...), xã hội (quyền lao động, sức khỏe, an toàn, quyền con người, cộng đồng...), kinh tế (chống tham nhũng, quản trị, phát triển kinh tế địa phương...). Việc báo cáo theo tiêu chuẩn chủ đề là tùy chọn, dựa trên đánh giá tính trọng yếu của từng doanh nghiệp

* Ưu điểm:

- Khung GRI có phạm vi áp dụng rộng, phản ánh toàn diện tác động của các yếu tố môi trường, xã hội và quản trị của doanh nghiệp đối với các bên liên quan. Điều này giúp GRI trở thành công cụ hiệu quả để thúc đẩy tính minh bạch, tăng cường trách nhiệm giải trình và hỗ trợ giao tiếp với nhiều chủ thể khác nhau như cộng đồng địa phương, các tổ chức phi chính phủ và nhà đầu tư [5].

- GRI thường xuyên được rà soát và cập nhật ba năm một lần bởi Hội đồng Tiêu chuẩn bền vững toàn cầu (Global Sustainability Standards Board - GSSB) - một cơ quan độc lập được thành lập bởi GRI, để phản ánh những thay đổi về xu hướng toàn cầu, chính sách môi trường và nhu cầu của thị trường vốn [4, 6]. Điều đó giúp doanh nghiệp trong việc đảm bảo báo cáo ESG luôn phù hợp với thực tiễn.

* Hạn chế:

- Khó so sánh giữa các ngành: Mặc dù GRI cung cấp các tiêu chuẩn chung nhưng các báo cáo ESG không được chuẩn hóa hoàn toàn ngoài các tiêu chuẩn chung. Các báo cáo giữa các ngành khác nhau, hoặc thậm chí giữa các doanh nghiệp trong cùng một ngành có thể không hoàn toàn so sánh được do sự khác nhau trong việc lựa chọn tiêu chuẩn chủ đề và vấn đề trọng yếu [6].

- Không nhấn mạnh vào trọng yếu tài chính: Mặc dù khung GRI bao gồm các khía cạnh kinh tế, nhưng trọng tâm của nó là phản ánh tác động toàn diện của doanh nghiệp đối với môi trường, xã hội và các bên liên quan, không tập trung chủ yếu vào các tác động tài chính trọng yếu đối với nhà đầu tư như một số khung báo cáo khác [5]. Do đó, đối với các nhà đầu tư chỉ quan tâm đến hiệu suất tài chính thì khung GRI ít được sử dụng hơn.

2.2. Sustainability Accounting Standards Board (SASB)

SASB được thành lập năm 2011 tại Mỹ dưới hình thức một tổ chức phi lợi nhuận, với mục tiêu xây dựng các tiêu chuẩn báo cáo bền vững phù hợp với yêu cầu của thị trường vốn. Khung báo cáo SASB được thiết kế nhằm hỗ trợ doanh nghiệp xác định và công bố các yếu tố môi trường, xã hội và quản trị có ảnh hưởng trực tiếp đến kết quả tài chính. SASB cung cấp các tiêu chuẩn báo cáo ESG chi tiết cho 77 tiêu chuẩn chuyên ngành trên 11 lĩnh vực, bao gồm tài chính, y tế, năng lượng và công nghệ, tập trung vào việc xác định các vấn đề ESG quan trọng nhất có khả năng ảnh hưởng đến hiệu quả tài chính của một ngành [7].

* Ưu điểm:

- Tập trung vào tài chính của doanh nghiệp: SASB định hướng việc công bố thông tin vào các yếu tố ESG có ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu quả tài chính và giá trị doanh nghiệp, điều này rất hữu ích cho các nhà đầu tư.

- Nâng cao khả năng so sánh: Khung SASB gồm hệ thống 77 bộ tiêu chuẩn cho từng chuyên ngành cho phép các doanh nghiệp trong cùng lĩnh vực công bố báo cáo nhất quán, từ đó hỗ trợ nhà đầu tư so sánh và đánh giá hiệu suất ESG một cách hiệu quả [8].

- Khả năng tích hợp với báo cáo tài chính: SASB được thiết kế để kết hợp dễ dàng với các chuẩn mực tài chính, kế toán quốc tế hiện hành như IFRS hoặc US GAAP. Sự kết hợp này tạo thành báo cáo tích hợp hoặc báo cáo tài chính mở rộng, cung cấp cái nhìn toàn diện hơn cho nhà đầu tư và các bên liên quan [7].

* Hạn chế:

- SASB có phạm vi hẹp, tập trung vào yếu tố tài chính phục vụ nhu cầu thông tin của nhà đầu tư, trong khi các bên liên quan khác như người lao động, cộng đồng địa phương hay khách hàng có thể không được đề cập đầy đủ [8].

- Việc áp dụng các tiêu chuẩn báo cáo được thiết kế riêng cho từng chuyên ngành có thể làm giảm mức độ linh hoạt trong việc điều chỉnh nội dung báo cáo cho phù hợp với những đặc thù riêng của từng doanh nghiệp hoặc để đáp ứng nhu cầu thông tin từ các bên liên quan.

2.3. IFRS S1 và IFRS S2

IFRS S1 và IFRS S2 là các bộ khung tiêu chuẩn do Hội đồng Tiêu chuẩn bền vững quốc tế (International Sustainability Standards Board - ISSB) phát triển. Cụ thể:

IFRS S1 được ban hành tháng 6/2023 với mục tiêu tạo ra một

khung báo cáo toàn cầu thống nhất để doanh nghiệp công bố các rủi ro và cơ hội có tác động đến tình hình tài chính, hiệu quả hoạt động và phát triển của doanh nghiệp. Khung tiêu chuẩn IFRS S1 yêu cầu thông tin về 4 lĩnh vực: Quản trị, chiến lược, quản lý rủi ro, chỉ số và mục tiêu [9].

IFRS S2 ban hành cùng thời điểm với IFRS S1, là khung tiêu chuẩn chuyên biệt về khí hậu, với mục tiêu yêu cầu doanh nghiệp công bố thông tin về rủi ro và cơ hội liên quan đến khí hậu có khả năng ảnh hưởng đến dòng tiền, khả năng tiếp cận tài chính hoặc chi phí vốn của doanh nghiệp trong ngắn, trung hoặc dài hạn. IFRS S2 được xây dựng dựa trên khung Task Force on Climate-related Financial Disclosures (TCFD) của Hội đồng ổn định tài chính (Financial Stability Board). TCFD là khung báo cáo tập trung vào các yếu tố liên quan đến khí hậu và rủi ro tài chính do biến đổi khí hậu gây ra [10].

** Ưu điểm:*

- Hướng tới so sánh toàn cầu: Mục tiêu chính các khung báo cáo của ISSB là thiết lập một chuẩn mực toàn cầu, giúp thông tin có thể so sánh được giữa các doanh nghiệp và quốc gia, tạo điều kiện thuận lợi cho các quyết định đầu tư xuyên quốc gia [11]. Doanh

Bảng 1. So sánh các Khung báo cáo ESG phổ biến

Khung Báo cáo	Mục tiêu chính	Đối tượng	Tính tuân thủ	Phạm vi	Đặc điểm nổi bật	Tình trạng hiện tại
GRI	Phản ánh toàn diện tác động của các yếu tố môi trường, xã hội và quản trị đối với các bên liên quan	Nhiều bên liên quan: Cộng đồng, tổ chức phi chính phủ, nhà đầu tư	Tự nguyện	Toàn bộ các yếu tố môi trường, xã hội và quản trị	Cấu trúc mô-đun (Universa, Sector, Topic), linh hoạt, chuẩn mực quốc tế	Đang áp dụng rộng rãi
SASB	Công bố các yếu tố môi trường, xã hội và quản trị có ảnh hưởng trực tiếp đến kết quả tài chính	Nhà đầu tư, thị trường vốn	Tự nguyện (được khuyến khích)	Trọng yếu tài chính theo 77 chuyên ngành	Chỉ số theo ngành, tập trung tác động tài chính, tích hợp vào báo cáo tài chính	Đã tích hợp vào ISSB từ tháng 8/2022, tiếp tục được duy trì và phát triển
IFRS S1	Yêu cầu chung về công bố thông tin tài chính liên quan đến bền vững	Nhà đầu tư, thị trường vốn toàn cầu	Tự nguyện (hướng tới bắt buộc toàn cầu)	Toàn bộ các yếu tố môi trường, xã hội và quản trị	Chuẩn mực toàn cầu, tích hợp chặt chẽ với báo cáo tài chính	Có hiệu lực từ tháng 01/2024 (tùy thuộc vào quy định quốc gia)
IFRS S2	Công bố thông tin tài chính liên quan đến khí hậu	Nhà đầu tư, thị trường vốn toàn cầu	Tự nguyện (hướng tới bắt buộc toàn cầu)	Các yếu tố liên quan đến khí hậu, bao gồm rủi ro vật lý (tác động trực tiếp của biến đổi khí hậu) và rủi ro chuyển đổi (tác động từ quá trình chuyển đổi sang nền kinh tế carbon thấp)	Tích hợp hoàn toàn khuyến nghị của TCFD	Có hiệu lực từ tháng 01/2024 (tùy thuộc vào quy định quốc gia)

nh nghiệp tuân thủ IFRS S1 và IFRS S2 sẽ có báo cáo minh bạch hơn, từ đó nâng cao niềm tin với nhà đầu tư và củng cố uy tín trên thị trường quốc tế.

- Gắn kết phát triển bền vững với hiệu quả tài chính: IFRS S1 kết nối những rủi ro và cơ hội với báo cáo tài chính, hướng đến giá trị doanh nghiệp và quyết định đầu tư bền vững. IFRS S2 cung cấp khung chi tiết về rủi ro khí hậu, phân tích kịch bản, công bố khí thải, giúp làm rõ ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đến tài chính của doanh nghiệp.

** Hạn chế:*

IFRS S1 và IFRS S2 là các khung tiêu chuẩn tương đối mới, có thể đòi hỏi cần thời gian và nguồn lực để doanh nghiệp hiểu rõ và triển khai đầy đủ các yêu cầu.

3. SO SÁNH VÀ ĐÁNH GIÁ SỰ PHÙ HỢP CỦA CÁC KHUNG BÁO CÁO ESG ĐỐI VỚI DOANH NGHIỆP XÂY DỰNG VIỆT NAM

3.1. So sánh các khung báo cáo ESG phổ biến

Các khung báo cáo được so sánh theo các tiêu chí: Mục tiêu chính, đối tượng, tính tuân thủ, phạm vi, đặc điểm nổi bật và tình trạng hiện tại.

Nguồn: Tác giả tổng hợp từ [5, 12, 13]

3.2. Đánh giá sự phù hợp của các khung báo cáo ESG đối với các doanh nghiệp xây dựng Việt Nam

GRI là một nền tảng vững chắc cho các doanh nghiệp xây dựng Việt Nam khi bắt đầu hành trình báo cáo ESG, đặc biệt là để xây dựng lòng tin với các bên liên quan. GRI cung cấp một cái nhìn toàn diện về kinh tế, môi trường và xã hội mà hoạt động của doanh nghiệp tác động đến. Đối với ngành Xây dựng, vốn có nhiều tác động đến xã hội và môi trường như phát thải cao, quản lý chất thải phức tạp và rủi ro an toàn lao động, nên việc báo cáo theo GRI giúp doanh nghiệp thể hiện trách nhiệm của mình với cộng đồng và môi trường. Tuy nhiên, do GRI không tập trung vào tính trọng yếu của tài chính, nó có thể không đủ để thu hút các nhà đầu tư chỉ quan tâm đến hiệu quả tài chính. Do đó, các doanh nghiệp xây dựng Việt Nam nên xem GRI là một phần của chiến lược báo cáo toàn diện, có thể kết hợp với các khung tập trung vào tài chính như SASB hoặc các khung của ISSB để đáp ứng nhu cầu đa dạng của các bên liên quan.

Khung báo cáo SASB được xem là đặc biệt phù hợp đối với các doanh nghiệp xây dựng đã niêm yết trên thị trường chứng khoán hoặc có định hướng thu hút vốn đầu tư, do nhấn mạnh đến các vấn đề ESG có tác động trực tiếp đến hiệu quả tài chính. Đồng thời, SASB cung cấp hệ thống tiêu chuẩn chuyên biệt cho ngành Xây dựng, qua đó hỗ trợ doanh nghiệp truyền đạt một cách minh bạch và có hệ thống những rủi ro cũng như cơ hội liên quan đến phát triển bền vững, vốn có khả năng ảnh hưởng đáng kể đến giá trị doanh nghiệp trong dài hạn.

IFRS S1 cung cấp một nền tảng toàn diện để công bố thông tin bền vững có ảnh hưởng đến tình hình tài chính của doanh nghiệp, phù hợp cho các doanh nghiệp xây dựng lớn đang hướng tới chuẩn mực báo cáo toàn cầu và thu hút vốn quốc tế. Khung báo cáo IFRS S1 đảm bảo thông tin bền vững được tích hợp chặt chẽ với báo cáo tài chính, tăng cường sự tin cậy và minh bạch.

IFRS S2 rất quan trọng cho các doanh nghiệp ngành Xây dựng do ngành này tác động lớn đến khí hậu và sự cần thiết phải quản lý rủi ro khí hậu. Đây là lựa chọn hàng đầu cho báo cáo khí hậu, đặc biệt khi doanh nghiệp có liên kết quốc tế hoặc quan tâm đến việc thu hút vốn đầu tư xanh.

Các khung IFRS S1, IFRS S2 được thiết kế để trở thành chuẩn mực toàn cầu. Đối với các doanh nghiệp xây dựng Việt Nam có tham vọng vươn ra thị trường quốc tế hoặc thu hút vốn đầu tư lớn, việc chủ động chuẩn bị và áp dụng IFRS S1, IFRS S2 là một lợi thế cạnh tranh đáng kể, đồng thời giúp doanh nghiệp đáp ứng các yêu cầu ngày càng khắt khe về minh bạch tài chính.

4. KHUYẾN NGHỊ LỰA CHỌN KHUNG BÁO CÁO ESG PHÙ HỢP ĐỐI VỚI CÁC DOANH NGHIỆP XÂY DỰNG VIỆT NAM

Việc lựa chọn khung báo cáo ESG phù hợp cho doanh nghiệp xây dựng Việt Nam cần dựa trên quy mô doanh nghiệp, mục tiêu phát triển, đối tượng của báo cáo và mức độ hội nhập quốc tế. Chiến lược lựa chọn khung báo cáo cần linh hoạt và phát triển theo thời gian, phản ánh sự trưởng thành của doanh nghiệp trong hành trình thực hiện ESG và sự thay đổi của bối cảnh pháp lý, thị trường.

- Doanh nghiệp nhỏ và vừa (SMEs): Với nguồn lực hạn chế, các SMEs trong ngành Xây dựng có thể bắt đầu bằng việc tham khảo các hướng dẫn lập báo cáo phát triển bền vững của Ủy ban Chứng khoán Nhà nước Việt Nam (SSC) và Tổ chức Tài chính Quốc tế (IFC) để xây dựng nền tảng cơ bản về báo cáo bền vững. Sau đó, có thể dần áp dụng các tiêu chuẩn GRI Universal để làm quen với báo cáo toàn diện, tập trung vào các vấn đề trọng yếu nhất của doanh nghiệp.

- Doanh nghiệp lớn: GRI là lựa chọn tốt để xây dựng danh tiếng và quản lý mối quan hệ với các bên liên quan, đặc biệt là cộng đồng

và các tổ chức xã hội. Đồng thời, nên bắt đầu đánh giá rủi ro khí hậu theo TCFD (hoặc IFRS S2) để chuẩn bị cho các yêu cầu báo cáo khí hậu trong tương lai, vốn ngày càng trở nên quan trọng.

- Doanh nghiệp niêm yết trên sàn chứng khoán Việt Nam: Nên kết hợp GRI để báo cáo toàn diện các tác động bền vững và SASB để cung cấp thông tin tài chính trọng yếu cho nhà đầu tư.

- Doanh nghiệp có hoạt động quốc tế: Nên chủ động áp dụng IFRS S1, IFRS S2 để đảm bảo tính so sánh toàn cầu và đáp ứng kỳ vọng của các nhà đầu tư quốc tế, đặc biệt là những nhà đầu tư quan tâm đến thông tin tài chính gắn liền với các yếu tố phát triển bền vững.

5. KẾT LUẬN

Lựa chọn khung báo cáo ESG phù hợp là nội dung quan trọng trong chiến lược triển khai ESG của doanh nghiệp xây dựng. Tùy thuộc vào lĩnh vực hoạt động, quy mô, mục tiêu phát triển mà doanh nghiệp có thể cân nhắc lựa chọn các khung báo cáo ESG khác nhau như GRI, SASB, IFRS S1 và IFRS S2. Trong xu thế hội nhập và phát triển, mục tiêu của doanh nghiệp có thể thay đổi nên chiến lược báo cáo ESG cũng cần thích ứng. Các doanh nghiệp xây dựng không nên kỳ vọng vào một khung báo cáo hoàn hảo cho mọi giai đoạn phát triển của doanh nghiệp mà cần có sự linh hoạt. Để nâng cao vị thế cạnh tranh và mục tiêu phát triển bền vững, doanh nghiệp cần xây dựng một chiến lược triển khai ESG cụ thể, trong đó khung báo cáo ESG có thể bắt đầu với một khung đơn giản, sau đó mở rộng hoặc kết hợp các khung khác để đáp ứng các yêu cầu ngày càng cao.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. USAID & Bộ Kế hoạch và Đầu tư (2023), Sổ tay hướng dẫn công cụ đánh giá mức độ thực hành kinh doanh bền vững của doanh nghiệp theo khung Môi trường - Xã hội - Quản trị (ESG).
- [2]. Pedro M. (2020), ESG and responsible institutional investing around the world: A critical review, CFA Institute Research Foundation.
- [3]. Lovely Joy Peligrino (2023), The ESG Reporting Frameworks and Standards: Explained, <https://www.azeusconvene.com/esg/articles/the-esg-reporting-frameworks-and-standards-explained>.
- [4]. GRI (2025), Catalyst for a sustainable world, <https://www.globalreporting.org/about-gri/>.
- [5]. Phoenix Strategy Group (2025), ESG Reporting Standards for Manufacturers: A Comparison, <https://www.phoenixstrategy.group/blog/esg-reporting-standards-for-manufacturers-a-comparison>.
- [6]. GRI Standards and Reporting, GRI Explained, Workiva Carbon (2025), <https://www.sustain.life/blog/gri-standards>.
- [7]. Acuity Knowledge Partners (2025), Sustainability Accounting Standards Board (SASB), <https://www.acuitykp.com/blog/sustainability-accounting-standards-board-sasb/>.
- [8]. Quantive (2025), What Are ESG Frameworks? How to Choose the Right One for Your Business, <https://quantive.com/resources/articles/esg-frameworks>.
- [9]. IFRS (2023), IFRS S1 General Requirements for Disclosure of Sustainability-related Financial Information, <https://www.ifrs.org/issued-standards/ifrs-sustainability-standards-navigator/ifrs-s1-general-requirements.html/content/dam/ifrs/publications/html-standards-issb/english/2023/issued/issbs1/#about>.
- [10]. International Sustainability Standards Board (2023), IFRS S2 Climate-related Disclosures.
- [11]. Manifest Climate (2025), What is IFRS S1? Understanding its role in ESG reporting, <https://www.manifestclimate.com/blog/ifrs-s1/>.
- [12]. SSC&IFC (2013), Hướng dẫn lập báo cáo phát triển bền vững.
- [13]. EcoActive LLC (2025), Choosing the Right ESG Framework: A 2025 Guide to CSRD, GRI, SASB, TCFD & More, <https://ecoactivetech.com/choosing-esg-framework-2025-guide/>.

Đánh giá mức độ quan trọng của các yếu tố tác động đến sự phát triển bền vững nguồn nhân lực logistics: Trường hợp tại khu vực Đông Nam Bộ

Assessing the importance of factors affecting the sustainable development of logistics human resources: The case of the Southeast region

> **THS.NCS TRỊNH ĐÌNH CƯỜNG^{1,2,*}, PGS.TS HỒ THỊ THU HÒA³, KS NGUYỄN THANH DANH³**

¹Trường Đại học Giao thông vận tải TP.HCM

²Trường Đại học Bà Rịa - Vũng Tàu

³Trường Đại học Quốc tế, Đại học Quốc gia TP. HCM

*Email: ncs.trinhdingcuong@gmail.com

TÓM TẮT

Khu vực Đông Nam Bộ đóng vai trò trọng điểm trong mạng lưới logistics phía Nam, từ đó phát sinh nhu cầu cấp thiết về phát triển nguồn nhân lực logistics chất lượng cao theo hướng bền vững. Nghiên cứu này nhằm xác định các yếu tố then chốt ảnh hưởng đến khả năng phát triển bền vững nhân lực logistics tại khu vực. Phương pháp phân tích thứ bậc (Analytic Hierarchy Process - AHP) được sử dụng để đánh giá mức độ quan trọng tương đối của các yếu tố thông qua ý kiến chuyên gia trong lĩnh vực logistics và quản trị nhân sự. Kết quả cho thấy, "Môi trường làm việc" và "Sự linh hoạt và khả năng thích ứng" là hai yếu tố quan trọng nhất, tiếp theo là "Năng lực công nghệ và chuyển đổi số", "Chính sách phát triển bền vững" và "Thu hút và giữ chân nhân tài". Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất các định hướng chiến lược trong quản trị nhân lực, góp phần nâng cao năng lực cạnh tranh và thúc đẩy sự phát triển bền vững của ngành logistics khu vực. Kết quả nghiên cứu cũng cung cấp cơ sở tham khảo hữu ích cho các nhà hoạch định chính sách và doanh nghiệp trong việc xây dựng chiến lược phát triển nhân lực logistics.

Từ khóa: Nhân sự logistics; phân tích thứ bậc (AHP); phát triển bền vững.

ABSTRACT

The Southeast region plays a pivotal role in the Southern logistics network, thereby posing an urgent demand for the sustainable development of a high-quality logistics workforce. This study aims to identify the key factors influencing the sustainable development of logistics human resources in the region. The Analytic Hierarchy Process (AHP) method was applied to evaluate the relative importance of these factors based on expert opinions in logistics and human resource management. The results indicate that "Working Environment" and "Flexibility and Adaptability" are the most critical factors, followed by "Technology Capabilities and Digital Transformation", "Sustainability Policies" and "Talent Attraction and Retention". Based on these findings, the study proposes strategic orientations for human resource management to enhance competitiveness and promote the sustainable development of the regional logistics sector. The results also provide useful references for policymakers and enterprises in formulating strategies for sustainable logistics workforce development.

Keywords: Analytic Hierarchy Process (AHP); logistics workforce; sustainable development.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh toàn cầu hóa sâu rộng và quá trình chuyển đổi số diễn ra mạnh mẽ, ngành Logistics ngày càng khẳng định vai trò then chốt trong việc thúc đẩy tăng trưởng kinh tế và nâng cao năng lực cạnh tranh quốc gia. Đối với các doanh nghiệp logistics, việc thu hút và duy trì đội ngũ nhân lực chất lượng cao không chỉ là yêu cầu trước mắt mà còn là yếu tố cốt lõi bảo đảm sự phát triển bền vững trong dài hạn. Khu vực Đông Nam Bộ, với lợi thế về vị trí địa lý chiến lược, hệ thống cảng biển quốc tế quy mô lớn và hạ tầng logistics phát triển được đánh giá là trung tâm logistics quan trọng của miền Nam Việt Nam. Đây là nền tảng để khu vực này hội nhập sâu vào chuỗi cung ứng toàn cầu và đóng vai trò đầu mối trung chuyển hàng hóa của cả nước.

Tuy nhiên, thực tế cho thấy nguồn nhân lực logistics tại Đông Nam Bộ dù có số lượng khá lớn vẫn chưa đáp ứng yêu cầu phát triển. Các doanh nghiệp trong vùng gặp khó khăn trong việc tuyển dụng nhân sự có trình độ chuyên môn cao, kỹ năng quản trị chuỗi cung ứng, năng lực ứng dụng công nghệ thông tin và ngoại ngữ. Hoạt động đào tạo còn chưa gắn kết chặt chẽ với nhu cầu thị trường, thiếu vắng các chương trình chuyên sâu về logistics đa phương thức, logistics công nghệ cao hay quản lý kho bãi hiện đại. Đây chính là những rào cản lớn đối với quá trình nâng cao năng lực cạnh tranh và thu hút đầu tư vào lĩnh vực logistics của khu vực.

Trong bối cảnh đó, phát triển bền vững nguồn nhân lực logistics không chỉ phụ thuộc vào điều kiện thị trường mà còn chịu ảnh hưởng từ chiến lược quản trị nhân sự của từng doanh nghiệp. Các yếu tố như cam kết của lãnh đạo, năng lực chuyển đổi số, chính sách đào tạo - phát triển nhân viên, môi trường làm việc tích cực cùng với sự linh hoạt và khả năng thích ứng tổ chức đều đóng vai trò quyết định. Tuy nhiên, hiện vẫn thiếu các nghiên cứu thực nghiệm đo lường mức độ ảnh hưởng của từng yếu tố trong bối cảnh đặc thù của Đông Nam Bộ. Do vậy, việc đánh giá mức độ quan trọng của các yếu tố này là cần thiết và có ý nghĩa thực tiễn, giúp doanh nghiệp xác định ưu tiên chiến lược nhân sự, đồng thời góp phần đề xuất các giải pháp nâng cao năng lực cạnh tranh và thúc đẩy phát triển bền vững ngành logistics khu vực.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Cơ sở lý thuyết

Các nghiên cứu gần đây đã chỉ ra rằng, lãnh đạo có cam kết mạnh mẽ và theo phong cách chuyển đổi có thể tạo ra môi trường làm việc sáng tạo, thúc đẩy đổi mới và tăng cường sự gắn kết với tổ chức, từ đó giữ chân nhân sự lâu dài [1-3]. Đồng thời, trong bối cảnh chuyển đổi số ngày càng mạnh mẽ, năng lực công nghệ và khả năng ứng dụng các công nghệ hiện đại trong công việc là yếu tố quan trọng giúp nhân viên nâng cao hiệu suất và đóng góp vào sự phát triển bền vững của doanh nghiệp [4-6]. Việc xây dựng chiến lược thu hút và giữ chân nhân tài, thông qua các chương trình đào tạo và phát triển không chỉ giúp tối ưu hóa năng suất mà còn tạo ra một môi trường làm việc tích cực, đồng thời góp phần nâng cao sự gắn kết của nhân viên với tổ chức [7-12]. Môi trường làm việc đa văn hóa và xu hướng quốc tế hóa cũng đóng vai trò quan trọng trong việc giúp doanh nghiệp logistics mở rộng thị trường và nâng cao năng lực cạnh tranh. Các nghiên cứu cho thấy, việc áp dụng các chiến lược linh hoạt và tạo ra môi trường làm việc đa dạng, dễ thích nghi sẽ giúp doanh nghiệp duy trì sự ổn định và phát triển bền vững trong môi trường thay đổi nhanh chóng [13-14]. Hơn nữa, việc hiểu và ứng dụng các yếu tố về đa văn hóa trong môi trường làm việc giúp tăng cường sự gắn kết trong tổ chức và hỗ trợ quá trình hòa nhập của nhân viên, qua đó nâng cao sự hợp tác và hiệu quả công việc [15-19].

Dựa trên kết quả khảo tài liệu, nghiên cứu sử dụng

phương pháp tiếp cận hỗn hợp, kết hợp định tính (phỏng vấn chuyên gia) và định lượng (phân tích thứ bậc - AHP) nhằm xác định mức độ quan trọng của các yếu tố trong phát triển bền vững đội ngũ nhân sự logistics tại khu vực Đông Nam Bộ. Dữ liệu nghiên cứu được thu thập từ hai nguồn: (1) Dữ liệu thứ cấp từ các công trình nghiên cứu trước, báo cáo ngành và chính sách phát triển nhân lực logistics trong và ngoài nước, nhằm hình thành khung lý thuyết và xây dựng danh sách yếu tố ban đầu; (2) Dữ liệu sơ cấp thông qua phỏng vấn chuyên sâu với 20 chuyên gia có kinh nghiệm trong lĩnh vực logistics và quản trị nhân sự, bao gồm nhà quản lý doanh nghiệp, cán bộ hiệp hội và giảng viên chuyên ngành.

Quá trình phỏng vấn được thực hiện theo hình thức bảng hỏi bán cấu trúc, trong đó các chuyên gia được yêu cầu xác nhận sự tồn tại và mức độ liên quan của từng yếu tố đối với khả năng phát triển bền vững đội ngũ nhân sự logistics tại khu vực. Các yếu tố được đưa vào đánh giá bao gồm: Yếu tố kinh tế, chiến lược nhân sự, môi trường làm việc, năng lực công nghệ và chuyển đổi số cùng với khả năng thích ứng với xu hướng quốc tế hóa. Trong giai đoạn này, các chuyên gia cũng đề xuất bổ sung yếu tố "Chính sách phát triển bền vững" nhằm phản ánh vai trò định hướng của các chính sách vĩ mô trong việc khuyến khích doanh nghiệp logistics gắn kết phát triển nhân lực với mục tiêu kinh tế xanh, logistics xanh và trách nhiệm xã hội. Kết quả phỏng vấn được tổng hợp, mã hóa và phân tích định tính nhằm chuẩn hóa hệ thống yếu tố nghiên cứu phù hợp với bối cảnh thực tiễn. Bảng 1 dưới đây trình bày tổng hợp các yếu tố ảnh hưởng được xác định sau giai đoạn phỏng vấn chuyên gia.

Bảng 1. Tổng hợp các yếu tố trong phát triển bền vững đội ngũ nhân sự logistics tại khu vực Đông Nam Bộ

Kí hiệu	Yếu tố	Tác giả
C1	Cam kết từ lãnh đạo	[1], [2], [3]
C2	Năng lực công nghệ và chuyển đổi số	[4], [5], [6]
C3	Thu hút và giữ chân nhân tài	[7], [8]
C4	Đào tạo và phát triển nhân viên	[9], [10]
C5	Quản lý hiệu suất và động lực làm việc	[11], [12]
C6	Sự linh hoạt và khả năng thích ứng	[13], [14]
C7	Môi trường làm việc	[15], [16], [17], [18], [19]
C8	Chính sách phát triển bền vững	Ý kiến của chuyên gia

Nguồn: Tác giả tổng hợp

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp AHP (Analytic Hierarchy Process) hỗ trợ ra quyết định thông qua việc xác định lựa chọn, đánh giá tiêu chí, xác định trọng số và xếp hạng phương án. Phương pháp này được ứng dụng rộng rãi khi có sự tham gia của nhiều nhóm ra quyết định với mục tiêu khác nhau, như các bên liên quan, nhà quản lý hay cộng đồng [20]. Tuy nhiên, AHP không phù hợp khi số lựa chọn quá lớn do yêu cầu nhiều phép so sánh cặp, nên thường được dùng chủ yếu để xác định trọng số các tiêu chí. AHP do Thomas E. Saaty giới thiệu từ thập niên 1970, dựa trên cách thức con người xử lý vấn đề phức tạp và không rõ ràng [21]. Trong nghiên cứu này, các bước được thực hiện theo quy trình nghiên cứu do [22] đề xuất, bao gồm các bước sau:

Bước 1. So sánh theo cặp của các chuyên gia:

$$D_k = \begin{bmatrix} b_{11k} & \dots & b_{1nk} \\ \dots & b_{ijk} & \dots \\ b_{n1k} & \dots & b_{nnk} \end{bmatrix} \quad k = 1, \dots, K; i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, n$$

Bước 2: Tính giá trị trung bình hình học của ý kiến chuyên gia:

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{1n} \\ \dots & \dots \\ d_{n1} & d_{nn} \end{bmatrix}$$

$$d_{ij} = \sqrt[k]{\prod_{k=1}^K b_{ijk}} = 1/d_{ji} \quad \forall i, j$$

Bước 3: Chuẩn hóa:

$$r_{ij} = \frac{d_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n d_{ij}^2}} \quad \forall i, j$$

Bước 4: Tính trọng số:

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n r_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n r_{ij}} \quad \forall i$$

Bước 5: Tỷ lệ nhất quán:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{j=1}^n d_{ij} * w_j}{w_i}$$

Trong đó: k - Chỉ số chuyên gia; K - Tổng số chuyên gia; D_k - Ma trận so sánh cặp do chuyên gia thứ k lập và b_{ijk} là mức độ ảnh hưởng của yếu tố thứ i đối với yếu tố thứ j theo quan điểm của chuyên gia thứ k. D biểu thị ma trận trung bình hình học của ý kiến chuyên gia. r_{ij} cho biết các mục nhập ma trận đã chuẩn hóa. w_i biểu thị trọng số của yếu tố thứ i. CR (Consistency Ratio) biểu thị tỷ lệ nhất quán, CI (Consistency Index) biểu thị chỉ số nhất quán và RI (Random Index) biểu thị chỉ số ngẫu nhiên. n cho biết số phần tử và giá trị RI đối với n được lấy từ bảng sau:

Bảng 2. Chỉ số ngẫu nhiên (RI) [23]

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,51

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Trên cơ sở ý kiến đánh giá của các chuyên gia, nghiên cứu đã xây dựng ma trận so sánh cặp giữa các yếu tố ảnh hưởng nhằm xác định mức độ ưu tiên tương đối trong bối cảnh phát triển bền vững đội ngũ nhân sự logistics tại địa phương. Ma trận so sánh cặp được trình bày tại Bảng 3.

Bảng 3. Ma trận đánh giá tổng hợp của các chuyên gia

YT	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
C1	1,00	1,66	0,51	0,69	0,96	0,57	0,66	0,88
C2	0,60	1,00	1,06	1,25	1,57	1,66	0,51	0,69
C3	1,96	0,94	1,00	0,96	0,57	0,66	0,88	1,06
C4	1,44	0,80	1,04	1,00	1,66	0,51	0,69	0,96
C5	1,04	0,64	1,75	0,60	1,00	0,57	0,66	0,88
C6	1,75	0,60	1,52	1,96	1,75	1,00	1,06	1,25
C7	1,52	1,96	1,14	1,44	1,52	0,94	1,00	1,57
C8	1,14	1,44	0,94	1,04	1,14	0,80	0,64	1,00

Tiếp theo quá trình tổng hợp ý kiến chuyên gia, nghiên cứu tiến hành chuẩn hóa ma trận so sánh cặp nhằm làm rõ mức độ ưu

tiên tương đối giữa các yếu tố trong hệ thống tiêu chí. Dựa trên kết quả đánh giá tổng hợp từ Bảng 3, ma trận chuẩn hóa được xây dựng và trình bày tại Bảng 4. Từ ma trận này, trọng số của từng yếu tố được xác định, phản ánh tầm quan trọng của từng yếu tố trong tổng thể hệ thống. Kết quả chi tiết về trọng số được thể hiện cụ thể trong Bảng 5.

Bảng 4. Ma trận chuẩn hóa

YT	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
C1	0,26	0,48	0,15	0,21	0,26	0,22	0,30	0,29
C2	0,16	0,29	0,32	0,37	0,42	0,64	0,23	0,23
C3	0,50	0,27	0,30	0,29	0,15	0,26	0,40	0,35
C4	0,37	0,23	0,31	0,30	0,44	0,20	0,31	0,32
C5	0,27	0,18	0,53	0,18	0,27	0,22	0,30	0,29
C6	0,45	0,17	0,46	0,58	0,47	0,39	0,48	0,41
C7	0,39	0,57	0,34	0,43	0,40	0,37	0,45	0,52
C8	0,29	0,42	0,28	0,31	0,30	0,31	0,29	0,33

Bảng 5. Trọng số của các yếu tố

Kí hiệu	Yếu tố	Trọng số	Xếp hạng
C7	Môi trường làm việc	0,162	1
C6	Sự linh hoạt và khả năng thích ứng	0,159	2
C2	Năng lực công nghệ và chuyển đổi số	0,124	3
C8	Chính sách phát triển bền vững	0,118	4
C3	Thu hút và giữ chân nhân tài	0,117	5
C4	Đào tạo và phát triển nhân viên	0,116	6
C5	Quản lý hiệu suất và động lực làm việc	0,104	7
C1	Cam kết từ lãnh đạo	0,101	8

Kết quả được tổng hợp trong Bảng 5 cho thấy yếu tố “Môi trường làm việc” có trọng số cao nhất (0,162), phản ánh vai trò then chốt của việc xây dựng một không gian làm việc tích cực, hỗ trợ và hiệu quả trong quá trình phát triển năng lực tổ chức. Tiếp theo đó là “Sự linh hoạt và khả năng thích ứng” xếp thứ hai với trọng số 0,159, cho thấy tầm quan trọng của khả năng ứng phó nhanh và thích nghi hiệu quả trong bối cảnh môi trường kinh doanh thường xuyên biến động.

Các yếu tố như “Năng lực công nghệ và chuyển đổi số” (0,124), “Chính sách phát triển bền vững” (0,118) và “Thu hút và giữ chân nhân tài” (0,117) được đánh giá có mức độ quan trọng tương đối cao, phản ánh xu hướng ưu tiên các yếu tố mang tính chiến lược và dài hạn. Trong khi đó, các yếu tố “Đào tạo và phát triển nhân viên” (0,116), “Quản lý hiệu suất và động lực làm việc” (0,104) và “Cam kết từ lãnh đạo” (0,101) có trọng số thấp hơn, tuy nhiên vẫn đóng vai trò hỗ trợ quan trọng trong việc duy trì và nâng cao hiệu quả nguồn nhân lực.

4. KẾT LUẬN VÀ ĐỀ XUẤT

Trên cơ sở ứng dụng phương pháp phân tích thứ bậc (AHP), nghiên cứu đã xác định được mức độ quan trọng tương đối của các

yếu tố trong phát triển bền vững nhân lực logistics tại khu vực Đồng Nam Bộ. Kết quả cho thấy, “Môi trường làm việc” và “Sự linh hoạt và khả năng thích ứng” là hai yếu tố có trọng số cao nhất, phản ánh vai trò thiết yếu của việc tạo dựng điều kiện làm việc tích cực và khả năng phản ứng linh hoạt trong bối cảnh ngành Logistics đang chịu nhiều tác động từ chuyển đổi công nghệ và biến động kinh tế. Các yếu tố như năng lực công nghệ, chính sách phát triển bền vững và thu hút nhân tài cũng giữ vai trò chiến lược, hỗ trợ nâng cao năng lực cạnh tranh và tính bền vững trong quản trị nguồn nhân lực. Tỷ lệ nhất quán (CR) đạt 0,079 nhỏ hơn ngưỡng chấp nhận 0,1 theo khuyến nghị của Saaty [23], cho thấy mức độ tin cậy cao và đảm bảo tính hợp lệ trong quá trình xác định trọng số.

Từ những phát hiện trên, nghiên cứu đề xuất các cơ quan quản lý nhà nước và doanh nghiệp logistics tại khu vực cần ưu tiên cải thiện môi trường làm việc, nâng cao năng lực thích ứng tổ chức và thúc đẩy các chính sách thu hút, phát triển nguồn nhân lực gắn với mục tiêu phát triển bền vững. Đồng thời, việc đẩy mạnh chuyển đổi số, áp dụng công nghệ và xây dựng chính sách nhân sự phù hợp với đặc thù địa phương sẽ góp phần hình thành một hệ sinh thái nhân lực logistics ổn định và phát triển trong dài hạn.

Bên cạnh đó, các nghiên cứu tiếp theo có thể xem xét vận dụng phương pháp AHP mờ (Fuzzy AHP) hoặc kết hợp các phương pháp ra quyết định đa tiêu chí khác như TOPSIS, ANP hoặc DEMATEL nhằm xử lý tốt hơn tính mơ hồ trong đánh giá chuyên gia, từ đó nâng cao tính chính xác của kết quả. Ngoài ra, cần mở rộng phạm vi nghiên cứu theo hướng phân tích các hoạt động triển khai chính sách phát triển bền vững cũng như xem xét các yếu tố liên kết vùng trong đào tạo, thu hút và phát triển nguồn nhân lực logistics. Những hướng đi này không chỉ góp phần hoàn thiện cơ sở lý luận mà còn mang lại hàm ý thực tiễn sâu sắc cho việc hoạch định chính sách nhân sự trong lĩnh vực logistics ở cấp độ địa phương và vùng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Men, F., Yaqub, R. M. S., Yan, R., Irfan, M., & Haider, A. (2023), The impact of top management support, perceived justice, supplier management and sustainable supply chain management on moderating the role of supply chain agility, *Frontiers in Environmental Science*, 10, 1006029.
- [2]. Al Jubouri, Z. T. K. (2023), The Role of Transformational Leadership for Human Resource Managers in Training and Development, *International Journal of Professional Business Review: Int. J. Prof. Bus. Rev.*, 8(4), 23.
- [3]. Singh, G., & Menon, F. (2023), Impact of transformational leadership on employee motivation and performance in supply chain management, *The Business & Management Review*, 14(2), 131-139.
- [4]. Reis, J.; Amorim, M.; Melão, N.; Matos, P. (2018), Digital transformation: A literature review and guidelines for future research, In *Trends and Advances in Information Systems and Technologies*, Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, vol.16, pp.411-421.
- [5]. Kane, G. C., Palmer, D., Phillips, A. N., Kiron, D., & Buckley, N. (2018), Coming of age digitally, *MIT Sloan Management Review*, Cambridge, MA, USA, pp.1-33.
- [6]. Gekara, V., Snell, D., Molla, A., Karanasios, S., & Thomas, A. (2019), *Skilling the Australian Workforce for the Digital Economy*, Research Report. National Centre for Vocational Education Research (NCVER).
- [7]. Al-Dalahmeh, M. L. (2020), Talent management: a systematic review, *Oradea Journal of Business and Economics*, 5(special), 115-123.
- [8]. Subashini, R., & Velmurugan, G. (2023), Maximizing the Effectiveness of Talent Acquisition Strategies in Human Resource behavioural Management: A Psychological Study of Best Practices and Impact on Organizational Performance, *Journal for ReAttach Therapy and Developmental Diversities*, 6(10s (2)), 303-313.
- [9]. Attar, N. E. (2023), Role expansion of individual workforce through a drama based organisational intervention, *EuroMed Journal of Management*, 5(1), 29-45.
- [10]. Caratozzolo, P., Cukierman, U., Nørgaard, B., Schrey-Niemenmaa, K., Azofeifa, J. D., & Rueda-Castro, V. (2024, May), Future skills forecasting: ensuring quality learning for every segment of the workforce, In *2024 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)* (pp.1-5), IEEE.
- [11]. Nwankwo, T. C., Oshioste, E. E., Okoye, C. C., & Udokwu, S. T. C. (2023), Effect of financial motivation as a tool for increasing employee efficiency: A study of Lafarge Cement Company Ewekoro, *Corporate Sustainable Management Journal (CSMJ)*.
- [12]. Serang, S., Ritamariani, A., Kamase, J., & Gani, A. (2023), The Influence of Work Motivation, Compensation and Work Procedures on Job Satisfaction and Field Extension Performance Family Planning in South Sulawesi, *International Journal of Professional Business Review: Int. J. Prof. Bus. Rev.*, 8(5), 128.
- [13]. Tretyakov, A., Jurado, T., & Bensemann, J. (2023), Employee empowerment and HR flexibility in information technology SMEs, *Journal of Computer Information Systems*, 63(6), 1394-1407.
- [14]. Dwikat, S. Y., Arshad, D., & Mohd Shariff, M. N. (2023), “Effect of competent human capital, strategic flexibility and turbulent environment on sustainable performance of SMEs in manufacturing industries in palestine”, *Sustainability*, 15(6), 4781.
- [15]. Harris, J., Seo, M., & McKeown, J. (2021, July), Global competency through collaborative online international learning (COIL), In *7th International Conference on Higher Education Advances (HEAD'21)* (pp. 1351-1358), Editorial Universitat Politècnica de València.
- [16]. Liu, J., Zhu, Y., & Wang, H. (2023), Managing the negative impact of workforce diversity: The important roles of inclusive HRM and employee learning-oriented behaviors, *Frontiers in Psychology*, 14, 1117690.
- [17]. Jejenewa, T. O., Mhlomo, N. Z., & Jejenewa, T. O. (2024), Diversity and inclusion in the workplace: a conceptual framework comparing the USA and Nigeria, *International Journal of Management & Entrepreneurship Research*, 6(5), 1368-1394.
- [18]. Orsini, P., & Magnier-Watanabe, R. (2023), Foreign coworker nationality, cultural distance, and perception of cultural diversity in the workplace, *Journal of Asia Business Studies*, 17(2), 256-278.
- [19]. Esan, O., Ajayi, F. A., & Olawale, O. (2024), Managing global supply chain teams: human resource strategies for effective collaboration and performance, *GSC Advanced Research and Reviews*, 19(2), 013-031.
- [20]. Singh, R.P., Nachtnebel, H.P. (2016), Analytical hierarchy process (AHP) application for reinforcement of hydropower strategy in Nepal, *Renew, Sustain, Energy Rev.* 55, 43-58.
- [21]. Asgharpour, M.J., (2014), *Multiple Criteria Decision Making*, Tehran University Publication (in Persian).
- [22]. Azimifard, A., Moosavirad, S. H., & Ariaifar, S. (2018), Selecting sustainable supplier countries for Iran's steel industry at three levels by using AHP and TOPSIS methods, *Resources Policy*, 57, 30-44.
- [23]. Saaty, T. L. (1980), *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*, McGraw-Hill. New York.

Kinh nghiệm của Hàn Quốc và Trung Quốc trong quản lý, giám sát và thanh tra tài chính dự án đầu tư công và bài học cho Việt Nam

Experiences of Korea and China in financial management, supervision and inspection of public investment projects and lessons for Vietnam

> TS HOÀNG NGỌC SƠN^{1,*}, THS BÙI THỊ NHƯ LOAN²

¹Thanh tra Chính phủ

²Học viện Chiến lược, Bồi dưỡng cán bộ xây dựng

*Email: hnson.btc@gmail.com

TÓM TẮT

Hàn Quốc và Trung Quốc đã có nhiều kinh nghiệm về quản lý và thanh tra, giám sát tài chính dự án đầu tư công (ĐTCT). Bài báo giới thiệu kinh nghiệm về quản lý và thanh tra, giám sát tài chính dự án ĐTCT ở cả hai nước, từ đó rút ra những bài học giá trị cho Việt Nam trong những năm tới.

Từ khóa: Quản lý; thanh tra; giám sát tài chính; dự án đầu tư công.

ABSTRACT

Korea and China have a lot of experiences in financial management, inspection and supervision of public investment projects. This article analyzes the experiences of the two countries in financial management, inspection and supervision of public investment projects, thereby drawing valuable lessons for Vietnam in the coming years.

Keywords: Management; inspection; financial supervision; public investment projects.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

ĐTCT luôn đóng vai trò quan trọng đối với sự tăng trưởng và phát triển của mỗi quốc gia. Việc tăng cường quản lý ĐTCT sẽ góp phần nâng cao hiệu quả, hiệu lực hoạt động ĐTCT, qua đó nhằm giải quyết thiếu hụt cơ sở hạ tầng, tác động tích cực tới phát triển và tăng trưởng kinh tế. Theo Quỹ tiền tệ Quốc tế (IMF), các quốc gia có khuôn khổ quản lý ĐTCT hiệu quả hơn có thể kỳ vọng các khoản đầu tư của mình sẽ mang lại hiệu ứng tăng trưởng kinh tế cao hơn. Các quốc gia có các khoản ĐTCT hiệu quả nhất sẽ có hiệu ứng tăng trưởng gấp đôi so với các quốc gia kém hiệu quả nhất. Do đó, trong những năm gần đây, nhiều quốc gia đã có những cải tiến nhằm nâng cao hiệu quả trong công tác quản lý dự án ĐTCT nói chung, đặc biệt với công tác thanh tra, giám sát tài chính đối với dự án ĐTCT nói riêng.

Từ việc tham khảo kinh nghiệm của Hàn Quốc và Trung Quốc (hai quốc gia có nhiều điểm tương đồng về cơ cấu tổ chức, cơ chế quản lý tài chính công, ĐTCT và có hệ thống thanh tra tài chính mạnh mẽ) giúp kiểm soát chặt chẽ việc sử dụng ngân sách nhà nước trong ĐTCT, bài báo rút ra kinh nghiệm hữu ích cho Việt Nam những năm tới.

2. KINH NGHIỆM CỦA HÀN QUỐC VÀ TRUNG QUỐC TRONG QUẢN LÝ VÀ THANH TRA, GIÁM SÁT TÀI CHÍNH DỰ ÁN ĐTCT VÀ BÀI HỌC CHO VIỆT NAM

2.1. Kinh nghiệm của Hàn Quốc

Công tác quản lý ĐTCT nói chung, công tác thanh tra, giám sát tài chính đối với dự án ĐTCT nói riêng của Hàn Quốc được đánh giá là có nhiều điểm tương đồng và gần gũi với nhiều nước đang phát triển, trong đó có Việt Nam.

Về kế hoạch đầu tư và quy hoạch phát triển: Tại Hàn Quốc, với đặc điểm hệ thống ngân sách được thực hiện và quản lý tập trung, Bộ Chiến lược và Tài chính giữ vai trò chủ đạo trong việc lập kế hoạch ngân sách cũng như chuẩn bị và thực hiện các chương trình, dự án ĐTCT. Sau khi có thỏa thuận giữa cơ quan có thẩm quyền và cơ quan Bộ có nhu cầu sử dụng vốn, từ đó các quyết định liên quan tới ngân sách sẽ được đưa ra. Chính phủ ban hành Khung chỉ tiêu trung hạn cùng với chính sách ngân sách từ trên xuống, việc phân bổ ngân sách bắt đầu bằng việc thảo luận về kế hoạch ngân sách đầu tư cho 5 năm.

Về tổ chức quản lý đầu tư và thẩm định dự án: Trung tâm Quản lý đầu tư hạ tầng công - tư thuộc Viện Phát triển Hàn Quốc là cơ quan chịu trách nhiệm tiến hành lập Báo cáo Nghiên cứu khả thi đối với các dự án ĐTCT có quy mô lớn. Bộ Chiến lược và Tài chính chịu trách nhiệm thẩm định, thông qua và quyết định việc loại bỏ hoặc chuyển sang giai đoạn nghiên cứu khả thi các dự án này. Sau khi Bộ Chiến lược và Tài chính thẩm định, Báo cáo nghiên cứu khả thi các dự án nêu trên sẽ được trình ra Quốc hội Hàn Quốc xem xét, quyết định. Thẩm định ở Trung ương: Trung tâm Quản lý đầu tư cơ sở hạ tầng công và tư nhân (PIMAC) thực hiện thẩm định tất cả các dự án ở trên một mức nhất định. Bắt đầu từ năm 2004, Hàn Quốc đã đưa ra Khung Chỉ tiêu trung hạn (MTEF).

Về thanh tra, giám sát, đánh giá đầu tư: Tại Hàn Quốc, Hệ thống Quản lý tổng chi phí dự án là một công cụ giúp Bộ Ngân sách theo dõi chi phí của các dự án ĐTCT và thanh tra các khoản tăng chi phí dự án trong toàn bộ vòng đời dự án từ khi lập kế hoạch đến khi hoàn tất thi công. Việc thanh tra, đánh giá hoàn thành dự án được thực hiện thông qua chính sách hậu kiểm.

Cơ quan Thanh tra và Kiểm toán Hàn Quốc (BAI) được thành lập ngày 20/3/1963 theo Đạo luật về Cơ quan Thanh tra và Kiểm toán năm 1963, là cơ quan công quyền có vị trí, chức năng và tổ chức được quy định trong Hiến pháp Hàn Quốc. BAI được thành lập theo Hiến pháp, trực thuộc Tổng thống, độc lập về nghiệp vụ trong việc thực hiện nhiệm vụ của mình.

Bộ máy lãnh đạo của BAI là Ủy ban Thanh tra, kiểm toán (TTKT), gồm 7 thành viên, đứng đầu là Chủ tịch Ủy ban do Tổng thống bổ

nhệm; trong Ủy ban có một ủy viên thường trực và một số ủy viên kiêm nhiệm; Chủ tịch Ủy ban có vị thế chính trị rất cao, chỉ đứng sau Tổng thống và Thủ tướng Chính phủ. Ủy ban TTKT BAI là cơ quan có quyền quyết định cao nhất đối với các chính sách TTKT, kế hoạch TTKT, kết luận cuối cùng về kết quả TTKT của BAI.

BAI là cơ quan trực thuộc Tổng thống nhưng có quyền hạn độc lập, kết luận TTKT của BAI được thông qua và quyết định tập thể bởi Ủy ban TTKT và có hiệu lực thi hành. Một trong những chức năng, nhiệm vụ của BAI là: Thanh tra việc thu chi ngân sách, quyết toán thu chi thuế của quốc gia, cơ quan công và báo cáo kết quả trình lên Tổng thống và Quốc hội.

** Chức năng nhiệm vụ của BAI:*

- Giám sát nghiệp vụ, xử lý kết quả thanh tra và kiểm toán và đề nghị người đứng đầu của cơ quan liên quan xử lý trách nhiệm của những tổ chức, cá nhân vi phạm và có biện pháp khắc phục; yêu cầu cơ quan công tố tiến hành thủ tục truy tố khi có dấu hiệu tội phạm được phát hiện qua hoạt động thanh tra hoặc kiểm toán;

- Nghiên cứu, phân tích những chương trình, dự án lớn của Chính phủ để từ đó đưa ra những khuyến nghị về cải cách hoạt động;

- Thực hiện TTKT theo yêu cầu của Quốc hội và yêu cầu của người dân (khi có 300 người dân yêu cầu trở lên).

** Hoạt động thanh tra:*

Hoạt động thanh tra của BAI được tiến hành đồng thời với hoạt động kiểm toán. Các cuộc TTKT được thực hiện theo kế hoạch hoặc đột xuất theo yêu cầu của Quốc hội (nghị sĩ) và người dân (dân nguyện).

- Việc xây dựng kế hoạch TTKT thông qua các bước thu thập thông tin, khảo sát, phân tích tài liệu, dự kiến phương thức tiến hành và soạn thảo kế hoạch TTKT.

- Các bước tiến hành một cuộc TTKT của BAI khá tương đồng với các bước tiến hành cuộc thanh tra của cơ quan Thanh tra Nhà nước Việt Nam; gồm các bước: Lập kế hoạch TTKT; thực hiện TTKT hiện trường; báo cáo kết quả TTKT; ban hành, công khai kết luận TTKT và cuối cùng là quản lý thực hiện kết quả sau TTKT.

- Hình thức xử lý trong TTKT của BAI bao gồm: Bồi thường thiệt hại; yêu cầu kỷ luật (sa thải, miễn chức, giáng chức, đình chỉ...); yêu cầu khôi phục, khuyến cáo, cảnh báo; yêu cầu cải thiện (chuyển vụ việc sang cơ quan tiến hành tố tụng). BAI không có quyền điều tra, cưỡng chế, bắt giữ, tịch thu, truy xét, giam giữ (giống các cơ quan Thanh tra Nhà nước của Việt Nam). Trong trường hợp lo ngại về việc mất, xóa chứng cứ thì thực hiện nghiệp vụ yêu cầu sự hợp tác từ cơ quan tư pháp tiến hành điều tra nhanh.

** Quản lý chất lượng thanh tra và thực hiện kết luận thanh tra:*

- Việc quản lý chất lượng TTKT của BAI hết sức chặt chẽ và ở tất cả các giai đoạn trong hoạt động TTKT: Từ lập kế hoạch (Kế hoạch TTKT lĩnh vực trọng điểm rồi ra cao, kế hoạch TTKT hàng năm và kế hoạch TTKT cá biệt); xây dựng kế hoạch cho một cuộc TTKT cụ thể; trong quá trình tiến hành TTKT trên thực tế và cuối cùng là quản lý chất lượng của báo cáo TTKT trước khi có ý kiến chính thức của Hội đồng Ủy ban TTKT BAI.

- Vụ hỗ trợ TTKT thực hiện thanh tra thực trạng việc thực hiện kết luận TTKT và yêu cầu thực hiện kết quả TTKT 6 tháng một lần. Đối với các kết luận yêu cầu bồi thường thì trong vòng 3 tháng, người bị kết luận bồi thường phải hoàn trả số tiền theo kết luận; đối với yêu cầu kỷ luật thì trong vòng 1 tháng Ủy ban kỷ luật phải có quyết định kỷ luật; đối với yêu cầu sửa chữa thì trong vòng 2 tháng phải thực hiện việc sửa chữa đầy đủ theo kết luận TTKT. Đối với các hạng mục kết luận TTKT yêu cầu thực hiện mà chưa thực hiện thì BAI gửi văn bản yêu cầu thực hiện, nếu không có lý do chính đáng cho việc không thực hiện kết luận TTKT thì sẽ bị xử lý theo quy trình xử lý sau TTKT. Đối với các hạng mục không thể thực hiện theo kết luận TTKT thì BAI có quyền yêu cầu xử lý tái thẩm định.

Về cơ bản, việc quản lý thực hiện kết quả TTKT của BAI giống với hoạt động đôn đốc, kiểm tra việc thực hiện kết luận thanh tra, quyết định xử lý về thanh tra của Thanh tra Việt Nam.

2.2. Kinh nghiệm của Trung Quốc

Về kế hoạch đầu tư và quy hoạch phát triển: Ở Trung Quốc có luật riêng về quy hoạch. Tất cả các dự án ĐTC đều phải nằm trong

quy hoạch đã được duyệt mới được chuẩn bị đầu tư. Ủy ban Phát triển và Cải cách Nhà nước Trung Quốc là cơ quan đầu mối tổ chức thẩm định, tổng hợp, lập báo cáo thẩm định về các quy hoạch phát triển, trình Quốc Vụ viện (Chính phủ) phê duyệt; kiểm tra, tổng hợp kết quả thực hiện các quy hoạch đã được duyệt. Các bộ, ngành, địa phương căn cứ vào các quy hoạch phát triển đã được duyệt để đề xuất, xây dựng kế hoạch đầu tư và danh mục các dự án đầu tư. Đặc biệt, khâu chủ trương đầu tư dự án của Trung Quốc rất được coi trọng với tất cả các dự án ĐTC đều phải lập Báo cáo đề xuất dự án. Ngoài ra, việc điều chỉnh dự án như về mục tiêu, quy mô, tổng mức đầu tư nằm trong quy hoạch đã được phê duyệt phải được sự chấp thuận của cơ quan phê duyệt quy hoạch đó.

Về tổ chức quản lý đầu tư và thẩm định dự án: Ở Trung Quốc, quản lý ĐTC được phân quyền theo 4 cấp ngân sách: Cấp Trung ương, cấp tỉnh, cấp thành phố và cấp huyện, trấn. Cấp có thẩm quyền của từng cấp ngân sách có toàn quyền quyết định đầu tư các dự án sử dụng vốn từ ngân sách của cấp mình. Việc thẩm định các dự án đầu tư ở tất cả các bước về chủ trương đầu tư, báo cáo khả thi, thiết kế kỹ thuật và tổng khái toán, thiết kế thi công và tổng dự toán, đấu thầu... đều thông qua Hội đồng thẩm định của từng cấp và lấy ý kiến thẩm định của các cơ quan quản lý nhà nước có liên quan cùng cấp và cấp trên nếu có sử dụng vốn hỗ trợ của ngân sách cấp trên. Hội đồng thẩm định của từng cấp do cơ quan được giao kế hoạch vốn đầu tư thành lập. Thành viên Hội đồng thẩm định bao gồm các chuyên gia có chuyên môn sâu thuộc lĩnh vực dự án yêu cầu, được lựa chọn theo hình thức rút thăm từ danh sách các chuyên gia được lập, quản lý ở từng cấp theo từng phân ngành.

Về thanh tra, giám sát đánh giá đầu tư: Việc tổ chức giám sát các dự án ĐTC ở Trung Quốc được thực hiện thông qua nhiều cấp, nhiều vòng giám sát khác nhau. Mục đích giám sát đầu tư của cơ quan Chính phủ là đảm bảo đầu tư đúng mục đích, đúng dự án, đúng quy định và có hiệu quả. Cơ quan có dự án phải bố trí người thực hiện giám sát dự án thường xuyên theo quy định pháp luật. Cơ quan chịu trách nhiệm là Ủy ban phát triển và cải cách từng cấp thực hiện tổ chức giám sát các dự án đầu tư thuộc phạm vi quản lý của cấp mình, có bộ phận giám sát đầu tư riêng. Trong trường hợp cần thiết sẽ thành lập tổ đặc nhiệm để thực hiện giám sát trực tiếp tại nơi thực hiện dự án, đồng thời còn có sự tham gia của các cơ quan tài chính, chống tham nhũng, quản lý chuyên ngành cùng cấp và các cơ quan, địa phương có liên quan.

Ngoài ra, trong đổi mới ĐTC Trung Quốc đưa ra cần phân định ranh giới giữa Chính phủ và thị trường. Chính phủ sẽ rút dần các dự án ĐTC, tăng cường tính cạnh tranh, mở rộng mức độ dịch vụ công. Đối với thị trường, mở rộng đối tượng tham gia, xóa bỏ độc quyền của doanh nghiệp nhà nước, khuyến khích vốn đầu tư của xã hội. Đối với những lĩnh vực đan xen giữa Chính phủ và thị trường, sản phẩm dịch vụ công, khuyến khích đầu tư theo hình thức công - tư (PPP).

Công tác thanh tra, kiểm tra tài chính và phòng chống tham nhũng hiện nay được Đảng và Chính phủ Trung Quốc quan tâm đặc biệt. Từ sau Đại hội XVIII của Đảng Cộng sản Trung Quốc, Trung ương Đảng chủ trương kiên quyết chống tham nhũng "không có vùng cấm, bao phủ toàn diện, không khoan nhượng", quyết tâm "đả hổ", "diệt ruồi", "săn cáo". Đến Đại hội XIX, Đảng tiếp tục yêu cầu xây dựng và hoàn thiện hệ thống cơ quan giám sát nằm dưới sự lãnh đạo thống nhất của Đảng, bao phủ toàn diện, đạt hiệu quả cao, thông qua việc xây dựng Luật Giám sát. Nghị quyết Đại hội XX của Đảng Cộng sản Trung Quốc xác định, Trung Quốc sẽ tiếp tục kiện toàn hệ thống giám sát do Đảng thống nhất lãnh đạo, bao phủ toàn diện, uy tín và hiệu quả cao. Hội nghị Toàn thể lần thứ 3 của Ban Chấp hành Trung ương Đảng Cộng sản Trung Quốc khóa XX đã thành lập cơ quan giám sát chống tham nhũng mới với nhiệm vụ đặc biệt nhằm đưa tất cả các hoạt động tài chính vào giám sát trên cơ sở Luật Tài chính mới.

** Cơ quan Thanh tra:*

Cơ quan Thanh tra tài chính là một trong những Bộ và cơ quan tương đương. Tổng Thanh tra Tài chính là Ủy viên Bộ Chính trị, do Thủ tướng chỉ định và Quốc hội phê chuẩn, điều này thể hiện vị trí

và tầm quan trọng đặc biệt của Cơ quan Thanh tra Tài chính cũng như hoạt động thanh tra tài chính nói chung.

Trung Quốc cũng có nhiều cơ quan thực hiện chức năng thanh tra, kiểm tra, giám sát, nhưng các cơ quan này có sự phối hợp chặt chẽ, trong đó đặc biệt là sự phối hợp giữa cơ quan kiểm tra của Đảng với các cơ quan Giám sát hành chính, Thanh tra tài chính và Kiểm toán nhà nước trong việc giám sát và xử lý sai phạm của cán bộ, đảng viên. Tính liên chính, minh bạch của cán bộ, công chức nói chung và thanh tra viên nói riêng rất được đề cao, không chỉ được tuyên truyền, giáo dục thường xuyên mà còn được thể chế hóa.

** Hoạt động thanh tra:*

Trong lĩnh vực quản lý dự án ĐTC của Nhà nước, một trong 5 biện pháp cải cách quản lý là tăng cường kiểm soát, theo dõi, quản lý tài vụ xây dựng cơ bản: Dựa vào việc thanh tra nguồn vốn, hạn mức và tình hình cung cấp vốn cho các công trình xây dựng để kịp thời điều tiết và sử dụng linh hoạt, hiệu quả các nguồn vốn đầu tư của Nhà nước; tích cực thanh tra tình hình sử dụng vốn tại các công trình xây dựng nhằm ngăn chặn những hành động điều hòa và sử dụng vốn đầu tư xây dựng không đúng chuẩn mực, sai chế độ. Trung Quốc đã xây dựng hệ thống chỉ tiêu tổng hợp để thanh tra, đánh giá tình hình đầu tư xây dựng cơ bản và hệ thống thông tin hải chiếu làm cơ sở quan trọng để theo dõi, quản lý và điều tiết, kiểm soát ví mô vốn đầu tư xây dựng cơ bản của Nhà nước. Đặc biệt, với việc theo dõi thường xuyên đối với các dự án ĐTC, các cơ quan TTKT của Trung Quốc được quyền cử cán bộ của mình tham gia vào các bước công việc quan trọng trong quá trình thực hiện dự án để tìm hiểu và đưa ra ý kiến, kiến nghị về tăng cường quản lý, nâng cao tính hiệu quả của dự án và ngăn ngừa tham nhũng. Tính chuyên môn hóa trong quản lý dự án ĐTC ở Trung Quốc khá cao, thể hiện ở việc thành lập cơ quan chuyên trách về đầu thầu và thành lập cơ quan giám định chất lượng công trình xây dựng. Đó là các cơ quan chuyên môn, không chỉ trực tiếp tham gia vào các khâu của quá trình đầu tư xây dựng mà còn tham gia theo dõi, giám sát đối với các dự án sử dụng vốn nhà nước.

3. BÀI HỌC KINH NGHIỆM VỀ GIÁM SÁT, THANH TRA TÀI CHÍNH ĐỐI VỚI DỰ ÁN ĐTC CHO VIỆT NAM

Qua nghiên cứu kinh nghiệm của hai quốc gia Hàn Quốc và Trung Quốc trong công tác quản lý ĐTC nói chung, công tác thanh tra giám sát tài chính các dự án ĐTC nói riêng, có thể rút ra một số bài học kinh nghiệm về thanh tra, giám sát tài chính đối với dự án ĐTC cho Việt Nam như sau:

Thứ nhất, dưới góc độ quản lý, ĐTC thường chỉ được coi là hiệu quả khi có đủ năng lực và kỷ luật thực hiện ở tất cả các giai đoạn, bao gồm: Chuẩn bị, thẩm định, thực hiện và đánh giá hiệu quả của dự án ĐTC. Kinh nghiệm ở các quốc gia trên cho thấy để quản lý ĐTC hiệu quả thì phải thực hiện đầy đủ các bước cơ bản trong quy trình quản lý ĐTC. Vì vậy, để đạt được hiệu quả quản lý tài chính dự án ĐTC đòi hỏi cần có cơ chế thanh tra giám sát tài chính trong suốt giai đoạn thực hiện của dự án ĐTC. Đồng thời, cần phân định chức năng, trách nhiệm của các chủ thể tham gia trong thanh tra giám sát tài chính với dự án ĐTC một cách đúng đắn và rõ ràng.

Thứ hai, trong công tác quản lý tài chính công nói chung, yếu tố về quản lý hiệu quả kinh tế - xã hội cần được coi là chủ chốt và quan trọng nhất. Điều này đòi hỏi công tác thanh tra, giám sát tài chính với dự án ĐTC cần tập trung vào phương pháp nhằm đo lường, đánh giá hiệu quả kinh tế, cũng như hiệu quả xã hội. Hơn nữa, do đặc điểm của dự án ĐTC là tạo ra những tài sản cơ sở hạ tầng của đất nước nên việc xây dựng hoàn thiện thể chế quản lý ĐTC có hiệu lực, hiệu quả là ưu tiên hàng đầu. Vì vậy, quá trình đổi mới công tác thanh tra, giám sát tài chính đối với dự án ĐTC thực chất là quá trình áp dụng các thông lệ quốc tế và kiến thức khoa học vào việc công tác thanh tra đối với các dự án ĐTC.

Thứ ba, để tạo nên hệ thống thanh tra, giám sát tài chính hoạt động có hiệu quả, hiệu lực cần nâng cao địa vị pháp lý của các cơ quan chức năng, phân định rõ nhiệm vụ, quyền hạn và có mối quan hệ phối hợp chặt chẽ trong hoạt động. Các cơ quan thanh tra, giám

sát tài chính ở các nước có địa vị pháp lý cao, được pháp luật quy định nhiều quyền năng, hoạt động độc lập (đặc biệt là ở Trung Quốc). Điều này thể hiện rõ vị trí, vai trò quan trọng của các cơ quan này trong hệ thống quản lý nhà nước. Các cơ quan có chức năng thanh tra, giám sát tài chính nhất định phải có sự phân công hợp lý, tránh sự chồng chéo, bỏ sót đối tượng. Các chủ thể tham gia vào quá trình quản lý vốn đầu tư phải được phân định rõ quyền hạn và trách nhiệm, nhất là trách nhiệm của người đứng đầu cơ quan, tổ chức. Các cơ quan thanh tra, giám sát phải có phối hợp với nhau, chi viện lẫn nhau, đồng thời kiểm soát chất lượng hoạt động lẫn nhau để tạo nên hệ thống thanh tra - giám sát tài chính hoạt động có hiệu quả, hiệu lực.

Thứ tư, các hệ thống và phương pháp thanh tra, giám sát cải tiến chỉ có thể phát huy hiệu quả khi đội ngũ cán bộ tại cơ quan thanh tra, giám sát được đào tạo đầy đủ. Song hành với việc hoàn thiện pháp luật về ngân sách, đầu tư về các thủ tục, công cụ lập kế hoạch và ngân sách cho ĐTC, các quốc gia đều chú trọng cán tiếp tục củng cố các phương pháp luận phục vụ việc thanh tra, giám sát với dự án ĐTC. Cùng với đó tập trung đào tạo, bồi dưỡng cho đội ngũ cán bộ chuyên môn thực hiện nhiệm vụ thanh tra, giám sát. Với rất nhiều yêu cầu mới đặt ra trong quy trình quản lý tài chính đối với dự án ĐTC, việc đào tạo tăng cường chuyên môn, nghiệp vụ và kỹ năng cho các cán bộ công chức tại cơ quan thực hiện nhiệm vụ thanh tra, giám sát rất quan trọng nâng cao hiệu quả công việc.

Thứ năm, cần tập trung tăng cường quản lý các dự án ĐTC theo ngành, lĩnh vực. Trong công tác thanh tra tài chính các dự án ĐTC cần có thông tin để kiểm soát, xem xét, đánh giá toàn diện công tác quản lý tài chính đối với dự án ĐTC. Vì vậy, các quốc gia đều hoàn thiện hệ thống thông tin chung về giám sát và đánh giá đầu tư, đặc biệt để theo dõi ĐTC theo ngành, lĩnh vực. Hàn Quốc đã phát triển các hệ thống thông tin theo dõi dự án và đã triển khai chúng trong rất nhiều năm. Một số bài học kinh nghiệm từ việc triển khai hệ thống ở những quốc gia này có thể hữu ích đối với Việt Nam.

Thứ sáu, các quốc gia đều duy trì cuộc chiến chống tham nhũng, trong đó điều kiện để thực hiện thành công cuộc chiến này không chỉ cần có sự cam kết từ các nhà lãnh đạo, mà vấn đề then chốt là môi trường pháp lý minh bạch, quy định rõ trách nhiệm giải trình trong quản lý, sử dụng các nguồn lực công và cơ chế thanh tra, giám sát hoạt động có hiệu lực, hiệu quả. Cùng với đó, việc huy động sức mạnh tổng hợp của toàn xã hội tham gia hỗ trợ công tác giám sát, thanh tra của cơ quan nhà nước có vai trò quan trọng. Vì vậy, một mặt cần có cơ chế khuyến khích người dân và báo chí tham gia theo dõi, giám sát quá trình quản lý, thực hiện các dự án ĐTC. Mặt khác, phải có chế tài hình phạt nghiêm minh đối với sai phạm và hành vi tham nhũng được phát hiện nhằm tạo ra tính răn đe cao, đồng thời có chế độ đãi ngộ hợp lý đối với cán bộ công chức nói chung và công chức làm công tác thanh tra nói riêng; có cơ chế động viên, khen thưởng xứng đáng và bảo đảm an toàn cho những người tố cáo tham nhũng.

4. KẾT LUẬN

Có thể thấy rằng ĐTC luôn là vấn đề hệ trọng đối với mỗi quốc gia. Với các nước có nền kinh tế đang phát triển như Việt Nam thì ĐTC càng đóng vai trò quan trọng và cấp thiết. Việc nghiên cứu kinh nghiệm của các nước quản lý ĐTC hiệu quả, với bối cảnh thực tế tại Việt Nam thì cần tăng cường công tác quản lý ở các khâu thực hiện dự án đầu tư, trong đó đổi mới phương pháp quản lý, phương pháp thanh tra, giám sát có vị trí quan trọng nhằm nâng cao tính hiệu quả, hiệu lực hoạt động ĐTC, góp phần thúc đẩy tăng trưởng và phát triển kinh tế đất nước.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. GI2 (2022), Public Investment Management in Developing Countries: Experiences and Recommendations for German Development Cooperation.
- [2]. Thanh tra Chính phủ (2014), Một số kinh nghiệm quốc tế về công tác phòng, chống tham nhũng, NXB. Lao động.
- [3]. Thiên Bình (2024), Cơ cấu tổ chức và hoạt động kiểm toán, thanh tra của Ủy ban Kiểm toán và Thanh tra Hàn Quốc, Tạp chí Thanh tra Chính phủ.

Nghiên cứu sự thay đổi hành vi đi lại của hành khách sau khi tuyến đường sắt đô thị Nhổn - Cầu Giấy vận hành

Study on changes in passengers' travel behavior after the Nhon - Cau Giay urban railway began operation

> TS. NGUYỄN TIẾN QUÝ^{1,*}, TS NGUYỄN VĂN KHOA²

¹Trường Đại học Giao thông vận tải

²Đại học Kinh tế Quốc dân

*Email: quynt@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo đánh giá sự thay đổi hành vi đi lại của hành khách sau khi tuyến đường sắt đô thị Nhổn - Cầu Giấy vận hành, dựa trên khảo sát cắt ngang trước sau với 309 phiếu hợp lệ dọc hành lang tuyến. Bảng hỏi đo các đặc trưng hành vi gồm phương tiện sử dụng nhiều nhất, mục đích chuyến đi, số chuyến/ngày, thời gian và khoảng cách bình quân. Kết quả cho thấy chuyển dịch mạnh từ phương tiện cá nhân sang giao thông công cộng (GTCC) với tỷ trọng GTCC tăng 25,5 điểm %, trong khi xe máy giảm 23,3 điểm %. Mục đích và số chuyến/ngày hầu như ổn định, song thời gian mỗi chuyến cải thiện rõ rệt. Khoảng cách "từ điểm xuất phát đến điểm đến" gần như giữ nguyên, chỉ dịch nhẹ về dưới 10 km (+3,5 điểm %). Hàm ý chính sách gồm tối ưu tần suất, đúng giờ, tăng kết nối chặng đầu cuối, vé tích hợp và bãi gửi xe trung chuyển tại các ga cửa ngõ.

Từ khóa: Đường sắt đô thị; hành khách; hành vi đi lại; Nhổn - Cầu Giấy; chuyển dịch phương thức; kết nối đầu cuối.

ABSTRACT

The paper assesses changes in passengers' travel behavior after the Nhon - Cau Giay urban railway entered operation, using a before-after cross-sectional survey with 309 valid responses collected along the corridor. The questionnaire measured core behavioral attributes, including most-used mode, trip purpose, trips per day and average travel time and distance. Findings indicate a pronounced shift from private modes to public transport, with the public-transport share rising by 25.5 percentage points, while motorcycle use fell by 23.3 percentage points. Trip purposes and the number of trips per day remain largely stable, but per-trip travel time improves markedly. Door-to-door distance is nearly unchanged overall, with only a slight shift toward trips under 10 km (+3.5 percentage points). Policy implications include optimizing service frequency and punctuality, strengthening first/last-mile connections, implementing integrated ticketing and developing park-and-ride facilities at gateway stations.

Keywords: Urban railway; passengers; travel behavior; Nhon - Cau Giay; modal shift; first-last mile.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

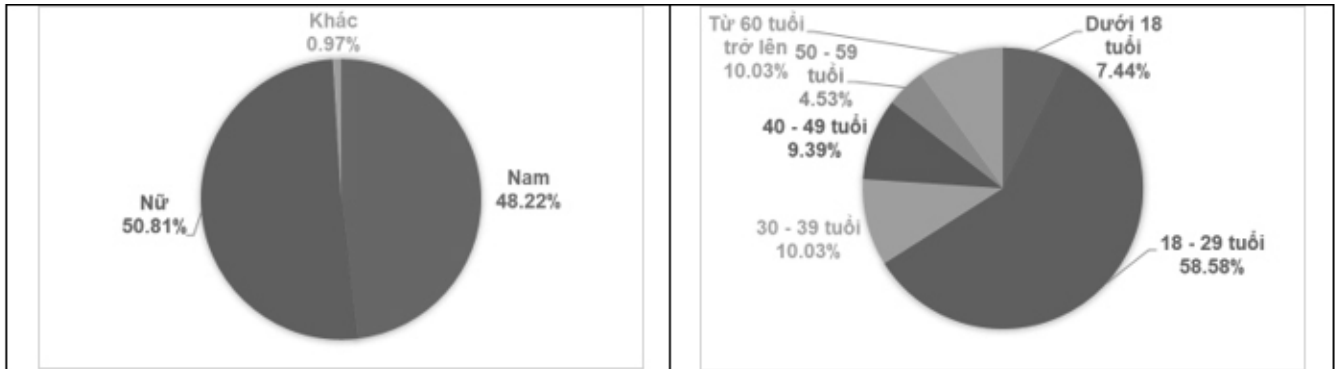
Năm 2024, tuyến đường sắt trên cao Nhổn - Cầu Giấy (tuyến đô thị số 3.1) chính thức đưa vào khai thác thương mại, mở ra thêm một phương thức vận tải công cộng hiện đại cho người dân khu vực phía Tây Hà Nội. Sau thời gian vận hành, tuyến đã thu hút lượng hành khách đáng kể dọc theo trục QL32 - Cầu Giấy; nhóm sử dụng thường xuyên gồm người cao tuổi, học sinh, sinh viên và người đi làm, lao

động tự do. Các tiện ích tại ga và kết nối trung chuyển bằng xe buýt giúp hình thành thói quen đi lại bằng đường sắt đô thị của cư dân, góp phần giảm ùn tắc và phát thải. Thực tiễn này đặt ra yêu cầu cần nghiên cứu đánh giá sự thay đổi hành vi đi lại của hành khách trước và sau khi tuyến Nhổn - Cầu Giấy vận hành, qua đó làm cơ sở đề xuất khuyến nghị, giải pháp tổ chức khai thác và tối ưu kết nối đa phương thức trong thời gian tới.

2. NỘI DUNG

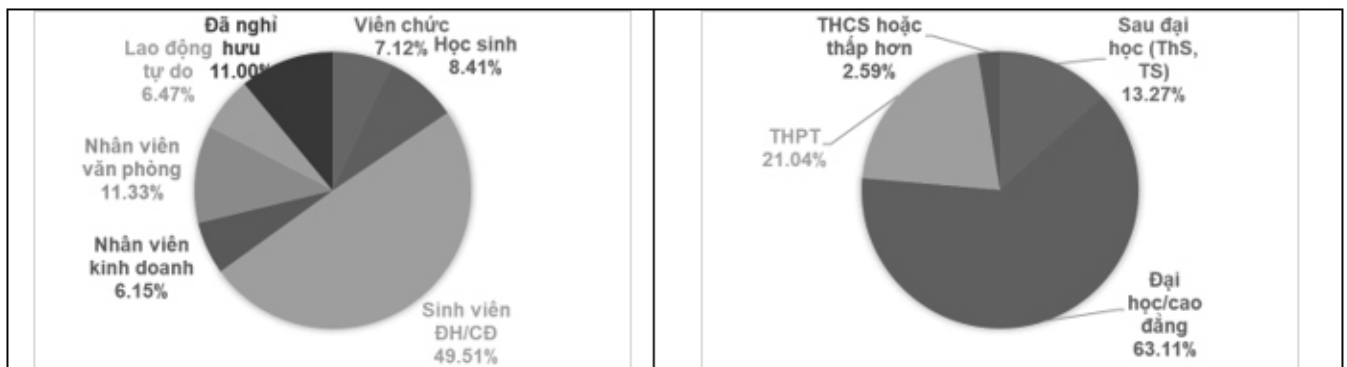
Nhóm nghiên sử dụng thiết kế nghiên cứu trước sau dựa trên khảo sát cắt ngang với bảng hỏi cấu trúc, trong đó người trả lời trạng thái trước và sau khi tuyến đường sắt đô thị Nhổn - Cầu Giấy vận hành. Phương pháp lấy mẫu thuận tiện dọc hành lang tuyến và các điểm phát sinh chuyển đi. Bộ câu hỏi đo lường các nhóm biến hành vi đi lại. Dữ liệu được xử lý bằng các công cụ thống kê, thực hiện mô tả tần suất, tỷ lệ, so sánh chênh lệch điểm % trước sau và lập ma trận chuyển dịch để xác định dòng dịch chuyển giữa các nhóm.

2.1. Mô tả mẫu nghiên cứu



Hình 1. Cơ cấu mẫu khảo sát theo giới tính

Hình 2. Cơ cấu mẫu khảo sát theo độ tuổi



Hình 3. Cơ cấu mẫu khảo sát theo nghề nghiệp

Hình 4. Cơ cấu mẫu khảo sát theo thu nhập

Mẫu nghiên cứu gồm 309 phiếu hợp lệ với cơ cấu giới tính tương đối cân bằng (nữ 50,8%, nam 48,2%, khác 1,0%). Về độ tuổi, mẫu thiên về nhóm trẻ 18 - 29 tuổi 58,6%, các nhóm còn lại dưới 10%. Trình độ học vấn chủ yếu sau trung học, đại học hoặc cao đẳng 63,1%, sau đại học 13,3%, trung học phổ thông 21,0%, trung học cơ sở hoặc thấp hơn 2,6%. Nghề nghiệp nổi bật là sinh viên đại học hoặc cao đẳng 49,5%; tiếp theo nhân viên văn phòng 11,3%, đã nghỉ hưu 11,0%, học sinh 8,4%, viên chức 7,1%, lao động tự do 6,47%, nhân viên kinh doanh 6,15%. Thu nhập tập trung ở mức thấp dưới 3 triệu đồng 48,5%; 3-<6 triệu 13,6%; 6-<9 triệu 9,1%; 9 - 12 triệu 11,7%; trên 12 triệu 17,2%. Cơ cấu mẫu này phù hợp bối cảnh tuyến đi qua nhiều trường học và doanh nghiệp.

2.2. Sự thay đổi hành vi đi lại của hành khách sau khi tuyến đường sắt đô thị Nhổn - Cầu Giấy đi vào vận hành

Để làm rõ mức độ thay đổi hành vi đi lại của hành khách sau khi tuyến Nhổn - Cầu Giấy khai thác thương mại, nghiên cứu phân tích trên các khía cạnh sau:

Sự thay đổi về phương tiện di chuyển: (i) Loại phương tiện được sử dụng thường xuyên nhất cho các chuyến đi hằng ngày; (ii) cơ cấu sở hữu phương tiện của hộ/cá nhân.

Sự thay đổi về đặc trưng chuyến đi trong ngày: (i) Mục đích chuyến đi; (ii) số chuyến đi bình quân/ngày; (iii) thời gian di chuyển bình quân cho mỗi chuyến; (iv) khoảng cách di chuyển bình quân

cho mỗi chuyến.

Cách tiếp cận này cho phép đối chiếu trạng thái trước vận hành và sau vận hành tuyến, từ đó đánh giá vai trò thay thế phương tiện, mức chuyển dịch theo mục đích đi lại, cũng như thời gian và cự ly di chuyển dọc hành lang tuyến.

2.2.1. Sự thay đổi về phương tiện di chuyển

Bảng 1. Phương tiện sử dụng nhiều nhất để di chuyển

Đơn vị: %

TT	Loại phương tiện	Trước khi ĐSĐT vận hành	Sau khi ĐSĐT vận hành	Chênh lệch
1	Phương tiện GTCC	22,7	48,2	25,5
2	Xe đạp	0	2,9	2,9
3	Xe máy	62,5	39,2	-23,3
4	Ô tô	7,8	5,5	-2,3
5	Lựa chọn khác	7,1	4,2	-2,9

Nguồn: Kết quả khảo sát của tác giả, 2025

Sau khi tuyến đường sắt đô thị Nhổn - Cầu Giấy vận hành, cơ cấu phương tiện sử dụng nhiều nhất của hành khách thay đổi rõ rệt theo hướng tăng sử dụng GTCC và giảm phương tiện cá nhân. Tỷ trọng phương tiện GTCC tăng 25,5 điểm %, trong khi xe máy giảm 23,3 điểm %; ô tô giảm nhẹ từ 7,8% còn 5,5%. Đáng chú ý, xe đạp tăng từ 0,0% lên 2,9%, gợi mở một xu hướng “vi mô cơ động” cho chặng đầu cuối.

Bảng 2. Thống kê thay đổi phương tiện sử dụng nhiều nhất
Đơn vị: Hành khách

TT	Trước khi ĐSĐT vận hành	Sau khi ĐSĐT vận hành					Tổng
		Phương tiện GTCC	Xe đạp	Xe máy	Ô tô	Khác	
1	Phương tiện GTCC	65	0	2	0	3	70
2	Xe đạp	0	0	0	0	0	0
3	Xe máy	64	9	114	1	5	193
4	Ô tô	8	0	0	16	0	24
5	Khác	12	0	5	0	5	22
Tổng		149	9	121	17	13	309

Nguồn: Kết quả khảo sát của tác giả, 2025

Phân tích ma trận chuyển dịch “trước sau” cho thấy 35,3% hành khách (109/309) đổi phương tiện chính, trong đó tuyến ĐSĐT đóng vai trò thay thế mạnh mẽ cho xe máy, có 64 trường hợp chuyển từ xe máy sang phương tiện GTCC, thêm 8 trường hợp từ ô tô sang phương tiện GTCC và 12 trường hợp từ khác sang phương tiện GTCC (chiều ngược lại rất nhỏ). 64,7% còn lại (200/309) giữ nguyên phương tiện chính (giữ nguyên phương tiện GTCC: 65; giữ nguyên xe máy: 114; giữ nguyên ô tô: 16; giữ nguyên khác: 5; xe đạp: 0).

Qua kết quả phân tích dữ liệu có thể nhận định như sau. Thứ nhất, mức tăng rỗng 79 hành khách chọn GTCC (từ 70 lên 149 trường hợp) phản ánh hiệu ứng thay thế đáng kể của ĐSĐT đối với các chuyến đi vốn trước đây dựa nhiều vào xe máy. Thứ hai, sự xuất hiện của nhóm chuyển sang xe đạp (trong đó có 9 trường hợp từ xe máy sang xe đạp) cho thấy nhu cầu kết nối chặng đầu cuối bằng phương tiện nhẹ, phù hợp tổ chức hạ tầng đậu xe đạp/xe máy tại ga, lối đi bộ an toàn và tuyến buýt gom. Thứ ba, việc ô tô giảm nhẹ hàm ý ĐSĐT đã hấp dẫn được một phần người dùng ô tô ở các hành trình có điểm đến nằm gần ga, hoặc ở những khoảng thời gian cao điểm khi chi phí thời gian và bãi đỗ trở nên bất lợi cho ô tô.

2.2.2. Sự thay đổi về chuyển đi

a) Mục đích chuyển đi

Bảng 3. Mục đích chuyển đi trong ngày

Đơn vị: %

TT	Mục đích chuyển đi	Trước khi ĐSĐT vận hành	Sau khi ĐSĐT vận hành	Chênh lệch
1	Đi làm	26,9	28,0	1,1
2	Đi học	32,7	33,4	0,7
3	Mua sắm	7,0	6,4	-0,6
4	Hoạt động xã hội	8,6	9,3	0,7
5	Đi chơi	22,6	21,1	-1,5
6	Mục đích khác	2,1	1,8	-0,3

Nguồn: Kết quả khảo sát của tác giả, 2025

Bảng 3 cho thấy cơ cấu mục đích chuyển đi trước và sau khi đường sắt đô thị Nhổn - Cầu Giấy vận hành khá ổn định, chỉ dao động nhỏ ở từng hạng mục như đi làm tăng 1,1 điểm %, đi học tăng 0,7 điểm %; trong khi đi chơi giảm 1,5 điểm %, mua sắm giảm 0,6 điểm %, mục đích khác giảm 0,3 điểm % và hoạt động xã hội tăng 0,7 điểm %. Tổng thể, nhóm chuyển đi bắt buộc tăng 1,8 điểm %, còn nhóm chuyển đi tùy ý giảm tương ứng 1,7 điểm %.

Mức dịch chuyển nhỏ gợi ý rằng ĐSĐT chủ yếu thay thế phương tiện cho các chuyến đi vốn có sẵn (đi làm, đi học) hơn là tạo ra nhiều nhu cầu mới ở nhóm đi lại tùy ý. Nói cách khác, tính đúng giờ và độ tin cậy của ĐSĐT khiến người dùng đổi phương tiện cho hành trình đi làm/đi học, nhưng mục đích chuyển đi của một ngày điển hình không biến đổi đáng kể.

Sự dịch nhẹ về phía chuyển đi bắt buộc đồng nhất với kết quả Phần 2.2.1 là người dùng rời xe máy để chuyển sang GTCC/ĐSĐT chủ yếu ở các hành trình đều đặn. Ngược lại, các chuyến giải trí/mua sắm mang tính linh hoạt thời gian vẫn có xu hướng dùng phương tiện cá nhân hoặc kết hợp đa phương thức tùy hoàn cảnh.

b) Số chuyến đi bình quân trong ngày

Bảng 4. Số chuyến đi bình quân trong ngày

Đơn vị: %

TT	Số chuyến	Trước khi ĐSĐT vận hành	Sau khi ĐSĐT vận hành	Chênh lệch
1	1-3 chuyến	70,6	70,9	0,3
2	4-7 chuyến	24,9	25,2	0,3
3	>7 chuyến	4,5	3,9	-0,6

Nguồn: Kết quả khảo sát của tác giả, 2025

Theo Bảng 4, tần suất chuyển đi/ngày gần như ổn định sau khi ĐSĐT Nhổn - Cầu Giấy vận hành. Cụ thể, nhóm 1 - 3 chuyến/ngày tăng 0,3 điểm %, nhóm 4 - 7 chuyến/ngày tăng 0,3 điểm %, còn nhóm >7 chuyến/ngày giảm 0,6 điểm %. Kết quả trên củng cố luận điểm ĐSĐT chủ yếu thay thế phương tiện cho những chuyến đi vốn đã tồn tại, không làm gia tăng đáng kể số chuyến/ngày. Nhóm >7 chuyến/ngày giảm nhẹ có thể phản ánh hành vi gộp hoặc chuyển tuyến hợp lý hơn khi có ĐSĐT (ít phải “quay đầu” nhiều lần) hoặc chuyển một số việc sang hình thức trực tuyến.

Bảng 5. Thống kê thay đổi số chuyến đi bình quân trong ngày

Đơn vị: Hành khách

TT	Trước khi ĐSĐT vận hành	Sau khi ĐSĐT vận hành			Tổng
		1-3 chuyến	4-7 chuyến	>7 chuyến	
1	1-3 chuyến	202	14	2	218
2	4-7 chuyến	14	63	0	77
3	>7 chuyến	3	1	10	14
Tổng		219	78	12	309

Nguồn: Kết quả khảo sát của tác giả, 2025

Ma trận trước sau trong Bảng 5 cho thấy tần suất chuyển đi/ngày hầu như ổn định sau khi tuyến Nhổn - Cầu Giấy vận hành. Tỷ trọng 1 - 3 chuyến/ngày tăng rất nhẹ từ 70,6% lên 70,9%; 4 - 7 chuyến/ngày nhích từ 24,9% lên 25,2%; còn nhóm >7 chuyến/

ngày giảm từ 4,5% xuống 3,9%. Ở mức độ vi mô, 275/309 hành khách (89,0%) giữ nguyên bậc tần suất (giữ nguyên 1 - 3 chuyến là 202/218; giữ nguyên 4 - 7 chuyến là 63/77; giữ nguyên >7 chuyến là 10/14), chỉ 34/309 (11,0%) hành khách có thay đổi. Dòng chuyển dịch chủ đạo gần như đối xứng giữa nhóm 1 - 3 chuyến với nhóm 4 - 7 chuyến (cùng 14 trường hợp mỗi chiều), do đó hiệu ứng ròng gần bằng 0; trong khi đó, nhóm >7 chuyến có xu hướng dịch xuống (3 về 1 - 3 và 1 về 4 - 7, chỉ 2 trường hợp đi lên >7), khiến tỷ trọng nhóm >7 chuyến co hẹp nhẹ (-0,6 điểm %). Tổng hợp lại, ĐSDT chủ yếu thay thế cách thức di chuyển cho những chuyến đi vốn đã tồn tại, không làm tăng thêm số chuyến/ngày; sự co hẹp của nhóm >7 chuyến gợi ý khả năng góp việc tối ưu lộ trình nhờ trục đường sắt và kết nối chặng đầu cuối tốt hơn.

c) Thời gian di chuyển bình quân của các chuyến đi trong ngày
Bảng 6. Thời gian di chuyển bình quân của các chuyến đi trong ngày

Đơn vị: %

TT	Thời gian di chuyển bình quân	Trước khi ĐSDT vận hành	Sau khi ĐSDT vận hành	Chênh lệch
1	<30 phút	36,2	54,7	18,5
2	30-60 phút	46,0	40,1	-5,9
3	>60 phút	17,8	5,2	-12,6

Nguồn: Kết quả khảo sát của tác giả, 2025

Theo Bảng 6, thời gian di chuyển bình quân cho các chuyến đi trong ngày cải thiện rõ rệt sau khi tuyến Nhổn - Cầu Giấy vận hành. Tỷ trọng chuyến đi <30 phút tăng 18,5 điểm %, trong khi nhóm 30 - 60 phút giảm 5,9 điểm % và nhóm >60 phút giảm mạnh từ 12,6 điểm %. Sự giảm mạnh của nhóm >60 phút cho thấy tuyến ĐSDT đã rút ngắn các hành trình dài vốn chịu rủi ro ùn tắc cao, đồng thời làm tăng nhóm <30 phút, tức gia tăng chuyến đi ngắn và ổn định hơn. Mức giảm đồng thời ở 30 - 60 phút và >60 phút hàm ý hiệu ứng tiết kiệm thời gian diễn ra tương đối rộng, không chỉ ở các hành trình dài.

Bảng 7. Thống kê thay đổi thời gian di chuyển bình quân của các chuyến đi trong một ngày

Đơn vị: Hành khách

TT	Trước khi ĐSDT vận hành	Sau khi ĐSDT vận hành			Tổng
		<30 phút	30-60 phút	>60 phút	
1	<30 phút	95	15	2	112
2	30-60 phút	66	73	3	142
3	>60 phút	8	36	11	55
Tổng		169	124	16	309

Nguồn: Kết quả khảo sát của tác giả, 2025

Kết quả ma trận chuyển dịch trong Bảng 7 cho thấy thời gian di chuyển bình quân cải thiện rõ rệt sau khi tuyến Nhổn - Cầu Giấy vận hành. Tỷ trọng chuyến đi <30 phút tăng 18,5 điểm %, trong khi nhóm 30 - 60 phút giảm 5,9 điểm % và nhóm >60 phút giảm 12,6 điểm %. Ở khía cạnh chi tiết, 57,9% hành khách (179/309) giữ nguyên nhóm thời gian, còn 42,1% hành khách (130/309) có thay đổi, với dòng chuyển dịch chủ đạo theo hướng rút ngắn, trong số

những người từng mất >60 phút, 8 hành khách chuyển xuống <30 phút và 36 hành khách về 30 - 60 phút (chỉ 11 hành khách còn ở mức >60); ở nhóm 30 - 60 phút, 66 hành khách chuyển xuống <30 phút, 73 hành khách giữ nguyên, chỉ 3 hành khách tăng lên >60 phút. Bức tranh này khẳng định hiệu ứng tiết kiệm thời gian mang tính hệ thống của đường sắt đô thị không chỉ "cắt đỉnh" các hành trình rất dài mà còn kéo phần đáng kể các chuyến tầm trung về dưới 30 phút.

d) Khoảng cách di chuyển bình quân của các chuyến đi trong ngày

Bảng 8. Khoảng cách di chuyển bình quân của các chuyến đi trong ngày

Đơn vị: %

TT	Khoảng cách di chuyển bình quân	Trước khi ĐSDT vận hành	Sau khi ĐSDT vận hành	Chênh lệch
1	<5 km	15,2	16,2	1
2	5-dưới 10 km	44,7	47,2	2,5
3	10-dưới 20 km	32,0	32,0	0
4	20-30 km	5,8	2,9	-2,9
5	>30 km	2,3	1,6	-0,7

Nguồn: Kết quả khảo sát của tác giả, 2025

Theo Bảng 8, phân bố khoảng cách chuyến đi hầu như ổn định và chỉ dịch nhẹ về phía các hành trình ngắn hơn như nhóm <5 km tăng 1,0 điểm %, nhóm 5-<10 km tăng 2,5 điểm %, nhóm 10-<20 km giữ nguyên 32,0%, trong khi 20 - 30 km giảm 2,9 điểm % và >30 km giảm 0,7 điểm %. Tính gộp, các chuyến <10 km tăng 3,5 điểm %, còn ≥20 km giảm 3,6 điểm %, cho thấy việc vận hành ĐSDT chủ yếu rút ngắn thời gian trên cùng một cự ly (đặc biệt ở dài 10-<20 km vốn không đổi về tỷ trọng) và tiết giảm các quãng rất dài nhờ tối ưu lộ trình, trung chuyển gần ga.

Bảng 9. Thống kê thay đổi khoảng cách di chuyển bình quân của các chuyến đi trong ngày

Đơn vị: Hành khách

TT	Trước khi ĐSDT vận hành	Sau khi ĐSDT vận hành					Tổng
		<5km	5-dưới 10 km	10-dưới 20 km	20-30 km	>30 km	
1	<5 km	35	10	1	1	0	47
2	5-dưới 10 km	10	115	13	0	0	138
3	10-dưới 20 km	5	18	75	1	0	99
4	20-30 km	0	2	9	6	1	18
5	>30km	0	1	1	1	4	7
Tổng		50	146	99	9	5	309

Nguồn: Kết quả khảo sát của tác giả, 2025

Ma trận trước sau cho thấy phân bố khoảng cách chuyến đi nhìn chung ổn định, chỉ dịch nhẹ về phía các hành trình ngắn hơn. Cụ thể, nhóm <5 km tăng 1,0 điểm %; nhóm 5-<10 km tăng 2,5 điểm %; nhóm 10-<20 km giữ nguyên 32,0% (99). Ngược lại, nhóm 20 - 30 km giảm 2,9 điểm %; nhóm trên 30 km giảm 0,7 điểm %. Ở cấp độ cá nhân, 235/309 hành khách, tương đương 76,1%, giữ nguyên nhóm khoảng cách; 74 người, tương đương 23,9%, có thay đổi. Dòng chuyển dịch đáng chú ý gồm 10-<20 km sang 5-<10 km

với 18 trường hợp, đối ứng với chiều ngược lại 13 trường hợp, tạo tăng ròng cho dài <10 km. Đồng thời, 20 - 30 km sang 10-<20 km với 9 trường hợp là nguồn chính làm co hẹp dài 20 đến 30 km. Tính gộp, các chuyến dưới 10 km tăng 3,5 điểm % (185 lên 196), còn các chuyến >=20 km giảm 3,6 điểm % (25 xuống 14), trong khi dài 10-<20 km giữ nguyên. Kết hợp với việc thời gian di chuyển giảm mạnh, điều này hàm ý đường sắt đô thị chủ yếu rút ngắn thời gian trên cùng cự ly nhờ lộ trình hợp lý và trung chuyển gần ga.

3. KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ

Kết quả nghiên cứu cho thấy việc đưa đoạn tuyến đô thị Nhổn - Cầu Giấy vào khai thác tạo ra thay đổi đáng kể về cách thức đi lại nhưng không làm biến động lớn nhịp đi lại hằng ngày. Thứ nhất, cơ cấu phương tiện sử dụng nhiều nhất chuyển dịch rõ rệt theo hướng tăng mạnh giao thông công cộng. Tỷ trọng sử dụng phương tiện công cộng tăng, trong khi xe máy giảm và ô tô giảm nhẹ. Một phần nhỏ chuyển sang xe đạp phản ánh nhu cầu cơ động ở chặng đầu và chặng cuối. Phân tích ma trận cho thấy 35,3% hành khách đổi phương tiện chính, trong đó dòng chuyển từ xe máy sang giao thông công cộng chiếm ưu thế, khẳng định vai trò thay thế của đường sắt đô thị đối với phương tiện cá nhân. Thứ hai, cơ cấu mục đích chuyến đi gần như ổn định, nhóm đi làm và đi học tăng nhẹ, cho thấy hệ thống chủ yếu thay thế phương tiện cho các chuyến đi vốn có sẵn hơn là tạo thêm nhu cầu di chuyển mới. Thứ ba, số chuyến đi bình quân trong ngày hầu như không đổi, phần lớn vẫn ở mức 1 - 3 chuyến hoặc 4 - 7 chuyến, nhưng thời gian cho mỗi chuyến cải thiện rõ rệt. Tỷ trọng chuyến <30 phút tăng 18,5 điểm %, trong khi >60 phút giảm 12,6 điểm %. Thứ tư, khoảng cách toàn hành trình gần như ổn định, chỉ dịch nhẹ về phía các hành trình ngắn với nhóm <10 km tăng 3,5 điểm % và nhóm >=20 km giảm 3,6 điểm %. Điều này cho thấy lợi ích chủ yếu đến từ tốc độ và độ tin cậy của đường sắt đô thị và từ tổ chức trung chuyển hợp lý hơn, chứ không phải do thay đổi nơi ở hoặc nơi đến.

Từ các bằng chứng trên, nghiên cứu khuyến nghị ưu tiên duy trì và tối ưu độ đúng giờ cùng tần suất trong giờ cao điểm vì lợi ích thời gian là động lực then chốt giữ chân người dùng ở các hành trình đi làm và đi học. Cần củng cố kết nối chặng đầu và chặng cuối trong bán kính 5 - 10 km quanh ga, hoàn thiện lối đi bộ an toàn, tăng chỗ gửi xe đạp và xe máy, phát triển mạng buýt gom ngắn tuyến theo ga đích, bố trí bãi gửi xe trung chuyển tại các ga cửa ngõ để rút bớt các hành trình dài. Cần triển khai chính sách vé tích hợp và linh hoạt phù hợp hành vi đi lại thường xuyên, truyền thông nhấn mạnh độ tin cậy, an toàn và chi phí toàn hành trình. Nên quản lý nhu cầu theo thời gian bằng cách điều tiết tần suất, tổ chức đón tiễn tại ga, bổ sung tiện ích trong dịp cuối tuần để khuyến khích các chuyến đi tùy ý, đồng thời nâng cao khả năng tiếp cận và an toàn cho người cao tuổi, học sinh, sinh viên và người khuyết tật. Cuối cùng, cần thiết lập hệ thống chỉ số theo dõi hiệu quả và tiếp tục khảo sát trước và sau theo phân khúc để điều chỉnh vận hành dựa trên bằng chứng.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Giao thông vận tải trong Đề tài mã số T2025-KT-001.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Banister, D. (2008), The sustainable mobility paradigm, *Transport Policy*, 15(2), 73-80.
- [2]. Carrion, C. & Levinson, D. (2012), Value of travel time reliability: A review of

current evidence. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(4), 720-741.

[3]. Ewing, R. & Cervero, R. (2010), Travel and the built environment: A meta-analysis. *Journal of the American Planning Association*, 76(3), 265-294.

[4]. Guo, Z. & Wilson, N. H. M. (2011), Assessing the cost of transfer inconvenience in public transport systems: A case of the London Underground, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 45(2), 91-104.

[5]. Litman, T. (2021), *Evaluating public transit benefits and costs: Best practices guidebook* (11th ed.), Victoria Transport Policy Institute.

[6]. Meek, S., Ison, S. & Enoch, M. (2011), Stakeholder perspectives on the current and future roles of UK bus-based park and ride, *Journal of Transport Geography*, 19(6), 1107-1112.

[7]. Redman, L., Friman, M., Gärling, T. & Hartig, T. (2013), Quality attributes of public transport that attract car users: A research review, *Transport Policy*, 25, 119-127.

[8]. Thompson, G. L., Brown, J. R. & Bhattacharya, T. (2012), What really matters for increasing transit ridership: Understanding the determinants of transit ridership in US metropolitan areas, *Urban Studies*, 49(15), 3327-3345.

[9]. Tổng cục Thống kê (2024), Niên giám thống kê, NXB. Thống kê.

Nâng cao hiệu quả việc thực hành tay nghề thi công cơ bản và công tác sản xuất kết hợp sinh viên Khoa Công trình - Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải

Improving practical training and production integration for Civil Engineering Students at the University of Transport Technology

> TS ĐỖ VĂN THÁI

Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải

Email: thaidv@utt.edu.vn

TÓM TẮT

Trong bối cảnh hội nhập và phát triển ngành Xây dựng, yêu cầu nguồn nhân lực vừa có kiến thức lý thuyết, vừa có kỹ năng thực hành nghề nghiệp ngày càng cấp thiết. Tuy nhiên, nhiều sinh viên tốt nghiệp vẫn còn hạn chế tay nghề và thiếu tự tin khi làm việc tại công trường. Bài báo phân tích thực trạng hoạt động thực hành tay nghề và công tác sản xuất kết hợp sinh viên Khoa Công trình - Trường Đại học Công nghệ GTVT (UTT), từ đó đề xuất các giải pháp nâng cao hiệu quả thực hành thi công cơ bản, tăng cường liên kết nhà trường - doanh nghiệp, gắn đào tạo với sản xuất. Kết quả kỳ vọng cho thấy mô hình “học đi đôi với hành” giúp sinh viên nâng cao kỹ năng nghề nghiệp, rút ngắn khoảng cách giữa đào tạo và yêu cầu xã hội, đồng thời nâng cao uy tín nhà trường.

Từ khóa: Thực hành tay nghề; thi công cơ bản; đào tạo gắn với sản xuất; sinh viên xây dựng; UTT.

ABSTRACT

In the context of rapid construction industry development, the demand for human resources with both theoretical knowledge and practical skills is increasingly urgent. Many civil engineering students still lack basic construction skills and confidence on site after graduation. This paper analyzes current practical training and production activities combined with students of the Faculty of Civil Engineering - UTT, proposing solutions to improve basic construction practice, strengthen university-enterprise linkage and integrate training with real production. Expected results show the ‘learning by doing’ model enhances professional skills, shortens the training-industry gap and improves university reputation.

Keywords: Practical training; basic construction; production-based education; civil engineering students; UTT.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đào tạo kỹ sư xây dựng đòi hỏi kết hợp lý thuyết và thực hành, trong đó kỹ năng tay nghề là then chốt. Thực tế, nhiều sinh viên còn hạn chế kỹ năng thực hành, gặp khó khi tham gia công việc tại công trường. Khoa Công trình - Trường Đại học Công nghệ GTVT đã triển khai nhiều hoạt động thực hành và thực tập, nhưng hiệu quả chưa cao. Nghiên cứu này phân tích thực trạng và đề xuất giải pháp nhằm nâng cao năng lực nghề nghiệp cho sinh viên.

2. CƠ SỞ LÝ LUẬN VÀ THỰC TIỄN

2.1. Cơ sở lý luận

Giáo dục kỹ thuật ứng dụng nhấn mạnh “học đi đôi với hành”, trong đó sinh viên vừa nắm vững kiến thức, vừa tham gia trực tiếp vào thực tiễn để hình thành kỹ năng bền vững. Chuẩn đầu ra của chương trình kỹ sư xây dựng tại UTT xác định năng lực đọc bản vẽ kỹ thuật, tổ chức thi công, vận hành thiết bị, tuân thủ an toàn lao động, quản lý chất lượng và tiến độ công trình.

2.2. Cơ sở thực tiễn

Sinh viên Khoa Công trình được trang bị kiến thức lý thuyết và tham gia thực hành tại phòng thí nghiệm, xưởng thực hành công trình, nhưng thời lượng tiếp xúc với công trường còn hạn chế. Doanh nghiệp cần kỹ sư có thể bắt nhịp ngay với công việc.

Để đánh giá thực trạng, nhóm tác giả đã khảo sát 120 sinh viên năm thứ ba và năm cuối của Khoa Công trình trong quá trình thực tập tại 5 công trình xây dựng (gồm 2 dự án đường bộ, 2 công trình dân dụng và 1 công trình cầu). Kết quả cho thấy 78% sinh viên nhận xét thời lượng thực tập chưa đủ để làm chủ kỹ năng thi công cơ bản; 65% chưa tự tin khi đảm nhận vai trò cán bộ kỹ thuật, quản lý tiến độ và 80% mong muốn được tham gia trực tiếp nhiều hơn thay vì chỉ quan sát. Các doanh nghiệp tiếp nhận cũng phản hồi rằng sinh viên có nền tảng lý thuyết tốt nhưng còn thiếu kỹ năng tổ chức, phối hợp và xử lý tình huống tại hiện trường.

Bảng 1. Kết quả khảo sát sinh viên tham gia thực tập

TT	Nội dung khảo sát	Số lượng (SV& DN)	Tỷ lệ (%)	Ghi chú
1	Sinh viên đánh giá thời lượng thực tập chưa đủ	94	78%	Khi về thực tập tại xưởng công trình
2	Sinh viên chưa tự tin khi làm cán bộ kỹ thuật và giám sát chất lượng thi công	78	65%	Sinh viên mới ra trường trong 1 - 3 năm đầu
3	Sinh viên mong muốn tham gia nhiều hơn vào thi công	96	80%	Sinh viên năm cuối khóa
4	Doanh nghiệp đánh giá sinh viên có nền tảng lý thuyết tốt nhưng thiếu kỹ năng thực tế	20	80%	Ý kiến doanh nghiệp

3. THỰC TRẠNG HOẠT ĐỘNG THỰC HÀNH VÀ CÔNG TÁC SẢN XUẤT TẠI KHOA CÔNG TRÌNH

3.1. Hoạt động thực hành trong chương trình đào tạo

Trong chương trình đào tạo của Khoa Công trình - Trường Đại học Công nghệ GTVT, các học phần thực hành giữ vai trò quan trọng, góp phần củng cố kiến thức lý thuyết và rèn luyện kỹ năng nghề nghiệp cho sinh viên. Các nội dung thực hành được phân bổ theo từng giai đoạn học tập, từ những kỹ năng cơ bản như đo đạc, sử dụng dụng cụ thí nghiệm, gia công cốt thép và lắp dựng ván khuôn đến những kỹ năng chuyên sâu như thi công kết cấu bê tông cốt thép, công tác xây và hoàn thiện khối xây, đầm nén đất... Các hoạt động này được tổ chức tại phòng thí nghiệm, xưởng thực hành và thông qua việc kết hợp sản xuất, thi công một số hạng mục công trình thực tế ngay trong khuôn viên trường hoặc tại các công trình lân cận. Nhờ đó, sinh viên có cơ hội tiếp cận gần hơn với môi trường lao động nghề nghiệp.

Trong thực tế triển khai, sinh viên Khoa Công trình đã được tham gia thực tập tại một số công trình xây dựng trong khuôn viên cơ sở đào tạo Phú Thọ. Kết quả khảo sát cho thấy, đa số sinh viên mong muốn có thêm nhiều cơ hội được trực tiếp tham gia vào các khâu thi công cơ bản, nhằm rèn luyện kỹ năng nghề nghiệp một cách toàn diện và thực chất hơn.



Hình 1. Sinh viên thực hành lát gạch vỉa hè trong khuôn viên nhà trường



Hình 2. Sinh viên thực hành đổ bê tông đường vào khu nhà điều hành của UTT

Dưới sự hướng dẫn của giảng viên, sinh viên UTT đã tham gia nghiên cứu khai thác tiềm năng của đất đá thải mỏ than Quảng Ninh trong sản xuất vật liệu xây dựng đường ô tô. Quá trình nghiên cứu bao gồm khảo sát đặc tính cơ lý của vật liệu, thiết kế cấp phối, thí nghiệm trong phòng và thi công thực tế đoạn đường thử nghiệm bằng đất đá thải mỏ than Quảng Ninh làm móng, mặt đường ô tô. Đặc biệt, nhóm đã tiến hành xây dựng đoạn đường thử nghiệm ngay trong khuôn viên nhà trường, tạo điều kiện để sinh viên trực tiếp áp dụng kiến thức chuyên ngành vào thực tiễn.



Hình 3. Hội thảo Sử dụng đất đá thải mỏ than Quảng Ninh làm đường ô tô năm 2017



Hình 4. Đội ngũ giảng viên đầu ngành UTT&UCT tại Hội thảo



Hình 5. Đội ngũ giảng viên UTT tham gia nghiên cứu khoa học

Sinh viên tỏ ra rất hào hứng khi được trực tiếp tham gia các thí nghiệm chuyên sâu về vật liệu xây dựng, đặc biệt là các thí nghiệm xác định những chỉ tiêu cơ lý đặc trưng của đất, đá và vật liệu tái chế phục vụ xây dựng nền đường ô tô. Thông qua việc thực hành đo độ chặt, độ ẩm tối ưu, giới hạn chảy, giới hạn dẻo cũng như cường độ chịu nén và khả năng chịu tải theo các tiêu chuẩn Việt Nam hiện hành, sinh viên không chỉ củng cố kiến thức lý thuyết đã học mà còn rèn luyện kỹ năng phân tích, đánh giá chất lượng vật liệu. Đây là cơ hội để các em tiếp cận với quy trình kiểm định hiện đại, từ đó nâng cao khả năng ứng dụng kiến thức vào thực tế thi công và thiết kế công trình giao thông.



Hình 6. Sinh viên thực hành thí nghiệm xác định độ ẩm WO



Hình 7. Thực hành xác định chỉ số dẻo



Hình 8. Thực hành xác định dung trọng đất

Việc triển khai các thí nghiệm chuyên sâu về vật liệu xây dựng không chỉ giúp sinh viên nắm vững kỹ năng chuyên môn mà còn mang ý nghĩa thực tiễn quan trọng trong công tác nghiên cứu khoa học.



Hình 9. Thí nghiệm độ chặt nền đường thử nghiệm tại UTT tại cơ sở đào tạo Phú Thọ



Hình 10. Thực hành đo mô-đun E đường thử nghiệm tại UTT tại cơ sở đào tạo Phú Thọ

Kết quả bước đầu cho thấy loại vật liệu này không chỉ đáp ứng yêu cầu kỹ thuật mà còn góp phần giảm thiểu chất thải rắn và bảo vệ môi trường, mở ra hướng ứng dụng tiềm năng trong xây dựng hạ tầng giao thông. Đồng thời, kết quả thí nghiệm cũng là cơ sở để đánh giá khả năng tận dụng đất, đá thải mỏ than Quảng Ninh làm vật liệu xây dựng đường ô tô, góp phần bảo vệ môi trường và tiết kiệm tài nguyên thiên nhiên. Những chỉ tiêu cơ lý thu được sẽ được sử dụng trực tiếp vào thiết kế và thi công đoạn đường thử nghiệm trong khuôn viên nhà trường, giúp sinh viên quan sát, so sánh và kiểm chứng tính phù hợp của vật liệu trong điều kiện thực tế. Qua đó, hoạt động nghiên cứu và giảng dạy gắn liền với thực tiễn, vừa nâng cao chất lượng đào tạo, vừa khẳng định vai trò tiên phong của nhà trường trong việc ứng dụng kết quả khoa học vào công trình giao thông.

Bên cạnh việc trang bị kỹ năng kỹ thuật, các giờ thực hành cũng rèn luyện cho sinh viên tác phong công nghiệp, ý thức tuân thủ an toàn lao động, tinh thần làm việc nhóm và khả năng xử lý tình huống phát sinh. Tuy nhiên, do điều kiện cơ sở vật chất và trang thiết bị của khoa còn hạn chế, việc tổ chức thực hành đôi khi chưa đáp ứng được đầy đủ nhu cầu học tập đa dạng của sinh viên. Đây là một trong những vấn đề cần được cải thiện để nâng cao chất lượng đào tạo trong thời gian tới.

3.2. Hoạt động thực tập tại công trường

Thực tập tại công trường là hoạt động quan trọng trong chương trình đào tạo của Khoa Công trình, giúp sinh viên tiếp cận trực tiếp môi trường sản xuất, gắn kiến thức lý thuyết với thực tế thi công. Hoạt động này thường được tổ chức vào năm thứ ba và thứ tư, với sự phối hợp giữa nhà trường, doanh nghiệp xây dựng và các đơn vị thi công công trình. Thông qua quá trình thực tập, sinh viên được quan sát, tham gia vào các công đoạn thi công, tìm hiểu quy trình quản lý, giám sát công trình, đồng thời rèn luyện tính kỷ luật, tác phong công nghiệp và kỹ năng nghề nghiệp.

Kết hợp với một số doanh nghiệp xây dựng cầu đường tại Phú Thọ, sinh viên rất hào hứng nhiệt huyết, năng động và sáng tạo, sẵn sàng tham gia thực hành gắn với thực tiễn sản xuất. Việc kết hợp giữa học lý thuyết và trải nghiệm thực tế trong môi trường lao động giúp các em rèn luyện kỹ năng nghề nghiệp, nâng cao tay nghề, đồng thời hình thành tác phong công nghiệp, ý thức trách nhiệm lao động nhóm. Đây cũng là cơ hội để các em vận dụng kiến thức đã học vào công việc cụ thể, tích lũy kinh nghiệm thực tế, phát huy sức trẻ, tinh thần xung kích chuẩn bị tốt hành trang cho công việc sau khi ra trường.



Hình 11. Thực hành gia công cốt thép cầu Sông Phan, Thanh Trù, TP Vinh Yên (cũ)



Hình 12. Thực hành tham gia sản xuất dầm I33 dự ứng lực cầu Sông Phan



Hình 13. Tham quan trải nghiệm thực tế trên công trường

Trong những năm qua, số lượng sinh viên tham gia thực tập kết hợp sản xuất theo con số thống kê phản ánh sự quan tâm của nhà trường trong việc đẩy mạnh đào tạo gắn liền với thực tiễn trở thành hiện thực.

Bảng 2. Số lượng sinh viên tham gia thực tập theo năm học

TT	Năm học (khóa)	Số lượng Sinh viên tham gia	Tỷ lệ % so với toàn khoa
1	2019 - 2020 (K76)	180	65
2	2020 - 2021 (K76)	200	68
3	2021 - 2022 (K76)	200	70
4	2022 - 2023 (K76)	220	72
5	2023 - 2024 (K76)	240	75
6	2024 - 2025 (K76)	245	77

Bảng 3. Danh sách công trình tiêu biểu sinh viên đến thực hành

TT	Tên công trình	Địa điểm	Đơn vị phối hợp
1	Dự án cải tạo nâng cấp QL2	Phú Thọ	Tổng công ty Xây dựng Trường Sơn
2	Cầu vượt An Dương - đường vành đai Hà Nội	Hà Nội	Tổng công ty CP Xây dựng Đèo Cả
3	Khu đô thị mới Kim Chung - Di Trạch	Hà Nội	Công ty CP Licogi 16
4	Tuyến đường cao tốc Bắc - Nam (đoạn Mai Sơn - QL45)	Ninh Bình - Thanh Hóa	Ban QLDA Thăng Long
5	Tòa nhà văn phòng UTT Tower	Hà Nội	Công ty CP Xây dựng số 1

3.3. Thuận lợi và khó khăn

UTT có đội ngũ giảng viên giàu kinh nghiệm, am hiểu chuyên môn và tận tâm, góp phần nâng cao chất lượng đào tạo. Tuy nhiên, trang thiết bị, cơ sở vật chất còn hạn chế, cơ chế phối hợp với doanh nghiệp chưa chặt chẽ, khiến sinh viên khó tiếp cận công nghệ, kỹ thuật mới. Hoạt động thực hành nhiều khi mang tính minh họa, chưa gắn với yêu cầu sản xuất thực tế; liên kết với doanh nghiệp chủ yếu ngắn hạn, chưa bền vững, dẫn đến kỹ năng tay nghề sinh viên còn chênh lệch so với thực tiễn.

Đánh giá cho thấy sinh viên đã nắm các kỹ năng cơ bản về thi công, nhưng còn hạn chế trong quản lý nhóm, tổ chức tiến độ và đảm bảo an toàn lao động. Điều này phản ánh đào tạo chủ yếu tập trung vào thao tác kỹ thuật, chưa đủ chú trọng các kỹ năng tổng hợp cần thiết cho môi trường thi công thực tế.

4. GIẢI PHÁP NÂNG CAO HIỆU QUẢ

4.1. Tăng cường thời lượng và chất lượng thực hành

Nhà trường cần bố trí thời lượng thực hành hợp lý, đảm bảo sinh viên đủ thời gian rèn luyện kỹ năng. Cùng với đó, cơ sở vật chất, trang thiết bị xưởng và bãi tập cần được đầu tư hiện đại, đồng bộ, sát với điều kiện sản xuất thực tế.

4.2. Liên kết chặt chẽ với doanh nghiệp

Hợp tác với doanh nghiệp thi công cần triển khai thường xuyên, có hệ thống qua thực tập dài hạn, “học kỳ tại doanh nghiệp” hoặc dự án thực tế. Điều này giúp sinh viên tiếp cận môi trường chuyên nghiệp, rèn luyện tác phong, kỹ năng quản lý và làm việc nhóm.

4.3. Ứng dụng công nghệ hiện đại (BIM, VR, AR)

BIM, VR, AR cần tích hợp vào thực hành để sinh viên hình dung thi công trực quan, nâng cao khả năng phân tích, phát hiện rủi ro và ra quyết định trong môi trường an toàn trước khi ra công trường.

4.4. Đổi mới phương pháp giảng dạy và đánh giá

Giảng viên nên chuyển từ “truyền thụ kiến thức - làm theo mẫu” sang giảng dạy định hướng năng lực, khuyến khích sinh viên

chủ động giải quyết vấn đề. Hệ thống đánh giá cần kết hợp kiểm tra thao tác, sản phẩm, làm việc nhóm và ý thức an toàn.

4.5. Nâng cao động lực và nhận thức sinh viên

Cần tăng cường tuyên truyền, giáo dục thái độ nghề nghiệp, giúp sinh viên hiểu rõ vai trò kỹ năng thực hành. Các hình thức khích lệ như cuộc thi tay nghề, khen thưởng hay gắn kết kết quả thực hành với cơ hội việc làm giúp tạo động lực học tập.

Tóm lại, nâng cao hiệu quả thực hành tay nghề cho sinh viên Khoa Công trình cần đồng bộ từ tổ chức, giảng dạy đến liên kết doanh nghiệp và ứng dụng công nghệ. Giải pháp này hoàn thiện kỹ năng nghề nghiệp, rèn tác phong, nâng cao an toàn và khả năng thích ứng thực tiễn, tạo nền tảng đổi mới đào tạo, đáp ứng nhu cầu nhân lực chất lượng cao ngành Xây dựng.

5. KẾT QUẢ KỶ VỌNG VÀ THẢO LUẬN

5.1. Sinh viên

Tăng cường thực hành, kết nối doanh nghiệp và ứng dụng công nghệ giúp sinh viên nâng kỹ năng nghề, từ thao tác cơ bản đến quản lý, an toàn lao động, tăng tự tin và cơ hội việc làm.

5.2. Doanh nghiệp

Các giải pháp giúp doanh nghiệp nhận nhân lực chất lượng, giảm chi phí đào tạo và rút ngắn thời gian hòa nhập. Hợp tác với nhà trường còn định hướng chương trình sát thực tế và tạo cơ hội tuyển dụng.

5.3. Nhà trường

Đổi mới đào tạo, nâng cao thực hành và khuyến khích nghiên cứu kết hợp sản xuất giúp cải thiện học tập sinh viên, nâng uy tín và thương hiệu, thu hút người học và mở rộng hợp tác với doanh nghiệp.



Hình 14. Sinh viên thí nghiệm làm đề tài nghiên cứu khoa học

Bên cạnh những kết quả kỳ vọng, cần nhìn nhận rằng việc triển khai các giải pháp trên cũng đối mặt với không ít thách thức.

- Thứ nhất, nguồn lực đầu tư cho cơ sở vật chất, trang thiết bị hiện đại như BIM, VR, AR đòi hỏi kinh phí lớn và sự hỗ trợ từ nhiều phía.

- Thứ hai, việc liên kết chặt chẽ với doanh nghiệp cần có cơ chế hợp tác lâu dài, rõ ràng về quyền lợi và trách nhiệm giữa nhà trường - doanh nghiệp - sinh viên.

- Thứ ba, đổi mới phương pháp giảng dạy và đánh giá đòi hỏi sự thay đổi từ chính đội ngũ giảng viên, trong khi áp lực khối lượng giảng dạy và thói quen truyền thống có thể là rào cản.

Ngoài ra, việc nâng cao động lực học tập và ý thức nghề nghiệp cho sinh viên cũng cần quá trình lâu dài, gắn liền với môi trường học tập, rèn luyện và định hướng nghề nghiệp. Do đó, để các giải pháp mang lại hiệu quả thực chất, nhà trường cần có kế hoạch triển khai đồng bộ, huy động sự tham gia của nhiều bên liên quan và xây dựng lộ trình cụ thể, phù hợp với điều kiện thực tiễn.

6. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Nâng cao hiệu quả thực hành tay nghề thi công cơ bản cho sinh viên là yêu cầu cấp thiết. Sinh viên có nền tảng kỹ năng cơ bản nhưng còn hạn chế quản lý, điều phối và an toàn lao động. Giải pháp đồng bộ bao gồm: Tăng thời lượng thực hành, liên kết doanh nghiệp, ứng dụng công nghệ, đổi mới giảng dạy, nâng cao động lực sinh viên.

Kiến nghị:

- Nhà trường: Đầu tư cơ sở vật chất, trang thiết bị hiện đại.
- Doanh nghiệp: Tích cực tham gia đào tạo, đồng hành trong thực tập và dự án thực tế.
- Giảng viên: Bồi dưỡng công nghệ mới, phương pháp hiện đại.
- Sinh viên: Chủ động rèn luyện kỹ năng song song với kiến thức lý thuyết.

Lời cảm ơn: Tác giả xin chân thành cảm ơn Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải, Khoa Công trình cùng các thầy cô giáo, doanh nghiệp đối tác và sinh viên đã tham gia, hỗ trợ trong quá trình tổ chức thực tập, thu thập số liệu và hoàn thiện nghiên cứu này. Những ý kiến đóng góp quý báu đã giúp bài báo được hoàn thiện hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bộ Giáo dục và Đào tạo (2018), Đề án đổi mới giáo dục đại học giai đoạn 2018 - 2025.
- [2]. Nguyễn Thị Hồng, Trần Văn Bình (2020), Đổi mới phương pháp giảng dạy trong giáo dục đại học theo định hướng phát triển năng lực, Tạp chí Khoa học Giáo dục Việt Nam.
- [3]. Đỗ Văn Thái, Giáo trình Kỹ thuật tay nghề thi công cơ bản, Trường Đại học Công nghệ GTVT, NXB. GTVT.
- [4]. Trần Văn An (2021), Tác động của Cách mạng công nghiệp 4.0 đến đào tạo nguồn nhân lực tại Việt Nam, Tạp chí Phát triển Kinh tế - Xã hội.
- [5]. Lê Văn D. (2022), Nâng cao hiệu quả thực tập tốt nghiệp cho sinh viên ngành Xây dựng, Kỷ yếu Hội thảo Khoa học Quốc gia, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội.
- [6]. Kolb, D.A. (1984), *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*. Prentice Hall.
- [7]. Schwab, K (2016), *The Fourth Industrial Revolution*, World Economic Forum.
- [8]. World Bank (2020), *Vietnam's Higher Education: Preparing for the Future of Work*. Washington, D.C, World Bank.

Ứng dụng nội suy và biến đổi Fourier để nâng cao độ chính xác tần số cộng hưởng cảm biến dây rung

Application of interpolation and Fourier transform to improve resonant frequency estimation in vibrating wire sensors

> TS CAO VĂN LÂM¹; TS LÊ ĐÌNH VIỆT²; HOÀNG PHƯỚC DỰC³

¹Khoa Xây dựng cầu đường, Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng

Email: cvlam@dut.udn.vn

²Trường Kỹ thuật xây dựng, Môi trường và Kiến trúc, Viện Công nghệ Quốc gia Kumoh, Hàn Quốc

Email: vietld@kumoh.ac.kr

³Lớp 22 BIM - AI, Khoa Xây dựng Cầu đường, Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng

Email: dph27012004@gmail.com

TÓM TẮT

Nghiên cứu này khảo sát và so sánh ba phương pháp nội suy - parabol, Lagrange, và Hermite - kết hợp với phân tích Fourier nhanh (FFT) để xác định tần số cộng hưởng của cảm biến dây rung. Do hạn chế về dung lượng bộ nhớ và số lượng mẫu của bộ đọc tín hiệu cảm biến, FFT thường gây sai số trong việc xác định tần số. Phương pháp nội suy parabol sử dụng ba điểm gần đỉnh phổ FFT, giả định chúng nằm trên đường cong parabol, để tinh chỉnh vị trí tần số cộng hưởng. Phương pháp Lagrange xây dựng đa thức nội suy dựa trên nhiều điểm dữ liệu, trong khi phương pháp Hermite kết hợp thêm thông tin đạo hàm để tăng độ chính xác. Thí nghiệm sử dụng bộ đọc tín hiệu DUT Vibro do nhóm nghiên cứu phát triển cho thấy nội suy parabol đạt sai số thấp nhất, đồng thời dễ triển khai trên vi điều khiển mà không yêu cầu nâng cấp phần cứng. Nội suy Lagrange và Hermite, mặc dù có độ chính xác cao trong một số trường hợp, nhưng phức tạp hơn và đòi hỏi tài nguyên tính toán lớn hơn. Kết quả khẳng định nội suy parabol là phương pháp tối ưu, mang lại độ tin cậy cao và tiềm năng ứng dụng thực tiễn trong việc nâng cao hiệu suất bộ đọc tín hiệu cảm biến dây rung.

Từ khóa: Nội suy parabol, phân tích Fourier, tần số cộng hưởng, cảm biến dây rung, độ chính xác.

ABSTRACT

This study evaluates and compares three interpolation methods - parabolic, Lagrange, and Hermite - integrated with Fast Fourier Transform (FFT) to determine the resonant frequency of vibrating wire sensors in embedded systems. FFT is often limited by low memory capacity and small sample sizes, leading to frequency estimation errors. The parabolic interpolation method uses three points near the FFT spectral peak, assuming a parabolic curve, to refine the resonant frequency location. The Lagrange method constructs a polynomial based on multiple data points, while the Hermite method incorporates derivative information for enhanced accuracy. Experimental results using the DUT Vibro signal reader developed by the research team indicate that parabolic interpolation achieves the lowest error while being simple to implement on microcontrollers without hardware upgrades. Although Lagrange and Hermite methods offer high accuracy in certain cases, they are computationally more intensive. The findings confirm parabolic interpolation as the optimal method, providing high reliability and practical applicability for improving the performance of vibrating wire sensor readout.

Keywords: Parabolic interpolation, fourier analysis, resonant frequency, vibrating wire sensor, accuracy enhancement.

1. GIỚI THIỆU

Công nghệ cảm biến dây rung đã được nghiên cứu sâu và ứng dụng rộng rãi trên thế giới, đặc biệt trong các lĩnh vực như kỹ thuật xây dựng, địa kỹ thuật và phân tích kết cấu công trình. Nghiên cứu tiên phong của Dunnicliff [1] đã đặt nền móng lý thuyết và thực tiễn

cho việc sử dụng cảm biến dây rung để quan trắc biến dạng trong nền móng và hệ kết cấu. Trên bình diện quốc tế, các nỗ lực phát triển cảm biến dây rung tập trung vào việc nâng cao độ chính xác, độ bền và khả năng thích ứng với điều kiện môi trường khắc nghiệt [2-4].

Về thiết bị thu nhận tín hiệu, các thương hiệu hàng đầu như DataTaker, Geotechscience, DAS và Campbell Scientific đã dẫn đầu trong việc thiết kế các thiết bị tích hợp công nghệ số, kết nối không dây và quản lý dữ liệu từ xa. Xu hướng hiện đại nổi bật là sự kết hợp giữa cảm biến dây rung và các hệ thống thông minh, chẳng hạn như giải pháp dựa trên Internet vạn vật (Internet of Things - IoT), nhằm cung cấp dữ liệu chính xác, tức thời để hỗ trợ phân tích và ra quyết định khi có sự cố nghiêm trọng ảnh hưởng đến sự làm việc của kết cấu hạ tầng kỹ thuật đô thị.

Fu và cộng sự [5] đã thiết kế một thiết bị giám sát dao động cầu, sử dụng cảm biến dây rung làm thành phần đo lường chính. Hệ thống tích hợp vi điều khiển, công nghệ ZigBee và GPRS để thu thập và truyền dữ liệu dao động không dây đến máy chủ. Tao và các đồng nghiệp [6] đã đề xuất một phương pháp mới để đo ứng suất động bằng cảm biến dây rung, vượt qua hạn chế của các phương pháp truyền thống chỉ phù hợp cho đo tĩnh. Phương pháp này sử dụng kỹ thuật kích thích tần số động tự thích nghi, đảm bảo dây cảm biến dao động ổn định mà không suy giảm. Kết hợp với thuật toán nội suy phổ dựa trên biến đổi Fourier, phương pháp này đạt sai số lý thuyết chỉ 0,015 Hz và tốc độ lấy mẫu lên đến 325 Hz, chứng minh tính hiệu quả và khả thi. Sang và các đồng nghiệp [7] đã giới thiệu một phương pháp quét tần số nhanh để xác định tần số cộng hưởng của cảm biến dây rung, sử dụng vi điều khiển STM32. Phương pháp này bao gồm hai giai đoạn: giai đoạn đầu xác định tần số gần đúng, giai đoạn sau đo lường chính xác. Nhờ xung nhịp cao của STM32, phương pháp này giảm sai số và tăng độ chính xác. Hou và các cộng sự [8] đã phát triển một hệ thống giám sát sức khỏe cầu phân tán dựa trên công nghệ LoRa, cải thiện tính tức thời, hiệu quả và tự động hóa so với các hệ thống truyền thống. Hệ thống bao gồm các nút thu thập dữ liệu, nút chuyển tiếp và nút trung tâm, được xây dựng trên vi điều khiển STM32H7 kết hợp với chip tần số vô tuyến SX1268. Kết quả cho thấy hệ thống đáp ứng tốt yêu cầu giám sát thời gian thực, hỗ trợ hiệu quả cho công tác bảo trì và cảnh báo rủi ro.

Các nghiên cứu hiện nay thường tập trung vào việc phát triển bộ đọc cảm biến sử dụng vi điều khiển STM32, vốn có hiệu suất cao nhưng chi phí thấp hơn so với các dòng vi điều khiển cao cấp khác. Ngoài ra, các thuật toán FFT thường được tích hợp trực tiếp vào vi điều khiển để tính toán tần số cộng hưởng theo thời gian thực, từ đó suy ra giá trị biến dạng và truyền dữ liệu nhanh chóng đến hệ thống xử lý. Hầu hết các nghiên cứu sử dụng sóng vuông làm tín hiệu kích thích và áp dụng biến đổi FFT dựa trên tín hiệu phản hồi, nhưng chưa có nhiều nghiên cứu tập trung vào việc thay đổi dạng sóng kích thích từ sóng vuông sang sóng hình sin.

Đặc biệt đáng lưu ý, nghiên cứu của Tao và các đồng nghiệp [6] đã đề xuất một phương pháp kích thích tự thích nghi có bù pha, nhằm giảm thời gian kích thích. Sau khi áp dụng FFT, nhóm tác giả này đã thực hiện nội suy tần số cộng hưởng để nâng cao độ chính xác và giảm thời gian xử lý tín hiệu phản hồi. Tuy nhiên, phương pháp này yêu cầu xác định mối quan hệ giữa tần số kích thích và độ lệch pha tương ứng. Khi phát hiện sườn lên hoặc sườn xuống của tín hiệu dao động, hệ thống cần cung cấp một mức điện áp cao hoặc thấp với pha phù hợp làm tín hiệu kích thích. Mối quan hệ này được lưu trữ trong một bảng tra cứu, được xây dựng từ các thí nghiệm trước đó với nhiều tần số cộng hưởng khác nhau. Cách tiếp cận này giúp tăng tốc độ xử lý trong quá trình đo lường.

Tại Việt Nam, nghiên cứu về cảm biến dây rung vẫn đang ở giai đoạn khởi đầu, dù đã đạt được một số thành tựu đáng chú ý [9, 10]. Các trường đại học và viện nghiên cứu trong nước đã triển khai các dự án ứng dụng cảm biến này để giám sát địa kỹ thuật và kết cấu công trình. Gần đây, nỗ lực phát triển các thiết bị đọc tín hiệu nội địa cho cảm biến dây rung đã được khởi xướng nhằm giảm sự phụ

thuộc vào sản phẩm nhập khẩu. Những thiết bị này được tối ưu hóa để đáp ứng yêu cầu đo lường trong điều kiện khí hậu và kỹ thuật đặc thù của Việt Nam. Tuy nhiên, việc phát triển công nghệ đọc tín hiệu cho cảm biến dây rung tại Việt Nam vẫn chưa thực sự bùng nổ. Phần lớn ứng dụng hiện nay vẫn dựa vào thiết bị nhập khẩu chi phí cao, thiếu tính linh hoạt trong tùy chỉnh. Điều này nhấn mạnh nhu cầu cấp thiết về các giải pháp nội địa hóa, không chỉ đáp ứng điều kiện thực tiễn mà còn giảm chi phí và tăng cường năng lực công nghệ tự chủ.

Một trong những nỗ lực đáng chú ý là của nhóm nghiên cứu do TS Cao Văn Lâm (Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng) dẫn dắt, với việc phát triển thành công bộ đọc tín hiệu cảm biến dây rung mang thương hiệu DUT Vibro. Tuy nhiên, kết quả phân tích biến đổi FFT nhằm xác định tần số dao động của thiết bị này vẫn cho thấy độ chính xác còn hạn chế so với thiết bị tương tự của hãng DAS (Hàn Quốc).

Vì vậy, bài báo này tập trung khảo sát và đề xuất một phương pháp nội suy đường cong, với giả thiết rằng các điểm rời rạc thu được từ phép biến đổi FFT nằm trên một đường cong liên tục. Ba phương pháp nội suy được xem xét gồm: Parabol, Lagrange và Hermite. Các phương pháp này sẽ được so sánh nhằm lựa chọn phương án tối ưu, sau đó lập trình nhúng vào bộ đọc tín hiệu cảm biến kiểu dây rung DUT Vibro để cải thiện độ chính xác trong việc xác định tần số cộng hưởng.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Nguyên lý hoạt động của cảm biến kiểu dây rung

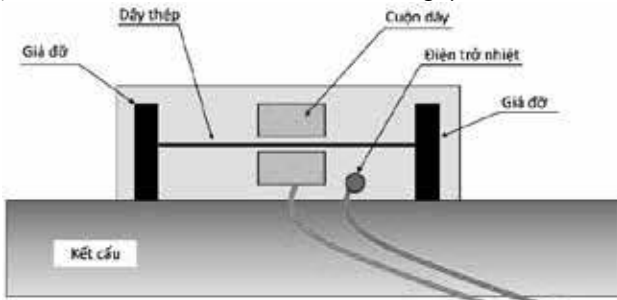
Cảm biến dây rung bao gồm một ống thép cứng chứa bên trong một sợi dây thép mảnh. Phần ống thép được bao bọc bởi một hoặc hai cuộn dây cảm ứng từ và một điện trở nhiệt. Hai đầu ống thép được gắn chặt vào các giá đỡ cùng các bộ phận cơ khí khác. Sợi dây thép, thành phần cốt lõi nhạy cảm của cảm biến, được giữ căng ở hai đầu bởi giá đỡ ngay từ quá trình sản xuất. Cấu tạo chi tiết của cảm biến kiểu dây rung được mô tả trong Hình 1.

Khi kết cấu gắn cảm biến dây rung chịu tác động của tải trọng, bề mặt kết cấu bị biến dạng, kéo theo sự dịch chuyển của các giá đỡ và làm thay đổi độ căng của dây thép. Các cuộn dây cảm ứng từ, được bố trí gắn dây thép, đóng vai trò kích thích dao động và thu nhận tín hiệu phản hồi. Nguyên lý hoạt động của cảm biến dây rung có thể được chia thành hai giai đoạn chính: Giai đoạn Kích thích dao động và Giai đoạn Phản hồi cộng hưởng.

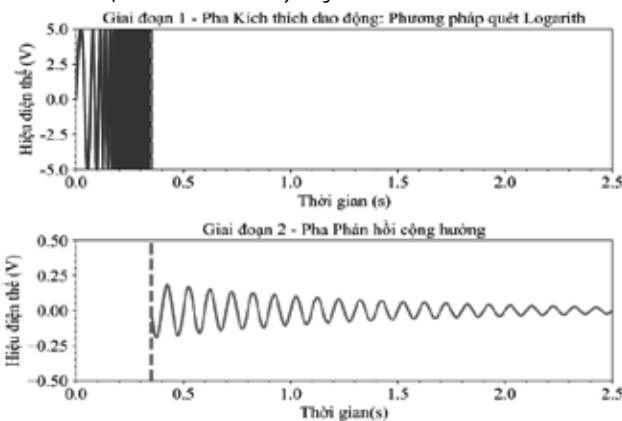
Ở Giai đoạn Kích thích dao động, một xung điện được truyền vào cuộn dây, khiến dây thép rung động dưới tác động của từ trường. Xung điện này thường là sóng vuông hoặc sóng hình sin, được quét trong một phạm vi tần số do nhà sản xuất chỉ định. Khi tần số của xung kích thích tiếp cận tần số tự nhiên của dây thép, hiện tượng cộng hưởng bắt đầu xuất hiện. Sang Giai đoạn Phản hồi cộng hưởng, dây thép dao động ổn định ở tần số tự nhiên của nó cho đến khi năng lượng tiêu hao dần. Quá trình dao động này tạo ra hiệu ứng cảm ứng từ, sinh ra một tín hiệu phản hồi có chu kỳ với biên độ giảm dần, sau đó được bộ đọc tín hiệu của cảm biến ghi nhận. Hình 2 minh họa hai giai đoạn hoạt động cốt lõi của cảm biến dây rung, bao gồm Giai đoạn Kích thích dao động và Giai đoạn Phản hồi cộng hưởng.

Tín hiệu thu được từ cảm biến kiểu dây rung được khuếch đại thông qua các vi mạch khuếch đại, loại bỏ nhiễu, sau đó áp dụng phân tích biến đổi Fourier nhanh (FFT) để xác định tần số dao động của cảm biến. Tần số tương ứng với biên độ cực đại từ phân tích FFT chính là tần số tự nhiên của dây thép. Khi kết cấu chịu tải trọng ở các mức độ khác nhau, độ căng của dây thép thay đổi, dẫn đến sự dịch chuyển của tần số tự nhiên. Ngoài ra, tần số tự nhiên của dây thép

còn bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ môi trường, do đó cảm biến được tích hợp một điện trở nhiệt để đo lường biến thiên nhiệt độ, nhằm hiệu chỉnh tham số đầu ra của cảm biến trong quá trình tính toán.



Hình 1. Cấu tạo của cảm biến kiểu dây rung



Hình 2. Mô tả các giai đoạn đo lường tín hiệu của cảm biến kiểu dây rung

Hiện nay, công nghệ cảm biến dây rung hiện được ứng dụng rộng rãi trong nhiều loại thiết bị quan trắc trong lĩnh vực xây dựng, bao gồm cảm biến đo biến dạng (strain gauge), cảm biến đo ứng suất neo đá (rock bolt stressmeter), dụng cụ đo độ giãn thanh (rod extensometer), cảm biến ứng suất bê tông phun (shotcrete stressmeter), thiết bị đo khe nứt (crack meter) và áp kế đo áp lực nước lỗ rỗng (piezometer).

2.2. Phân tích FFT

Phân tích FFT (Fast Fourier Transform) là một công cụ toán học giúp phân tích tín hiệu để tìm ra các tần số ẩn trong đó. FFT giống như một "máy phân tích" siêu nhanh, chia nhỏ bất kỳ sóng tín hiệu đầu vào nào thành các tần số riêng lẻ. Kết quả phân tích của FFT có thể xác định được tần số nào mạnh nhất, yếu nhất, hay xuất hiện bao nhiêu lần. Trong toán học, phép phân tích FFT là một cách tối ưu để tính Biến đổi Fourier Rời rạc (Discrete Fourier Transform - DFT).

Giả thiết rằng có một chuỗi tín hiệu $x[n]$ gồm N mẫu dữ liệu, phép phân tích DFT sẽ tính toán các thành phần tần số $X[k]$ theo công thức sau:

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N}kn} \quad (1)$$

Trong đó:

$X[k]$: Giá trị biên độ và pha tại tần số thứ k .

$x[n]$: Giá trị tín hiệu tại thời điểm n .

$e^{-j\frac{2\pi}{N}kn}$: Hàm số phức biểu diễn sóng.

N : Số lượng mẫu tín hiệu.

Trong thực tế, tín hiệu đầu vào thường chứa nhiễu do các yếu tố môi trường hoặc hạn chế của thiết bị đo. Để giảm thiểu ảnh hưởng của

hiệu nhiễu và hiện tượng rò rỉ phổ (spectral leakage), tín hiệu đầu vào thường được nhân với hàm cửa sổ Hanning, với công thức định nghĩa như sau:

$$w(n) = \frac{1}{2} \left(1 - \cos \left(\frac{2\pi n}{N-1} \right) \right) \quad (2)$$

Tín hiệu sau khi áp dụng hàm cửa sổ sẽ được biểu diễn như sau:

$$x_w(n) = x(n) \cdot w(n) \quad (3)$$

Do đó, công thức (1) khai triển DFT của tín hiệu đầu vào sẽ được viết lại là

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x_w(n) e^{-j2\pi kn/N}, \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (4)$$

Thông thường, FFT sẽ được nhúng vào phần cứng của bộ đọc nơi có giới hạn bộ nhớ và vi xử lý tốc độ thấp. Vì vậy thuật toán Cooley-Tukey [11] thường được sử dụng để tính toán tần số của tín hiệu nhằm giảm độ phức tạp của tính toán. Hơn nữa, thuật toán này tính toán ngay mà không cần mảng phụ lưu trữ kết quả trung gian nên phù hợp khi lập trình nhúng cho các phần cứng. Theo thuật toán này, tín hiệu giả định N lần lũy thừa của 2 và chia dãy tín hiệu thành hai phần là các mẫu có chỉ số chẵn ($n=2m$) và các mẫu có chỉ số lẻ ($n=2m+1$). Khi đó, DFT có thể viết lại như sau

$$\begin{cases} X\left(k + \frac{N}{2}\right) = E(k) + W_N^k \cdot O(k) \\ W_N^k = e^{-j\frac{2\pi}{N}kn} \end{cases} \quad (5)$$

Trong đó $E(k)$ và $O(k)$ lần lượt là DFT của các chuỗi tín hiệu con chẵn và lẻ. Việc đệ quy lặp lại quá trình tách chuỗi sẽ được thực hiện cho đến khi chỉ còn các DFT có độ dài 2 sẽ giúp giảm thiểu số lượng phép toán cần thực hiện.

3. CÁC PHƯƠNG PHÁP NỘI SUY NÂNG CAO ĐỘ CHÍNH XÁC TẦN SỐ CỘNG HƯỞNG CỦA CẢM BIẾN DÂY RUNG

Phép phân tích FFT (Fast Fourier Transform) thường được lập trình và tích hợp vào các bộ đọc tín hiệu của cảm biến dây rung, nhằm xác định ngay lập tức tần số cộng hưởng của dây thép trong cảm biến. Điều này trở nên cần thiết khi bộ đọc tín hiệu thu nhận được phản hồi cộng hưởng từ dây thép, đặc biệt trong giai đoạn kích thích, khi tần số kích thích dần tiến gần đến tần số dao động tự nhiên của dây trong cảm biến. Do đó, FFT thường được triển khai ngay tại thời điểm tín hiệu phản hồi đạt biên độ mạnh, trước khi dao động tắt dần do năng lượng suy giảm.

Tuy nhiên, FFT thường được nhúng trực tiếp vào vi xử lý điều khiển của bộ đọc tín hiệu, nơi dung lượng bộ nhớ bị giới hạn nghiêm ngặt - đôi khi chỉ vài chục kilobyte. Để tránh tình trạng tràn bộ nhớ, số lượng mẫu đầu vào phải được hạn chế, dẫn đến kết quả phân tích FFT thiếu độ mịn và thường đi kèm sai số lớn. Nhằm khắc phục hạn chế này, nhóm nghiên cứu đưa ra giả thuyết rằng vùng lân cận đỉnh tần số cộng hưởng nằm trên một đường cong giả định. Vì vậy, nhóm nghiên cứu đề xuất sử dụng ba phương pháp nội suy là nội suy parabol, nội suy Lagrange và Hermite.

3.1. Nội suy Parabol

Giả sử A_{k-1} ; A_k và A_{k+1} lần lượt là biên độ phổ tại ba tần số liên tiếp sau khi tính toán FFT, trong đó A_k là giá trị lớn nhất trong ba điểm tương ứng với tần số f_0 . Khi đó, giả thiết ba điểm này nằm trên Parabol theo phương trình sau

$$A(f) = a \times f^2 + b \times f + c \quad (6)$$

Ba điểm này được dùng để xấp xỉ một đường Parabol, từ đó nội suy và xác định vị trí chính xác của đỉnh tần số - biểu thị tần số cộng hưởng của dây thép trong cảm biến dây rung. Công thức nội suy Parabol cho tần số đỉnh thể hiện trạng thái cộng hưởng của dây thép trong cảm biến dây rung được diễn đạt như sau:

$$f_{peak} = f_0 + \frac{A_{k-1} - A_{k+1}}{2(A_{k-1} - 2A_k + A_{k+1})} \times \Delta f \quad (7)$$

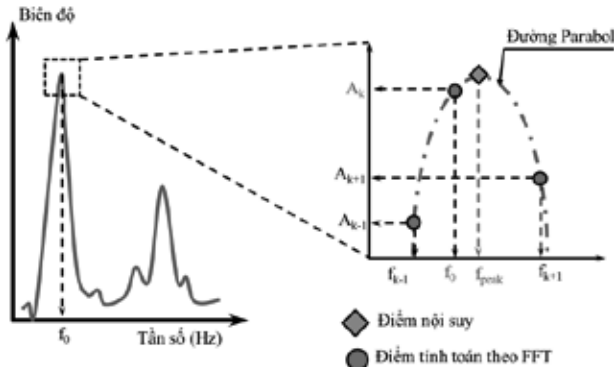
Trong đó: f_0, A_k : Tần số và biên độ tại điểm có biên độ lớn nhất được xác định theo FFT.

f_{k-1}, A_{k-1} : Tần số và biên độ tại điểm trước đỉnh.

f_{k+1}, A_{k+1} : Tần số và biên độ tại điểm sau đỉnh.

Trong công thức (7), tham số $(A_{k-1} - 2A_k + A_{k+1})$ là xấp xỉ của đạo hàm bậc hai của parabol và đóng vai trò biểu thị độ cong của phép phân tích. Tham số này bằng 0 có nghĩa là đường Parabol bằng phẳng do đó tần số đỉnh được giữ nguyên là f_0 , giá trị này được tính toán từ FFT.

Phương pháp nội suy Parabol được đề xuất trong bài báo này có công thức đơn giản, dễ dàng tích hợp cùng phép phân tích FFT khi triển khai mã nguồn trên vi điều khiển của bộ đọc tín hiệu. Tuy nhiên, để đánh giá mức độ cải thiện độ chính xác trong việc xác định tần số cộng hưởng dây rung trong cảm biến so với chỉ sử dụng giá trị f_0 thu được từ FFT cơ bản, các thí nghiệm thực nghiệm cần được thực hiện và sẽ được trình bày trong các phần tiếp theo.



Hình 3. Mô tả ứng dụng phương pháp nội suy Parabol

3.2. Nội suy Lagrange

Nội suy Lagrange là một phương pháp toán học dùng để xây dựng một đa thức xấp xỉ giá trị hàm số tại các điểm chưa biết, dựa trên một tập hợp các điểm dữ liệu đã biết [12-15]. Phương pháp này tạo ra một đa thức duy nhất có bậc tối đa bằng số điểm dữ liệu trừ một, đảm bảo đi qua tất cả các điểm cho trước. Được đặt tên theo nhà toán học Joseph Louis Lagrange, kỹ thuật này được ứng dụng rộng rãi trong các lĩnh vực như phân tích số liệu, xử lý tín hiệu và mô phỏng kỹ thuật. Nội suy Lagrange cho phép ước lượng chính xác giá trị hàm số tại các điểm không được đo trực tiếp, là nền tảng cho nhiều phương pháp nội suy khác.

Công thức nội suy Lagrange xây dựng một đa thức nội suy qua các điểm chưa biết, sử dụng tần số cộng hưởng làm biến, dựa trên tập hợp các điểm dữ liệu đã biết từ phép biến đổi Fourier nhanh (FFT) cơ bản, được biểu diễn theo phương trình sau:

$$P(f) = \sum_{j=0}^n A_j \cdot L_j(f) \quad (8)$$

Trong đó: A_j là biên độ tại điểm thứ j . $L_j(f)$ là các đa thức cơ sở Lagrange. Đa thức này được triển khai theo phương trình sau:

$$L_j(f) = \prod_{i=0, i \neq j}^n \frac{f - f_i}{f_j - f_i} \quad (9)$$

Sau khi xây dựng được đa thức $P(f)$, tần số cộng hưởng chính xác f_{peak} sẽ được tìm bằng cách giải phương trình đạo hàm bậc

nhất của đa thức bằng không $\frac{\partial P(f)}{\partial f} = 0$ để tìm điểm cực đại của

đường cong nội suy.

3.3. Nội suy Hermite

Nội suy Hermite là một phương pháp nội suy trong phân tích số, cho phép xây dựng một đa thức đi qua một tập hợp các điểm cho trước và có đạo hàm tại các điểm đó bằng với các giá trị đạo hàm đã biết [15,16]. Phương pháp này tạo ra một đường cong xấp xỉ không chỉ khớp về giá trị mà còn về độ dốc (đạo hàm) tại mỗi điểm.

Giả sử có $n+1$ điểm dữ liệu $(x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$ và giá trị đạo hàm tại các điểm đó là $y'_0, y'_1, \dots, y'_n$. Đa thức nội suy

Hermite $H(x)$ được định nghĩa là:

$$H(x) = \sum_{j=0}^n y_j \cdot h_j(x) + \sum_{j=0}^n y'_j \cdot \hat{h}_j(x) \quad (10)$$

Trong đó: $h_j(x)$ và $\hat{h}_j(x)$ là các đa thức cơ sở Hermite. Hai đa thức này lần lượt được thể hiện trong công thức sau

$$h_j(x) = [1 - 2(x - x_j)L'_j(x_j)] \cdot [L_j(x)]^2 \quad (11)$$

$$\hat{h}_j(x) = (x - x_j) \cdot [L_j(x)]^2 \quad (12)$$

Đa thức $L_j(x)$ là các đa thức cơ sở Lagrange và $L'_j(x_j)$ là đạo hàm của chúng tại điểm x_j . Dựa vào đa thức cơ sở Lagrange, tần số cộng hưởng f_{peak} được xác định tương tự như phương pháp Lagrange đã trình bày ở mục 3.2.

4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

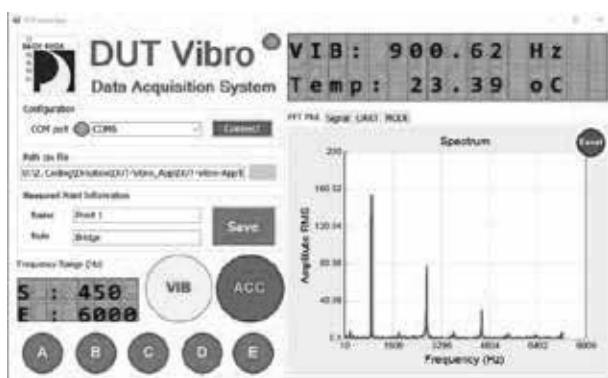
4.1. Bộ đọc tín hiệu cảm biến kiểu dây rung DUT Vibro

Bộ đọc DUT Vibro được thiết kế và phát triển bởi nhóm nghiên cứu do TS Cao Văn Lâm (Khoa Xây dựng Cầu đường, Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng) dẫn dắt, với mục tiêu thu thập và phân tích tín hiệu từ các cảm biến kiểu dây rung. Bộ đọc DUT Vibro được trang bị một màn hình hiển thị rõ nét cùng hai nút bấm tiện lợi, hỗ trợ người dùng thao tác trực tiếp (Hình 4). Bộ đọc DUT-Vibro được điều khiển bởi hai nút bấm và tích hợp màn hình để hiển thị kết quả đo. Một nút bấm màu vàng (bên trái) dùng để kích hoạt chế độ đo cho cảm biến kiểu dây rung, trong khi nút còn lại (bên phải) cho phép chuyển đổi nguồn tín hiệu đầu vào, phù hợp với việc đọc các loại cảm biến khác khi cần tích hợp. Khi nhấn nút điều khiển màu vàng (bên trái), bộ đọc sẽ kích hoạt rơ-le để chuyển sang chế độ kích thích, tạo dao động cho cảm biến; sau đó, rơ-le chuyển về chế độ đọc để thu nhận tín hiệu từ cảm biến. Tín hiệu này được xử lý bằng cách tính toán FFT nhằm xác định giá trị tần số cộng hưởng lớn nhất. Kết quả tần số cộng hưởng của cảm biến dây rung cùng với giá trị nhiệt độ sẽ được hiển thị.

Ngoài ra, thiết bị còn có cổng USB cho phép kết nối với máy tính, hoạt động thông qua một phần mềm điều khiển được thiết kế theo hướng đối tượng (Hình 5). Phần mềm này không chỉ hiển thị tín hiệu thô thu thập từ cảm biến mà còn vẽ biểu đồ FFT do bộ đọc tính toán và truyền về máy tính, giúp người dùng dễ dàng quan sát và phân tích dữ liệu. Hơn nữa, phần mềm cung cấp nhiều tùy chọn cấu hình linh hoạt, cho phép người dùng điều chỉnh tần số quét trong giai đoạn kích thích, tối ưu hóa quá trình đo lường theo từng ứng dụng cụ thể. Thiết bị còn hỗ trợ lưu trữ dữ liệu và xuất báo cáo, tăng cường khả năng ứng dụng thực tiễn trong thực tiễn.



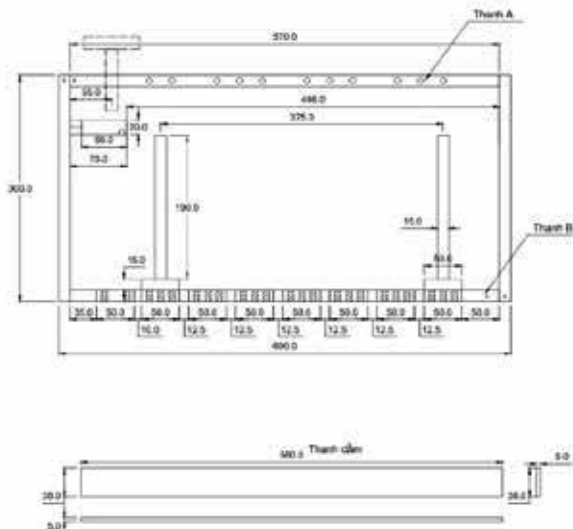
Hình 4. Bộ đọc tín hiệu cảm biến dây rung DUT Vibro



Hình 5. Giao diện phần mềm điều khiển DUT Vibro

4.2. Thí nghiệm kiểm chứng

Để kiểm chứng tính chính xác của dữ liệu đo lường từ bộ đọc DUT Vibro, nhóm nghiên cứu đã sử dụng đồng thời một bộ đọc thương mại của hãng DAS (Hàn Quốc) trong quá trình thí nghiệm [17]. Thí nghiệm được thiết kế với một bộ khung mô phỏng bao gồm dầm thép dài 560 mm, được đặt trên hai gối tựa cách nhau 375 mm. Một cảm biến kiểu dây rung chuyên dụng đo biến dạng (Model GV2405 - Geovan [18], Hàn Quốc) được liên kết cố định chính giữa dầm, đảm bảo ghi nhận chính xác các dao động của dây thép bên trong cảm biến khi chịu tải. Hình 6 mô tả chi tiết kích thước của khung thép và dầm thép sử dụng.



Hình 6. Mô tả hệ khung và dầm thép trong thí nghiệm



Hình 7. Cảm biến dây rung loại đo biến dạng GV-2405 hãng Geovan (Hàn Quốc)



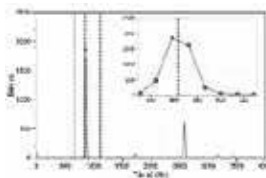
Hình 8. Bộ đọc tín hiệu cảm biến dây rung hãng DAS (Hàn Quốc) sử dụng trong thí nghiệm



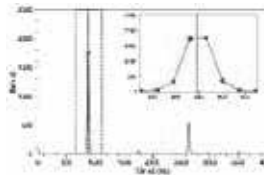
Hình 9. Giao diện phần mềm điều khiển DUT Vibro

Trong quá trình thí nghiệm, các tấm gia tải được đặt tập trung tại giữa dầm và tăng dần khối lượng một cách có kiểm soát lần lượt là: 0; 7; 9; 22; 27; 34; 45; và 50 N. Ứng mỗi cấp tải trọng, quá trình đọc tín hiệu sẽ được tiến hành lần lượt trong 3 lần nhằm giảm sai số trong quá trình đo. Mục tiêu là quan sát và ghi lại sự thay đổi tần số cộng hưởng tương ứng với các trạng thái co giãn khác nhau của dây thép, từ đó đánh giá hiệu suất của cảm biến dưới các mức tải trọng biến thiên. Hai bộ đọc - DUT Vibro và DAS - được sử dụng luân phiên để đo tín hiệu từ cùng một cảm biến, trong cùng điều kiện tải trọng, nhằm so sánh kết quả một cách khách quan. Dữ liệu từ cả hai thiết bị được thu thập cẩn thận, phân tích kỹ lưỡng để đánh giá độ chính xác và độ tin cậy của DUT Vibro so với bộ đọc tín hiệu DAS.

Hình 10 trình bày kết quả so sánh phép đo tần số cộng hưởng giữa bộ đọc DUT Vibro và bộ đọc DAS trong điều kiện không có tải trọng, nhằm mục đích đánh giá độ chính xác ban đầu của thuật toán FFT cơ bản. Kết quả từ DUT Vibro: đường cong màu đỏ thể hiện phổ tần số được tính toán bằng thuật toán FFT. Điểm cực đại của phổ này (đánh dấu bằng chấm tròn màu xanh lá cây) được xác định ở tần số 858,32 Hz. Đây là giá trị tần số cộng hưởng mà thiết bị DUT Vibro tính toán từ phép FFT cơ bản. Trong khi đó, kết quả từ bộ đọc DAS có giá trị tham chiếu là 863,45 Hz. Như vậy, tần số cộng hưởng dây rung trong cảm biến được xác định bởi bộ đọc DUT Vibro và DAS có sự sai khác rõ rệt. Điều này chứng tỏ tần số cộng hưởng mà thiết bị DUT Vibro xác định từ kết quả phép tính FFT là chưa chính xác có thể bắt nguồn từ giới hạn số điểm mẫu dữ liệu đo. Tương tự kết quả tính toán trên Hình 10, Kết quả Hình 11 thể hiện sự so sánh tần số cộng hưởng giữa bộ đọc DUT Vibro và bộ đọc DAS trong điều kiện có tác dụng tải trọng 22 N. Giá trị tần số cộng hưởng đo bộ đọc DUT Vibro xác định từ phép tính FFT là 886,46 Hz trong khi đó giá trị tham chiếu DAS đo được là 878,73 Hz.



Hình 10. Kết quả tính toán FFT Cooley-Tukey từ DUT Vibro và giá trị đọc từ DAS trong trường hợp không có tải trọng



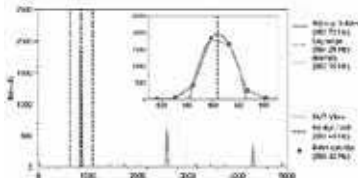
Hình 11. Kết quả tính toán FFT Cooley-Tukey từ DUT Vibro và giá trị đọc từ DAS trong trường hợp tải trọng 22 N

Như vậy, sự chênh lệch này chỉ ra rằng thuật toán FFT cơ bản được sử dụng trong bộ đọc DUT Vibro chưa đạt độ chính xác cao, có thể do giới hạn về số điểm mẫu dữ liệu đo. Điều này cho thấy cần cải tiến phương pháp xử lý tín hiệu, chẳng hạn như kết hợp các kỹ thuật nội suy từ kết quả tính toán thô của thuật toán FFT, để nâng cao độ chính xác trong ước lượng tần số cộng hưởng của cảm biến dây rung. Việc áp dụng kỹ thuật nội suy có ưu điểm là không cần phải tăng số lượng mẫu dữ liệu mà vẫn đảm bảo độ chính xác nên sẽ tối ưu về mặt kỹ thuật khi lập trình nhúng trực tiếp FFT vào vi điều khiển của bộ đọc DUT Vibro.

4.3. Đánh giá hiệu suất và lựa chọn phương pháp nội suy

Để nâng cao độ chính xác tần số cộng hưởng của dây rung trong cảm biến dây rung, ba phương pháp nội suy bao gồm: Nội suy Parabol, nội suy Lagrange và nội suy Hermite được áp dụng kết hợp từ kết quả FFT cơ bản. Số điểm sử dụng cho phép nội suy Parabol là 3 điểm bao gồm điểm có biên độ cực đại và các điểm lân cận trước và sau. Trong khi đó, số điểm sử dụng cho hai phương pháp nội suy Lagrange và Hermite là 5 điểm gồm điểm có biên độ cực đại và hai điểm liên tiếp trước và sau. Các hình từ 12 đến 14 thể hiện sự so sánh giữa tần số sau khi nội suy (f_{peak}) và tần số FFT cơ bản (f_0), cho thấy giá trị sau nội suy xác định bởi bộ đọc DUT Vibro bám sát với kết quả của bộ đọc DAS hơn một cách rõ rệt ở các mức tải trọng khác nhau.

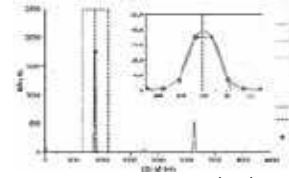
Hình 12 thể hiện tần số cộng hưởng của dây thép trong cảm biến theo phép phân tích FFT (f_0) và các phép nội suy (f_{peak}) trong trường hợp không tải. Có thể thấy, giá trị tần số cộng hưởng tính toán từ thuật toán FFT cơ bản (858,32 Hz) của bộ đọc DUT Vibro thấp hơn so với giá trị tham chiếu từ bộ đọc DAS (863,45 Hz). Tuy nhiên, sau khi áp dụng các phương pháp nội suy, giá trị tần số cộng hưởng xác định được tiến gần đến giá trị tham chiếu của DAS. Trong số ba phương pháp nội suy, phép nội suy parabol 3 điểm (863,72 Hz) cho kết quả tần số cộng hưởng gần nhất với giá trị tham chiếu từ DAS. Trong khi đó, phương pháp nội suy Lagrange cho giá trị cao nhất (864,29 Hz), còn phương pháp Hermite (863,15 Hz) cho giá trị thấp nhất so với giá trị tham chiếu.



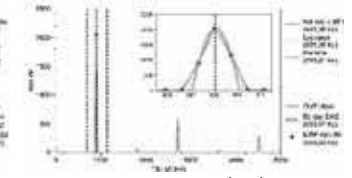
Hình 12. Phân tích nội suy tần số cộng hưởng dựa vào kết quả FFT cho trường hợp không tải

Hình 13 thể hiện tần số cộng hưởng của dây thép trong cảm biến theo phép phân tích FFT (f_0) và các phép nội suy (f_{peak}) trong trường hợp tải trọng giữa dầm thép là 22 N. Tần số cộng hưởng tính toán từ thuật toán FFT cơ bản của bộ đọc DUT Vibro (886,46 Hz) cao hơn so với giá trị tham chiếu từ bộ đọc DAS (878,73 Hz). Tuy nhiên, khi áp dụng các phương pháp nội suy, kết quả tần số cộng hưởng được cải thiện, xấp xỉ giá trị tham chiếu của DAS. Đáng chú ý, cả ba

phương pháp nội suy đều cho ra cùng một giá trị tần số là 879,35 Hz.

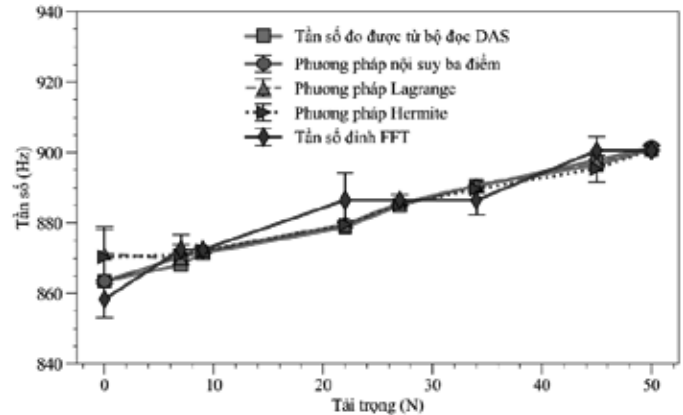


Hình 13. Phân tích nội suy tần số cộng hưởng dựa vào kết quả FFT cho trường hợp tải trọng giữa dầm là 22 N



Hình 14. Phân tích nội suy tần số cộng hưởng dựa vào kết quả FFT cho trường hợp tải trọng giữa dầm là 50 N

Hình 14 thể hiện tần số cộng hưởng của dây thép trong cảm biến theo phép phân tích FFT (f_0) và các phép nội suy (f_{peak}) trong trường hợp tải trọng giữa dầm thép là 50 N. Tần số cộng hưởng được tính toán từ thuật toán FFT cơ bản của bộ đọc DUT Vibro (900,53 Hz) gần sát với giá trị tham chiếu từ bộ đọc DAS (900,87 Hz). Khi áp dụng các phương pháp nội suy, kết quả của cả ba phương pháp này cho thấy sự tương đồng và không có sự khác biệt đáng kể. Đáng chú ý, phương pháp nội suy parabol và Lagrange cùng cho giá trị 901,38 Hz, trong khi phương pháp Hermite đạt 900,81 Hz.



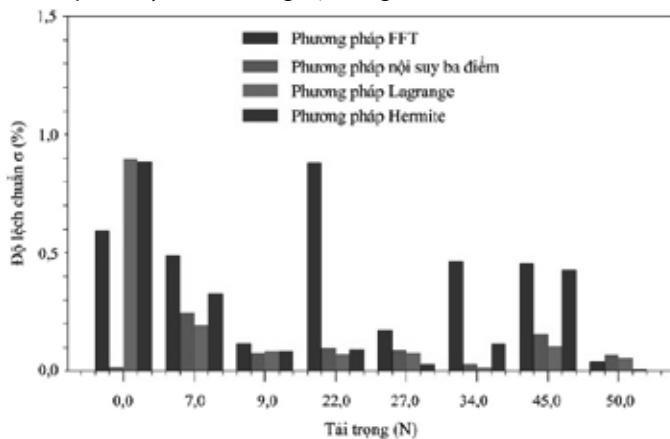
Hình 15. So sánh giá trị tần số cộng hưởng cảm biến dây rung và tải trọng tác dụng lên dầm thép trong quá trình thí nghiệm.

Hình 15 thể hiện so sánh giá trị tần số cộng hưởng cảm biến dây rung và tải trọng tác dụng lên dầm thép. Kết quả cho thấy cả ba phương pháp đều có tần số cộng hưởng tăng dần khi tải trọng tăng từ 0 đến 50 N. Từ biểu đồ, có thể nhận thấy tần số cộng hưởng tính toán từ thuật toán FFT cơ bản của bộ đọc DUT Vibro (đường màu xanh lam) thường thấp hơn so với giá trị tham chiếu từ bộ đọc DAS (đường màu đỏ) ở hầu hết các mức tải trọng từ 0 đến 50 N, cho thấy hạn chế về độ phân giải hoặc số điểm mẫu của phương pháp FFT cơ bản. Tuy nhiên, khi áp dụng các phương pháp nội suy (nội suy ba điểm, Lagrange, và Hermite với các đường màu xanh lá cây, vàng nâu, và tím tương ứng), kết quả tần số cộng hưởng được cải thiện đáng kể, tiến gần hơn đến giá trị tham chiếu của DAS, chứng minh hiệu quả của nội suy trong việc nâng cao độ chính xác. Trong đó, phương pháp nội suy parabol và Lagrange cho kết quả tương đồng, thường cao hơn nhẹ so với DAS, trong khi phương pháp Hermite cho giá trị sát hơn ở một số điểm, đặc biệt ở tải trọng cao.

Để đánh giá hiệu suất của ba phương pháp nội suy, độ lệch chuẩn của ba phương pháp nội suy được tính toán dựa vào giá trị tần số tham chiếu từ bộ đọc DAS. Kết quả độ lệch chuẩn của ba phương pháp nội suy và phương pháp FFT cơ bản được thể hiện trong Hình 16. Từ biểu đồ, có thể nhận xét rằng độ lệch chuẩn của các phương pháp nội suy có tần số cộng hưởng thay đổi tùy thuộc vào tải trọng (từ 0 đến 50 N). Phương pháp FFT (màu xanh dương)

cho thấy độ lệch chuẩn cao nhất, đạt đỉnh khoảng 1% tại tải trọng 22 N, nhưng giảm đáng kể ở các mức tải khác, 9 N; 27 N và 50 N. Phương pháp Lagrange (màu vàng nâu) và Hermite (màu tím) có độ lệch chuẩn tương đối cao tại 0 N (khoảng 0,9%), nhưng giảm dần khi tải trọng tăng. Trong khi đó, phương pháp nội suy parabol ba điểm (màu xanh lá cây) duy trì độ lệch chuẩn thấp hơn ở hầu hết các điểm và tiến gần 0% tại 0 N. Nhìn chung, các phương pháp nội suy cho thấy độ lệch chuẩn thấp hơn FFT ở hầu hết các mức tải, với phương pháp nội suy parabol ba điểm thể hiện hiệu quả ổn định hơn, trong khi FFT có xu hướng dao động mạnh hơn, đặc biệt ở tải trọng trung bình.

Kết quả từ Hình 15 và Hình 16 chỉ ra rằng tần số cộng hưởng của cảm biến dây rung tăng đều đặn khi tải trọng thay đổi từ 0 đến 50 N, phù hợp với nguyên lý hoạt động của cảm biến dựa trên độ căng của dây. Tuy nhiên, thuật toán FFT cơ bản áp dụng trong bộ đọc DUT Vibro (đường màu xanh lam) cho thấy giá trị tần số thấp hơn so với giá trị tham chiếu từ bộ đọc DAS (đường màu đỏ), do giới hạn về độ phân giải hoặc số điểm mẫu. Việc tích hợp các phương pháp nội suy (nội suy ba điểm, Lagrange, và Hermite) đã nâng cao đáng kể độ chính xác, với kết quả tiếp cận gần hơn đến giá trị tham chiếu của DAS. Phân tích độ lệch chuẩn từ Hình 16 tiết lộ rằng phương pháp FFT đạt độ lệch chuẩn tối đa khoảng 1% tại tải trọng 22 N, trong khi các phương pháp nội suy, đặc biệt là nội suy parabol ba điểm, duy trì độ lệch chuẩn thấp hơn và ổn định, tiến gần 0% tại 0 N và 50 N. Do đó, nội suy parabol ba điểm nổi bật là phương pháp hiệu quả nhất, trong khi FFT đòi hỏi tối ưu hóa để giảm biến thiên, đặc biệt ở tải trọng trung bình. Trên cơ sở này, phương pháp nội suy parabol ba điểm được đề xuất để lập trình nhúng vào bộ đọc DUT Vibro, cho phép xác định nhanh chóng tần số cộng hưởng của dây rung mà không cần tăng số lượng mẫu dữ liệu, phù hợp với giới hạn bộ nhớ của chip vi xử lý STM32 trong hệ thống.



Hình 16. So sánh độ lệch chuẩn giữa các phương pháp nội suy trong tính toán tần số cộng hưởng cảm biến kiểu dây rung

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã đề xuất và đánh giá hiệu suất của các phương pháp nội suy kết hợp với phân tích Fourier (FFT) nhằm nâng cao độ chính xác trong xác định tần số cộng hưởng của cảm biến dây rung. Nghiên cứu đã đạt được các kết quả quan trọng sau:

1. Phát triển bộ đọc DUT Vibro cho phép đo lường tần số cộng hưởng của cảm biến dây rung loại đo biến dạng.
2. Đề xuất phương pháp nội suy parabol ba điểm; phương pháp Lagrange và Hermite kết hợp FFT. Các phương pháp này đã được đánh giá và chứng minh hiệu quả trong việc nâng cao độ chính xác xác định tần số cộng hưởng, vượt trội so với thuật toán FFT cơ bản vốn gặp hạn chế về độ phân giải hoặc số điểm mẫu. Kết quả cho

thấy sai số giảm đáng kể đối với cả ba phương pháp, với độ lệch chuẩn của nội suy parabol ba điểm tiến gần 0% tại 0 N và 50 N, so với độ lệch chuẩn tối đa 1% của FFT tại 22 N.

3. Phương pháp nội suy parabol ba điểm cho phép đạt độ chính xác cao mà không cần gia tăng số lượng mẫu, phù hợp với giới hạn bộ nhớ của chip STM32 trong DUT Vibro.

Với ưu điểm đơn giản và khả năng tích hợp trên hệ thống nhúng, phương pháp nội suy parabol ba điểm được đề xuất lập trình nhúng vào DUT Vibro để đo lường tần số cộng hưởng nhanh chóng, hứa hẹn ứng dụng rộng rãi trong các hệ thống đo lường yêu cầu độ chính xác cao. Nghiên cứu có thể mở rộng để đánh giá hiệu suất trên nhiều loại cảm biến khác nhau và tối ưu hóa thuật toán nhằm nâng cao độ tin cậy và hiệu quả của hệ thống.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Dunclicliff, John (1988), "Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance", Wiley, New York, pp. 1-577.
- [2]. Hui-Ling Z, Xin-Yin Z. (2014). "The High Precision Vibration Signal Data Acquisition System Based on the STM32". *Sensors & transducers*;172:98.
- [3]. Zhao JH, Zhou FF, Mao SY. (2014). "Improvement and Design of Single Coil Vibrating-Wire Sensor Signal Acquisition System Based on STM32". *Applied Mechanics and Materials*;511-512:764-9.
- [4]. Komarizadehasl, Saman; Mobaraki, Behnam; Ma, Hongwei; Lozano-Galant, Jose-Angel; Turmo, Jose (2021), "Development of a Low-Cost System for the Accurate Measurement of Structural Vibrations", *Sensors*, MDPI, 21(18), Article ID 6191, pp. 1-10. <https://doi.org/10.3390/s21186191>.
- [5]. Fu, Qiang; Han, Bing (2017), "Bridge vibration monitoring system based on vibrating-wire sensor and ZigBee technologies", *ICCSN*, pp. 338-342.
- [6]. Tao, Wang; Zhang, Wenqian (2019), "A study on dynamic measurement methods based on vibrating wire sensors", *MST*, 30, Article ID 25105, pp. 1-10.
- [7]. Sang, Yang; Zhang, Zhao (2020), "Study on Fast Frequency-sweep Method for Vibrating Wire Sensor", *ICAICA*, pp. 409-413.
- [8]. Hou, Zhang; Bao, Li (2023), "Research and design of bridge distributed monitoring system based on LoRa technology", *IET Wireless Sensor Systems*, 13, pp. 91-103.
- [9]. Thành, Trịnh Phúc; Hùng, Trần Việt; Hùng, Cù Việt; Phát, Nguyễn Tiến; Sơn, Nguyễn Hùng; Nhung, Vũ Thị Hồng; Tuấn, Nguyễn Ngọc (2021), "Nghiên cứu quan trắc ứng suất - biến dạng cầu vòm nhịp lớn trong quá trình thi công sử dụng hệ thống cảm biến đo biến dạng kiểu dây rung ở Việt Nam", *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, Đại học Xây dựng Hà Nội, Việt Nam*, pp. 13-25.
- [10]. Trung, Nguyễn Việt (2011), "Nghiên cứu quan trắc ứng suất - biến dạng cầu vòm nhịp lớn trong quá trình thi công sử dụng hệ thống cảm biến đo biến dạng kiểu dây rung ở Việt Nam", *Việt Nam*, pp. 1-180.
- [11]. Johnsson, Lennart; Krawitz, Robert L. (1992), "Cooley-Tukey FFT on the Connection Machine", *Parallel Computing*, 18, pp. 1201-1221.
- [12]. Jeffreys, Harold; Jeffreys, Bertha S. (1988), "Lagrange's Interpolation Formula", *Methods of Mathematical Physics*, 3rd ed., Cambridge University Press, Cambridge, England, p. 260.
- [13]. Séroul, Raymond (2000), "Lagrange Interpolation", *Programming for Mathematicians*, Springer-Verlag, Berlin, pp. 269-273.
- [14]. Whittaker, Edmund T.; Robinson, George (1967), "Lagrange's Formula of Interpolation", *The Calculus of Observations: A Treatise on Numerical Mathematics*, 4th ed., Dover, New York, pp. 28-30.
- [15]. Szegő, Gabor (1975), "Orthogonal Polynomials", 4th ed., Amer. Math. Soc., Providence, RI, pp. 330-332.
- [16]. Bartels, Richard H.; Beatty, John C.; Barsky, Brian A. (1998), "Hermite and Cubic Spline Interpolation", *An Introduction to Splines for Use in Computer Graphics and Geometric Modelling*, Morgan Kaufmann, San Francisco, CA, pp. 9-17.
- [17]. Diangle Advanced Sensors (DAS) (2025), "Digital Protractor: DIGIANGLE-1D/2D", http://www.das-co.com/img_up/shop_pds/das01/product/digiangle1d_catalog_new_r2eng.pdf.
- [18]. Geovan (2025), "Vibrating wire strain gauge technology", Expert Edition, https://www.geovan.com/en/geotechnical_instruments/strain-gauge/.

Ứng dụng BIM trong quản lý tiến độ thi công xây dựng: Một số vấn đề cần lưu ý

Implementation of building information modeling BIM in construction scheduling: Critical considerations

> TS NGUYỄN MINH NHẤT¹, TS NGUYỄN QUỐC ĐẠT²

¹BM Chuyên ngành 1, Viện Đào tạo và Hợp tác quốc tế, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội
Email: nhatnm@hau.edu.vn

²BM Chuyên ngành 2, Viện Đào tạo và Hợp tác quốc tế, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội
Email: datnq@hau.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu này tập trung phân tích các khía cạnh trọng yếu cần xem xét khi triển khai Mô hình Thông tin Công trình (BIM), đặc biệt là ứng dụng 4D BIM trong công tác quản lý tiến độ thi công. Trên cơ sở khảo sát thực tiễn kết hợp với phân tích nhân tố, nhóm tác giả đã nhận diện bốn nhóm yếu tố quyết định hiệu quả áp dụng, gồm: yếu tố kỹ thuật, yếu tố tổ chức, yếu tố phần mềm và yếu tố giao tiếp. Kết quả nghiên cứu cho thấy chất lượng kỹ thuật mô hình và cấu trúc tổ chức dự án giữ vai trò chi phối, đồng thời cũng là nguồn phát sinh nhiều khó khăn nếu không được chuẩn bị đầy đủ. Các rào cản thường gặp bao gồm: dữ liệu mô hình chưa được chuẩn hóa, thiếu sự đồng bộ giữa mô hình và tiến độ thi công, cùng hạn chế về nhân sự am hiểu và vận hành thành thạo phần mềm 4D. Từ những phát hiện này, nghiên cứu đề xuất các giải pháp về chuẩn hóa và quản trị dữ liệu, nâng cao năng lực chuyên môn thông qua đào tạo, và lựa chọn công cụ phần mềm phù hợp, nhằm tạo nền tảng cho việc mở rộng ứng dụng 4D BIM trong lĩnh vực quản lý tiến độ xây dựng tại Việt Nam. **Từ khóa:** BIM 4D, quản lý tiến độ thi công xây dựng, quản lý dự án xây dựng, chuyển đổi số, phối hợp liên ngành.

ABSTRACT

This study focuses on analyzing the key considerations in implementing Building Information Modeling (BIM), with particular emphasis on the application of 4D BIM in construction scheduling management. Based on empirical surveys and factor analysis, the authors identified four critical groups of factors that determine implementation effectiveness: technical, organizational, software-related, and communication-related aspects. The findings indicate that the quality of the modeling process and the organizational structure of the project play a dominant role, while also being the primary sources of difficulties if not adequately prepared. Common barriers include unstandardized model data, misalignment between the model and the construction schedule, and a shortage of personnel proficient in operating 4D software. Drawing on these insights, the study proposes solutions involving data standardization and management, capacity building through professional training, and the selection of appropriate software tools, thereby establishing a foundation for scaling up the adoption of 4D BIM in construction scheduling management in Vietnam.

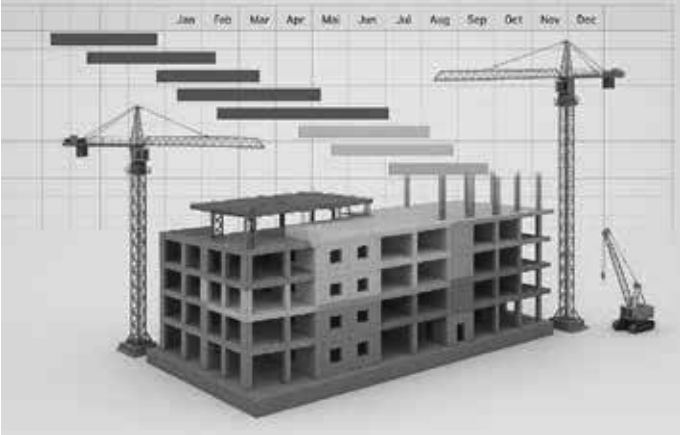
Keywords: 4D BIM, construction scheduling management, construction project management, digital transformation, interdisciplinary coordination.

1. GIỚI THIỆU

Quản lý tiến độ thi công đóng vai trò then chốt trong việc đảm bảo thành công của dự án xây dựng, bởi tiến độ không chỉ ảnh hưởng trực tiếp đến chi phí và nguồn lực, mà còn tác động lâu dài đến uy tín của các bên liên quan cũng như hiệu quả vận hành công trình sau khi bàn giao. Trong bối cảnh các dự án ngày càng có quy mô lớn, yêu cầu kỹ thuật phức tạp và đòi hỏi sự đồng bộ giữa các giai đoạn thiết kế - thi công - vận hành, những phương pháp quản lý truyền thống như biểu đồ Gantt hay mạng PERT/CPM dần bộc lộ hạn chế về khả năng trực quan hóa, mức độ phối hợp liên ngành và năng lực cập nhật dữ liệu tiến độ theo thời gian thực.

Sự phát triển của Mô hình Thông tin Công trình (BIM) đã tạo ra một công cụ hỗ trợ hiệu quả cho việc lập kế hoạch, kiểm soát tiến độ và điều phối thi công. Khác với mô hình 3D đơn thuần, BIM tích hợp nhiều lớp thông tin kỹ thuật, cho phép mô phỏng và quản lý dữ liệu dự án một cách toàn diện. Trong đó, 4D BIM - ứng dụng BIM mở rộng theo chiều thời gian - được xem là một bước tiến quan trọng khi kết nối thông tin tiến độ với mô hình hình học của công trình. Nhờ khả năng mô phỏng tiến độ thi công trong không gian bốn chiều, các bên tham gia có thể hình dung trực quan trình tự triển khai, nhận diện xung đột tiềm ẩn, tối ưu hóa trình tự công việc và nâng cao hiệu quả ra quyết định trong cả giai đoạn chuẩn bị lẫn thi

công. Đồng thời, 4D BIM còn tăng cường khả năng phối hợp đa bộ môn, giảm thiểu rủi ro và nâng cao giá trị vòng đời của công trình.



Hình 1. BIM 4D trong quản lý tiến độ thi công

Mặc dù 4D BIM được đánh giá là một bước tiến quan trọng trong quản lý tiến độ thi công, song quá trình triển khai, đặc biệt tại các quốc gia đang phát triển, vẫn gặp phải nhiều rào cản mang tính hệ thống. Các nghiên cứu thực nghiệm chỉ ra rằng việc áp dụng 4D BIM thường bị hạn chế bởi thiếu vắng các tiêu chuẩn kỹ thuật thống nhất, năng lực sử dụng phần mềm chuyên dụng của đội ngũ nhân sự còn hạn chế, khó khăn trong việc đồng bộ mô hình với kế hoạch tiến độ, cũng như sự thiếu hụt những quy trình phối hợp liên ngành chặt chẽ và nhất quán.

Tại Việt Nam, dù đã có những bước tiến đáng kể về khung pháp lý với Thông tư số 10/2021/TT-BXD và các tiêu chuẩn kỹ thuật mới ban hành như TCVN 14177-1:2024, TCVN 14177-2:2024 và TCVN 14176-2:2024, các tổ chức vẫn đứng trước áp lực phải nhanh chóng điều chỉnh quy trình quản lý thông tin và nâng cao năng lực kỹ thuật để đáp ứng yêu cầu triển khai. Thực tiễn cho thấy, hiệu quả áp dụng 4D BIM không chỉ phụ thuộc vào yếu tố kỹ thuật, mà còn gắn chặt với năng lực tổ chức, lựa chọn và vận hành phần mềm, cùng khả năng giao tiếp - phối hợp giữa các bên liên quan. Nếu không được nhận diện và xử lý kịp thời, mỗi yếu tố này đều có thể trở thành điểm nghẽn trong giai đoạn chuẩn bị cũng như khi thực thi dự án.

Xuất phát từ thực trạng đó, nghiên cứu này tập trung phân tích các khía cạnh trọng yếu cần lưu ý khi ứng dụng BIM, đặc biệt là 4D BIM, trong thi công xây dựng tại Việt Nam. Dựa trên cơ sở lý thuyết tổng hợp và kết quả khảo sát thực tiễn, nghiên cứu đã nhận diện bốn nhóm yếu tố - kỹ thuật, tổ chức, phần mềm và giao tiếp - có tác động đáng kể đến hiệu quả triển khai. Đồng thời, nghiên cứu cũng đề xuất các khuyến nghị nhằm tháo gỡ những rào cản hiện hữu, tạo tiền đề cho việc mở rộng ứng dụng 4D BIM trên phạm vi toàn ngành.

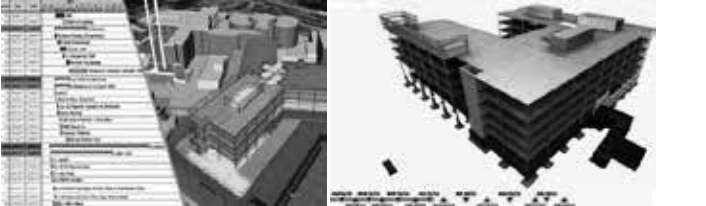
2. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU

Tiến độ thi công là một thành phần cốt lõi trong quản lý dự án xây dựng, phản ánh năng lực điều phối nguồn lực, trình tự kỹ thuật và mức độ đồng bộ trong phối hợp giữa các bên tham gia. Bất kỳ sự chậm trễ nào cũng có thể kéo theo gia tăng chi phí, gián đoạn dòng tiền, ảnh hưởng đến chất lượng công trình và tiềm ẩn nguy cơ phát sinh tranh chấp hợp đồng. Mặc dù các phương pháp truyền thống như sơ đồ mạng, biểu đồ Gantt hay phương pháp đường găng (CPM) vẫn được sử dụng rộng rãi trong thực tiễn, chúng bộc lộ nhiều hạn chế về khả năng tích hợp đồng thời dữ liệu kỹ thuật - thời gian - không gian, đặc biệt khi áp dụng cho các dự án quy mô lớn, yêu cầu phối hợp phức tạp.

Kể từ đầu thập niên 2010, công nghệ Mô hình Thông tin Công trình (BIM) đã được nghiên cứu và ứng dụng rộng rãi trong xây

dựng, trong đó 4D BIM, sự tích hợp giữa mô hình 3D và dữ liệu tiến độ, trở thành một công cụ quan trọng trong quản lý tiến độ. 4D BIM cho phép mô phỏng đồng thời các yếu tố không gian và thời gian của công trình, giúp các bên dự án đánh giá trực quan trình tự thi công, phát hiện xung đột kỹ thuật liên bộ môn, và dự báo tác động của các thay đổi tiến độ trong môi trường ba chiều. Quy trình triển khai phổ biến bao gồm: (i) xây dựng mô hình 3D theo trình tự thi công; (ii) lập kế hoạch tiến độ trên phần mềm chuyên dụng (Primavera, MS Project); (iii) liên kết dữ liệu thời gian với mô hình 3D qua các công cụ như Navisworks hoặc Synchro; và (iv) hiệu chỉnh, mô phỏng, phân tích để tối ưu tiến độ.

Các nghiên cứu quốc tế đã ghi nhận vai trò nổi bật của 4D BIM trong nâng cao hiệu quả lập kế hoạch và điều phối thi công. Cụ thể, 4D BIM giúp giảm xung đột kỹ thuật, tăng cường khả năng phối hợp đa ngành và rút ngắn thời gian xử lý tình huống ngoài hiện trường. Bên cạnh đó, việc kết hợp 4D BIM với đánh giá rủi ro mở ra tiềm năng phân tích kịch bản và điều hành thi công theo thời gian thực. Tuy nhiên, hiệu quả của 4D BIM vẫn phụ thuộc vào nhiều điều kiện nền tảng như chất lượng dữ liệu mô hình, mức độ tương thích giữa các phần mềm, hiệu quả phối hợp tổ chức và năng lực chuyên môn của đội ngũ vận hành công cụ.



Hình 2. Mô phỏng tiến độ thi công theo thời gian thực bằng mô hình 4D BIM [18]

Tại Việt Nam, các công trình nghiên cứu về 4D BIM vẫn còn khá hạn chế, phần lớn dừng lại ở việc giới thiệu công nghệ hoặc phân tích tích lợi ích trên phương diện lý thuyết. Một số dự án thí điểm đã áp dụng 4D BIM nhưng vẫn phụ thuộc nhiều vào đội ngũ chuyên gia nước ngoài hoặc tư vấn bên ngoài. Thực tiễn triển khai cho thấy việc áp dụng BIM nói chung, và 4D BIM nói riêng, vẫn đang đối mặt với nhiều thách thức liên quan đến nguồn nhân lực, chuẩn hóa dữ liệu, khả năng khai thác phần mềm và quy trình phối hợp liên ngành.

Sự ra đời của các tiêu chuẩn kỹ thuật mới, như TCVN 14177-1:2024 và TCVN 14177-2:2024 do Bộ Khoa học và Công nghệ ban hành, đã bước đầu tạo nền tảng pháp lý cho việc chuẩn hóa triển khai BIM. Tuy nhiên, để các tiêu chuẩn này thực sự phát huy hiệu quả, cần thêm thời gian và cơ chế thực thi đồng bộ, gắn với đào tạo và hướng dẫn áp dụng trong thực tế dự án.

Tên cơ sở kế thừa kết quả nghiên cứu trong và ngoài nước, đồng thời tham vấn ý kiến từ các chuyên gia giàu kinh nghiệm thực tiễn trong triển khai BIM tại Việt Nam. Nghiên cứu này đã tổng hợp và hệ thống hóa bốn nhóm yếu tố chủ đạo ảnh hưởng đến hiệu quả ứng dụng 4D BIM trong quản lý tiến độ thi công xây dựng.

Bảng 1. Các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu quả triển khai 4D BIM trong quản lý tiến độ xây dựng

STT	Nhóm yếu tố	Mã hoá	Nguồn tham khảo
I	Kỹ thuật	KT	
1	Mức độ chi tiết của mô hình 3D phù hợp với tiến độ thi công (LOD - Level of Development)	KT1	[9]; [10]; [16]
2	Chất lượng dữ liệu đầu vào và khả năng trích xuất khối lượng từ mô hình	KT2	[11]; [13]
3	Sự đồng bộ giữa mô hình 3D và kế hoạch tiến độ thời gian thực	KT3	[10]; [15]; [18]
4	Khả năng mô phỏng chính xác trình	KT4	[9]; [15];

	tự thi công		[11];
II	Tổ chức	TC	
5	Cam kết của ban lãnh đạo dự án trong việc triển khai BIM	TC1	[9]; [15]
6	Sự rõ ràng trong phân công vai trò và trách nhiệm giữa các bên	TC2	[10]; [11]
7	Mức độ tích hợp quy trình BIM vào hệ thống quản lý dự án hiện hành	TC3	[16]; [9]; [18]
8	Kinh nghiệm và năng lực tổ chức trong triển khai BIM ở cấp dự án	TC4	[3]; [10]; [19]
III	Phần mềm	PM	
9	Khả năng tương thích giữa phần mềm lập tiến độ và phần mềm BIM (ví dụ: MS Project - Navisworks)	PM1	[9]; [15]; [16]
10	Chi phí bản quyền và hạ tầng phần cứng hỗ trợ phần mềm chuyên dụng	PM2	[3]; [5]; [19]
11	Mức độ thân thiện, dễ sử dụng của phần mềm với người vận hành	PM3	[15]; [11]
IV	Giao tiếp	GT	
12	Khả năng truyền đạt mô hình và tiến độ đến các nhóm công trường	GT1	[10]; [16]
13	Tính hiệu quả trong phối hợp liên ngành (kiến trúc - kết cấu - MEP - thi công)	GT2	[11]
14	Cơ chế phản hồi và cập nhật thông tin giữa các bên liên quan trong quá trình thi công	GT3	[3]; [7]; [19]

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Tổng quan tài liệu

Thu thập và phân tích các nghiên cứu khoa học, tài liệu chuyên ngành và văn bản pháp lý liên quan đến ứng dụng 4D BIM, bao gồm các công trình khoa học, cùng các quy định như Thông tư 10/2021/TT-BXD do Bộ Xây dựng ban hành và Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 14177:2024 do Bộ Khoa học và Công nghệ công bố. Mục tiêu là xây dựng cơ sở lý thuyết, hệ thống hóa nhóm yếu tố và xác định khoảng trống nghiên cứu.

Xây dựng khung yếu tố

Từ tổng hợp lý thuyết và thảo luận chuyên gia (thiết kế, thi công, điều phối BIM), hình thành bốn nhóm yếu tố chính: kỹ thuật, tổ chức, phần mềm, giao tiếp; gồm 14 yếu tố thành phần, làm nền tảng cho thiết kế công cụ khảo sát.

Khảo sát

Thiết kế bảng hỏi Likert 5 mức, khảo sát 120 chuyên gia, thu về 103 phản hồi hợp lệ. Tiêu chí lựa chọn: tối thiểu 3 năm kinh nghiệm và tham gia ít nhất một dự án 4D BIM. Đối tượng gồm cán bộ kỹ thuật, điều phối viên, quản lý dự án và giảng viên/nghiên cứu viên.

Phân tích dữ liệu

Sử dụng SPSS để kiểm định độ tin cậy thang đo bằng Cronbach's Alpha ($\alpha \geq 0,7$) và tính chỉ số tầm quan trọng tương đối (RII) nhằm xếp hạng mức độ ảnh hưởng của từng yếu tố. Công thức RII:

$$R = \frac{\sum W}{A \times N}$$

Trong đó: W = trọng số, phạm vi từ 1 đến 5.

A = Trọng số cao nhất trong thang đo (ở đây là 5).

N = Tổng số mẫu (103 phiếu).

Giá trị RII được sử dụng để xác định mức độ ảnh hưởng tương đối của từng nhóm rủi ro, qua đó làm cơ sở cho việc ưu tiên xử lý, hỗ trợ quá trình ra quyết định và đề xuất các giải pháp quản trị rủi ro phù hợp. Giá trị RII được phân loại theo Bảng 2 dưới đây:

Bảng 2. Phân loại RII

STT	Mức độ	Giá trị
1	Không ảnh hưởng	$0 \leq RII < 0,2$
2	Ít ảnh hưởng	$0,2 \leq RII < 0,4$
3	Ảnh hưởng trung bình	$0,4 \leq RII < 0,6$
4	Ảnh hưởng mạnh	$0,6 \leq RII < 0,8$
5	Ảnh hưởng rất mạnh	$RII \geq 0,8$

4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

4.1. Kiểm định độ tin cậy thang đo Cronbach's Alpha

Để đánh giá độ tin cậy của thang đo, nghiên cứu áp dụng hệ số Cronbach's Alpha - chỉ số đo lường mức độ nhất quán nội tại giữa các biến quan sát trong cùng một khái niệm. Theo tiêu chuẩn phổ biến, giá trị Cronbach's Alpha $\geq 0,7$ được coi là đạt yêu cầu [16]. Kết quả phân tích cho thấy hệ số Cronbach's Alpha đạt 0,819, phản ánh mức độ tin cậy cao và tính ổn định nội tại của thang đo. Điều này khẳng định rằng các biến quan sát có mối tương quan tốt và thể hiện nhất quán khái niệm nghiên cứu về các yếu tố tác động đến việc triển khai 4D BIM trong quản lý xây dựng.

Bảng 3. Thống kê độ tin cậy

Cronbach's Alpha	Cronbach's Alpha dựa trên các biến đã chuẩn hóa	Số đối tượng
0,819	0,818	14

Tiếp theo, bảng phân tích thống kê từng biến được sử dụng để đánh giá mức độ đóng góp cụ thể của từng biến quan sát. Dữ liệu này là cơ sở để xem xét có biến nào không phù hợp cần loại bỏ, đồng thời cũng xác định ảnh hưởng của từng biến đến hệ số tin cậy tổng thể.

Bảng 4. Thống kê tương quan giữa từng biến quan sát và tổng thang đo

	Scale Mean if Item Deleted	Scale Variance if Item Deleted	Corrected Item-Total Correlation	Cronbach's Alpha if Item Deleted
KT1	49,75	46,681	0,493	0,804
KT2	49,30	47,997	0,472	0,806
KT3	49,45	46,426	0,522	0,802
KT4	49,51	49,213	0,343	0,815
TC1	49,47	46,859	0,502	0,803
TC2	49,41	50,048	0,316	0,816
TC3	49,87	47,131	0,427	0,809
TC4	49,28	47,734	0,460	0,807
PM1	49,60	49,026	0,378	0,812
PM2	49,65	47,896	0,426	0,809
PM3	49,52	49,075	0,370	0,813
GT1	49,77	45,984	0,482	0,805
GT2	49,89	44,802	0,548	0,799
GT3	49,32	48,298	0,477	0,806

Bảng 4 cho thấy tất cả biến quan sát đều có hệ số tương quan mục-tổng $> 0,3$ và không biến nào làm tăng Cronbach's Alpha nếu bị loại bỏ (tất cả giá trị đều thấp hơn 0,819). Điều này khẳng định các biến đóng góp tích cực, cấu trúc thang đo ổn định và đủ điều kiện cho các phân tích tiếp theo.

4.2. Kết quả phân tích nhân tố khám phá EFA

Kiểm định sự phù hợp của dữ liệu

Để khám phá cấu trúc các thang đo và xác định số lượng nhân tố đại diện cho các biến quan sát, nghiên cứu tiến hành phân tích nhân tố khám phá (Exploratory Factor Analysis - EFA) với phương pháp trích Principal Component Analysis và phép quay Varimax. Trước khi thực hiện EFA, cần kiểm định mức độ phù hợp của dữ liệu bằng hệ số KMO và kiểm định Bartlett.

Phân tích nhân tố khám phá EFA được cho là phù hợp khi thỏa mãn các điều kiện sau:

- (a) Trị số $0,5 < KMO < 1$;
- (b) Kiểm định Bartlett có ý nghĩa thống kê ($Sig. < 0,05$);
- (c) Hệ số tải nhân tố (factor loading) $\geq 0,5$;

Bảng 5. KMO và Bartlett's Test

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		0,780
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	418,912
	df	91
	Sig.	0,000

Kết quả ở Bảng 5 cho thấy hệ số KMO đạt 0,780 ($> 0,5$) và kiểm định Bartlett có giá trị $Sig. = 0,000 (< 0,05)$, cho thấy dữ liệu đủ điều kiện để tiến hành phân tích nhân tố khám phá [16].

Kiểm định mức độ giải thích các biến quan sát

Phân tích EFA được thực hiện trên 14 biến quan sát. Kết quả cho thấy có 4 nhân tố được trích xuất với giá trị eigenvalue lớn hơn 1, và tổng phương sai trích lũy đạt 62,784%, vượt ngưỡng 50% như khuyến nghị của Hair et al. (2009). Điều này chứng tỏ mô hình có khả năng giải thích phần lớn biến thiên của dữ liệu khảo sát.

Kiểm định giá trị hội tụ của các nhóm nhân tố

Kết quả phân tích cho thấy các biến quan sát có hệ số tải nhân tố đều lớn hơn 0,6 và hội tụ vào đúng các nhóm yếu tố như thiết kế ban đầu (Kỹ thuật, Tổ chức, Phần mềm, Giao tiếp). Điều này khẳng định cấu trúc thang đo là phù hợp, đáp ứng yêu cầu về giá trị hội tụ và phân biệt. Kết quả này cũng nhất quán với các nghiên cứu trước như Lu et al. (2020), Lee & Park (2021), và Doukari et al. (2022).

4.3. Xếp hạng mức độ ảnh hưởng các yếu tố đến hiệu quả triển khai BIM 4D trong quản lý tiến độ xây dựng

Bảng 6. Xếp hạng mức độ ảnh hưởng các nhóm yếu tố

TT	Nhóm yếu tố	Điểm ảnh hưởng	Mức độ ảnh hưởng	Xếp hạng
I	Kỹ thuật	0,773	Ảnh hưởng mạnh	1
II	Tổ chức	0,772	Ảnh hưởng mạnh	2
III	Phần mềm	0,755	Ảnh hưởng mạnh	3
IV	Giao tiếp	0,742	Ảnh hưởng mạnh	4

Dựa trên điểm RII trung bình của từng nhóm yếu tố, nghiên cứu xếp hạng mức độ ảnh hưởng đến hiệu quả triển khai 4D BIM trong quản lý tiến độ xây dựng. Kết quả cho thấy nhóm kỹ thuật có tác

động lớn nhất, tiếp đến là tổ chức và phần mềm, trong khi giao tiếp xếp cuối nhưng vẫn thuộc mức “ảnh hưởng mạnh”. Điều này khẳng định kỹ thuật và tổ chức là hai trụ cột then chốt để triển khai 4D BIM hiệu quả, đặc biệt trong các dự án phức tạp như nhà cao tầng.

Nhóm kỹ thuật

Yếu tố kỹ thuật giữ vai trò then chốt trong việc chuyển đổi 4D BIM từ ý tưởng sang công cụ quản lý tiến độ thực tiễn. Đây là nền tảng quyết định khả năng tích hợp mô hình 3D với dữ liệu tiến độ, cho phép mô phỏng chính xác trình tự thi công, trực quan hóa kế hoạch và giảm thiểu rủi ro xung đột trước khi triển khai [8]; [3].

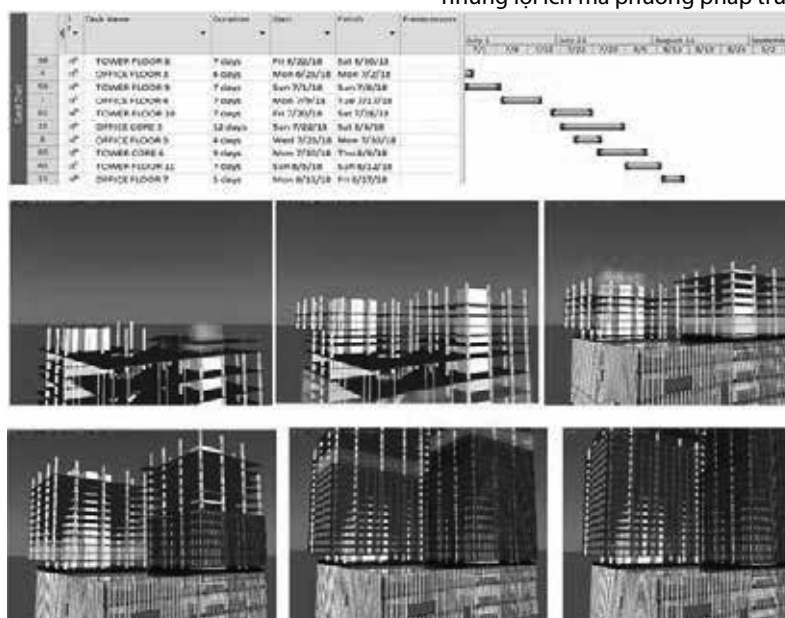
Để phát huy tối đa hiệu quả, mô hình 3D cần có mức độ chi tiết (LOD) phù hợp với tiến độ (KT1), dữ liệu đầu vào đảm bảo chất lượng và khả năng trích xuất khối lượng chính xác (KT2), đồng thời duy trì sự đồng bộ thời gian thực giữa mô hình và kế hoạch (KT3). Nếu thiếu các điều kiện này, mô hình dễ trở nên “tĩnh”, không phản ánh thực tế thi công, làm giảm giá trị ứng dụng. Thực tế cho thấy, một số dự án vẫn triển khai BIM mang tính hình thức do mô hình không được cập nhật đồng bộ, thiếu chuẩn dữ liệu hoặc không đủ năng lực mô phỏng chính xác trình tự thi công (KT4).

Nhóm tổ chức

Nếu kỹ thuật là nền tảng, thì tổ chức đóng vai trò như “hệ điều hành” bảo đảm quá trình triển khai 4D BIM diễn ra bài bản và hiệu quả. Sự cam kết của lãnh đạo dự án (TC1) cùng cơ chế phân công rõ ràng (TC2) là tiền đề cho phối hợp liên ngành. Khi 4D BIM được tích hợp vào hệ thống quản lý hiện hữu (TC3), tổ chức có thể giám sát tiến độ trực quan, ra quyết định dựa trên mô phỏng và chủ động ứng phó với thay đổi. Ngược lại, thiếu chính sách rõ ràng hoặc bộ phận điều phối BIM độc lập sẽ dẫn đến lúng túng trong phối hợp, gây gián đoạn thông tin giữa mô hình và công trường. Năng lực tổ chức ở cấp dự án (TC4) là yếu tố phân biệt giữa triển khai thực chất và hình thức.

Nhóm phần mềm

Phần mềm là công cụ hiện thực hóa toàn bộ ý tưởng quản lý tiến độ bằng 4D BIM. Khả năng kết nối giữa phần mềm lập tiến độ (MS Project) và phần mềm BIM (Navisworks, Synchro) quyết định chất lượng chuỗi dữ liệu từ kế hoạch đến mô phỏng (PM1). Trong điều kiện lý tưởng, phần mềm BIM hỗ trợ phát hiện xung đột, mô phỏng kịch bản thi công, điều chỉnh trình tự công việc và tối ưu nguồn lực - những lợi ích mà phương pháp truyền thống khó đạt được.



Hình 4. Tiến độ của đối tượng được gắn với công việc, hiển thị trong suốt thời gian thực hiện và hoàn thiện khi kết thúc [2]

Tuy nhiên, những thách thức lớn nhất xuất phát từ chi phí bản quyền cao, yêu cầu về hạ tầng phần cứng và sự thiếu hụt nhân sự thành thạo phần mềm (PM2, PM3). Nhiều dự án dù sở hữu phần mềm nhưng không thể khai thác do thiếu người vận hành, khiến BIM chỉ dừng ở mô hình 3D mà chưa phát huy giá trị của quản lý tiến độ (4D). Ngoài ra, sự không tương thích hoàn toàn giữa các phần mềm cũng gây khó khăn cho việc chia sẻ và đồng bộ dữ liệu giữa các hệ thống.

Nhóm giao tiếp

Hiệu quả triển khai 4D BIM phụ thuộc lớn vào cơ chế giao tiếp rõ ràng giữa các bên dự án. Nhóm yếu tố này bao gồm việc truyền đạt mô hình (GT1), phối hợp đa ngành (GT2) và cập nhật thông tin xuyên suốt quá trình thi công (GT3), nhằm đảm bảo tất cả các bên cùng làm việc trên một “phiên bản kế hoạch duy nhất” được trình bày trực quan và cập nhật theo thời gian thực.

4D BIM giúp truyền đạt thông tin trực quan, dễ hiểu hơn thông qua mô hình động, đặc biệt hữu ích với đội ngũ công trường vốn ít quen thuộc với bản vẽ 2D hoặc sơ đồ Gantt. Tuy nhiên, thực tiễn cho thấy nhiều công trường vẫn thiếu thiết bị trình chiếu mô hình hoặc chưa được đào tạo kỹ năng đọc hiểu 4D, dẫn đến phản hồi từ hiện trường chậm trễ, thông tin phân mảnh và giảm hiệu quả kiểm soát tiến độ tổng thể.

5. THẢO LUẬN

Nghiên cứu khẳng định hiệu quả triển khai 4D BIM trong quản lý tiến độ thi công xây dựng chịu sự chi phối đồng thời của bốn nhóm yếu tố: (i) kỹ thuật, (ii) tổ chức, (iii) phần mềm, và (iv) giao tiếp. Điểm RII trung bình của cả bốn nhóm đều > 0,74, cho thấy chúng không chỉ tác động đơn lẻ mà còn tương tác phức hợp, phản ánh đúng đặc điểm của một hệ thống quản lý dự án tích hợp (Integrated Project Delivery - IPD), nơi con người, quy trình và công nghệ cùng định hình hiệu quả cuối cùng.

Mặc dù tiềm năng của 4D BIM trong tối ưu hóa lập kế hoạch và điều phối thi công đã được minh chứng ở nhiều quốc gia, tại Việt Nam hiệu quả áp dụng vẫn phụ thuộc đáng kể vào mức độ sẵn sàng về tổ chức, năng lực nhân sự và tính trưởng thành của hệ thống dữ liệu. Điều này cho thấy cần tiếp cận 4D BIM không chỉ như một giải pháp phần mềm, mà như một hệ sinh thái quản lý tiến độ số.

Chuẩn hóa và tái cấu trúc mô hình dữ liệu

Về bản chất, 4D BIM là sự liên kết giữa mô hình hình học và dữ liệu tiến độ, vì vậy chất lượng và cấu trúc dữ liệu 3D quyết định trực tiếp độ tin cậy của mô phỏng 4D. Tình trạng thiếu chuẩn hóa LOD (Level of Development) là nguyên nhân chính dẫn đến lệch pha giữa mô hình và lịch thi công.

Theo khuyến nghị, việc thiết lập bộ tiêu chuẩn LOD nội bộ gắn với từng giai đoạn dự án (thiết kế sơ bộ, thiết kế kỹ thuật, lập biện pháp thi công, triển khai thi công) sẽ tạo ra “ngôn ngữ dữ liệu chung” giữa các bên [10; 16]. Điều này giúp:

- Đảm bảo khả năng trích xuất khối lượng chính xác (phục vụ dự toán và kiểm soát nguồn lực).
- Đồng bộ tiến độ - mô hình trong thời gian thực, giảm rủi ro dữ liệu “tĩnh”.
- Tạo điều kiện tích hợp liền mạch với các phần mềm lập kế hoạch (MS Project, Primavera).

Khi dữ liệu chuẩn hóa, mô phỏng 4D không chỉ là hình ảnh trình chiếu mà trở thành công cụ dự báo tiến độ, hỗ trợ phân tích kịch bản, kiểm tra xung đột thi công và ra quyết định điều hành.

Thiết lập cơ chế phối hợp liên ngành minh bạch

Nhóm yếu tố tổ chức và giao tiếp cho thấy hạn chế lớn nhất tại Việt Nam là chưa hình thành được quy trình phối hợp đa bộ môn trong môi trường dữ liệu chung (Common Data Environment - CDE).

4D BIM đòi hỏi dòng chảy dữ liệu hai chiều giữa công trường và nhóm thiết kế: mọi thay đổi ở hiện trường phải được cập nhật lên mô hình, và mọi điều chỉnh trên mô hình phải được truyền đạt xuống công trường kịp thời.

Các nguyên tắc then chốt gồm:

- Tích hợp BIM vào hệ thống quản lý dự án hiện hành thay vì vận hành tách rời.

- Định nghĩa rõ vai trò BIM Manager và BIM Coordinator - họ không chỉ dựng mô hình mà còn quản lý logic trình tự thi công, điều phối thông tin và đảm bảo tính nhất quán dữ liệu.

- Thiết lập Quy trình phối hợp liên ngành (Interdisciplinary Coordination Protocol) có ràng buộc trách nhiệm, bao gồm lịch cập nhật mô hình, chuẩn kiểm tra xung đột, và cơ chế xử lý thay đổi tiến độ.

Nghiên cứu cũng ghi nhận rằng dự án áp dụng 4D BIM thành công thường là những dự án mà BIM coordinator tham gia ngay từ giai đoạn tiền thi công (pre-construction), giúp mô hình hóa các kịch bản và “khóa” các mốc tiến độ quan trọng trước khi triển khai.

Nâng cao năng lực nhân sự và đào tạo chuyên sâu

Một trong những “điểm nghẽn” lớn nhất là năng lực vận hành phần mềm 4D BIM. Mô hình 3D chất lượng cao vẫn chỉ là “khối tĩnh” nếu kỹ sư không biết:

- Liên kết dữ liệu tiến độ vào mô hình;
- Mô phỏng trình tự thi công theo thời gian;
- Phân tích và xử lý xung đột;
- Xuất báo cáo và video hỗ trợ điều hành công trường.

Đào tạo hiện nay ở Việt Nam chủ yếu dừng ở kỹ thuật dựng hình 3D, thiếu đào tạo thực hành tích hợp và mô phỏng 4D. Cần thiết lập các chương trình đào tạo chuẩn hóa với lộ trình rõ ràng, bao gồm:

1. Liên kết tiến độ (MS Project/Primavera) với mô hình BIM (Revit/IFC).
2. Mô phỏng và tối ưu trình tự thi công.
3. Phân tích rủi ro tiến độ trên môi trường 4D.
4. Sử dụng các công cụ chuyên sâu như Navisworks Timeliner, Synchro Pro, Fuzor.

Khi năng lực vận hành tăng, doanh nghiệp sẽ giảm phụ thuộc vào tư vấn nước ngoài, nâng cao tính chủ động và kiểm soát nội bộ.

Lựa chọn công cụ và đồng bộ hóa hệ thống phần mềm

4D BIM không chỉ đòi hỏi một phần mềm đơn lẻ mà là chuỗi công cụ được kết nối theo quy trình dữ liệu thống nhất. Thực tế ở Việt Nam cho thấy nhiều đơn vị triển khai rời rạc: Revit cho mô hình, MS Project cho tiến độ, Navisworks cho mô phỏng - nhưng không có quy trình chuyển đổi dữ liệu đồng bộ.

Giải pháp đề xuất:

- Đánh giá và lựa chọn công cụ phù hợp với quy mô, tính chất dự án.

- Xây dựng workflow chuẩn kết nối mô hình (Revit/IFC) - tiến độ (MS Project/Primavera) - mô phỏng (Synchro/Navisworks).

- Ứng dụng công cụ hỗ trợ tự động hóa dữ liệu (BCF, API, Dynamo) để giảm nhập liệu thủ công và hạn chế sai sót.

Đồng bộ phần mềm sẽ biến 4D BIM thành hệ thống phản hồi liên tục (feedback loop) giữa kế hoạch và hiện trường, thay vì một bản trình chiếu tĩnh chỉ để minh họa.

Phân tích trên cho thấy 4D BIM là hạ tầng số cốt lõi của quản lý tiến độ thi công hiện đại. Tuy nhiên, việc nhân rộng ứng dụng tại Việt Nam sẽ không thành công nếu chỉ dừng ở mức “thí điểm công nghệ”. Cần một chiến lược triển khai tổng thể kết hợp ba trụ cột:

- Thể chế - Hoàn thiện tiêu chuẩn, quy định và hướng dẫn kỹ thuật.
- Nhân lực - Đào tạo chuyên sâu, xây dựng đội ngũ BIM nội bộ.
- Công nghệ - Đồng bộ dữ liệu, tích hợp phần mềm và áp dụng quy trình phối hợp liên ngành.

Nếu được triển khai một cách đồng bộ, 4D BIM không chỉ hỗ trợ kiểm soát tiến độ và tối ưu hóa phối hợp thi công, mà còn có thể trở thành nền tảng chuyển đổi số, góp phần nâng cao năng suất và chất lượng của ngành Xây dựng trong thập kỷ tới.

6. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Nghiên cứu xác định bốn nhóm yếu tố chính ảnh hưởng đến hiệu quả triển khai 4D BIM trong quản lý tiến độ thi công xây dựng tại Việt Nam: kỹ thuật, tổ chức, phần mềm và giao tiếp. Khảo sát chuyên gia cho thấy tất cả các nhóm đều có mức “ảnh hưởng mạnh” ($RII > 0,74$), trong đó kỹ thuật và tổ chức đóng vai trò then chốt, phần ảnh hưởng quan trọng của chất lượng mô hình và cơ chế vận hành trong thực tiễn. Các rào cản phổ biến gồm: thiếu dữ liệu chuẩn hóa, mô hình không đồng bộ với tiến độ, và thiếu nhân sự thành thạo các công cụ mô phỏng như Navisworks, Synchro. Điều này hạn chế khả năng tận dụng 4D BIM để trực quan hóa trình tự thi công, nâng cao phối hợp liên ngành và hỗ trợ ra quyết định theo thời gian thực. Để khắc phục, nghiên cứu khuyến nghị: (i) chuẩn hóa và tái cấu trúc dữ liệu mô hình, đặc biệt về LOD; (ii) thiết lập quy trình phối hợp liên ngành rõ ràng, tích hợp BIM vào hệ thống quản lý dự án; (iii) đào tạo chuyên sâu kỹ năng vận hành 4D BIM; và (iv) lựa chọn, đồng bộ công cụ phần mềm với quy trình dữ liệu thống nhất. Về dài hạn, nhân rộng 4D BIM đòi hỏi chiến lược dựa trên ba trụ cột: thể chế, nhân lực và công nghệ. Nghiên cứu tương lai nên tập trung xây dựng khung năng lực cho các vị trí chuyên biệt, phát triển mô hình đánh giá mức độ trưởng thành 4D BIM và phân tích chi phí - lợi ích ở từng giai đoạn thi công, nhằm tạo cơ sở khoa học cho quyết định đầu tư và thúc đẩy chuyển đổi số ngành Xây dựng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Ahmadi, P.F., and Arashpour, M. 2020. An analysis of 4D-BIM construction planning: Advantages, risks and challenges, Proceedings of the 37th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC), pp. 712-719.
- [2]. Autodesk, 2025, <https://www.autodesk.com/autodesk-university/article/Practical-4D-Construction-Simulation-Using-Revit-and-Navisworks>
- [3]. Awe, M., Malhi, A., Budka, M., Mavengere, N., and Dave, B. 2025. Towards 4D BIM: A systematic literature review on challenges, strategies and tools in leveraging AI with BIM, Buildings, vol. 15, no. 7, pp. 1072-1095.
- [4]. Bộ Khoa học và Công nghệ. 2024. TCVN 14176-2:2024 - Công trình xây dựng - tổ chức thông tin về công trình xây dựng, phần 2: Khung phân loại.
- [5]. Bộ Khoa học và Công nghệ. 2024. 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) - Quản lý thông tin sử dụng mô hình hóa thông tin công trình, phần 1: Khái niệm và nguyên tắc.
- [6]. Bộ Khoa học và Công nghệ. 2024. TCVN 14177 2:2024 - Tổ chức và số hóa thông tin về công trình xây dựng, bao gồm mô hình hóa thông tin công trình (BIM) - Quản lý thông tin sử dụng mô hình hóa thông tin công trình, phần 2: Giai đoạn chuyển giao tài sản.
- [7]. Bộ Xây dựng. 2024. Thông tư số 10/2021/TT BXD: Hướng dẫn áp dụng Mô hình Thông tin Công trình (BIM) trong hoạt động xây dựng và quản lý vận hành công trình xây dựng.
- [8]. Chính phủ. 2024. Nghị định số 175/2024/NĐ-CP Quy định chi tiết một số điều và biện pháp thi hành Luật Xây dựng về quản lý hoạt động xây dựng.
- [9]. Crowther, J., and Ajayi, S. O. 2019. Impacts of 4D BIM on construction project performance,” International Journal of Construction Management, vol. 21, no. 6, pp. 567-578.
- [10]. Doukari, O., Seck, B., and Greenwood, D. 2022. The creation of construction schedules in 4D BIM: A comparison of conventional and automated approaches,” Buildings, vol. 12, no. 8, pp. 1145-1160.
- [11]. Feng, C., Lu, W., and Wu, Z. 2020. Integrating BIM and construction process reengineering to improve project delivery performance. Automation in Construction, vol. 109, pp. 102972.
- [12]. Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. 2009. Multivariate Data

Analysis (6th ed.). Pearson Prentice Hall.

- [13]. Hartmann, T., Gao, J., and Fischer, M. 2008. Areas of application for 3D and 4D models on construction projects,” Journal of Construction Engineering and Management, vol. 134, no. 10, pp. 776-785.
- [14]. Holt, G. D. 1998. Which contractor selection methodology? International Journal of Project Management, 16(3), 153-164
- [15]. Lee, C., and Park, M. 2021. 4D BIM simulation guideline for construction visualization and management of renovation projects, Frontiers in Built Environment, vol. 7, article 617031.
- [16]. Lu, Q., Xie, X., and Webster, C. 2020. Examining the adoption of 4D BIM for construction planning and scheduling in Mainland China,” Engineering, Construction and Architectural Management, vol. 27, no. 4, pp. 1017-1035.
- [17]. Medium. 2025. <https://medium.com/@matt-sharon/understanding-4d-bim-scheduling-e630adad0eb>
- [18]. Tuan Anh Nguyen, Tu Anh Nguyen, The Van Tran. 2024. Building Information Modeling for Construction Project Schedule Management: A Review. Engineering, Technology & Applied Science Research, 14(3), 3490-3495.
- [19]. Van Tam, N., Diep, T. N., Quoc Toan, N. and Le Dinh Quy, N. 2021. Factors affecting adoption of building information modeling in construction projects: A case of Vietnam. Cogent Business & Management, Vol. 8, Issue 1, 1918848. DOI:10.1080/23311975.2021.1918848

Nghiên cứu ứng dụng giải pháp túi D-Box trong xử lý nền đất yếu tại tỉnh Đồng Tháp

Research on the application of D-Box bags for soft soil improvement in Dong Thap province

> TS LÊ BẢO QUỐC

Khoa Công nghệ và Kỹ thuật, Trường Đại học Đồng Tháp

Email: lbquoc@dthu.edu.vn

TÓM TẮT

Nền đất yếu là một trong những thách thức kỹ thuật và kinh tế lớn nhất đối với ngành xây dựng tại khu vực Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL), đặc biệt là tỉnh Đồng Tháp có điều kiện địa chất phức tạp. Bài báo trình bày ứng dụng giải pháp gia cố nền đất yếu bằng công nghệ túi D-Box cho các công trình dân dụng có tải trọng vừa và nhỏ. Nghiên cứu sử dụng phương pháp tiếp cận kép: (1) Phương pháp giải tích theo tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN 9362:2012) để tính toán sức chịu tải và độ lún của nền; và (2) Mô phỏng số bằng phần mềm phần tử hữu hạn Plaxis 3D để phân tích ứng xử của hệ nền-móng-công trình một cách trực quan. Kết quả cho thấy, khi gia cố bằng túi D-Box, sức chịu tải tính toán của nền đất tăng đáng kể 65%, đồng thời giảm độ lún, đảm bảo đáp ứng hoàn toàn yêu cầu kỹ thuật cho công trình. Sự tương đồng giữa kết quả tính toán giải tích và mô phỏng số, sai số dưới 10% đã khẳng định độ tin cậy của mô hình nghiên cứu. Nghiên cứu ứng dụng túi D-Box là một giải pháp hiệu quả về mặt kỹ thuật, tối ưu về kinh tế, thân thiện với môi trường và đặc biệt phù hợp với điều kiện thi công tại địa phương.

Từ khóa: Đất yếu, gia cố nền, túi D-Box, sức chịu tải, Plaxis 3D.

ABSTRACT

Soft soil represents one of the most significant technical and economic challenges for the construction industry in the Mekong Delta region, particularly in Dong Thap Province, where geological conditions are highly complex. The article presents the application of the D-Box bag technology as a ground improvement solution for medium - and light - load civil structures. A dual methodological approach was adopted: (1) analytical calculations following the Vietnamese standard TCVN 9362:2012 to evaluate the bearing capacity and settlement of the foundation; and (2) numerical simulations using the finite element software Plaxis 3D to provide an intuitive analysis of soil-foundation-structure interactions. The results indicate that D-Box reinforcement significantly enhances the calculated bearing capacity of the soil by approximately 65% while effectively reducing settlement, thereby fully satisfying structural performance requirements. The close agreement between analytical calculations and numerical simulations, with a discrepancy of less than 10%, confirms the reliability of the proposed model. The application of the D-Box system is demonstrated to be not only technically effective but also economically efficient, environmentally sustainable, and particularly well-suited to local construction conditions.

Keywords: Soft soil, ground improvement, D-Box, bearing capacity, Plaxis 3D.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tỉnh Đồng Tháp có vị trí địa lý trung tâm vùng ĐBSCL, có mạng lưới sông ngòi, kênh rạch chằng chịt, là kết quả của quá trình bồi tụ trầm tích hàng ngàn năm. Hệ quả là cấu trúc địa chất khu vực rất phức tạp, chủ yếu là các lớp đất trầm tích trẻ thuộc tầng Holocen, bao gồm bùn sét, sét pha hữu cơ với các chỉ tiêu cơ lý rất thấp. Bề dày tầng đất yếu có thể lên tới hàng chục mét, gây ra những thách thức nghiêm trọng cho việc xây dựng cơ sở hạ tầng. Các công trình xây dựng trên nền đất tự nhiên thường phải đối mặt với nguy cơ lún không đều, sụt lún quá giới hạn, thậm chí là mất ổn định, gây hư hỏng và làm giảm tuổi thọ công trình. Các giải pháp xử lý nền móng truyền thống như sử dụng cọc bê tông, cọc bê tông cốt thép, hay thay thế đất yếu thường gặp nhiều rào cản. Cừ tràm phụ thuộc vào mực nước ngầm và có tuổi thọ không cao. Cọc bê tông cốt thép có chi phí lớn, đòi hỏi thiết bị thi công hiện đại, khó phù hợp với các công trình

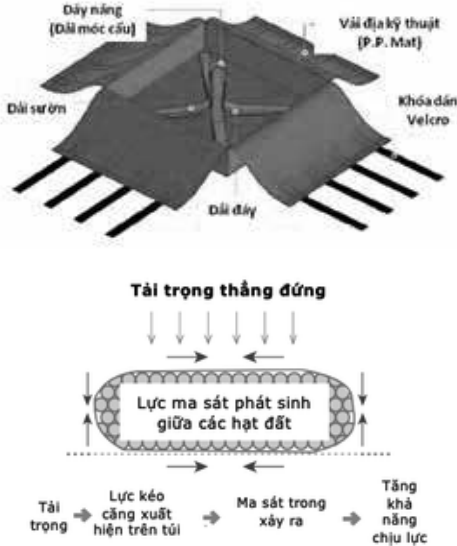
quy mô nhỏ, vùng sâu, vùng xa. Giải pháp thay thế đất đòi hỏi nguồn vật liệu san lấp lớn, trong bối cảnh cát đang ngày càng khan hiếm và giá thành cao. Thêm vào đó, tác động của biến đổi khí hậu, nước biển dâng càng làm gia tăng tính cấp thiết của việc tìm kiếm các giải pháp xử lý nền móng bền vững, hiệu quả và phù hợp với điều kiện địa phương.

Công nghệ gia cố nền bằng túi D-Box, sử dụng túi địa kỹ thuật chứa vật liệu tại chỗ (cát, đất yếu trộn vôi/xi măng), là một giải pháp tiềm năng. Với ưu điểm tận dụng vật liệu địa phương, giảm chi phí vận chuyển, thi công đơn giản bằng nhân công phổ thông, và thân thiện với môi trường, công nghệ này hứa hẹn mang lại hiệu quả cao. Việc ứng dụng công nghệ túi D-Box tại ĐBSCL vẫn còn mới mẻ, ít các nghiên cứu định lượng chi tiết. Bài báo trình bày ứng dụng giải pháp túi D-Box trong xử lý nền đất yếu cho các công trình tải trọng vừa và nhỏ tại tỉnh Đồng Tháp đánh giá một cách khoa học và toàn diện

hiệu quả của giải pháp, và cung cấp cơ sở khoa học tin cậy tham chiếu cho việc ứng dụng rộng rãi trong thực tế.

2. TỔNG QUAN CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Công nghệ gia cố nền bằng túi D-Box là một dạng của vật liệu địa kỹ thuật (geosynthetics), được chế tạo từ vải địa kỹ thuật không dệt hoặc có dệt, có cường độ chịu kéo cao và độ bền môi trường tốt. Vật liệu chứa bên trong túi có thể là cát, đất tại chỗ, hoặc đất yếu được cải thiện bằng các chất liên kết như xi măng, vôi. Cơ chế gia cường: hiệu ứng bó chặt, vỏ túi D-Box tạo ra một áp lực hông, giữ chặt các hạt vật liệu bên trong, làm tăng đáng kể ma sát giữa chúng. Điều này biến khối vật liệu rời rạc thành một khối bán cứng, có khả năng chịu lực tốt hơn. Phân tán ứng suất, các lớp túi D-Box hoạt động như một tấm đệm, giúp phân tán ứng suất từ móng công trình ra một diện tích rộng hơn trên nền đất yếu bên dưới, làm giảm áp lực tập trung và hạn chế lún. Và tăng cường sức kháng cắt, lớp túi D-Box tạo ra một mặt phân cách có sức kháng cắt cao, ngăn cản sự trượt phá của nền đất.

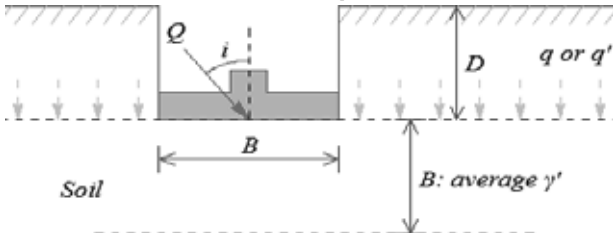


Hình 1. Sơ đồ mô tả cấu tạo túi D-Box và cơ chế gia cường nền đất [5]

2.1. Lý thuyết sức chịu tải của Terzaghi

Sức chịu tải của nền đất được Terzaghi cùng các cộng sự, (1996) xác định theo công thức.

$$q_{ult} = c \cdot N_c + q \cdot N_q + B \cdot \gamma \cdot N_\gamma \quad (1)$$



Hình 2. Sơ đồ tính toán bằng phương trình sức chịu tải tổng quát

Sức chịu tải xác định theo ứng suất tổng

$$q_{ult} = cN_{cs}F_{cd}F_{ci} + qN_{qs}F_{qd}F_{qi} + 0,5B\gamma N_{\gamma s}F_{\gamma s}F_{\gamma d}F_{\gamma i} \quad (2)$$

Sức chịu tải xác định theo ứng suất hữu hiệu

$$q_{ult} = c'N_{cs}F_{cd}F_{ci} + q'N_{qs}F_{qd}F_{qi} + 0,5B\gamma'N_{\gamma s}F_{\gamma s}F_{\gamma d}F_{\gamma i} \quad (3)$$

2.2. Sức chịu tải của đất nền tự nhiên theo TCVN 9362:2012

Sức chịu của đất nền được xác định.

$$R = \frac{m_1 m_2}{k_{ic}} (A \cdot b \cdot \gamma_{II} + B(D \cdot f + h_d) \gamma'_{II} + D \cdot c_{II}) \quad (4)$$

Tính toán dự đoán lún:

$$\sum S_i = S_{i1} + S_{i2}$$

$$\text{trong đó: } S_i = \frac{e_{1i} - e_{2i}}{1 + e_{2i}} \cdot h_i$$

3. ĐÁNH GIÁ GIẢI PHÁP D-BOX

3.1. Đối tượng và thông số đầu vào

Đối tượng: Nền đất yếu tại khu vực phường Cao Lãnh, tỉnh Đồng Tháp, với công trình điển hình: Móng đơn BTCT kích thước 1,2m x 1,2m, chịu tải trọng tính toán tại chân cột là $P=227,85$ kN, tương đương công trình có quy mô từ 2 tầng.

Phạm vi: Nghiên cứu hiệu quả của việc gia cố bằng 1, 2, 3 và 4 lớp túi D-Box so với nền tự nhiên được tiến hành theo một quy trình chặt chẽ, kết hợp giữa lý thuyết, mô phỏng tính toán giải tích, kết hợp phương pháp số thông qua phần mềm thương mại Plaxis.

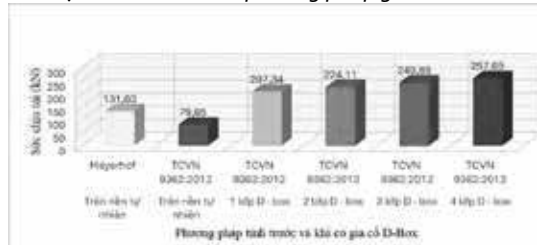
Số liệu khảo sát địa chất và thí nghiệm trong phòng, tại khu vực Hòa An phường Cao Lãnh, tỉnh Đồng Tháp (Hình 3).

Độ sâu (m)	Số tầng	Mô tả (DESCRIPTION OF SOIL)	Số liệu thí nghiệm		Số liệu SPT (CHART SPT)	Số liệu SPT (CHART SPT)
			Chỉ số nén	Chỉ số cắt		
0,00 - 0,50	1,0	Sét, màu nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
0,50 - 1,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
1,00 - 1,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
1,50 - 2,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
2,00 - 2,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
2,50 - 3,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
3,00 - 3,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
3,50 - 4,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
4,00 - 4,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
4,50 - 5,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
5,00 - 5,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
5,50 - 6,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
6,00 - 6,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
6,50 - 7,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
7,00 - 7,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
7,50 - 8,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
8,00 - 8,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
8,50 - 9,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
9,00 - 9,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
9,50 - 10,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
10,00 - 10,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
10,50 - 11,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
11,00 - 11,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
11,50 - 12,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
12,00 - 12,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
12,50 - 13,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
13,00 - 13,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
13,50 - 14,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
14,00 - 14,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
14,50 - 15,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
15,00 - 15,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
15,50 - 16,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
16,00 - 16,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
16,50 - 17,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
17,00 - 17,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
17,50 - 18,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
18,00 - 18,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
18,50 - 19,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
19,00 - 19,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
19,50 - 20,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
20,00 - 20,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
20,50 - 21,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
21,00 - 21,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
21,50 - 22,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
22,00 - 22,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
22,50 - 23,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
23,00 - 23,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
23,50 - 24,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
24,00 - 24,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
24,50 - 25,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
25,00 - 25,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
25,50 - 26,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
26,00 - 26,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
26,50 - 27,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
27,00 - 27,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
27,50 - 28,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
28,00 - 28,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
28,50 - 29,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
29,00 - 29,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
29,50 - 30,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
30,00 - 30,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
30,50 - 31,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
31,00 - 31,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
31,50 - 32,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
32,00 - 32,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
32,50 - 33,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
33,00 - 33,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
33,50 - 34,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
34,00 - 34,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
34,50 - 35,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
35,00 - 35,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
35,50 - 36,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
36,00 - 36,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
36,50 - 37,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
37,00 - 37,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
37,50 - 38,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
38,00 - 38,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
38,50 - 39,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
39,00 - 39,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
39,50 - 40,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
40,00 - 40,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
40,50 - 41,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
41,00 - 41,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
41,50 - 42,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
42,00 - 42,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
42,50 - 43,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
43,00 - 43,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
43,50 - 44,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
44,00 - 44,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
44,50 - 45,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
45,00 - 45,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
45,50 - 46,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
46,00 - 46,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
46,50 - 47,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
47,00 - 47,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
47,50 - 48,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
48,00 - 48,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
48,50 - 49,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
49,00 - 49,50	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10
49,50 - 50,00	1,0	Sét pha, sét nâu sẫm, dẻo mềm	0,1	1,2	10	10

Hình 3. Hình trụ hồ khoan

3.2. Kết quả

a. Sức chịu tải nền đất theo phương pháp giải tích



Hình 4. Giá trị sức chịu tải của đất nền tự nhiên và sau khi được gia cố bằng giải pháp D-Box
Nhận xét: Việc áp dụng giải pháp gia cố nền bằng D-Box đã cho thấy hiệu quả rõ rệt. Kết quả được trình bày trong Hình 4 cho thấy giá trị sức chịu tải tăng dần theo số lớp D-Box, lần lượt đạt 62%, 64%,

67% và 69%. Điều này thể hiện tính hiệu quả cao của phương pháp gia cố bằng D-Box trong cải thiện khả năng chịu lực của nền đất yếu. Kết quả này không chỉ đáp ứng yêu cầu kỹ thuật mà còn cho thấy tiềm năng ứng dụng thực tiễn của giải pháp gia cố D-Box trong điều kiện địa chất yếu như tại khu vực ĐBSCL.

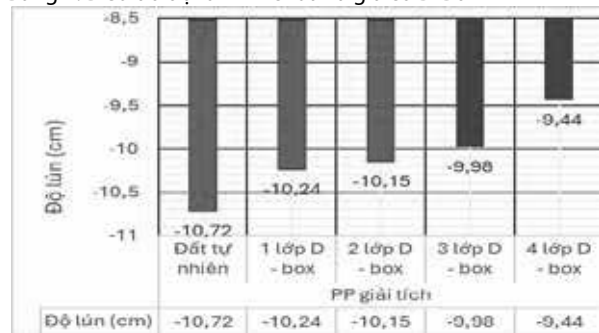
b. Độ lún theo phương pháp giải tích

Kết quả tính toán dự đoán độ lún tương ứng với từng trường hợp khảo sát được trình bày trong Bảng 1. Các giá trị này phản ánh sự thay đổi ứng xử biến dạng của nền đất trong điều kiện tự nhiên cũng như khi áp dụng giải pháp gia cố nền đất theo giải pháp D-Box.

Bảng 1. Bảng giá trị độ lún khi chưa và được gia cố D-Box

Phương pháp	Trường hợp	Độ lún (cm)	Tỷ trọng giảm lún (%)
PP giải tích	Đất tự nhiên	-10,72	-
	1 lớp D - box	-10,24	4%
	2 lớp D - box	-10,15	5%
	3 lớp D - box	-9,98	7%
	4 lớp D - box	-9,44	12%

Bảng 2. Biểu đồ độ lún khi chưa và gia cố D-Box

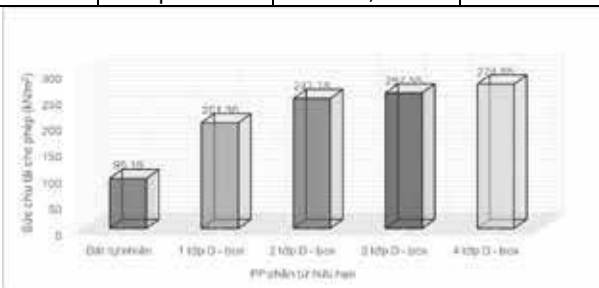


c. Sức chịu tải đất nền theo phương pháp phần tử hữu hạn

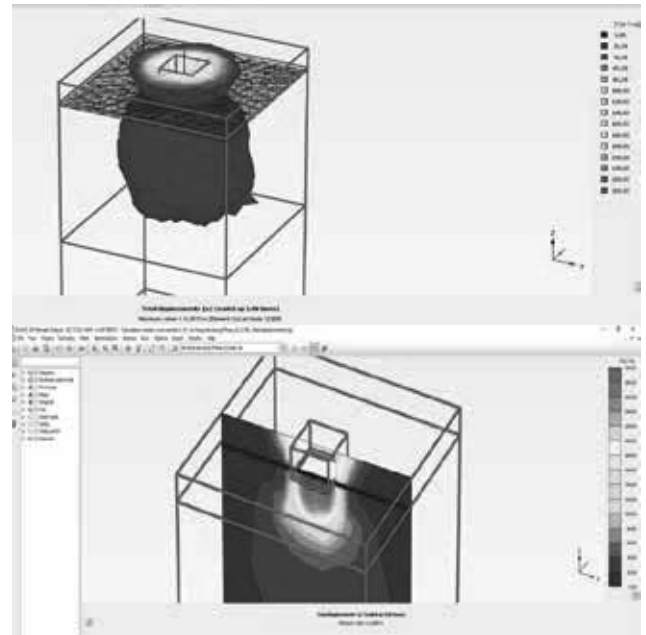
Việc lựa chọn số lớp gia cố được khảo sát thông qua phân bố ứng suất trong nền đất dưới cùng điều kiện biên, nhằm đánh giá mức độ cải thiện độ cứng và khả năng kháng biến dạng của hệ nền khi tăng số lớp túi D-Box. Quá trình này được thực hiện bằng mô hình hóa số và phân tích so sánh kết quả giữa các phương án gia cố từ 1 đến 4 lớp. Bài báo làm rõ mối tương quan giữa số lớp gia cố và sự cải thiện trạng thái ứng suất - biến dạng của nền đất. Trên cơ sở đó, phương án cấu hình lớp D-Box tối ưu được đề xuất, nhằm đảm bảo đồng thời hiệu quả kỹ thuật và tính kinh tế trong xử lý nền yếu. Kết quả tổng hợp các trường hợp mô phỏng được trình bày tại Bảng 3.

Bảng 3. Sức chịu tải khi đất nền khi chưa và được gia cố túi D-Box

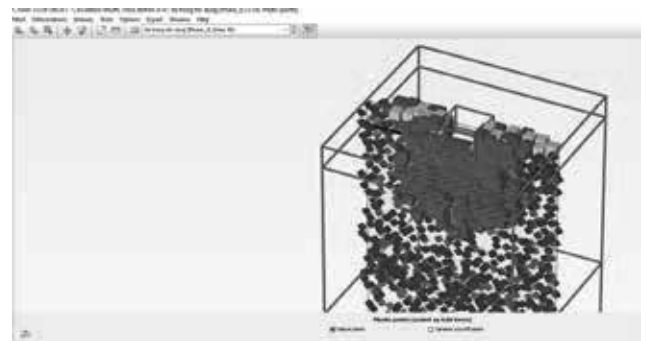
Phương pháp	Trường hợp	Sức chịu tải (kN/m ²)	Tỷ trọng gia tăng (%)
PP phần tử hữu hạn	Đất tự nhiên	95,19	-
	1 lớp D - box	201,36	53%
	2 lớp D - box	247,18	61%
	3 lớp D - box	257,55	63%
	4 lớp D - box	274,85	65%



Hình 5. Biểu đồ sức chịu tải đất nền khi chưa và gia cố D-Box



Hình 6. Tổng chuyển vị và mặt cắt ngang biến dạng nền đất dưới đáy móng



Hình 7. Mặt cắt ngang điểm phá hỏng và đàn hồi của đất nền



Hình 8. Biểu đồ gia tăng sức chịu tải của đất nền được gia cố D-Box

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

4.1. Kết luận

Qua phân tích kết quả mô phỏng số hoàn toàn phù hợp với tính toán giải tích. Mô hình Plaxis 3D cung cấp một cái nhìn trực quan hơn về sự làm việc của hệ kết cấu như: Phân bố ứng suất hình ảnh từ Plaxis 3D (Hình 5) cho thấy các lớp D-Box đã "trải đều" ứng suất từ đáy móng ra một vùng rộng lớn hơn, làm giảm áp lực tác dụng trực tiếp lên lớp đất yếu bên dưới. Vùng tập trung ứng suất cao được đẩy sâu xuống, tránh gây phá hoại trượt cục bộ.

So sánh kết quả, giữa phương pháp số có sai số khoảng 10% so với phương pháp giải tích. Đây là một sai số chấp nhận được trong địa kỹ thuật, khẳng định độ tin cậy của cả hai phương pháp, sự phù hợp giữa kết quả tính toán giải tích theo TCVN 9362:2012 với mô phỏng phần tử hữu hạn và tính đúng đắn của các kết quả nghiên cứu.

Bài báo trình bày kết hợp giữa tính toán lý thuyết và mô phỏng số, cho thấy tính hiệu quả của giải pháp Công nghệ gia cố nền đất yếu bằng túi D-Box là một giải pháp kỹ thuật hiệu quả, giúp cải thiện đáng kể các đặc trưng cơ học của nền đất tại khu vực tỉnh Đồng Tháp. Sức chịu tải của nền tăng lên đến 65% và độ lún giảm xuống mức cho phép khi sử dụng 4 lớp gia cố.

Tiềm năng ứng dụng rộng rãi giải pháp D-Box đối với các công trình dân dụng có tải trọng vừa và nhỏ mang lại hiệu quả về mặt kỹ thuật, ưu điểm tính kinh tế (tận dụng vật liệu tại chỗ), thi công (đơn giản) và môi trường (giảm khai thác vật liệu tự nhiên, giảm phát thải CO₂). Do đó, công nghệ này có tiềm năng ứng dụng rất lớn tại các tỉnh vùng ĐBSCL.

4.2. Kiến nghị

Nghiên cứu thực nghiệm quy mô lớn; Tối ưu hóa vật liệu lấp đầy; Phân tích ảnh hưởng dài hạn, ứng xử dài hạn của nền gia cố dưới tác động của các yếu tố như sự thay đổi mực nước ngầm, hiện tượng cố kết từ biến của đất nền, để đánh giá độ bền và tuổi thọ của giải pháp.

Lời cảm ơn: Tác giả xin chân thành cảm ơn Ban Giám hiệu Trường Đại học Đồng Tháp, lãnh đạo Khoa Công nghệ và Kỹ thuật đã tạo điều kiện thuận lợi để hoàn thành bài báo này. Nghiên cứu này được hỗ trợ bởi đề tài mã số SPD2024.01.34.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Ahmad J. B., Yasmin Ashaari (2010). The modelling of lateral movement of soft soil using finite element analysis and laboratory model, UiTM, Shah Alma.
- [2]. Braja M Das (2002). Geotechnical Engineering Handbook, Volumes 1 - 3-John Wiley & Sons.
- [3]. D. Milovic (1992). Stresses and Displacements for Shallow foundations, University of Novi Sad, Serbia, Yugoslavia, ISBN 0-444-88349-5, Elsevier Science Publishers B.V. All rights reserved.
- [4]. Hansbo, S. (2011). Soil improvement by preloading and vertical drainage, in Geotechnics for Sustainable Development-Geotec Hanoi, P.D. Long, Editor, Construction Publishing House: Hanoi, Vietnam. p. 7-22
- [5]. <https://cgengvn.com/pages/cong-nghe-d-box>.
- [6]. Lê Bảo Quốc (2024), Địa chất công trình, ISBN 978-604-82-7670-6, NXB Xây dựng.
- [7]. Lê Bảo Quốc (2024). Bài giảng Công trình trên nền đất yếu, Trường Đại học Xây dựng Miền Tây.
- [8]. Matsuoka, and S. H. Liu (2006). A New Earth Reinforcement Method Using Soilbags, Taylor & Francis Group, London, UK, 109 pages.
- [9]. Matsuoka, H., & Liu, S. (2003). New earth reinforcement method by soilbags ("Donow"). Soils and Foundations, 43 (6), 173 -188.
- [10]. Muthuy (2007). Advanced foundation Engineering. Geotechnical engineering series), Satish Kumar Jain CBS Publisher, New Delhi.
- [11]. Nguyễn Tương Lai (2006). Tính toán kết cấu tương tác với nền biến dạng, Học viện Kỹ thuật quân sự, Hà Nội.
- [12]. Nguyễn Uyên (2016), Các phương pháp tính lún cho nền đất, NXB Xây dựng.
- [13]. PLAXIS 3D 2024.3 (2025). Tutorial Manual, Bentley, Advancing infrastructure April 03, 2025.
- [14]. S. F. Tanton (2018), Numerical Simulation of a Soilbag under Vertical Compression, International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG).
- [15]. S.H. Liu, F. Jia, L.P. Weng, and M.C. Shen (2018), Strength characteristics of soilbags under inclined loads, Geotext. Geomembr, 46 (1), pp. 1-10.
- [16]. S.H. Liu, J.J. Gao, Y.Q. Wang, and L.P. Weng (2014), Experimental study on vibration reduction by using soilbags, Geotext. Geomembr, 42 (1), pp. 52-62.
- [17]. Suzuki, K. and K. Yasuhara (2004). Two case studies of consolidation settlement analysis using constant rate of strain consolidation test. Soils and Foundations. 44(6): p. 69-81.

[18]. Swami Saran (2018). Shallow foundation and Soil constitutive laws, CRC press by Taylor & Francis group, LLC.

[19]. TCVN-9362-2012 Tiêu chuẩn nền nhà và công trình.

[20]. Võ Phán, Hoàng Thế Thao, Đỗ Thanh Hải, Tô Lê Hương (2019). Các phương pháp khảo sát hiện trường và thí nghiệm đất trong phòng, NXB Đại học Quốc gia TP.HCM.

[21]. W.P. Hornsey, J.T. Carley, I.R. Coghlan, and R.J. Cox (2011), Geotextile sand container shoreline protection systems: design and application, Geotext. Geomembr, 29 (4), pp. 425-439.

[22]. Y. F. Xu, J. Huang, Y.J. Du, and D. A. Sun (2008), Earth reinforcement using soilbags, Geotext. Geomembr, 26 (3), pp.279-289.

[23]. Y.F. Xu, and H. Zhang (2021), Design of soilbag-protected slopes in expansive soils, Geotext. Geomembr, 49 (4), pp. 1036-1045.

[24]. Zienkiewicz O.C. and Taylor R.L. (2000). The finite element method, Vol 2: Soil mechanics, Butterworth - Heineman, A division of Reed education and professional publishing Ltd.

Ứng dụng GIS và ngôn ngữ lập trình VBA xây dựng và khai thác cơ sở dữ liệu giải phóng mặt bằng đường cao tốc TP.HCM - Mộc Bài, đoạn qua xã Thái Mỹ, TP.HCM

Applying GIS and VBA programming language to build and explore the database for the Ho Chi Minh City - Moc Bai expressway clearance, section through Thai My commune, Ho Chi Minh City

> **THS HOÀNG HỮU ĐỨC**

Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP.HCM

Email: hhduc@hcmunre.edu.vn

TÓM TẮT

Dự án cao tốc TP.HCM - Mộc Bài là một trong những dự án hạ tầng giao thông có ảnh hưởng lớn đến phát triển kinh tế của TP.HCM. Trong quá trình thực hiện công tác đền bù giải phóng mặt bằng (GPMB) gặp nhiều khó khăn làm chậm tiến độ dự án, từ đó đặt ra yêu cầu về một phương pháp hiệu quả, tiết kiệm thời gian chi phí nhưng vẫn đảm bảo độ chính xác theo yêu cầu trong việc tính toán giá trị thu hồi đất phục vụ công tác GPMB. Hiện nay, công nghệ GIS đã được ứng dụng rộng rãi vì có thể mạnh về phân tích dữ liệu không gian và phi không gian một cách hiệu quả. Phần mềm ArcGIS cho phép người dùng lập trình công cụ bằng ngôn ngữ lập trình VBA hỗ trợ nhanh chóng trong việc khai thác sử dụng dữ liệu. Vì vậy, tác giả ứng dụng GIS xây dựng cơ sở dữ liệu (CSDL) phục vụ công tác GPMB. Qua nghiên cứu này đã cho thấy tính khả thi, hiệu quả, cung cấp được các thông tin trực quan, nhanh chóng và chính xác đáng tin cậy. Việc tích hợp dữ liệu trong GIS và lập trình công cụ khai thác sử dụng dữ liệu còn phục vụ cho công tác quản lý nhà nước và sử dụng dữ liệu lâu dài. Có thể cung cấp dữ liệu cho các công đoạn khác của dự án hoặc cung cấp cho các đơn vị khác phối hợp khai thác sử dụng CSDL.

Từ khóa: Giải phóng mặt bằng; lập trình VBA; GIS.

ABSTRACT

The Ho Chi Minh City - Moc Bai Expressway Project is a transport infrastructure project that has a great impact on the economic development of Ho Chi Minh City. During the implementation of compensation and site clearance, many difficulties have been encountered, slowing down the project's progress. An effective method is needed to save time and costs while ensuring the required accuracy in calculating land acquisition values for site clearance. Currently, GIS technology has been widely applied because of its strengths in effective spatial and non-spatial data analysis. ArcGIS software allows users to program tools in the VBA programming language to quickly support data exploitation and use. Therefore, the author applied GIS to build a database to serve land clearance. This study has shown the feasibility, efficiency, providing visual, fast, accurate and reliable information. Integrating data in GIS and programming data exploitation tools also serve state management and long-term data use. Data can be provided for other stages of the project or provided to other units to coordinate the exploitation and use of the database.

Keywords: Land acquisition; VBA Programming; GIS.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

TP.HCM là đầu tàu kinh tế của cả nước, việc xây dựng cơ sở hạ tầng để đáp ứng nhu cầu phát triển kinh tế, xã hội rất cao. Tuy nhiên, rất nhiều dự án chậm tiến độ đến nhiều năm do công tác GPMB chậm. Công tác lập bản đồ và tính giá tiền đền bù thường được thực hiện kết hợp từ nhiều phần mềm như AutoCAD, MicroStation, Excel... Các phần mềm này hoạt động độc lập thiếu sự liên kết, dễ xảy ra nhầm lẫn sai sót. Mặt khác, việc lưu trữ và truy xuất dữ liệu phải cần nhiều phần mềm nên mất nhiều thời gian và không hiệu quả. Hơn nữa, các dự án GPMB thường kéo dài trong nhiều năm, hồ sơ bồi thường cần được lưu trữ để sử dụng nhanh chóng thuận lợi nên cần có công cụ khai thác dữ liệu hiệu quả. Hiện nay, công nghệ GIS được ứng dụng rộng rãi vì có thể mạnh về phân tích dữ liệu không gian và phi không gian một cách hiệu quả [1]. GIS có thể đưa ra nhiều giải pháp tự động, bán tự động cho các ứng dụng xử lý dữ liệu tích hợp không gian và phi không gian để giải quyết bài toán kinh tế, xã hội, tài nguyên và môi trường [2, 3]. Phần mềm ArcGIS cho phép người dùng lập trình công cụ bằng ngôn ngữ lập trình VBA hỗ trợ nhanh chóng trong việc khai thác sử dụng dữ liệu [4]. Vì vậy, tác giả ứng dụng GIS xây dựng CSDL phục vụ công tác GPMB. Qua một số các nghiên cứu như Ứng dụng GIS trong công tác tính toán, hiển thị và quản lý dữ liệu giá trị bồi thường GPMB dự án nâng cấp mở rộng đoạn đường DH403 tỉnh Bình Dương (Nguyễn Kim Hoa, Nguyễn Thành Công, Trần Thống Nhất - 2023)"; Lập trình phân tích GIS thời điểm sử dụng đất, nhà ven kênh rạch Phường 9, Quận 8, TP.HCM (Nguyễn Hồng Dương, Huỳnh Hoàng Nhật Vy - 2024) đã cho thấy hiệu quả khi ứng dụng GIS xây dựng được dữ liệu không gian và phi không gian tính toán diện tích từng thửa đất thu hồi, tính tiền đền bù, trực quan hóa dữ liệu nhanh chóng chính xác. Từ đó, ứng dụng xây dựng CSDL GPMB và khai thác dữ liệu thông qua lập trình VBA là hoàn toàn khả thi.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Phương pháp thu thập số liệu

Nghiên cứu tiến hành đo đạc thực địa bằng công nghệ GNSS-CORS kết hợp với máy toàn đạc điện tử đo chi tiết các thửa đất có phần diện tích đất nằm trong dự án theo đúng quy định tại Thông tư 26/2024-TTBTNMT [5] và các quy phạm pháp luật liên quan.

2.2. Phương pháp điều tra khảo sát

Điều tra khảo sát thực địa, thu thập giá đất thị trường, xác định phần trăm khấu hao nhà và tài sản gắn liền với đất. Phối hợp với chính quyền địa phương đặc biệt là địa chính cấp xã. Điều tra khảo sát thực địa khu vực đo đạc trực tiếp. Xác định vị trí các mốc giới đền bù, ranh giới giữa các chủ sử dụng đất.

2.3. Phương pháp xử lý dữ liệu

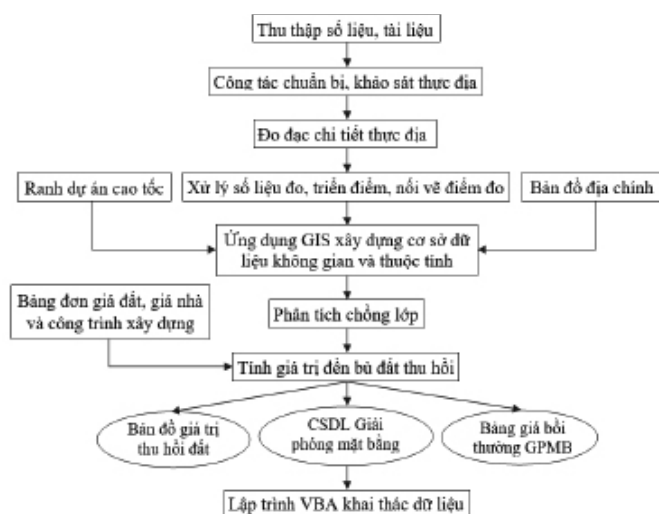
Nghiên cứu sử dụng phần mềm AutoCAD tiến hành nối vẽ lại các thửa đất từ số liệu đo đạc, kiểm tra xử lý các lỗi không khép thửa, lỗi topology, chuyển đổi dữ liệu sang định dạng Shapefile (*.shp).

2.4. Phương pháp GIS

Ứng dụng phần mềm ArcGIS [6] xây dựng CSDL GPMB gồm dữ liệu không gian thửa đất, ranh đền bù, tài sản gắn liền với đất và dữ liệu thuộc tính liên quan. Sử dụng phép phân tích chồng lớp trên GIS để xác định phần đất nằm trong quy hoạch và phần diện tích đất còn lại. Tính toán diện tích đền bù và giá tiền đền bù. Khai thác sử dụng dữ liệu GIS, kết xuất báo cáo, trực quan hóa dữ liệu.

2.5. Phương pháp thực nghiệm

Nghiên cứu tiến hành thực nghiệm tại dự án cao tốc TP.HCM - Mộc Bài, đoạn qua xã Thái Mỹ, TP.HCM.

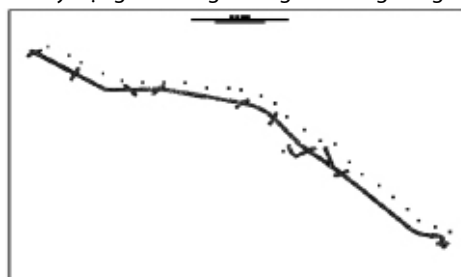


Hình 1. Sơ đồ 1: Quy trình thực nghiệm

3. THỰC NGHIỆM

3.1. Thu thập tài liệu, số liệu

File số liệu đo đạc thực địa, bản đồ địa chính cập nhật chính lý biến động đến năm 2024, thông tin về chủ sử dụng, loại đất, số thửa và diện tích của từng thửa đất xã Thái Mỹ và ranh dự án đường cao tốc TP.HCM - Mộc Bài và các tài liệu pháp lý có liên quan do Chi nhánh Văn phòng Đăng ký Đất đai huyện Củ Chi và Ban Quản lý dự án Đầu tư xây dựng các công trình giao thông cung cấp.



Hình 1. Ranh dự án đường cao tốc TP. HCM - Mộc Bài

3.2. Công tác chuẩn bị, khảo sát thực địa

Chuẩn bị máy đo và tài liệu liên quan để xác định vị trí tọa độ của ranh GPMB ngoài thực địa. Tiến hành khảo sát các thửa đất nằm trong ranh quy hoạch, xác định các mốc giới ngoài thực địa; phối hợp với chính quyền địa phương tuyên truyền thông báo cho người dân chuẩn bị giấy tờ về quyền sử dụng đất, thống nhất ranh đất giữa các chủ sở hữu.

Những khu đất chưa có mốc giới rõ ràng ngoài thực địa để nghị các chủ sử dụng đất thống nhất ranh giới và cung cấp bản sao giấy tờ liên quan đến thửa đất; phối hợp với địa chính xã để xác minh nguồn gốc đất.

Điều tra khảo sát thực địa thu thập giá đất thị trường nhằm xác định giá đền bù cho các hộ gia đình cá nhân, đồng thời khảo sát xác định phần trăm khấu hao nhà và tài sản gắn liền với đất.

3.3. Đo đạc hiện trạng

Sử dụng máy đo RTK kết hợp với máy toàn đạc điện tử đo chi tiết các thửa đất nằm trong dự án theo đúng quy phạm Thông tư 26/2024-TTBTNMT [5].

3.4. Xử lý số liệu đo

Tạo các mảnh trích đo từ số liệu đo đạc thực địa và chỉnh lý trên bản đồ địa chính. Quá trình xử lý số liệu đo được thực hiện trên phần mềm AutoCAD, đảm bảo các thửa đất được nối vẽ hoàn thiện không

bị lỗi chồng đè, không bị hở ranh. Những trường hợp bị lệch ranh so với bản đồ địa chính phối hợp với địa chính xác minh nguồn gốc đất cập nhật biến động ranh thửa theo đúng quy định trước khi tính tiền đền bù cho thửa đất đó.

3.5. Xây dựng CSDL GPMB

Ứng dụng phần mềm ArcGIS chuyển đổi các lớp dữ liệu Địa chính, ranh đến bù GPMB và Tài sản gắn liền với đất sang định dạng Shapefile (*.shp). Khởi tạo CSDL không gian và thuộc tính trên phần mềm ArcCatalog với tên gọi CSDL_GPMB, trên cơ sở đó tạo lập các nhóm dữ liệu: ĐịaChinh, GPMB, GiaoThong, ThuyHe theo hệ tọa độ VN2000 kinh tuyến trực 105°45'. Các lớp ThuaDat, RanhGPMB, TaiSanGanLienVoiDat, GiaoThong, ThuyHe được thêm vào các nhóm dữ liệu tương ứng. Dữ liệu thuộc tính như thông tin về loại đất, số hiệu thửa đất, số tờ bản đồ, tên chủ sử dụng được ghi chú trên Excel, sau đó chuyển vào CSDL bằng chức năng "Join" trên phần mềm ArcGIS.

3.6. Tính diện tích đất thu hồi

Sử dụng phép phân tích chồng lớp "Union" trong GIS [6] để xác định phần đất nằm trong quy hoạch và phần diện tích đất còn lại, từ đó tính ra được diện tích của các thửa đất bị thu hồi. Sau khi có diện tích đất bị thu hồi, việc tính giá trị đền bù đất thu hồi dựa trên Quyết định số 79/2024/QĐ-UBND ngày 21/10/2024 của UBND TP.HCM quy định về bảng giá đất trên địa bàn Thành phố, kết hợp với điều tra khảo sát giá đất thị trường để điều chỉnh hệ số giá.

Theo quy định tại Quyết định số 79/2024/QĐ-UBND [7], giá đất được phân loại theo khu vực và vị trí, việc xác định giá đất để tính tiền bồi thường khi Nhà nước thu hồi đất tương ứng với 3 loại mục đích sử dụng: Đất trồng lúa và trồng cây hàng năm khác, đất trồng cây lâu năm và đất ở. Giá đất được xác định cụ thể như sau:

- Đất nông nghiệp: Xác định các vị trí trong phạm vi từ lề đường vào 200 m (khu vực 1), cách lề đường từ 200 - 400 m (khu vực 2) và cách lề đường lớn hơn 400 m (khu vực 3).

- Đối với đất ở: Những thửa đất tiếp giáp với đường (vị trí 1); những thửa đất chỉ tiếp giáp với đường (hẻm) >5 m (vị trí 2); những thửa đất chỉ tiếp giáp với đường (hẻm) từ 3 - 5 m (vị trí 3); những thửa đất còn lại thuộc vị trí 4.

Giá đất tại vị trí 1: Theo giá đất thị trường; giá đất tại vị trí 2: 0,5 x giá đất tại vị trí 1; giá đất tại vị trí 3: 0,8 x giá đất tại vị trí 2; giá đất tại vị trí 4: 0,8 x giá đất tại vị trí 3.

Giá nhà: Căn cứ Quyết định số 66/2024/QĐ-UBND ngày 24/4/2024 của UBND TP.HCM [8] về bảng giá nhà ở, công trình, vật kiến trúc xây dựng mới phân xây dựng công trình trên địa bàn Thành phố.

Bảng 1. Bảng giá đất phân theo khu vực

STT	Loại đất	Giá đất theo QĐ 79/2024/QĐ-UBND (đồng/m ²)	Giá đất theo thị trường (đồng/m ²)	Hệ số điều chỉnh giá K (lần)
A	Đất trồng lúa và trồng cây hàng năm khác			
1	Khu vực 1	625.000	3.164.000	5.062
2	Khu vực 2	500.000	2.531.000	5.062
3	Khu vực 3	400.000	2.024.800	5.062
B	Đất trồng cây lâu năm			
1	Khu vực 1	750.000	3.632.000	4.843
2	Khu vực 2	600.000	2.905.800	4.843
3	Khu vực 3	400.000	2.324.640	4.843
C	Đất ở			
1	Vị trí 1	8.700.000	11.437.000	1.315
2	Vị trí 2	4.350.000	5.718.500	1.315
3	Vị trí 3	3.480.000	4.574.800	1.315
4	Vị trí 4	2.784.000	3.659.840	1.315

Bảng 2. Bảng giá xây dựng nhà

STT	Loại nhà ở	Kết cấu nhà	Ký hiệu	Đơn giá (đồng)
1	Nhà phố từ 2-4 tầng	Khung, sàn, mái BTCT, tường gạch	b2	8.167.593
2	Nhà phố 1 tầng	Khung, sàn, mái BTCT, tường gạch	b	8.157.407
3	Nhà phố 1 tầng	Cột gạch, tường gạch mái tôn hoặc ngói	g	5.150.926
4	Nhà phố 1 tầng	Cột gạch, tường gạch mái lá, mái dầu	t	3.823.148

Ví dụ, nếu loại đất là đất ở thuộc vị trí 1 (đất mặt đường) thì giá đất đền bù là 11.437.000đ x diện tích thu hồi. Riêng đối với các thửa đất có nhiều mục đích sử dụng, ta căn cứ vào hồ sơ trích lục địa chính để tính ra tiền giá đất tương ứng.

Ví dụ loại Đất ở + Cây lâu năm ở vị trí 2 và nằm trong khu vực 1 có diện tích thu hồi là 165 m², trong đó ODT chiếm 102 m², CLN chiếm 63 m² thì giá đất đền bù = 102x 5.718.500 + 63 x 3.632.000đ = 812.103.000 VNĐ.

Trên phần mềm ArcGIS tạo thêm cột Tiền đất, Tiền nhà, Tổng tiền trong đó Tiền đất = Giá đền bù m² x Diện tích đất đền bù (Tien_Dat = DonGia_Dat * DT_Dat_DB

); Tiền nhà = Đơn giá nhà x Diện tích xây dựng x % khấu hao nhà (Tien_nha = DonGia_Nha x DT_XD x %KhauHao

Tổng tiền đền bù cho 1 thửa đất bằng Tiền đền bù thửa đất + Tiền đền bù nhà.

Sau khi có giá đền bù ta có thể sử dụng, khai thác CSDL GPMB xuất ra nhiều định dạng dữ liệu khác nhau cho nhiều mục đích báo cáo, tổng hợp cho các bên liên quan như bảng thuộc tính giá trị đền bù cho từng hộ gia đình cá nhân, trực quan hóa giá trị thu hồi đất bằng bản đồ hoặc truy vấn trực tiếp CSDL bằng công cụ lập trình hỗ trợ khai thác CSDL.

Hơn nữa, ta có thể bổ sung các loại giấy tờ liên quan đến thửa đất bồi thường bằng liên kết hyperlink trên phần mềm ArcGIS và có thể liên kết CSDL GPMB với CSDL khác phục vụ công tác quản lý dự án.

3.7. Bảng giá đền bù cho từng hộ gia đình và bản đồ giá trị thu hồi đất

The screenshot shows a table with multiple columns, likely representing household information and compensation amounts. The data is organized in a grid format, typical of a GIS attribute table or a database export.

Hình 2. Bảng giá đền bù cho từng hộ gia đình cá nhân



Hình 3. Bản đồ giá trị thu hồi đất

3.8. Xây dựng công cụ khai thác CSDL

Quy trình xây dựng công cụ khai thác dữ liệu bằng ngôn ngữ lập trình VBA:



Hình 4. Sơ đồ 2: Quy trình xây dựng công cụ khai thác dữ liệu

Tiến hành tạo lập công cụ mới trên phần mềm ArcGIS và thiết kế định dạng Form mẫu truy vấn dữ liệu theo số tờ, số thửa và truy vấn theo tên đường.

Hình 5. Giao diện truy vấn theo số tờ, số thửa

Hình 6. Giao diện truy vấn theo tên đường

Code truy vấn không gian hiển thị đối tượng bằng ngôn ngữ lập trình VBA.



Hình 7. Đoạn code truy vấn dữ liệu theo số tờ, số thửa



Hình 8. Đoạn code truy vấn dữ liệu theo tên đường



Hình 9. Kết quả truy vấn dữ liệu

3.9. Thảo luận

GIS đã thể hiện được yếu tố không gian là các thửa đất bị thu hồi dưới dạng các đối tượng đồ họa, yếu tố phi không gian là giá tiền đền bù được thể hiện bằng màu sắc và chú thích. Vùng có màu càng đậm là vùng có giá trị đền bù cao, vùng có màu nhạt là vùng có giá trị thấp. Màu đậm tập trung chủ yếu ở các thửa đất có mục đích sử dụng là đất ở hoặc những thửa đất có diện tích lớn. Diện tích đất và số tiền đền bù cụ thể của từng thửa đất được xem ở bảng báo cáo tiền đền bù cho từng thửa đất, hoặc truy vấn trực tiếp trên phần mềm GIS bằng công cụ khai thác dữ liệu được lập trình bằng ngôn ngữ lập trình VBA.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã xây dựng được CSDL phục vụ GPMB dự án cao tốc TP.HCM - Mộc Bài đoạn qua xã Thái Mỹ; thành lập được bản đồ giá trị thu hồi đất và xuất bảng tiền bồi thường cho từng hộ dân bị ảnh hưởng trong việc thu hồi đất. Qua nghiên cứu cho thấy, việc ứng dụng GIS xây dựng CSDL hỗ trợ công tác GPMB là một trong những phương pháp hiệu quả, tiết kiệm thời gian chi phí nhưng vẫn đảm bảo độ chính xác theo yêu cầu trong việc tính toán giá trị thu hồi đất phục vụ công tác GPMB. Cung cấp thông tin trực quan nhanh chóng bằng việc trực quan hóa dữ liệu thành bản đồ. Dữ liệu được thống nhất lưu trữ trên cùng một phần mềm giúp cho việc đồng bộ dữ liệu dễ dàng, nhập và quản lý, khai thác sử dụng dữ liệu nhanh chóng và chính xác; phục vụ công tác quản lý nhà nước và sử dụng dữ liệu lâu dài. Có thể cung cấp dữ liệu cho các công đoạn khác của dự án hoặc cung cấp cho các đơn vị khác phối hợp khai thác sử dụng CSDL. Kết quả lập trình công cụ khai thác dữ liệu bằng ngôn ngữ lập trình VBA đã tạo được công cụ giúp khai thác dữ liệu nhanh hiệu quả hơn rút ngắn thời gian tìm kiếm. Đặc biệt, với ngôn ngữ lập trình VBA có thể ứng dụng mở rộng khai thác nhiều CSDL khác trong GIS mở ra một hướng ứng dụng mới cho các CSDL khác như CSDL đất đai...

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. L. Paul A, Michael F. Goodchild, David j. Maguire và David W. Rhind (2015), Geographic Information Science and Systems, Wiley Publishing House, vol.Fourth edition, pp.460.
- [2]. T.-A. t. P. o. M. s. w. A. Eric Pimpler (2021), GeoSpatial Training Services.
- [3]. S. Karimi, Iordanova (2021), I. Integration of BIM and GIS for Construction Automation, A Systematic Literature Review (SLR) Combining Bibliometric and Qualitative Analysis, Arch Computat Methods Eng 28, vol.4573-4594.
- [4]. ESRI (2025), Giới thiệu về phần mềm ArcGIS (<https://www.esri.com>).
- [5]. Bộ Nông nghiệp và Môi trường, Thông tư số 26/2024/TT-BTNMT Quy định kỹ thuật vẽ đồ đạc lập bản đồ địa chính.
- [6]. T. L. M. Vinh (2009), Bài giảng Hệ thống thông tin địa lý đại cương.
- [7]. TP.HCM (2024), Quyết định số 79/2024/QĐ-UBND ngày 21/10/2024 của UBND TP.HCM quy định về bảng giá đất trên địa bàn TP.HCM.
- [8]. TP.HCM (2024), Quyết định số 66/2024/QĐ-UBND ngày 24/4/2024 của UBND TP.HCM.

Nghiên cứu khảo sát mô hình động lực học của thiết bị bay sử dụng động cơ 2 tầng cánh

Dynamic modeling of a coaxial rotor aerial vehicle

> KS TRẦN ĐĂNG HUY, TS NGUYỄN THỊ THANH VÂN, TS NGUYỄN HOÀNG QUÂN*

Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội

*Email: nhquan@vnu.edu.vn

TÓM TẮT

Máy bay không người lái (UAV) cấu hình hai tầng cánh đồng trục ngày càng được quan tâm nhờ ưu điểm gọn nhẹ, lực nâng lớn và khả năng treo ổn định. Tuy nhiên, tương tác khí động giữa hai rotor tạo ra đặc tính phi tuyến mạnh, gây khó khăn cho việc mô hình hóa và điều khiển. Bài báo trình bày nghiên cứu xây dựng mô hình động lực học UAV hai tầng cánh đồng trục dựa trên phương pháp Newton-Euler. Hệ phương trình vi phân phi tuyến được giải bằng phương pháp Runge-Kutta bậc 4 (RK4) để mô phỏng quỹ đạo trong các kịch bản bay: cất cánh, hạ cánh, giữ vị trí và bay ngang với các góc nghiêng rotor khác nhau. Kết quả mô phỏng cho thấy sự phù hợp với nghiên cứu trước, chứng minh tính đúng đắn của mô hình. Đồng thời, kết quả chỉ ra rằng góc nghiêng rotor ảnh hưởng đáng kể đến vận tốc và quỹ đạo bay. Nghiên cứu khẳng định tính khả thi của mô phỏng số dựa trên RK4, tạo cơ sở cho việc phát triển bộ điều khiển và thử nghiệm UAV thực tế.

Từ khóa: UAV; hai tầng cánh đồng trục; động lực học bay; Newton-Euler; Runge-Kutta.

ABSTRACT

Coaxial rotor unmanned aerial vehicles (UAVs) have attracted increasing attention due to their compact design, high lift capability and stable hovering performance. However, aerodynamic interactions between the two rotors introduce strong nonlinearities, making modeling and control challenging. This paper presents the development of a dynamic model for a coaxial rotor UAV based on the Newton-Euler method. The resulting nonlinear differential equations are solved using the fourth-order Runge-Kutta (RK4) method to simulate flight trajectories under different scenarios, including take-off, landing, hovering and forward flight with varying rotor tilt angles. The simulation results show good agreement with previous studies, validating the accuracy of the proposed model. Furthermore, the results highlight that rotor tilt angles significantly affect the velocity and trajectory of the UAV. The study confirms the feasibility of RK4-based numerical simulation as a foundation for controller development and real-world UAV experiments.

Keywords: UAV; coaxial rotor; flight dynamics; Newton-Euler; Runge-Kutta.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong những năm gần đây, máy bay không người lái (Unmanned Aerial Vehicles - UAVs) đã trở thành một trong những chủ đề nghiên cứu nổi bật nhờ khả năng ứng dụng rộng rãi trong giám sát, cứu hộ, vận chuyển và quốc phòng [1-3]. Nhờ khả năng vận hành linh hoạt và dễ điều khiển, UAV có thể thực hiện các nhiệm vụ tại những khu vực phức tạp hoặc tiềm ẩn nguy hiểm. Trong số các thiết kế UAV phổ biến, hai cấu hình chính được sử dụng là loại cánh cố định và đa cánh quạt. Đặc biệt, cấu hình cánh quạt đồng trục hai tầng (coaxial rotor system) thu hút nhiều sự quan tâm nhờ ưu điểm vượt trội so với rotor đơn hoặc quadrotor: Loại bỏ nhu cầu cánh đuôi, tăng lực nâng trên cùng diện tích cánh, cải thiện khả năng treo ổn định và nâng cao hiệu suất khí động [4-6]. Tuy nhiên,

sự tương tác khí động giữa hai rotor cũng đồng thời tạo ra các phi tuyến mạnh và nhiễu động phức tạp, gây khó khăn trong việc mô hình hóa và điều khiển [7]. Do đó, phát triển mô phỏng số chính xác cho UAV đồng trục là một bước quan trọng nhằm dự đoán hành vi quỹ đạo và hỗ trợ thiết kế bộ điều khiển bền vững.

Nhiều nghiên cứu đã được thực hiện nhằm xây dựng mô hình động học và động lực học cho UAV đồng trục. Phương pháp tuyến tính truyền thống như PID, LQR thường được sử dụng để ổn định vị trí và tư thế, song chỉ hiệu quả trong các trường hợp hệ thống có mức phi tuyến thấp [8]. Tuy vậy, phần lớn các công trình này tập trung vào thiết kế bộ điều khiển, trong khi các nghiên cứu về mô phỏng số chính xác của quỹ đạo UAV đồng trục vẫn còn hạn chế [9].

Trong bối cảnh đó, các phương pháp giải tích số, đặc biệt là

phương pháp Runge-Kutta bậc 4 (RK4) được coi là công cụ mạnh để giải hệ phương trình vi phân phi tuyến mô tả động lực bay [10]. Một số nghiên cứu gần đây đã cho thấy RK4 có thể tái hiện chính xác quỹ đạo và đáp ứng động lực của UAV trong điều kiện có nhiễu động, từ đó tạo nền tảng cho việc kiểm chứng và hiệu chỉnh các mô hình điều khiển tiên tiến.

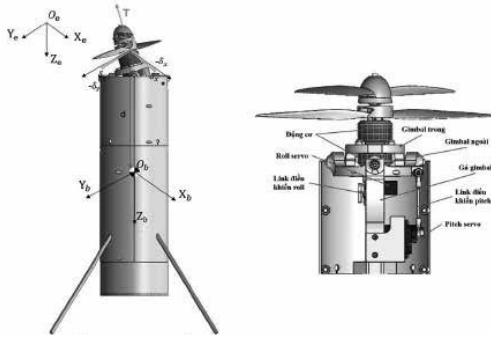
Trong bài nghiên cứu này, nhóm tác giả tập trung vào việc xây dựng mô hình động lực học UAV hai tầng cánh đồng trục bằng phương pháp Newton-Euler và giải số bằng RK4. Kết quả thu được không chỉ cho thấy khả năng mô phỏng chính xác đáp ứng động lực của UAV mà còn cung cấp cơ sở quan trọng cho việc phát triển bộ điều khiển và thử nghiệm thực tế trong tương lai.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Hệ phương trình vi phân động lực học của thiết bị bay hai tầng cánh dọc trục

Trong bài báo cáo này, nhóm nghiên cứu giới thiệu mô hình máy bay hai tầng cánh dọc trục được miêu tả trên Hình 1. Nguyên lý điều khiển của máy bay là điều chỉnh góc pitch và roll, được thực hiện bằng cách điều khiển vector lực đẩy, tạo ra các mô-men quay pitch và roll quanh trọng tâm (CG) của máy bay. Độ nghiêng của vector lực đẩy tạo ra các mô-men quanh điểm CG làm cho máy bay quay và dịch chuyển theo hướng mong muốn. Sự chênh lệch vòng quay của các động cơ quay ngược chiều nhau giúp điều khiển thiết bị bay quay xung quanh trục theo góc yaw.

Để xây dựng hệ phương trình động lực học, thiết bị bay được xét như một vật rắn chịu một lực tại tâm và 3 mô-men quay theo các góc roll, pitch, yaw. Quỹ đạo của thiết bị bay được mô tả trong hai hệ tọa độ $O_b X_b Y_b Z_b$ là hệ tọa độ gắn với vật và $O_e X_e Y_e Z_e$ là hệ tọa độ quy chiếu quán tính. Vector $r = [x \ y \ z]^T$ biểu thị vị trí và $\Psi = [\Phi \ \theta \ \psi]^T$ biểu thị góc Euler tư thế của máy bay trong hệ tọa độ quy chiếu quán tính. $v = [v_x \ v_y \ v_z]^T$ là vận tốc trong hệ quy chiếu quán tính và $\eta = [p \ q \ r]^T$ là vận tốc góc trong tọa độ gắn với vật. Vận tốc và tốc độ góc trong hai hệ tọa độ có thể được chuyển đổi bằng ma trận như sau:



Hình 1. Hệ quy chiếu và mô hình thiết bị bay

Ma trận xoay R mô tả sự thay đổi góc quay giữa hai hệ tọa độ có dạng sau:

$$R = R_z(\psi)R_y(\theta)R_x(\phi) \quad (1)$$

Trong đó, các ma trận xoay lần lượt theo góc ψ , θ và Φ xác định như sau:

$$R_z(\psi) = \begin{bmatrix} C(\psi) & -S(\psi) & 0 \\ S(\psi) & C(\psi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$R_y(\theta) = \begin{bmatrix} C(\theta) & 0 & S(\theta) \\ 0 & 1 & 0 \\ -S(\theta) & 0 & C(\theta) \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$R_x(\phi) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & C(\phi) & -S(\phi) \\ 0 & S(\phi) & C(\phi) \end{bmatrix} \quad (4)$$

Thay (2), (3) và (4) vào (1) suy ra:

$$R = \begin{bmatrix} C(\theta)C(\psi) & -C(\phi)S(\psi) + C(\psi)S(\theta)S(\phi) & S(\psi)S(\phi) + C(\psi)C(\theta)S(\theta) \\ C(\theta)S(\psi) & C(\psi)C(\phi) + S(\theta)S(\phi)S(\psi) & -S(\phi)C(\psi) + C(\phi)S(\theta)S(\psi) \\ -S(\theta) & C(\theta)S(\phi) & C(\theta)C(\phi) \end{bmatrix} \quad (5)$$

Mối quan hệ giữa vận tốc góc trong hệ tọa độ quán tính và hệ tọa độ gắn với thiết bị bay được biểu diễn qua công thức sau:

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & S(\phi)T(\theta) & C(\phi)T(\theta) \\ 0 & C(\phi) & -S(\phi) \\ 0 & S(\phi)/C(\theta) & C(\phi)/C(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \quad (6)$$

Trong đó: $S(x) = \sin(x)$, $C(x) = \cos(x)$ và $T(x) = \tan(x)$.

Mô hình động lực học thiết bị bay được xây dựng dựa trên giả thiết thiết bị bay là vật rắn tuyệt đối. Trong quá trình chuyển động, chúng có hai kiểu chuyển động động lực học là: Động lực học tịnh tiến và động lực học xoay. Theo định luật Newton, phương trình chuyển động tịnh tiến được mô tả như sau:

$$m \cdot \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{z} \end{bmatrix} = R \cdot \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{bmatrix} - m \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ g \end{bmatrix} - k \cdot \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix} \quad (7)$$

Trong đó, vector lực F là thành phần lực đẩy sinh ra bởi động cơ cánh quạt theo các trục tọa độ, được tính như sau:

$$F_x = (F_1 + F_2)\sin\delta_y\cos\delta_x \quad (8)$$

$$F_y = (F_1 + F_2)\sin\delta_y\sin\delta_x \quad (9)$$

$$F_z = (F_1 + F_2)\cos\delta_y \quad (10)$$

Ở đây, $F_1 = k\omega_1^2$, $F_2 = k\omega_2^2$ - Lực đẩy của động cơ 1 và 2; k - Hệ số lực đẩy; δ_x , δ_y - Góc nghiêng vector F_1 , F_2 với trục z và x ; m - Khối lượng thiết bị bay.

Phương trình Euler cho chuyển động quay của thiết bị được mô tả như sau:

$$\tau = I \cdot \dot{\eta} + \eta \times (I \cdot \eta) \quad (11)$$

Trong đó: Vector τ và vector η lần lượt là mô-men xoắn và vận tốc góc theo các trục của thiết bị bay; I - Ma trận 3x3 biểu diễn cho mô-men quán tính. Trong nghiên cứu này, góc δ_x , δ_y thực tế rất nhỏ, thiết bị bay có hình dạng đối xứng, do đó chỉ tồn tại các giá trị I_{xx} , I_{yy} , I_{zz} . Hệ phương trình (9) được viết chi tiết như sau:

$$\begin{bmatrix} \dot{p} \\ \dot{q} \\ \dot{r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{I_{zz}-I_{xx}}{I_{xx}}qr \\ \frac{I_{xx}-I_{zz}}{I_{yy}}pr \\ \frac{I_{xx}-I_{yy}}{I_{zz}}pq \end{bmatrix} \quad (12)$$

Ở đây, mô-men xoắn τ theo các trục được xác định như sau:

$$\tau_x = U_2 \cdot d \quad (13)$$

$$\tau_y = U_3 \cdot d \quad (14)$$

$$\tau_z = U_4 \quad (15)$$

Trong đó: d - Khoảng cách từ tâm cánh quạt tầng dưới đến trọng tâm máy bay; ϵ - Hệ số mô-men xoắn khí động của motor, $U_1 = F_z$, $U_2 = F_x$, $U_3 = F_y$, $U_4 = \epsilon \cdot (F_1 - F_2)$.

2.2. Áp dụng phương pháp Runge-Kutta bậc 4 giải mô hình động lực học thiết bị bay

Trong nghiên cứu này, hệ phương trình động lực học thiết bị bay được giải bằng phương pháp tính toán số Runge-Kutta bậc 4. Đây là phương pháp được áp dụng phổ biến cho các bài toán xác định quỹ đạo của hệ cơ học. Để phân tích mô hình động lực học Quadcopter, các hệ phương trình vi phân (6), (7) và (12) được biến đổi về dạng sau:

$$\frac{dX}{dt} = f(X, t) \quad (16)$$

Trong đó, vector trạng thái X của Quadcopter được định nghĩa như sau:

$$X = [x \ y \ z \ v_x \ v_y \ v_z \ \phi \ \theta \ \psi \ p \ q \ r]^T \quad (17)$$

Khi giải các bài toán động lực học bằng phương pháp số, việc rời rạc hóa theo thời gian là cần thiết để có thể mô phỏng hệ thống theo miền thời gian. Phương pháp rời rạc hóa sử dụng các bước thời gian hữu hạn h để cập nhật trạng thái của hệ thống từ thời điểm n

sang $n+1$. Phương pháp Runge-Kutta bậc 4 cập nhật trạng thái X tại bước $n+1$ dựa theo gia tốc hiện tại như sau:

$$k_1 = h \cdot f(t_n, x_n) \quad (18)$$

$$k_2 = h \cdot f\left(t_n + \frac{h}{2}, x_n + \frac{k_1}{2}\right) \quad (19)$$

$$k_3 = h \cdot f\left(t_n + \frac{h}{2}, x_n + \frac{k_2}{2}\right) \quad (20)$$

$$k_4 = h \cdot f\left(t_n + h, x_n + k_3\right) \quad (21)$$

$$x_{n+1} = x_n + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \quad (22)$$

Trong đó: x_n, x_{n+1} - Lần lượt là vị trí tại thời điểm n và $n+1$.

Hệ phương trình vi phân (6), (7) và (12) được giải bằng việc áp dụng công thức (18) - (22). Quy trình giải hệ phương trình vi phân lần lượt như sau:

- Giải phương trình (12) để xác định (p, q, r) .
- Giải phương trình (6) để xác định (ϕ, θ, ψ) .
- Giải phương trình (7) để xác định tọa độ (x, y, z) .

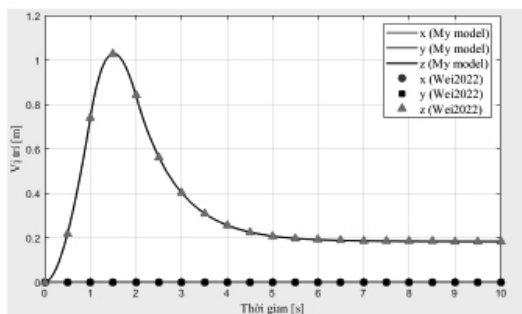
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Nhằm đánh giá tính khả thi của phương pháp Runge-Kutta bậc 4 trong việc phân tích đáp ứng động lực học thiết bị bay, nghiên cứu tiến hành mô phỏng các kịch bản bay đơn giản với bộ thông số đầu vào được liệt kê trong Bảng 1. Trong đó, tốc độ quay động cơ được giả định là đã biết. Để kiểm chứng độ chính xác, kết quả mô phỏng từ nghiên cứu này được so sánh đối chiếu với kết quả từ nghiên cứu của Yi-ran Wei [6] cho các trường hợp: Dịch chuyển lên, dịch chuyển xuống và giữ thẳng bằng. Các thông số đặc trưng của mô hình được sử dụng nhất quán với tài liệu tham khảo [6] nhằm đảm bảo tính so sánh.

Bảng 1. Thông số đặc trưng của mô hình thiết bị bay đề xuất

Thông số đặc trưng	Giá trị	Thông số đặc trưng	Giá trị
Khối lượng (m)	2,636 [Kg]	Mô-men quán tính theo trục x (I_{xx})	0,768 [Kg.m ²]
Gia tốc trọng trường (g)	9,81 [m/s ²]	Mô-men quán tính theo trục y (I_{yy})	0,768 [Kg.m ²]
Khoảng cách mô tơ dưới tới tâm máy bay (d)	0,318 [m]	Mô-men quán tính theo trục z (I_{zz})	0,079 [Kg.m ²]
Hằng số lực đẩy (k)	$8,82 \times 10^{-5}$ [N/rad/s]	Hệ số mô-men (ϵ)	$7,54 \times 10^{-8}$ [N.m/rad/s]

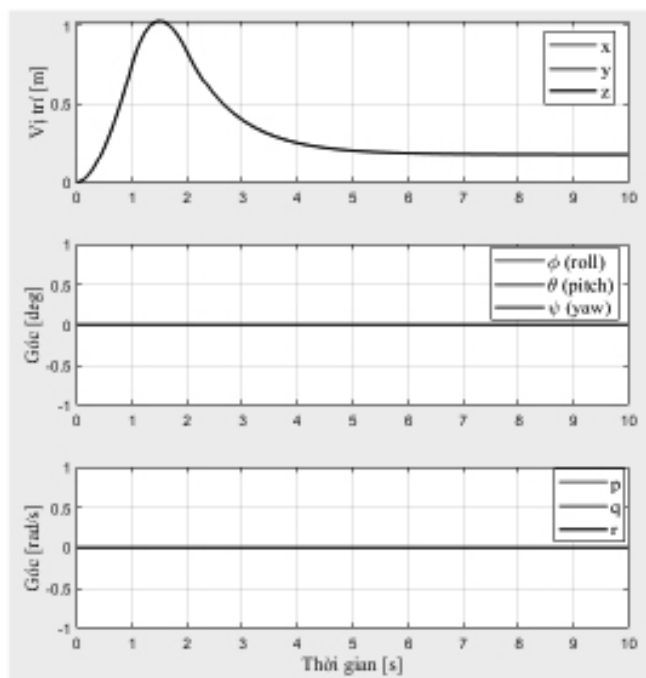
Hình 2 so sánh quỹ đạo mô phỏng của thiết bị bay trong các kịch bản đi lên, đi xuống và giữ nguyên độ cao được tính toán bởi mô hình đề xuất và mô hình của Yi-ran Wei. Kết quả cho thấy sự trùng khớp hoàn toàn giữa hai mô hình khi sử dụng chung một bộ thông số đầu vào. Sự phù hợp này chứng tỏ tính chính xác và độ tin cậy của mô hình cùng thuật toán được đề xuất trong nghiên cứu này.



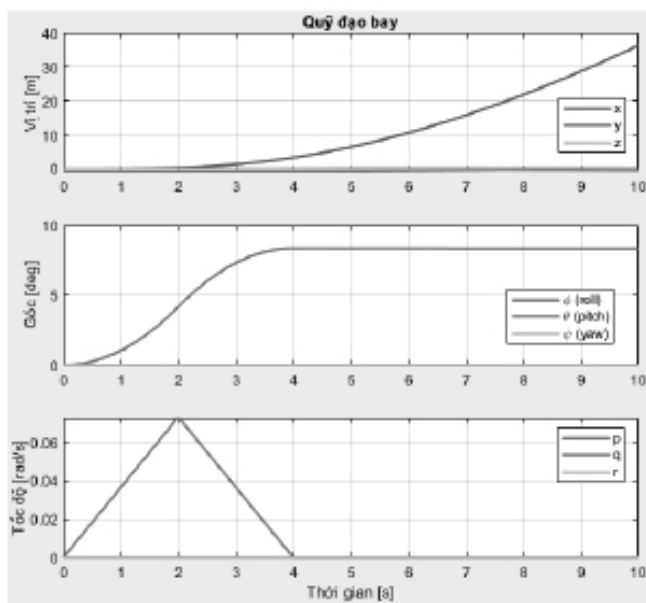
Hình 2. So sánh kết quả của mô hình đề xuất với mô hình của Yi-ran Wei

Hình 3 biểu diễn quỹ đạo bay thẳng đứng và giữ vị trí của thiết bị bay. Kết quả chỉ ra rằng thiết bị bay cất cánh thẳng đứng trong khoảng thời gian 1,5 giây khi lực nâng lớn hơn trọng lượng. Ngược lại, khi lực nâng nhỏ hơn trọng lượng, thiết bị bay hạ cánh thẳng đứng trong thời gian 5,5 giây. Thiết bị bay giữ nguyên vị trí khi lực nâng bằng trọng lượng. Các góc Roll, Pitch và Yaw đều bằng không, do máy bay chỉ lên xuống thẳng đứng.

Hình 4 biểu diễn quỹ đạo bay của thiết bị bay theo trục X. Kết quả chỉ ra rằng thiết bị bay thay đổi tư thế trong 4 giây đầu tiên, góc θ (Pitch) thay đổi từ 0 tới 8°, các góc ϕ (Roll) và ψ (Yaw) không thay đổi. Thiết bị bay di chuyển được 36 m trong 10 giây.

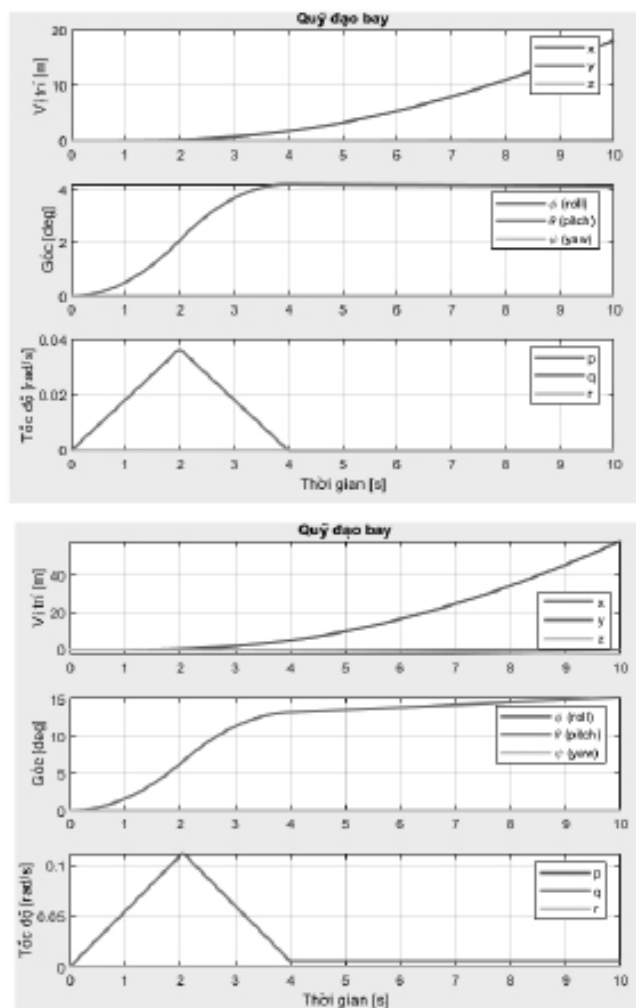


Hình 3. Quỹ đạo bay thẳng đứng của thiết bị bay



Hình 4. Quỹ đạo bay theo phương X của thiết bị bay ($\delta_\gamma = 2$)

Hình 5 biểu diễn quỹ đạo bay của thiết bị bay theo trục X khi góc lệch của mặt phẳng cánh quạt theo phương thẳng đứng thay đổi $\delta_y = 1$ và $\delta_y = 3$. Kết quả chỉ ra rằng thiết bị bay thay đổi tư thế trong 4 giây đầu tiên và bay nhanh hơn khi góc lệch tăng.



Hình 5. Quỹ đạo bay theo trục X của thiết bị bay trong trường hợp mặt phẳng nghiêng $\delta_y = 1$ (hình trái) và $\delta_y = 3$ (hình phải)

Kết quả khảo sát động học cho thiết bị bay sử dụng động cơ hai rotor đồng trục cho thấy hệ phương trình vi phân đã thiết lập mô tả chính xác đáp ứng động lực của mô hình. Bằng phương pháp số Runge-Kutta bậc 4, nghiên cứu đã mô phỏng thành công đáp ứng của thiết bị khi chịu tác động của lực nâng. Kết quả mô phỏng thể hiện sự ảnh hưởng đáng kể của góc lệch cánh quạt (δ_y) so với phương thẳng đứng lên tốc độ bay. Dựa trên những phát hiện này, bước tiếp theo của nghiên cứu sẽ tập trung vào thiết kế bộ điều khiển PID để ổn định thiết bị và tối ưu hóa các thông số điều khiển cho nhiệm vụ mang tải 1 kg.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày kết quả khảo sát động lực học của thiết bị bay sử dụng động cơ hai rotor đồng trục tính tới ảnh hưởng của góc lệch cánh quạt (δ_y) so với phương thẳng đứng. Mô hình động lực học cho UAV hai tầng cánh đồng trục dựa trên phương trình Newton-Euler và giải số bằng phương pháp Runge-Kutta bậc 4. Đáp ứng của mô hình động lực học thiết bị bay được kiểm chứng với kết

quả của tác giả khác đã chứng tỏ tính đúng đắn của mô hình. Các kết quả thu được chứng tỏ góc lệch cánh quạt so với phương thẳng đứng ảnh hưởng lớn tới quá trình di chuyển của thiết bị bay. Trong thời gian tới, nhóm nghiên cứu sẽ chế tạo mô hình thiết bị bay thực tế, thiết kế bộ điều khiển để kiểm chứng với mô hình mô phỏng này.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội theo Đề tài mã số CN23.10.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Austin, R. (2011), Unmanned Aircraft Systems: UAV Design, Development and Deployment. John Wiley & Sons.
- [2]. Nguyễn Hoàng Quân, Nguyễn Hải Bằng, Dương Việt Dũng và Trương Ninh Thuận (2020), Khảo sát hệ thống cân bằng động lực học của Drone, Hội nghị Khoa học cơ học thủy khí toàn quốc, Hà Nội.
- [3]. Nguyen Hoang Quan, Nguyen Khanh Duy, Nguyen Cong Minh, Dang The Ba (2023), Analyzing Quadcopter Dynamic Response in Relation to Weight Variation, ICEMA7, 11-13, Ha Noi.
- [4]. Stevens, Brian L. (2006), Pedro Castillo, Rogelio Lozano and Alejandro E. Dzul, Modelling and Control of MiniFlying Machines, IEEE Control Systems 26, no.3, 122-124.
- [5]. Nguyễn Công Minh, Nguyễn Hoàng Quân (6/2025), Mô phỏng quỹ đạo phi tuyến của Quadcopter bằng phương pháp BEEMAN, Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Đại học Thái Nguyên, 230(10), 233-240.
- [6]. Yi-ran Wei, Han Chen, Ke-wei Li, Hong-bin Deng, Zhen-hua Pan, Research on the Control Algorithm of Coaxial Rotor Aircraft based on Sliding Mode and PID, Electronics 2019, 8(12), 1428.
- [7]. Yi-ran Wei, Hong-bin Deng, Zhen-hua Pan, Ke-wei Li, Dong-fang Li (February, 2022), Research on a combinatorial control method for coaxial rotor aircraft based on sliding mode, Defence Technology, vol.18, Issue 2, pp.280-292.
- [8]. Shehzad, Muhammad Faisal, Ahmad Bilal and Hasnain Ahmad (2019), Position & attitude control of an aerial robot (quadrotor) with intelligent pid and state feedback lqr controller: A comparative approach, 16th International Bhurban conference on applied sciences and technology (IBCAST), IEEE.
- [9]. Lv Zong-Yang, Yuhu Wu, Qing Zhao, and Xi-Ming Sun (2021), Design and control of a novel coaxial tilt-rotor UAV, IEEE Transactions on Industrial Electronics 69, no.4, 3810-3821.
- [10]. Hu, Shiven (2024), Drone Delivery Trajectory Prediction Using Nonlinear First-order Systems and Their Numerical Solutions. Journal of Physics: Conference Series. vol.2890. no.1, IOP Publishing.

Nghiên cứu, thiết kế hệ thống giám sát toàn tàu OKS.VN dựa trên nền tảng PLC/HMI và thuật toán xử lý tín hiệu tiên tiến

Research and design OKS.VN ship-wide monitoring system based on PLC/HMI platform and advanced signal processing algorithms

> **KS NGUYỄN VĂN QUÂN***, **KS ĐẶNG THỊ THU HẰNG**

Phòng Điện, Viện Kỹ thuật Hải quân

*Email: nvquan216@gmail.com

TÓM TẮT

Bài báo trình bày giải pháp thiết kế và phát triển hệ thống giám sát toàn tàu OKS.VN dựa trên nền tảng PLC và HMI hiện đại, kết hợp với các thuật toán xử lý tín hiệu tiên tiến. Hệ thống phần cứng sử dụng PLC Siemens S7-1500 và màn hình HMI cảm ứng, được kết nối qua mạng Profinet để giám sát tập trung các hệ thống phụ trợ trên tàu. Về xử lý tín hiệu, nghiên cứu áp dụng bộ lọc Kalman để loại bỏ nhiễu ngẫu nhiên và mạng nơ-ron hàm cơ sở xuyên tâm (RBF) để hiệu chỉnh sai số phi tuyến, nhằm nâng cao độ chính xác của dữ liệu giám sát. Kết quả thử nghiệm cho thấy hệ thống hoạt động ổn định, tốc độ xử lý nhanh hơn 30%, độ chính xác được cải thiện rõ rệt, đồng thời giảm chi phí bảo trì và tăng khả năng chủ động công nghệ. Giải pháp này phù hợp để ứng dụng rộng rãi trên cả tàu dân dụng và quân sự.

Từ khóa: PLC; HMI; hệ thống giám sát toàn tàu; mạng truyền thông công nghiệp; bộ lọc Kalman; mạng nơ-ron RBF.

ABSTRACT

The paper presents a design and development solution for the OKS.VN ship-wide monitoring system based on a modern PLC and HMI platform, combined with advanced signal processing algorithms. The hardware system uses a Siemens S7-1500 PLC and a touch screen HMI, connected via a Profinet network to centrally monitor auxiliary systems on board. Regarding signal processing, the study applies a Kalman filter to eliminate random noise and a radial basis function (RBF) neural network to correct nonlinear errors, in order to improve the accuracy of monitoring data. The test results show that the system operates stably, the processing speed is 30% faster, the accuracy is significantly improved, while reducing maintenance costs and increasing technological initiative. This solution is suitable for wide application on both civil and military ships.

Keywords: PLC; HMI; Ship-wide monitoring system; Industrial communication network; Kalman filter; RBF neural network.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh ngành Hàng hải và hải quân thế giới đang tiến thẳng vào cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ tư, việc hiện đại hóa các hệ thống tự động hóa trên tàu đã trở thành một yêu cầu cấp thiết để đảm bảo an toàn, hiệu quả vận hành và năng lực tác chiến. Các hệ thống giám sát và điều khiển tích hợp (Integrated Monitoring and Control Systems - IMCS) là xương sống của các tàu mặt nước hiện đại, cho phép thu thập, xử lý và hiển thị dữ liệu từ hàng trăm đến hàng nghìn cảm biến phân tán khắp con tàu [1]. Việc tích hợp này không chỉ giúp thủy thủ đoàn giám sát tập trung các hệ thống phức tạp như động lực, năng lượng, phụ trợ và xử lý dẫn tàu mà còn giảm thiểu sự tiếp xúc của con người với môi trường làm việc khắc nghiệt và nguy

hiểm, vốn đặc trưng bởi tiếng ồn, nhiệt độ cao và khí thải độc hại [2].

Tuy nhiên, nhiều tàu trong biên chế của Hải quân Việt Nam vẫn đang vận hành hệ thống giám sát OKS có nguồn gốc từ Nga. Được thiết kế dựa trên công nghệ analog và linh kiện điện tử thế hệ cũ, các hệ thống này ngày càng bộc lộ nhiều điểm yếu cố hữu. Những hạn chế này bao gồm kích thước vật lý lớn, độ tin cậy không còn cao sau nhiều năm khai thác, đặc biệt là chi phí bảo trì, sửa chữa ngày càng gia tăng do sự khan hiếm của linh kiện thay thế [3]. Giao diện người-máy (HMI) dựa trên đồng hồ cơ và đèn báo không còn cung cấp đủ thông tin trực quan và thiếu khả năng cảnh báo sớm, gây áp lực lớn lên đội ngũ vận hành và làm chậm quá trình ra quyết định trong các tình huống khẩn cấp [4].

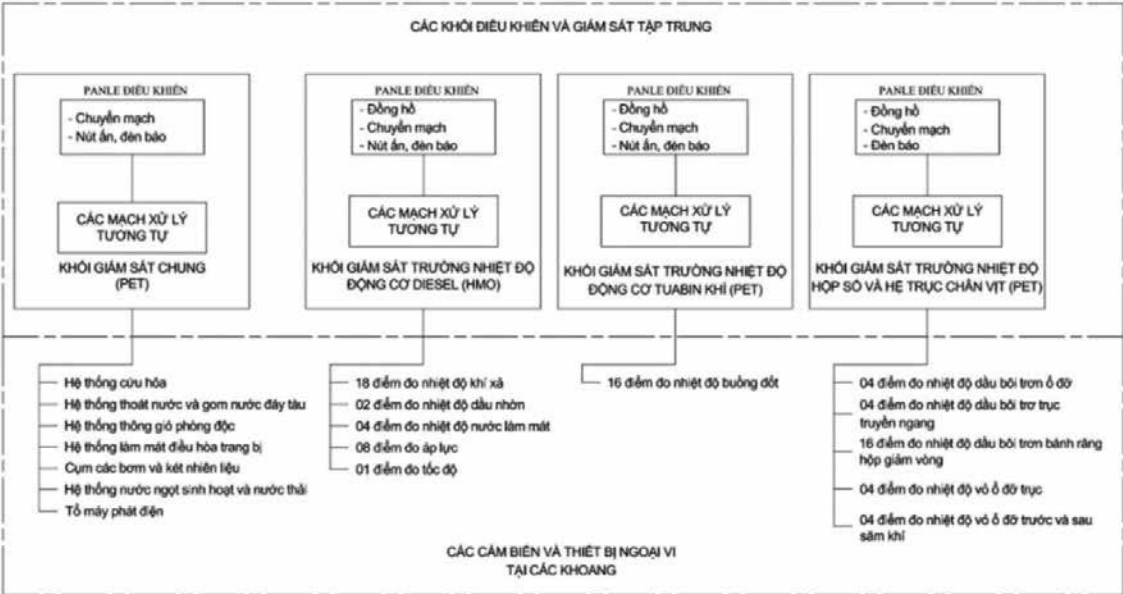
Một trong những thách thức kỹ thuật lớn nhất của hệ thống OKS hiện hữu là khả năng xử lý tín hiệu. Dữ liệu thô từ các cảm biến nhiệt độ, áp suất và mức chất lỏng thường xuyên bị ảnh hưởng bởi nhiễu cao tần và nhiễu điện từ, vốn là điều khó tránh khỏi trong môi trường hoạt động của các thiết bị cơ điện công suất lớn trên tàu. Tình trạng này dẫn đến các chỉ số hiển thị thiếu chính xác, gây ra cảnh báo giả hoặc ngược lại, bỏ lỡ các dấu hiệu bất thường, tiềm ẩn nguy cơ hư hỏng thiết bị và mất an toàn [5]. Hơn nữa, kiến trúc mạng và truyền thông theo kiểu điểm-điểm hoặc các bus trường cũ không còn đáp ứng được yêu cầu về tốc độ, băng thông và độ tin cậy, đồng thời đặt ra những lo ngại về an ninh mạng khi các hệ thống trên tàu ngày càng được kết nối nhiều hơn [6].

Trước bối cảnh đó, việc nghiên cứu, phát triển một hệ thống giám sát toàn tàu thế hệ mới, ký hiệu là OKS.VN là một nhiệm vụ mang tính chiến lược. Bài báo này đề xuất một giải pháp đột phá dựa trên nền tảng công nghệ Điều khiển logic khả trình (PLC) và Giao diện người-máy (HMI) hiện đại, kết hợp với các thuật toán xử lý tín hiệu tiên tiến. Cụ thể, nghiên cứu tập trung vào việc áp dụng

bộ lọc Kalman để loại bỏ nhiễu ngẫu nhiên và mạng nơ-ron hàm cơ sở xuyên tâm (Radial Basis Function - RBF) để hiệu chỉnh các sai số phi tuyến, nhằm tối ưu hóa độ chính xác của dữ liệu giám sát [7]. Giải pháp này không chỉ hướng đến việc thay thế một hệ thống đã lỗi thời mà còn nhằm mục tiêu làm chủ công nghệ lõi, giảm sự phụ thuộc vào nguồn cung từ nước ngoài và xây dựng một nền tảng mới, dễ dàng nâng cấp, bảo trì và tích hợp các công nghệ mới trong tương lai, qua đó nâng cao đáng kể hiệu quả vận hành và khả năng sẵn sàng chiến đấu của các hạm đội tàu mặt nước [8].

2. TỔNG QUAN VỀ HỆ THỐNG GIÁM SÁT OKS

Hệ thống giám sát toàn tàu OKS được ứng dụng rộng rãi trên nhiều loại tàu mặt nước, có cấu trúc kỹ thuật tương tự nhau và chủ yếu khác biệt về số lượng tín hiệu và các hệ thống ngoại vi được giám sát. Các chức năng chính của hệ thống bao gồm thu thập dữ liệu, hiển thị thông tin vận hành, cảnh báo sự cố, hỗ trợ điều khiển từ xa và lưu trữ dữ liệu để phục vụ khai thác và bảo trì. Các chức năng tổng thể của hệ thống được thể hiện trong sơ đồ khối như Hình 1.



Hình 1. Sơ đồ hệ thống giám sát toàn tàu OKS ban đầu của Nga

Hệ thống OKS ban đầu của Nga được thiết kế theo cấu trúc mô-đun, gồm khối giám sát chung (PET) quản lý các hệ thống cốt lõi và các khối chuyên dụng theo dõi nhiệt độ động cơ, hộp số. Tuy nhiên, sau khoảng 10 năm vận hành, hệ thống đã bộc lộ nhiều hạn chế do công nghệ thế hệ cũ dựa trên mạch điện tử tương tự và logic rơ-le. Những hạn chế này bao gồm kích thước thiết bị cồng kềnh, giao diện vận hành đơn giản qua đèn báo và đồng hồ kim, thiếu tính thực quan. Quan trọng nhất, hệ thống thiếu khả năng tự động đưa ra cảnh báo khi có sự cố, làm tăng gánh nặng cho người vận hành.

Bảng 1. Đánh giá hạn chế của hệ thống OKS hiện tại

Hạng mục đánh giá	Tình trạng/Mô tả	Hậu quả/Ảnh hưởng
Công nghệ và kiến trúc	- Công nghệ điện tử tương tự, mạch logic rời rạc. - Kiến trúc phân tán, giao tiếp điểm-điểm.	- Tốc độ xử lý chậm. - Khó khăn trong mở rộng và tích hợp. - Kích thước lớn, cồng kềnh.
Độ tin cậy và độ chính xác	- Cảm biến và thiết bị hiển thị (đồng hồ cơ, đèn báo) đã cũ, xuống cấp. - Không có thuật toán lọc nhiễu.	- Dữ liệu giám sát thiếu chính xác. - Tăng tần suất cảnh báo sai, bỏ sót lỗi. - Giảm hiệu quả vận hành và an toàn.
Khả năng bảo trì	- Linh kiện thay thế (linh kiện điện tử, đồng hồ) khó tìm, chủ yếu là hàng cũ đã qua sử dụng. - Không chủ động được nguồn cung.	- Thời gian chờ hàng kéo dài. - Chi phí bảo trì, sửa chữa rất cao. - Giảm tính sẵn sàng của tàu.
Tính năng	- Không có chức năng cảnh báo tự động, ghi log dữ liệu. - Giao diện người dùng kém trực quan (đèn, nút cơ).	- Tăng áp lực lên người vận hành. - Khó khăn trong chuẩn đoán sự cố và phân tích hậu quả.

Trước những hạn chế cố hữu của hệ thống OKS hiện tại như đã phân tích ở Bảng 1, việc nghiên cứu và phát triển một hệ thống giám sát mới (OKS.VN) không chỉ là nhiệm vụ thay thế đơn thuần mà là một bước đột phá về công nghệ, hướng tới các mục tiêu chiến lược lâu dài. Nhu cầu cải tiến hệ thống mới tập trung vào việc hiện đại hóa công nghệ nền tảng bằng cách ứng dụng PLC và HMI của Siemens, hướng tới kiến trúc tập trung và mạng công nghiệp Profinet nhằm đạt được tốc độ xử lý nhanh, dễ dàng mở rộng và kích thước gọn nhẹ. Ngoài ra, hệ thống cũng chú trọng nâng cao độ tin cậy và độ chính xác thông qua việc sử dụng linh kiện đạt chuẩn hàng hải, tích hợp thuật toán Kalman và hiệu chỉnh thông minh RBF để đảm bảo dữ liệu giám sát chính xác và tăng độ tin cậy. Cuối cùng, việc bổ sung tính năng thông minh, như cảnh báo tự động và giao diện HMI đồ họa tiếng Việt sẽ giúp giảm tải cho người vận hành, hỗ trợ ra quyết định nhanh chóng và thuận tiện cho đào tạo, nghiên cứu.

3. ĐỀ XUẤT HỆ THỐNG GIÁM SÁT OKS CÔNG NGHỆ MỚI

3.1. Thiết kế và phát triển hệ thống phần cứng OKS.VN

Dựa trên kết quả khảo sát và nghiên cứu, nhóm phát triển đã tiến hành thiết kế tổng thể và chi tiết cho hệ thống giám sát OKS.VN. Mục tiêu là chế tạo và tích hợp một hệ thống mới có chức năng tương đương với hệ thống OKS của Nga nhưng được nâng cấp bằng các công nghệ hiện đại

3.1.1. Giải pháp và lựa chọn công nghệ

Hệ thống OKS.VN được thiết kế dựa trên các giải pháp và công nghệ cốt lõi nhằm khắc phục những hạn chế của hệ thống cũ và đáp ứng các yêu cầu vận hành hiện đại:

- Hiện đại hóa và đơn giản hóa hệ thống: Ứng dụng công nghệ PLC (Programmable Logic Controller) và HMI (Human-Machine Interface) để số hóa và tự động hóa các chức năng giám sát.
- Nâng cao độ tin cậy và tính sẵn sàng: Thay vì cấu trúc giao tiếp phân tán, hệ thống mới sử dụng mạng truyền thông Ethernet để giám sát tập trung toàn bộ dữ liệu từ các khối chức năng. Hệ

thống được thiết kế với mạng dự phòng, đảm bảo tính liên tục của việc trao đổi thông tin.

- Chủ động công nghệ và giảm chi phí bảo trì: Hệ thống sử dụng các linh kiện đạt tiêu chuẩn hàng hải và được mô-đun hóa, dễ dàng tìm kiếm trên thị trường nội địa, qua đó giảm sự phụ thuộc vào nguồn cung nước ngoài và tối ưu hóa chi phí vòng đời.

- Cải thiện giao diện vận hành: Màn hình HMI trực quan được sử dụng để hiển thị thông số và trạng thái hệ thống bằng tiếng Việt, thay thế cho các đồng hồ cơ và đèn báo lỗi kém hiệu quả của hệ thống cũ.

3.1.2. Kiến trúc phần cứng

Kiến trúc phần cứng của hệ thống OKS.VN được thiết kế theo cấu trúc mô-đun, cho phép mở rộng và tích hợp linh hoạt. Các thiết bị chính được lựa chọn từ hãng Siemens, đảm bảo tính ổn định, độ tin cậy cao và đáp ứng các tiêu chuẩn hàng hải quốc tế.

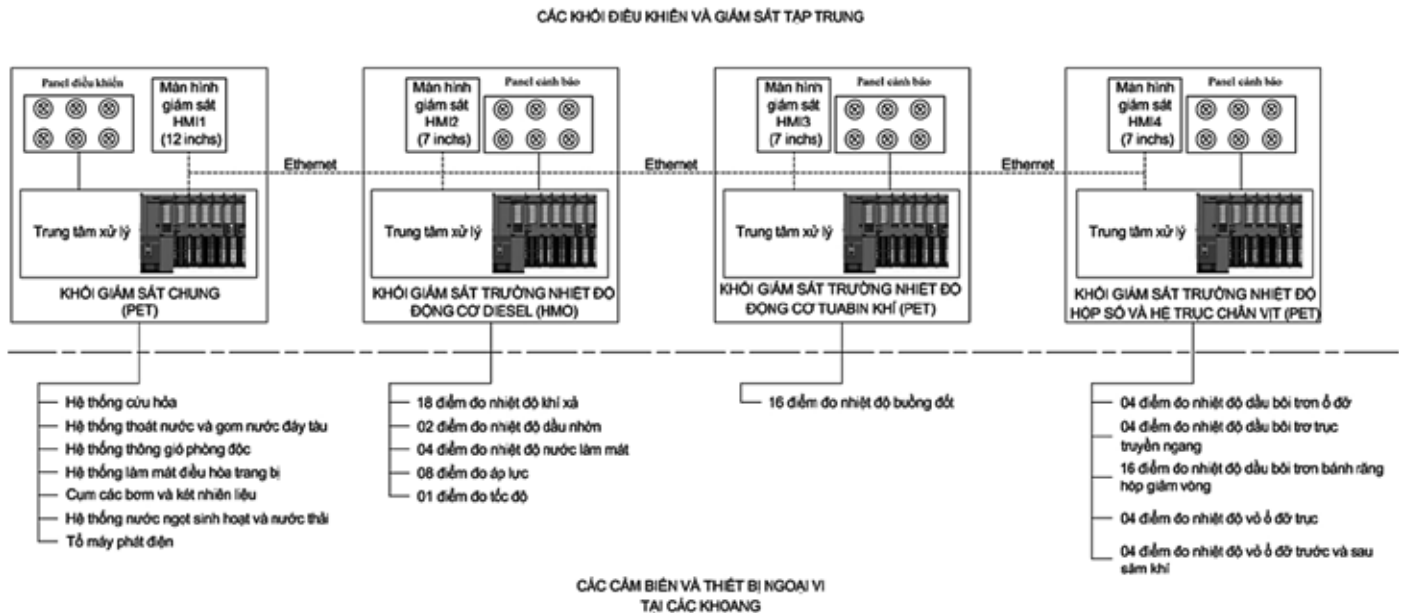
- Bộ điều khiển trung tâm (PLC): Sử dụng PLC Siemens S7-1500, một nền tảng mạnh mẽ và linh hoạt, phù hợp để xử lý đa dạng các loại tín hiệu đầu vào/đầu ra (digital, analog) từ các cảm biến ngoại vi như PT100, Pt1000 và các tín hiệu 0/4-20mA, 0-10V.

- Giao diện người-máy (HMI): Màn hình HMI cảm ứng (7 inch và 12 inch) được sử dụng để hiển thị dữ liệu giám sát một cách tường minh và trực quan.

- Mạng truyền thông: Mạng Profinet và Ethernet công nghiệp được sử dụng để kết nối các khối chức năng, cho phép giám sát tập trung và trao đổi dữ liệu tốc độ cao.

- Thiết bị ngoại vi: Các thiết bị như bộ nguồn cách ly, đèn báo và nút bấm được sử dụng đều có nguồn gốc từ EU, đáp ứng các tiêu chuẩn hàng hải nghiêm ngặt.

Sơ đồ cấu trúc của hệ thống OKS.VN được thể hiện trong Hình 2, bao gồm các khối chức năng chính: Khối giám sát chung, khối giám sát nhiệt độ động cơ diesel, khối giám sát nhiệt độ động cơ tuabin khí và khối giám sát nhiệt độ hộp số và hệ trục chân vịt.



Hình 2. Sơ đồ hệ thống giám sát toàn tàu OKS.VN

Kết quả thử nghiệm cho thấy hệ thống OKS.VN đạt hiệu năng cao với tốc độ xử lý nhanh hơn khoảng 30% so với các hệ thống tương tự trước đây. Đồng thời, độ chính xác của các phép đo lường được cải thiện rõ rệt, đáp ứng yêu cầu kỹ thuật trong giám sát và điều khiển toàn tàu. Thử nghiệm thực tế cũng chứng minh hệ thống có khả năng hoạt động ổn định trong môi trường hàng hải, đảm bảo độ tin cậy và tính sẵn sàng trong điều kiện khai thác khắc nghiệt.

3.2. Phát triển phần mềm và thuật toán xử lý tín hiệu

3.2.1. Thiết kế bộ lọc Kalman

Bộ lọc Kalman là một thuật toán đệ quy ước tính trạng thái của một hệ thống động lực học từ các phép đo chứa nhiễu. Đối với bài toán lọc nhiễu cảm biến, chúng tôi áp dụng bộ lọc Kalman dạng rời rạc cho một hệ thống vô hướng.

* Mô hình hệ thống:

Giả định rằng nhiệt độ thực của cảm biến biến đổi chậm và có thể được mô hình hóa bằng một mô hình hằng số hoặc mô hình nhiệt độ trôi. Ở đây, chúng tôi chọn mô hình đơn giản nhất:

- Mô hình trạng thái:

Phương trình trạng thái của hệ thống được mô tả như công thức (1).

$$x_k = A.x_{k-1} + w_k \quad (1)$$

Phương trình đo lường được mô tả như công thức (2):

$$z_k = H.x_k + v_k \quad (2)$$

Trong đó:

x_k - Trạng thái cần ước tính tại thời điểm k ; z_k - Tín hiệu đo được tại thời điểm k ;

A - Ma trận chuyển đổi trạng thái; H - Ma trận đo lường; w_k - Nhiễu quá trình;

v_k - Nhiễu đo lường.

* Thuật toán Kalman Filter:

Thuật toán được thực thi theo hai bước lặp đi lặp lại cho mỗi mẫu dữ liệu mới: Bước dự đoán và bước cập nhật.

- Bước 1: Dự đoán:

$$\hat{x}_{k|k-1} = A\hat{x}_{k-1|k-1} \quad (3)$$

$$P_{k|k-1} = AP_{k-1|k-1}A^T + Q \quad (4)$$

- Bước 2: Cập nhật:

$$K_k = P_{k|k-1}H^T.(HP_{k|k-1}H^T + R)^{-1} \quad (5)$$

$$\hat{x}_{k|k} = \hat{x}_{k|k-1} + K_k.(z_k - H\hat{x}_{k|k-1}) \quad (6)$$

$$P_{k|k} = (I - K_kH) \cdot P_{k|k-1} \quad (7)$$

* Triển khai trong hệ thống OKS.VN:

Trong hệ thống OKS.VN, bộ lọc Kalman được triển khai trên PLC Siemens S7-1500 với các tham số tối ưu:

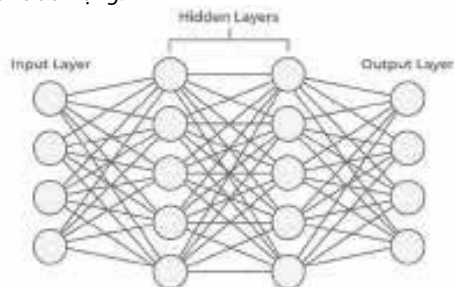
$Q=0.6$: Phản ánh độ biến thiên nhiệt độ của hệ thống; $R=0.64$: Tương ứng với nhiễu đo lường có độ lệch chuẩn 0.8°C

Thuật toán được lập trình trong Function Block Diagram (FBD) của TIA Portal, cho phép xử lý thời gian thực các tín hiệu nhiệt độ từ các cảm biến nhiệt độ trong hệ thống.

3.2.2. Mạng nơ-ron RBF

Mạng nơ-ron hàm cơ sở xuyên tâm được lựa chọn trong nghiên cứu này để thực hiện giai đoạn làm mịn sâu tín hiệu đầu ra từ bộ lọc Kalman. Sự lựa chọn này dựa trên khả năng xấp xỉ hàm phi tuyến mạnh mẽ và tốc độ hội tụ nhanh của mạng RBF so với các kiến trúc mạng nơ-ron truyền thống nhiều lớp khác.

* Kiến trúc mạng:



Hình 3. Kiến trúc mạng nơ-ron RBF

Lớp đầu vào: Lớp này nhận vector thời gian làm biến đầu vào. Vector thời gian này đóng vai trò như các chỉ số chỉ vị trí của điểm dữ liệu trong không gian một chiều.

Lớp ẩn: Lớp này chứa các neuron RBF. Mỗi neuron thứ i trong lớp ẩn có một hàm kích hoạt dạng Gaussian, được định nghĩa bởi (8)

$$\varphi_i(\|t - c_i\|) = \exp(-(\|t - c_i\|^2) / (2 \cdot \sigma_i^2)) \quad (8)$$

Trong đó:

- c_i - Tâm của hàm cơ sở thứ i ;

- σ_i - Tham số quyết định độ rộng hay ảnh hưởng của hàm xung quanh tâm c_i ;

- $\|t - c_i\|$ - Khoảng cách Euclid giữa vector đầu vào t và tâm c_i .

Lớp đầu ra (Output Layer): Lớp này thực hiện tổ hợp tuyến tính các đầu ra của các neuron trong lớp ẩn. Đầu ra cuối cùng của mạng được tính bằng (9).

$$\text{signal}(t) = \sum [w_i \cdot \varphi_i(\|t - c_i\|)] + b \quad (9)$$

Trong đó: w_i - Trọng số kết nối từ neuron ẩn thứ i đến neuron đầu ra và b là hệ số điều chỉnh.

4. KẾT QUẢ

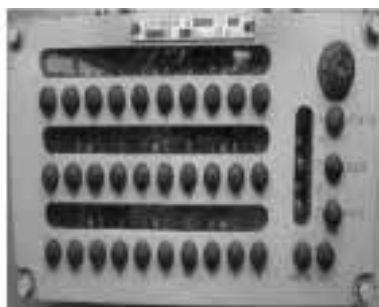
4.1. Phần cứng sau khi cải tiến

Không chỉ dừng lại ở việc khắc phục các hạn chế của hệ thống cũ, giải pháp OKS.VN còn chứng minh ưu thế rõ rệt so với các hệ thống ngoại nhập đang có mặt trên thị trường. Bên cạnh tính năng tương đương phù hợp với điều kiện thực tế trong nước, OKS.VN vượt trội về chi phí vòng đời, khả năng bảo trì và tính chủ động trong làm chủ công nghệ. Kết quả so sánh hệ thống cũ và hệ thống mới được thể hiện trong Bảng 2.

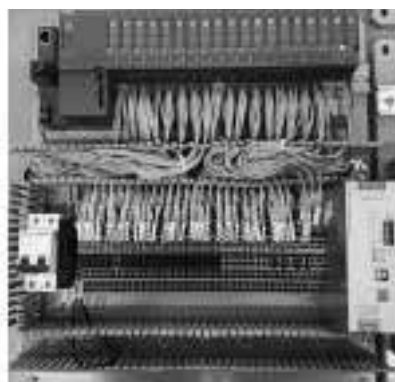
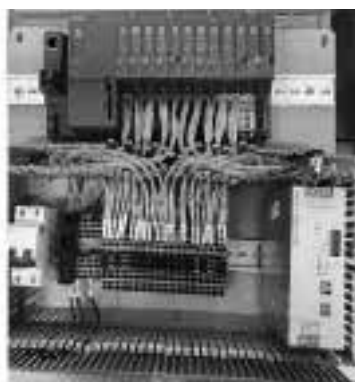
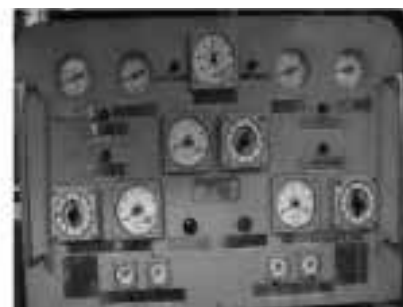
Bảng 2. So sánh giải pháp và công nghệ giữa hệ thống OKS cũ và OKS.VN

Tiêu chí công nghệ	Hệ thống cũ (OKS)	Hệ thống mới (OKS.VN)	Cải thiện
Kiến trúc điều khiển	Mạch logic rơ-le hoặc PLC đời cũ, xử lý phân tán	PLC Siemens S7-1500, xử lý tập trung, cấu trúc mô-đun	Hiện đại, mở rộng dễ
Giao diện HMI	Đèn báo, đồng hồ cơ, không hỗ trợ đồ thị	HMI cảm ứng đa trang, hiển thị đồ thị thời gian thực, hỗ trợ tiếng Việt	Nâng cấp lớn
Thuật toán xử lý	So sánh trực tiếp, không lọc nhiễu, không lưu lịch sử	Lọc nhiễu số, hiệu chỉnh cảm biến, so sánh ngưỡng, ghi log, hướng dẫn xử lý sự cố	Chính xác, giảm cảnh báo sai
Chuẩn giao tiếp	RS-485 hoặc tín hiệu rời	Ethernet/ProfiNet với dự phòng vòng (ring topology)	Tốc độ cao, dự phòng mạng
Bảo mật hệ thống	Không có cơ chế bảo mật	Phân quyền người dùng, mật khẩu bảo vệ HMI/PLC, có thể tích hợp tường lửa mạng	An toàn hơn
Khả năng mở rộng	Cần thay đổi phần cứng, đầu nối thủ công	Thêm mới qua mô-đun I/O hoặc cấu hình phần mềm	Linh hoạt
Chuẩn thiết bị	Linh kiện đa nguồn, không đồng bộ	Linh kiện đạt chuẩn hàng hải EU, đồng bộ từ một nhà sản xuất	Tin cậy hơn
Kết nối với SCADA	Không hỗ trợ hoặc cần giao thức chuyển đổi	Tích hợp trực tiếp với SCADA/Hệ thống giám sát từ xa qua Ethernet	Tích hợp sẵn

Giao diện vận hành của hệ thống OKS cũ còn đơn giản, chủ yếu thông qua đèn báo và đồng hồ kim, thiếu tính trực quan như được minh họa trong Hình 4. Ngược lại, hệ thống OKS.VN mới được thiết kế với các khối điều khiển và giám sát hiện đại, gọn gàng và có tính mô-đun hóa cao, thể hiện rõ qua Hình 5.



Hình 4. Khối điều khiển - giám sát OKS cũ



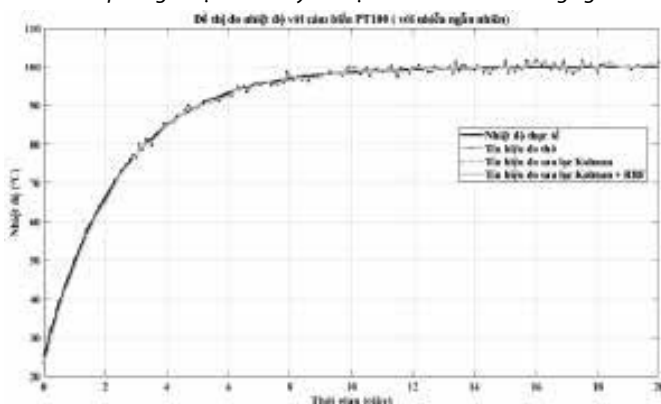
Hình 5. Khối điều khiển - giám sát OKS.VN

So với các giải pháp ngoại nhập hiện nay, hệ thống OKS.VN thể hiện rõ ưu thế về chi phí vòng đời, khi giảm đáng kể chi phí đầu tư ban đầu, chi phí vận hành và đặc biệt là chi phí bảo dưỡng trong suốt quá trình khai thác. Bên cạnh đó, hệ thống được thiết kế phù hợp với điều kiện kỹ thuật và môi trường khai thác trong nước, giúp nâng cao độ tin cậy, khả năng duy tu, sửa chữa tại chỗ, đồng thời hạn chế sự phụ thuộc vào nguồn cung ứng linh kiện và dịch vụ từ nước ngoài.

4.2. Kết quả xử lý tín hiệu đo

Nghiên cứu đã thực hiện mô phỏng để đánh giá hiệu quả của thuật toán xử lý tín hiệu. Các mô phỏng này áp dụng cho tín hiệu nhiệt độ từ cảm biến PT100.

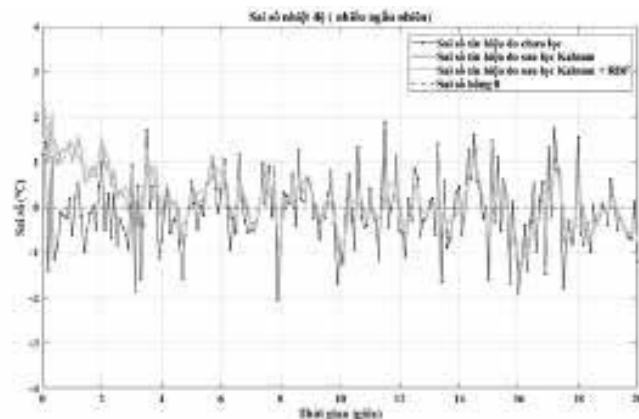
**Mô phỏng thuật toán xử lý tín hiệu đo với nhiễu đo lường ngẫu nhiên:*



Hình 6. Kết quả hiệu chỉnh tín hiệu nhiệt độ cảm biến PT100 bằng bộ lọc Kalman và mạng nơ-ron RBF với trường hợp nhiễu ngẫu nhiên

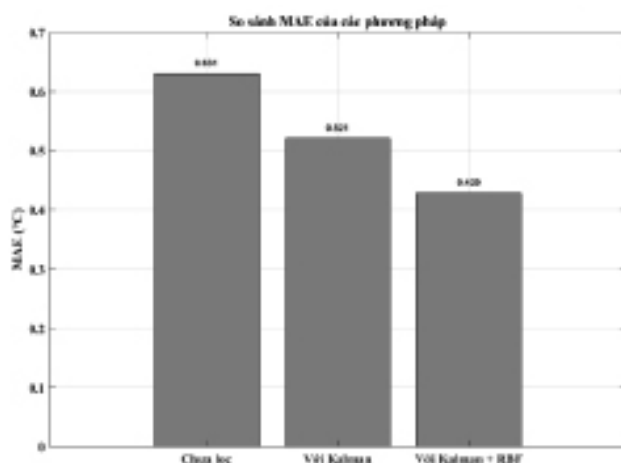
Dựa trên đồ thị Hình 6 có thể thấy tín hiệu nhiệt độ thô (chưa

lọc) có biên độ dao động rất lớn, phản ánh nhiễu đo lường đáng kể. Sau khi áp dụng bộ lọc Kalman, tín hiệu trở nên ổn định hơn rõ rệt, giảm thiểu các nhiễu tần số cao. Khi kết hợp thêm mạng nơ-ron RBF, đường tín hiệu gần như trùng khớp với giá trị thực tế, chứng tỏ khả năng hiệu chỉnh sai số hệ thống và nhiễu phi tuyến vượt trội. Kết quả này khẳng định tính hiệu quả của giải pháp kết hợp Kalman và RBF trong việc nâng cao độ chính xác và độ tin cậy của phép đo nhiệt độ trong hệ thống giám sát.



Hình 7. So sánh sai số của tín hiệu nhiệt độ qua các giai đoạn xử lý với trường hợp nhiễu ngẫu nhiên

Đồ thị Hình 7 thể hiện sai số giữa giá trị đo và giá trị thực tế của cảm biến PT100. Sai số của tín hiệu thô (chưa lọc) dao động mạnh. Bộ lọc Kalman giúp giảm đáng kể biên độ sai số. Kết hợp Kalman và mạng nơ-ron RBF cho kết quả tốt nhất, sai số tiệm cận 0.



Hình 8. So sánh chỉ số MAE của các phương pháp xử lý tín hiệu nhiệt độ với nhiễu ngẫu nhiên

Đồ thị Hình 8 so sánh giá trị trung bình sai số tuyệt đối của tín hiệu nhiệt độ trước và sau khi xử lý. Phương pháp kết hợp bộ lọc Kalman và mạng nơ-ron RBF cho sai số thấp nhất (0,429°C), chứng tỏ hiệu quả vượt trội trong việc nâng cao độ chính xác của phép đo.

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã thành công trong việc thiết kế và chế tạo hệ thống giám sát toàn tàu OKS.VN, một giải pháp công nghệ mang nhiều cải tiến vượt trội so với hệ thống OKS cũ của Nga đang được sử dụng trên các tàu của Quân chủng Hải quân. Thành công này không chỉ là minh chứng cho năng lực làm chủ công nghệ trong nước mà còn khẳng định tiềm năng ứng dụng rộng rãi của hệ thống vào thực tiễn khai thác trên các lớp tàu hiện nay. Đây là một bước tiến quan trọng trong lộ trình hiện đại hóa trang bị, giúp giảm sự phụ thuộc vào các giải pháp công nghệ từ nước ngoài, đồng thời nâng cao tính sẵn sàng chiến đấu và đảm bảo an toàn trong vận hành tàu.

Các kết quả thử nghiệm và mô phỏng đã chứng minh hiệu quả của hệ thống mới:

- *Về phần cứng:* Hệ thống OKS.VN sử dụng nền tảng PLC và HMI hiện đại, có thiết kế mô-đun hóa, giúp tăng tốc độ xử lý, dễ dàng mở rộng và bảo trì. Việc sử dụng linh kiện đạt chuẩn hàng hải phổ biến trên thị trường giúp chủ động nguồn cung và giảm chi phí vòng đời.

- *Về phần mềm và thuật toán:* Việc tích hợp bộ lọc Kalman kết hợp với mạng nơ-ron RBF đã cải thiện đáng kể độ chính xác của dữ liệu giám sát. Các mô phỏng cho thấy giải pháp này có khả năng lọc nhiễu và hiệu chỉnh sai số vượt trội trong cả điều kiện nhiễu ngẫu nhiên và nhiễu điện từ, giúp sai số đo lường tiệm cận 0.

Để tiếp tục hoàn thiện sản phẩm, hướng phát triển trong tương lai sẽ tập trung vào việc thử nghiệm hệ thống trong các điều kiện khai thác khắc nghiệt hơn như môi trường có độ rung xóc, nhiệt ẩm và nhiễu điện từ trường cao. Song song đó, việc nghiên cứu và tăng cường các giải pháp bảo mật mạng và an toàn thông tin là một yêu cầu tất yếu nhằm đảm bảo hệ thống không chỉ mạnh về mặt kỹ thuật mà còn an toàn và bền vững trước các rủi ro về an ninh mạng trong bối cảnh hiện đại.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Aiello, G., Giallanza, A., & Mascarella, G. (2020), Propulsion monitoring system for digitized ship management, *Interdisciplinary Journal of Research and Development*, 9(4), 54-62.

[2]. EAO Group. (n.d.), Human Machine Interface Systems for Marine Applications, Mouser Electronics.

[3]. Naval Air Systems Command. (n.d.), Reliability Control Team, Naval Air Force, U.S. Pacific Fleet.

[4]. Niu, W., & Xu, W. (2009), The Integrated Ship Monitoring Systems: from Small Size to Large Size, *International Workshop on Intelligent Systems and Applications*, 1-4.

[5]. Stoumpos, S., Theotokatos, G., & Mavrelou, C. (2023), Sensor Data Quality in Ships: A Time Series Forecasting Approach to Compensate for Missing Data and Drift in Measurements of Speed through Water Sensors, *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(2), 46.

[6]. DNV GL. (2021), Cybersecurity for industrial automation and control systems (IACS). DNV.

[7]. Liu, Z., et al. (2024), Research on vessel trajectory fusion method based on extended Kalman filter, *Proceedings of SPIE*, 13575.

[8]. Shanmugam, S., & Robert, J. (2015), Automation in Ship Management: Opportunities and Challenges, *International Journal of Engineering Research & Technology*, 4(7), 1-5.

Nghiên cứu hiệu suất khai thác nhóm thiết bị xe nâng tại các dự án đầu tư xây dựng cảng biển container ở Việt Nam

Operational efficiency analysis of forklift equipment in container terminal construction projects in Vietnam

> THS PHẠM HUY TÙNG¹, PGS.TS NGUYỄN LƯƠNG HẢI^{2,*}

¹Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

²Trường Đại học Giao thông vận tải

*Email: hainl@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu hiệu suất khai thác nhóm thiết bị xe nâng tại các dự án đầu tư xây dựng cảng biển container ở Việt Nam - một trong những nhóm thiết bị quan trọng đảm bảo hoạt động xếp dỡ hiệu quả. Thông qua mô hình Hiệu suất thiết bị toàn phần OEE (Overall Equipment Effectiveness), nghiên cứu đánh giá ba yếu tố chính: Mức độ sẵn sàng, hiệu suất và chất lượng của nhóm xe nâng. Kết quả khảo sát trên 159 đối tượng quản lý khai thác (QLKT) thiết bị tại các bến cảng biển container cho thấy mức độ sẵn sàng và chất lượng đạt mức khá, trong khi hiệu suất còn hạn chế. Phân tích hồi quy chỉ ra công tác tổ chức và kiểm soát có ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu suất khai thác, trong khi công tác lập kế hoạch và lãnh đạo có tác động gián tiếp. Kết quả nghiên cứu giúp đưa ra các đề xuất quản lý nhằm nâng cao hiệu quả khai thác xe nâng, góp phần tăng năng suất và giảm chi phí vận hành tại các bến cảng biển container.

Từ khóa: Hiệu suất thiết bị toàn phần (OEE); xe nâng container; quản lý khai thác thiết bị xếp dỡ; cảng biển container; quản trị vận hành.

ABSTRACT

This paper investigates the operational efficiency of Lift-on/Lift-off vehicle at container terminal construction projects in Vietnam, focusing on their critical role in cargo handling activities. Using the Overall Equipment Effectiveness (OEE) model, the study evaluates three key factors: Availability, Performance, and Quality of lift equipment. Survey data from 159 equipment exploitation management personnel at container terminals indicate that availability and quality reach satisfactory levels, while performance remains a concern. Regression analysis reveals that organizational management and control activities have a direct impact on Lift-on/Lift-off vehicle efficiency, whereas planning and leadership have indirect effects. The findings provide practical managerial recommendations to improve Lift-on/Lift-off vehicle utilization, thereby enhancing terminal productivity and reducing operational costs in container terminals.

Keywords: Overall equipment effectiveness (OEE); container lift trucks; handling equipment operation management; container terminal; operational management.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nhóm thiết bị xe nâng là một trong bốn nhóm thiết bị xếp dỡ, cơ giới (TBXDCG) quan trọng, thuộc tuyến hậu phương của các bến cảng biển container. Các hoạt động xếp dỡ của các nhóm TBXDCG trên tuyến hậu phương đều phải phù hợp theo nhu cầu và khả năng của thiết bị tuyến tiền phương nhằm mục đích giải phóng tàu nhanh, tăng lượng tàu ra vào, tăng hiệu quả sử dụng bến cảng và

giảm chi phí cho các hãng tàu.

Nghiên cứu của Kap Hwan Kim và các cộng sự [4] năm 2012 đã đưa ra khái niệm một hệ thống xử lý mới trong các bến cảng container. Nghiên cứu đã chỉ ra sự phát triển liên quan giữa TBXDCG trong các bến cảng container và các hệ thống xử lý mới. Một hệ thống xử lý tại các bến cảng container bao gồm hệ thống xếp dỡ hàng hóa, hệ thống vận tải và hệ thống bãi. Để đáp ứng được nhu

cầu của các tàu container cỡ lớn thì việc cải thiện năng suất đã trở thành vấn đề cấp thiết tại các bến cảng container. Một số hệ thống xử lý mới được áp dụng gồm: Hệ thống vận chuyển (LMCS); hệ thống lưu trữ và truy xuất tự động (AR/RS)... đã đưa ra được giải pháp trong quản lý thiết bị cũng như các vấn đề khác của bến cảng container. Việc đưa những giải pháp quản lý mới trong bến cảng container đã giúp nâng cao hiệu quả quản lý các TBXDCG cũng như quá trình khai thác vận chuyển container tại các bến cảng này. Trong nghiên cứu này chưa chỉ ra được vai trò của QLKT TBXDCG đến hoạt động xếp dỡ hàng hóa tại bến cảng container, vì vậy cần có thêm những nghiên cứu về hoạt động QLKT TBXDCG cả về lý luận và thực tiễn tại bến cảng container.

QLKT TBXDCG nói chung và nhóm thiết bị xe nâng nói riêng là một hoạt động thường xuyên, đóng vai trò quan trọng trong việc đảm bảo hiệu suất hoạt động cao của các bến cảng container. Vì vậy, nghiên cứu QLKT nhóm thiết bị xe nâng trong mối quan hệ với hoạt động QLKT TBXDCG tại các bến cảng container là hết sức quan trọng và có ý nghĩa trong việc cải thiện hiệu suất khai thác nhóm thiết bị xe nâng nói riêng và hiệu suất khai thác của bến cảng container nói chung.

2. TỔNG QUAN NHÓM THIẾT BỊ XE NÂNG HOẠT ĐỘNG TẠI BẾN CẢNG BIỂN CONTAINER

Xe nâng container (Hình 1) là loại thiết bị nâng hạ container qua cơ cấu cẩu (xe nâng phổ thông) hoặc khớp giữ (xe nâng chụp nóc, xe nâng kẹp cạnh) [2]. Có 2 loại chính là xe nâng trước (Forklift) và xe nâng với (Reachstacker), trong đó xe nâng trước (Forklift) thường xếp container thành từng khối (block) hàng, mỗi khối có 2 hàng container. Còn xe nâng với (Reachstacker) xếp mỗi block thành 3 - 4 hàng container. Do vậy, hệ thống xe nâng với (Reachstacker) vẫn tiết kiệm diện tích hơn và đặc biệt là xếp dỡ an toàn hơn so với hệ thống xe nâng trước (Forklift) [3].

Xe nâng ôm container (Straddle carrier) là một phương tiện xếp dỡ linh hoạt có thể được sử dụng cho tất cả các hoạt động liên phương thức như xếp/dỡ hàng lên tàu hỏa, xe tải và xếp các container có chiều cao lên đến 3 tùy thuộc vào phương xe nâng ôm container là cao 3 hay cao 4. Vì vậy, tùy thuộc vào loại xe nâng ôm container, mật độ xếp hàng có thể thay đổi từ 500 đến 700 TEU/ha. Các xe nâng ôm container thường được sử dụng để di chuyển các container cho các cầu tàu để xếp hàng [6].



Xe nâng container hàng (Reachstacker)



Xe nâng ôm container (Straddle carrier)



Xe nâng container rồng (loại chụp nóc)



Xe nâng container rồng (loại kẹp cạnh)

Hình 1. Xe nâng container

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

3.1. Hiệu suất khai thác nhóm xe nâng

Nghiên cứu này vận dụng công thức tính toán hiệu suất thiết bị toàn phần OEE (Overall equipment effectiveness) để đánh giá hiệu suất khai thác của nhóm thiết bị xe nâng. OEE là một chỉ số đo lường được sử dụng trong TPM (Total Productive Maintenance) để chỉ ra mức độ hoạt động hiệu quả của máy móc [5]. OEE phụ thuộc 3 chỉ tiêu: Mức độ sẵn sàng, Hiệu suất và Chất lượng [1].

- Mức độ sẵn sàng (Availability) - A: Sự so sánh giữa thời gian mà máy thật sự tạo ra sản phẩm với thời gian hoạt động tiềm năng (Mức độ sẵn sàng quan tâm tới thời gian chết của máy).

- Hiệu suất (Performance) - P: Sự so sánh giữa đầu ra thực tế với những gì mà máy có thể sản xuất ra trong cùng thời gian (Hiệu suất quan tâm tới tổn thất tốc độ máy).

- Chất lượng (Quality) - Q: Sự so sánh giữa số lượng sản phẩm đáp ứng yêu cầu và các chỉ tiêu kỹ thuật của khách hàng với số lượng sản phẩm được sản xuất (chất lượng quan tâm tới tổn thất về chất lượng).

Việc áp dụng chỉ số Hiệu suất thiết bị toàn phần OEE để đánh giá hiệu suất khai thác cho nhóm xe nâng sẽ bóc tách, đơn giản hóa một sự liên quan phức tạp giữa các yếu tố tác động đến hiệu suất thiết bị toàn phần của từng xe nâng cũng như nhóm xe nâng. Phân tích thực trạng và đánh giá hiệu suất khai thác nhóm xe nâng hàng thuộc các bến cảng container tại Việt Nam trong nghiên cứu này sẽ được thực hiện trên cơ sở đánh giá tổng thể các nội dung và 3 chỉ tiêu đo lường gồm HS3.1 (A), HS3.2 (P) và HS3.3 (Q) (Bảng 1).

Bảng 1. Các chỉ số Hiệu suất thiết bị toàn phần OEE đối với nhóm xe nâng hàng

Mã chỉ tiêu	Nội dung
HS3.1	Mức độ sẵn sàng của Nhóm xe nâng hàng
HS3.2	Mức độ hiệu suất đạt được của Nhóm xe nâng hàng
HS3.3	Mức độ chất lượng của Nhóm xe nâng hàng

3.2. Thu thập dữ liệu

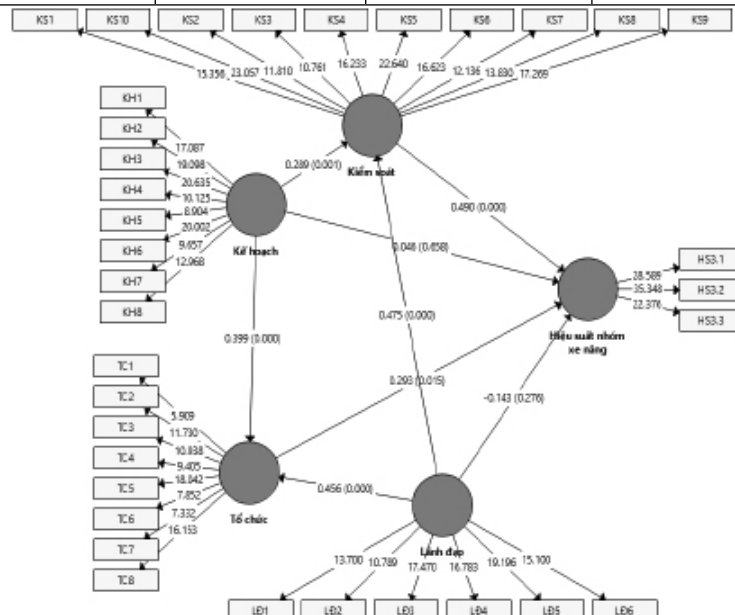
Nghiên cứu tiến hành khảo sát về hiệu suất khai thác nhóm thiết bị xe nâng và thực trạng QLKT TBXDCG đối với 159 đối tượng tham gia công tác QLKT TBXDCG tại các bến cảng container của Việt Nam. Các chỉ tiêu khảo sát liên quan đến thực trạng QLKT TBXDCG bao gồm 4 chức năng QLKT, gồm: Lập kế hoạch khai thác, Tổ chức khai thác, Điều hành/Lãnh đạo triển khai kế hoạch khai thác và Kiểm soát hoạt động khai thác TBXDCG. Thang đo likert 5 mức độ được sử dụng trong nghiên cứu.

4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ BÀN LUẬN

Kết quả phân tích mô tả về các chỉ tiêu đo lường Hiệu suất khai thác của nhóm xe nâng hàng được thể hiện ở Bảng 2 cho thấy mức độ kết quả đạt được của Hiệu suất khai thác của nhóm xe nâng hàng trên ngưỡng trung bình, phân bố trên mức 3.8 điểm thang đo và cho thấy hoạt động QLKT của nhóm xe nâng hàng tại các bến cảng container là đảm bảo yêu cầu chung, tuy nhiên cũng cần phải cải thiện để đáp ứng hiệu suất tổng thể của tất cả các nhóm TBXDCG của bến cảng container. Trong đó, mức độ sẵn sàng của nhóm xe nâng hàng khi xét theo tỷ lệ giữa thời gian khai thác thực tế và thời gian khai thác theo lý thuyết được đánh giá đảm bảo ở mức khá tốt, phân bố quanh giá trị 4.0 điểm thang đo. Trong khi đó, hiệu năng của nhóm xe nâng hàng cho thấy mức đánh giá thấp hơn và ở mức khá, phân bố quanh giá trị 3.9 điểm thang đo. Kết quả này cho thấy giá trị sản lượng thao tác thực tế (bao gồm cả sản lượng container giao nhận, sản lượng container đảo chuyển, sản lượng container kiểm hóa, sản lượng container rút hàng, sản lượng container rỗng) của nhóm xe nâng hàng ở mức khá. Đồng thời, chất lượng khai thác của nhóm xe nâng hàng khi xét theo tỷ lệ tổng sản lượng thao tác thực tế đảm bảo chất lượng yêu cầu so với tổng sản lượng thao tác thực tế cũng được đánh giá khá tốt, phân bố quanh mức giá trị 3.8 điểm thang đo.

Bảng 2. Phân tích mô tả Hiệu suất khai thác nhóm xe nâng hàng

Thứ tự (ID)	Chỉ tiêu (Criteria)	Số lượng mẫu (N)	Giá trị nhỏ nhất (Minimum)	Giá trị lớn nhất (Maximum)	Giá trị trung bình (Mean)	Độ lệch chuẩn (Std. Deviation)
1	HS3.1	159	2,00	5,00	4,0881	.70606
2	HS3.2	159	2,00	5,00	3,9623	.74534
3	HS3.3	159	2,00	5,00	3,8302	.60804



Hình 2. Mối quan hệ giữa hành vi QLKT với hiệu suất nhóm xe nâng

Mặc dù giá trị HS3.3 của nhóm xe nâng hàng đạt giá trị ở mức khá của điểm thang đo nhưng so sánh với giá trị HS3.1 và HS3.2 thì HS3.3 có giá trị thấp nhất. Hơn nữa, theo các khảo sát tại các bến cảng container cho thấy, chưa có sự quan tâm trong việc quản lý, kiểm soát các thông số ảnh hưởng đến giá trị của các chỉ tiêu thành phần A - Tính sẵn sàng, P - Hiệu suất, Q - Chất lượng của Hiệu suất thiết bị toàn phần OEE cho nhóm thiết bị này.

Kết quả phân tích ở Hình 2 cho thấy sự ảnh hưởng có ý nghĩa thống kê giữa các cặp quan sát: (1) Công tác kiểm soát (KS) và Hiệu suất khai thác Nhóm xe nâng (HS3) ($\beta = 0,490, p < 0,000$); (2) Công tác tổ chức (TC) và Hiệu suất khai thác Nhóm xe nâng (HS2) ($\beta = 0,293, p < 0,05$); (3) Công tác lập kế hoạch (KH) và Công tác kiểm soát (KS) ($\beta = 0,289, p < 0,000$); (4) Công tác lập kế hoạch (KH) và Công tác tổ chức (TC) ($\beta = 0,399, p < 0,000$); (5) Công tác điều hành/lãnh đạo (LD) và Công tác tổ chức (TC) ($\beta = 0,456, p < 0,000$). Kết quả này hỗ trợ giả thuyết nghiên cứu H3, trong đó Công tác kiểm soát (KS) và Công tác tổ chức (TC) có sự ảnh hưởng trực tiếp, có ý nghĩa thống kê đến Hiệu suất khai thác Nhóm xe nâng (HS3). Tuy nhiên, kết quả phân tích cho thấy không có sự ảnh hưởng một cách trực tiếp từ Công tác lập kế hoạch, Công tác điều hành/lãnh đạo đến Hiệu suất khai thác Nhóm xe nâng (HS3). Cụ thể, Công tác lập kế hoạch (KH) và Hiệu suất khai thác Nhóm xe nâng (HS3) ($\beta = 0,304, p > 0,05$), Công tác điều hành/lãnh đạo (LD) và Hiệu suất khai thác Nhóm xe nâng (HS3) ($\beta = 0,223, p > 0,05$). Kết quả phân tích cho thấy, Công tác lập kế hoạch và Công tác điều hành/lãnh đạo ảnh hưởng gián tiếp đến Hiệu suất khai thác Nhóm xe nâng (HS3) thông qua Công tác kiểm soát và Công tác tổ chức. Đồng thời, chỉ số VIF (Variable Inflation Factors) được kiểm tra để đo lường mức độ đa cộng tuyến giữa các biến độc lập trong mô hình hồi quy. Kết quả phân tích cho thấy các giá trị VIF đều nhỏ hơn 3,409, giá trị này nhỏ hơn so với ngưỡng 10 theo đề xuất của Hair và cộng sự [7], kết quả này cho thấy không có

hiện tượng đa cộng tuyến giữa các biến độc lập. Mô hình hồi quy có thể giải thích được 43,7% sự khác biệt có ý nghĩa thống kê đối với Hiệu suất khai thác Nhóm xe nâng (HS3) tại các bến cảng container.

Kết quả phân tích mô hình ảnh hưởng của các nhóm hành vi quản lý với Hiệu suất khai thác Nhóm xe nâng cho thấy: Công tác tổ chức và Công tác kiểm soát ảnh hưởng trực tiếp đến Hiệu suất khai thác của Nhóm xe nâng. Kết quả này cũng được giải thích hợp lý tương tự như Nhóm cầu bãi khi phân tích thực tiễn QLKT Nhóm xe nâng.

Thực tế hoạt động khai thác của xe nâng hàng cho thấy, do khả năng làm việc rất linh hoạt và phạm vi rộng, tính cơ động cao hơn so với cầu bãi nên Công tác kiểm soát là quan trọng nhất trong các chức năng quản lý. Thực tế tại các bến cảng container ở Việt Nam cho thấy, người điều khiển xe nâng hàng làm việc độc lập và chủ động trong ca làm việc của mình, không có người giám sát trong quá trình thực hiện, chỉ có sự giám sát bởi hệ thống phần mềm quản lý. Người điều khiển xe nâng hàng thực hiện sắp xếp container theo kế hoạch đã được bộ phận kế hoạch bãi xây dựng giao cho để thực hiện, không bị ảnh hưởng bởi công tác điều hành/lãnh đạo xếp dỡ trong ca làm việc. Để việc khai thác của xe nâng hàng được hiệu quả, tránh đảo chuyển nhiều lần và phù hợp với tình hình sản xuất cụ thể thì cần phải giám sát, kiểm soát chặt chẽ người điều khiển phương tiện trong ca làm việc. Với khả năng làm việc rất linh hoạt và cơ động, xe nâng hàng có thể vừa mang hàng vừa di chuyển, tuy nhiên bến cảng cần quy định và giám sát chỉ cho phép xe nâng sắp xếp container trong một luống và có thể vừa mang hàng vừa di chuyển khi sắp xếp container giữa hai luống liền kề, tránh việc mang container từ bãi này sang bãi khác ảnh hưởng lớn đến độ bền và tuổi thọ của xe nâng.

Công tác tổ chức khai thác TBXDCG phụ thuộc vào từng thời điểm làm việc của bến cảng container. Quy mô phân bổ phương tiện và người điều khiển phương tiện để làm hàng khi có tàu thông thường theo định mức, tuy nhiên tùy vào thời điểm làm tàu khác nhau mà bố trí tăng hoặc giảm số lượng người điều khiển phương tiện và xe nâng hàng. Trong các trường hợp số lượng xe nâng của bến cảng không đáp ứng đủ yêu cầu thực tế khai thác thì có thể thuê/mượn từ các đơn vị trong nội bộ Tổng công ty/Công ty mẹ (như cụm cảng Nam Hải Đình Vũ và Nam Đình Vũ thuộc Công ty Cổ phần GEMADEPT khu vực phía Bắc hay các chi nhánh Cảng Chùa Vẽ và Cảng Tân Vũ thuộc Công ty Cổ phần cảng Hải Phòng), hoặc đối với các bến cảng mới đi vào hoạt động như Cảng MIPEC, lượng hàng container thông qua bến cảng chưa nhiều, tần suất khai thác thấp, mức độ yêu cầu sử dụng TBXDCG chưa cao và chưa đầu tư đầy đủ các TBXDCG nên phải thuê ngoài TBXDCG.

Đồng tình với thực tế đó, tác giả Trương Quốc Hùng [2] cũng đề xuất, ngoài việc mua thêm thiết bị thì cũng cần tăng cường thuê thiết bị tuyến hậu phương, xe đầu kéo để giảm hiện tượng ùn ứ ở tuyến hậu phương khi nhiều khách hàng yêu cầu lấy hàng, hạ bãi tại bến cảng. Trong trường hợp không có tàu vào làm hàng thì cần phải tổ chức bố trí người điều khiển phương tiện và xe nâng hàng để sắp xếp, rời dọn container hàng và container rỗng tại các bãi để bãi sẵn sàng đón tàu mới. Mặt khác, Nhóm xe nâng thông thường cũng được khai thác liên tục trong quỹ thời gian hoạt động của năm, một mặt đảm bảo phối hợp nhịp nhàng với các nhóm TBXDCG khác mỗi khi làm hàng để giải phóng tàu, đồng thời ngoài thời gian trực tiếp làm hàng thì Nhóm xe nâng cũng được khai thác thường xuyên để đảm bảo sắp xếp container lên xe đầu kéo tại bãi tập kết, hoặc sắp xếp, đảo chuyển container tại bãi, hoặc luân chuyển container giữa các bãi tập kết một cách hợp lý nhằm đảm bảo bãi tập kết sẵn sàng phục vụ. Đặc biệt, tại một số bến cảng container như Cảng GREEN

PORT, Cảng MIPEC, Cảng Hải An, Cảng PTSC Đình Vũ không trang bị cầu bãi mà chỉ trang bị xe nâng cho các thiết bị làm hàng trên bãi, do đó xe nâng sẽ phải đảm nhiệm thêm cả nhiệm vụ của cầu bãi. Mặt khác, Nhóm xe nâng có khả năng hoạt động linh hoạt hơn Nhóm cầu bãi vì khả năng di chuyển linh hoạt trên phạm vi rộng, công tác tổ chức quy hoạch, sắp xếp, đảo chuyển container của xe nâng sẽ ảnh hưởng đến số lần nâng hạ container, ảnh hưởng đến quãng đường vận chuyển, thời gian vận chuyển container và ảnh hưởng đến hiệu suất khai thác của xe nâng.

Đối với hoạt động bảo trì xe nâng, trên cơ sở quy định của bến cảng về định mức và định kỳ bảo trì xe nâng, để tiến hành hoạt động sửa chữa, bảo dưỡng phải thông qua công tác tổ chức kiểm tra, giám sát các thông số hoạt động như số km chạy, số tấn/TEU xếp dỡ, số giờ hoạt động của xe nâng. Nếu số liệu hoạt động của các cụm thiết bị của xe nâng hàng đạt định mức bảo trì thì phải lập kế hoạch và tổ chức thực hiện việc bảo trì theo quy định, trường hợp phát hiện hư hỏng đột xuất phải tổ chức sửa chữa kịp thời. Trong quá trình bảo trì xe nâng đòi hỏi người giám sát có chuyên môn, nghiệp vụ, đủ khả năng trực tiếp giám sát công tác bảo trì xe nâng đảm bảo chất lượng. Công tác tổ chức phân cấp vai trò của các bộ phận chức năng, số lượng người tham gia bảo trì xe nâng sẽ quyết định mức độ hoàn thành công tác bảo trì theo kế hoạch, đảm bảo tính sẵn sàng và nâng cao hiệu quả làm việc, nâng cao hiệu suất khai thác của xe nâng.

Do đó, tổ chức và kiểm soát chặt chẽ hoạt động sử dụng và bảo trì của Nhóm xe nâng sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến Hiệu suất khai thác của Nhóm xe nâng; Công tác lập kế hoạch và Công tác điều hành/lãnh đạo cũng cho thấy sự ảnh hưởng gián tiếp đến Hiệu suất khai thác của Nhóm xe nâng thông qua Công tác tổ chức và Công tác kiểm soát đối với Nhóm xe nâng.

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã chỉ ra rằng, việc QLKT nhóm thiết bị xe nâng tại các bến cảng biển container có ảnh hưởng đáng kể đến hiệu suất hoạt động chung của bến cảng. Việc áp dụng chỉ số OEE cho phép đánh giá chi tiết các yếu tố ảnh hưởng tới hiệu suất, trong đó công tác tổ chức và kiểm soát là những yếu tố có tác động trực tiếp, còn công tác lập kế hoạch và lãnh đạo tác động gián tiếp. Kết quả nghiên cứu cho thấy cần chú trọng hơn vào việc kiểm soát và tổ chức khai thác xe nâng để nâng cao hiệu suất nhóm thiết bị này, từ đó tối ưu hóa quá trình xếp dỡ container và giảm chi phí vận hành.

Những khuyến nghị quản lý được đề xuất là cơ sở thực tiễn để các bến cảng biển container cải thiện hiệu quả sử dụng thiết bị xe nâng hàng được đầu tư theo dự án và nâng cao năng lực cạnh tranh của các bến cảng biển container ở Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Chương trình Quốc gia (2018), Nâng cao năng suất và chất lượng sản phẩm, hàng hóa của doanh nghiệp Việt Nam đến năm 2020: Duy trì hiệu suất thiết bị tổng thể - TPM, NXB. Hồng Đức.
- [2]. Trương Quốc Hùng (2016), Một số giải pháp chủ yếu nâng cao hiệu quả xếp dỡ container cảng VICT năm 2016 - 2020, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.
- [3]. Nguyễn Thanh Thủy (2012), Giáo trình Kinh tế cảng, NXB. Thống kê.
- [4]. Kim* K. H., Phan M.-H. T. and Woo Y. J. (2012), New Conceptual Handling Systems in Container Terminals. Industrial Engineering & Management Systems, 11: 299-309.
- [5]. O'Brien M. (2015), TPM and OEE. University of Limerick, Ireland: LBS Partners.
- [6]. Rodrigue J.-P. and Notteboom T., (2008), The geography of containerization: Half a century of revolution, adaptation and diffusion, GeoJournal.
- [7]. Hair Jr J., Anderson R., Tatham R. and Black W. (1998), Multivariate data analysis. 5th Intl. ed Prentice Hall Upper Saddle River. NJ.

IFC5: Kỳ vọng về cuộc cách mạng trao đổi thông tin trong xây dựng kỹ thuật số

IFC5: Expectations on the information exchange revolution in digital construction

> **THS.KS TRẦN THỊ MINH THU**

Công ty TNHH MT Hojgaard Vietnam,

NCS Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Đại học Bách khoa - ĐH Quốc gia TP.HCM

TÓM TẮT

Trong ngành Xây dựng, quy trình làm việc được số hóa đã và đang giúp nâng cao hiệu quả việc hợp tác và trao đổi thông tin xuyên suốt các giai đoạn của vòng đời dự án. Thông tin được chia sẻ với các bên về công trình không chỉ bao gồm thiết kế kiến trúc, kết cấu, cơ điện mà còn bao gồm các số liệu về thi công và vận hành. Tính tới hiện tại, OpenBIM với định dạng IFC4 và IFC2x3 đã có hơn một thập kỷ phát triển và tương thích với hầu hết các phần mềm mô hình thiết kế trong ngành Xây dựng. Tuy nhiên file IFC cho tới nay vẫn bộc lộ một số hạn chế trong quá trình sử dụng về khả năng hiển thị mô hình dung lượng lớn và chưa sẵn sàng cho việc tích hợp dữ liệu theo thời gian thực của các công nghệ mới như bản song sinh kỹ thuật số (Digital Twin) hay Đô thị thông minh (Smart City). Nhằm giải quyết những vấn đề này, BuildingSmart phối hợp với các nhà phát triển phần mềm đang xây dựng một định dạng mới có tên IFC5, được kỳ vọng sẽ là một cuộc cách mạng trao đổi thông tin cho ngành Xây dựng công trình. Bài báo này ngoài việc phân tích các khó khăn hiện tại trong mô hình trao đổi thông tin sử dụng IFC2x3, IFC4, còn giới thiệu định dạng mới IFC5. Định dạng này được kỳ vọng có khả năng hiển thị mô hình nhanh và sắc nét hơn, hỗ trợ truy xuất tác quyền của từng thay đổi thiết kế theo thời gian thực, đồng thời sẵn sàng tích hợp với các công nghệ mới dựa trên mô hình thông tin. Những nỗ lực đang tiến hành cho sự ra đời của IFC5 không chỉ đảm bảo trao đổi thông tin mô hình hiệu quả và thông suốt, mà còn đảm bảo tính tương thích cao với các phiên bản trước đây và hoạt động trơn tru trong các môi trường chia sẻ dữ liệu đang được áp dụng rộng rãi.

Từ khóa: IFC5, BIM, ISO 16739-1, trao đổi thông tin, hệ thống thành phần thực thể, bản song sinh kỹ thuật số.

ABSTRACT

In the construction industry, digitized workflow has been increasingly enhancing the efficiency of collaboration and information exchange throughout the entire project lifecycle. Information shared among stakeholders encompasses not only architectural, structural, and MEP (mechanical, electrical, plumbing) design but also includes construction and operation. Until now, OpenBIM formats such as IFC4 and IFC2x3 have been developed for over a decade and are compatible with the majority of design modeling software in construction industry. However, IFC files continue to exhibit a certain limitation in their usability, particularly in handling large-scale models as well as their readiness for real-time data integration required by emerging technologies such as Digital Twin and Smart City. To address these issues, BuildingSmart collaborates with global software developers in constructing a new format called IFC5, which is expected to revolutionize information exchange in the construction industry. This study not only analyzes current challenges associated with data exchange models based on IFC2x3 and IFC4 but also highlights that the future IFC5 format will enable faster and more detailed model visualization, real-time intellectual property tracking of design changes, and be prepared for integration with future advanced technologies based on Building Information Modeling (BIM). Given the growing efforts on emergent IFC5 not only ensures efficient and seamless information exchange of the model but also guarantees high compatibility with preceding versions and smooth operation in widely adopted common data environments.

Keywords: IFC5, BIM, ISO 16739-1, information exchange, ECS, Digital Twin.

1. GIỚI THIỆU

Kể từ khi công nghệ cho phép việc thiết kế công trình ứng dụng công nghệ BIM, chúng ta đã chứng kiến sự phát triển nhanh chóng và đa dạng các phần mềm thiết kế theo phương pháp xây dựng mô hình, sử dụng nhiều định dạng file dữ liệu khác nhau. Trong tổng thể thiết kế của một công trình, kiến trúc, kết cấu, cơ điện, mô hình đào đắp đất, v.v... cần trao đổi thông tin mô hình qua lại với nhau thông qua một

định dạng file duy nhất nhằm tăng tính chính xác và linh hoạt trong việc cập nhật thay đổi thiết kế. Định dạng này cần không mang tính độc quyền, có độ tương thích cao với các phần mềm và cho phép hiển thị thiết kế 3D nhanh chóng trên các nền tảng thông dụng như trang web và các thiết bị cầm tay. Thời kỳ đầu, định dạng đáp ứng được yêu cầu về chia sẻ mô hình thông tin được lựa chọn là STEP. Tuy nhiên nhược điểm của STEP là dung lượng file lớn khiến cả việc xuất bản và nhập tập tin

trao đổi vào mô hình làm việc đều mất quá nhiều thời gian, không đáp ứng được nhu cầu thực tiễn. Trước khi BuildingSmart phát triển và công bố chuẩn IFC, lịch sử phát triển của ngành Xây dựng nói chung ghi nhận một số định dạng phổ biến được sử dụng là: .dwg, .iges, .step, và .dgn. Với danh sách lên tới 473 phần mềm có khả năng tương thích, IFC đã được ghi nhận là chuẩn phổ biến nhất về chia sẻ thông tin mô hình tính tới thời điểm hiện tại trong ngành ACEO (Kiến trúc, thi công, kỹ thuật, vận hành) [1]. BuildingSmart xây dựng và phát triển định dạng này theo tiêu chuẩn ISO 16739-1:2018 và 2024 [2].

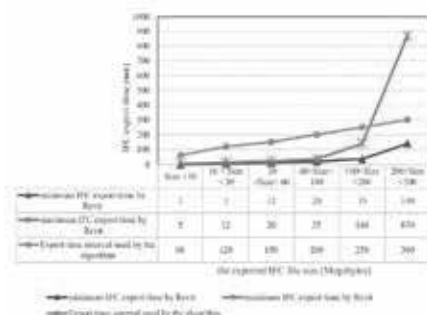
2. IFC QUA TỪNG THỜI KỲ PHÁT TRIỂN

Quá trình phát triển của định dạng IFC qua từng thời kỳ cho tới thời điểm hiện tại không ngừng tăng lên nhưng cũng chưa có đột phá đáng kể:

- IFC1.0 (năm 1997): Nền tảng cơ sở để các hệ thống phần mềm mô hình hóa triển khai.
- IFC2x (2000-2003): Bổ sung danh mục đối tượng, bắt đầu được áp dụng rộng rãi trong ngành Xây dựng.
- IFC2x3 (2006): Đột phá về mức độ chi tiết của hình học cho từng bộ môn thiết kế, tăng thuộc tính vật liệu. Được ứng dụng rất phổ biến để trao đổi thông tin mô hình.
- IFC4 (2010): Cải thiện tính nhất quán của thông tin trao đổi giữa các phần mềm BIM khác nhau.
- IFC4x3 (2013): Tương thích tốt hơn cho đô thị thông minh và thiết kế hạ tầng. Tích hợp GIS (Geographic Information system).

So với STEP, ưu điểm vượt trội của chuẩn IFC là dung lượng file giảm đáng kể đồng thời lại chứa lượng thông tin mô hình lớn hơn [3], điều này dựa trên tính mở hoàn toàn của nó. IFC có thể được mở xem bằng phần mềm đọc văn bản đơn giản như Notepad, ưu điểm này giúp thiết bị, máy móc và công nghệ thi công kỹ thuật số có thêm cơ sở để mở rộng tính tương thích với phần mềm đặc thù. Ngoài ra người dùng cũng như các hãng phần mềm có thể dựa trên nền .ifc để phát triển các công cụ tương tác với một nhóm các file mà không bị phụ thuộc vào phần mềm khởi tạo.

Tuy nhiên, cùng với yêu cầu ngày càng cao từ việc ứng dụng mô hình hóa công trình, độ lớn của công trình và mức độ chi tiết của thiết kế tăng lên có ảnh hưởng đáng kể tới tốc độ xuất bản file IFC. Thực nghiệm của Sobhan Kouhestanib [3] chỉ ra thời gian cần thiết để xuất bản mô hình .ifc tăng đột biến như trong Hình 1, đường nối màu cam, khi mô hình có dung lượng file lớn hơn 100MB. Lưu ý rằng một công trình thiết kế chi tiết nhà công nghiệp đạt LOD300 có dung lượng file Revit cho hạng mục thiết kế kiến trúc trung bình là 150MB. Nguyên nhân của sự gia tăng này được BuildingSmart giải thích một phần là do tính kế thừa của IFC từ STEP. Kết cấu dữ liệu nguyên khối của định dạng STEP khi kết hợp với kỹ thuật mô hình mới được cải tiến của các phần mềm BIM hiện nay làm cho sơ đồ cấu trúc file trở nên khó quản lý. Điều này khiến người sử dụng cũng như các nhà phát triển phần mềm gặp thách thức khi muốn tích hợp các tính năng mới của phần mềm gốc vào file IFC cơ bản.



Hình 1. So sánh thời gian xuất bản file IFC theo dung lượng [3]

Độ phức tạp của file IFC tăng lên cũng đồng nghĩa với việc tăng dung lượng của chính file .ifc đó sau khi xuất bản. Khi nhiều mô hình IFC dung lượng lớn được tải lên môi trường dữ liệu chung (các bộ môn kiến trúc, kết cấu, điện nước, đào đắp, chế tạo sản xuất), kỳ vọng hiển thị tất cả các mô hình trực quan tốc độ xử lý mượt mà trên nền tảng web của máy tính và trên các thiết bị cầm tay nhỏ gọn như máy tính bảng và điện thoại (sử dụng dữ liệu di động) là một thử thách. Ví dụ thực tế là một công trình tòa nhà văn phòng AL Nord tại Copenhagen, Đan Mạch có tổng số 52 mô hình được đưa lên cùng một vị trí tọa độ trong CDE, từ giai đoạn thiết kế đến sản xuất và thi công của từng bộ môn (Hình 2).



Hình 2. Công trình tòa nhà văn phòng AL Nord với 52 mô hình được chia sẻ trên CDE (Công ty MT Hojgaard A/S)

Ngoài các yếu tố hình học, về thuộc tính đối tượng, ISO19650 [4] quy định rõ việc gán trách nhiệm của từng bên tham gia công trình như một phần thông tin của mô hình khi tải lên CDE. Tiêu chuẩn này cũng yêu cầu việc theo dõi được các thay đổi trong thiết kế và truy xuất thông tin tác giả và người tham gia quá trình chỉnh sửa đối tượng. IFC2x3 (phát hành năm 2006) lúc này bộc lộ điểm yếu khi cấu trúc phân chia dữ liệu còn đơn sơ, không có sẵn thông tin tác giả và phụ thuộc vào việc người dùng phần mềm BIM phải viết thêm các phần mở rộng để chỉnh sửa, xuất thêm dữ liệu thuộc tính của đối tượng hoặc diễn thêm thông tin vào file một cách thủ công. Từ phiên bản IFC4, thuộc tính liên quan tới tác quyền của đối tượng đã được đưa vào: IFC_role, IFC_Building, v.v... Tuy nhiên, để tiến tới BIM level 3 [5], mô hình cần đảm bảo khả năng phối hợp thiết kế giữa các bộ môn tại thời gian thực và phân chia tác quyền cụ thể trong mô hình làm việc chung trên nền dữ liệu đám mây, điều mà IFC4 không đáp ứng được nếu còn dựa trên mô hình cấu trúc nguyên khối của định dạng STEP.

Những năm gần đây, nhiều nghiên cứu và đề xuất đã được đề cập nhằm khắc phục những nhược điểm của file IFC trong trao đổi thông tin thiết kế như: đề xuất trao đổi dữ liệu mô hình trực tiếp từ máy tính nội mạng dựa trên nguyên lý “trải phẳng” định danh đối tượng (GUID) và gắn với một file chủ; hay chia sẻ dữ liệu dựa trên nguyên lý chuỗi khối (blockchain): các bên tham gia cập nhật thay đổi thiết kế của mình vào các chuỗi khối đồng thời toàn bộ lịch sử của dự án được lưu trữ trong một chuỗi khối duy nhất và không thể thay đổi (decentralized data environment) [6]. Các đề xuất này nhằm giảm tải lượng thông tin trùng lặp của mô hình thiết kế cũng như bảo đảm tác quyền và tính minh bạch của thông tin. Tuy nhiên, dù các ý tưởng trên đã xuất hiện từ năm 2019, cho tới nay, về mặt công nghệ, chưa có sản phẩm đột phá nào trong lĩnh vực BIM từ các công ty phần mềm khẳng định rõ nét hơn tính khả thi của các đề xuất.

Cùng trong khoảng thời gian này, BuildingSmart đã lập kế hoạch chi tiết và triển khai dự án IFC5 phối hợp cùng cộng đồng các nhà phát triển phần mềm đồ họa. Tới nay, bản alpha của IFC5 đã hoàn thành và Công ty ACCA đã công bố bản viewer đầu tiên dùng để xem nội dung của ifc5 tại đường dẫn <https://ifc5.usbim.com/>. Vậy IFC5 đã và đang được phát triển như thế nào?

3. IFC5, KẾT HỢP CÔNG NGHỆ VÀ BẢO TOÀN TIỆN ÍCH

Trước hết, IFC5 không phải là bản nâng cấp của IFC4, dự án này được phát triển độc lập và song song với phát hành các phiên bản

IFC4.1 đến 4.4. Quá trình xây dựng IFC5 giới thiệu một loạt những cải tiến và hiệu ứng mới giúp định dạng này có thể đạt được các thành tựu sau:

- Khả năng hiển thị mô hình phức tạp và có độ chi tiết cao nhanh hơn hàng trăm lần. Đây là kết quả của sự kết hợp của nguyên lý hệ thống thành phần thực thể (Entity component system) và hiển thị đồ họa theo nguyên lý USC (Universal Scene Description).
- Nhiều tác giả có thể tham gia làm việc trên cùng một tập dữ liệu dùng chung. Thông tin hình học và các dữ liệu thuộc tính khác được lưu trữ rõ ràng, có lịch sử đầy đủ. Giữ được tính năng so sánh 2 phiên bản khác nhau như các bản IFC trước đây.
- Tích hợp được file GIS (Geographic Information system) sử dụng phổ biến trong thiết kế hạ tầng và cả bản quét hiện trạng point cloud.
- Chuẩn bị cơ sở cho nhu cầu xuất bản dữ liệu cho bản sao kỹ thuật số Digital Twins và vận hành thành phố thông minh (Smart City) trong tương lai.

Nguyên lý của định dạng IFC5 là đơn giản hóa cấu trúc, chia nhỏ mô hình tới thực thể, sau đó tạo mối liên hệ với nhau (Hình 3, 4). Công nghệ này được gọi là ECS (Entity component system) trong đó entity là ID duy nhất riêng cho đối tượng trong mô hình (được đặt tên bằng một chuỗi ký tự không đọc bản), component là gói dữ liệu phản ánh thuộc tính của đối tượng và system là logic liên kết các entity và component với nhau. Nhờ mô hình này, tốc độ xử lý dữ liệu của IFC5 được dự kiến giảm xuống hàng chục tới hàng trăm lần so với tốc độ xử lý của file ifc hiện tại vốn sử dụng cấu trúc file nguyên khối từ STEP (monolithic). Mô hình tải lên CDE lúc này đủ phức tạp tới mức có thể bao gồm toàn bộ thiết kế của tòa nhà công trình và cả hạ tầng xung quanh.



Hình 3. Cấu trúc nguyên khối dạng đơn monolithic phân biệt với cấu trúc đa thực thể ECS [7]



Hình 4. Mô hình ECS, dữ liệu được lưu trữ thành từng gói nhỏ và có mối liên hệ với nhau

Về hiển thị đồ họa, IFC5 lựa chọn phương án quy về các phần tử tam giác để giảm độ phức tạp, giúp tốc độ xử lý dữ liệu nhanh chóng và hỗ trợ số lượng lớn người sử dụng. Ngoài ra, IFC5 còn sử dụng nguyên lý của công nghệ USC đang được hãng phim hoạt hình Pixar áp dụng cho phép nhiều họa sĩ cùng tham gia vẽ phim 3D tại một thời điểm trên một mô hình chung lớn và kiểm soát được các thay đổi thiết kế. Khác với các phiên bản trước, với IFC5, thuộc tính hình học của đối tượng sẽ không phải định nghĩa lại trong từng file mà mang tính kế thừa từ phiên bản trước, giúp giảm đáng kể lượng thông tin cần tải lên khi có thay đổi thiết kế.

Để giải thích về USC [8], chúng ta hình dung thiết kế được tạo lập từ rất nhiều "lớp" trong suốt xếp chồng lên nhau, mỗi lớp thuộc về một tác giả. Một đối tượng có thể được tác động bởi nhiều tác giả thiết kế tại cùng thời điểm. Nhờ thông tin được lưu trữ trong "lớp", việc truy xuất lịch sử và so sánh thay đổi là hoàn toàn kiểm soát được. Phương pháp này hoạt động cùng với ràng buộc về phạm vi quyền hạn của từng tác giả (ví dụ kỹ sư thiết kế điện) nhằm kiểm soát được các thuộc tính đặc

biệt thay vì phải định nghĩa lại toàn bộ dự án khi có thay đổi thiết kế xảy ra (với trường hợp sử dụng file). Khác biệt lớn nhất là USC sử dụng hệ nhị phân còn IFC5 được lựa chọn phát triển với JSON nhằm tiếp tục hỗ trợ thông tin dạng-chữ-con-người-có-thể-đọc và thêm GUID vốn là lợi thế trong trao đổi dữ liệu thông tin của các phiên bản trước.

Nhu cầu về mô hình của thiết kế ứng dụng BIM hiện nay không dừng ở một công trình đơn lẻ. Mô hình công trình đạt mức độ chi tiết và chân thực cao còn có khả năng tối ưu hóa thiết kế hơn nữa khi được đặt đúng tọa độ thực tế và tương tác với bản quét hiện trạng pointcloud. Hệ thống thông tin địa lý GIS (Geographic Information Systems) và pointcloud đều là dữ liệu được mô phỏng dạng lưới và điểm, tương thích với chuỗi hình học tam giác và cấu trúc component được lựa chọn phát triển IFC5. Với những quy định về ứng dụng và phổ cập BIM trong thiết kế như hiện nay, không lâu nữa nhu cầu kết nối các mô hình công trình tạo thành cơ sở dữ liệu của một thành phố thông minh hay tương tác nhiều hơn với các số liệu ghi nhận tại thời điểm thực sẽ rõ nét (Digital Twin, Smart City). IFC5 kỳ vọng sẽ đáp ứng được yêu cầu này trong thời gian dài hạn, lên tới "hàng thập kỷ", như cách David Delgado Vendrell, điều phối kỹ thuật của Công ty BuildingSmart nhấn mạnh [7].

Dù được phát triển độc lập và thậm chí có thể sẽ mang một cái tên hoàn toàn mới (không bao gồm chữ "IFC") để đánh dấu bước phát triển quan trọng, IFC5 vẫn không nhằm phủ nhận các phiên bản trước. Những cải tiến trong IFC4.x đặc biệt với công trình hạ tầng và kết cấu dạng cấu kiện là rất cần thiết và cần được kế thừa trong phiên bản mới. Ngoài ra, để đảm bảo các mô hình thiết kế công trình trước đây vẫn có thể được sử dụng trong các dự án lân cận, mô hình dữ liệu tổng thể, hoặc phục vụ cho công tác vận hành và bảo trì, BuildingSmart cần phát triển công cụ chuyển đổi các tệp IFC phiên bản cũ sang định dạng tương thích với IFC5.

4. KẾT LUẬN

Kể từ khi bản kế hoạch chiến lược về IFC5 được công bố vào năm 2019, dự án đã nhận được sự ủng hộ và đóng góp sôi nổi từ các nhà phát triển phần mềm đồ họa. Bên cạnh đó là cam kết đồng hành của BuildingSmart và các đối tác trong suốt hơn 5 năm thực hiện liên tục. Dù vẫn còn một số câu hỏi cần được làm rõ chẳng hạn như: IFC5 sẽ thể hiện mức độ mở ra sao khi phải cạnh tranh với định dạng hoàn toàn khác là .dgn của Bentley, vốn rất phổ biến trong thiết kế hạ tầng; hay khi nào sản phẩm hoàn chỉnh sẽ chính thức được ban hành, nhưng với một kế hoạch rõ ràng cùng những thành tựu đã đạt được cho đến nay, chúng ta có thể kỳ vọng rằng công nghệ BIM sẽ sớm có một bước phát triển đột phá, mở ra nhiều khả năng ứng dụng mới cho thông tin mô hình trong suốt vòng đời dự án.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. BuildingSmart, pp. <https://technical.buildingsmart.org/resources/software-implementations/?pagenum=10>.
- [2]. ISO 16739-1:2024 - Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries, 2024.
- [3]. Sobhan Kouhestanib, Mazdak Nik-Bakht, "IFC-based process mining for design authoring," Automation in Construction, p. 112, 2020;
- [4]. ISO 19650-1:2018 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) - Information management using building information modelling, The International Organization for Standardization, 2018.
- [5]. <https://catenda.com/>, "What does BIM mean in construction?," <https://catenda.com/glossary/bim-levels/>, 2024.
- [6]. Jinfeng Lou; Fan Xue; Weisheng Lu, A Review of BIM Data Exchange Method in BIM Collaboration, Springer Nature, 2021.
- [7]. D. D. Vendrell, "The Evolution of IFC: The path to IFC5," BuildingSmart, 2024.
- [8]. P. A. Studios, "Introduction to USD," <https://openusd.org/release/intro.html>, 2021.

Mô phỏng ứng xử liên kết cột ống thép nhồi bê tông với sàn phẳng bê tông cốt thép khi chịu mô men không cân bằng

Simulation of the behavior of connections between reinforced concrete flat-plate slab and concrete-filled steel tube columns subjected to unbalanced moments

> NGUYỄN MINH TUẤN ANH*, PHAN VĂN HUỆ, VÕ VĂN NAM, TRƯƠNG QUANG HẢI

Trường Đại học Xây dựng Miền Trung

*Email: nguyminhtuananh@muce.edu.vn

TÓM TẮT

Trong hệ kết cấu kết hợp giữa cột ống thép nhồi bê tông (CFST) với sàn phẳng bê tông cốt thép (BTCT) thì liên kết đóng vai trò quan trọng đảm bảo sự liên tục giữa sàn phẳng - cột giúp cho các cấu kiện phát huy hết khả năng làm việc, bảo vệ cho công trình không bị sụp đổ. Hiện nay, các nghiên cứu về liên kết giữa cột CFST với sàn phẳng BTCT đã được thực hiện và trạng thái làm việc mới chỉ xem xét cho trường hợp liên kết chịu tải trọng đúng tâm. Do đó, việc nghiên cứu ứng xử của sàn phẳng tại liên kết khi chịu đồng thời tác dụng của lực dọc và mô men để phù hợp với ứng xử thực tế là cần thiết. Bài báo này sẽ sử dụng phần mềm ABAQUS để mô phỏng cấu tạo và phân tích trạng thái làm việc của liên kết sàn phẳng BTCT- cột CFST khi liên kết chịu tải trọng lệch tâm. Kết quả phân tích sẽ góp phần làm rõ đặc điểm ứng xử của liên kết cũng như cung cấp một công cụ để thiết kế hiệu quả kiểu liên kết này.

Từ khóa: Cột ống thép nhồi bê tông, CFST(CFT), sàn phẳng BTCT, ABAQUS, liên kết.

ABSTRACT

In the structural system combining concrete - filled steel tube columns (CFST) with reinforced concrete (RC) flat-plate slabs, the connection plays an important role in ensuring the continuity between the flat-plate slabs and the column, enhancing component performance and protecting the structure from collapse. Currently, studies on the connection between CFST columns and RC flat-plate slabs have been conducted and the working state has only been considered for the case of connections bearing concentric loads. Therefore, it is necessary to study the behavior of the flat-plate slabs at the connection when subjected to the simultaneous effects of axial force and moment to match the actual behavior. This paper utilizes ABAQUS software to simulate the structure and analyze the behavior of the reinforced concrete flat-plate slabs to the CFST column connection when the connection is subjected to eccentric loads. The analysis results will help to better understand the behavior of the connection as well as provide a tool for effective design of this type of connection.

Keywords: Concrete filled steel tube column, CFST(CFT), reinforced concrete flat-plate slab, ABAQUS, connection.

1. GIỚI THIỆU

Kết cấu cột ống thép nhồi bê tông (CFST) kết hợp với sàn phẳng bê tông cốt thép (BTCT) tạo ra một giải pháp kỹ thuật hiệu quả cho các công trình nhà cao tầng. Giải pháp này tận dụng được các ưu điểm nổi bật của cột CFST và sàn phẳng BTCT. Tuy nhiên, việc áp dụng hệ kết cấu này trong thực tế còn hạn chế do những khó khăn trong việc xử lý liên kết giữa cột và sàn. Nhiều nghiên cứu về liên kết đã được các tác giả trong và ngoài nước thực hiện, phạm vi nghiên cứu là đề xuất các kiểu liên kết cho sàn cột và đánh giá giải pháp liên kết bằng thực nghiệm trên các mẫu có kích thước lớn. Ba hình thức liên kết cho cột CFST với sàn phẳng BTCT được sử dụng phổ biến gồm: (1) sử dụng shearhead là các thép hình hàn vào mặt cột và

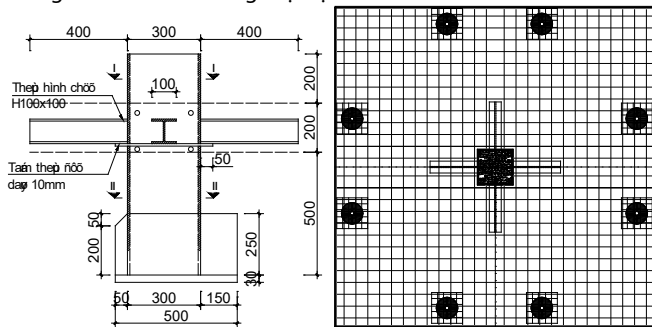
nhúng vào trong bê tông sàn như Đ.N.T. Lực (2019) [1]; Cheol-Ho Lee (2008) [2]; Jin-Won Kim (2014) [3]; P.Y. Yan và Y.C. Wang (2016) [4]; D.V. Bompá và A.Y. Elghazouli (2016) [5]; (2) sử dụng các tấm thép đỡ tại mặt dưới của sàn như Đ.T.N. Thảo (2019) [6]; Lưu Thanh Bình (2022) [7]; Y.Su, Y.Tian (2010) [8]; (3) sử dụng các stud hàn tại bề mặt cột để liên kết sàn - cột như J.L.Yu và Y.C.Wang (2018) [9]. Các nghiên cứu thực nghiệm chủ yếu tập trung vào cột giữa chịu tải đúng tâm, trong khi ứng xử của sàn phẳng tại liên kết dưới tác động đồng thời của lực dọc và mô men chưa được nghiên cứu toàn diện. Ngoài nghiên cứu thực nghiệm, nhiều nghiên cứu cũng sử dụng mô phỏng số bằng phần mềm để khảo sát đặc tính của liên kết. Đ.N.T. Lực (2019) [1] đã thực hiện mô phỏng số liên kết giữa cột CFST với

sàn phẳng BTCT cho liên kết để xuất sử dụng ABAQUS, kết quả mô phỏng được xác minh với thí nghiệm để đánh giá hiệu quả của giải pháp liên kết. Đ.T.N. Thảo (2019) [6] đã mô phỏng số cho liên kết để xuất với cấu tạo gồm một bản thép dày 16 mm được hàn theo chu vi cột tròn có đường kính $D = 400$ mm và bố trí vào mặt dưới của sàn, hệ sườn thép gồm 8 sườn đứng liên kết với cột theo hai phương có tác dụng đỡ bản thép đầu cột và các tấm thép này đều bố trí xuyên cột qua các rãnh xẻ trên mặt cột, phần nằm bên trong cột thép và lõi bê tông cột được khoét lỗ tròn. Kết quả mô phỏng cho thấy tải trọng phá hoại mẫu tương đối sát với kết quả thực nghiệm. Dan V. Bompaa, Ahmed Y. Elghazouli (2017) [10] đã khảo sát ứng xử liên kết cột CFST và sàn phẳng sử dụng shearhead thông qua mô phỏng số và khảo sát tham số sử dụng mô hình phá hoại dẻo (Concrete damage plasticity - CDP) của bê tông. Các thông số trong mô hình được hiệu chỉnh để phù hợp với kết quả thực nghiệm. Kết quả mô phỏng đã đề xuất các khuyến nghị về chiều dài và kích thước của shear head nhúng trong bê tông, đồng thời xác định các dạng phá hoại chính tại liên kết và kích thước liên kết tối ưu. Do đó, mô phỏng số là một công cụ hiệu quả để nghiên cứu ứng xử kết cấu với số lượng mẫu lớn, cung cấp thông tin chi tiết về phân bố ứng suất và biến dạng - những dữ liệu khó đo chính xác qua thực nghiệm. Phương pháp số vì thế đóng vai trò bổ sung, nâng cao hiểu biết về ứng xử kết cấu. Bài báo này sử dụng phần mềm ABAQUS để mô phỏng và phân tích trạng thái làm việc của liên kết sàn phẳng BTCT với cột CFST dưới tải trọng lệch tâm, nhằm làm rõ ứng xử liên kết và cung cấp công cụ hiệu quả cho thiết kế liên kết này.

2. MÔ PHỎNG LIÊN KẾT GIỮA CỘT CFST VỚI SÀN PHẪNG BTCT SỬ DỤNG PHẦN MỀM ABAQUS

2.1. Cấu tạo liên kết cột CFST với sàn phẳng BTCT

Sự kết hợp giữa kết cấu cột CFST với sàn phẳng BTCT được thực hiện thông qua chi tiết liên kết đó là hoặc sử dụng shearhead hoặc sử dụng các tấm thép hàn theo chu vi cột mặt dưới của sàn để đỡ tấm sàn BTCT hoặc sử dụng các đinh chống cắt hàn tại bề mặt cột để liên kết sàn - cột. Qua phân tích các nghiên cứu cho thấy liên kết sử dụng shearhead cho độ tin cậy và dễ dàng cho việc mở rộng vùng liên kết hơn. Bài báo này sẽ tham khảo nghiên cứu thực nghiệm của Trần Văn Tuyến [11] với giải pháp cấu tạo sử dụng shearhead để liên kết cột CFST với sàn phẳng BTCT (Hình 1) khi chịu tải trọng lệch tâm để thực hiện mô phỏng. Sự hợp lý của mô hình mô phỏng với kết quả thí nghiệm sẽ là cơ sở để nghiên cứu khảo sát các yếu tố ảnh hưởng khác đến khả năng chịu lực của liên kết.



Hình 1. Cấu tạo liên kết cột CFST với sàn phẳng BTCT

Thông tin chi tiết cấu tạo mẫu thí nghiệm liên kết như sau:

Mẫu thí nghiệm được thiết kế dựa vào điều kiện làm việc tương đương với khả năng chịu tải của liên kết cho hệ sàn có kích thước lưới cột 6 m x 6 m. Kích thước mẫu thí nghiệm được chọn là 2,4 m x 2,4 m. Do mẫu được neo ở vùng biên để thực hiện gia tải nên biên của mẫu được mở rộng 150 mm lúc đó kích thước mẫu sẽ là: 2,7 m x 2,7 m. Chiều dày sàn là $h_s = 200$ mm

Cấu tạo chi tiết của liên kết gồm: Shearhead là thép hình số hiệu H100 với bản cánh dày 8 mm, bản bụng dày 6 mm, đoạn vươn của shearhead tính từ mặt cột $L_v = 400$ mm, một phần cánh trên và cánh dưới được cắt bỏ chỉ còn phần bụng dài 50 mm đưa vào trong lõi cột qua các rãnh trên mặt cột. Thép hình H100 được hàn vào mặt ngoài cột ống thép bởi đường hàn có chiều cao 6 mm và bố trí cánh dưới của H100 cách mặt dưới của bản sàn 35 mm. Chân cột được hàn một bản thép 500x340 (mm) chiều dày 30 mm và đặt lệch về một phía so với cột để tạo điểm đặt lực lệch so với trục cột. Để tăng cứng cho bản đáy, hai tấm sườn thép dày 10 mm rộng 250 mm được hàn xuyên cột.

Cốt thép sàn gồm cốt thép lớp trên theo hai phương $\Phi 14a100$, cốt thép lớp dưới $\Phi 10a100$. Theo mỗi phương bố trí 2 thanh cốt thép xuyên cột bởi các lỗ $\Phi 20$ được khoan sẵn trên các mặt cột. Các lỗ này nằm khác cao trình trên các mặt cột và đảm bảo khoảng cách để không cản trở việc đổ bê tông vào bên trong lòng ống.

Tấm thép đỡ với bề rộng $b = 50$ mm, chiều dày $t = 10$ mm được hàn theo chu vi của cột tại cánh dưới của thép hình H100.

Về vật liệu: Bê tông sàn và bê tông nhồi trong lõi ống thép có cường độ chịu nén cho mẫu hình trụ tròn ($D \times h = 150 \times 300$ mm) tại thời điểm thí nghiệm mẫu là $f_c = 33,08$ MPa và cường độ chịu kéo khi ép chế mẫu bê tông là $f_t = 2,85$ MPa. Cốt thép dọc cho sàn khi thí nghiệm kéo xác định được cường độ chảy dẻo là $f_y = 518,8$ MPa. Cường độ chảy dẻo cho vỏ ống thép và shearhead là $f_{sh} = 222,6$ MPa.

Thiết lập thí nghiệm: Theo thiết kế, mẫu thí nghiệm sẽ được neo trên các điểm định sẵn theo chu vi của sàn, 8 thanh neo $\Phi 36$ được xiên qua các lỗ đặt sẵn trên sàn và nối với bộ ngàm neo bên dưới đế móng, tại mặt trên sàn bố trí tấm đệm tròn $\Phi 180$ dày 20 mm và bu lông neo. Do mẫu gia tải lệch so với trọng tâm của cột nên để đảm bảo đúng vị trí tác dụng của tải trọng cũng như sự làm việc an toàn của kích thủy lực thì một bộ khớp được đặt trên đầu kích, bộ khớp này cho phép mẫu xoay trong mặt phẳng và bố trí lệch so với tâm cột một đoạn $e = 150$ mm.

2.2. Mô phỏng liên kết cột CFST với sàn phẳng BTCT

Quá trình mô phỏng mô hình liên kết được thực hiện như sau:

- Xây dựng các bộ phận kết cấu và lựa chọn phần tử (Part): Phần mềm ABAQUS có thư viện phần tử rất phong phú, vì thế việc lựa chọn phần tử phù hợp cho từng cấu kiện là cần thiết nhằm mô phỏng cấu kiện sao cho gần với thực tế nhất. Phần tử C3D8R dạng khối 3 chiều, 8 nút tuyến tính được lựa chọn để mô phỏng phần tử sàn bê tông, các tấm thép làm gối tựa, tấm gia tải, tấm thép đỡ. Phần tử dạng thanh T3D2 được sử dụng để mô phỏng cốt thép chịu lực. Bảng 1 tóm tắt việc lựa chọn loại phần tử sử dụng cho mô phỏng liên kết.

Bảng 1. Lựa chọn phần tử cho các bộ phận của liên kết sàn BTCT với cột CFST

Cấu kiện	Sàn BTCT	Lõi bê tông cột	Shearhead	Tấm thép đỡ	Bản mã chân cột	Sườn gia cường	Thép dọc
Phần tử mô phỏng	C3D8R	C3D8R	C3D8R	C3D8R	C3D8R	C3D8R	T3D2

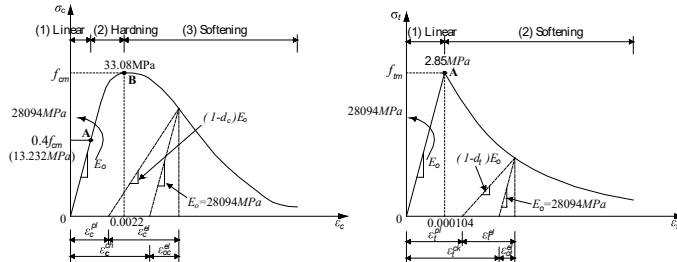
- Đặc trưng vật liệu (Property): Vật liệu sử dụng trong mô hình bao gồm bê tông và thép. Các thông số sử dụng mô phỏng gồm:

+ Bê tông: trạng thái làm việc chia thành hai giai đoạn đàn hồi và dẻo. Miền đàn hồi của bê tông được đặc trưng bởi mô đun đàn hồi $E = 28094$ (MPa) và hệ số poisson $\mu_c = 0,2$, cường độ chịu nén của mẫu lăng trụ 150×300 mm là $f_c' = 33,08$ (MPa). Giai đoạn sau đàn hồi sử dụng mô hình phá hoại dẻo của bê tông Concrete Damaged Plasticity Model (CDP) [12], [13] để mô phỏng trạng thái làm việc của vật liệu ở cả vùng kéo và vùng nén, trong phần mềm ABAQUS trạng

thái phá hoại dẻo được khai báo qua các thông số gồm $k_c=0,7$, hệ số giữa cường độ chịu nén 2 trục với cường độ chịu nén 1 trục của bê tông $\sigma_{b0}/\sigma_{c0}=1,16$, góc phá hủy $\psi=40^\circ$, hệ số lệch tâm vật liệu $\varepsilon=0,1$

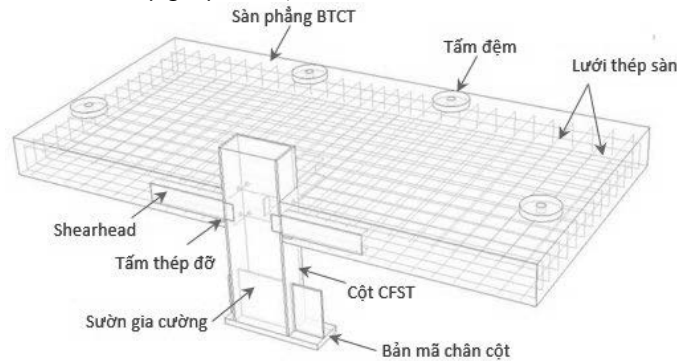
+ Cốt thép dọc: Sử dụng mô hình đàn hồi - dẻo để mô tả ứng xử. Mô đun đàn hồi của thép là $E_s = 2,1 \times 10^5$ MPa, hệ số Poisson là 0,3. Thép dọc chịu lực trong sàn có cường độ giới hạn chảy tương ứng là $f_y = 518,8$ MPa.

+ Thép (shearhead, tấm thép đỡ, ống thép, tấm đế và sườn gia cường): Sử dụng mô hình đàn hồi - dẻo với mô đun đàn hồi của thép là $E_s = 2,1 \times 10^5$ MPa, hệ số Poisson là 0,3 và giới hạn chảy $f_y = 222,6$ MPa



Hình 2. Đồ thị ứng suất biến dạng của bê tông trong vùng kéo và nén

- Lắp ghép các bộ phận (Assembly): Trong ABAQUS mỗi cấu kiện được xây dựng trong hệ tọa độ cục bộ của nó, độc lập trong mô hình. Vì thế cần sử dụng chức năng lắp ghép (Assembly) để lắp ghép các cấu kiện rời rạc tạo thành một mô hình hoàn chỉnh. Mô hình sau khi lắp ghép cấu kiện như Hình 3.



Hình 3. Mô hình mẫu thí nghiệm từ mô phỏng số

- Điều kiện tương tác (Interaction): Liên kết giữa cột CFST với sàn phẳng BTCT tương đối phức tạp với nhiều tương tác khác nhau của các bộ phận kết cấu. Trong mô phỏng, để kết cấu làm việc đồng thời, các bộ phận của kết cấu phải liên kết với nhau. Có nhiều hình thức liên kết được Abaqus cung cấp như tương tác bề mặt (surface to surface), liên kết nhúng (embedded element), liên kết ràng buộc (tie), v.v. Trong phạm vi mô phỏng liên kết này các kiểu tương tác được sử dụng được tóm tắt trong Bảng 2.

Bảng 2. Các dạng tương tác sử dụng trong mô phỏng

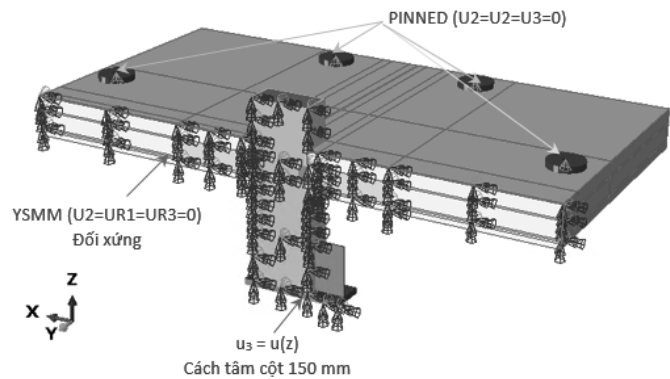
STT	Cấu kiện	Cấu kiện tương tác	Dạng tương tác
1	Sàn BTCT	Cột CFST	Surface to surface
2	Cột thép hộp CFST	Lõi bê tông	Surface to surface
3	Shearhead H100, tấm thép đỡ	Cột CFST	Tie
4	Cốt thép dọc Ø10, Ø14	Sàn BTCT	Embedded element

- Chia lưới phần tử (Mesh): Để có được kết quả đạt độ chính xác cần phải chia nhỏ phần tử. Do liên kết được tạo nên bởi các phần tử khác nhau nên kích thước phần tử được lấy sao cho phù hợp nhất để kết quả phân tích được hợp lý và không làm tốn nhiều tài nguyên máy tính. Với bê tông sàn kích thước chia lưới là 25 mm, cốt dọc chia lưới 25 mm.

- Điều kiện biên (Step - load): Sau khi chia lưới phần tử, thực hiện gán các điều kiện biên. Điều kiện biên ở đây gồm điều kiện biên về liên kết và điều kiện biên về tải trọng. Để tiết kiệm tài nguyên máy tính và thời gian tính toán, chỉ 1/2 mô hình được phân tích như Hình 4. Trình tự gán điều kiện biên cho mô hình như sau:

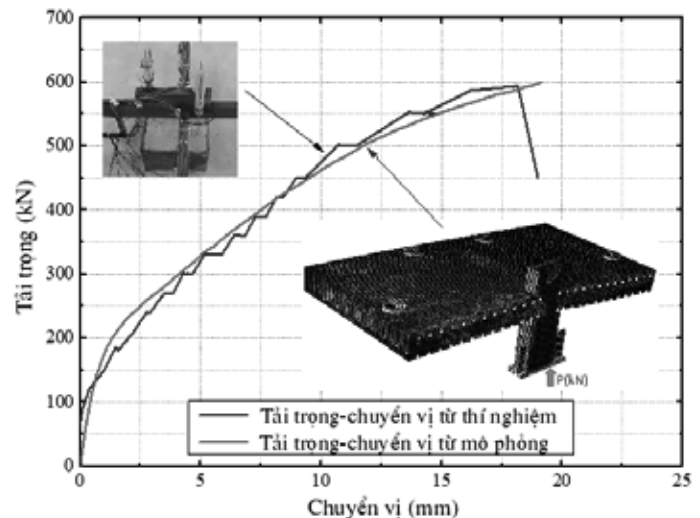
+ Gán điều kiện đối xứng cho mô hình;
+ Gán điều kiện biên cho gối tựa bằng khống chế chuyển vị theo các phương $U_1 = U_2 = U_3 = 0$ (liên kết khớp) tại vị trí các tấm đệm trên bề mặt sàn

+ Điều kiện gia tải trong mô phỏng được thực hiện theo điều kiện chuyển vị. Vị trí đặt chuyển vị tại tấm đế ở chân cột và đặt lệch với trục cột 150 mm với giá trị chuyển vị biến thiên theo thời gian và tăng theo từng cấp gia tải.



Hình 4. Điều kiện biên, điều kiện chuyển vị cho mô hình kết cấu

- Kết quả mô phỏng: Sau khi hoàn thành lần lượt các bước nêu trên, tiến hành phân tích kết quả và so sánh với kết quả thực nghiệm để kiểm chứng tính hợp lý của quá trình mô phỏng liên kết sử dụng ABAQUS.



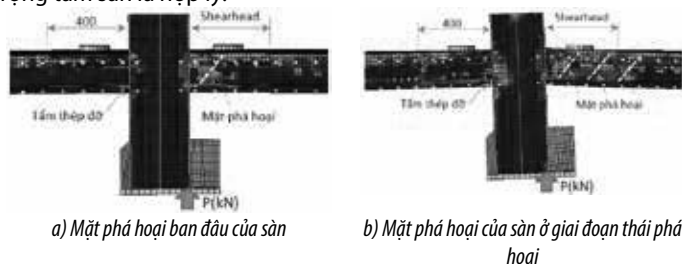
Hình 5. Đường cong tải trọng - chuyển vị từ kết quả mô phỏng và thí nghiệm

Trên Hình 5 là các đường cong quan hệ tải trọng - chuyển vị của sàn từ thí nghiệm và mô phỏng số bằng ABAQUS. Kết quả cho thấy sự tương đồng giữa kết quả mô phỏng và thực nghiệm, sự phát triển biến dạng dưới tác dụng của tải trọng khá phù hợp với kết quả thí nghiệm cho thấy quá trình mô phỏng và các thông số đầu vào cũng như mô hình vật liệu sử dụng cho mô phỏng là hợp lý, kết quả đảm bảo độ tin cậy và đây cơ sở để sử dụng mô hình này khảo sát các ứng xử khác của liên kết mà trong thực tế thí nghiệm không khảo sát được.

2.3. Phân tích kết quả mô phỏng liên kết sử dụng ABAQUS

2.3.1. Phân tích ứng xử phá hoại của sàn

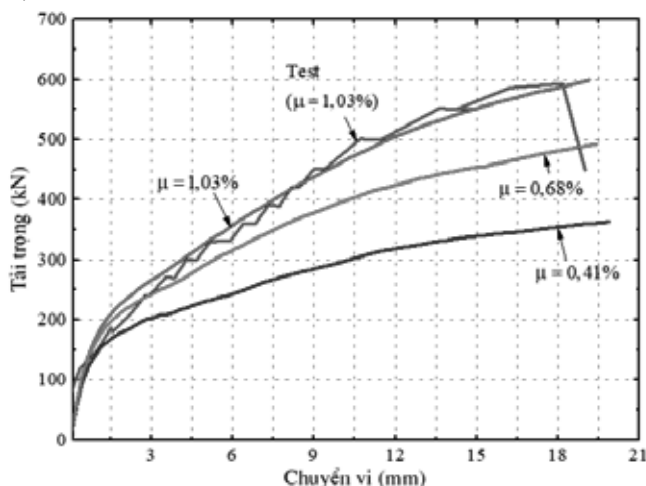
Quan sát tiến trình làm việc của sàn từ lúc gia tải ban đầu đến lúc sàn phá hoại thấy: Ban đầu vết nứt nghiêng xuất hiện tại vị trí gần mặt cột xuất hiện trước, vết nứt xuất phát từ vị trí của tấm thép đỡ như Hình 6a và nhanh chóng tạo thành chu vi nứt tại mặt trên của sàn khi tăng tải. Tiếp tục tăng tải thấy các mặt phá hoại xảy ra ở phía đặt tải lệch tâm, điều đó cho thấy ảnh hưởng của mô men không cân bằng sẽ làm gia tăng ứng suất cắt về phía đặt tải lệch và giảm ứng suất cắt ở phía đối diện (Hình 6b). Khi ứng suất cắt này vượt quá khả năng chịu cắt của bê tông thì sàn sẽ xuất hiện các vết nứt nghiêng. Tuy nhiên do vết nứt nghiêng cắt qua shearhead nên nó sẽ tiếp nhận ứng suất cắt này giúp hạn chế vết nứt trên mặt nứt nghiêng này, lúc đó vết nứt nghiêng sẽ hình thành và phát triển tại vị trí khác. Với trường hợp shearhead đảm bảo độ cứng thì nó sẽ làm việc như gối tựa giúp chuyển các vết nứt nghiêng ra xa khỏi mặt cột. Do đó sẽ quan sát được nhiều vết nứt nghiêng dọc theo shearhead và sự phá hoại sẽ xảy ra trên vết nứt nghiêng có sức kháng cắt nhỏ nhất. Bên cạnh đó quan sát kết quả mô phỏng thấy rõ các vết nứt nghiêng xảy ra dọc theo chiều dài của shearhead và chân của vết nứt đều có xu hướng bắt đầu từ cánh dưới của shearhead và nghiêng lên mặt trên của sàn, điều đó chứng tỏ cánh dưới đóng vai trò như gối tựa để tiếp nhận các tải trọng từ sàn và truyền vào cột. Điều này cũng minh chứng cho việc đặt shearhead thấp hơn so với trọng tâm sàn là hợp lý.



Hình 6. Trạng thái phá hoại của sàn ở các giai đoạn

2.3.2. Khảo sát ảnh hưởng của hàm lượng cốt thép dọc

Cốt thép dọc mặt dũ được bố trí vuông góc với lực cắt nhưng nó vẫn tham gia vào khả năng chống cắt thông qua cơ chế dowel [14]. Bên cạnh đó tiêu chuẩn EC2 tính toán khả năng chịu cắt thủng của sàn cũng xét đến sự có mặt của cốt thép chịu uốn. Do đó, nghiên cứu sẽ khảo sát ảnh hưởng hàm lượng cốt thép dọc đến khả năng chịu cắt của sàn.

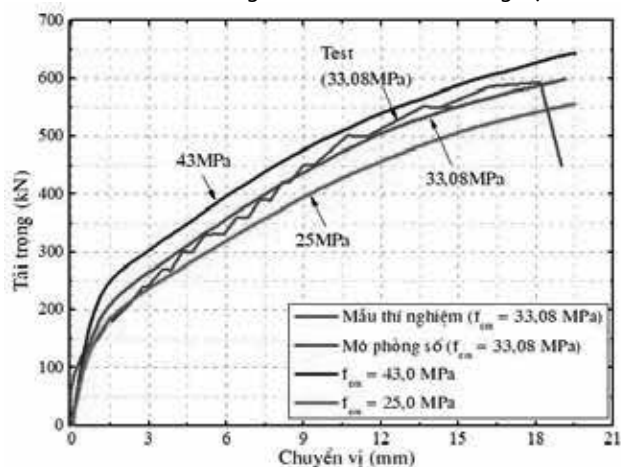


Hình 7. Đồ thị khảo sát ảnh hưởng của hàm lượng cốt thép
Thực hiện mô phỏng số khảo sát khả năng chịu cắt thủng của

sàn theo các mức hàm lượng khác nhau. Ở đây mô hình khảo sát giữ nguyên các tham số chỉ thay đổi hàm lượng cốt thép. Kết quả đồ thị tải trọng - chuyển vị của sàn trên Hình 7 cho thấy khi giảm hàm lượng cốt thép dọc thì khả năng chịu tải của sàn giảm tương ứng. Tại mức hàm lượng $\mu=0.68\%$ (Ø14a150) và $\mu=0.41\%$ (Ø14a250) khả năng chịu lực của sàn ứng với chuyển vị 18 mm giảm 16,7% và 41,7%. Sự thay đổi về khả năng chịu lực khi thay đổi hàm lượng cốt dọc là đáng kể và trong tính toán cần kể đến ảnh hưởng của cốt dọc. Bên cạnh đó, theo nghiên cứu của Theo Guandalini [15] thì khi hàm lượng cốt thép dao động khoảng 0,25% đến 0,3% cho thấy sự phá hoại xảy ra chủ yếu là uốn. Do đó trong biểu thức thiết kế khi hàm lượng cốt thép nhỏ hơn 0,3% thì xem xét bỏ qua ảnh hưởng của cốt thép dọc đến khả năng chịu cắt của sàn.

2.3.3. Ảnh hưởng của cường độ bê tông

Hiện nay trong các mô hình tính toán khả năng chịu cắt thủng của sàn, cường độ chịu nén của bê tông là một tham số quan trọng ảnh hưởng đến khả năng chịu cắt của sàn. Để đánh giá mức độ ảnh hưởng cường độ bê tông, thực hiện mô phỏng số cho mô hình với 3 trường hợp cường độ chịu nén bê tông khác nhau đó là 25 MPa, 33,08 MPa (cường độ bê tông mẫu thí nghiệm), 43 MPa. Các tham số khác của mô hình không đổi so với mô hình thí nghiệm.

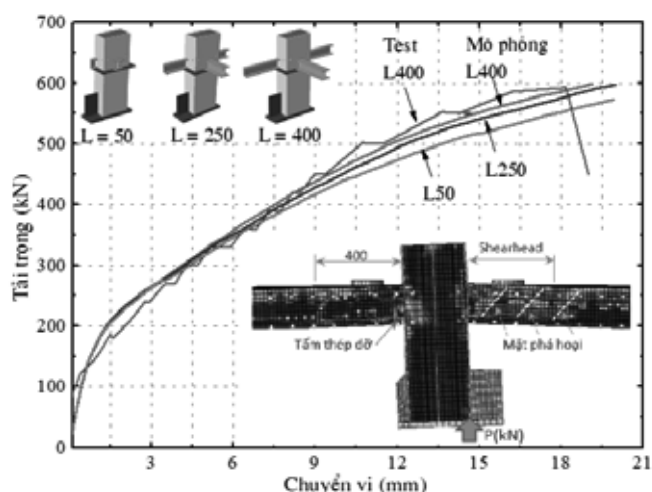


Hình 8. Đường cong tải trọng - chuyển vị theo sự thay đổi cường độ bê tông

Kết quả mô phỏng số trên Hình 8 cho thấy với sự tăng cường độ chịu nén của bê tông sàn làm tăng khả năng chịu tải của sàn. Ảnh hưởng của cường độ bê tông đến khả năng chịu cắt của sàn có thể giải thích bởi cơ chế truyền tải từ sàn vào cột thông qua mô hình giàn ảo. Kết cấu cột ống thép nhồi bê tông với sàn phẳng được kết nối bởi chi tiết liên kết là các shearhead tiết diện H được hàn cứng vào thành ống thép và nằm bên trong bê tông sàn. Cơ chế truyền tải trong trường hợp này là tải trọng trên sàn được chuyển qua hệ giàn ảo không gian truyền về gối tựa là cánh dưới của shearhead hoặc tấm thép đỡ quanh chu vi cột và truyền trực tiếp đến cột. Cấu trúc của mô hình giàn ảo bao gồm các thanh bê tông chịu nén và các thanh giằng chịu kéo giao nhau tại vùng nứt. Sự phá hoại xảy ra khi bê tông trong thanh chống bị nén vỡ và thanh giằng bị kéo nứt. Điều đó có nghĩa là khi cường độ bê tông càng cao thì sức chịu đựng của các thanh chống càng lớn làm tăng khả năng chịu cắt của sàn.

2.3.4. Ảnh hưởng của chiều dài shearhead

Shearhead là chi tiết quan trọng của liên kết trong việc kết nối sàn BTCT vào cột CFST và gia cường khả năng chịu cắt của sàn. Chiều dài shear - head là nhân tố ảnh hưởng đến khả năng chịu cắt của sàn. Chương trình mô phỏng cho 3 mẫu có chiều dài shearhead lần lượt là $L_v = 50$ mm; $L_v = 250$ mm; $L_v = 400$ mm được thực hiện. Các tham số khác của mô hình mô phỏng được lấy giống mẫu thí nghiệm.



Hình 9. Đồ thị tải trọng - chuyển vị của sàn khi thay đổi chiều dài shearhead

Trên Hình 9 là đồ thị quan hệ tải trọng chuyển vị của sàn với các chiều dài khác nhau của shearhead. Phân tích kết quả cho thấy khả năng chịu cắt của sàn không thay đổi nhiều giữa chiều dài 250 mm và 400 mm và khả năng chịu tải của sàn giảm khi chiều dài shearhead là 50 mm. Mẫu có chiều dài shearhead $L_v = 400$ mm có khả năng chịu tải lớn hơn không đáng kể, chỉ khoảng 6,3% so với mẫu có $L_v = 50$ mm. Trong khi đó hai mẫu $L_v = 250$ mm và $L_v = 400$ mm thì khả năng chịu tải tương đương nhau với độ chênh lệch không lớn 1,5%. Sự biến động không lớn về khả năng chịu tải khi chiều dài shearhead thay đổi được làm rõ khi phân tích mô hình phá hoại từ kết quả mô phỏng như sau: Khi tăng tải trọng, do sự lệch tâm của tải trọng gây ra ứng suất cắt lớn trong sàn về phía đặt tải trọng và gây ra vết nứt nghiêng đầu tiên ở vị trí gần mặt cột (Hình 6a). Với sự có mặt của shearhead nên vết nứt nghiêng này bị kìm hãm lại, lúc đó vết nứt nghiêng sẽ hình thành và phát triển tại vị trí khác dọc theo chiều dài shearhead. Tiếp tục tăng tải trọng thì sự phá hoại sẽ xảy ra trên vết nứt nghiêng có sức kháng cắt nhỏ nhất. Với trường hợp mô phỏng ở trên mặt dù với các chiều dài shearhead khác nhau nhưng chu vi mặt phá hoại từ mô phỏng xảy ra ở vị trí giống nhau là gần mặt cột nên khả năng chịu tải của các trường hợp mô phỏng không có sự chênh lệch lớn.

3. KẾT LUẬN

Bài báo đã sử dụng phần mềm ABAQUS để thực hiện mô phỏng liên kết giữa cột CFST với sàn phẳng BTCT khi chịu tải lệch tâm. Theo đó, một quy trình mô phỏng được trình bày chi tiết nhằm cung cấp công cụ để thiết kế kiểu liên kết phức tạp này. Kết quả mô phỏng cũng đã kiểm chứng với thí nghiệm là khá tương đồng về quan hệ tải trọng - chuyển vị. Do đó, việc sử dụng phương pháp mô phỏng thông qua phần mềm ABAQUS để phân tích, đánh giá ứng xử của liên kết giữa cột CFST với sàn phẳng BTCT cho kết quả có đủ độ tin cậy và thông qua đó, một số khảo sát cũng được thực hiện để đánh giá sự làm việc của sàn tại liên kết cũng như mô hình phá hoại; ảnh hưởng của cốt thép dọc, cường độ chịu nén của bê tông sàn và độ vươn của shearhead đến khả năng chịu cắt của sàn. Những kết quả khảo sát sẽ giúp người thiết kế hiểu rõ ứng xử và có những giải pháp cấu tạo, tính toán liên kết cột CFST với sàn phẳng BTCT một cách hợp lý.

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn Trường Đại học Xây dựng Miền Trung đã hỗ trợ tài chính cho đề tài "Mô phỏng ứng xử liên kết giữa cột ống thép nhồi bê tông với sàn phẳng bê tông cốt thép khi sàn chịu mô men không cân bằng", mã số đề tài GV.004.22.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Dao Ngoc the Luc, Truong Quang Hai, Truong Hoai Chinh, and Dao Ngoc The Vinh, "Connection of Reinforced Concrete Flat Slab and Concrete Filled Steel Tube Column: Proposed Structures, Experiment, Simulation and an Analytical Prediction Model for Shear Strength," *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, vol. 9, pp. 779-786, 2019.
- [2]. Cheol-Ho Lee, Jin-Won Kim, and Jin-Gyu Song, "Punching shear strength and post-punching behavior of CFT column to RC flat plate connections," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 64, pp. 418-428, 2008.
- [3]. Jin-Won Kim, Cheol-Ho Lee, and Thomas H. K. Kang, "Shearhead Reinforcement for Concrete Slab to Concrete-Filled Tube Column Connections," *ACI Structural Journal*, vol. 111, pp. 629-638, 2014.
- [4]. P.Y. Yan and Y.C. Wang, "Hybrid steel tubular column/flat slab construction - Development of a shearhead system to improve punching shear resistance," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 119, pp. 154-168, 2016.
- [5]. D.V. Bompa and A.Y. Elghazouli, "Structural performance of RC flat slabs connected to steel columns with shear heads," *Engineering Structures*, vol. 117, pp. 161-183, 2016.
- [6]. Đinh Thị Như Thảo, "Ứng xử kháng chọc thủng của liên kết cột ống thép nhồi bê tông với sàn phẳng bê tông cốt thép," Luận án Tiến sĩ, Đại học Đà Nẵng, 2019.
- [7]. Lưu Thanh Bình, Ngô Hữu Cường, Takayuki Namba, Kei Nakagawa, Koji Oki, and Nguyễn Minh Long, "Khảo sát thực nghiệm ứng xử chọc thủng của liên kết sàn bê tông ứng suất trước - cột CFT sử dụng chi tiết liên kết dạng bản," *Tạp chí Khoa học công nghệ xây dựng, Trường Đại học Xây dựng HN*, vol. 16(2V), pp. 14-29, 2022.
- [8]. Y. Su and Y. Tian, "Experimental study of RC slab-CFT column connections under seismic deformations," in *Challenges, Opportunities and Solutions in Structural Engineering and Construction* N. Ghafoori, Ed., ed Las Vegas, USA: © 2010 Taylor & Francis Group, London, 2009, pp. 315-320.
- [9]. J. L. Yu and Y. Wang, "Punching Shear Behavior and Design of an Innovative Connection from Steel Tubular Column to Flat Concrete Slab," *Journal of Structural Engineering (United States)*, vol. 144, 2018.
- [10]. D.V. Bompa and A.Y. Elghazouli, "Numerical modelling and parametric assessment of hybrid flat slabs with steel shear heads," *Engineering Structures*, vol. 142, pp. 67-83, 2017.
- [11]. Trần Văn Tuyến, "Nghiên cứu thực nghiệm ứng xử của sàn tại liên kết cột ống thép nhồi bê tông với sàn phẳng bê tông cốt thép khi chịu tải trọng không cân bằng," Thạc sĩ, Luận văn thạc sĩ, Trường Đại học Xây dựng Miền Trung, 2024.
- [12]. J. Lubliner, J. Oliver, S. Oller, and E. Oñate, "A plastic-damage model for concrete," *International Journal of Solids and Structures*, vol. 25, pp. 299-326, 1989.
- [13]. Jee ho Lee, Gregory L. Fenves, "Plastic-damage model for cyclic loading of concrete structures," *Journal of Engineering Mechanics*, vol. 124, pp. 892-900, 1998.
- [14]. D.V. Bompa and A.Y. Elghazouli, "Ultimate shear behaviour of hybrid reinforced concrete beam-to-steel column assemblages," *Engineering Structures*, vol. 101, pp. 318-336, 2015.
- [15]. Stefano Guandalini, Olivier L. Burdet, and Muttoni Aurelio, "Punching Tests of Slabs with Low Reinforcement Ratios," *ACI Structural Journal*, vol. 106, pp. 87-95, 2009.

Phương pháp đường kính tương đương trong mô phỏng cọc khoan nhồi phụt vữa dọc thân cọc

Equivalent Diameter Method in Modeling Shaft-Grouted Bored Piles

> **THS LÊ THÀNH TRUNG^{1,*}, TS BẠCH VŨ HOÀNG LAN²**

¹Khoa Kiến trúc Xây dựng, Trường Đại học Thủ Dầu Một

²Khoa Xây dựng, Trường Đại học Kiến trúc TP.HCM; *Corresponding Author: Email: ltrung@tdmu.edu.vn

TÓM TẮT

Cọc khoan nhồi có phụt vữa dọc thân là giải pháp ngày càng được sử dụng để nâng cao sức chịu tải và giảm độ lún của nền móng sâu. Tuy nhiên, việc mô phỏng chính xác hiệu ứng phụt vữa trong phân tích số vẫn còn nhiều hạn chế do cấu tạo phức tạp và phụ thuộc vào nhiều tham số thực nghiệm. Bài báo này đề xuất một phương pháp mới - phương pháp đường kính quy đổi tương đương - nhằm đơn giản hóa quá trình tính toán. Ý tưởng cơ bản là thay thế đoạn cọc được phụt vữa bằng một cọc tương đương có đường kính lớn hơn, phản ánh sự gia tăng diện tích tiếp xúc và ma sát thành. Công thức quy đổi giữa đường kính tương đương và hàm lượng vữa phụt được thiết lập từ dữ liệu thực nghiệm và hiệu chỉnh bằng mô phỏng số với Plaxis 3D. Kết quả so sánh với thí nghiệm hiện trường trên các cọc thử (BPG0-BPG50) cho thấy phương pháp dự báo tốt quan hệ tải trọng-độ lún, với sai số trong phạm vi $\pm 7,5\%$. Ứng dụng phương pháp vào công trình thực tế Friendship Tower (TP.HCM) tiếp tục khẳng định tính khả thi, khi kết quả mô phỏng cho cọc phụt vữa (TP2) phù hợp chặt chẽ với dữ liệu thử tải hiện trường. Nghiên cứu chứng minh rằng phương pháp đường kính tương đương là một công cụ đơn giản, hiệu quả và có tiềm năng ứng dụng rộng rãi trong thiết kế nền móng, góp phần giảm thiểu số lượng thí nghiệm hiện trường tốn kém mà vẫn đảm bảo độ tin cậy trong dự báo ứng xử cọc khoan nhồi phụt vữa.

Từ khóa: Phương pháp đường kính tương đương, phụt vữa, cọc khoan nhồi, thí nghiệm nền tĩnh, đất cát pha.

ABSTRACT

Bored piles with shaft grouting have increasingly been adopted to enhance load-bearing capacity and reduce settlement of deep foundations. However, accurately simulating the effect of shaft grouting in numerical analysis remains challenging due to the complex geometry and dependence on numerous experimental parameters. This paper introduces a new approach - the Equivalent Diameter Method - to simplify the analysis process. The core concept is to replace the grouted section of a pile with an equivalent pile of larger diameter, thereby capturing the increased contact area and shaft resistance. A conversion formula between the equivalent diameter and grout volume was developed based on experimental data and calibrated using numerical simulations with Plaxis 3D. Comparisons with full-scale static load tests on trial piles (BPG0-BPG50) demonstrate that the method accurately predicts load-settlement behavior, with errors within $\pm 8.5\%$. Application to a real project, the Friendship Tower in Ho Chi Minh City, further confirms its feasibility, as the predicted performance of the grouted pile (TP2) closely matches the field load test results. The study shows that the Equivalent Diameter Method is a simple and effective tool with strong potential for practical application in foundation design, helping to reduce costly field testing while maintaining reliable predictions of grouted bored pile behavior.

Keywords: Equivalent Diameter Method, shaft grouting, bored piles, static load test, sandy clay soil.

1. GIỚI THIỆU

Trong những thập kỷ gần đây, cọc khoan nhồi đã trở thành giải pháp nền móng phổ biến cho các công trình cao tầng và công trình hạ tầng lớn tại các đô thị. Tuy nhiên, khả năng chịu tải của cọc thường bị ảnh hưởng bởi điều kiện địa chất phức tạp cũng như các yếu tố thi công, đặc biệt là sự suy giảm ma sát thành cọc do sử dụng dung dịch giữ thành, lẫn tạp chất hoặc biến dạng trong quá trình khoan. Để khắc phục hạn chế này, kỹ thuật phụt vữa dọc thân cọc đã được áp dụng rộng rãi ở nhiều quốc gia như Mỹ, Hồng Kông, Thái Lan, và gần đây là tại Việt Nam (Littlechild et al. 2000). Các nghiên cứu thực nghiệm cho thấy phụt vữa có thể làm tăng đáng kể sức kháng thành, qua đó nâng cao sức chịu tải cực hạn và giảm độ lún của cọc (Littlechild et al. 2000; Sze and Chan 2012). Tại Việt Nam, một số nghiên cứu thực địa và phòng thí nghiệm đã được tiến hành nhằm đánh giá hiệu quả của phụt vữa (Nguyen and Nguyen 2021; Nguyen et al. 2019; Tran and Tran 2021). Kết quả bước đầu khẳng định tính hiệu quả, song các phương pháp phân tích hiện nay chủ yếu dựa vào các mô hình thực nghiệm hoặc phân tích FEM chi tiết, đòi hỏi nhiều tham số đầu vào và không phải lúc nào cũng thuận

tiện cho thiết kế. Do đó, nhu cầu về một phương pháp mô phỏng đơn giản, dễ áp dụng nhưng vẫn phản ánh chính xác hiệu ứng phụt vữa là rất cần thiết.

Trong bối cảnh đó, bài báo đề xuất phương pháp đường kính quy đổi để mô phỏng ứng xử của cọc khoan nhồi có phụt vữa dọc thân. Ý tưởng cơ bản là thay thế đoạn cọc được phụt vữa bằng một cọc tương đương có đường kính lớn hơn, phản ánh sự gia tăng diện tích tiếp xúc và ma sát thành do lớp vữa tạo ra. Phương pháp được xây dựng dựa trên dữ liệu thí nghiệm nền tĩnh hiện trường, hiệu chỉnh bằng mô hình số với Plaxis 3D, từ đó thiết lập công thức quy đổi giữa hàm lượng vữa và đường kính tương đương.

Đóng góp chính của nghiên cứu gồm: (i) xây dựng cơ sở lý thuyết và công thức tính toán đường kính tương đương; (ii) kiểm chứng bằng dữ liệu thí nghiệm trên các cọc thử (BPG0-BPG50); (iii) ứng dụng vào công trình thực tế Friendship Tower tại TP.HCM để đánh giá độ tin cậy. Kết quả nghiên cứu không chỉ góp phần làm sáng tỏ cơ chế làm việc của cọc phụt vữa mà còn cung cấp một công cụ tính toán hiệu quả, có thể giảm thiểu số lượng thí nghiệm hiện trường tốn kém và hỗ trợ cho

giai đoạn thiết kế nền móng.

2. PHƯƠNG PHÁP ĐƯỜNG KÍNH TƯƠNG ĐƯƠNG

2.1. Cơ sở lý thuyết

Kỹ thuật phụt vữa dọc thân cọc tạo ra một lớp vật liệu xi măng-đất bao quanh bề mặt cọc, giúp tăng diện tích tiếp xúc và cải thiện ma sát giữa cọc và nền đất (Hình 1). Thực chất, hiệu ứng này có thể được mô phỏng tương đương bằng cách thay thế đoạn cọc được phụt vữa bằng một đoạn cọc có đường kính lớn hơn so với đường kính ban đầu. Ý tưởng này hình thành nên phương pháp đường kính tương đương, cho phép phản ánh sự thay đổi sức kháng thành mà không cần mô hình hóa chi tiết lớp vữa trong phân tích số.



Hình 1. Đất dính bám xung quanh thân cọc khoan nhồi có phụt vữa

2.2. Giả thiết cơ bản

Phương pháp được xây dựng dựa trên các giả thiết: (i) Lớp vữa bám dính hoàn toàn vào thân cọc, không xảy ra hiện tượng tách lớp, (ii) Cọc và lớp vữa có biến dạng đồng nhất theo phương ngang, tức là cùng tham gia chịu tải bên, (iii) Đất nền được giả thiết là đồng nhất trong phạm vi phụt vữa, và các thông số cơ học không thay đổi đáng kể do quá trình thi công.

2.3. Xác định đường kính quy đổi

Mối quan hệ giữa đường kính quy đổi D_{qd} và hàm lượng vữa phụt IR (lít/m²) được thiết lập dưới dạng hàm tuyến tính hiệu chỉnh bằng mô phỏng số. Quan hệ này được thể hiện qua công thức (1):

$$D_{qd} = D_0 + f(IR) \quad (1)$$

Trong đó: D_{qd} và D_0 lần lượt là đường kính quy đổi (m) của đoạn cọc có phụt vữa và đường kính cọc khoan nhồi ban đầu (m); IR là hàm lượng vữa phụt (lít/m²), và $f(IR)$ là hệ số hiệu chỉnh xác định từ dữ liệu thực nghiệm.

3. HIỆU CHỈNH THỰC NGHIỆM

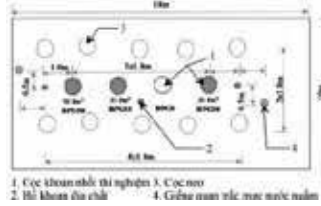
3.1. Mô tả chương trình thực nghiệm

Để kiểm chứng và hiệu chỉnh phương pháp đường kính quy đổi, một chương trình thí nghiệm nén tĩnh hiện trường đã được triển khai tại khu vực Bình Dương, nơi địa chất đặc trưng bởi lớp cát pha dày, có chỉ tiêu cơ lý tương đối đồng nhất. Bốn cọc thử được thi công với cùng quy trình khoan nhồi, đường kính danh định 400 mm, chiều dài cọc 3 m.

Cấu hình thí nghiệm bao gồm (Hình 2): (i) Cọc BPG0 (đối chứng): không áp dụng phụt vữa, được sử dụng để xác định bộ thông số nền và hiệu chỉnh mô hình số ban đầu, và (ii) Cọc BPG20, BPG35 và BPG50: các cọc được phụt vữa dọc thân với hàm lượng lần lượt là 20, 35 và 50 l/m². Phạm vi phụt tập trung ở thân cọc, nơi đóng vai trò chính trong việc truyền tải vào nền đất xung quanh. Dung dịch vữa được bơm vào qua hệ thống ống phụt áp lực cao, với áp suất duy trì ổn định trong khoảng 1,5-3,0 MPa, tỷ lệ cấp phối xi măng/nước là 0,66:1.

Công tác thử tải được tiến hành theo ASTM D1143, sử dụng hệ khung phản lực và dàn neo đối xứng. Tải trọng được gia tải theo cấp, mỗi cấp bằng 10% tải thiết kế, thời gian tăng tải trong 2 phút và giữ ổn định trong 3 phút để ghi nhận độ lún tương ứng với cấp tải tác dụng, trước khi tăng cấp tiếp theo. Thí nghiệm được duy trì cho đến khi cọc đạt độ lún tối đa 40 mm hoặc có dấu hiệu phá hoại về sức chịu tải. Trong

quá trình thí nghiệm, hệ thống cảm biến dịch chuyển và cảm biến lực được bố trí để ghi nhận quan hệ giữa tải trọng và độ lún thu được từ đồng hồ đo lún đặt trên đầu cọc.



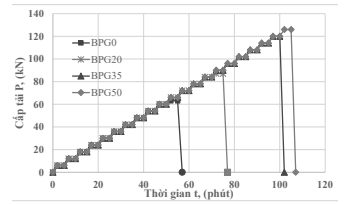
(a) Mặt bằng thí nghiệm cọc



(c) Hiện trường công tác thí nghiệm nén tĩnh cọc



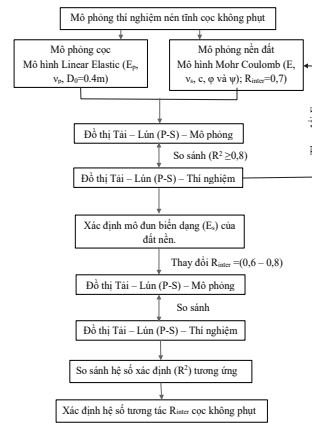
(b) Hiện trường công tác phụt vữa thân cọc



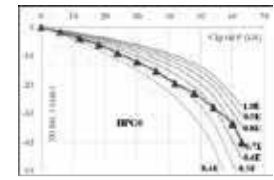
(d) Biểu đồ quan hệ giữa tải và thời gian cọc thí nghiệm

Hình 2. Thí nghiệm nén tĩnh cọc cho cọc khoan nhồi không có phụt vữa (BPG0) và có phụt vữa dọc thân (BPG20, BPG35 và BPG50)

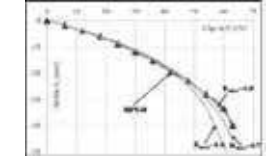
3.2. Hiệu chỉnh mô hình cọc không phụt (BPG0)



(a) Sơ đồ khối quá trình hiệu chỉnh bộ thông số đất nền cho cọc BPG0



(b) Đồ thị quan hệ P-S từ kết quả mô phỏng và thí nghiệm cọc BPG0 tương ứng với các giá trị mô đun đàn hồi E khác nhau



(c) Đồ thị tải - lún cọc từ kết quả mô phỏng và thí nghiệm cọc BPG0 theo các trường hợp $R_{inter} = [0,6 \div 0,8]$

Hình 3. Quy trình và kết quả hiệu chỉnh mô hình cọc không phụt (BPG0)

Bài toán FEM được thiết lập trong Plaxis 3D, sử dụng mô hình Mohr-Coulomb cho đất nền và mô hình đàn hồi tuyến tính cho cọc. Quá trình hiệu chỉnh được tiến hành theo hai bước: (i) Điều chỉnh mô đun biến dạng (E) của đất nền: giảm dần từ giá trị ban đầu (3420 kPa) xuống 1710 kPa để đạt được độ khớp tốt nhất giữa mô phỏng và thí nghiệm. Kết quả cho thấy tại $E = 1710$ kPa, hệ số xác định đạt $R^2 = 0,97$, phản ánh sự phù hợp cao. (ii) Điều chỉnh hệ số tiếp xúc R_{inter} : khảo sát các giá trị từ 0,6-0,8. Kết quả tốt nhất đạt tại $R_{inter} = 0,8$ với $R^2 = 0,99$. Bộ thông số hiệu chỉnh này được sử dụng làm cơ sở cho các mô hình cọc có phụt vữa.

3.3. Xác định đường kính quy đổi cho cọc phụt vữa

Sau khi thiết lập bộ thông số nền từ BPG0, các cọc BPG20, BPG35 và BPG50 được mô phỏng bằng cách tăng dần đường kính quy đổi D_{qd} và so sánh với kết quả thí nghiệm.

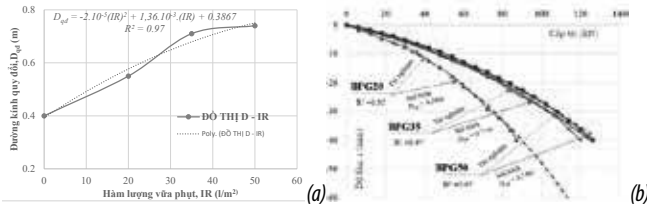
Bảng 1. Đường kính quy đổi cho các cọc phụt vữa

Cọc thử	Hàm lượng vữa IR (l/m ²)	Đường kính quy đổi D_{qd} (m)
BPG20	20	0.56
BPG35	35	0.71
BPG50	50	0.74

Mối quan hệ tương quan giữa hàm lượng vữa và D_{qd} được trình bày trong Hình 4 và có dạng tuyến tính với công thức tương quan (2) phù hợp với dạng công thức (1).

$$D_{qd} = -2 \cdot 10^{-5} \cdot (IR)^2 + 13,6 \cdot 10^{-3} \cdot (IR) + D_0 \quad (2)$$

Trong đó: D_{qd} (m) – Đường kính quy đổi cọc phụt vữa theo hàm lượng vữa phụt, D_0 (m) – Đường kính cọc khoan nhồi không phụt tương ứng, IR là hàm lượng vữa phun (lít/m²).



Hình 4. (a) Đồ thị quan hệ giữa đường kính quy đổi của cọc phụt vữa với hàm lượng vữa phụt xác định bằng phương pháp số, (b) Biểu đồ tải - lún của cọc tương ứng với đường kính quy đổi đã xác định trường hợp $R_{inter} = 1,0$

3.4. So sánh đường cong tải trọng - độ lún và đánh giá độ tin cậy của phương pháp

Kết quả so sánh giữa thí nghiệm hiện trường và mô phỏng bằng phương pháp đường kính tương đương được thể hiện qua các đường cong tải trọng - độ lún (Hình 4). Các đường cong từ mô hình số nhìn chung có xu hướng bám sát dữ liệu đo được tại hiện trường, đặc biệt ở giai đoạn tải trọng trung bình và lớn. Sai khác chủ yếu xuất hiện trong giai đoạn đầu, khi độ lún nhỏ hơn 20 mm. Nguyên nhân có thể do các yếu tố thi công, độ không đồng nhất của đất nền hoặc giả thiết mô hình chưa phản ánh đầy đủ ứng xử phi tuyến ở giai đoạn đàn hồi ban đầu. Tuy vậy, sự chênh lệch này không đáng kể và vẫn nằm trong giới hạn cho phép đối với mục tiêu mô phỏng sức chịu tải cọc.

Phân tích định lượng cho thấy sai số mô phỏng so với thí nghiệm hiện trường dao động trong khoảng $\pm 7,5\%$, với hệ số xác định $R^2 > 0,90$ cho tất cả các trường hợp (BPG20, BPG35 và BPG50). Điều này chứng tỏ phương pháp đường kính tương đương không chỉ dự báo đúng quan hệ tải - lún

Bảng 2. Tổng hợp các thông số đất nền và cọc khi mô phỏng cọc không phụt TP1

Lớp đất/ cọc	Vị trí phụt vữa	Độ sâu (m)	Dung trọng tự nhiên	Dung trọng bão hòa	Mô đun biến dạng	Lực dính (kPa)	Góc ma sát trong (độ)	Hệ số Poisson	Hệ số tiếp xúc R_{inter}
1.Sét pha		0-10	15,1	15,4	27500	60	25	0,2	0,8
2.Sét pha		10-14	21,0	21,3	23000	51	25	0,2	0,8
3.Cát pha		14-21	20,4	20,7	22500	50	25	0,2	0,8
4.Cát pha		21-25	20,0	20,5	25500	56	30	0,2	0,8
5.Cát pha		25-41	19,9	20,4	25500	56	30	0,2	0,8
6.Cát pha		41-55	20,1	20,8	60500	126	30	0,2	0,8
7.Sét pha		55-57	21,0	21,3	56000	117	25	0,2	0,8
8.Sét pha		57-72	20,4	20,7	43000	91	25	0,2	0,8
6.Cát pha	x	42.2-55	20,1	20,8	60500	126	30	0,2	1,0
7.Sét pha	x	55-57	21,0	21,3	56000	117	25	0,2	1,0
8.Sét pha	x	57-64,2	20,4	20,7	43000	91	25	0,2	1,0
9.Cát pha		72-100	20,2	21,0	43000	91	25	0,2	0,8
Cọc khoan nhồi					30.10 ⁶			0,2	0,8

Kết quả so sánh mô phỏng và thí nghiệm (Hình 5b cho chu kỳ 1 và Hình 5c cho chu kỳ 2) cho thấy độ khớp cao, đặc biệt ở chu kỳ tải lớn nhất (200% tải thiết kế), với $R^2 = 0,97$, khẳng định độ tin cậy của bộ thông số nền.

4.4. Ứng dụng công thức quy đổi cho cọc TP2

Đối với cọc TP2, công thức (1) được áp dụng với $IR = 35$ l/m². Kết quả cho thấy đoạn phụt vữa có đường kính quy đổi $D_{qd} \approx 1500$ mm, thay thế cho đường kính gốc $D = 1200$ mm. Trong mô hình số, R_{inter} tại các lớp đất bao quanh đoạn phụt vữa được gán bằng 1,0, phản ánh sự gia tăng ma sát và lực dính (Hình 6a).

Kết quả thử tải nén tĩnh tại công trình Friendship Tower được so sánh với

tổng thể mà còn phản ánh chính xác xu hướng gia tăng sức kháng thành khi tăng hàm lượng vữa phụt. Hơn nữa, sự phù hợp của các đường cong P-S ở giai đoạn tải trọng lớn cho thấy phương pháp có khả năng mô tả tốt ứng xử phi tuyến và trạng thái gần phá hoại của cọc phụt vữa.

Từ các kết quả trên, có thể khẳng định rằng phương pháp đường kính quy đổi là một công cụ đáng tin cậy để mô phỏng ứng xử cọc khoan nhồi phụt vữa, phù hợp cho cả mục đích nghiên cứu và ứng dụng trong thực hành thiết kế.

4. ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP ĐƯỜNG KÍNH TƯƠNG ĐƯƠNG VÀO CÔNG TRÌNH FRIENDSHIP TOWER

4.1. Giới thiệu công trình

Công trình Friendship Tower (31 Lê Duẩn, TP.HCM) là tòa nhà cao tầng gồm 21 tầng nổi và 4 tầng hầm, với diện tích sàn khoảng 19.000 m². Nền móng công trình sử dụng hệ cọc khoan nhồi đường kính lớn, trong đó có áp dụng kỹ thuật phụt vữa dọc thân nhằm nâng cao sức chịu tải và giảm lún. Đây là công trình điển hình để kiểm chứng tính khả thi của phương pháp đường kính tương đương.

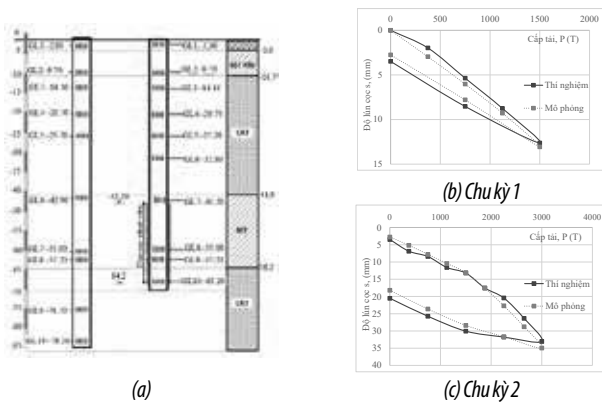
4.2. Đặc điểm địa chất và cọc thí nghiệm

Khu vực xây dựng có địa tầng phức tạp gồm 9 lớp đất chính, từ sét yếu đến cát chặt (Hình 5). Mục nước ngầm ổn định ở độ sâu khoảng - 7,5 m. Hai cọc thử nghiệm được lựa chọn là (i) TP1 (không phụt vữa): đường kính 1500 mm, chiều dài 80 m, đóng vai trò cọc đối chứng, và (ii) TP2 (có phụt vữa): đường kính 1200 mm, chiều dài 65 m, phụt vữa đoạn từ -42,2 m đến -64,2 m (22 m gần mũi cọc), với hàm lượng vữa $IR = 35$ l/m². Cả hai cọc được thử tải theo TCVN 9393:2012, với tải trọng cực đại 3000 tấn cho TP1 và 3150 tấn cho TP2.

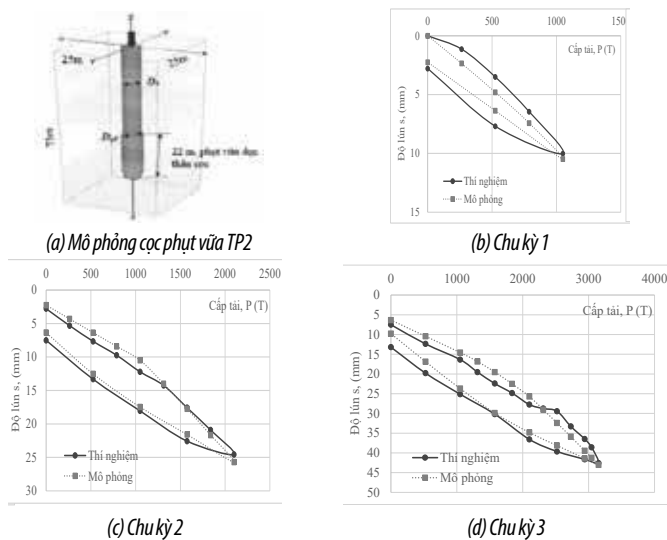
4.3. Mô hình FEM cho cọc TP1

Mô hình số trong Plaxis 3D được xây dựng cho cọc TP1 với các thông số đất nền dựa trên kết quả khảo sát hiện trường, hiệu chỉnh mô đun biến dạng E để phù hợp với kết quả nén tĩnh. Hệ số tiếp xúc giữa cọc và đất được lấy $R_{inter} = 0,8$. Các thông số đất nền và cọc khi mô phỏng cọc không phụt được tổng hợp trong Bảng 2.

mô phỏng số bằng phương pháp đường kính quy đổi cho hai cọc TP1 (không phụt vữa) và TP2 (có phụt vữa). Hình 5b, 5c và Hình 6b, 6c, và 6d trình bày sự so sánh chi tiết giữa kết quả mô phỏng và thí nghiệm cho hai cọc thử. Đối với cọc TP1, đường cong tải trọng - độ lún (P-S) từ mô phỏng gần như trùng khớp với kết quả thí nghiệm, đặc biệt ở giai đoạn tải trọng lớn. Hệ số xác định đạt $R^2 = 0,97$ ở chu kỳ thứ hai, phản ánh độ phù hợp cao giữa mô hình và thực tế. Đối với cọc TP2, phương pháp đường kính tương đương cho kết quả rất khả quan. Quan hệ P-S từ mô hình số bám sát dữ liệu hiện trường trong suốt quá trình gia tải, với hệ số xác định $R^2 = 0,89-0,92$ ở ba chu kỳ thử tải. Sai khác chủ yếu tập trung ở giai đoạn đầu tải, khi độ lún nhỏ hơn 15 mm, nhưng nhìn chung không ảnh hưởng đến khả năng dự báo sức chịu tải tổng thể.



Hình 5. (a) Chi tiết cọc thí nghiệm TP1 và TP2 và phân bố địa tầng tại công trình Friendship Tower, (b) và (c) mối quan hệ giữa độ lún và tải trọng thu được từ thực nghiệm và mô phỏng FEM từ PLAXIS 3D



Hình 6. (a) Mô phỏng cọc phụt vữa TP2, (b), (c) và (d) thể hiện mối quan hệ giữa độ lún và tải trọng thu được từ thực nghiệm và mô phỏng FEM từ PLAXIS 3D đối với cọc phụt vữa TP2

Các kết quả thu được khẳng định tính khả thi và độ tin cậy của phương pháp đường kính tương đương khi áp dụng cho công trình thực tế:

- Sai số mô phỏng so với thí nghiệm dao động trong khoảng $\pm 10\%$, nằm trong giới hạn chấp nhận được đối với bài toán nén tĩnh cọc khoan nhồi.
- Hệ số xác định R^2 đều lớn hơn 0,89, cho thấy mức độ phù hợp rất cao.
- Phương pháp không chỉ mô phỏng tốt xu hướng tuyến tính ở giai đoạn tải trọng nhỏ mà còn phản ánh đúng ứng xử phi tuyến và trạng thái gần phá hoại của cọc phụt vữa.

Như vậy, có thể kết luận rằng công thức đường kính quy đổi (1) kết hợp với phân tích FEM trong Plaxis 3D là một công cụ hữu hiệu để dự báo ứng xử cọc khoan nhồi phụt vữa trong điều kiện công trình thực tế. Phương pháp này có tiềm năng ứng dụng trong thiết kế, giúp giảm phụ thuộc vào số lượng thí nghiệm hiện trường vốn tốn kém chi phí và thời gian.

5. THẢO LUẬN

Kết quả nghiên cứu cho thấy phương pháp đường kính tương đương có khả năng dự báo khá chính xác ứng xử của cọc khoan nhồi phụt vữa, cả trong thí nghiệm hiện trường và ứng dụng công trình thực tế. Một số điểm cần thảo luận được nêu dưới đây:

(i) Về ưu điểm, phương pháp đề xuất đã đơn giản hóa đáng kể quá trình mô phỏng. Thay vì phải mô hình hóa chi tiết lớp vữa quanh thân cọc, kỹ sư chỉ cần thay đổi giá trị đường kính quy đổi D_{qd} và hệ số tiếp xúc R_{inter} . Điều này giúp giảm thời gian phân tích và dễ dàng áp dụng

trong các phần mềm phổ biến như Plaxis 3D. Hơn nữa, độ chính xác của phương pháp được chứng minh qua kết quả so sánh với thí nghiệm, với sai số nhỏ hơn $\pm 7,5\%$.

(ii) Về hạn chế, công thức quy đổi (1) mới chỉ được xây dựng và kiểm chứng trong điều kiện địa chất cát pha, với hàm lượng vữa phụt $IR \leq 50 \text{ l/m}^2$ và tỷ lệ cấp phối xi măng/nước $N/X = 0,66:1,0$. Ngoài phạm vi này, độ chính xác của phương pháp chưa được kiểm chứng. Bên cạnh đó, giả thiết bám dính tuyệt đối giữa lớp vữa và thân cọc có thể chưa phản ánh đầy đủ thực tế thi công, nơi mà các khuyết tật như bong tách hoặc nứt gãy có thể xảy ra.

(iii) Về khả năng mở rộng, phương pháp đường kính tương đương có thể được phát triển thêm để áp dụng cho nhiều loại điều kiện khác nhau. Các hướng nghiên cứu tiếp theo có thể bao gồm: (i) kiểm chứng trên nền đất sét yếu, cát rời hoặc đất lẫn sỏi; (ii) mở rộng cho các loại tiết diện khác như cọc barrette hoặc cọc chữ nhật; (iii) xây dựng công thức hồi quy đa biến, xét đến ảnh hưởng đồng thời của hàm lượng vữa, tỷ lệ cấp phối, chiều sâu phụt và điều kiện địa chất.

(iv) Về ý nghĩa thực tiễn, phương pháp đường kính tương đương có tiềm năng trở thành một công cụ hỗ trợ thiết kế nền móng. Phương pháp cho phép ước lượng nhanh hiệu quả phụt vữa mà không cần phải phụ thuộc hoàn toàn vào thí nghiệm nén tĩnh hiện trường, vốn tốn kém chi phí và thời gian. Điều này đặc biệt hữu ích trong các giai đoạn thiết kế sơ bộ hoặc khi số lượng cọc cần kiểm chứng quá lớn để có thể tiến hành thí nghiệm toàn diện.

6. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã đề xuất và kiểm chứng một phương pháp mới - phương pháp đường kính tương đương - nhằm mô phỏng ứng xử của cọc khoan nhồi có phụt vữa dọc thân. Các kết quả chính có thể tóm tắt như sau:

1. Phương pháp đường kính tương đương được thiết lập dựa trên giả thiết lớp vữa bám chặt vào thân cọc, qua đó thay thế đoạn cọc phụt vữa bằng cọc có đường kính lớn hơn. Công thức quy đổi (1) giữa đường kính tương đương và hàm lượng vữa phụt được đề xuất.

2. Kết quả mô phỏng bằng Plaxis 3D cho các cọc thí nghiệm (BPG0-BPG50) cho thấy phương pháp dự báo tốt quan hệ tải trọng-lún, với sai số trong phạm vi $\pm 7,5\%$.

3. Khi áp dụng cho công trình Friendship Tower (TP.HCM), phương pháp cho kết quả phù hợp với số liệu thử tải cọc TP1 và TP2, kể cả ở giai đoạn tải trọng gần giới hạn phá hoại.

4. Phương pháp đường kính tương đương giúp đơn giản hóa quá trình mô phỏng, giảm số lượng thí nghiệm hiện trường tốn kém, đồng thời cung cấp một công cụ hiệu quả cho giai đoạn thiết kế sơ bộ và phân tích sức chịu tải của cọc phụt vữa.

Tuy nhiên, phương pháp hiện mới chỉ được kiểm chứng trong điều kiện nền đất cát pha với hàm lượng vữa $IR \leq 50 \text{ l/m}^2$ và cấp phối $N/X = 0,66:1,0$. Các nghiên cứu tiếp theo cần mở rộng phạm vi áp dụng cho các loại đất khác nhau, các dạng cọc có tiết diện khác, cũng như xem xét tác động của điều kiện thi công đến hiệu quả phụt vữa.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Littlechild, B. D., G. D. Plumbridge, S. J. Hill, and S. C. Lee. 2000. "Shaft Grouting of Deep Foundations in Hong Kong." New Technol. Des. Dev. Deep Found., 33-45. Denver, Colorado, United States: American Society of Civil Engineers.
- [2]. Nguyen, P.-H. V., and P.-C. Nguyen. 2021. "Effects of Shaft Grouting on the Bearing Behavior of Barrette Piles: A Case Study in Ho Chi Minh City." Eng. Technol. Appl. Sci. Res., 11 (5): 7653-7657.
- [3]. Nguyen, T. D., V. Q. Lai, D. L. Phung, and T. P. Duong. 2019. "Shaft resistance of shaft-grouted bored piles and barrettes recently constructed in Ho Chi Minh city." Geotech. Eng. J. SEAGS AGSSEA, 50 (3): 155-162.
- [4]. Sze, J. W. C., and K. M. Chan. 2012. "Application of Shaft Grouting Technique in Deep Foundations - Hong Kong Experience." Grouting Deep Mix. 2012, 1085-1094. New Orleans, Louisiana, United States: American Society of Civil Engineers.
- [5]. Tran, T. D., and V. T. Tran. 2021. "Analysis of Increase in Bearing Capacity of Shaft-Grouted Bored Piles at a Project in Ho Chi Minh City." Lect. Notes Civ. Eng., 459-468. Singapore: Springer Singapore.

Giải pháp giếng cát đóng túi trong xử lý nền đất yếu và khả năng ứng dụng tại Việt Nam

Geotextile sandbag well solution for soft ground improvement and its potential application in Vietnam

> **THS NGUYỄN THANH TRƯỜNG**

Viện Kỹ thuật Công binh, Binh chủng Công binh
Email: thanhtruong.ppc@gmail.com

TÓM TẮT

Giếng cát là giải pháp xử lý nền đất yếu được áp dụng rộng rãi, tuy nhiên phương pháp truyền thống vẫn tồn tại hạn chế như đứt đoạn cột cát và thất thoát vật liệu trong điều kiện mực nước ngầm cao. Để khắc phục, công nghệ giếng cát đóng túi đã được phát triển, trong đó cát được bọc trong túi vải địa kỹ thuật nhằm duy trì ổn định cột cát, hạn chế hao hụt và nâng cao hiệu quả thoát nước. Bài báo phân tích trường hợp thực tế tại dự án đường cao tốc Thuận Đức (Trung Quốc), thông qua theo dõi quá trình cố kết, biến dạng lún và áp lực nước lỗ rỗng. Kết quả quan trắc cho thấy nền đất yếu sau xử lý đạt độ cố kết trên 85%, độ lún dư nhỏ, đảm bảo điều kiện dỡ tải và khai thác. Nghiên cứu khẳng định giếng cát đóng túi là giải pháp khả thi, hiệu quả trong gia cố nền đất yếu và có thể ứng dụng rộng rãi tại Việt Nam.

Từ khóa: Giếng cát đóng túi; công nghệ giếng cát đóng túi; khả năng ứng dụng giếng cát đóng túi tại Việt Nam.

ABSTRACT

Sand wells have been widely used for soft ground improvement; however, the conventional method is constrained by issues such as column discontinuity and material loss under high groundwater levels. To address these limitations, the geotextile sandbag well technology was developed, in which sand is enclosed in geotextile bags to enhance column stability, minimize material loss and improve drainage performance. This study presents a case analysis of the Thuan Duc Expressway project in China, where field monitoring of consolidation, settlement and pore water pressure was conducted. The results demonstrated that the treated soft ground achieved a consolidation degree exceeding 85% with minimal residual settlement, ensuring safe unloading and serviceability. The findings highlight the feasibility and effectiveness of geotextile sandbag wells as a ground improvement technique and their potential for broad application in Vietnam.

Keywords: Geotextile sandbag well; geotextile sandbag well technology; potential application of geotextile sandbag wells in Vietnam.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong lĩnh vực xử lý nền đất yếu, giếng cát từ lâu đã được áp dụng phổ biến tại Việt Nam nhờ các ưu điểm như giảm độ lún công trình, thúc đẩy quá trình cố kết, cải thiện sức chịu tải và có chi phí thi công hợp lý. Tuy nhiên, phương pháp giếng cát truyền thống vẫn tồn tại hạn chế, đặc biệt là hiện tượng đứt đoạn cột cát hoặc thất thoát vật liệu trong điều kiện mực nước ngầm cao, dẫn đến hiệu quả thoát nước giảm và thời gian cố kết kéo dài hơn so với tính toán.

Để khắc phục các nhược điểm này, từ năm 2007, Trung Quốc đã phát triển công nghệ giếng cát đóng túi, trong đó cát được

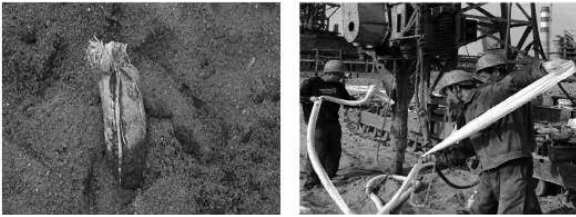
bao bọc trong các túi vải địa kỹ thuật bằng polyethylene hoặc polypropylene. Nhờ vậy, cột cát duy trì ổn định, hạn chế thất thoát vật liệu và đảm bảo quá trình thoát nước liên tục. Công nghệ này đã được triển khai thành công tại nhiều dự án hạ tầng lớn, điển hình như đường cao tốc Thuận Đức, TP Phật Sơn, Trung Quốc. Tuy nhiên ở Việt Nam, việc nghiên cứu và ứng dụng giếng cát đóng túi còn hạn chế. Bài báo này tập trung phân tích trường hợp thực tế tại dự án Thuận Đức để đánh giá tính khả thi, từ đó rút ra nhận định về khả năng áp dụng rộng rãi giải pháp này cho điều kiện nền đất yếu trong nước.



Hình 1. Thiết bị thi công giếng cát đóng túi

2. NGUYÊN TẮC HOẠT ĐỘNG

Giếng cát đóng bao được bố trí trong các lớp đất yếu có hàm lượng nước cao và hệ số rỗng lớn, đóng vai trò như các kênh thoát nước thẳng đứng, từ đó rút ngắn chiều dài và khoảng cách thoát nước. Khi công trình tác dụng tải trọng lên nền, ứng suất bổ sung làm cho nước lỗ rỗng bị ép thoát ra ngoài theo hệ thống giếng cát, góp phần đẩy nhanh quá trình cố kết và gia tăng độ lún theo thời gian.



Hình 2. Túi đựng cát bằng vải địa kỹ thuật polyethylene

So với giếng cát truyền thống, giếng cát đóng bao có ưu thế nổi bật ở khả năng duy trì ổn định cột cát, hạn chế thất thoát vật liệu và đảm bảo quá trình thoát nước diễn ra liên tục. Nhờ vậy, đất nền được cải thiện về cấu trúc: Hệ số rỗng và hàm lượng nước giảm, mật độ tăng, độ cố kết đạt được trong thời gian ngắn hơn. Kết quả là khả năng chịu tải và sức kháng cắt của đất mềm được nâng cao, góp phần tăng độ ổn định tổng thể cho nền đắp và móng công trình.

3. CHỨC NĂNG CƠ BẢN

Mục tiêu chính của phương pháp gia tải trước kết hợp giếng cát là giảm độ lún và nâng cao sức chịu tải cũng như tính ổn định của đất nền. Để đạt hiệu quả này, cát sử dụng trong các bao phải là loại sạch, có thành phần hạt phù hợp và được bố trí theo đường kính, chiều dài, khoảng cách được xác định thông qua tính toán cổ kết lý thuyết, dựa trên yêu cầu kỹ thuật về thời gian xử lý và điều kiện địa chất công trình.

Trong thực tế, giếng cát đóng bao thường có đường kính khoảng 70 mm và tỷ lệ khoảng cách bố trí giếng so với đường kính nằm trong khoảng 15 - 25 lần. Chiều dài giếng phụ thuộc vào độ dày và đặc trưng của lớp đất yếu, thông thường giếng có chiều dài hiệu quả mà không nhất thiết phải xuyên toàn bộ lớp nền. Tuy nhiên, khi lớp đất yếu không quá dày hoặc phía dưới có lớp cát thấm nước, đồng thời máy thi công cho phép dẫn cắm sâu thì việc xuyên giếng qua toàn bộ lớp đất yếu sẽ mang lại lợi ích rõ rệt cho quá trình thoát nước và gia cố.



Hình 3. Thi công giếng cát đóng túi trong điều kiện đất yếu

4. LÝ THUYẾT TÍNH TOÁN VÀ PHÂN TÍCH HIỆU QUẢ LÀM VIỆC CỦA GIẢI PHÁP GIẾNG CÁT ĐÓNG TÚI TRONG THỰC TẾ THI CÔNG

4.1. Hệ số thời gian cố kết hướng tâm (lý thuyết củng cố Baron) [8]

$$T_h = \frac{C_h \cdot t}{d_e^2} \quad (1)$$

Trong đó:

t - Thời gian cần thiết để củng cố (giây);

d_e - Đường kính ảnh hưởng của giếng cát (m), tính từ khoảng cách giữa các giếng cát;

C_h - Hệ số cố kết theo phương nằm ngang;

T - Hệ số thời gian.

Từ công thức của Baron có thể thấy thời gian cố kết tỷ lệ thuận với bình phương khoảng cách giữa các giếng cát. Việc giảm khoảng cách có thể rút ngắn đáng kể thời gian cố kết. So với giếng cát thông thường, giếng cát đóng túi có thể rút ngắn đường kính, khoảng cách và tăng cường hiệu quả cố kết; cột cát được hạn chế bởi các túi, hình dạng duy trì các thay đổi nhỏ, không xảy ra hiện tượng lỗ rỗng và hao hụt cát.

4.2. Xác định độ lún cuối cùng

Dựa vào kết quả quan trắc độ lún trong giai đoạn thi công, báo để cập áp dụng phương pháp đường cong kép để tính toán giá trị độ lún cuối cùng của nền đất yếu [9].

Mối quan hệ thỏa mãn phương trình đường cong kép:

$$\frac{t}{s_t} = \frac{1}{s_{\infty}} t + \frac{\alpha}{s_{\infty}} = at + b \quad (2)$$

Trong đó:

s_t - Độ lún tích lũy của nền đường tại thời điểm t ;

s_{∞} - Độ lún tổng cộng của nền đường;

α - Tham số được xác định qua nội suy từ số liệu quan trắc;

a, b - Các tham số nội suy;

t - Thời gian.

Dựa trên kết quả quan trắc thực tế, lấy s_t - t vẽ thành biểu đồ với t là hoành độ và $\frac{t}{s_t}$ là tung độ. Trong hệ trục tọa độ, tiến hành nội suy tuyến tính để xác định hệ số góc và tung độ gốc của đường thẳng. Dựa vào đó, có thể xác định: $a = \frac{1}{s_{\infty}}$; $b = \frac{\alpha}{s_{\infty}}$.

Từ đó suy ra được giá trị s_{∞} và α . Như vậy, có thể áp dụng phương pháp đường cong kép để dự đoán độ lún cuối cùng. Theo yêu cầu kỹ thuật, việc dự đoán độ lún sau khi gia tải cần được thực hiện khi quá trình quan trắc lún kéo dài ít nhất 6 tháng.

4.3. Phân tích hiệu quả làm việc của giếng cát đóng túi trong thực tế thi công thông qua giám sát lún nền

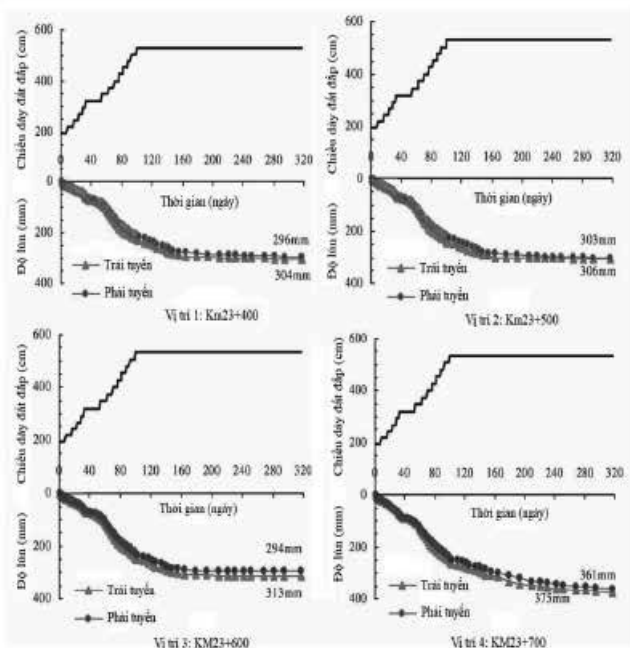
Để kiểm tra hiệu quả gia cường của giếng cát đóng túi trong thực tế, chúng ta cùng tiến hành phân tích hiệu quả sau gia cố nền đường của dự án đường cao tốc Thuận Đức, TP Phật Sơn, Trung Quốc. Trong dự án này, đoạn Km23+400 - Km23+700 sử dụng giếng cát đóng túi với khoảng cách giữa các giếng là 1,2 m và chiều sâu giếng từ 12 đến 14m, hệ thống thoát nước giếng cát bao gồm các rãnh thoát nước thẳng đứng và một lớp đệm cát dày 50 cm để thoát nước theo phương ngang.

Bảng 1. Quá trình gia tải đoạn Km23+400 - Km23+700

Lượt gia tải	Km23+400 - Km23+700		
	Độ dày từng lớp đất (m)	Chiều cao lấp đất tích lũy (m)	Thời gian dừng gia tải (ngày)
0	0	1,936	8
1	0,257	2,193	7

2	0,249	2,442	6
3	0,247	2,689	4
4	0,244	2,933	3
5	0,25	3,183	20
6	0,287	3,47	8
7	0,271	3,741	7
8	0,272	4,013	5
9	0,265	4,278	4
10	0,259	4,537	5
11	0,257	4,794	3
12	0,257	5,051	6
13	0,258	5,309	217

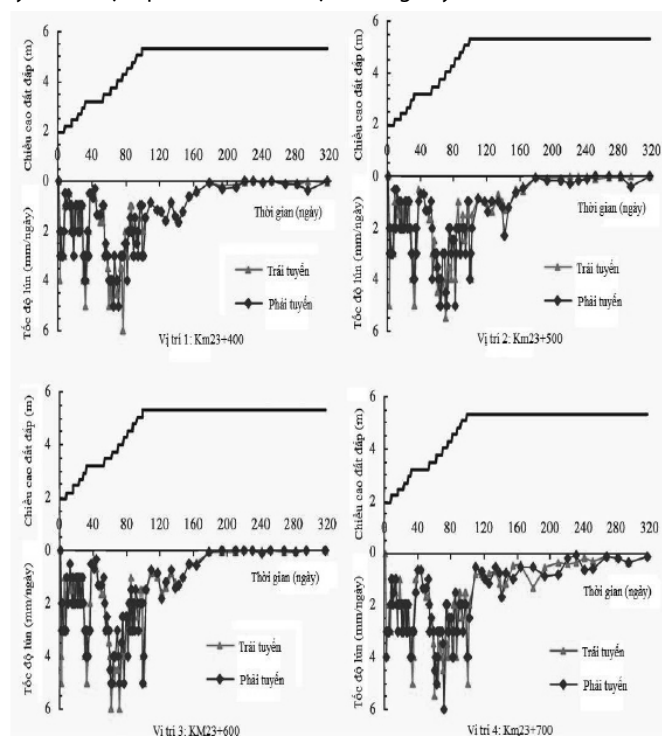
Phân tích giám sát lún nền thông qua mô hình thay đổi độ lún bề mặt: Từ đồ thị Hình 4 có thể thấy rõ ràng, trong giai đoạn gia tải theo từng cấp, đường cong lún có độ dốc khá lớn; độ lún tăng nhanh theo thời gian. Tuy nhiên, sau khi kết thúc quá trình gia tải, cùng với sự cố kết của nền đất và thoát nước lỗ rỗng, tốc độ lún dần chậm lại và đường cong lún tiến tới ổn định. Kết quả quan trắc lún tại đoạn nền đường xử lý bằng giếng cát đóng túi và gia tải trước tại vị trí Km23+400 - Km23+600 cho thấy: Tổng độ lún của nền đường trong giai đoạn gia tải trước dao động trong khoảng 294 - 313 mm. Tại mặt cắt Km23+700, giá trị độ lún quan trắc được lớn hơn, đạt khoảng 361 mm.



Hình 4. Quan hệ giữa độ lún bề mặt và thời gian gia tải trước bằng đất đắp

Tốc độ lún của nền đất trong giai đoạn gia tải trước có sự khác biệt tùy theo đặc điểm địa chất và biện pháp xử lý nền: Theo Hình 5, tại các mặt cắt Km23+400 - Km23+700, tốc độ lún lớn nhất được quan trắc dao động quanh 6 mm/ngày. Tốc độ lún lớn thường xuất hiện ở giai đoạn đầu và giữa của quá trình gia tải trước. Sau khi kết thúc gia tải, mặc dù chiều cao đắp vẫn giữ nguyên, nhưng do đất nền thoát nước và cố kết dần, tốc độ lún giảm mạnh, đường cong lún tiến dần tới trạng thái ổn định. Điều này cho thấy nền đất yếu có bố trí giếng cát đóng túi hoạt động hiệu quả, giúp quá trình cố kết diễn ra nhanh hơn, từ đó nâng cao cường độ và giảm thiểu độ lún dư về sau.

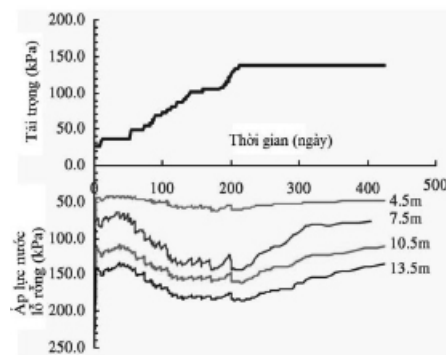
Vì vậy, giải pháp giếng cát đóng túi là biện pháp xử lý nền hợp lý và có hiệu quả tốt đối với đoạn đường này.



Hình 5. Quan hệ giữa tốc độ lún và quá trình gia tải

4.4. Phân tích áp lực lỗ rỗng

Tại vị trí Km23+700, ở mặt cắt quan trắc giữa tim tuyến, trong nền đất được chôn 4 áp lực kế nước lỗ rỗng tại các độ sâu khác nhau, lần lượt ở độ sâu 4,5 m, 7,5 m, 10,5 m và 13,5 m so với mặt đất.



Hình 6. Đường cong biến đổi áp lực nước lỗ rỗng tại mặt cắt quan trắc Km23+700

Khi gia tải theo từng cấp, áp lực nước lỗ rỗng trong đất tăng lên. Sau khi ngừng gia tải một thời gian, áp lực nước lỗ rỗng dư nhỏ dần, giá trị đo được của áp lực nước lỗ rỗng giảm xuống và hồi phục. Kết quả quan trắc áp lực nước lỗ rỗng ở các độ sâu khác nhau được phân tích, cho thấy trong toàn bộ quá trình gia tải trước, hệ số áp lực nước lỗ rỗng tổng hợp có giá trị lớn nhất là 0,38, đáp ứng yêu cầu khống chế tốc độ gia tải đất đắp.

4.5. Xác định thời điểm dỡ tải

Trong thí nghiệm này, độ lún thực đo sau khi gia tải kéo dài hơn 7 tháng, sử dụng phương pháp đường cong kép để phân tích nội suy dữ liệu quan trắc độ lún, tính toán được giá trị độ lún cuối cùng của nền đường, đồng thời tính toán độ lún còn lại của nền đường tại thời điểm kết thúc gia tải và kết thúc giai đoạn thi công.

Bảng 2. Kết quả độ lún

Mặt cắt quan trắc	Vị trí	Độ lún cuối cùng dự tính (mm)	Độ lún tích lũy khi kết thúc gia tải (mm)	Độ lún sau khi thi công (mm)	Độ cố kết (%)	Độ lún tích lũy trung bình hàng tháng của nền đường trong 2 tháng sau dỡ tải (mm)	
						Tháng 1	Tháng 2
Km23+400	Trái	324,70	304	20,70	95,50	3	1
	Phải	324,70	296	28,70	91,20	4	5
Km23+500	Trái	320,5	306	14,50	95,50	2	0
	Phải	331,10	303	28,10	91,50	0	5
Km23+600	Trái	327,90	313	14,90	95,50	2	0
	Phải	306,80	294	12,80	95,80	1	0
Km23+700	Trái	442,50	389,50	53,00	88,00	1	5
	Phải	444,40	378,90	65,50	85,20	0	0

Từ kết quả quan trắc tại dự án đường cao tốc Thuận Đức được trình bày trong bài báo đã khẳng định: Tổng độ lún quan sát được trong giai đoạn gia tải nằm trong giới hạn cho phép, độ cố kết nền đất đạt trên 85% và tốc độ lún giảm nhanh sau khi dỡ tải.

Đối chiếu với các diễn giải trong TCVN 11713:2017 - Gia cố nền đất yếu bằng giếng cát - Thi công và nghiệm thu (NXB. Xây dựng, Hà Nội, 2017), thời gian cố kết của giếng cát truyền thống trong điều kiện đất yếu bão hòa thường kéo dài 12 - 18 tháng để đạt độ cố kết yêu cầu trên 90%. Nguyên nhân chủ yếu là do hiện tượng đứt đoạn cột cát, thất thoát vật liệu hoặc bít tắc trong môi trường mực nước ngầm cao, khiến dòng thoát nước không liên tục và tiến trình cố kết chậm. Từ đó cho thấy, công nghệ giếng cát đóng túi đã chứng minh ưu thế vượt trội trong các dự án thực tế, khi nền đất đạt độ cố kết 85 - 95% chỉ sau 6 - 7 tháng gia tải, tổng độ lún quan trắc trong giai đoạn xử lý nằm trong giới hạn cho phép. Sự khác biệt này khẳng định giếng cát đóng túi là giải pháp hiệu quả, rút ngắn tiến độ thi công và giảm chi phí xử lý lún, đồng thời khắc phục được các hạn chế vốn được TCVN 11713:2017 chỉ ra đối với giếng cát thông thường.

Điểm khác biệt quan trọng của nghiên cứu này là việc kết hợp phân tích lý thuyết (củng cố Barron, đường cong kép dự đoán lún) với số liệu quan trắc thực địa, từ đó chứng minh tính phù hợp của công nghệ giếng cát đóng túi không chỉ trong điều kiện địa chất Trung Quốc mà còn có thể áp dụng cho nền đất yếu ở Việt Nam. Ý nghĩa thực tiễn là công nghệ này mở ra hướng đi mới, giúp rút ngắn tiến độ thi công, giảm chi phí xử lý lún và đảm bảo ổn định lâu dài cho các công trình hạ tầng giao thông tại Việt Nam.

5. KẾT LUẬN

Giếng cát đóng túi đã được chứng minh là giải pháp xử lý nền đất yếu hiệu quả, đảm bảo yêu cầu kỹ thuật và có tính khả thi trong thực tiễn. Kết quả nghiên cứu góp phần bổ sung cơ sở khoa học cho việc xem xét áp dụng rộng rãi công nghệ này vào các dự án hạ tầng tại Việt Nam, đặc biệt trong điều kiện nền đất yếu bão hòa nước.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bộ Khoa học và Công nghệ (2017), TCVN 11713:2017 - Gia cố nền đất yếu bằng giếng cát - Thi công và nghiệm thu, lần xuất bản thứ 1, NXB. Xây dựng, Hà Nội.
- [2]. Đỗ Thị Mỹ Dung và L. T. Q. Khải, Công nghệ xử lý nền đất yếu khu vực đồng bằng sông Cửu Long, Tạp chí Xây dựng (bản điện tử), 2022, e-ISSN 3030-4482.

[3]. N. Thanh (2012), Địa kỹ thuật công trình - Các phương pháp gia cố và cải tạo đất nền yếu, lần xuất bản thứ 1, NXB. Hà Nội.

[4]. P. D. Hữu (2016), Xử lý nền đất yếu bằng phương pháp thoát nước thẳng đứng, lần xuất bản thứ 1, NXB. Xây dựng, Hà Nội.

[5]. P. V. Long (2022), Địa kỹ thuật và xử lý nền đất yếu, lần xuất bản thứ 1, NXB. Xây dựng, Hà Nội.

[6]. T. Đ. Thịnh (2018), Thiết kế xử lý nền đất yếu bằng cọc cát-xi măng-vôi, Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất, tập 59, NXB. Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, Hà Nội, tr.78-85.

[7]. Thống Nhất, Anh Trâm (2016), Xử lý đất yếu bằng phương pháp giếng cát ở đường liên tỉnh 25A, huyện Nhơn Trạch, tỉnh Đồng Nai, Tạp chí Xây dựng. Online: <https://giaothong.tapchixaydung.vn/xu-ly-dat-yeu-bang-phuong-phap-gieng-cat-o-duong-lien-tinh-25a-huyen-nhon-trach-tinh-dong-nai-18320775.htm>.

[8]. R. A. Barron (1948), Consolidation of Fine-Grained Soils by Drain Wells, 1st ed., American Society of Civil Engineers, New York.

[9]. K. Terzaghi (1996), Soil Mechanics in Engineering Practice, 3rd ed., John Wiley & Sons, New York.

[10]. Bộ GTVT Trung Quốc (2018), 公路桥涵地基与基础设计规范 (Quy phạm thiết kế nền móng và móng cầu đường bộ), lần xuất bản thứ 1, Nhân Dân Giao thông Xuất bản xã, Bắc Kinh.

[11]. Bộ GTVT Trung Quốc (2020), 公路路基施工技术规范 (Quy phạm kỹ thuật thi công nền đường ô tô), lần xuất bản thứ 1, Nhân dân Giao thông Xuất bản xã, Bắc Kinh.

[12]. G. Shuijin and W. Yimin (2010), Daolu Kuojian Zhong Yingyong Daizhuang Shajing Jiagu Ruandiji Gongcheng Anli (Case Study on Application of Sand-filled Bag Wells in Soft Ground Treatment for Road Widening), in Proceedings of Engineering Geology, 1st ed., Journal of Engineering Geology Press, Beijing, pp.182-188.

[13]. L. Hecheng, Z. Yuxin and C. Xiaoping (2008), Shenhou Ruandiji Chuli Zhong Daizhuang Shajing Changdu de Yanjiu (Study on the Length of Bag Sand Wells in Deep Soft Ground Treatment), 1st ed., Science Press, Beijing.

[14]. O. Ning (), Gaosu Gonglu Ruandiji Chuli Zhong Daizhuang Shajing Fangfa de Yingyong (Application of Sandbag Well Method in Soft Ground Treatment of Expressways), in Collected Papers on Highway and Automotive Engineering, 1st ed., Highways & Automotive Applications Press, Beijing, pp.89-93.

Phân tích ảnh hưởng của ăn mòn cáp đến sức kháng của kết cấu dầm bê tông dự ứng lực

Influence of cable corrosion on the structural capacity of prestressed concrete beams

> THS TRẦN THU MINH, THS LÊ HÀ LINH*, TS TRẦN NGỌC HÒA, PGS.TS TRẦN THẾ TRUYỀN

Trường Đại học Giao thông vận tải

*Email: linhlh@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả tính toán mô phỏng phân tích sự suy giảm sức kháng của dầm bê tông dự ứng lực (do ăn mòn cáp và tải trọng lâu dài bằng phương pháp phần tử hữu hạn (FEA) với Midas FEA NX 2022, sử dụng phần tử khối cho bê tông và phần tử thanh cho cốt thép, cáp dự ứng lực. Hiệu ứng ăn mòn được giả định qua việc giảm tiết diện cáp 30% và xét đến tổn thất ứng suất trước theo thời gian. Kết quả thu được với ba kịch bản khảo sát cho thấy khả năng chịu uốn suy giảm đáng kể khi cáp bị ăn mòn, đặc biệt nghiêm trọng khi đồng thời chịu tải dài hạn.

Từ khóa: Dầm PSC; phần tử hữu hạn; sức kháng dầm; ăn mòn; tải trọng.

ABSTRACT

This study presents a finite element analysis (FEA) of the deterioration in flexural resistance of prestressed concrete beams subjected to cable corrosion and sustained loading. The numerical simulations were carried out using Midas FEA NX 2022, employing solid elements to model the concrete and truss elements to represent the reinforcing steel and prestressing tendons. The corrosion effect was idealized by a 30% reduction in the tendon cross-sectional area, while time-dependent prestress losses were also incorporated. The results from three parametric scenarios demonstrate a pronounced reduction in flexural capacity due to tendon corrosion, with the degradation becoming particularly critical when combined with long-term loading effects.

Keywords: PSC beams; finite element; beam resistance; corrosion; loading.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Các nghiên cứu trong và ngoài nước đã chỉ ra rằng ăn mòn cốt thép là một trong những nguyên nhân chủ yếu dẫn đến suy giảm khả năng chịu lực và tuổi thọ của kết cấu bê tông, trong đó dầm bê tông dự ứng lực (PSC) chịu tác động nghiêm trọng hơn do đặc thù của cáp dự ứng lực. Đối với kết cấu bê tông cốt thép thông thường, ăn mòn làm giảm tiết diện chịu lực của thanh thép, phá hoại liên kết bám dính giữa thép và bê tông, đồng thời gây ra nứt và bong lớp bê tông bảo vệ, từ đó làm suy giảm khả năng chịu uốn và chịu cắt (Vu & Stewart, 2005; Frangopol et al., 2012). Các nghiên cứu thực nghiệm và mô phỏng số sử dụng phương trình khuếch tán Fick để mô tả quá trình xâm nhập clo, kết hợp với phân tích ứng xử cơ học của dầm đã cung cấp cơ sở khoa học cho việc dự báo thời điểm khởi phát ăn mòn và tốc độ suy giảm sức kháng (Mahmoodian et al., 2015; Sakai, 2006).

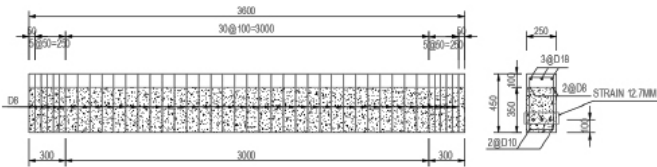
Đối với PSC, cáp dự ứng lực có đường kính nhỏ, ứng suất ban đầu cao và thường được đặt sâu trong bê tông, nên quá trình ăn mòn diễn ra khó phát hiện ở giai đoạn đầu nhưng lại có tốc độ lan truyền nhanh khi lớp bảo vệ bị phá vỡ. Ăn mòn cáp không chỉ gây mất lực dự ứng mà còn làm giảm đáng kể khả năng chịu uốn, đồng thời ảnh hưởng tiêu cực đến khả năng chống cắt và tính ổn định tổng thể của kết cấu (Tran et al., 2022). Các nghiên cứu thực nghiệm cho thấy khi mức độ ăn mòn tăng, độ võng và biến dạng dầm tăng rõ rệt, mô hình phần tử hữu hạn được sử dụng để mô phỏng sự suy giảm này đã cho kết quả phù hợp với dữ liệu thử nghiệm (Ho et al., 2024).

Ngoài ra, một số nghiên cứu đã kết hợp thí nghiệm gia tốc ăn mòn với phân tích số để xác định mối quan hệ giữa tỷ lệ ăn mòn và sức kháng còn lại của dầm PSC, qua đó thiết lập các đường cong suy giảm khả năng chịu lực phục vụ công tác đánh giá và bảo trì kết cấu trong môi trường xâm thực (Quaranta et al., 2024). Kết quả chung cho thấy, việc xem xét đồng thời ảnh hưởng của ăn mòn cáp dự ứng lực và cốt thép thường trong phân tích cơ học là cần thiết để dự báo chính xác sự suy giảm sức kháng của dầm PSC trong điều kiện khai thác lâu dài.

Trong nghiên cứu này, quá trình suy giảm sức kháng của dầm bê tông dự ứng lực dưới tác động đồng thời của ăn mòn cáp và tải trọng dài hạn được phân tích thông qua mô phỏng số bằng phương pháp phần tử hữu hạn sử dụng phần mềm Midas FEA NX 2022. Mô hình tính toán được xây dựng với phần tử khối mô tả bê tông và phần tử thanh mô tả cốt thép thường cũng như cáp dự ứng lực. Hiệu ứng ăn mòn cáp được giả định thông qua việc giảm tiết diện

cáp, đồng thời xét đến tổn thất ứng suất trước theo thời gian. Các phân tích được thực hiện với ba kịch bản khác nhau nhằm đánh giá mức độ ảnh hưởng của từng yếu tố và sự kết hợp của chúng đến khả năng chịu uốn của dầm.

2. PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH

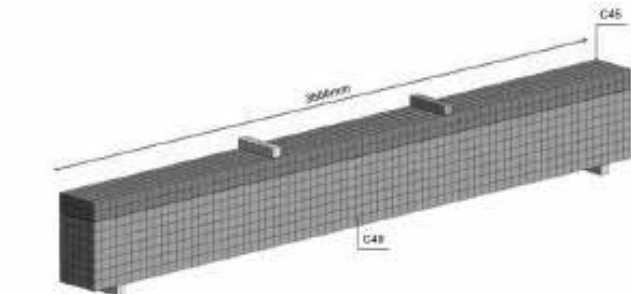


Hình 1. Kích thước chung dầm tính toán

Mô hình tính toán được xây dựng trên phần mềm Midas FEA NX 2022 với phân tích phi tuyến tính nhằm phản ánh đầy đủ ứng xử cơ học của kết cấu. Dầm được mô phỏng bằng phần tử khối cho bê tông và phần tử thanh cho cáp dự ứng lực, đảm bảo mô tả chính xác tương tác vật liệu. Dầm có chiều dài 3.600 mm, tiết diện (150×350)mm, bản sàn dày 100 mm. Bê tông thân dầm dùng mác C40, bản sàn C45; cốt thép chủ và cốt thép đai lần lượt là HRB335 và HRB400. Cáp dự ứng lực gồm ba sợi Ø12,7 mm, căng với ứng suất ban đầu 1.398 MPa.

Hiệu ứng ăn mòn cáp được giả lập bằng cách giảm khoảng 30% tiết diện cáp, đồng thời xét đến tổn thất ứng suất dự ứng lực theo thời gian dưới tác dụng của tải trọng dài hạn. Ba trường hợp tính toán đại diện được xem xét bao gồm:

- B-N-0: Dầm nguyên trạng, không ăn mòn và không chịu tải dài hạn.
- B-Y-0: Ăn mòn cáp 30%, không chịu tải dài hạn.
- B-Y-100: Ăn mòn cáp 30%, chịu tải dài hạn 100 kN.



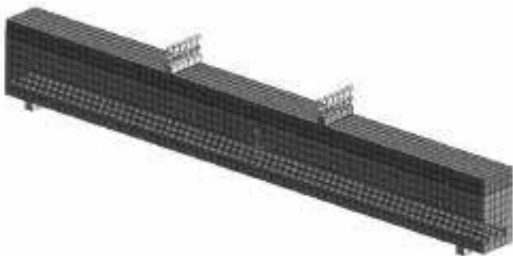
Hình 2. Mô hình phần tử bê tông



Hình 3. Mô hình phần tử cốt thép



Hình 4. Mô hình phần tử cáp dự ứng lực



Hình 5. Thiết lập mô hình tải trọng

Bảng 1. Thuộc tính vật liệu bê tông

Vật liệu	Cường độ nén, GTTB (MPa)	Mô-đun đàn hồi, GTTB (MPa)
C40	51,6	33.100
C45	55,8	34.700

Bảng 2. Thuộc tính vật liệu thép và cáp dự ứng lực

Loại thép	Đường kính, D (mm)	Cường độ kéo chảy, f_y (MPa)	Sức kháng tối đa, f_u (MPa)	Mô-đun đàn hồi thép, E_s (MPa)
Thép (HRB335)	8	343	462	209.000
Thép (HRB335)	10	351	465	210.000
Thép (HRB400)	18	415	569	211.000
Cáp dự ứng lực	12,7	1.623	1.931	196.000

* Thiết lập điều kiện biên:

- Gối cố định tại đầu dầm trái (khớp): Khóa dịch chuyển U_x , U_y , U_z .
- Gối con lăn tại đầu phải: Khóa U_y , U_z .

* Gán tải trọng (loads):

- Tải trọng phá hoại: Hai điểm tác dụng tại 1/4 và 3/4 nhịp.
- Mẫu có tải lâu dài (B-Y-100): Tải 100 kN gán ở giữa nhịp trong bước tải đầu tiên.

- Mô phỏng tải phân đoạn theo từng increment để theo dõi biểu đồ lực - chuyển vị.

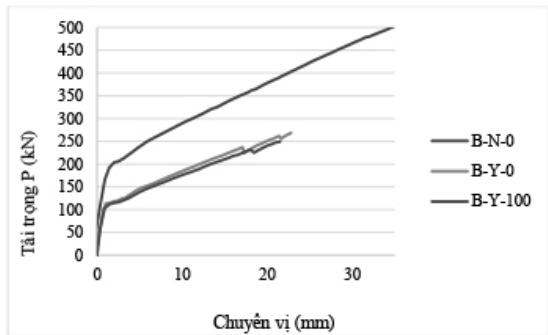
* Thiết lập phân tích:

- Loại phân tích: Nonlinear static.
- Kiểm soát bước tải: Thực hiện gia tải trên mô hình tính, cho phép bước tải thay đổi khi mô hình khó hội tụ.

* Thực hiện phân tích và xuất kết quả:

- Chạy phân tích với từng trường hợp: B-N-0, B-Y-0, B-Y-100.
- Kết quả đầu ra: Biểu đồ lực - chuyển vị tại giữa nhịp, phân bố ứng suất trong bê tông và cáp, trạng thái biến dạng tổng.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

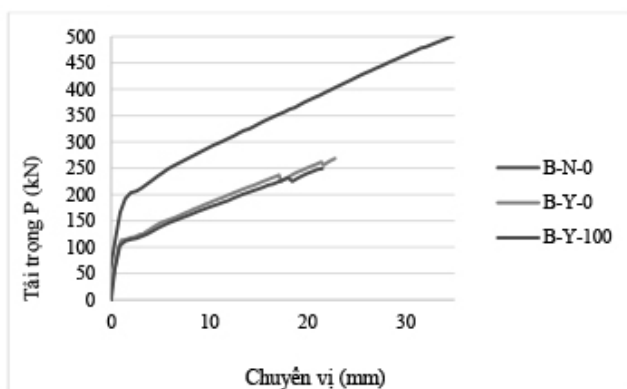


Hình 6. Biểu đồ tải trọng - chuyển vị tại vị trí giữa nhịp

Mẫu	Tải phá hoại cực đại (kN)	Mức độ biến dạng
B-N-0	500	Cao nhất
B-Y-0	270	Trung bình
B-Y-100	240	Thấp nhất

Từ biểu đồ có thể đưa ra nhận xét như sau:

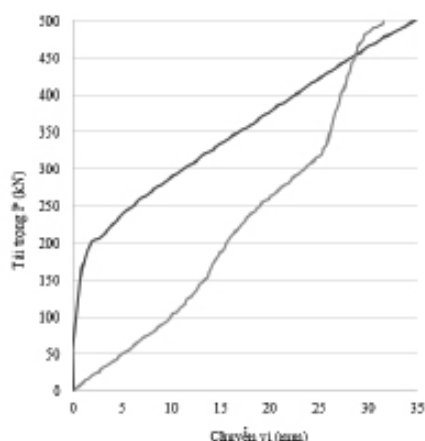
- Mẫu B-N-0 cho thấy khả năng chịu uốn lớn nhất, đường cong kéo dài, không phá hoại giòn.
- Mẫu B-Y-0 giảm đáng kể sức kháng (~46%) do ăn mòn cấp gây ra mất tiết diện, giảm lực căng.
- Mẫu B-Y-100 giảm mạnh hơn nữa (~52%) do tác động đồng thời của ăn mòn và tải lâu dài gây phá hoại giòn, mất khả năng đàn hồi rõ rệt.



Hình 7. Biểu đồ tải trọng - chuyển vị khi xét đến ảnh hưởng của mất mát ứng suất trong cáp

Hình 7 trình bày kết quả mô phỏng của 2 mẫu dầm: Mẫu dầm cáp dự ứng lực bị ăn mòn 30% và tổn thất ứng suất trong cáp 10% (B-Y-100); mẫu dầm cáp dự ứng lực bị ăn mòn 30% và không xét mất mát ứng suất trong cáp (B-Y-100-NO).

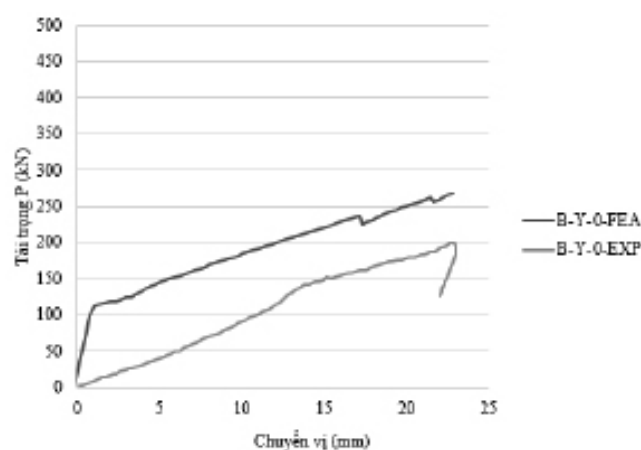
Kết quả cho thấy, việc bỏ qua tổn thất ứng suất trước dẫn đến dự đoán mang tính lý tưởng, với sai lệch lên đến 18%, làm giảm độ chính xác trong đánh giá khả năng chịu lực. Ngược lại, mô phỏng có xét tổn thất ứng suất (B-Y-100) phản ánh rõ sự gia tăng độ võng và suy giảm tải trọng cực hạn, phù hợp với thực tế suy giảm độ cứng và khả năng chịu uốn. Do đó, cần xem xét tổn thất ứng suất theo thời gian trong thiết kế, vì yếu tố này ảnh hưởng nghiêm trọng đến sức kháng uốn lâu dài và mức độ an toàn của kết cấu bê tông dự ứng lực.



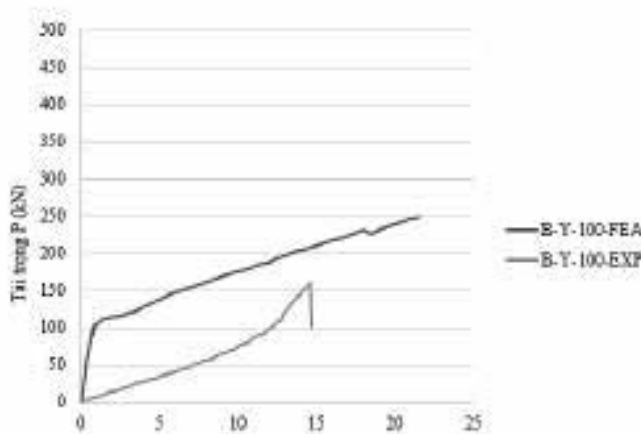
Hình 8. Biểu đồ tải trọng - chuyển vị mẫu dầm B-N-0

Sau khi xây dựng mô hình và thực hiện các phân tích bằng phần mềm Midas FEA NX cho ba trường hợp điển hình, kết quả này tiếp tục được kiểm chứng mô hình thông qua việc đối chiếu kết quả với dữ liệu thực nghiệm. Nguồn dữ liệu tham khảo [5] - trong đó trình bày kết quả thử nghiệm thực tế trên các dầm bê tông dự ứng lực chịu tác động kết hợp của tải lâu dài và ăn mòn, tương đồng với các điều kiện mô phỏng đã thực hiện. Nghiên cứu cung cấp các đường cong tải trọng - chuyển vị, cũng như thông tin về quá trình phá hoại của dầm trong từng trường hợp cụ thể.

Bằng cách sử dụng cùng thông số vật liệu và cấu hình mô phỏng như trong thí nghiệm, nghiên cứu tiến hành so sánh định lượng giữa kết quả FEA và dữ liệu thực nghiệm. Sự đối chiếu này cho phép đánh giá độ chính xác, độ tin cậy của mô hình, đồng thời chỉ ra những khác biệt trong dự đoán độ võng, sức kháng cực hạn và cơ chế phá hoại. Các kết quả so sánh và phân tích chi tiết được trình bày ở phần sau.



Hình 9. Biểu đồ tải trọng - chuyển vị mẫu dầm B-Y-0



Hình 10. Biểu đồ tải trọng - chuyển vị mẫu dầm B-Y-100

* So sánh mẫu B-N-0 (không ăn mòn, không tải lâu dài):

Mẫu B-N-0 là mẫu đối chứng không chịu bất kỳ ảnh hưởng suy thoái nào, đóng vai trò kiểm chứng độ chính xác của mô hình số. Kết quả mô phỏng cho thấy tải phá hoại đạt 500 kN, gần tương đồng với giá trị ghi nhận từ thí nghiệm thực tế. Tuy nhiên, sự khác biệt rõ rệt thể hiện ở giai đoạn đầu tải: Tại mức 100 kN, kết quả FEA ghi nhận chuyển vị chỉ khoảng 2,5 mm, trong khi dữ liệu thí nghiệm cho thấy chuyển vị đạt gần 10 mm. Sự sai lệch này bắt nguồn từ việc mô hình

số chưa xét đầy đủ hiện tượng vi nứt sớm, mềm hóa bê tông và trượt liên kết giữa cốt thép - bê tông. Tuy nhiên, về xu hướng tổng thể và giá trị cực hạn, mô hình FEA vẫn thể hiện độ tin cậy cao. Kết quả mô phỏng phù hợp tốt với thực nghiệm về tải phá hoại (~500 kN). Tuy nhiên, ở giai đoạn đầu, mô hình số có thể có độ cứng quá mức, điều này được lý giải do mô hình chưa phản ánh đầy đủ vi nứt sớm và mềm hóa vật liệu.

** So sánh mẫu B-Y-0 (ăn mòn cấp 30%, không tải lâu dài):*

Mẫu B-Y-0 phản ánh rõ tác động của ăn mòn cấp mà không có sự ảnh hưởng từ tải lâu dài. Kết quả mô phỏng cho thấy tải phá hoại giảm còn khoảng 220 kN, tương ứng với kết quả thí nghiệm (~200 kN). Tuy nhiên, độ võng ghi nhận từ mô phỏng tại 100 - 150 kN chỉ đạt ~3 - 4,5 mm, trong khi thí nghiệm cho thấy chuyển vị lớn hơn đáng kể (~10 - 15 mm), cho thấy sai lệch 250 - 300%. Điều này chứng minh rằng, mặc dù mô hình FEA phản ánh được xu hướng suy yếu sức kháng do ăn mòn nhưng vẫn chưa mô phỏng đầy đủ các hiệu ứng mềm hóa, trượt liên kết và mất hiệu quả dự ứng lực trong quá trình ăn mòn thực tế.

** So sánh mẫu B-Y-100 (ăn mòn cấp 30% + tải lâu dài 100 kN):*

Mẫu B-Y-100 mô phỏng đồng thời hai cơ chế suy thoái chính: Giảm tiết diện cấp do ăn mòn và mất ứng suất dưới tải dài hạn 100 kN. Kết quả dự đoán tải phá hoại khoảng 240 kN, cao hơn đáng kể so với giá trị thực nghiệm (~200 kN) vốn ghi nhận phá hoại giòn do đứt cáp. Sự sai khác này không chỉ nằm ở giá trị cực hạn mà còn ở bản chất phá hoại: Mô hình số cho thấy ứng xử tăng dần, trong khi thực nghiệm phản ánh sự phá hoại tải đột ngột. Điều này cho thấy ăn mòn trong thực tế không chỉ làm suy giảm tiết diện cấp mà còn tác động đồng thời đến cốt thép thường và bê tông, gây giảm khả năng chịu lực và độ bền lâu dài. Tuy nhiên, các cơ chế suy thoái tổng hợp này hiện chưa được phản ánh đầy đủ trong mô hình FEA, vốn mới chỉ xét đến giảm tiết diện và tổn thất ứng suất ban đầu. So sánh kết quả cho thấy mối liên hệ rõ rệt giữa mức độ ăn mòn và sự suy giảm sức kháng uốn tại các vùng có hệ số ăn mòn lớn.

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Kết quả phân tích cho thấy mô hình số có khả năng phản ánh xu hướng suy giảm sức kháng của kết cấu ở mức chấp nhận được, phù hợp để so sánh giữa các kịch bản khảo sát và hỗ trợ đánh giá sơ bộ. Tuy nhiên, do thiếu dữ liệu vật liệu và điều kiện biên phù hợp với thực nghiệm, mô hình chưa thể mô phỏng đầy đủ hành vi phi tuyến và cơ chế phá hoại giòn cuối giai đoạn. Khi được hiệu chỉnh với dữ liệu thực nghiệm, phương pháp này vẫn có tiềm năng ứng dụng trong đánh giá an toàn công trình.

Trong bối cảnh nhiều kết cấu hạ tầng chịu tác động của môi trường xâm thực và tải trọng dài hạn, mô phỏng số kết cấu PSC bị ăn mòn là hướng tiếp cận hiệu quả, giúp tối ưu chi phí, thời gian và nâng cao độ tin cậy khi kết hợp với kiểm định và thử nghiệm thực tế.

Lời cảm ơn: Trần Thu Minh được tài trợ bởi Chương trình học bổng đào tạo thạc sĩ, tiến sĩ trong nước của Quỹ Đổi mới sáng tạo Vingroup (VINIF), mã số: VINIF. 2024.ThS.068.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Cao Duy Tiến, Phạm Văn Khoan, Lê Quang Hùng (2003), Báo cáo tổng kết dự án KT - KT chống ăn mòn và bảo vệ các công trình bê tông và BTCT vùng biển, Viện KHCN Xây dựng.

[2]. Hồ Văn Quân, Nguyễn Văn Tươi, Trần Thế Truyền, Phạm Thái Uyết, Nguyễn Trung (2018), Dự báo tuổi thọ của các kết cấu bê tông cốt thép theo tiêu chí ăn mòn cốt thép do cacbonat hóa và xâm nhập ion clo, Tạp chí Giao thông vận tải.

[3]. Phạm Duy Hữu, Bùi Trọng Cầu, Đào Văn Đình (2014), Dự báo thời gian lan truyền ăn mòn cốt thép trong kết cấu bê tông cốt thép phơi nhiễm Clo, Tạp chí Cầu đường Việt Nam.

[4]. Tô Minh Tuấn, Nguyễn Ngọc Nam, Vũ Ngọc Anh (2010), Tính toán tuổi thọ của kết cấu bê tông cốt thép chịu ăn mòn, NXB. Xây dựng, Hà Nội.

[5]. Yang, J., Guo, T., và Li, A. (2020), Experimental investigation on long-term behavior of prestressed concrete beams under coupled effect of sustained load and corrosion, Adv. Struct. Eng., 23(12), tr.2587-2596.

[6]. Mahmoodian, M., Li, C.Q., & Setunge, S. (2015), Service life prediction of coastal infrastructures in Australia. E-Proceedings of the 36th Conference on Our World in Concrete & Structures, <https://scispace.com/pdf/design-options-implementation-issues-and-evaluating-success-5gm1piiz87.pdf>.

[7]. Sakai, K. (2006), The JSCE durability design of concrete structures and a proposal for Vietnam construction industry, JSCE Newsletter, [https://www.jsce.or.jp/committee/concrete/e/newsletter/newsletter05/1-Vietnam%20Joint%20Seminar\(Sakai\).pdf](https://www.jsce.or.jp/committee/concrete/e/newsletter/newsletter05/1-Vietnam%20Joint%20Seminar(Sakai).pdf).

[8]. Vu, K.A., & Stewart, M.G. (2005), Predicting the likelihood and extent of reinforced concrete corrosion-induced cracking, Journal of Structural Engineering, 131(11), 1681-1689, DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2005\)131:11\(1681\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2005)131:11(1681)).

[9]. Frangopol, D.M., Saydam, D., & Kim, S. (2012), Maintenance, management, life-cycle design and performance of structures and infrastructures: A brief review, Structure and Infrastructure Engineering, 8(1), 1-25.

[10]. Tran, T.T., Nguyen, X.T., Tran, T.M., et al. (2022), Influences of pre-bending load and corrosion degree of reinforcement on the loading capacity of concrete beams, Journal of the Mechanical Behavior of Materials, 31(1), 1-13, https://www.researchgate.net/publication/362199864_Influences_of_pre-bending_load_and_corrosion_degree_of_reinforcement_on_the_loading_capacity_of_concrete_beams.

[11]. Ho, Q.V., Le, T.H.M., & Huynh, T.P. (2024), The influence of pre-compression on the durability of high-performance concrete incorporating industrial by-products. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Construction Materials. DOI: 10.1177/14644207231203350.

[12]. Quaranta, G., Giaccu, G.F., Briseghella, B., et al. (2024), Probabilistic corrosion hazard maps for reinforced concrete infrastructure in coastal regions, Structure and Infrastructure Engineering, DOI:10.1080/15732479.2024.2303646.

Ảnh hưởng hàm lượng tro bay và phụ gia hóa học đến một số tính chất bê tông xi măng

The effect of fly ash content and chemical admixtures on some properties of cement concrete

> THS VƯƠNG THẾ HÙNG¹, THS NGUYỄN QUỐC TRÚC¹, TS TRẦN HỮU BẰNG^{1,*}, PGS.TS LÊ VĂN BÁCH²

¹Trường Đại học Thủ Dầu Một

²Trường Đại học Giao thông vận tải

*Email: bangth@tdmu.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng tro bay (TB) và phụ gia hóa học (PGHH) đến tính chất cơ học và độ bền của bê tông xi măng (BTXM). TB được dùng thay thế một phần xi măng nhằm tận dụng phế thải công nghiệp và giảm phát thải CO₂, kết hợp với PGHH để cải thiện tính công tác. Kết quả cho thấy bê tông đạt tính chất tốt nhất khi TB thay thế 20% xi măng. Ở tuổi 56 ngày, cường độ chịu nén và kéo khi uốn cao hơn mẫu không dùng TB lần lượt 9,26% và 3,50%. Khi hàm lượng TB đến 30%, bê tông vẫn đáp ứng yêu cầu cường độ kéo khi uốn cho mặt đường ô tô. Nghiên cứu khẳng định hiệu quả sử dụng TB và PGHH trong chế tạo bê tông bền vững, thân thiện môi trường và có khả năng ứng dụng thực tiễn cao.

Từ khóa: Bê tông xi măng; tro bay; phụ gia hóa học; cường độ; khả năng chống mài mòn.

ABSTRACT

The paper investigates the influence of fly ash (FA) content and chemical admixtures on the mechanical properties and durability of cement concrete. FA is used to partially replace cement in order to utilize industrial by-products and reduce CO₂ emissions, combined with chemical admixtures to improve workability. The results show that the optimal performance of concrete is achieved when FA replaces 20% of cement. At 56 days, the compressive and flexural strengths are 9.26% and 3.50% higher, respectively, than those of the control mix without FA. Even with a 30% FA replacement, the concrete still meets the flexural strength requirements for road pavement applications. The study confirms the effectiveness of using fly ash and chemical admixtures in producing sustainable, environmentally friendly concrete with high practical applicability.

Keywords: Cement concrete; fly ash; chemical admixtures; strength; abrasion resistance.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tại Việt Nam và nhiều quốc gia trên thế giới, đã có nhiều nghiên cứu về việc thay thế một phần xi măng bằng TB trong sản xuất BTXM [1, 2, 3, 4, 5]. Mặc dù TB và xi măng Portland có sự khác biệt về đặc tính hóa học và cơ lý, nhưng việc ứng dụng TB trong bê tông ngày càng phổ biến nhờ mang lại hiệu quả kinh tế và môi trường. TB là phế thải của các nhà máy nhiệt điện, với khối lượng phát sinh hằng năm rất lớn, nếu không được tái sử dụng hợp lý sẽ gây lãng phí và ô nhiễm môi trường. Việc tận dụng TB giúp giảm áp lực lưu trữ chất thải, tiết kiệm chi phí xử lý và góp phần hạ giá thành xây dựng do giá TB thấp hơn xi măng truyền thống, đồng thời

hướng tới phát triển vật liệu bền vững và thân thiện môi trường.

Hàng năm, lượng TB phát sinh rất lớn, có thể lên đến hàng nghìn đến hàng chục nghìn tấn, đặc biệt tại các nhà máy có quy mô lớn. Tổng lượng TB phát thải cũng biến động theo thời gian do việc xây dựng thêm các nhà máy mới hoặc thay đổi công suất vận hành của các nhà máy hiện có. TB được xem là vật liệu khoáng hoạt tính có thể sử dụng như phụ gia khoáng thay thế một phần xi măng (Dontriros và cs., 2020) [6]. Gần đây, nhiều nghiên cứu đã tập trung đánh giá ảnh hưởng của TB đến các đặc tính cơ học của vữa và bê tông (Herath và cs., 2023) [7]. Thông thường, TB được sử dụng để thay thế (0 - 40)% lượng xi măng (Trần & Phan, 2024) [8].

Việc xác định hàm lượng TB tối ưu giúp tạo ra sản phẩm bê tông vừa đáp ứng yêu cầu kỹ thuật, vừa mang lại lợi ích kinh tế và môi trường. Do sự khác biệt về thành phần khoáng và đặc tính của từng loại TB, mức độ ảnh hưởng của nó đến các tính chất của BTXM cũng không giống nhau. Trong nghiên cứu này, các thí nghiệm được thực hiện nhằm đánh giá tác động của các tỷ lệ TB khác nhau kết hợp với PGHH của hãng Sika nhằm chế tạo BTXM. Đánh giá một số đặc trưng cơ học và độ bền của BTXM trong việc đề xuất thiết kế kết cấu mặt đường ô tô.

2. VẬT LIỆU CHẾ TẠO BTXM
Kế hoạch triển khai thực nghiệm được nhóm tác giả thực hiện tại các đơn vị chuyên môn gồm: Phòng thí nghiệm Vật liệu Xây dựng của Trường Đại học Thủ Dầu Một và Phòng thí nghiệm Vật liệu Xây dựng của Phân hiệu Trường Đại học Giao thông vận tải tại TP.HCM.

2.1. Xi măng và TB
2.1.1. Xi măng (PCB40)
Xi măng PCB40 Fico sản xuất tại Việt Nam, là loại xi măng pooc-lăng hỗn hợp đạt tiêu chuẩn TCVN 6260:2020, đồng thời được chứng nhận ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 và CE Marking, đáp ứng yêu cầu xuất khẩu sang châu Âu. Đây là sản phẩm xi măng thân thiện môi trường (Eco cement), góp phần giảm phát thải và thúc đẩy xây dựng bền vững. Xi măng PCB40 Fico có khối lượng riêng 3,15 g/cm³, phù hợp cho các công trình hiện đại theo xu hướng phát triển xanh. Cường độ nén 28 ngày tuổi 45,5 Mpa (Hình 1).

2.1.2. Tro bay
Sử dụng trong nghiên cứu được lấy từ Trung tâm Nhiệt điện Vĩnh Tân 1, tỉnh Bình Thuận cũ (nay là tỉnh Lâm Đồng) (Hình 1, Bảng 1 và Bảng 2). Các thí nghiệm được tiến hành tại Phân viện Vật liệu Xây dựng Miền Nam, theo mã số 2671/SVIBM/PTH, được cấp ngày 07/02/2025.



Hình 1. Xi măng PCB40 và TB

Bảng 1. Các chỉ tiêu và tiêu chuẩn thí nghiệm đối với TB

STT	Chỉ tiêu thí nghiệm	Phương pháp thử	Kết quả
1	Lượng lọt sàng 0,045mm (%)	TCVN 8827:2011	0,4
2	Khối lượng riêng (g/cm ³)	TCVN 4030:2003	2,21
3	Khối lượng thể tích xấp kg/m ³	TCVN 7239:2014	905
4	Hàm lượng CaO tự do (%)	TCVN 141:2023	0,23
5	Lượng nước yêu cầu, phần trăm so với mẫu đối chứng (%)	TCVN 8825:2011	96,2
6	Hàm lượng kiềm có hại của phụ gia sau 28 ngày (%)	TCVN 6882:2016	0,16
7	MKN	TCVN 8262:2009	2,36
8	Độ ẩm (%)	TCVN 8262: 2009	0,18
9	Hàm lượng Cl ⁻ (%)	TCVN 8826:2024	0,01

Bảng 2. So sánh một số chỉ tiêu của TB Vĩnh Tân 1 với một số TB khác

STT	TB nhiệt điện	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	SO ₃ (%)	MKN (%)
1	Vĩnh Tân 1	58,83	24,52	4,13	1,5	0,26	2,36
2	Na Dương	29,66	18,6	10,5	21,7	10,6	4,4
3	Sơn Động	51,07	8,94	25,65	1,28	1,06	7,11
4	Vũng Ánh	53,26	23,74	6,79	-	0,21	10,8

Nhận xét: TB thu được từ Nhà máy Nhiệt điện Vĩnh Tân 1 có thành phần hóa học tương tự TB Vũng Áng, nổi bật với tổng hàm lượng SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ đạt 87,48%, cao hơn nhiều so với các nguồn khác. Các chỉ tiêu SO₃ (0,26%), CaO (1,5%) và MKN (2,36%) đều ở mức thấp, góp phần hạn chế nguy cơ ăn mòn và cải thiện cường độ của bê tông. Theo tiêu chuẩn TCVN 10302:2014, loại TB này được xếp vào nhóm F và có thể sử dụng trực tiếp trong sản xuất bê tông mà không cần xử lý bổ sung. Với đặc tính hóa học thuận lợi, TB Vĩnh Tân 1 thể hiện tiềm năng lớn trong chế tạo BTXM và các loại vật liệu xây dựng thân thiện môi trường.

2.2. Cốt liệu nhỏ
Được sử dụng trong nghiên cứu là cát thô được phơi khô và sàng để thu dải kích thước hạt từ 0,15 mm đến 4,75 mm. Các đặc trưng cơ lý của cát được xác định theo TCVN 7572:2006 và TCVN 7570:2006, đồng thời so sánh với các yêu cầu kỹ thuật trong TCCS 40:2022/TCĐBVN. Kết quả thể hiện như: Mô-đun độ lớn là M_{dl}=2,2, khối lượng riêng: 2,642 g/cm³, khối lượng thể tích xấp là: 1,445 g/cm³, hàm lượng hạt trên sàng 5 mm là 0,72%, độ hút nước là 0,7%, hàm lượng chung bụi, bùn, sét 1,3%.

2.3. Đá dăm
Nghiên cứu sử dụng đá dăm Basalt có kích thước lớn nhất D_{max} = 19 mm, được khai thác từ mỏ Tân Đông Hiệp (Bình Dương cũ nay là TP.HCM). Các đặc tính cơ lý và thành phần hạt của đá được xác định theo tiêu chuẩn TCCS 40:2022/TCĐBVN và kết quả cho thấy vật liệu đáp ứng đầy đủ các yêu cầu kỹ thuật quy định trong TCVN

7570:2006 và TCVN 7572:2006. Kết quả thể hiện như: Độ hút nước: 0,48%, khối lượng thể tích xốp: 1,613 g/cm³, khối lượng riêng: 2,785 g/cm³, hàm lượng chung bụi, bùn, sét: 0,36%.

2.4. Phụ gia hóa học

Trong nghiên cứu này, hỗn hợp bê tông được thiết kế theo cấp phối sử dụng cho BTXM, kết hợp PGHH nhằm kiểm soát hiệu quả tỷ lệ N/CKD, đặc biệt trong trường hợp có sử dụng TB. Do hạt TB có diện tích bề mặt riêng lớn nên có xu hướng làm giảm độ sụt của bê tông. Loại phụ gia được dùng là Sikament® R-7 N, có tác dụng giảm nước đồng thời kéo dài thời gian ninh kết của xi măng và giúp cải thiện tính công tác của hỗn hợp, thể hiện ở Hình 2.



Hình 2. PGHH Sikament® R-7 N

2.5. Nước

Nghiên cứu sử dụng nước máy đạt các yêu cầu kỹ thuật quy định trong TCVN 4506:2012 “Nước trộn bê tông và vữa - yêu cầu kỹ thuật”, đảm bảo phù hợp cho quá trình trộn và bảo dưỡng bê tông.

3. THIẾT KẾ THÍ NGHIỆM

3.1. Thành phần cấp phối BTXM

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả sử dụng phương pháp tính toán cấp phối Bôlomay - Ckramkaep (Nga) kết hợp với các tiêu chuẩn TCVN hiện hành để thiết kế hỗn hợp BTXM có cường độ yêu cầu 30 MPa. Các thành phần cốt liệu lớn, cốt liệu nhỏ, PGHH, nước và PGHH được giữ nguyên. Chỉ thay đổi thành phần chất kết dính bằng cách dùng lần lượt: 0%; 15%; 25% và 35% TB (theo khối lượng) thay thế xi măng. Tỷ lệ nước trên chất kết dính (N/CKD) được giữ ổn định ở 0,48 cho tất cả các cấp phối. Các cấp phối trong hỗn hợp BTXM được trình bày trong Bảng 3.

Bảng 3. Kết quả tính toán thành phần cấp phối của BTXM

Cấp phối	Thành phần vật liệu cho 1 m ³ bê tông					
	Xi măng (kg)	TB (kg)	Đá (kg)	Cát (kg)	Nước (lít)	PGHH Sika (kg)
CP-ĐC	384	-	1.235	636	183	4,22
CP1-10	346	38	1235	636	183	4,22
CP2-20	288	77	1.235	636	183	4,22
CP3-30	269	115	1.235	636	183	4,22

Ghi chú: CP-ĐC: Mẫu đối chứng; CP1-10: 10% TB; CP2-20: 20% TB; CP3-30: 30% TB.

3.2. Kế hoạch và phương pháp thí nghiệm

Mỗi tổ hợp BTXM được chế tạo 24 mẫu nhằm phục vụ các thí nghiệm xác định tính chất cơ học. Tổng hợp số lượng mẫu thí nghiệm được trình bày trong Bảng 4.

Bảng 4. Số lượng mẫu phục vụ thí nghiệm

Chỉ tiêu	Số lượng mẫu				Kích thước khuôn (mm)	Tiêu chuẩn áp dụng
	CP-ĐC	CP1-10	CP2-20	CP3-30		
R _n (7, 28 và 56 ngày)	9	9	9	9	150x150x150	TCVN 3118:2022
R _{ku} (7, 28 và 56 ngày)	9	9	9	9	150x150x600	TCVN 3119:2022
M _m (28 và 56 ngày)	6	6	6	6	70,7x70,7x70,7	TCVN 3114:2022
Tổng	24	24	24	24		

Một số hình ảnh phục vụ công tác thí nghiệm và kiểm tra chỉ tiêu cơ lý của BTXM:



Hình 3. Công tác thí nghiệm BTXM

4. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM VÀ THẢO LUẬN

4.1. Độ sụt của BTXM

Kết quả thí nghiệm độ sụt của BTXM được thể hiện ở Bảng 5.

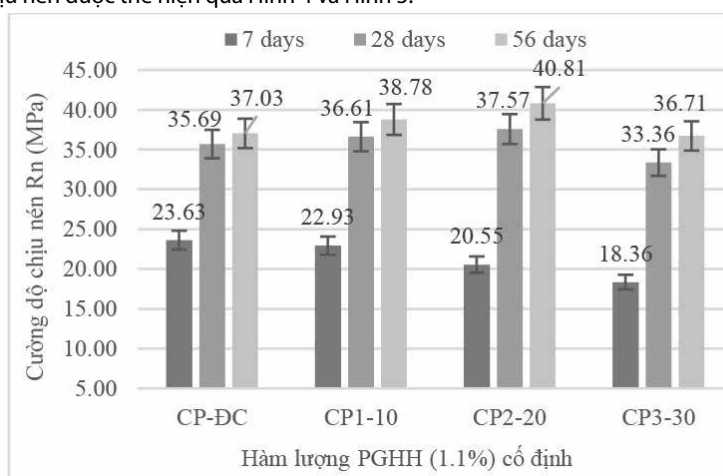
Bảng 5. Kết quả thí nghiệm độ sụt (cm)

CP-ĐC	CP1-10	CP2-20	CP3-30
4,5	5,0	6,0	7,5

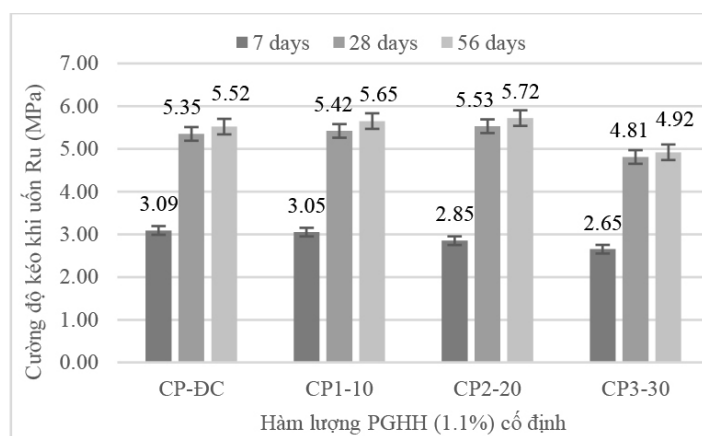
- *Nhận xét:* Kết quả thí nghiệm cho thấy, khi sử dụng PGHH kết hợp với (10%, 20% và 30%) TB thay thế xi măng thì độ sụt của hỗn hợp BTXM tăng so với khi không dùng TB lần lượt là: 10%, 25% và 40%.

4.2. Cường độ R_n và R_{ku} của BTXM

Kết quả cường độ chịu nén được thể hiện qua Hình 4 và Hình 5.



Hình 4. Kết quả cường độ chịu nén R_n



Hình 5. Kết quả cường độ chịu kéo uốn R_{ku}

*** Nhận xét:**

- Ở 7 ngày tuổi, chênh lệch về cường độ giữa các loại bê tông sử dụng TB là không lớn so với bê tông đối chứng (CP-ĐC) giá trị sau: Cường độ chịu nén 78,80 đến 97,04 % và cường độ chịu kéo khi uốn 85,76 đến 98,71%. Ở tuổi 7 ngày, phản ứng pozzolan của TB diễn ra chậm, nên chưa thể hiện rõ hiệu quả trong việc gia tăng cường độ.

- Ở 28 ngày tuổi, hỗn hợp BTXM sử dụng 20% TB đạt giá trị cường độ cao nhất. Điều này có thể được lý giải là do sự kết hợp giữa các thành phần đã hỗ trợ lẫn nhau, giúp lấp đầy các lỗ rỗng, làm cho hỗn hợp BTXM trở nên đặc chắc hơn so với mẫu đối chứng, cụ thể như sau:

+ Cường độ chịu nén 93,35 đến 102,58% và cường độ chịu kéo uốn 89,91 đến 101,31%;

+ Ở giai đoạn này, TB bắt đầu tham gia mạnh vào các phản ứng puzolan, góp phần cải thiện đáng kể cường độ cho tất cả các cấp phối bê tông có sử dụng TB.

- Ở tuổi 56 ngày, phản ứng pozzolan của TB đã phát huy rõ rệt, góp phần bù đắp lượng xi măng thay thế, giúp cường độ nén đạt từ 99,14 đến 104,73% và cường độ kéo uốn đạt từ 89,13 đến 102,36% so với mẫu đối chứng.

- Kết quả nghiên cứu cho thấy, khi sử dụng TB thay thế (10 - 30%) xi măng kết hợp với PGHH, mặc dù tổng hàm lượng chất kết dính nhỏ hơn 400 kg/m³, nhưng cường độ kéo khi uốn của BTXM vẫn đạt yêu cầu sử dụng cho kết cấu mặt đường ô tô ($R_{ku} > 4,5 - 5,0$ MPa) đáp ứng theo yêu cầu của TCCS 40:2022/TCĐBVN.

4.3. Khả năng chống mài mòn của BTXM

Kết quả thí nghiệm độ mài mòn của BTXM được thể hiện ở Bảng 6.

Bảng 6. Kết quả độ mài mòn ở tuổi 28 ngày và 56 ngày tuổi

TT	Ký hiệu	BTXM			
		CP1-10	CP2-20	CP3-30	CP-ĐC
Kết quả độ mài mòn M_m ở tuổi 28 ngày					
1	Kết quả thí nghiệm, g/cm ²	0,478	0,404	0,589	0,585
		0,489	0,394	0,587	0,573
		0,483	0,412	0,596	0,579
2	Giá trị trung bình M_m , g/cm ²	0.483	0,403	0,591	0,579
Kết quả độ mài mòn M_m ở tuổi 56 ngày					
1	Kết quả thí nghiệm, g/cm ²	0,426	0,359	0,524	0,526
		0,416	0,351	0,522	0,516
		0,429	0,363	0,531	0,521
2	Giá trị trung bình M_m , g/cm ²	0,424	0,358	0,526	0,521

*** Nhận xét:**

- Ở 28 và 56 ngày tuổi, kết quả thí nghiệm M_m nhỏ nhất hay khả năng chống mài tốt nhất khi sử dụng 20% TB. Khi sử dụng hàm lượng thay thế 30% TB kết quả độ mài mòn lớn nhất (khả năng chống mài mòn thấp) so với cấp phối đối chứng. Điều này phù hợp với kết quả thí nghiệm cường độ chịu nén và kéo khi uốn.

- Theo TCCS 40:2022/TCĐBVN, khi sử dụng (10 - 20)% TB phù hợp mặt đường BTXM đường ô tô cấp III trở xuống, độ mài mòn $M_m \leq 0,3$ (g/cm²) và khi sử dụng 30% TB phù hợp mặt đường BTXM đường ô tô cấp IV trở xuống (mặt đường giao thông nông thôn), độ mài mòn $M_m \leq 0,6$ (g/cm²).

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã cho thấy rằng việc sử dụng TB thay thế một phần xi măng có sử dụng PGHH rút ra một số kết luận sau:

- Trung tâm Nhiệt điện Vĩnh Tân 1 phù hợp với TB loại F theo các quy định hiện hành ở trong và ngoài nước, đáp ứng yêu cầu làm phụ gia khoáng hoạt tính cho BTXM.

- Khi sử dụng hàm lượng TB càng nhiều thì độ sụt của hỗn hợp BTXM cũng tăng, cường độ ở tuổi 7 ngày phát triển chậm, nhưng ở tuổi 56 ngày thì cường độ phát triển nhanh hơn khi sử dụng hàm lượng cho bay nhiều. Hàm lượng TB thay thế xi măng ở 20% trong thành phần chất kết dính cho kết quả tính cơ học của bê tông là tốt nhất.

- Đề xuất việc sử dụng 20% TB phù hợp mặt đường BTXM đường ô tô cấp III trở xuống và khi sử dụng 30% TB phù hợp mặt đường BTXM đường ô tô cấp IV trở xuống (mặt đường giao thông nông thôn).

- Việc sử dụng TB trong tất cả các cấp phối BTXM giúp giảm lượng xi măng, qua đó cắt giảm phát thải CO₂, tận dụng hiệu quả nguồn phế thải công nghiệp, đồng thời giảm nhiệt thủy hóa và nâng cao khả năng chống nứt của mặt đường ở giai đoạn đầu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Concrete Society (1991), The Use of Fly ash in Concrete, Technical Report No.40, The Concrete Society, Wexham, Slough.
- [2]. T. T. Hiếu (2017), Nghiên cứu ứng dụng BTXM TB làm mặt đường ô tô ở Việt Nam, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học GTVT.
- [3]. T. D. Quân, N. T. Sang, L. T. Trang, H. T. Văn (2021), Một nghiên cứu thực nghiệm bê tông hàm lượng TB cao có cường độ cao làm mặt đường ô tô ở Việt Nam, Tạp chí GTVT, 3, tr.105-109.
- [4]. T. H. Bằng, N. T. Sang (2023), Đề xuất kết cấu mặt đường BTXM sử dụng cát độ tinh Bình Thuận kết hợp TB và xỉ lò cao, Tạp chí Xây dựng, 12, tr.47-51.
- [5]. N. Đ. Trọng (2024), Ảnh hưởng của hàm lượng TB đến một số tính chất của BTXM khi sử dụng phụ gia siêu dẻo MasterGlenium Sky 8718, Tạp chí GTVT, 6, tr.52-55.
- [6]. Dontriros, S., Likitlersuang, S., Janjaroen, D., (2020), Mechanisms of chloride and sulfate removal from municipal-solid-waste-incineration fly ash (MSWI FA): Effect of acid-base solutions, Waste Management 101, 44-53.
- [7]. Hasan, D.S., Zaheer, M.M., Arif, M., (2023), Effect of nano materials on cementitious mortar composites exposed to sulphate attack, Materials Today: Proceedings.
- [8]. Tran, H.B., Phan, T.A.V., (2024), Potential usage of fly ash and nano silica in high-strength concrete: Laboratory experiment and application in rigid pavement, Case Studies in Construction Materials 20, e02856.

Phân tích nội lực sàn bê tông lắp ghép theo phương ngang

Analysis of internal forces of precast concrete floors in horizontal direction

> PGS.TS NGUYỄN ANH DŨNG¹, NGUYỄN ĐĂNG KHÔI²

¹Trường Đại học Thủy Lợi, Email: dung.kcct@tlu.edu.vn

²HVCH Phân hiệu Trường Đại học Thủy Lợi, Email: khoinguyen.28100@gmail.com

TÓM TẮT

Sàn nhà đóng vai trò quan trọng trong việc đảm bảo sự ổn định tổng thể của công trình. Sàn cần có độ cứng đủ lớn để truyền tải ngang vào hệ kết cấu đứng. Đối với các công trình bê tông lắp ghép, việc đảm bảo độ cứng của sàn là một vấn đề quan trọng và phức tạp, do sàn được cấu thành từ các cấu kiện riêng lẻ, được sản xuất sẵn tại nhà máy. Bài báo trình bày một số mô hình tính toán như mô hình giàn ảo, mô hình DIN 1045-I... nhằm xác định nội lực phát sinh trong sàn khi chịu tải ngang, cũng như các lực liên kết cần thiết để đảm bảo độ cứng và khả năng truyền tải ngang của sàn bê tông lắp ghép. Đây là nguồn thông tin hữu ích dành cho các kỹ sư thiết kế công trình bê tông lắp ghép.

Từ khóa: Tấm sàn cứng, tiêu chuẩn BS EN 1992-1-1, sàn lắp ghép.

ABSTRACT

Floors play an important role in ensuring the stability of the building. The floor systems must be stiff enough to transmit horizontal loads to the vertical structures. In precast concrete constructions, the ensuring hardness of the floor system is an important and complicated task because the floor system is made from individual components manufactured in advance at the factory. This paper will present some calculation models such as Strut-and-tie models, DIN 1045-I model... to determine the internal forces generated in the floor system when subjected to horizontal loads and the necessary tie forces to ensure stiffness and horizontal load transmission for precast concrete floors.

Keywords: Floor diaphragms, BS EN 1992-1-1, precast slabs

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Trong những năm gần đây, các công trình xây dựng như nhà cao tầng và các kết cấu hạ tầng kỹ thuật ngày càng sử dụng phổ biến kết cấu bê tông lắp ghép. Nhiều công ty xây dựng đã nhập khẩu dây chuyền công nghệ bê tông lắp ghép để phục vụ cho việc sản xuất và thi công. Điển hình, Tổng công ty VINACONEX đã nhập khẩu

công nghệ từ châu Âu và ứng dụng vào sản xuất các cấu kiện bê tông lắp ghép, phục vụ xây dựng các tòa nhà cao tầng (lên tới 34 tầng) sử dụng kết cấu bán lắp ghép tại khu đô thị Trung Hòa - Nhân Chính từ đầu những năm 2000. Đến nay, các công trình này vẫn thể hiện được độ bền vững và diện mạo chắc chắn [1]. Hiện nay, số lượng các công ty sản xuất cấu kiện bê tông lắp ghép tại Việt Nam đã tăng lên đáng kể, có thể kể đến như Công ty Bảo Quân, Công ty Amacao, Công ty Phan Vũ... Điều này cho thấy tính hiệu quả và xu hướng phát triển mạnh mẽ của kết cấu bê tông lắp ghép trong ngành Xây dựng.

Mặc dù kết cấu bê tông lắp ghép đã được sử dụng từ khá lâu và hiện nay đã trở nên phổ biến, nhưng tại Việt Nam vẫn còn thiếu nhiều tài liệu hướng dẫn chi tiết về tính toán và thiết kế loại kết cấu này. Về tiêu chuẩn thiết kế và thi công, chủ yếu dựa vào tiêu chuẩn TCVN 5574:2018 [2] cho cả thiết kế kết cấu toàn khối và lắp ghép. Tiêu chuẩn thi công và nghiệm thu sản phẩm lắp ghép được áp dụng theo TCVN 9115:2019 [3] và TCVN 9114:2012 [4] cho các cấu kiện lắp ghép ứng dụng công nghệ ứng lực trước. Hiện nay, chưa có hướng dẫn tính toán thiết kế riêng dành cho cấu kiện lắp ghép tại Việt Nam. Việc tham khảo các tài liệu nghiên cứu và hướng dẫn thiết kế từ các quốc gia tiên tiến như châu Âu hay Vương quốc Anh [5-10] để ban hành các tài liệu hướng dẫn tính toán thiết kế là thực sự cần thiết.

Do đặc điểm về chế tạo và thi công, một trong những vấn đề lớn nhất khi sử dụng kết cấu bê tông lắp ghép là đảm bảo sự ổn định cho công trình. Trong đó, việc đảm bảo độ cứng cho kết cấu sàn nhằm đảm bảo ổn định tổng thể của ngôi nhà cũng như khả năng truyền tải ngang - là một vấn đề phức tạp đối với kết cấu bê tông lắp ghép. Theo tìm hiểu của nhóm nghiên cứu, hiện tại ở Việt Nam hầu như chưa có tài liệu hướng dẫn tính toán cụ thể cho vấn đề này. Vì vậy, bài báo này sẽ dựa theo các quy định trong tiêu chuẩn BS EN 1992-1-1 [5] và một số tài liệu quốc tế [10, 11] đã được công bố để phân tích sự làm việc theo phương ngang của sàn bê tông lắp ghép. Trên cơ sở đó, nhóm nghiên cứu tiến hành tính toán nhằm đảm bảo độ cứng, sự ổn định và khả năng truyền lực ngang cho toàn bộ công trình.

2. SỰ ỔN ĐỊNH CỦA NHÀ BÊ TÔNG LẮP GHÉP

Sự ổn định của các tòa nhà bê tông lắp ghép đạt được theo một trong hai cách. Thứ nhất, tải trọng ngang do gió được truyền đến tường chịu cắt hoặc khung chịu mô men thông qua sàn hoạt động như một "dầm cao" nằm ngang, hoặc một số mô hình phù hợp khác, được gọi là tấm sàn cứng (floor diaphragms). Bất kỳ loại kết cấu sàn nào cũng có thể được thiết kế và thi công theo cách này, nhưng các vấn đề cụ thể phát sinh đối với sàn bê tông lắp ghép bao gồm các

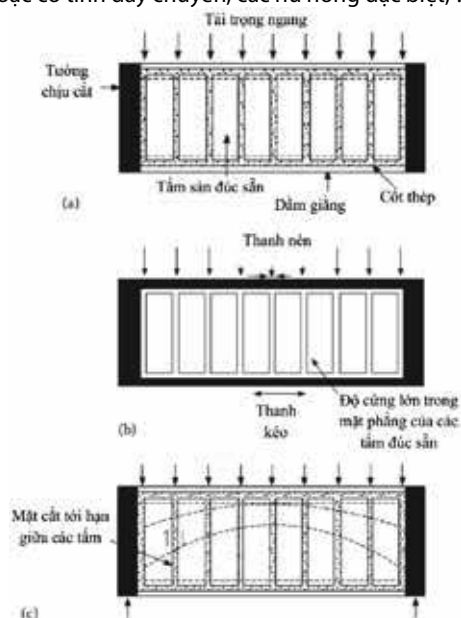
cấu kiện riêng lẻ, chẳng hạn như sàn lõi rỗng hoặc sàn chữ T đôi, do cách kết nối cục bộ của chúng với nhau. Nếu sàn là một kết cấu đặc, chẳng hạn như sàn dạng ván bán lắp ghép, các khu vực cục bộ này sẽ không tồn tại và các lực ngang được phân bố đều trên toàn bộ diện tích sàn.

Cách thứ hai, phần lực ngang do sàn tạo ra tại mỗi cao độ sàn được truyền xuống móng thông qua các cột hoặc các cấu kiện giằng. Khi khoảng cách giữa các cấu kiện giằng lớn, ví dụ hơn 6-10 m, sàn phải được thiết kế như một tấm, hay còn gọi là tấm cứng, chịu được lực cắt và mô men uốn. Khi các khe hở dọc giữa các khối sàn đúc sẵn riêng lẻ và các khoảng trống giữa các tấm sàn và dầm được lấp đầy bằng vữa tại chỗ hoặc bê tông (tùy thuộc vào chiều rộng lấp đầy). Một 'dầm hình xuyên', hoặc một loạt 'dầm hình xuyên', được tạo thành xung quanh các khối sàn đúc sẵn bằng cách sử dụng một lượng nhỏ bê tông đúc tại chỗ, được gia cố bằng thanh cốt thép hoặc tạo cáp thép không ứng suất, để kẹp chặt các tấm sàn lại với nhau một cách hiệu quả nhằm đảm bảo hoạt động của tấm cứng. Với dầm hình xuyên bê tông cốt thép tại chỗ là một tấm sàn cứng tự cung tự cấp. Tuy nhiên, có nhiều trường hợp cần có lớp phủ kết cấu để có lợi cho thiết kế bản sàn (tăng cường độ và độ cứng, tác động dầm chuyển) và trong trường hợp này, tấm sàn cứng được cung cấp hoàn toàn bởi bê tông phủ, được gia cố bằng lưới thép và (có thể) một số thanh rời xung quanh chu vi.

Cách thức hoạt động của tấm cứng phụ thuộc vào hình dạng mặt bằng của sàn, được thể hiện trong Hình 1a. Tấm cứng có thể hoạt động như một giàn không thanh xiên (dầm Vierendeel) trong Hình 1b, hoặc thường gặp hơn là một dầm ngang cao có vòm nén và dây kéo như thể hiện trong Hình 1c.

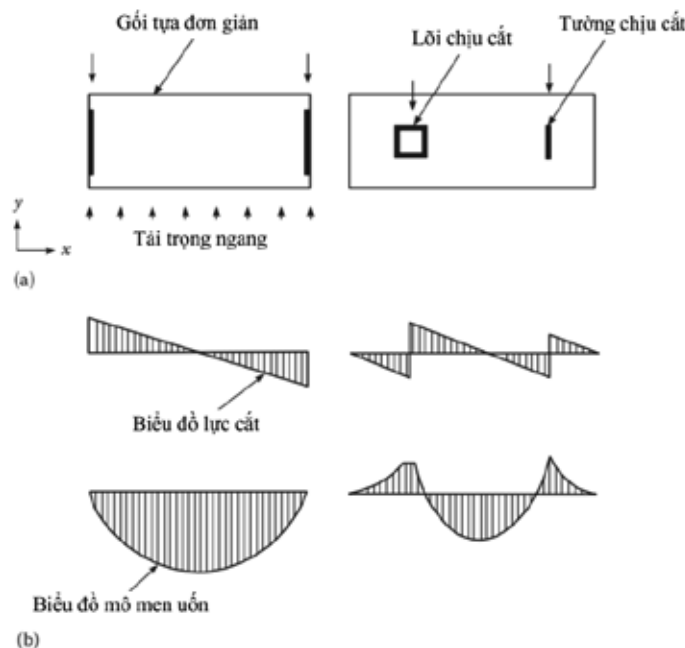
Giả thiết rằng không có biến dạng ngoài mặt phẳng (các độ võng thẳng đứng), khi đó ứng xử động được loại trừ khỏi phân tích như đã trình bày. Tương tự như tải trọng gió, tấm sàn cứng cũng có thể chịu thêm các lực ngang, chẳng hạn như:

- Lực ngang do kết cấu không hoàn hảo có thể biểu hiện dưới dạng lực phục hồi giữa các bức tường ổn định. Lực này bằng $\theta_i(N_b + N_a)/2$ (xem trong phần sau) tại mỗi tầng.
- Ảnh hưởng của nhiệt độ và co ngót.
- Trong mặt phẳng, các lực như hậu quả của các tải trọng bất thường hoặc có tính dầm chuyển, các hư hỏng đặc biệt, ...



Hình 1. Các mô hình kết cấu được sử dụng để phân tích tấm sàn cứng. (a) Giàn chéo, (b) Giàn không thanh xiên và (c) Dầm cao

Ví dụ về vị trí giằng được thể hiện trong Hình 2a để thể hiện sự phụ thuộc của tấm sàn cứng vào việc bố trí kết cấu trên mặt bằng sàn. Mô men uốn và phân bố lực cắt của tấm cứng được tính toán cho các trường hợp được thể hiện trong Hình 2a tương tự như trong Hình 2b đối với tải trọng ngang phân bố đều. Tấm cứng phải được kiểm tra theo cả hai hướng vuông góc vì ứng suất cắt bổ sung vuông góc với hướng tải có thể quan trọng ngang bằng với ứng suất cắt bổ sung theo hướng tải.



Hình 2. (a) Mặt bằng của tấm sàn cứng và (b) Biểu đồ mô men uốn và lực cắt trên tấm sàn cứng

3. PHÂN TÍCH NỘI LỰC CỦA TẤM SÀN CỨNG THEO PHƯƠNG NGANG

Lực tác động lên tấm sàn cứng do sự không hoàn hảo hình học gây ra bởi biến dạng của sự thiếu độ thẳng đứng của cột được xác định từ vị trí góc của cột và tường vuông góc, như thể hiện trong Hình 3. Một phương pháp thiết kế [12] dựa trên mô hình DIN 1045-1 đưa ra phân tích không hoàn hảo trong BS EN 1992-1-1 [5], Hình 5.1c. Độ nghiêng đồng đều của các cột, đặc biệt là cột một tầng có đầu khớp nhưng ít xảy ra hơn ở các cột liên tục, sẽ giảm khi số lượng cột trong mặt phẳng lắc (sway) tăng lên. Theo Hình 3, độ nghiêng $\theta_i/2$ gây ra lực màng chắn H_i được biểu thị bằng

$$\theta_i = \sqrt{0.5(1 + 1/m)\alpha_h/200} \quad (1)$$

Trong đó

$$\alpha_h = 2/3 \leq 2/\sqrt{h} \leq 1$$

h là chiều cao tầng của cột.

m là số lượng cột tham gia vào tổng lực theo phương của sai lệch hình học.

$$H_i = \frac{\theta_i(N_b + N_a)}{2} \quad (2)$$

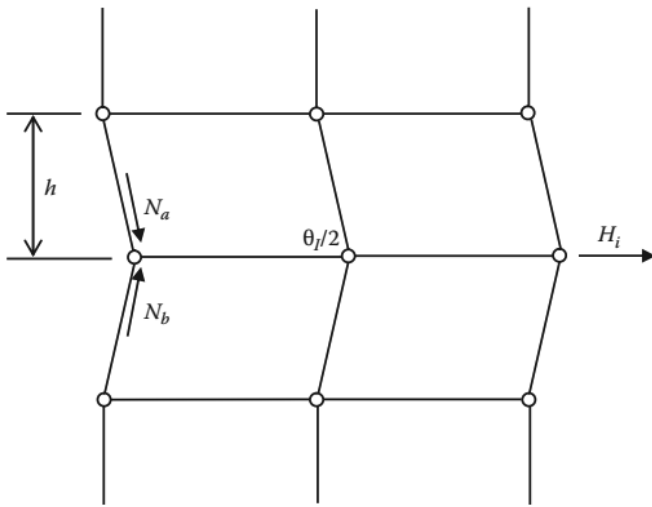
Và đối với tấm cứng mái (sàn mái):

$$H_i = \theta_i N_a \quad (3)$$

Sau đó tải trọng phân bố tương đương tác động lên tấm sàn cứng là:

$$q = \frac{H_i}{L} \quad (4)$$

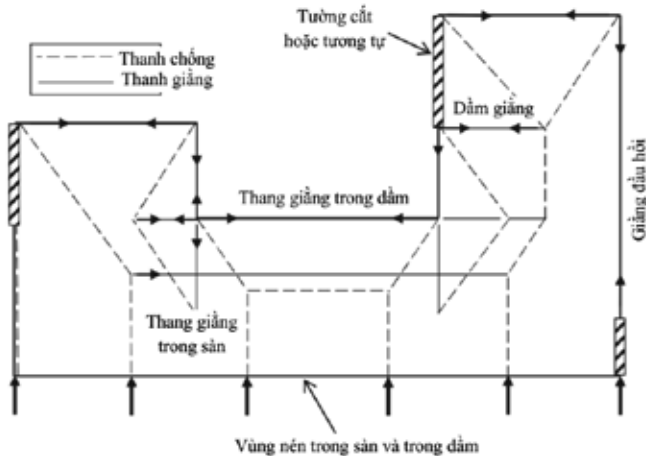
trong đó L là chiều dài mặt đứng được sử dụng để xác định lực H_i .



Hình 3. Tải trọng tấm cứng ngang gây ra bởi sự không hoàn hảo hình học (Dựa theo BS EN 1992-1-1 [5], Hình 5.1c.)

Ví dụ: Với một kết cấu hai nhịp ($m = 3$ cột), chiều cao tầng $h = 3,5$ m, chịu tải trọng giới hạn ở cột trên và dưới lần lượt là 2000 kN và 2600 kN, ta có: $\alpha_h = 2/\sqrt{3,5} > 1$, $\theta_i = 0,816 \times 1/200 = 0,0041 \text{ rad}$. $H_i = 0,0041 \times 5000/2 = 9,4 \text{ kN}$ mỗi cột $\times 3 = 28,2 \text{ kN}$ cho mỗi nhịp sàn. Kết quả này so sánh với $0,5\% \sum N = 0,005 \times 6000 = 30 \text{ kN}$ và với áp lực gió: $1 \text{ kN/m}^2 \times 3,5 \text{ m}$ chiều cao $\times 8 \text{ m}$ bề rộng nhịp = 28 kN. Lưu ý rằng, khi tải trọng nén dọc trục của cột lớn (ví dụ $N = 5000 \text{ kN}$), thì lực H_i tăng lên khoảng 60 kN mỗi nhịp, và khi đó giá trị này sẽ chi phối thiết kế.

Các mô hình thanh chống - giằng (mô hình giàn ảo) có thể được sử dụng để xác định phương chiều nội lực trong tấm sàn cứng có hình dạng bất quy tắc, hoặc với các góc lõm như minh họa ở Hình 4. Các lực chéo có thể được phân tích thành: (1) lực cắt trong mặt phẳng giữa các tấm sàn lắp ghép hoặc trong lớp bê tông đỉnh; và (2) lực cắt bổ sung trong các phần tử neo ở hai đầu của bản sàn. Các phần tử neo này thường là dầm, nhưng cũng có thể là tường.



Hình 4. Mô hình thanh chống - giằng thể hiện tác động tấm sàn cứng của một sàn được đỡ bởi tường chịu cắt và có góc lõm

Các phản lực trong các cấu kiện giằng - từ đây gọi là tường chịu cắt - được tính toán theo Công thức (5) và được ký hiệu là $H_1, \dots, H_n$ trong Hình 5.

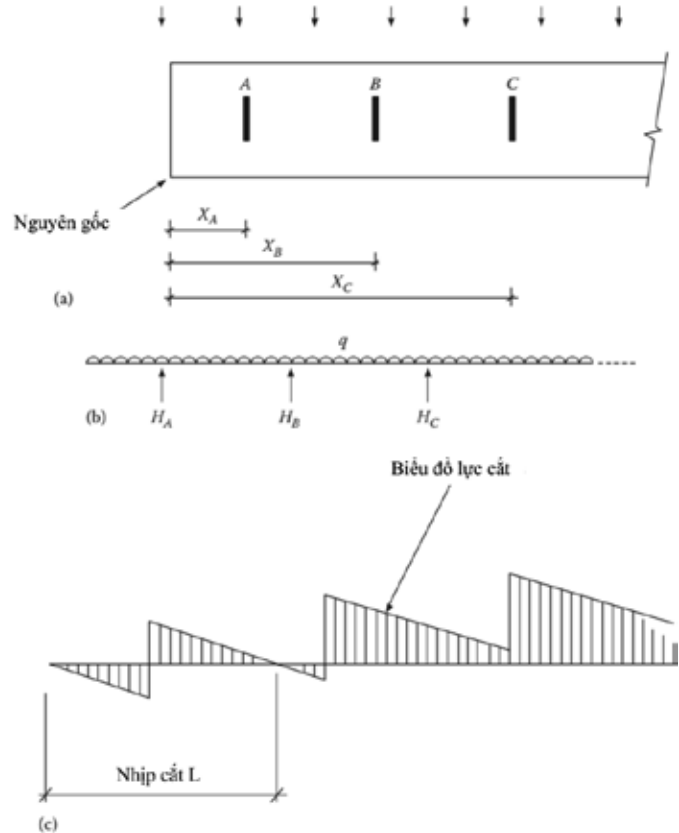
$$\frac{H_n}{H} = \frac{E_n I_n}{\sum E_i I_i} \pm \frac{e E_n I_n a_n}{\sum E_i I_i a_i^2} \quad (5)$$

Trong đó

H_n là phản lực trong giằng n

H là tổng tải trọng tác dụng

$E_n I_n$ và $E_i I_i$ là độ cứng của giằng n và của tổng các giằng
 a_n và a_i là khoảng cách từ tâm cứng tới giằng n và tới tổng các giằng



Hình 5 (a) Ví dụ vị trí của giằng hoặc tường trong tấm sàn cứng, (b) Phân lực trong mỗi giằng và (c) Biểu đồ lực cắt dọc trên tấm sàn cứng

Nếu tải trọng ngang tác dụng tại một cao trình sàn là q (kN/m dài), thì lực cắt trong tấm sàn cứng (ký hiệu h) được tính như sau:

$$\text{Tại tường A: } V_{hAO} = qx_a V_{hAB} = H_A - qx_A$$

$$\text{Tại tường B: } V_{hBA} = qx_B - H_A V_{hBC} = H_A + H_B - qx_B \quad (6)$$

Và tiếp tục như vậy. Momen uốn lớn nhất trong tấm sàn cứng xuất hiện tại vị trí mà lực cắt bằng 0 (tức là $\partial M / \partial x = -V$). Khi đó tại tường A, momen hướng về đầu tự do của tấm sàn cứng được xác định:

$$M_b = \frac{qx_A^2}{2} \quad (7)$$

(Chú ý: các momen và lực thiết kế theo trạng thái giới hạn cực hạn sẽ mang chỉ số Edh).

Giả thiết tại một vị trí giữa tường A và tường B tồn tại điểm mà lực cắt trong sàn bằng 0, thì khoảng cách L từ tường A đến vị trí đó phải thỏa mãn:

$$x_A < L = \frac{H_A}{q} \leq x_B \quad (8)$$

Trong đó:

H_A : phản lực ngang tại tường A

q : tải ngang phân bố đều trên sàn (kN/m)

x_A, x_B : khoảng cách đến các tường

Mô men uốn tại điểm này:

$$M_{hA} = \frac{qL^2}{2} - H_A(L - x_A) \quad (9)$$

Nếu điều kiện (8) không thỏa mãn:

Khi đó ta tìm tiếp điểm lực cắt bằng không giữa tường B và C, với:

$$x_B < L = \frac{H_A + H_B}{q} \leq x_C \quad (10)$$

Mô men uốn tại đây:

$$M_h = \frac{qL^2}{2} - H_A(L - x_A) - H_B(L - x_B) \quad (11)$$

Và cứ tiếp tục xét dọc theo toàn bộ chiều dài của tấm cứng (diaphragm). Có thể tồn tại nhiều điểm lực cắt bằng 0, do đó phải kiểm tra tất cả các trường hợp. Tuy nhiên, kinh nghiệm thực tế cho thấy mô men lớn nhất thường xuất hiện giữa những tường cách xa nhau nhất.

Lực cắt trong tấm sàn cứng bao gồm: Ngoài lực cắt theo phương dọc y (giữa các cấu kiện sàn) ký hiệu V_{hy} và lực cắt theo phương ngang x (trong mỗi nối tại đầu dầm), ký hiệu V_{hx} . Trong trường hợp chỉ có một nhịp sàn, $V_{hx} = 0$, và lực cắt lớn nhất nằm trong thân các tấm sàn. Tuy nhiên với sàn nhiều nhịp, nơi các tấm sàn đặt song song với phương của tải trọng ngang, thì lực cắt V_{hx} tại gối giữa hai nhịp b_1 và b_2 được tính:

$$V_{hx} = V_{hy} \frac{S}{I} \quad (\text{N/mm cấu kiện}) \quad (12)$$

Trong đó:

S: mô men tĩnh của diện tích tại mỗi nối dọc cuối cùng trong nhịp b_1

I: mô men quán tính toàn bộ mặt cắt tấm cứng

Cụ thể:

$$S = (D - 30)b_2 \left[\frac{b_2}{2} + (b_1 - B/2) \right]$$

$$\text{Nhưng vì } b_2 = B - b_1 \text{ nên } S = (D - 30)(B - b_1) \frac{b_1}{2}$$

$$I = \frac{(D - 30)B^3}{12}$$

$$V_{hx} = V_{hy} \frac{S}{I} = 6V_{hy} \frac{(B - b_1)b_1}{B^3} \quad (13)$$

Lực cắt lớn nhất tại đầu các tấm sàn xảy ra khi $b_1 = B/2$:

$$V_{hx, \max} = \frac{1,5V_{hy}}{B} \quad (\text{N/mm cấu kiện}) \quad (14)$$

Lực tổng hợp trong mỗi nối có chiều dài b_1 được truyền vào các tấm đơn vị như một lực dọc theo phương y. Lực này được kháng lại nhờ các thanh liên kết đôi (coupling bars), được sử dụng để nối các đơn vị ở các nhịp kế nhau. Các thanh liên kết cũng được dùng để buộc các đơn vị lại với nhau nhằm chống lại lực gió hút và các lực không hoàn hảo H_i như đã định nghĩa ở phần trên.

Khi các bản sàn có nhịp vuông góc với phương tác dụng của tải trọng, lực cắt cực đại tại mặt tiếp giáp V_{edhx} và ứng suất cắt tại mặt tiếp giáp v_{edhx} được tính toán cho từng nhịp.

Dòng cắt (shear flow) giữa các đơn vị được xác định như sau:

$$V_{hx} = \frac{V_{hy}S}{I} = 6V_{hy} \frac{(B - b_1)b_1}{B^3} \quad (15)$$

Lực cắt lớn nhất giữa các đơn vị xảy ra khi $b_1 = \frac{B}{2}$. Khi đó:

$$V_{hx, \max} = \frac{1,5V_{hy}}{B} \quad (16)$$

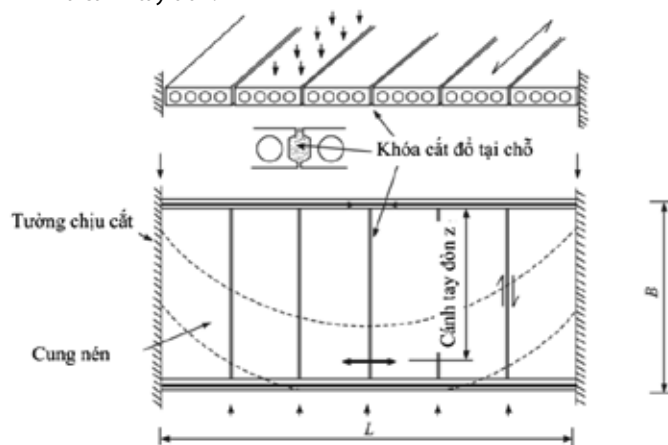
Lực cắt V_{hx} trong mỗi nối dọc giữa các cấu kiện trong một nhịp được giả thiết là không đổi, mặc dù trên thực tế nó có thể giảm khi lực cắt tác dụng V_{hy} giảm. Ứng suất tổng hợp v_{hx} trong mỗi nối có chiều dài L_1 được truyền sang cấu kiện cuối cùng trong nhịp dưới dạng một lực dọc theo phương x. Lực này được kháng lại nhờ các thanh liên kết đôi, được sử dụng để nối các đơn vị ở các nhịp kế nhau.

Nếu tấm sàn cứng chịu uốn ngang, như minh họa ở Hình 6, cân bằng nội lực được duy trì nhờ các thanh biên giàn chịu kéo và nén. Các lực trong các thanh biên này có thể được huy động bằng cách bổ sung thép liên kết tại chỗ hoặc tạo cặp tại mỗi nối ở hai đầu các tấm sàn lắp ghép, hoặc có thể sử dụng chính các dầm đỡ sàn, ví dụ dầm thép UB, dầm bê tông cốt thép lắp ghép, dầm bê tông cốt thép đổ tại chỗ, nhưng chỉ khi có liên kết cơ học được chế tạo chắc chắn giữa bản sàn và dầm. Lực liên kết trong thanh biên T_b chống lại mô men uốn được xác định theo công thức:

$$T_b = \frac{M_h}{z} \quad (17)$$

Trong đó:

M_h là mô men thiết kế của tấm sàn cứng (lấy theo Công thức 8.6), z là cánh tay đòn.



Hình 6. Lực tác động một tấm sàn cứng bê tông lắp ghép theo lý thuyết dầm cao

Giá trị của z phụ thuộc vào tỷ số hình dạng của sàn và vào độ lớn của mô men uốn. Các giá trị cực đại của tỷ số z/B tại các điểm có mô men uốn lớn nhất được cho như sau [13]:

B/L	z/B
< 0.5	0.9
$0.5 < 1.0$	0.8

Một giá trị không đổi cho tỷ số $z/B = 0,8$ được đề xuất [14]. Khi tỷ số hình dạng $B/L > 1$, ứng xử của hệ sẽ gần với mô hình vòm chống-giằng hơn là các mô hình dầm cao hay giàn. Lực giằng được xác định theo:

$$T_b = \frac{0,5V_h}{(B/L)} \quad (18)$$

Khi tấm cứng chịu lực cắt, lực giằng được tạo ra bởi hiện tượng nê-m cắt và ma sát cắt sẽ có xu hướng tách rời các tấm sàn. Mỗi quan hệ giữa lực cắt V_h và lực giằng do cắt T_q được cho bởi:

$$T_q = \frac{V_h}{\mu'} \quad (19)$$

Trong đó μ' là hệ số hiệu dụng của ma sát cắt và nê-m cắt kết hợp. Các thí nghiệm [15, 16] và mô hình tính toán [17] cho thấy μ' thay đổi trong khoảng 5 đến 26 đối với nhiều cấu hình tấm sàn cứng rộng dự ứng lực khác nhau. Một giá trị tối thiểu $\mu' = 5.0$ được khuyến nghị.

Nếu có nhiều nhịp sàn cùng tham gia kháng lực cắt, lực kéo sẽ được chia đều cho số lượng mỗi nối ở hai đầu các nhịp, tức là $n+1$. Cánh tay đòn được lấy bằng 0,8 lần chiều dài toàn bộ tấm sàn cứng. Khi xét uốn và cắt đồng thời, lực giằng cực đại trong thanh giằng được tính theo:

$$T_h = T_b + T_q = \frac{M_h}{z} + \frac{V_h}{(n+1)\mu'} \quad (20)$$

Trong đó n là số nhịp sàn cùng kháng lực cắt, M_h là mô men thiết kế trong tấm cứng, V_h là lực cắt thiết kế, z là cánh tay đòn, μ' là hệ số ma sát - nê-m cắt. Khi hai bức tường đặt ở hai đầu sàn, lực kéo cực đại T_h xảy ra tại một điểm cách tường ổn định gần nhất một khoảng X . Mô men tại điểm này là $M_h = \frac{qX(L-X)}{2}$ và lực cắt tại điểm này là $V_h = q(\frac{L}{2} - X)$. Lấy đạo hàm của Phương trình (20) theo X , ta được khoảng cách:

$$X = \frac{L}{2} - \frac{z}{(n+1)\mu'} \quad (21)$$

Trong đó L là khoảng cách giữa hai tường ổn định.

Đối với hệ nhiều tường, khi phản lực tại tường biên không còn bằng $qL/2$, thì khoảng cách X được xác định như sau:

Từ tường A đến vị trí $X < x_B$:

$$X_A = \frac{H}{q} - \frac{z}{(n+1)\mu'} \quad (22)$$

Giữa hai tường A và B, với $x_B < X < x_C$:

$$X_{AB} = \frac{H_A + H_B}{q} - \frac{z}{(n+1)\mu'} \quad (23)$$

4. KẾT LUẬN

Khi thiết kế nhà bê tông lắp ghép cần đảm bảo sự ổn định của nhà... thông qua việc đảm bảo độ cứng ngang và khả năng truyền tải ngang của sàn. Việc đảm bảo độ cứng ngang cho sàn có thể đạt được bằng nhiều cách như đổ bù lớp bê tông kết cấu tại chỗ trên đỉnh của sàn, hoặc gia cường thép giằng đủ lớn tại các vị trí liên kết. Cách thức hoạt động của tấm sàn cứng phụ thuộc vào hình dạng mặt bằng của sàn và vị trí bố trí hệ cột, vách, giằng đỡ sàn.

Dựa trên các mô hình tính toán của các tài liệu đã công bố, các công thức xác định nội lực của tấm sàn được trình bày cụ thể trong các công thức tính toán, ví dụ mô hình DIN 1045-1 [12] được sử dụng để phân tích sự không hoàn hảo quy định trong [5], hay mô hình thanh chống-giằng được sử dụng để tính toán cho trường hợp sàn có mặt bằng không đối xứng.

Cuối cùng lực liên kết kháng lại các nội lực được xác minh ở phần trên được xây dựng dưới các công thức đơn giản. Các lực liên kết này là cơ sở để bố trí thép giằng liên kết nhằm đảm bảo độ cứng, sự ổn định cho sàn, đồng thời đảm bảo ổn định cho toàn bộ công trình. Đây là thông tin hướng dẫn hữu ích cho các kỹ sư xây dựng khi thiết kế nhà bê tông lắp ghép.

Lời cảm ơn: Nội dung nghiên cứu của bài báo thuộc đề tài nghiên cứu cấp Bộ Xây dựng có mã số RD 24-24: “Nghiên cứu xây dựng hướng dẫn thiết kế kết cấu khung và sàn bê tông lắp ghép theo tiêu chuẩn EN 1992-1-1”. Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn sự hỗ trợ từ cơ quan quản lý và Bộ Xây dựng đã cung cấp các điều kiện, kinh phí để tác giả thực hiện nghiên cứu trên.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Hà Anh Minh. “Công nghệ thi công lắp ghép mô-đun. Từ thực tế ở Việt Nam đến mô hình tiên tiến tại Singapore. Tạp chí xây dựng, số 07/2025, trang 17-19.
- [2]. TCVN 5574-2018 - Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu Bê tông Cốt thép.
- [3]. TCVN 9115:2019 - Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép lắp ghép - Thi công và nghiệm thu.
- [4]. TCVN 9114-2012 - Sản phẩm bê tông ứng lực trước - Yêu cầu kỹ thuật và kiểm tra chấp nhận
- [5]. BS EN 1992-1-1. 2004. “Eurocode 2: Design of Concrete Structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings”, BSI, London, UK., February 2014.
- [6]. “Precast Eurocode 2: Design Manual”. 2007. For the design of precast concrete building structures to BS EN 1992-1-1: 2004 and UK National Annex: 2005.
- [7]. British Precast. 2008. “Precast Eurocode 2: Worked Examples”, British Precast Concrete Federation, Leicester, UK.
- [8]. BS EN 13225. 2013. “Precast concrete products - Linear structural elements”, BSI, London, UK.
- [9]. BS EN 206. 2013. “Concrete - Specification, performance, production and conformity”, BSI, London, UK.
- [10]. Kim S. Elliott. 2017. “Precast concrete structures”. 2nd ed., New York, USA.
- [11]. Elliott, K. S. and Jolly, C. K. 2013. Multi-Storey Precast Concrete Framed Structures, 2nd ed., John Wiley, London, UK, 750pp.
- [12]. Bachmann, H. and Steinle, A. 2011. Precast Concrete Structures, Ernst and Sohn GmbH & Co. KG, Berlin, Germany, 260pp.
- [13]. Bruggeling, A. S. G. and Huyghe, G. F. 1991. Prefabrication with Concrete, Balkema, Rotterdam, the Netherlands, 380pp.
- [14]. Walraven, J. C. 1990. Diaphragm Action in Floors, Prefabrication of Concrete Structures,

International Seminar, Delft University of Technology, Delft University Press, Delft, the Netherlands, pp. 143-154.

[15]. Davies, G., Elliott, K. S. and Wahid, O. 1990. Horizontal diaphragm action in precast hollow cored floors, The Structural Engineer, 68(2), 25-33.

[16]. Elliott, K. S., Davies, G. and Wahid, O. 1992. Experimental and theoretical investigation of precast hollow cored slabs used as horizontal diaphragms, The Structural Engineer, 70(10), 175-187.

[17]. Cholewicki, A. 1991. Shear transfer in longitudinal joints of hollow core slabs, Concrete Precasting Plant and Technology, 57(4), 58-67.

Phân tích hiệu quả kỹ thuật và chi phí vòng đời của bể chứa nhôm và thép trong môi trường biển

Technical and life-cycle cost analysis of aluminum and steel storage tanks in marine environments

> TS NGUYỄN ĐÌNH HÒA*, PGS.TS NGUYỄN NGỌC LINH,
PGS.TS NGUYỄN NGỌC TÂN, PGS.TS NGUYỄN TRUNG KIẾN

Khoa Xây dựng Dân dụng và Công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

*Tác giả liên hệ, Email: hoand@huce.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu này được thực hiện trên một kết cấu bể trụ đứng điển hình có dung tích 1.000 m³, làm việc trong điều kiện khí hậu biển tại TP Đà Nẵng, nơi kết cấu chịu tác động mạnh của môi trường ăn mòn. Hai phương án thiết kế được khảo sát gồm: (i) bể hợp kim nhôm 6061-T6 theo tiêu chuẩn EN 1999-1-5 và (ii) bể thép S235 theo tiêu chuẩn EN 1993-4-2. Tải trọng gió được xác định theo TCVN 2737:2023 để phản ánh điều kiện thực tế tại Việt Nam. Trong quá trình thiết kế, chiều dày các tấm vỏ được tính toán để thỏa mãn đồng thời các yêu cầu về khả năng chịu lực, ổn định vỏ mỏng, thi công và lượng dư ăn mòn. Kết quả cho thấy bể hợp kim nhôm cần chiều dày lớn hơn tại các vòng gần đáy so với bể thép, trong khi vùng đỉnh có chiều dày tương đương. Tổng khối lượng kết cấu của bể thép lớn hơn khoảng 2,67 lần so với bể nhôm. Phân tích chi phí vòng đời trong 50 năm cho thấy, mặc dù chi phí đầu tư ban đầu cao hơn, bể hợp kim nhôm có tổng chi phí vòng đời thấp hơn đáng kể nhờ loại bỏ gần như hoàn toàn chi phí bảo trì chống ăn mòn. Do đó, bể hợp kim nhôm được xem là một giải pháp kết cấu bền vững và hiệu quả kinh tế cho các công trình công nghiệp yêu cầu tuổi thọ cao trong môi trường biển.

Từ khóa: Bể chứa trụ đứng, hợp kim nhôm, thép kết cấu, tiêu chuẩn châu Âu, môi trường biển, phân tích chi phí vòng đời.

ABSTRACT

This study investigates the structural performance of a typical 1000 m³ cylindrical storage tank designed to operate in the marine climate of Da Nang City, Vietnam, where the structure is exposed to severe corrosion. Two design alternatives are considered: (i) an aluminum alloy 6061-T6 tank designed according to EN 1999-1-5, and (ii) a structural steel S235 tank designed according to EN 1993-4-2. Wind loads are determined based on TCVN 2737:2023 to reflect local site conditions. The shell thickness is calculated to satisfy requirements for material strength, thin-shell buckling resistance, constructability, and corrosion allowance. The results indicate that the aluminum tank requires greater thickness at the lower shell courses than the steel tank, while the thickness at the top region is comparable. The total weight of the steel tank is approximately 2.67 times that of the aluminum tank. A 50-year life-cycle cost analysis (LCCA) demonstrates that, despite the higher initial material cost, the aluminum tank achieves significantly lower total ownership cost by virtually eliminating corrosion protection maintenance. Therefore, aluminum alloy is considered a sustainable and cost-effective structural solution for industrial storage tanks with long service life in aggressive marine environments.

Keywords: Cylindrical storage tank, aluminum alloy, structural steel, eurocode, marine environment, life-cycle cost analysis.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sự phát triển nhanh chóng của các khu công nghiệp và kinh tế ven biển tại Việt Nam, đặc biệt tại các trung tâm kinh tế như TP Đà Nẵng, đặt ra yêu cầu cấp thiết về các giải pháp lưu trữ chất lỏng công nghiệp bền vững, có khả năng chống chịu cao trong môi trường khí hậu biển [1]. Một trong những thách thức kỹ thuật lớn nhất là sự ăn mòn do muối và độ ẩm cao, một yếu tố môi trường

được định lượng và phân loại ở mức độ từ C4 đến C5 (từ cao đến rất cao) theo tiêu chuẩn quốc tế ISO 12944-2:2017 [2]. Phân loại này là một cảnh báo về tốc độ suy giảm vật liệu nghiêm trọng, đòi hỏi việc lựa chọn vật liệu và bảo trì phải được cân nhắc một cách thấu đáo ngay từ giai đoạn thiết kế. Vật liệu truyền thống cho các kết cấu bể chứa là thép carbon, vốn được ưa chuộng do cường độ cao và chi phí vật liệu ban đầu hợp lý [3]. Tuy nhiên, trong môi trường C5, thép

carbon bọc lộ nhược điểm cố hữu về chi phí vận hành và bảo trì rất lớn và lặp lại trong suốt vòng đời công trình. Chi phí này không chỉ bao gồm vật tư sơn mà còn cả chi phí nhân công, chuẩn bị bề mặt và các gián đoạn vận hành liên quan. Trong bối cảnh đó, hợp kim nhôm nổi lên như một giải pháp thay thế hiệu suất cao, đặc biệt là các mác thuộc Series 6xxx như 6061-T6, như minh họa trên Hình 1. Với khả năng chống ăn mòn vượt trội do hình thành lớp oxit bảo vệ bề mặt và trọng lượng riêng chỉ bằng khoảng 1/3 so với thép, hợp kim nhôm hứa hẹn mang lại lợi ích kinh tế đáng kể thông qua việc giảm thiểu hoặc loại bỏ gần như toàn bộ chi phí bảo trì. Bên cạnh đó, tiêu chuẩn TCVN 2737:2023 [4] đã cập nhật và hài hòa phương pháp xác định tải trọng gió với các tiêu chuẩn quốc tế, đòi hỏi các nghiên cứu ứng dụng để đánh giá tác động của nó lên thiết kế, đặc biệt là đối với các kết cấu vỏ mỏng nhạy cảm với hiện tượng mất ổn định.



Hình 1. Minh họa bể trụ đứng bằng hợp kim nhôm

Nghiên cứu này thực hiện một phân tích dựa trên việc so sánh vật liệu sử dụng, thép và hợp kim nhôm, đồng thời đặt vấn đề về sự cần thiết chuyển dịch từ triết lý thiết kế tập trung vào “chi phí đầu tư ban đầu” sang tiếp cận “tổng chi phí vòng đời”. Việc áp dụng các bộ tiêu chuẩn hiện đại dựa trên rủi ro, như Eurocode và TCVN 2737:2023, chính là công cụ cho phép thực hiện sự chuyển dịch này, bằng cách cung cấp các phương pháp để định lượng hiệu suất dài hạn (như ổn định kết cấu, độ bền vật liệu) và từ đó minh chứng cho các khoản đầu tư ban đầu cao hơn. Một thách thức trong việc áp dụng đồng thời hệ thống tiêu chuẩn là hài hòa dữ liệu đầu vào. Quy chuẩn Việt Nam QCVN 02:2022 [5] cung cấp áp lực gió cơ sở (w_0) cho các vùng địa lý, trong khi quy trình chi tiết của EN 1991-1-4 yêu cầu vận tốc gió cơ bản (v_b) làm đầu vào [6]. Do đó, một bước chuyển đổi đã được thực hiện bằng cách tính toán ngược vận tốc gió tương đương từ áp lực cho trước theo công thức cơ bản $w_0 = \frac{1}{2} \rho v_b^2$, với ρ là khối lượng riêng của không khí. Tiếp theo, vận tốc này được sử dụng làm đầu vào cho quy trình tính toán theo Eurocode, đảm bảo thiết kế vừa tuân thủ quy định địa phương, vừa tận dụng được phương pháp luận của tiêu chuẩn quốc tế. Các đặc trưng cơ học của vật liệu thép và hợp kim nhôm xác định theo EN 1993-1-1:2005 [7] và EN 1999-1-1:2007 [8].

Từ đó, bài báo này trình bày các kết quả thu được trên một kết cấu bể trụ đứng điển hình có thể tích 1000 m³, nhằm phân tích: (1) So sánh kết quả tính toán kết cấu vỏ bể chứa bằng hợp kim nhôm và thép theo hệ thống tiêu chuẩn Eurocode; (2) So sánh hiệu quả kinh tế vòng đời giữa bể chứa bằng hợp kim nhôm và bằng thép.

Những kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học và phân tích định lượng cho việc lựa chọn vật liệu trong thiết kế các kết cấu vỏ mỏng, phù hợp với điều kiện thực tế tại Việt Nam.

2. PHƯƠNG PHÁP LUẬN THIẾT KẾ VÀ TÍNH TOÁN

Để đảm bảo một sự so sánh khách quan, một bộ số liệu đầu vào giống nhau về kích thước hình học, tải trọng thiết kế và các điều kiện môi trường đã được thiết lập và áp dụng cho cả hai phương án thiết kế bể chứa dầu hỏa bằng: (i) Hợp kim nhôm; (ii) Thép carbon.

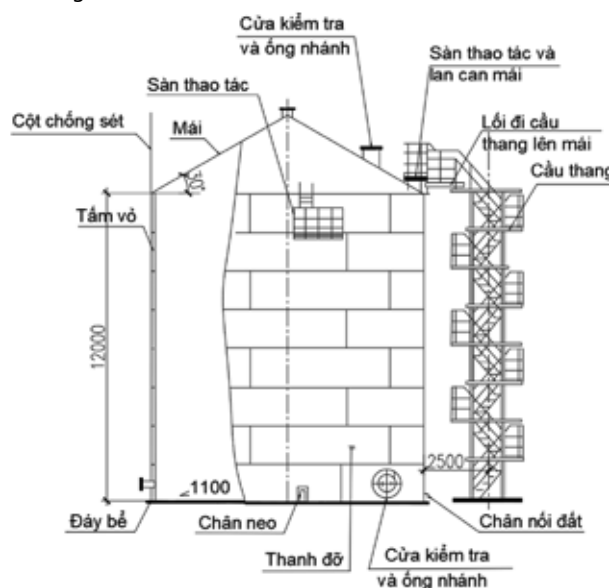
2.1. Mô hình, vật liệu và tải trọng thiết kế

Nghiên cứu được thực hiện trên một bể trụ đứng dùng chứa dầu hỏa có thể tích danh nghĩa 1000 m³, với đường kính trong $D_i = 10400$ mm và chiều cao thân bể $H = 12000$ mm, như minh họa trên Hình 2. Bể chứa này được cấu tạo từ 8 vòng kim loại, mỗi vòng có chiều cao 1500 mm. Bể chứa được thiết kế để lắp đặt và sử dụng tại TP Đà Nẵng (Vùng gió III). Các tải trọng thiết kế chính bao gồm: Áp lực thủy tĩnh từ dầu hỏa (khối lượng riêng $\rho = 820$ kg/m³); Áp lực vận tốc gió tại mái bể $q_p(H) = 1.62$ kN/m²; Áp lực hút do sự cố chân không $p_{vac} = -2.5$ kN/m².

Các vật liệu sử dụng cho kết cấu vỏ bể chứa dầu hỏa (thân bể) được lựa chọn như sau:

(i) Hợp kim nhôm 6061-T6: Giới hạn chảy $f_o = 240$ MPa, giới hạn bền $f_u = 290$ MPa, mô đun đàn hồi $E_{Al} = 70$ GPa, và khối lượng riêng $\rho_{Al} = 2660$ kg/m³. Một đặc điểm kỹ thuật quan trọng là độ bền của hợp kim nhôm bị suy giảm đáng kể trong vùng ảnh hưởng nhiệt (HAZ) của mối hàn, khi đó giới hạn chảy là $f_{o,haz} = 115$ MPa và giới hạn bền là $f_{u,haz} = 175$ MPa. Do đó, khi tính toán thiết kế kết cấu vỏ nhôm cần phải xét đến phương pháp thi công lắp đặt.

(ii) Thép carbon S235: Giới hạn chảy phụ thuộc vào chiều dày danh nghĩa (t) của tấm thép: $f_y = 235$ MPa với $t \leq 16$ mm, mô đun đàn hồi $E_s = 210$ GPa, và khối lượng riêng $\rho_{St} = 7850$ kg/m³. Tiêu chuẩn EN 1993-1-10 [9] yêu cầu độ dai và đập của vật liệu phải được đảm bảo ở nhiệt độ thiết kế kim loại tối thiểu, lấy bằng +10°C tại TP Đà Nẵng để thiên về an toàn.



Hình 2. Cấu tạo chi tiết của bể trụ đứng điển hình

2.2. Quy trình thiết kế và các bước tính toán

2.2.1. Quy trình thiết kế

Quy trình thiết kế cho kết cấu vỏ mỏng theo tiêu chuẩn châu Âu là một chuỗi các bước kiểm tra lặp lại, được thể hiện trực quan như trên Hình 3. Cụ thể như sau:



Hình 3. Quy trình thiết kế bể chứa theo tiêu chuẩn châu Âu

2.2.2. Các nguyên tắc thiết kế và công thức tính toán

Việc tính toán thiết kế thân bể trụ đứng bằng hợp kim nhôm và thép carbon được thực hiện tuân theo các quy định của các tiêu chuẩn Eurocode liên quan [10-14]. Cơ sở của việc tính toán bắt đầu từ việc xác định các tác động cơ bản và các tổ hợp bất lợi nhất ở trạng thái giới hạn cực hạn (ULS).

Áp lực thủy tĩnh tại một độ sâu z từ mặt thoáng chất lỏng được xác định bởi công thức (1), trong đó: $p(z)$ là áp lực thủy tĩnh tại độ sâu z ; ρ là khối lượng riêng của chất lỏng; g là gia tốc trọng trường; và γ là trọng lượng riêng của chất lỏng.

$$p(z) = \rho \cdot g \cdot z = \gamma \cdot z \quad (1)$$

Từ đó, ứng suất vòng (hoop stress) σ_θ và bề dày cơ học yêu cầu tối thiểu $t_{req,mech}$ để chống lại ứng suất này được tính toán theo các công thức (2) và (3), trong đó: $\sigma_\theta(z)$ là ứng suất vòng; $p_{Ed}(z)$ là áp lực thiết kế; r là bán kính bể; t là bề dày vỏ; và f_d là cường độ thiết kế của vật liệu.

$$\sigma_\theta(z) = \frac{p_{Ed}(z) \cdot r}{t} \leq f_d \quad (2)$$

$$t_{req,mech}(z) = \frac{p_{Ed}(z) \cdot r}{f_d} \quad (3)$$

Tiếp theo, các tổ hợp tải trọng ULS chi phối thiết kế bao gồm: (i) ULS-1 (Bể rỗng + Gió): Kiểm tra mất ổn định vỏ (oằn) do ứng suất nén từ áp lực gió; (ii) ULS-2 (Bể đầy + Thủy tĩnh): Kiểm tra độ bền vật liệu (chảy dẻo) do ứng suất kéo vòng; (iii) ULS-Acc (Sự cố chân không): Kiểm tra mất ổn định vỏ do áp lực hút từ bên ngoài.

2.2.3. Thiết kế bể hợp kim nhôm (EN 1999)

Thiết kế bể chứa bằng hợp kim nhôm theo EN 1999-1-1 [8] và EN 1999-1-5 [14] đặc biệt chú trọng đến sự suy giảm độ bền tại vùng ảnh hưởng nhiệt của mối hàn và độ nhạy cảm với mất ổn định do mô đun đàn hồi thấp.

Điều kiện bền theo phương vòng: Cường độ thiết kế $f_{d,Al}$ phải xét đến vùng ảnh hưởng nhiệt, được tính toán theo công thức (4), trong đó: $f_{0,haz}$ là giới hạn chảy của hợp kim nhôm tại vùng ảnh hưởng nhiệt và $\gamma_{M,Al}$ là hệ số an toàn riêng cho vật liệu nhôm.

$$f_{d,Al} = \frac{f_{0,haz}}{\gamma_{M,Al}} \quad (4)$$

Điều kiện ổn định vỏ: Kiểm tra mất ổn định (oằn) do gió hoặc chân không có dạng tổng quát được xác định theo biểu thức (5), trong đó: σ_{Ed} là ứng suất thiết kế; χ là hệ số suy giảm khả năng chịu lực do mất ổn định; σ_R là khả năng chịu ứng suất; f_0 là giới hạn chảy của hợp kim nhôm; và γ_{M1} là hệ số an toàn riêng cho mất ổn định.

$$\sigma_{Ed} \leq \chi \frac{\sigma_R}{\gamma_{M1}} = \chi \frac{f_0}{\gamma_{M1}} \quad (5)$$

2.2.4. Thiết kế bể thép carbon (EN 1993)

Thiết kế bể chứa bằng thép carbon được đặc trưng bởi cường độ và độ cứng cao, nhưng đòi hỏi phải kiểm tra nghiêm ngặt về nguy cơ phá hủy giòn và xem xét lượng dư ăn mòn lớn.

Điều kiện bền theo phương vòng: Cường độ thiết kế $f_{d,St}$ được tính từ giới hạn chảy của vật liệu sử dụng theo công thức (6), trong đó: f_y là giới hạn chảy của thép và $\gamma_{M,St}$ là hệ số an toàn riêng cho vật liệu thép.

$$f_{d,St} = \frac{f_y}{\gamma_{M,St}} \quad (6)$$

Điều kiện ổn định vỏ: Điều kiện kiểm tra mất ổn định có thể được biểu diễn theo ứng suất hoặc áp lực như biểu thức (7), trong đó: p_{Ed} là áp lực thiết kế và p_R là khả năng chịu áp lực.

$$p_{Ed} \leq p_R \quad (7)$$

2.2.5. Lựa chọn bề dày chỉ định

Bề dày chỉ định được chọn là giá trị lớn nhất của các yêu cầu về cơ học, ổn định và thi công, cộng thêm lượng dư ăn mòn, như thể hiện trong công thức (8), trong đó: t_{spec} là bề dày chỉ định; $t_{req,mech}$ là bề dày yêu cầu về độ bền; $t_{req,stab}$ là bề dày yêu cầu về độ ổn định; t_{min} là bề dày thi công tối thiểu; và t_{corr} là lượng dư ăn mòn.

$$t_{spec} = \max(t_{req,mech}, t_{req,stab}, t_{min}) + t_{corr} \quad (8)$$

2.2.6. So sánh các bước tính toán theo EN 1999 và EN 1993

Bảng 1 tóm tắt các điểm tương đồng và khác biệt cốt lõi trong phương pháp luận thiết kế giữa hai vật liệu - Hợp kim nhôm và Thép carbon, làm nổi bật những khác biệt về nguyên lý trong cách mỗi tiêu chuẩn tiếp cận các vấn đề an toàn và độ bền lâu.

Bảng 1. So sánh phương pháp luận thiết kế bể trụ đứng bằng hợp kim nhôm và thép

Bước tính toán	Hợp kim nhôm (EN 1999)	Thép (EN 1993)
Quy tắc chung	Cùng áp dụng nguyên tắc chung về tổ hợp tải trọng và trạng thái giới hạn theo EN 1990 [10].	Cùng áp dụng nguyên tắc chung về tổ hợp tải trọng và trạng thái giới hạn theo EN 1990 [10].
Kiểm tra độ bền vòng	$f_{d,Al}$ dựa trên $f_{0,haz}$ (cường độ vùng hàn). Hệ số an toàn vật liệu $\gamma_{M,Al}$.	$f_{d,St}$ dựa trên f_y (cường độ vật liệu cơ bản). Hệ số an toàn vật liệu $\gamma_{M,St}$.
Kiểm tra mất ổn định vỏ	Mô đun đàn hồi E_{Al} thấp hơn (70 GPa) làm tăng độ mảnh, nhạy cảm hơn với mất ổn định. Quy tắc tính hệ số χ riêng cho nhôm.	Mô đun đàn hồi E_a cao hơn (210 GPa) làm giảm độ mảnh, ít nhạy cảm hơn. Hệ số χ phụ thuộc chặt chẽ vào chất lượng chế tạo.
Kiểm tra độ bền lâu và lớp sơn bảo vệ	t_{corr} nhỏ do khả năng chống ăn mòn tự nhiên. Không yêu cầu hệ sơn bảo vệ.	t_{corr} lớn và bắt buộc phải có hệ sơn bảo vệ nhiều lớp.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Dựa trên phương pháp luận đã trình bày, các tính toán chi tiết đã được thực hiện để xác định bể dày tối ưu cho thân bể theo hai phương án vật liệu sử dụng - Hợp kim nhôm và Thép carbon, từ đó phân tích sâu hơn về hiệu quả kết cấu và các yếu tố thực tiễn liên quan.

3.1. Phân tích hiệu suất kết cấu của bể hợp kim nhôm và bể thép

Bể dày chỉ định (t_{spec}) cho mỗi vòng tròn kim loại được xác định theo công thức (8), là giá trị lớn nhất của các yêu cầu về độ bền, độ

ổn định và cấu tạo, cộng với lượng dư ăn mòn. Các giá trị đặc trưng cho từng vật liệu sử dụng như sau:

(i) Hợp kim nhôm: $t_{min,Al} = 5.0$ mm; $t_{corr,Al} = 1.0$ mm.

(ii) Thép carbon: $t_{min,St} = 5.0$ mm; $t_{corr,St} = 3.0$ mm.

Bảng 2 trình bày chi tiết và so sánh các kết quả cho từng vòng kim loại, được đánh số từ 1 đến 8 tính từ đáy bể đến đỉnh bể chứa, đối với kết cấu bể chứa dầu hỏa được thiết kế với kích thước, thông số vật liệu và tải trọng thiết kế trình bày tại mục 2.1.

Bảng 2. So sánh kết quả tính toán bể dày thân bể

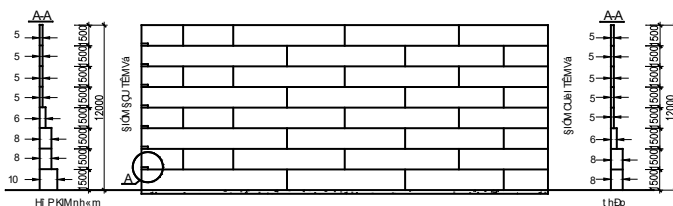
Vòng	Vật liệu	$t_{req,mech}$ (mm)	$t_{req,stab}$ (mm)	t_{min} (mm)	t_{corr} (mm)	t_{spec} (mm)	Yếu tố chi phối
1	Nhôm	7.202	~5.0	5.0	1.0	10	Độ bền
	Thép	3.524	< 5.0	5.0	3.0	8	Độ bền và Ăn mòn
2	Nhôm	6.302	~5.0	5.0	1.0	8	Độ bền
	Thép	3.084	< 5.0	5.0	3.0	8	Độ bền và Ăn mòn
3	Nhôm	5.402	~5.0	5.0	1.0	8	Độ bền
	Thép	2.643	< 5.0	5.0	3.0	6	Độ bền và Ăn mòn
4	Nhôm	4.501	~5.0	5.0	1.0	6	Ổn định
	Thép	2.203	< 5.0	5.0	3.0	5	Cấu tạo
5	Nhôm	3.601	~5.0	5.0	1.0	5	Cấu tạo
	Thép	1.762	< 5.0	5.0	3.0	5	Cấu tạo
6	Nhôm	2.701	~5.0	5.0	1.0	5	Cấu tạo
	Thép	1.322	< 5.0	5.0	3.0	5	Cấu tạo
7	Nhôm	1.801	~5.0	5.0	1.0	5	Cấu tạo
	Thép	0.881	< 5.0	5.0	3.0	5	Cấu tạo
8	Nhôm	0.9	~5.0	5.0	1.0	5	Cấu tạo
	Thép	0.441	< 5.0	5.0	3.0	5	Cấu tạo

Bảng 2 cho thấy một sự khác biệt căn bản trong nguyên tắc thiết kế chi phối hai phương án sử dụng hợp kim nhôm và thép carbon, cụ thể như sau:

(i) Đối với hợp kim nhôm: Các vòng hợp kim nhôm dưới cùng, nơi áp lực thủy tĩnh là lớn nhất, được chi phối bởi điều kiện bền vật liệu. Ngược lại, các vòng hợp kim nhôm phía trên, do mô đun đàn hồi E thấp, trở nên rất nhạy cảm với mất ổn định khi bể rỗng và chịu tải trọng gió. Do đó, thiết kế của chúng bị chi phối bởi điều kiện ổn định.

(ii) Đối với thép: Nhờ có cường độ thiết kế cao hơn và độ cứng (mô đun đàn hồi E) cao gấp 3 lần, bể dày cơ học yêu cầu ($t_{req,mech}$) của thép carbon nhỏ hơn đáng kể. Tuy nhiên, lợi thế lý thuyết này phần lớn bị vô hiệu hóa bởi các yếu tố thực tế. Ở ba vòng tròn thép dưới cùng, thiết kế bị chi phối bởi sự kết hợp giữa độ bền vật liệu và độ bền lâu (yêu cầu cộng thêm lượng dư ăn mòn $t_{corr} = 3.0$ mm). Đáng chú ý hơn, đối với năm vòng thép phía trên, cả yêu cầu về bền và ổn định đều thấp đến mức thiết kế bị chi phối hoàn toàn bởi yếu tố cấu tạo ($t_{min} = 5.0$ mm).

Dựa trên các giá trị t_{spec} , kích thước kết cấu phần thân bể cho mỗi phương án được thể hiện trong Hình 4. Khối lượng thân bể được tính riêng cho từng phương án vật liệu. Kết quả: phương án nhôm đạt 6 779 kg, còn phương án thép là 18 082 kg (bể có kích thước tương tự; số liệu phù hợp với [15]). Như vậy, thân bể thép nặng gấp xấp xỉ 2,67 lần so với thân bể nhôm.



Hình 4. Sơ đồ so sánh cấu hình bể dày thân bể (đơn vị: mm)

3.2. So sánh về thi công và vận hành - bảo trì

Đối với thép carbon S235, liên kết hàn là phương pháp phổ biến để nối các chi tiết cấu kiện. Ngược lại, việc hàn các chi tiết bằng hợp kim nhôm đòi hỏi thợ hàn có tay nghề cao và phải sử dụng thiết bị chuyên dụng, do đó chi phí thi công thường cao hơn. Trong khi đó, hợp kim nhôm có khối lượng riêng nhỏ hơn đáng kể so với thép (khoảng 2,67 lần), giúp giảm chi phí vận chuyển, cho phép dùng cần cẩu nhỏ hơn và có khả năng rút ngắn tổng tiến độ lắp dựng.

Chi phí vận hành và bảo trì là yếu tố kinh tế quan trọng tạo nên sự khác biệt dài hạn giữa hai phương án sử dụng hợp kim nhôm và thép carbon. Với môi trường khí hậu biển cấp C5 như TP Đà Nẵng, bể thép phải áp dụng hệ sơn bảo vệ nhiều lớp theo tiêu chuẩn ISO 12944 để chống ăn mòn, thường sử dụng ba lớp với tổng chiều dày màng sơn khô khoảng 280-320 μ m. Trong vòng đời 50 năm, tối thiểu cần một lần đại tu sơn, phát sinh chi phí OPEX đáng kể và thời gian dừng vận hành sử dụng thiết bị. Đối với bể hợp kim nhôm 6061-T6, nhờ khả năng tự thụ động hóa, thường không bắt buộc phủ sơn chống ăn mòn nếu chi tiết thiết kế và bảo trì đúng. Do đó, trong quá trình vận hành, công việc chủ yếu là kiểm tra và vệ sinh định kỳ, qua đó giảm nguy cơ bỏ chi phí liên quan đến công tác sơn phủ bảo vệ chống ăn mòn.

3.3. Phân tích chi phí vòng đời của bể hợp kim nhôm và bể thép

Để định lượng các tác động kinh tế trong dài hạn, một phân tích chi phí vòng đời (Life Cycle Cost Analysis - LCCA) được thực hiện trong khoảng thời gian 50 năm. Phương pháp này tính toán Tổng chi phí vòng đời (viết tắt là TCO) theo công thức (9) như sau:

$$TCO = CAPEX + \sum PV(OPEX) - PV(Salvage) \quad (9)$$

Trong đó: CAPEX là chi phí đầu tư ban đầu, bao gồm toàn bộ chi phí vật liệu, gia công và các chi phí phụ trợ như hệ sơn phủ bảo vệ; OPEX là chi phí vận hành - bảo trì hàng năm, bao gồm các chi phí lặp lại trong suốt vòng đời, đối với bể thép thì chi phí sơn sửa bảo trì là chủ yếu. Vì OPEX phát sinh theo từng năm nên cần chiết khấu về giá trị hiện tại (viết tắt là PV); PV(Salvage) là giá trị thu hồi cuối vòng đời hay còn gọi là giá trị còn lại, thu hồi bằng cách bán phế liệu.

Các dòng tiền được quy đổi về hiện giá theo suất chiết khấu, đảm bảo so sánh công bằng giữa các phương án vật liệu, phản ánh giá trị thời gian của tiền tệ. Các giả định chi tiết các tham số để đánh giá LCCA được trình bày trong Bảng 3 được sử dụng trên cơ sở tham khảo các thông tin thị trường trong nước tại thời điểm thực hiện nghiên cứu này [16-20].

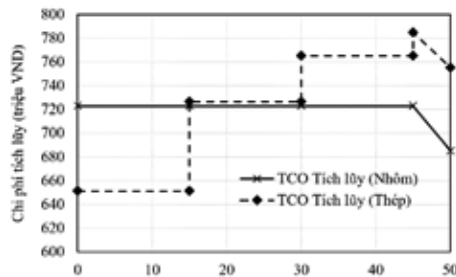
Bảng 3. Các chỉ tiêu và số liệu sử dụng cho LCCA

Hạng mục	Tham số	Giá trị	Đơn vị
Thông số tài chính	Thời gian phân tích	50	Năm
	Suất chiết khấu	4,5	%
Chi phí vật liệu và gia công	Đơn giá thép S235	20.000	VND/kg
	Đơn giá nhôm 6061-T6	85.000	VND/kg
	Đơn giá gia công thép	8.000	VND/kg
	Đơn giá gia công nhôm	21.600	VND/kg
Chi phí bảo trì (Bể thép)	Hệ sơn bảo vệ	185.000	VND/m ²
	Chu kỳ sơn lại	15	Năm
Giá trị thu hồi cuối vòng đời	Giá phế liệu nhôm	50.000	VND/kg
	Giá phế liệu thép	15.000	VND/kg

Phân tích theo các giả định trên cho thấy khác biệt kinh tế rất rõ ràng, cụ thể như sau:

(i) Đối với bể hợp kim nhôm: Mặc dù, chi phí vật liệu ban đầu cao hơn, lợi thế then chốt là OPEX rất thấp do hợp kim nhôm có khả năng tự thụ động hóa, nên thông thường không cần hệ sơn bảo vệ chống ăn mòn. Công tác bảo trì chủ yếu là kiểm tra và vệ sinh định kỳ với quy mô nhỏ, hầu như không phát sinh chi phí lớn trong suốt thời gian 50 năm.

(ii) Đối với bể thép: CAPEX ban đầu phải tính cả hệ sơn bảo vệ hiệu suất cao (làm sạch bề mặt, lớp sơn lót, lớp sơn trung gian và lớp sơn ngoài cùng). Trong giai đoạn vận hành, OPEX phát sinh định kỳ do phải thực hiện sơn đại tu sau mỗi 15 năm do làm việc trong môi trường khí hậu biển. Ngoài ra, cần phải kể đến các chi phí liên quan do việc dừng thiết bị và chuẩn bị bể mặt.



Hình 5. So sánh TCO trong 50 năm giữa bể hợp kim nhôm và bể thép

Kết quả phân tích LLCA được thể hiện trên Hình 5. Kết quả thu được cho thấy đường TCO của thép tăng bậc sau mỗi chu kỳ 15 năm, khiến tổng chi phí vòng đời của bể thép cao hơn bể hợp kim nhôm từ sau khoảng 15 năm và tiếp tục tăng lên về cuối vòng đời, kể từ năm thứ 30 trở đi. Ngược lại, đường TCO của hợp kim nhôm hầu như nằm ngang do không phát sinh chi phí bảo trì liên quan đến công tác sửa chữa và sơn bảo vệ chống ăn mòn. Tại mốc năm thứ 50, giá trị thu hồi của hợp kim nhôm cao hơn cũng góp phần làm giảm TCO ròng của phương án này. Tuy nhiên, cần lưu ý rằng trong quá trình tính toán, đã giả định chi phí lớp sơn lót chống ăn mòn bên trong bể thép tương đương với chi phí sơn bảo vệ bên ngoài. Tuy nhiên, thực tế lớp lót trong thường đắt hơn do yêu cầu vật liệu và thi công khắt khe. Ngay cả với giả thiết này, kết quả vẫn cho thấy hợp kim nhôm là phương án kinh tế hơn khi phân tích chi phí vòng đời cho kết cấu bể chứa làm việc trong môi trường khí hậu biển.

4. KẾT LUẬN

Bài báo này trình bày các kết quả nghiên cứu đối với một kết cấu bể trụ đứng được tính toán và thiết kế theo tiêu chuẩn châu Âu, theo hai phương án vật liệu sử dụng là hợp kim nhôm 6061-T6 và thép carbon

S235, chịu tác động của áp lực gió và ăn mòn của môi trường khí hậu biển tại TP Đà Nẵng. Các kết quả thu được cho phép đưa ra một số kết luận sau:

- Thép có cường độ cơ học và độ cứng lớn nên bể dày yêu cầu về độ bền của các tấm vỏ nhỏ hơn. Tuy nhiên, khi tính đến lượng dư ăn mòn và bể dày thi công tối thiểu, lợi thế này bị triệt tiêu. Kết quả cho thấy, với cùng một thể tích thì thân bể thép nặng hơn gần 2,67 lần so với thân bể hợp kim nhôm.

- Với bể hợp kim nhôm, thiết kế được chi phối bởi độ bền vật liệu của tấm vỏ ở đáy bể và độ ổn định của tấm vỏ ở đỉnh bể. Với bể thép, bài toán bị chi phối bởi độ bền và ăn mòn của vật liệu ở đáy bể và các yêu cầu cấu tạo và thi công ở đỉnh bể, khiến một phần khả năng chịu lực của vật liệu không được khai thác hiệu quả.

- Phân tích LCCA trong 50 năm cho thấy, dù CAPEX của bể hợp kim nhôm cao hơn, nhưng OPEX gần như bằng không do không tốn chi phí sơn bảo vệ chống ăn mòn định kỳ và giá trị thu hồi cao giúp TCO của hợp kim nhôm thấp hơn trong dài hạn. Với các giải thiết được áp dụng trong nghiên cứu này, sự khác nhau về TCO giữa bể hợp kim nhôm và bể thép có thể được xác định sau khoảng 15 năm.

- Đối với các công trình công nghiệp yêu cầu tuổi thọ cao làm việc trong môi trường khí hậu biển, cần áp dụng LCCA khi lựa chọn vật liệu chế tạo. Nghiên cứu này cho thấy hợp kim nhôm là giải pháp thay thế khả thi và bền vững cho thép carbon, với điều kiện bảo đảm các yêu cầu về quy trình và chất lượng đường hàn để hạn chế tối đa phạm vi của vùng ảnh hưởng nhiệt đối với hợp kim nhôm.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện với sự tài trợ của Bộ Xây dựng thông qua đề tài: “Nghiên cứu hướng dẫn tính toán và thiết kế kết cấu vỏ nhôm hợp kim theo tiêu chuẩn châu Âu”, mã số RD 34-24. Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn sự hỗ trợ này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Báo điện tử Chính phủ. (2024). Thúc đẩy kinh tế biển bằng các giải pháp liên ngành, liên vùng mang tính đột phá. Truy cập tại: <https://baochinhphu.vn/thuc-day-kinh-te-bien-bang-cac-giai-phap-lien-nganh-lien-vung-mang-tinh-dot-pha-102240412165002793.htm>
- [2]. ISO 12944-2:2017 Paints and varnishes - Corrosion protection of steel structures by protective paint systems - Part 2: Classification of environments. International Organization for Standardization.
- [3]. API Standard 650: Welded Tanks for Oil Storage (13th ed.). American Petroleum Institute (2020).
- [4]. TCVN 2737:2023 Tải trọng và tác động. Bộ Khoa học và Công nghệ (2023).
- [5]. QCVN 02:2022/BXD Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về Số liệu điều kiện tự nhiên dùng trong xây dựng. Bộ Xây dựng (2022).
- [6]. EN 1991-1-4:2005 Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-4: General actions - Wind actions. European Committee for Standardization (2005).
- [7]. EN 1993-1-1:2005 Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings. European Committee for Standardization (2005).
- [8]. EN 1999-1-1:2007 Eurocode 9: Design of aluminium structures - Part 1-1: General structural rules. European Committee for Standardization (2007).
- [9]. EN 1993-1-10:2005 Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-10: Material toughness and through-thickness properties. European Committee for Standardization (2005).
- [10]. EN 1990:2002 Eurocode: Basis of structural design. European Committee for Standardization. (2002).
- [11]. EN 1991-4:2006 Eurocode 1: Actions on structures - Part 4: Silos and tanks. European Committee for Standardization (2006).
- [12]. EN 1993-1-6:2007 Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-6: Strength and Stability of Shell Structures. European Committee for Standardization (2007).
- [13]. EN 1993-4-2:2007 Eurocode 3: Design of steel structures - Part 4-2: Tanks. European Committee for Standardization (2007).
- [14]. EN 1999-1-5:2007 Eurocode 9: Design of aluminium structures - Part 1-5: Shell structures. European Committee for Standardization (2007).
- [15]. <https://eurotankworks.com/storage-tanks/vertical-storage-tanks/vertical-tank-vol-1000/>
- [16]. <https://nhomducnamdinh.net/product/nhom-tam/>
- [17]. <https://thepanoi.com.vn/bang-gia-gia-thep-tam-hom-nay.html>
- [18]. <https://www.hungphatsteel.com/san-pham/thep-tam-cat-theo-quy-cach-yeu-cau/>
- [19]. <https://dailyonepoxy.com/dinh-muc-son-ket-cau-thep/>
- [20]. <https://phelieu.vn/bang-gia-thu-mua-phe-lieu/>

Xác định hệ số dẫn nhiệt ngang của vật liệu composite cốt sợi thủy tinh đồng phương nền epoxy bằng phương pháp học máy

Determination of the transverse thermal conductivity of unidirectional glass fiber-reinforced epoxy composites using machine learning

> TS NGUYỄN THỊ HƯƠNG GIANG

Trường Đại học Giao thông vận tải

Email: nguyenthihuonggiang@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Vật liệu composite nền epoxy gia cường sợi thủy tinh nhận được nhiều sự quan tâm nhờ phạm vi ứng dụng rộng rãi trong các ngành Xây dựng, hàng không vũ trụ, ô tô và điện tử. Khi các sợi thủy tinh được sắp xếp thẳng hàng theo một hướng, vật liệu được phân loại là composite cốt sợi đồng phương, có tính chất dẫn nhiệt mang tính dị hướng cao. Nghiên cứu này nhằm phát triển mô hình tính toán dựa trên phương pháp học máy (Machine Learning - ML) để dự đoán hệ số dẫn nhiệt ngang hiệu dụng của composite cốt sợi thủy tinh đồng phương nền epoxy khi tỉ lệ thể tích sợi thủy tinh thay đổi. Tập dữ liệu huấn luyện được xây dựng từ các kết quả mô phỏng số trong nghiên cứu trước của tác giả. Kết quả dự đoán của mô hình được kiểm chứng bằng cách so sánh với kết quả của đường bao Hashin-Shtrikman và phương pháp xấp xỉ vi phân nhằm đánh giá độ chính xác và độ tin cậy. Kết quả cho thấy mô hình ML đề xuất đạt độ chính xác dự đoán cao và mô tả hiệu quả ảnh hưởng của tỉ lệ thể tích sợi đến hệ số dẫn nhiệt ngang. Những kết quả này cung cấp cơ sở lý thuyết và công cụ thực tiễn cho việc thiết kế và tối ưu hóa vật liệu composite cốt sợi thủy tinh nền epoxy với các đặc tính dẫn nhiệt theo yêu cầu.

Từ khóa: Hệ số dẫn nhiệt ngang hiệu dụng; composite nền epoxy gia cường sợi thủy tinh; phương pháp học máy.

ABSTRACT

Fiberglass-reinforced epoxy composites have gained considerable attention due to their wide-ranging applications in construction, aerospace, automotive, and electronics industries. When the fiberglass strands are aligned in a single direction, the material is classified as a unidirectional fiber-reinforced composite, whose thermal properties are highly anisotropic. This study aims to develop a machine learning (ML)-based computational model for predicting the transverse effective thermal conductivity of unidirectional fiberglass-reinforced epoxy composites as a function of the fiberglass volume fraction. The training dataset is derived from numerical simulations performed in the authors' previous work. Model predictions are validated against the Hashin-Shtrikman bounds and the differential approximation method to assess accuracy and reliability. The results demonstrate that the proposed ML model achieves high prediction accuracy and effectively captures the influence of fiber volume fraction on transverse thermal conductivity. These findings provide a theoretical foundation and a practical tool for the design and optimization of fiberglass-reinforced epoxy composites with tailored thermal properties.

Keywords: Transverse effective thermal conductivity; fiberglass-reinforced epoxy composites; machine learning.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Vật liệu composite nền polymer, đặc biệt là composite nền epoxy cốt sợi thủy tinh đang được sử dụng rộng rãi trong các lĩnh vực như hàng không, ô tô, xây dựng và thiết bị điện tử do có sự kết hợp ưu việt giữa độ bền cơ học, độ cứng và khả năng chống ăn mòn. Trong số các tính chất vật lý quan trọng của vật liệu composite, hệ số dẫn nhiệt ngang (transverse thermal conductivity) đóng vai trò

thiết yếu trong việc mô phỏng và thiết kế các hệ thống tản nhiệt hiệu quả, đặc biệt là trong các kết cấu chịu nhiệt hay các bộ phận vi cơ điện tử. Vì vậy, các nghiên cứu dự đoán về hệ số dẫn nhiệt ngang luôn được các nhóm nghiên cứu trong và ngoài nước quan tâm.

Ở cấp độ vi mô, các thành phần vật liệu có hệ số dẫn nhiệt khác nhau. Tuy nhiên, khi xem xét ở cấp độ vĩ mô có thể coi là vật liệu đồng nhất và được đặc trưng bởi giá trị hiệu dụng. Giá trị đó

phụ thuộc vào tính chất của từng pha, tỉ lệ thể tích, cấu trúc hình học, liên kết giữa các pha.

Việc xác định hệ số dẫn nhiệt ngang hiệu dụng có thể xác định dựa vào thực nghiệm hoặc trên các lý thuyết tính toán của vật liệu composite như phương pháp đường bao [1], phương pháp xấp xỉ trung bình như xấp xỉ vi phân, xấp xỉ tương tác 3 điểm, phương pháp Mori - Tanaka... [2-4] hoặc sử dụng phương pháp mô phỏng số (FEM, FVM) trong [5-6].

Với thực nghiệm yêu cầu mẫu thử chính xác, chi phí thiết bị cao và khó triển khai ở quy mô lớn. Các phương pháp giải tích cung cấp giới hạn lý thuyết quan trọng, chúng có thể đơn giản hóa quá mức các tương tác vi cấu trúc phức tạp, do đó thiếu độ chính xác đối với một số cấu trúc sợi-nền hoặc ở tỷ lệ thể tích sợi cao. Còn với phương pháp số thì nhược điểm là tiêu tốn nhiều thời gian xây dựng mô hình, chi phí tính toán cao và khó mở rộng cho các hệ composite có cấu trúc phức tạp hoặc thông số không xác định rõ.

Hiện tại, với sự phát triển mạnh mẽ của trí tuệ nhân tạo, học máy ML có các thuật toán có khả năng học hỏi từ dữ liệu đầu vào để đưa ra dự đoán hoặc quyết định mà không cần lập trình cụ thể cho từng trường hợp. Học máy đã và đang được ứng dụng mạnh mẽ trong các lĩnh vực của khoa học vật liệu, đặc biệt là trong việc dự đoán đặc tính cơ lý, tối ưu hóa cấu trúc vi mô và rút ngắn thời gian phát triển vật liệu mới [7-8].

Chính vì vậy, trong bài báo này, tác giả mong muốn tiếp cận phương pháp mới là học máy để nghiên cứu các tính chất cơ lý của vật liệu, với bước đầu là xác định hệ số dẫn nhiệt ngang của vật liệu composite cốt sợi thủy tinh nền epoxy. Dữ liệu được sử dụng để đưa vào huấn luyện và kiểm tra là tập dữ liệu có được từ phương pháp mô phỏng số cho nhân tử tuần hoàn đã được tác giả nghiên cứu trước đó. Kết quả theo phương pháp học máy sẽ được so sánh với kết quả theo các phương pháp khác để kiểm tra độ tin cậy.

2. CÁC PHƯƠNG PHÁP XẤP XỈ VÀ MÔ PHỎNG SỐ XÁC ĐỊNH HỆ SỐ DẪN NHIỆT NGANG HIỆU DỤNG

2.1. Các phương pháp xấp xỉ

Vật liệu composite cốt sợi thủy tinh nền epoxy là vật liệu 2 pha gồm pha nền epoxy có hệ số dẫn nhiệt c_1 , tỷ lệ thể tích v_1 ; sợi thủy tinh có hệ số dẫn nhiệt c_2 , tỷ lệ thể tích v_2 . Khi các sợi thủy tinh xếp dọc theo một phương ta có vật liệu cốt sợi đồng phương. Với vật liệu cốt sợi đồng phương có 2 hệ số dẫn hiệu dụng. Hệ số dẫn hiệu dụng dọc theo trục có thể xác định theo công thức trung bình cộng số học $c^{eff} = (c_1 v_1 + c_2 v_2)$, còn việc xác định hệ số dẫn ngang hiệu dụng c^{eff} là vấn đề chúng ta quan tâm trong bài báo này.

Hashin và Strikman [1] đã xây dựng nguyên lý biến phân riêng và đưa vào trường khả dĩ phân cực (polarization fields) với các giá trị trung bình khác nhau trên các pha khác nhau và đưa ra đánh giá trên dưới cho các giá trị hiệu dụng:

$$P(c_{\min}) \leq c^{eff} \leq P(c_{\max}) \quad (1)$$

với:

$$P(c_*) = \left(\frac{v_1}{c_1 + c_*} + \frac{v_2}{c_2 + c_*} \right)^{-1} - c_* \quad (2)$$

$$c_* = \max(c_1, c_2) \text{ hoặc } c_* = \min(c_1, c_2)$$

Với các công thức xấp xỉ, phần lớn được xây dựng trên nền tảng của phân bố thưa (dilute suspension) của cốt liệu elip trong pha nền vô tận của Eshelby. Hệ số dẫn hiệu dụng của vật liệu 2 thành phần với phân bố thưa ($v_2 \ll 1$), cốt tròn được xác định theo công thức:

$$c^{eff} = c_1 \left[1 + v_2 D(c_1, c_2) + 0(v_2^2) \right] \quad (3)$$

với:

$$D(c_1, c_2) = 2 \frac{c_2 - c_1}{c_2 + c_1} \quad (4)$$

Xấp xỉ vi phân cho vật liệu 2 thành phần có cốt tròn với nồng độ không loãng, được xác định theo phương trình vi phân của Phạm:

$$\frac{dc}{dt} = \frac{cv_2}{1-v_2} D(c_1, c_2), \quad c(0) = c_1, \quad c(1) = c^{eff}, \quad 0 \leq t \leq 1 \quad (5)$$

Giải phương trình (5), có c^{eff} là nghiệm của phương trình:

$$\frac{c_2 - c^{eff}}{c_2 - c_1} \left(\frac{c_1}{c^{eff}} \right)^{1/2} = 1 - v_2 \quad (6)$$

2.2. Phương pháp số

Phương pháp số cũng là phương pháp khá phổ biến khi mô phỏng cho các bài toán đồng nhất hóa vật liệu để tìm các tính chất hiệu dụng. Phổ biến là phương pháp số sử dụng phần tử hữu hạn. Trong [9], tác giả với sự hỗ trợ của phần mềm Cast3m có mã nguồn mở, đã xây dựng mô hình tính hệ số dẫn ngang của vật liệu cốt sợi đồng phương với nhân tử tuần hoàn hình vuông.

Trên nhân tử tuần hoàn là U, kích thước các cạnh trong mặt phẳng lần lượt là a_1, a_2 . Trường dòng nhiệt vi mô tuần hoàn và có dạng:

$$\mathbf{q}(\mathbf{x}) = \mathbf{q}(\mathbf{x} + n_1 a_1 \mathbf{e}_1 + n_2 a_2 \mathbf{e}_2) \quad (7)$$

Do điều kiện tuần hoàn của dòng nhiệt vi mô nên ta có trung bình của dòng nhiệt trên U bằng với trung bình dòng nhiệt trên phần tử thể tích đặc trưng RVE (W).

$$\langle \mathbf{q}(\mathbf{x}) \rangle_U = \langle \mathbf{q}(\mathbf{x}) \rangle_n = \mathbf{Q} \quad (8)$$

Trên nhân tử tuần hoàn phải thỏa mãn các phương trình:

Phương trình cân bằng:

$$\nabla \cdot \mathbf{q}(\mathbf{x}) = 0 \in U \quad (9)$$

Định luật Fourier:

$$\mathbf{q}(\mathbf{x}) = -\mathbf{c}(\mathbf{x}) \cdot \nabla T(\mathbf{x}) \in U \quad (10)$$

Trường nhiệt độ:

$$T(\mathbf{x}) = T^0 + \nabla T \cdot \mathbf{x} + T^*(\mathbf{x}) \in U \quad (11)$$

Trong đó: T^0 - Nhiệt độ bên trong vật liệu; $T^*(\mathbf{x})$ - Trường nhiệt nhiễu loạn do các cốt sinh ra và thỏa mãn điều kiện tuần hoàn:

$$T^*(\mathbf{x}) = T^*(\mathbf{x} + n_1 a_1 \mathbf{e}_1 + n_2 a_2 \mathbf{e}_2) \quad (12)$$

và:

$$\mathbf{q}(\mathbf{x}) \cdot \mathbf{n} - \text{Phản tuần hoàn.} \quad (13)$$

Các bước chính trong bài toán tính hệ số dẫn hiệu dụng của vật liệu sử dụng phần mềm Cast3m gồm các bước sau:

- Thông số cơ bản (bài toán nhiệt, đẳng hướng);
- Thiết lập lưới phần tử hữu hạn;
- Đưa hệ số dẫn nhiệt của các pha và thiết lập ma trận độ cứng của hệ số dẫn;

- Đặt tải (đưa gradient nhiệt độ vi mô vào) và điều kiện tuần hoàn;

- Xuất kết quả là trường nhiệt độ trên nhân tử tuần hoàn;

- Tính trung bình dòng nhiệt trên mỗi pha và trên toàn miền, từ đó xác định hệ số dẫn hiệu dụng.

3. PHƯƠNG PHÁP HỌC MÁY

Học máy ML là một tập con của trí tuệ nhân tạo. ML là một lĩnh vực nhỏ trong khoa học máy tính, có khả năng tự học hỏi dựa trên dữ liệu đưa vào mà không cần phải được lập trình cụ thể.

Một bài toán học máy ML thường gồm các bước sau:

- Thu thập và chuẩn bị dữ liệu: Tập dữ liệu gồm các đặc trưng đầu vào và nhãn đầu ra. Dữ liệu đưa vào để huấn luyện và kiểm tra có thể được tập hợp từ các thí nghiệm hoặc có thể từ mô phỏng số. Trong bài báo này, tác giả đã sử dụng kết quả mô phỏng số có được từ việc áp dụng phương pháp số ở 2.2 do những khó khăn trong việc thu thập hoặc tự làm thí nghiệm thực tế.

Bộ dữ liệu gồm 300 dữ liệu với đầu vào là hệ số dẫn của epoxy $c_1 = 0,2 (W.m^{-1}.K^{-1})$, của sợi thủy tinh $c_2 = 1,4 (W.m^{-1}.K^{-1})$, tỉ lệ thể tích các pha thay đổi từ 0 - 0,9. Khi xây dựng mô hình theo phương pháp số thì độ chặt tối đa chúng ta nhận được là 0,9 nên bộ dữ liệu có tỉ lệ thể

tích pha cốt tối đa nhận được là 0,9. Đầu ra là các giá trị hiệu dụng.

- *Chia dữ liệu thành các tập*: Tập huấn luyện dùng để xây dựng mô hình, tập kiểm tra dùng để đánh giá khả năng tổng quát hóa của mô hình. Đôi khi có thêm tập xác thực để điều chỉnh tham số.

Tác giả đã chia tập dữ liệu theo tỉ lệ 8:2, 80% dữ liệu để huấn luyện và 20% để kiểm tra.

- *Xây dựng mô hình*: Chọn thuật toán phù hợp và huấn luyện mô hình trên tập huấn luyện bằng cách tìm tham số tối ưu sao cho sai số dự đoán là nhỏ nhất.

Các mô hình học máy phổ biến như hồi quy tuyến tính, rừng ngẫu nhiên (Random Forest), máy vector hỗ trợ (SVM), mạng nơ-ron nhân tạo (ANN) và các thuật toán học sâu (deep learning)... Trong bài báo này, tác giả sử dụng mô hình học máy rừng ngẫu nhiên vì phương pháp này có nhiều ưu điểm như độ chính xác cao, ổn định, giảm quá khớp (overfitting)...

Rừng ngẫu nhiên là một thuật toán học máy thuộc nhóm học có giám sát, được đề xuất bởi Leo Breiman và Adele Cutler. Phương pháp này là một tập hợp của nhiều cây quyết định, kết hợp kết quả của chúng để nâng cao độ chính xác và khả năng tổng quát hóa của mô hình. Thuật toán chính của mô hình rừng ngẫu nhiên là:

Lấy mẫu ngẫu nhiên: Từ tập dữ liệu gốc D chứa N mẫu, thuật toán sinh ra nhiều tập con D_b bằng cách lấy ngẫu nhiên có hoàn lại. Mỗi một tập con này được dùng để huấn luyện một cây quyết định.

Chọn ngẫu nhiên tập đặc trưng tại mỗi nút chia: Khi xây dựng một cây, tại mỗi nút chia, thay vì xem xét toàn bộ các đặc trưng, thuật toán chỉ lấy ngẫu nhiên một tập con gồm m đặc trưng ($m < M$, M - Tổng số đặc trưng). Điều này giúp các cây trong rừng khác nhau nhiều hơn, giảm tương quan giữa chúng, giảm quá khớp.

Sau đó kết quả dự đoán sẽ được lấy trung bình từ giá trị dự đoán từ các cây quyết định.

- *Đánh giá mô hình*: Dùng tập kiểm tra hoặc các chỉ số khác để đánh giá mô hình (MAE, R2, RMSE, F1- score...). Trong bài báo này, tác giả chọn chỉ số đánh giá MAE và R2.

MAE (mean absolute error): Là chỉ số đo độ sai trung bình tuyệt đối giữa giá trị dự đoán của mô hình và giá trị thực tế. Công thức tính MAE:

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n |y_i - y_p| \quad (14)$$

Trong đó: y_i - Giá trị thực tế; y_p - Giá trị dự đoán của mô hình. Giá trị MAE càng nhỏ, mô hình càng chính xác.

R₂ (Coefficient of Determination): Là chỉ số cho biết tỷ lệ phương sai của dữ liệu đầu ra được giải thích bởi mô hình.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_p)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (15)$$

$\bar{y}$ - Giá trị trung bình của các y_i .

Trong bài báo kết quả nhận được là: MAE = 0,0039; R2 = 0,9993.

Kết quả đó thể hiện mô hình dự đoán được xây dựng tốt.

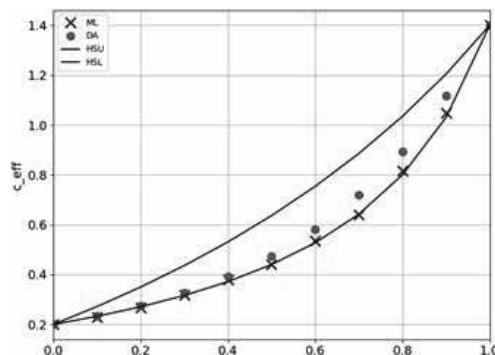
Kết quả dự đoán theo mô hình học máy, cùng với kết quả theo các công thức giải tích (2) - (6) được thể hiện trong Bảng 1. Trong đó, HSU-HSL kết quả theo đường bao Hashin-Strikman, DA - kết quả theo xấp xỉ vi phân và ML - kết quả dự đoán theo mô hình học máy.

Bảng 1. Hệ số dẫn nhiệt ngang hiệu dụng $c^{eff} (W.m^{-1}.K^{-1})$

v_2	ML	HSU	HSL	DA
0	0,2	0,2	0,2	0,2
0,1	0,2329	0,2717	0,2324	0,2334
0,2	0,2767	0,35	0,2706	0,2748
0,3	0,3181	0,4361	0,3161	0,3266
0,4	0,3784	0,531	0,3714	0,392
0,5	0,4401	0,6364	0,44	0,4752
0,6	0,5342	0,7539	0,5273	0,5815
0,7	0,6497	0,8857	0,6421	0,7179

0,8	0,8168	1,0348	0,8	0,8929
0,9	1,0479	1,2046	1,0308	1,1165

Để dễ so sánh hơn, kết quả trong Bảng 1 được thể hiện trên đồ thị Hình 1.



Hình 1. Hệ số dẫn nhiệt ngang hiệu dụng

Dựa vào đồ thị ta thấy kết quả dự đoán theo ML nằm giữa đường bao Hashin-strikman và rất gần với kết quả theo xấp xỉ vi phân, điều đó thể hiện độ tin cậy của phương pháp học máy.

4. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, tác giả dựa trên bộ dữ liệu có được từ mô hình số để huấn luyện và xây dựng mô hình tính toán theo phương pháp học máy ML. Trong ML, tác giả chọn mô hình rừng ngẫu nhiên và kiểm tra mô hình theo 2 chỉ số MAE và R2. Kết quả đạt được có so sánh với đường bao Hashin-Strikman, xấp xỉ vi phân thể hiện độ tin cậy cao khi các kết quả nằm trong giới hạn của đường bao và gần với xấp xỉ vi phân. Điều đó giúp chúng ta có thêm công cụ lý thuyết để dự báo hệ số dẫn nhiệt ngang hiệu dụng của vật liệu composite nền epoxy cốt sợi thủy tinh dựa theo tỉ lệ thể tích các thành phần hoặc để thiết kế lựa chọn các thành phần vật liệu đạt được tính chất vật lý như mong muốn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Z. Hashin and S. A. Shtrikman (1962), Variational approach to the theory of the effective magnetic permeability of multiphase materials, Journal of Applied Physics, 33: 3125-3131.
- [2]. A. N. Norris (1985), A differential scheme for effective moduli of composites, Mechanics of Materials, 4, 1-16.
- [3]. T. Mori, & K. Tanaka (1973), Average stress in matrix and average elastic energy of materials with misfitting inclusions, Acta Metallurgica, 21, 571-574.
- [4]. D.C. Pham and S.Torquato (2003), Strong-contrast expansions and approximations for the effective conductivity of isotropic multiphase composites, J. Appl. Phys., 94, 6591-6602.
- [5]. Nguyen Van Luat, Nguyen Trung Kien (2015), FFT-simulation and multi-coated inclusion model for macroscopic conductivity of 2D suspensions of compound inclusions, Vietnam Journal of Mechanics, 37, 169-176.
- [6]. H. Moulinec, P. Suquet (1994), A fast numerical method for computing the linear and nonlinear properties of composites, CR. Acad. Sc. Paris II, 318, 1417-1423.
- [7]. J. Xue, J. F. Shao, N. Burlion (2021), Estimation of constituent properties of concrete materials with an artificial neural network based method, Cement and Concrete Research, 150, 106614.
- [8]. H. Wei, S. Zhao, Q. Rong, H. Bao (2018), Predicting the effective thermal conductivities of composite materials and porous media by machine learning methods, International Journal of Heat and Mass Transfer, 127(C), 908-916.
- [9]. N. T. H. Giang (2021), Phương pháp số xác định hệ số dẫn ngang của vật liệu cốt sợi đồng phương, Tạp chí GTVT, 62(6), 26-28.

Thiết kế thực nghiệm bê tông xi măng cốt liệu tái chế trong xây dựng mặt đường bằng phương pháp Taguchi

Experimental design of recycled aggregate cement concrete in road construction using Taguchi method

> NCS NGÔ VĂN TÌNH^{1,*}, TS LƯƠNG XUÂN CHIỂU², PGS.TS NGUYỄN THANH SANG²

¹NCS Khoa Xây dựng, Học viện Hàng không Việt Nam

²Trường Đại học Giao thông vận tải; *Email: tinhnv@vaa.edu.vn

TÓM TẮT

Bê tông cốt liệu tái chế có nhu cầu rất lớn trong xây dựng ở Việt Nam. Thành phần bê tông đã được nghiên cứu thực nghiệm bao gồm cốt liệu tái chế bê tông từ phế thải công trình xây dựng để thay thế cho cốt liệu lớn với các tỷ lệ: 0%, 20%, 40%, 60%, 80% và 100%. Chất kết dính được bổ sung thêm tro bay (0%, 15%, 30%) và xỉ lò cao (0%, 20%, 40%) nhằm giảm lượng xi măng và cải thiện các đặc tính của bê tông cốt liệu tái chế. Bài báo sử dụng phương pháp thiết kế thực nghiệm Taguchi để trình bày kết quả ảnh hưởng của các yếu tố đầu vào như: tỷ lệ cốt liệu tái chế, tro bay, xỉ lò cao và tuổi bê tông đến tính chất cơ học của bê tông cốt liệu tái chế trong thiết kế xây dựng mặt đường ô tô và sân bay. Các kết quả cho thấy có thể lựa chọn được cấp phối tối ưu của bê tông cốt liệu tái chế sử dụng cho mặt đường, dựa vào cường độ chịu kéo uốn.

Từ khóa: Cốt liệu tái chế, bê tông xi măng cốt liệu tái chế, tro bay, xỉ lò cao, mặt đường cứng, phương pháp Taguchi.

ABSTRACT

Recycled aggregate concrete has a great demand in construction in Vietnam. The experimentally studied concrete composition includes recycled aggregate from construction waste to replace large aggregate with the following ratios: 0%, 20%, 40%, 60%, 80% and 100%. The binder added fly ash (0%, 15%, 30%) and blast furnace slag (0%, 20%, 40%) to reduce the amount of cement and improve the properties of recycled aggregate concrete. The article uses the Taguchi experimental design method to present the results of input factors: recycled aggregate ratio, fly ash, blast furnace slag, concrete age to the mechanical properties of recycled aggregate concrete in the design for construction of highways and airports. The results show that the optimal mix of recycled aggregate concrete used for pavements can be selected based on flexural strength.

Keywords: Recycled aggregates, recycled aggregates concrete, fly ash, ground granulated blast furnace slag, Taguchi method.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Vấn đề xử lý chất thải từ hoạt động phá dỡ công trình xây dựng đang đặt ra nhiều thách thức và nhận được sự quan tâm lớn từ Chính phủ các quốc gia. Việt Nam, với tư cách là một quốc gia đang phát triển và là thành viên của Thỏa thuận Paris 2015 về ứng phó với biến đổi khí hậu, cũng đang đối mặt với áp lực ngày càng tăng trong lĩnh vực này. Hằng năm, khối lượng chất thải xây dựng và phá dỡ không ngừng gia tăng và được dự báo sẽ tiếp tục tăng nhanh trong những năm tới, chủ yếu do việc phá dỡ các công trình cũ, xuống cấp. Do đó, việc nghiên cứu các giải pháp về cơ chế, chính sách và kỹ thuật xử lý loại chất thải này đang trở thành vấn đề cấp thiết, thu hút sự quan tâm từ cả cơ quan quản lý và giới nghiên cứu. Bên cạnh đó, lượng chất thải công nghiệp như tro bay từ các nhà máy nhiệt điện và xỉ lò cao từ ngành công nghiệp gang thép cũng đang ngày càng gia tăng, đặt ra yêu cầu cần có giải pháp tổng thể nhằm tái sử dụng và xử lý hiệu quả các loại chất thải này.

Đối với bê tông xi măng (BTXM) sử dụng trong xây dựng mặt đường ô tô và sân bay có yêu cầu về các chỉ tiêu đặc trưng cơ học như: cường độ chịu nén, cường độ kéo uốn, cường độ chịu kéo bẻ, mô đun đàn hồi và độ mài mòn là rất cao. Việc sử dụng cốt liệu tái chế trong BTXM có thể ảnh hưởng đáng kể đến các đặc trưng cơ học nêu trên [1]. Do đó, cần có thêm nhiều nghiên cứu chuyên sâu nhằm đánh giá toàn diện ảnh hưởng này và đề xuất các giải pháp kỹ thuật để khắc phục nhược điểm, từ đó mở rộng khả năng ứng dụng của bê tông cốt liệu tái chế trong thực tế.

Trong bài báo này, thiết kế hỗn hợp bê tông cốt liệu tái chế (RAC) nghiên cứu gồm bốn biến trong đó biến tỷ lệ cốt liệu tái chế (RA) thay thế cốt liệu đá dăm (NA) gồm 6 cấp. Ba biến còn lại, mỗi biến gồm 3 cấp, bao gồm: tỷ lệ tro bay (FA), xỉ lò cao nghiền mịn (GGBFS) và tuổi của bê tông (Days). Nếu thiết kế cấp phối theo truyền thống thì số lượng tổ hợp mẫu thí nghiệm là rất lớn (162 tổ hợp mẫu) mới khảo sát hết được sự ảnh hưởng của các biến đầu vào.

Điều đó dẫn đến cần rất nhiều thời gian, nhân công, vật liệu và các chi phí thực hiện thí nghiệm. Phương pháp thiết kế thực nghiệm Taguchi là một phương pháp thiết kế thực nghiệm hiện đại giúp làm giảm bớt các thí nghiệm cần phải thực hiện mà vẫn đảm bảo độ tin cậy. Là một trong những cơ sở để xác định miền tối ưu của công tác thí nghiệm trong phòng. Từ đó, giúp tiết kiệm vật liệu, nhân công thực hiện, chi phí thực hiện thí nghiệm, và làm cho bài toán thí nghiệm trở nên khoa học hơn và xác định được miền tối ưu [2].

Bài báo này trình bày các vấn đề liên quan đến vật liệu, quy hoạch thí nghiệm theo phương pháp Taguchi, phân tích kết quả trong phòng thí nghiệm về cường độ chịu nén của BTXM sử dụng cốt liệu tái chế kết hợp tro bay, xỉ lò cao ở các tỷ lệ kết hợp khác nhau và các tuổi thí nghiệm khác nhau. Từ đó, xác định miền tối ưu của cửa cường độ chịu nén bằng phương pháp Taguchi.

2. THÍ NGHIỆM

2.1. Vật liệu thí nghiệm

2.1.1. Cốt liệu lớn

❖ **Cốt liệu bê tông tái chế (RA):** Cốt liệu tái chế có nguồn gốc từ bê tông phá dỡ công trình xây dựng điểm X2, phường Hoàng Mai, TP Hà Nội. Bê tông phế liệu được đưa về xưởng nghiền cốt liệu tái chế của Công ty TNHH Toàn Cầu để nghiền thành cốt liệu tái chế để sử dụng trong chế tạo mẫu thí nghiệm của nghiên cứu này. Cốt liệu tái chế (RA) được sử dụng trong nghiên cứu được sàng lọc để đảm bảo tỷ lệ kích thước hạt: 5-10 mm chiếm tỷ lệ 40%, 10-20 mm chiếm tỷ lệ 60% [3].

❖ **Đá dăm (NA):** Đá dăm sử dụng trong nghiên cứu là cốt liệu tự nhiên được sàng lọc để loại bỏ các hạt thô dẹt và đảm bảo kích thước hạt: 5-10 mm chiếm tỷ lệ 40%, 10-20 mm chiếm tỷ lệ 60% [4].

2.1.2. Các thành phần vật liệu khác

❖ **Xi măng (XM):** Xi măng sử dụng trong nghiên cứu này là xi măng PC40 Vicem Hoàng Mai đáp ứng các tiêu chuẩn của Việt Nam [5].

❖ **Tro bay (FA):** Tro bay loại F, nguồn gốc từ Nhà máy nhiệt điện Phả Lại.

❖ **Xỉ lò cao (GGBFS):** Sử dụng xỉ lò cao nghiền mịn loại S95 của Công ty Hòa Phát, đáp ứng tiêu chuẩn Việt Nam [6].

❖ **Cát (C):** Cát sử dụng trong nghiên cứu là cát vàng có nguồn gốc tự nhiên được khai thác từ Sông Hồng, được sàng lọc để đáp ứng tiêu chuẩn Việt Nam [7].

Bảng 1. Tổng hợp số lượng mẫu thí nghiệm theo phương pháp Taguchi, ma trận L18 (6^4 , 3^4).

Tên cấp phối	RA	FA	GGBFS	Days	Bố trí trục giao theo Taguchi			
	(x100%)	(x100%)	(x100%)	(ngày)	X1	X2	X3	X4
N1 (0%RA, 0%FA, 0%GGBFS)	0	0	0	7	1	1	1	1
N2 (0%RA, 15%FA, 20%GGBFS)	0	0,15	0,2	28	1	2	2	2
N3 (0%RA, 30%FA, 40%GGBFS)	0	0,3	0,4	90	1	3	3	3
N4 (20%RA, 0%FA, 0%GGBFS)	0,2	0	0	28	2	1	1	2
N5 (20%RA, 15%FA, 20%GGBFS)	0,2	0,15	0,2	90	2	2	2	3
N6 (20%RA, 30%FA, 40%GGBFS)	0,2	0,3	0,4	7	2	3	3	1
N7 (40%RA, 0%FA, 20%GGBFS)	0,4	0	0,2	7	3	1	2	1
N8 (40%RA, 15%FA, 40%GGBFS)	0,4	0,15	0,4	28	3	2	3	2
N9 (40%RA, 30%FA, 0%GGBFS)	0,4	0,3	0	90	3	3	1	3
N10 (60%RA, 0%FA, 40%GGBFS)	0,6	0	0,4	90	4	1	3	3
N11 (60%RA, 15%FA, 0%GGBFS)	0,6	0,15	0	7	4	2	1	1
N12 (60%RA, 30%FA, 20%GGBFS)	0,6	0,3	0,2	28	4	3	2	2
N13 (80%RA, 0%FA, 20%GGBFS)	0,8	0	0,2	90	5	1	2	3
N14 (80%RA, 15%FA, 40%GGBFS)	0,8	0,15	0,4	7	5	2	3	1
N15 (80%RA, 30%FA, 0%GGBFS)	0,8	0,3	0	28	5	3	1	2
N16 (100%RA, 0%FA, 40%GGBFS)	1	0	0,4	28	6	1	3	2
N17 (100%RA, 15%FA, 0%GGBFS)	1	0,15	0	90	6	2	1	3
N18 (100%RA, 30%FA, 20%GGBFS)	1	0,3	0,2	7	6	3	2	1

❖ **Nước (N):** Được lấy từ nguồn nước sạch TP Hà Nội, đảm bảo các chỉ tiêu kỹ thuật của nước dùng trong BTXM [8].

❖ **Phụ gia (PG):** Phụ gia sử dụng là phụ gia hóa dẻo MC-PowerFlow 2138 của Công ty Cổ phần MC-BIFI BAUCHEMIE, giúp duy trì độ sụt của hỗn hợp bê tông, cải thiện tính công tác mà không cần thêm nước.

❖ **Tiêu chuẩn thiết kế cấp phối:** Bê tông được thiết kế cấp phối để sử dụng trong xây dựng mặt đường BTXM đường ô tô và sân bay. Tiêu chuẩn thiết kế JTG/T F30-2014 - Hướng dẫn kỹ thuật thiết kế bê tông mặt đường [9]. Đồng thời, đảm bảo các tiêu chuẩn về mặt đường BTXM mặt đường ô tô và sân bay của Việt Nam [10, 11, 12].

2.2. Quy hoạch mẫu thí nghiệm bằng phương pháp thiết kế thực nghiệm Taguchi

Nghiên cứu nhằm mục đích xác định mức độ ảnh hưởng của từng yếu tố như: Tỷ lệ (RA), tỷ lệ (FA), tỷ lệ (GGBFS), tuổi của bê tông (Days) đến đặc trưng cường độ chịu nén; đồng thời xác định miền tối ưu về cường độ chịu nén của bê tông xi măng sử dụng cho mặt đường ô tô và sân bay. Thiết kế thành phần được dựa vào lý thuyết tính toán cường độ kéo uốn mục tiêu ($R_{ku}=5,5\text{Mpa}$), khoảng cường độ kéo uốn đạt được phù hợp của các tổ mẫu thí nghiệm nên nằm trong $[4,5\text{Mpa} - 6,5\text{Mpa}]$ với giá trị nằm trong khoảng này sẽ đạt 68% cường độ trung bình của tổ mẫu thí nghiệm.

Tỷ lệ thành phần thiết kế trong nghiên cứu được đặt mục tiêu là thiết kế bê tông làm đường với cường độ chịu nén đặc trưng là 35MPa trên mẫu lập phương tiêu chuẩn. Do đó việc thiết kế để đảm bảo đồng thời cường độ chịu nén của các tổ mẫu thí nghiệm ở 28 ngày từ $[39,6\text{MPa} - 49,3\text{MPa}]$ và cường độ kéo uốn ở 28 ngày tuổi đạt từ $[4,6\text{MPa} - 5,9\text{MPa}]$. Thiết kế có thể tổ hợp nhiều chỉ tiêu kỹ thuật khác để đạt được đồng thời các tính năng mục tiêu cần thiết là bài toán hướng tới. Bài báo thiết kế để chọn ra được hỗn hợp bê tông tái chế đồng thời đảm bảo cường độ chịu nén và cường độ kéo uốn bằng phương pháp Taguchi. Các thí nghiệm được thiết kế theo ma trận trực giao L18 (6^4 , 3^4) với 4 yếu tố đầu vào gồm: Tỷ lệ RA thay thế (NA): 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100%; tỷ lệ tro bay thay thế xi măng (FA): 0%, 15%, 30%; tỷ lệ xỉ lò cao thay thế xi măng (GGBFS): 0%, 20%, 40%; Tuổi của bê tông (Days): 7 ngày, 28 ngày, 90 ngày.

Khối lượng mẫu thí nghiệm cần được thiết kế theo bảng ma trận dưới đây.

Các nhóm mẫu được chế tạo theo nhóm gồm 3 mẫu lập phương kích thước (150x150x150) mm. Mẫu được chế tạo, bảo dưỡng theo TCVN 3105:2022 [13]. Cường độ chịu nén được xác định theo TCVN 3118:2022 [14].

2.3. Phân tích kết quả thí nghiệm theo phương pháp Taguchi

Phương pháp Taguchi để tối ưu hóa gồm trình tự các bước thực hiện như sau:

- Xác định đặc tính sử dụng và chọn yếu tố đánh giá;
- Xác định số mức của các yếu tố và tác động qua lại các yếu tố với nhau;
- Lựa chọn sắp xếp trực giao phù hợp của các nhân tố trong sắp xếp trực giao;
- Thực hiện thí nghiệm dựa trên sắp xếp trực giao;
- Tính toán đặc trưng thống kê;
- Phân tích kết quả thí nghiệm dựa vào các đặc tính biểu hiện và phân tích phương sai (ANOVA);
- Lựa chọn mức độ tối ưu từng yếu tố;
- Kiểm chứng lại sự tối ưu thông qua các thí nghiệm đạt chuẩn.

Đặc trưng thống kê được lựa chọn như một chỉ tiêu tối ưu, bao gồm 3 tính năng; Càng lớn-càng tốt (Larger-the better), Càng bé-càng

Bảng 2. Kết quả cường độ chịu nén và kéo uốn của các cấp phối bê tông theo thiết kế Taguchi

Tên CP	RA	FA	GGBFS	Days	Cường độ chịu nén (MPa)			Cường độ kéo uốn (MPa)		
	(x100%)	(x100%)	(x100%)	(ngày)	R _{n7}	R _{n28}	R _{n7} /R _{n28}	R _{ku7}	R _{ku28}	R _{ku7} /R _{ku28}
N1	0	0	0	7	36,1	48,6	74,3%	4,20	5,46	77,0%
N2	0	0,15	0,2	28	35,6	45,6	78,1%	4,20	5,28	79,5%
N3	0	0,3	0,4	90	32,9	45,2	72,9%	3,93	5,21	75,4%
N4	0,2	0	0	28	32,6	45,4	71,9%	3,88	5,17	75,0%
N5	0,2	0,15	0,2	90	31,9	44,1	72,3%	3,92	5,22	75,1%
N6	0,2	0,3	0,4	7	26,4	41,4	63,8%	3,34	4,92	67,9%
N7	0,4	0	0,2	7	30,9	42,0	73,6%	3,72	4,87	76,5%
N8	0,4	0,15	0,4	28	28,4	40,2	70,6%	3,52	4,81	73,2%
N9	0,4	0,3	0	90	28,6	40,8	70,1%	3,40	4,69	72,5%
N10	0,6	0	0,4	90	27,2	39,4	69,0%	3,39	4,67	72,5%
N11	0,6	0,15	0	7	29,9	40,9	73,0%	3,55	4,80	74,0%
N12	0,6	0,3	0,2	28	26,6	38,9	68,4%	3,28	4,57	71,8%
N13	0,8	0	0,2	90	27,0	39,2	68,9%	3,23	4,52	71,5%
N14	0,8	0,15	0,4	7	26,3	37,8	69,5%	3,20	4,46	71,8%
N15	0,8	0,3	0	28	25,8	38,8	66,5%	3,06	4,54	67,3%
N16	1	0	0,4	28	24,8	38,3	64,8%	3,00	4,34	69,1%
N17	1	0,15	0	90	26,4	38,6	68,4%	3,12	4,41	70,9%
N18	1	0,3	0,2	7	24,5	36,5	67,1%	3,01	4,22	71,3%

Bảng 3. Response table for means

Mức	RA	FA	GGBFS	Days
1	46,68	41,33	41,44	28,99
2	42,92	41,13	40,90	41,20
3	40,60	39,61	39,73	51,87
4	39,22			
5	37,85			
6	36,86			
Delta	9,83	1,72	1,72	22,88
Rank	2	3	4	1

Các dạng phá hoại của các mẫu thí nghiệm đảm bảo theo tiêu chuẩn TCVN 3118:2022 [14] về hình dạng phá hoại, giá trị cường độ trong Bảng 2 đảm bảo độ tin cậy về mặt thống kê. Đảm bảo khi kiểm tra độ chụm ASTM C670-15 [15].

Trong nghiên cứu này, các tác giả sử dụng phần mềm Minitab 22 để thiết kế thực nghiệm; số lần lặp với biến RA là 6, các biến còn lại

tốt (Smaller-the better), Càng ít-càng tốt (Nominal-the better). Các tính chất này được đánh giá dựa trên các phương trình (1), (2), (3) sau:

$$\text{- Larger-the better: } S / N = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{Y_i^2} \right) \quad (1)$$

$$\text{- Smaller-the better: } S / N = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{Y_i^2} \right) \quad (2)$$

- Nominal-the better:

$$S / N = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - Y_0)^2 \right) \quad (3)$$

Trong đó: S/N - là đặc trưng thống kê, được xác định dựa trên tỷ lệ giữa tín hiệu/độ ồn (S/N: đơn vị dB); n - là số lần lặp với mỗi lần kết hợp thí nghiệm; Y_i - Giá trị đặc trưng của thí nghiệm thứ i; Y₀ - giá trị mong muốn nhất.

3. PHÂN TÍCH KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

Các kết quả thí nghiệm cường độ chịu nén và cường độ kéo uốn theo các tổ hợp được tổng hợp trong Bảng 2.

gồm FA, GGBFS, tuổi bê tông là 3. Thiết kế thực nghiệm theo Taguchi chọn ma trận trực giao L18 (6¹1, 3³), mỗi thí nghiệm lặp lại 3 lần.

Đối với chỉ tiêu cường độ chịu nén thì càng cao sẽ càng tốt, vì vậy nghiên cứu chọn tính năng tối ưu: Càng lớn-càng tốt (Larger-the better); giá trị S/N tính theo phương trình (1).

Kết quả tính toán trên Minitab 22 như bảng 3:

Bảng 4 có 4 nhân tố thể hiện ở 4 cột (tỷ lệ RA, FA, GGBFS và Days); trong đó RA có 6 mức (1, 2, 3, 4, 5, 6), ba yếu tố còn lại có 3 mức (1, 2, 3). Từ các cột trên ta tìm được giá trị “càng lớn càng tốt” và cho giá trị “RA-FA-GGBFS-Days” tức là: RA1 là yếu tố tỷ lệ cốt liệu tái chế có mức 1 là lớn nhất (33,22); FA1 là yếu tố tỷ lệ tro bay có mức 1 là lớn nhất (32,20); GGBFS3 là yếu tố tỷ lệ xỉ lò cao có mức 1 là lớn nhất (32,21); Days 3 là yếu tố tuổi bê tông có mức 3 là lớn nhất (34,27). Từ đó ta xác định được cường độ chịu nén tốt nhất khi có: RA=0%, FA=0%, GGBFS=0%, Days=90 ngày.

Kết quả phân tích tỷ lệ S/N bằng phần mềm Minitab 22 với kết quả phân tích trên Hình 2 và Bảng 4 ta xác định được mức độ ảnh hưởng của

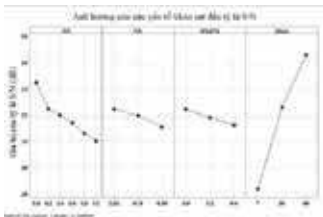
từng yếu tố (RA, FA, GGBFS, Days) đến cường độ chịu nén của bê tông. Kết quả phân tích cho thấy, tuổi bê tông có mức ảnh hưởng lớn nhất đến cường độ chịu nén của bê tông (Rank 1, mức ảnh hưởng 59.4%),

Bảng 4. Phân tích phương sai ANOVA xác định miền tối ưu cường độ chịu nén

STT	Mức	Cách tính	Yếu tố				Trường hợp tối ưu
			RA	FA	GGBFS	Days	
1	1		33,22	32,20	32,21	29,17	RA1-FA1-GGBFS1-Days3
2	2		32,23	31,98	31,90	32,27	RA=0%
3	3		31,99	31,53	31,61	34,27	FA=0%
4	4		31,70				GGBFS=0%
5	5		31,29				Days=90ngày
6	6		31,01				
7	Mean	(Trung bình)	31,90	31,90	31,90	31,90	
8	Max	Max	33,22	32,20	32,21	34,27	
9	Max-Mean	Max-mean	1,32	0,30	0,31	2,37	
10	Tỷ lệ (%) ảnh hưởng		0,258	0,078	0,069	0,594	
11	Delta	Max-min	2,21	0,67	0,60	5,10	
	Rank		2	3	4	1	



Hình 1. Kết quả phân tích cường độ chịu nén trên phần mềm Minitab 22



Hình 2. Kết quả phân tích tỷ lệ S/N(Rk) trên phần mềm Minitab 22

Phân tích xu hướng, từ kết quả ở Hình 2 cho thấy sự ảnh hưởng của các yếu tố khảo sát đến cường độ chịu nén của bê tông sử dụng cốt liệu tái chế kết hợp tro bay và xỉ lò cao cho xây dựng mặt đường ô tô và sân bay như sau:

- Tuổi của bê tông ảnh hưởng tỷ lệ thuận với cường độ chịu nén của bê tông. Do đó, giá trị tối ưu về độ tuổi là 90 ngày.
- Tỷ lệ RA và tỷ lệ FA, GGBFS tỷ lệ nghịch với cường độ chịu nén của bê tông. Do đó điều kiện tối ưu thì sử dụng RA 0% tức là NA 100%, và FA là 0%, GGBFS là 0% điều này là hợp lý và phù hợp với các nghiên cứu trước đó.
- Tuy nhiên, kết quả phân tích trên chỉ là tương ứng với cường độ chịu nén của bê tông, cần phải phân tích thêm các chỉ tiêu cường độ khác mới có thể đánh giá và tìm ra tỷ lệ tối ưu hợp lý nhất.

4. KẾT LUẬN

Từ kết quả thí nghiệm ở Bảng 2 và biểu đồ ở Hình 2 ta nhận thấy, cốt liệu tái chế từ bê tông được sử dụng trong nghiên cứu này kết hợp với tro bay và xỉ lò cao nghiên cứu mịn có thể sử dụng để chế tạo BTXM sử dụng làm kết cấu mặt đường ô tô và sân bay ở các cấp mặt đường nhất định theo các yêu cầu về cường độ chịu nén, cường độ kéo uốn của các tiêu chuẩn tương ứng của Việt Nam. Việc phân tích sự ảnh hưởng của các yếu tố tỷ lệ RA, FA, GGBFS và tuổi bê tông đến cường độ chịu nén và phân tích tối ưu bằng phương pháp Taguchi cho kết quả như sau:

- Tuổi của bê tông và tỷ lệ cốt liệu tái chế là hai thông số quan trọng và ảnh hưởng nhiều nhất đến cường độ chịu nén của bê tông;
- Các tỷ lệ FA và GGBFS có mức độ ảnh hưởng đến cường độ chịu nén lần lượt là 7.8% và 6.9%, các tỷ lệ này lớn hơn 5% nên có tính thống kê và không thể bỏ qua. Do đó, khi sử dụng cần phải tính toán các tỷ lệ nhất định.
- Cường độ chịu nén lớn nhất khi tỷ lệ RA là 0%, FA là 0%, GGBFS là 40% với cường độ chịu nén ở tuổi 90 ngày. Có thể thấy nếu ưu tiên

tiếp đến là tỷ lệ RA (Rank 2, mức ảnh hưởng 25,8%), tỷ lệ FA (Rank 3, mức ảnh hưởng 7,8%), tỷ lệ GGBFS (Rank 4, mức ảnh hưởng 6.9%).

cường độ chịu nén thì không tìm được hỗn hợp bê tông cốt liệu tái chế bằng phương pháp Taguchi;

- Cấp phối bê tông đạt cường độ chịu nén từ [39,6MPa - 49,3 MPa] ở tuổi 28 ngày bao gồm: N1, N2, N3, N4, N5, N6, N7, N8;
- Cấp phối bê tông đạt cường độ kéo uốn từ [4,6MPa - 5,9MPa] ở tuổi 28 ngày bao gồm: N1, N2, N3, N4, N5, N6, N7, N8, N9, N10, N11;
- Cấp phối bê tông đạt đồng thời cả cường độ nén và kéo uốn: N1, N2, N3, N4, N5, N6, N7, N8; Như vậy từ các hỗn hợp bê tông trên ta có thể lựa chọn hỗn hợp tỷ lệ tái chế nhiều nhất, và liều lượng thay xi măng lớn nhất là hỗn hợp N8: Tỷ lệ thay thế cốt liệu lớn tái chế là 40%, chất kết dính phụ thêm gồm FA là 15% và GGBFS là 40% phù hợp với các nghiên cứu trên thế giới, cường độ chịu nén và kéo uốn đạt đồng thời để làm bê tông mặt đường ô tô.

- Phương pháp Taguchi có thể cho chúng ta dự báo kết quả ở tuổi 28 ngày với các hỗn hợp khác để chọn thêm các hỗn hợp phù hợp với mục tiêu thiết kế đã đề ra.

- Phương pháp Taguchi cho phép xác định các giá trị cường độ của những tổ hợp không làm thí nghiệm trong tổng số 162 tổ hợp thông qua công cụ *Predict Taguchi Result* hoặc phương trình hồi quy. Do đó, phương pháp này có thể sử dụng thay cho phương pháp thiết kế thực nghiệm truyền thống để giảm bớt chi phí về vật liệu, nhân công, thời gian thí nghiệm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Bo Wang., Libo Yang., Quini Fu., Bohumil Kasal; A Comprehensive Review on Recycled Aggregate and Recycled Aggregate Concrete. Resources, Conservation & Recycling; 2021.

[2]. Nguyễn Hữu Lộc; Giáo trình quy hoạch và phân tích thực nghiệm; NXB Đại học quốc gia TP.HCM; 2021.

[3]. Bộ khoa học và Công nghệ, TCVN 11969: 2018 - Cốt liệu tái chế cho bê tông; 2018.

[4]. Bộ khoa học và Công nghệ, TCVN 7570: 2006 - Cốt liệu cho bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật; 2006.

[5]. Bộ khoa học và Công nghệ, TCVN 6260: 2020 - Xi măng pooc lăng hỗn hợp; 2020.

[6]. Bộ khoa học và Công nghệ, TCVN 11586: 2016 - Tiêu chuẩn về xỉ lò cao nghiền mịn dùng cho bê tông xi măng và vữa xây; 2016.

[7]. Bộ khoa học và Công nghệ, TCVN 10796: 2015 - Cát mịn cho bê tông và vữa; 2015.

[8]. Bộ khoa học và Công nghệ, TCVN 4506: 2012 - Nước cho bê tông và vữa; 2012.

[9]. JTG/T F30-2014 - Technical Guidelines for Construction of Highway Cement Concrete Pavements; 2014.

[10]. Tổng cục đường bộ Việt Nam, TCCS 39: 2022/TCDBVN - Thiết kế mặt đường BTXM thông thường có khe nối trong xây dựng công trình giao thông; 2022.

[11]. Tổng Cục đường bộ Việt Nam, TCCS 40: 2022/TCDBVN - Thi công và nghiệm thu mặt đường BTXM trong xây dựng công trình giao thông; 2022.

[12]. Bộ khoa học và Công nghệ, TCVN 10907: 2015 - Sân bay dân dụng-mặt đường sân bay-yêu cầu thiết kế; 2015.

[13]. Bộ khoa học và Công nghệ, TCVN 3105: 2022 - Hỗn hợp bê tông và bê tông - Lấy mẫu, chế tạo và bảo dưỡng mẫu thử; 2022.

[14]. Bộ Khoa học và Công nghệ, TCVN 3118: 2022 - Phương pháp xác định cường độ chịu nén; 2022.

[15]. ASTM C670-15 - Standard Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials.

Phân tích và khuyến nghị hoàn thiện tiêu chuẩn gối cầu TCVN 13594-8:2023 cho cầu đường sắt tốc độ cao có yêu cầu kháng chấn

Analysis and recommendations for improving the TCVN 13594-8:2023 standard on bridge bearings for high-speed railway bridges considering seismic requirements

> PGS.TS NGUYỄN THỊ TUYẾT TRINH

Trường Đại học Giao thông vận tải

Email: tuyettrinh@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Sự phát triển đường sắt tốc độ cao ở Việt Nam đòi hỏi tiêu chuẩn thiết kế cầu nghiêm ngặt về an toàn, độ bền và khả năng kháng chấn. Trong đó, gối cầu giữ vai trò then chốt trong truyền tải trọng, cho phép quay - chuyển vị và kiểm soát ứng xử dưới động đất. Nghiên cứu này tiến hành phân tích từng điều khoản của TCVN 13594-8:2023 và so sánh trong mối tương quan với các bộ tiêu chuẩn quốc tế đã được ứng dụng rộng rãi trong thiết kế cầu cũng như các nghiên cứu trong nước và quốc tế. Kết quả chỉ ra những khoảng trống quan trọng, đặc biệt về yêu cầu kháng chấn. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất khuyến nghị hoàn thiện những yêu cầu liên quan đến thông số thiết kế, kiểm tra - thử nghiệm, bảo trì - quản lý vòng đời, đồng thời đồng bộ với TCVN 13594-10:2023 và TCVN 9386:2012, góp phần nâng cao độ tin cậy và khả năng kháng chấn của cầu đường sắt tốc độ cao, đưa tiêu chuẩn Việt Nam tiệm cận chuẩn mực quốc tế.

Từ khóa: Gối cầu; tiêu chuẩn thiết kế cầu; đường sắt tốc độ cao; kháng chấn; an toàn kết cấu; bảo trì.

ABSTRACT

The development of high-speed rail in Vietnam requires strict bridge design standards for safety, durability and seismic resistance. Bridge bearings play a pivotal role in load transfer, enabling rotation and displacement while controlling structural behavior during earthquakes. This study analyzes each clause of TCVN 13594-8:2023 and compares it in relation to widely applied international standards for bridge design as well as domestic and international research. The results reveal significant gaps, particularly regarding seismic performance requirements. Based on these findings, the study proposes recommendations to improve design parameters, inspection and testing procedures and maintenance and life-cycle management. The recommendations also emphasize the need for consistency with TCVN 13594-10:2023 and TCVN 9386:2012, expected to enhance the reliability and seismic resilience of high-speed rail bridges while aligning Vietnamese standards with international benchmarks.

Keywords: Bridge bearings; bridge design standards; high-speed railway; seismic performance; structural safety; maintenance.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Việt Nam đang trong quá trình nghiên cứu và chuẩn bị đầu tư hệ thống đường sắt tốc độ cao, một loại hình hạ tầng có yêu cầu an toàn và tính liên tục vận hành ở mức cao nhất. Trong kết cấu cầu, gối cầu giữ vai trò then chốt khi truyền tải trọng từ kết cấu nhịp xuống móng, cho phép chuyển vị và quay, đồng thời góp phần kiểm soát ứng xử động lực học và khả năng kháng chấn của công trình. Thực

tiễn quốc tế đã chỉ ra rằng hư hỏng hoặc sự cố tại gối có thể ảnh hưởng trực tiếp đến an toàn, tuổi thọ và tính liên tục vận hành của cầu đường sắt tốc độ cao [12-14].

Việc ban hành bộ tiêu chuẩn TCVN 13594 cho thiết kế cầu đường sắt khổ 1.435 mm tốc độ cao là bước tiến quan trọng trong quá trình hội nhập hệ thống tiêu chuẩn quốc tế, trong đó TCVN 13594-8:2023 quy định về gối cầu, khe co giãn và lan can [1]. Tuy nhiên, phạm vi áp dụng của tiêu chuẩn còn hạn chế, chưa tích hợp

yêu cầu kháng chấn, một số nội dung mới dừng ở mức khái quát định tính.

Trong khi đó, các tiêu chuẩn quốc tế như EN 1337 về gối cầu, EN 15129 về thiết bị kháng chấn và AASHTO LRFD 2024 đưa ra hệ thống quy định chi tiết, bao gồm phân loại cấu tạo, thông số định lượng, thử nghiệm mô phỏng và nguyên mẫu cũng như cơ chế bảo trì vòng đời [6-8]. Sự khác biệt này cho thấy cần tiến hành phân tích, so sánh để nhận diện khoảng trống kỹ thuật trong TCVN, từ đó đề xuất các khuyến nghị hoàn thiện, giúp cầu đường sắt tốc độ cao ở Việt Nam vừa đảm bảo an toàn kháng chấn, vừa đáp ứng yêu cầu khai thác bền vững lâu dài.

Do đó, mục tiêu của nghiên cứu này là so sánh, phân tích một cách hệ thống tiêu chuẩn TCVN 13594-8:2023 với các chuẩn quốc tế điển hình, từ đó chỉ ra những điểm tương đồng, khác biệt và các khoảng trống kỹ thuật. Trên cơ sở đó, bài báo đề xuất các khuyến nghị hoàn thiện tiêu chuẩn Việt Nam theo hướng bổ sung thông số định lượng, mở rộng yêu cầu thử nghiệm, thiết lập cơ chế bảo trì vòng đời và tích hợp nội dung kháng chấn.

2. TỔNG QUAN VỀ CÁC TIÊU CHUẨN GỐI CẦU QUỐC TẾ VÀ TRONG NƯỚC

Để đánh giá mức độ phù hợp của TCVN 13594-8:2023, cần đặt tiêu chuẩn này trong mối tương quan với các bộ tiêu chuẩn quốc tế đã được ứng dụng rộng rãi trong thiết kế cầu. Trong nghiên cứu này, ba hệ tiêu chuẩn chính được lựa chọn làm cơ sở so sánh gồm: EN 1337 (châu Âu), AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 10th Edition (Hoa Kỳ) và EN 15129:2009 (châu Âu) [6-8].

EN 1337 là bộ tiêu chuẩn châu Âu chuyên biệt về gối cầu, được chia thành 11 phần. Các phần từ EN 1337-2 đến EN 1337-8 lần lượt quy định về gối trượt, gối đàn hồi, gối con lăn, gối chậu, gối bản lề, gối PTFE, gối dẫn hướng, cùng với các phần khác về thử nghiệm và lắp đặt. Mỗi phần đều đưa ra yêu cầu chi tiết từ phân loại, thông số thiết kế đến thử nghiệm và bảo trì, hình thành một hệ thống toàn diện nhằm bảo đảm chất lượng gối cầu trong suốt vòng đời công trình [6].

AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 10th Edition (2024) là phiên bản mới nhất của tiêu chuẩn thiết kế cầu được áp dụng rộng rãi tại Hoa Kỳ [8]. Chương 14 tập trung vào gối cầu và khe co giãn, quy định các loại gối, kèm theo giới hạn biến dạng, hệ số ma sát, độ bền mỏi và yêu cầu bảo trì. Đặc biệt, tiêu chuẩn này tích hợp tác động động đất trong hệ thống tải trọng và điều kiện thiết kế, qua đó bảo đảm an toàn kháng chấn cho kết cấu cầu.

Bên cạnh đó, EN 15129 là tiêu chuẩn châu Âu cho thiết bị cách chấn và giảm chấn, đóng vai trò bổ sung cho EN 1337 [7], quy định yêu cầu chức năng, thiết kế, vật liệu và thử nghiệm, kiểm chứng khả năng tiêu tán năng lượng và tính phục hồi của kết cấu sau động đất.

Tại Việt Nam, TCVN 13594-8:2023 nằm trong bộ tiêu chuẩn TCVN 13594 về thiết kế cầu đường sắt khổ 1.435 mm tốc độ cao. Bộ tiêu chuẩn này tham khảo có chọn lọc từ EN (Eurocode, EN 1337, EN 15129), AASHTO LRFD 2024 và một số quy định của Nhật Bản, đồng thời liên kết với TCVN 9386:2012 về động đất. Phần 8 tập trung vào gối cầu, khe co giãn và lan can, đưa ra yêu cầu phân loại, thông số thiết kế cơ bản, thử nghiệm và nghiệm thu. Tuy nhiên, TCVN 13594-8 chỉ đóng vai trò khung định hướng, còn thiếu các quy định chi tiết và chưa tích hợp các nội dung kháng chấn.

3. PHÂN TÍCH SO SÁNH TIÊU CHUẨN TCVN 13594-8:2023 VỚI QUỐC TẾ

3.1. Phân loại và định nghĩa

Hệ thống phân loại gối cầu trong các tiêu chuẩn quốc tế được

xây dựng một cách chi tiết, dựa trên nguyên lý cấu tạo và chức năng. EN 1337 định nghĩa rõ ràng từng loại gối cơ bản như gối đàn hồi, gối trượt, gối chậu, gối cầu PTFE và gối con lăn, mỗi loại lại có một phần riêng (EN 1337-2 đến EN 1337-8) quy định chi tiết yêu cầu thiết kế, chế tạo và thử nghiệm [6]. Các nghiên cứu thực nghiệm và phân tích gần đây cũng chỉ ra rằng phân loại rõ ràng này giúp đánh giá tốt hơn sự làm việc của từng loại gối trong điều kiện tải trọng và ma sát khác nhau [12, 14].

AASHTO LRFD 2024 đưa ra hệ thống phân loại tương tự, bao gồm gối đàn hồi, gối chậu, gối đĩa, gối cầu và gối trượt, đồng thời quy định cụ thể giới hạn tải trọng, biến dạng, ma sát và tuổi thọ [8]. Đặc biệt, tiêu chuẩn này lồng ghép luôn tác động động đất trong hệ thống tải trọng, khiến việc lựa chọn gối gắn liền với khả năng đáp ứng điều kiện khai thác đặc thù [13, 15]. Kinh nghiệm ứng dụng ở Mỹ cũng cho thấy việc chuẩn hóa này giúp gối cầu duy trì độ tin cậy cao trong suốt vòng đời công trình [16]. EN 15129 đóng vai trò bổ sung cho EN 1337, quy định các thiết bị cách chấn và giảm chấn nhằm nâng cao khả năng tiêu tán năng lượng, được xem là giải pháp đặc biệt quan trọng đối với các công trình tại vùng động đất [7]. Các nghiên cứu gần đây chứng minh rằng các thiết bị này có khả năng kéo dài tuổi thọ gối và giảm rủi ro hư hỏng trong quá trình khai thác [15].

TCVN 13594-8:2023 dừng ở mức phân loại khái quát, loại trừ các loại gối truyền mô-men, gối chịu nhỏ và thiết bị kháng chấn [1]. Các nghiên cứu trong nước cho thấy hệ thống gối hiện đang được áp dụng đa dạng hơn thực tế, bao gồm cả gối cao su bản thép, gối chậu và một số giải pháp kháng chấn [9-11]. Đặc biệt, Ngô Văn Thuyết (2018) đề xuất phương pháp thiết kế gối cách chấn đàn hồi cho công trình chịu động đất tại Việt Nam [9]. Điều này phản ánh hệ phân loại trong TCVN 13594-8:2023 chưa bao quát hết các loại gối hiện đại cũng như chưa tích hợp yêu cầu kháng chấn.

3.2. Thông số thiết kế

Trong các tiêu chuẩn quốc tế, thông số thiết kế gối cầu được quy định cụ thể và mang tính định lượng nhằm bảo đảm khả năng làm việc an toàn và bền vững. Ví dụ, EN 1337-3 yêu cầu gối đàn hồi phải cho phép quay tối thiểu 0,02 rad, chuyển vị ngang ± 50 mm và biến dạng nén không vượt quá 15% chiều dày cao su, trong khi EN 1337-2 giới hạn hệ số ma sát tĩnh của PTFE không vượt quá 0,03 dưới tải trọng thiết kế [6]. Những trị số này tạo cơ sở chắc chắn cho việc thiết kế, lựa chọn và kiểm chứng trong khai thác cầu tốc độ cao. AASHTO LRFD 2024 cũng đưa ra hệ thống thông số định lượng cho từng loại gối như giới hạn biến dạng đối với gối đàn hồi, hệ số ma sát cho bề mặt trượt, giới hạn tải trọng cho gối chậu và gối PTFE. Đặc biệt, tiêu chuẩn này tích hợp tác động động đất vào điều kiện thiết kế gối, coi là yêu cầu bắt buộc nhằm bảo đảm an toàn kháng chấn [8].

Các nghiên cứu quốc tế gần đây bổ sung thêm bằng chứng cho sự cần thiết đưa ra trị số định lượng. Adamov và cộng sự (2022) cho thấy sự phân bố lớp ma sát ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu suất của gối cầu cầu thép [12]. Misra, Ghosh và Bhattacharjya (2024) đánh giá tuổi thọ mỏi của gối Pot-PTFE trong cầu đường sắt, chỉ ra rằng giới hạn mỏi cần được tích hợp trong thiết kế tiêu chuẩn [13]. Nosov và Kamenskikh (2022) cũng chứng minh việc bố trí rãnh bôi trơn ảnh hưởng đáng kể đến khả năng làm việc của gối [14]. Ngoài ra, Wei và cộng sự (2024) đã phát triển mô hình dự báo tuổi thọ dựa trên dữ liệu giám sát thực tế, cho thấy tính cần thiết của việc gắn thiết kế với cơ chế giám sát dài hạn [15]. Waqas, Su và Nagayama (2024) bổ sung thêm bằng chứng về ảnh hưởng của sự cố trượt gối đến toàn bộ kết cấu, nhấn mạnh vai trò kiểm soát thông số ma sát và biến dạng [16].

Tuy nhiên, TCVN 13594-8:2023 mới dừng ở mức định tính. Ví dụ, Mục 5.2 chỉ nêu gổ “phải đảm bảo khả năng chuyển vị và khả năng quay phù hợp với yêu cầu thiết kế”, Mục 6.3 yêu cầu bề mặt trượt “có hệ số ma sát nhỏ” nhưng không đưa ra trị số cụ thể [1]. Cách tiếp cận này khiến quá trình thiết kế thiếu sự thống nhất, buộc kỹ sư phải tham chiếu tiêu chuẩn nước ngoài hoặc dựa trên thông số của nhà sản xuất. Do đó, TCVN 13594-8:2023 chưa gắn với yêu cầu kháng chấn, việc xác định trị số giới hạn về ma sát, biến dạng và mỏi không chỉ cần thiết cho thiết kế ban đầu mà còn quyết định tuổi thọ và độ tin cậy của gổ cầu trong suốt vòng đời khai thác.

3.3. Kiểm tra và thử nghiệm

Các tiêu chuẩn quốc tế đã xây dựng hệ thống kiểm tra và thử nghiệm gổ cầu, nhằm đánh giá không chỉ khả năng chịu tải tĩnh mà còn cả độ bền dưới tác động động lực học. EN 1337-5 yêu cầu gổ chậu phải được thử tải cực hạn và biến dạng dư dưới chu kỳ lặp để đánh giá khả năng bền mỏi, trong khi EN 1337-7 quy định thử tải lặp cho gổ cầu PTFE để kiểm chứng khả năng duy trì đặc tính cơ học sau nhiều chu kỳ tải [6]. Các phần khác của EN 1337 như EN 1337-2 và EN 1337-3 cũng quy định riêng cho gổ trượt và gổ đàn hồi, nhằm đảm bảo từng loại gổ được kiểm chứng phù hợp với đặc trưng cấu tạo. Đối với thiết bị kháng chấn, EN 15129 quy định thử nghiệm nguyên mẫu (prototype tests) dưới lịch sử tải động đất tương ứng, nhằm đánh giá khả năng tiêu tán năng lượng và phục hồi sau chấn động [7]. Tương tự, AASHTO LRFD 2024 và AASHTO Guide Specifications for Seismic Isolation Design (2014) đều yêu cầu bắt buộc thử nghiệm cho thiết bị cách chấn, phản ánh tầm quan trọng của kiểm chứng thực nghiệm đối với an toàn kháng chấn [8].

Adamov và cộng sự (2022) cho thấy sự bố trí lớp ma sát ảnh hưởng đến hiệu quả chịu tải của gổ cầu cầu thép [12]. Misra, Ghosh và Bhattacharjya (2024) chỉ ra rằng tuổi thọ mỏi của gổ pot-PTFE cần được kiểm chứng qua thử nghiệm lặp [13]. Nosov và Kamenskikh (2022) khẳng định cấu tạo rãnh bôi trơn quyết định đáng kể đến khả năng làm việc ổn định lâu dài [14]. Wei và cộng sự (2024) phát triển mô hình dự báo tuổi thọ dựa trên dữ liệu giám sát nhiều loại thử nghiệm khác nhau [15], trong khi Waqas, Su và Nagayama (2024) cho thấy sự cố trượt gổ có thể lan truyền thành rủi ro kết cấu nếu không được phát hiện sớm qua kiểm tra định kỳ [16].

TCVN 13594-8:2023 mới chỉ quy định yêu cầu thử nghiệm cơ bản như kiểm tra khả năng chịu tải cực hạn, khả năng quay và dịch chuyển [1], chưa có điều khoản cụ thể về thử nghiệm mỏi, thử nghiệm chu kỳ lặp hay thử nghiệm nguyên mẫu cho gổ cầu. Thực tế, một số nghiên cứu trong nước cũng đã nhấn mạnh đến nhu cầu tăng cường thử nghiệm. Ngô Văn Thuyết (2018) đề xuất thử nghiệm gổ cách chấn đàn hồi để đánh giá khả năng chịu tải động đất [9], trong khi các công trình gần đây về gổ kháng chấn cho thấy xu hướng tích hợp kiểm chứng mỏi và nguyên mẫu là không thể thiếu [11]. Như vậy, TCVN 13594-8:2023 chưa đáp ứng được yêu cầu khắt khe về độ tin cậy dài hạn và an toàn kháng chấn cho gổ cầu đường sắt tốc độ cao.

3.4. Bảo trì và vòng đời

Trong thiết kế cầu hiện đại, quản lý vòng đời gổ cầu được coi là yếu tố quyết định đến độ tin cậy khai thác, đặc biệt đối với cầu đường sắt tốc độ cao - yêu cầu an toàn và tính liên tục vận hành ở mức cao nhất [11]. Các tiêu chuẩn quốc tế đã thiết lập hệ thống bảo trì chặt chẽ. EN 1337-2 và EN 1337-5 quy định gổ cầu phải được kiểm tra định kỳ, bao gồm quan sát biến dạng, phát hiện vết nứt, trượt và hiện tượng ăn mòn; đồng thời yêu cầu thay thế khi thông số vượt quá giới hạn [6]. EN 15129 còn bổ sung quy định về kiểm định thiết bị cách chấn sau mỗi trận động đất nhằm xác nhận khả

năng tiêu tán năng lượng vẫn duy trì [7]. AASHTO LRFD 2024 yêu cầu lập kế hoạch bảo trì định kỳ và theo dõi biến dạng gổ trong quá trình khai thác; các khuyến nghị của FHWA còn nhấn mạnh kiểm tra đặc biệt sau động đất hoặc khi cầu khai thác lâu dài dưới tải trọng động lớn [8].

TCVN 13594-8:2023 đang dừng ở yêu cầu kiểm tra nghiệm thu ban đầu, chưa đưa ra chu kỳ kiểm tra định kỳ cũng như chưa có yêu cầu kiểm định sau động đất [1]. Điều này cho thấy khoảng trống lớn trong quản lý vòng đời gổ cầu tại Việt Nam. Các nghiên cứu trong nước cũng đã cảnh báo: Nguyễn Thị Tuyết Trinh (2016) nhấn mạnh rằng ăn mòn thép tại gổ nếu không được giám sát và bảo trì kịp thời sẽ làm suy giảm đáng kể tuổi thọ [10], trong khi các phân tích gần đây về xu hướng gổ cầu kháng chấn đã khẳng định nhu cầu thiết lập quy trình kiểm định định kỳ cho cầu tốc độ cao [11]. Bên cạnh đó, Wei và cộng sự (2024) đã phát triển mô hình dự báo tuổi thọ gổ dựa trên dữ liệu quan trắc đa dạng, cho thấy việc tích hợp giám sát vòng đời vào thiết kế và bảo trì là cần thiết [15]. Waqas, Su và Nagayama (2024) chỉ ra rằng sự cố trượt gổ có thể lan truyền thành rủi ro toàn kết cấu nếu không có cơ chế kiểm tra định kỳ và phát hiện sớm [16].

4. KHUYẾN NGHỊ HOÀN THIỆN TIÊU CHUẨN GỔ CẦU VIỆT NAM

Phân tích so sánh cho thấy TCVN 13594-8:2023 còn những khoảng trống, khuyến nghị chính để hoàn thiện bao gồm:

1) Hoàn thiện phân loại và định nghĩa

Cần bổ sung hệ thống phân loại chi tiết theo nguyên lý cấu tạo (gổ chậu, gổ đàn hồi, gổ trượt, gổ cầu PTFE, gổ con lăn), thay vì chỉ dừng ở gổ đàn hồi và gổ trượt như hiện nay. Đồng thời, nên xem xét đưa gổ cách chấn vào phạm vi áp dụng, tham chiếu EN 15129 và AASHTO Guide Specifications for Seismic Isolation Design.

2) Bổ sung thông số thiết kế mang tính định lượng

Cần quy định các giá trị giới hạn về khả năng quay, chuyển vị ngang, hệ số ma sát và độ bền nén. Các thông số này cần dựa trên thử nghiệm tiêu chuẩn. Ngoài ra, cần tích hợp yêu cầu kháng chấn như trong AASHTO LRFD 2024 và liên kết với TCVN 9386 về thiết kế công trình chịu động đất.

3) Nâng cao yêu cầu kiểm tra và thử nghiệm

Bổ sung các thử nghiệm mỏi, thử nghiệm lặp chu kỳ và thử nghiệm nguyên mẫu, đặc biệt đối với gổ cách chấn, tham chiếu EN 1337-5, EN 1337-7 và EN 15129, Điều 7.3. Các nghiên cứu quốc tế gần đây cũng đã chứng minh sự cần thiết của thử nghiệm này để đảm bảo tuổi thọ gổ.

4) Thiết lập cơ chế bảo trì và quản lý vòng đời

Cần bổ sung quy định về chu kỳ kiểm tra định kỳ, quan trắc biến dạng trong khai thác và kiểm định bắt buộc sau động đất, tương tự EN 15129 và AASHTO LRFD 2024. Các nghiên cứu trong và ngoài nước đã nhấn mạnh tầm quan trọng của bảo trì.

5) Đồng bộ hóa hệ thống tiêu chuẩn

Cần tích hợp TCVN 13594-8:2023 với các tiêu chuẩn liên quan trong cùng bộ, đặc biệt là TCVN 13594-10:2023 (tác động động đất) và TCVN 9386:2012 (thiết kế công trình chịu động đất), để xây dựng một hệ khung thống nhất cho thiết kế cầu đường sắt tốc độ cao.

Việc cập nhật và hoàn thiện TCVN 13594-8:2023 theo các hướng trên sẽ giúp tiêu chuẩn Việt Nam tiệm cận với chuẩn mực quốc tế, đáp ứng yêu cầu khai thác lâu dài, đồng thời bảo đảm an toàn và khả năng kháng chấn của hệ thống cầu đường sắt tốc độ cao tại Việt Nam.

4. KẾT LUẬN

Sự phát triển đường sắt tốc độ cao ở Việt Nam đòi hỏi các quy

chuẩn thiết kế cầu phải đạt mức độ chi tiết và đồng bộ tương đương quốc tế, đặc biệt đối với gối cầu - bộ phận giữ vai trò truyền tải trọng, cho phép chuyển vị và bảo đảm an toàn kháng chấn. Phân tích so sánh giữa TCVN 13594-8:2023 với EN 1337, EN 15129 và AASHTO LRFD 2024 cho thấy tiêu chuẩn Việt Nam đã tạo được khung định hướng ban đầu, nhưng còn tồn tại những hạn chế đáng kể. Các khoảng trống chính gồm: (i) Hệ phân loại gối cầu đầy đủ, (ii) thiếu thông số thiết kế định lượng, (iii) yêu cầu thử nghiệm còn ở mức cơ bản, (iv) chưa có cơ chế bảo trì vòng đời và (v) chưa tích hợp nội dung kháng chấn. So với các tiêu chuẩn quốc tế, TCVN 13594-8:2023 hiện mới dừng lại ở mức tổng quát, chưa đủ cơ sở cho thiết kế cầu đường sắt tốc độ cao trong điều kiện có nguy cơ động đất.

Trên cơ sở đó, bài báo kiến nghị: Bổ sung phân loại chi tiết theo cấu tạo, quy định thông số định lượng cụ thể, đưa vào thử nghiệm môi và nguyên mẫu, quy định bảo trì định kỳ và kiểm định sau động đất, đồng thời đồng bộ hóa với TCVN 13594-10:2023 và TCVN 9386:2012. Những cập nhật này không chỉ giúp tiêu chuẩn Việt Nam tiệm cận chuẩn mực quốc tế, mà còn tạo nền tảng khoa học - kỹ thuật vững chắc cho việc thiết kế và khai thác an toàn, bền vững các cầu đường sắt tốc độ cao.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. TCVN 13594-8:2023, Gối cầu - Phần 8: Yêu cầu thiết kế, Bộ Khoa học và Công nghệ, Hà Nội.
- [2]. TCVN 11823-1:2017, Cầu đường sắt - Thiết kế - Phần 1: Quy định chung, Bộ Khoa học và Công nghệ, Hà Nội.
- [3]. TCVN 2737:2021, Tải trọng và tác động - Tiêu chuẩn thiết kế, Bộ Khoa học và Công nghệ, Hà Nội.
- [4]. TCVN 5574:2018, Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế, Bộ Khoa học và Công nghệ, Hà Nội.
- [5]. TCVN 9386:2012, Thiết kế công trình chịu động đất - Nguyên tắc cơ bản, Bộ Khoa học và Công nghệ, Hà Nội.
- [6]. EN 1337:2004, Structural Bearings - Parts 1-11, European Committee for Standardization (CEN), Brussels.
- [7]. EN 15129:2009, Anti-seismic Devices, European Committee for Standardization (CEN), Brussels.
- [8]. AASHTO, LRFD Bridge Design Specifications, 10th Edition, 2024 American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D.C.
- [9]. Ngô Văn Thuyết (2018), Phương pháp thiết kế kích thước gối cách chấn đàn hồi sử dụng cho công trình dân dụng chịu động đất ở Việt Nam, Tạp chí Khoa học và Công nghệ Xây dựng, số 3, tr.32-37.
- [10]. Nguyễn Thị Tuyết Trinh (2016), Nghiên cứu đánh giá và các giải pháp chống ăn mòn tiên tiến cho gối thép của công trình cầu ở Việt Nam, Tạp chí Giao thông vận tải, số 4, tr.45-52.
- [11]. Tạp chí Xây dựng (2025), Xu hướng phát triển và ứng dụng gối cầu chống động đất tại Việt Nam, số 6, tr.28-34.
- [12]. A. A. Adamov, A. A. Kamenskikh, A. P. Pankova, V. I. Strukova (2022), Comparative analysis of the work of bridge spherical bearing at different antifriction layer locations, Lubricants, 10(9), 207, [https://doi.org/10.3390/lubricants10090207] (https://doi.org/10.3390/lubricants10090207).
- [13]. K. C. Misra, S. Ghosh, S. Bhattacharjya (2024), Fatigue life assessment of a steel railway bridge with pot-PTFE bearing, Practice Periodical on Structural Design and Construction, 29(1), 05023006, [https://doi.org/10.1061/PPSCFX.SCENG-1299] (https://doi.org/10.1061/PPSCFX.SCENG-1299).
- [14]. Y. O. Nosov, A. A. Kamenskikh (2022), Influence analysis of lubricant recesses on the working capacity of the bridge span spherical bearing, Lubricants, 11, 283, [https://doi.org/10.3390/lubricants10110283] (https://doi.org/10.3390/lubricants10110283).
- [15]. Y.-T. Wei, T.-H. Yi, D.-H. Yang, C. Li, Q. Han (2024), Wear life prediction of sliding bearings based on multitype monitoring data of bridges, Journal of Bridge Engineering,

29(1), 04023102, [https://doi.org/10.1061/JBENF2.BEENG-6256] (https://doi.org/10.1061/JBENF2.BEENG-6256).

[16]. H. A. Waqas, D. Su, T. Nagayama (2024), Identification of sliding plate bridge bearing malfunction and its effects on bridge structure under service conditions, Journal of Civil Structural Health Monitoring, 14(4), 947-961, [https://doi.org/10.1007/s13349-024-00764-2] (https://doi.org/10.1007/s13349-024-00764-2).

Thiết kế điều khiển ổn định lệch hướng cho ô tô điện sử dụng mô hình động học logic hỗn hợp kết hợp với điều khiển dự báo mô hình

Design of yaw stability control for electric vehicles using a mixed logical dynamical model combined with model predictive control

> **THS ĐỖ THÁI GIANG***, **THS PHẠM THANH TÙNG**

Viện Thiết kế tàu quân sự, Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng

*Email: giangvt6666@gmail.com

TÓM TẮT

Bài báo trình bày một phương pháp điều khiển dự báo mô hình (MPC) nhằm ổn định lệch hướng cho ô tô điện. Hệ thống động lực học của ô tô điện là một hệ phi tuyến mạnh, phức tạp và không ổn định, đồng thời còn chịu sự ràng buộc về trạng thái và đầu vào điều khiển. Điều này dẫn đến gánh nặng tính toán lớn cho mô hình MPC truyền thống. Để giải quyết vấn đề này, bài báo giới thiệu mô hình MLD, trong đó các đặc tính phi tuyến của lực tác động lên bánh xe được xấp xỉ bằng các hàm tuyến tính từng đoạn, từ đó xây dựng mô hình động lực học của xe dưới dạng MLD kiểu mẫu, tiếp theo mô hình hệ thống 4 bánh xe sẽ được đơn giản hóa thành mô hình 2 bánh xe. Trên cơ sở đó, một bộ điều khiển MPC được thiết kế để vừa bảo đảm tính ổn định của hệ thống, vừa tối ưu hóa khả năng bám tín hiệu đặt. Các kết quả mô phỏng được thực hiện bằng ngôn ngữ lập trình HYSDEL và Matlab/Simulink cho thấy phương pháp điều khiển được đề xuất có khả năng bám tín hiệu đặt một cách nhanh chóng, ổn định và hiệu quả.

Từ khóa: Điều khiển dự báo mô hình; điều khiển ổn định lệch hướng ô tô điện; mô hình động học logic hỗn hợp.

ABSTRACT

This paper presents a model predictive control (MPC) method for yaw stability of electric vehicles. The dynamic system of an electric vehicle is strongly nonlinear, complex and unstable, while also being subject to state and input constraints. This leads to a significant computational burden for conventional MPC models. To address this issue, the paper introduces an MLD model, in which the nonlinear characteristics of the tire forces are approximated by piecewise linear functions, thereby formulating the vehicle dynamics in the form of a prototype MLD model. Subsequently, the four-wheel vehicle system model is simplified into a two-wheel model. On this basis, an MPC controller is designed to ensure both system stability and optimal reference tracking performance. Simulation results carried out using HYSDEL and Matlab/Simulink demonstrate that the proposed control method achieves fast, stable and effective reference tracking.

Keywords: Model predictive control; yaw stability control of electric vehicles; mixed logical dynamical model.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hệ thống động lực học của ô tô điện là một hệ phi tuyến mạnh, phức tạp và không ổn định, đồng thời còn chịu sự ràng buộc về trạng thái, đầu vào điều khiển dẫn đến bài toán điều khiển có tính phức tạp cao.

Trong những năm gần đây, có nhiều nghiên cứu đã khai thác MPC phi tuyến để điều khiển hệ thống động lực học của ô tô điện như trong [4, 5]. Tuy nhiên, việc giải các bài toán tối ưu phi tuyến thường rất khó khăn và đòi hỏi khối lượng tính toán trực tuyến lớn có thể dẫn đến sai số nhiều trong các ứng dụng thực tế.

Trong bài báo này, một bộ điều khiển MPC dựa trên mô hình MLD [3] được đề xuất nhằm nâng cao tính ổn định lệch hướng của xe và giảm thiểu khối lượng tính toán trực tuyến. Đầu tiên, đặc tính phi tuyến của lực tác dụng lên bánh xe sẽ được tuyến tính hóa xấp xỉ bằng các hàm tuyến tính từng đoạn, từ đó xây dựng mô hình động lực học của xe dưới dạng MLD, kế tiếp mô hình hệ thống 4 bánh xe được đơn giản hóa thành mô hình hệ thống 2 bánh xe. Cuối cùng, bằng cách xây dựng và tối ưu hóa hàm mục tiêu thông qua phương pháp quy hoạch tuyến tính số nguyên hỗn hợp (MILP), kết quả mô phỏng thu được thông qua ngôn ngữ HYSDEL và Matlab/Simulink.

2. MÔ HÌNH ĐỘNG LỰC HỌC CỦA XE

Để thuận tiện cho việc thiết kế bộ điều khiển, ta xem xét mô hình Bicycle (Bicycle model) dùng trong điều khiển xe, để đơn giản hóa hệ thống mô hình 4 bánh xe thành hệ thống mô hình 2 bánh xe, với giả thiết rằng khối lượng xe được phân bố đều trên các bánh, sự thay đổi tải trọng do dao động dọc bị bỏ qua, góc trượt ngang của bánh trước và bánh sau là nhỏ.

2.1. Mô hình lực tác dụng lên bánh xe

Khi xe có xu hướng mất ổn định, ví dụ như xảy ra hiện tượng trượt ngang, các lực tác dụng lên bánh xe thường đạt đến giới hạn bám và điều này thể hiện rõ đặc tính phi tuyến. Do đó, mô hình lực tác dụng lên bánh xe được xây dựng như sau:

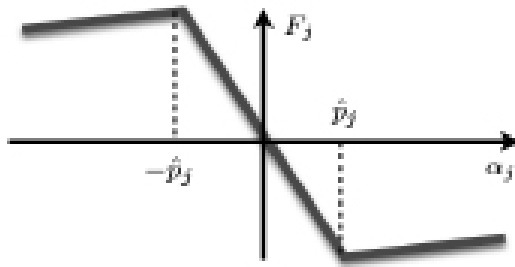
$$F_j = -D_j \sin(C_j \arctan(B_j \alpha_j - E_j(B_j \alpha_j - \arctan B_j \alpha_j))) \quad (1)$$

Trong đó:

F_j - Lực tác dụng lên bánh xe (N);

B_j, C_j, D_j, E_j - Các tham số của mô hình;

α_j - Góc trượt ngang của bánh xe (rad).



Hình 1. Đặc tính lực tác dụng lên bánh xe

Khi đó, đặc tính phi tuyến của lực tác dụng lên bánh xe sẽ được tuyến tính hóa xấp xỉ bằng các hàm tuyến tính từng đoạn như sau:

$$F_{l(at)} \approx \begin{cases} -c_l \alpha_l & \text{khi } -\hat{p}_l \leq \alpha_l \leq \hat{p}_l \\ -(d_l \alpha_l + e_l) & \text{khi } \alpha_l > \hat{p}_l \end{cases} \quad (2)$$

$$F_{s(as)} \approx \begin{cases} -c_s \alpha_s & \text{khi } -\hat{p}_s \leq \alpha_s \leq \hat{p}_s \\ -(d_s \alpha_s + e_s) & \text{khi } \alpha_s > \hat{p}_s \end{cases} \quad (3)$$

Trong đó:

F_l, F_s - Lần lượt là lực tác dụng lên bánh xe trước và bánh xe sau;

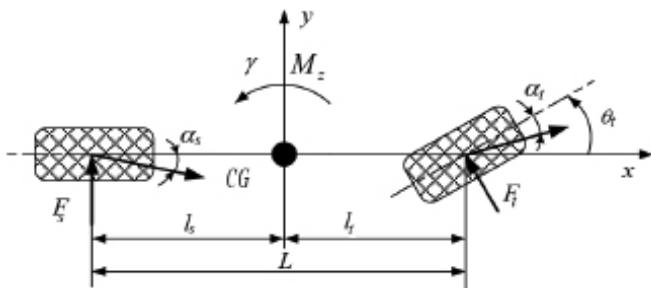
α_l, α_s - Lần lượt là góc trượt ngang bánh xe trước và bánh sau;

$c_l, d_l, e_l, c_s, d_s, e_s$ - Các tham số của mô hình;

$\hat{p}_l, \hat{p}_s$ - Các giá trị ngưỡng tại đó động lực học chuyển chế độ.

2.2. Mô hình Bicycle

Mô hình Bicycle là một mô hình đơn giản hóa hệ thống 4 bánh xe thành hệ thống 2 bánh xe, chỉ xét đến chuyển động dọc và chuyển động ngang của xe, như minh họa trong Hình 2.



Hình 2. Mô hình Bicycle

Giả sử vận tốc dọc v_x là hằng số thì phương trình động lực học của xe được biểu diễn như sau:

$$\begin{aligned} \dot{\alpha}_l &= \frac{F_l + F_s}{mv_x} - \frac{v_x(\alpha_l - \alpha_s + \theta_l)}{l_l + l_s} + \frac{l_l(l_l F_l - l_s F_s + M_z)}{v_x l_z} \\ \dot{\alpha}_s &= \frac{F_l + F_s}{mv_x} - \frac{v_x(\alpha_l - \alpha_s + \theta_l)}{l_l + l_s} - \frac{l_s(l_l F_l - l_s F_s + M_z)}{v_x l_z} \\ \dot{\gamma} &= \frac{v_x(\alpha_l - \alpha_s + \theta_l)}{l_l + l_s} \end{aligned} \quad (4)$$

Trong đó:

m - Khối lượng của xe (Kg);

γ - Tốc độ ổn định lệch hướng của xe (rad/s);

l_l, l_s - Các khoảng cách từ trọng tâm (CG) đến trục bánh trước và trục bánh sau (m);

M_z - Mô-men quay quanh trục của xe (N.m);

I_z - Mô-men quán tính quay quanh trục của xe (N.m²);

θ_l - Góc đánh lái bánh trước của xe.

Đặt $x = [\alpha_l, \alpha_s]^T, u = [\theta_l, M_z]^T$ và $y = \gamma$ là biến trạng thái, đầu vào điều khiển và đầu ra của hệ thống. Khi đó, mô hình động lực học của xe được biểu diễn như sau:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= \frac{F_l + F_s}{mv_x} - \frac{v_x(x_1 - x_2 + u_1)}{l_l + l_s} + \frac{l_l(l_l F_l - l_s F_s + u_2)}{v_x I_z} \\ \dot{x}_2 &= \frac{F_l + F_s}{mv_x} - \frac{v_x(x_1 - x_2 + u_1)}{l_l + l_s} - \frac{l_s(l_l F_l - l_s F_s + u_2)}{v_x I_z} \\ y &= \frac{v_x(x_1 - x_2 + u_1)}{l_l + l_s} \end{aligned} \quad (5)$$

3. MÔ HÌNH MLD CỦA XE

Trong thực tế, vì các lực tác dụng lên bánh xe thường đạt đến giới hạn bám và điều này dẫn đến phi tuyến cho hệ thống. Do đó, mô hình lực tác dụng lên bánh xe được xây dựng sang mô hình tuyến tính khi α_l, α_s thay đổi trong phạm vi rất nhỏ. Ở đây, ta chọn $\alpha_l = -0,115; -0,05; 0,05; 0,115$ rad và $\alpha_s = -0,108; -0,042; 0,042; 0,108$ rad làm điểm hoạt động và các lực tác dụng lên bánh xe khi vận tốc dọc $v_x = 20$ m/s [4], khi đó (2) và (3) có thể được chuyển đổi thành mô hình tuyến tính từng đoạn như sau:

$$F_l \approx \begin{cases} 3430x_1 + 8835 & \text{khi } x_1 < -0,115 \\ -31080x_1 + 4880 & \text{khi } -0,115 \leq x_1 < -0,05 \\ -65215x_1 & \text{khi } -0,05 \leq x_1 \leq 0,05 \\ -31080x_1 - 4880 & \text{khi } 0,05 < x_1 \leq 0,115 \\ 3430x_1 - 8835 & \text{khi } x_1 > 0,115 \end{cases} \quad (6)$$

$$F_s \approx \begin{cases} 3430x_2 + 6460 & \text{khi } x_2 < -0,108 \\ -23275x_2 + 3710 & \text{khi } -0,108 \leq x_2 < -0,042 \\ -52580x_2 & \text{khi } -0,042 \leq x_2 \leq 0,042 \\ -23275x_2 - 3710 & \text{khi } 0,042 < x_2 \leq 0,108 \\ 2375x_2 - 6460 & \text{khi } x_2 > 0,108 \end{cases} \quad (7)$$

Để thiết lập mô hình MLD cho hệ thống đầu tiên, ta giới thiệu các biến logic phụ $\delta_i(k) \in \{0, 1\}, i = 1, \dots, 8$ để mô tả các ràng buộc như sau:

$$F_l \approx \begin{cases} 3430x_1 + 6460 & \text{khi } x_2 < -0,108 \\ -23275x_2 + 3710 & \text{khi } -0,108 \leq x_2 < -0,042 \\ -52580x_2 & \text{khi } -0,042 \leq x_2 \leq 0,042 \\ -23275x_2 - 3710 & \text{khi } 0,042 < x_2 \leq 0,108 \\ 2375x_2 - 6460 & \text{khi } x_2 > 0,108 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} [\delta_1(k) = 1] &\Leftrightarrow [x_1 \leq -0,115] \\ [\delta_2(k) = 1] &\Leftrightarrow [x_1 \leq -0,05] \\ [\delta_3(k) = 1] &\Leftrightarrow [x_1 \leq 0,05] \\ [\delta_4(k) = 1] &\Leftrightarrow [x_1 \leq 0,115] \\ [\delta_5(k) = 1] &\Leftrightarrow [x_2 \leq -0,108] \\ [\delta_6(k) = 1] &\Leftrightarrow [x_2 \leq -0,042] \\ [\delta_7(k) = 1] &\Leftrightarrow [x_2 \leq 0,042] \\ [\delta_8(k) = 1] &\Leftrightarrow [x_2 \leq 0,108] \end{aligned} \quad (8)$$

Tiếp theo các biến liên tục phụ được giới thiệu là z_i với $i = \{1, 2, \dots, 5\}$ thể hiện cho các lực tác dụng lên bánh xe trước trong trường hợp sau:

Trường hợp 1: Khi $x_1 \leq -0,115$ thì $[\delta_1(k) = 1]$, khi đó lực tác dụng lên bánh xe trước là:

$$z_1(k) = 3430x_1(k) + 8835 \quad (9)$$

Trường hợp 2: Khi $-0,115 < x_1 \leq -0,05$ thì $[\delta_1(k)=0] \& [\delta_2(k)=1]$, khi đó lực tác dụng lên bánh xe trước là:

$$z_2(k) = -31080x_1(k) + 4880 \quad (10)$$

Trường hợp 3: Khi $-0,05 < x_1 \leq 0,05$ thì $[\delta_2(k)=0] \& [\delta_3(k)=1]$, khi đó lực tác dụng lên bánh xe trước là:

$$z_3(k) = -65215x_1(k) \quad (11)$$

Trường hợp 4: Khi $0,05 < x_1 \leq 0,115$ thì $[\delta_3(k)=0] \& [\delta_4(k)=1]$, khi đó lực tác dụng lên bánh xe trước là:

$$z_4(k) = -31080x_1(k) - 4880 \quad (12)$$

Trường hợp 5: Khi $x_1 > 0,115$ thì $[\delta_4(k)=0]$, khi đó lực tác dụng lên bánh xe trước là:

$$z_5(k) = 3430x_1(k) - 8835 \quad (13)$$

Tương tự với các biến liên tục phụ được giới thiệu z_s với $s = \{6, \dots, 10\}$ là lực tác dụng lên bánh xe sau được biểu diễn như sau:

$$\begin{aligned} z_6(k) &= 2375x_2(k) + 6460 \\ z_7(k) &= -23275x_2(k) + 3710 \\ z_8(k) &= -52580x_2(k) \\ z_9(k) &= -23275x_2(k) - 3710 \\ z_{10}(k) &= 2375x_2(k) - 6460 \end{aligned} \quad (14)$$

Mà theo Euler có thể thay thế $\dot{x}_i$ bằng $x_i(k+1) - x_i(k)/T_s$ với $T_s = 0,075s$ là thời gian lấy mẫu, khi đó hệ phương trình (5) được rời rạc hóa thành:

$$\begin{aligned} x_1(k+1) &= \left[\frac{F_1 + F_2}{mv_x} - \frac{v_x(x_1(k) - x_2(k) + u_1(k))}{l_1 + l_2} + \frac{l_1(l_1 F_1 - l_2 F_2 + u_2(k))}{v_x l_z} \right] T_s + x_1(k) \\ x_2(k+1) &= \left[\frac{F_1 + F_2}{mv_x} - \frac{v_x(x_1(k) - x_2(k) + u_1(k))}{l_1 + l_2} - \frac{l_2(l_1 F_1 - l_2 F_2 + u_2(k))}{v_x l_z} \right] T_s + x_2(k) \\ y(k) &= \frac{v_x(x_1(k) - x_2(k) + u_1(k))}{l_1 + l_2} \end{aligned} \quad (15)$$

Như vậy, mô hình MLD của hệ thống được hình thành có thể được biểu diễn như sau:

$$\begin{aligned} x_1(k+1) &= \left[\frac{z_1(k) + z_2(k)}{mv_x} - \frac{v_x(x_1(k) - x_2(k) + u_1(k))}{l_1 + l_2} + \frac{l_1(l_1 z_1(k) - l_2 z_2(k) + u_2(k))}{v_x l_z} \right] T_s + x_1(k) \\ x_2(k+1) &= \left[\frac{z_1(k) + z_2(k)}{mv_x} - \frac{v_x(x_1(k) - x_2(k) + u_1(k))}{l_1 + l_2} - \frac{l_2(l_1 z_1(k) - l_2 z_2(k) + u_2(k))}{v_x l_z} \right] T_s + x_2(k) \\ y(k) &= \frac{v_x(x_1(k) - x_2(k) + u_1(k))}{l_1 + l_2} \end{aligned} \quad (16)$$

$$\text{Với: } z_i(k) = [z_1(k) \quad z_2(k) \quad z_3(k) \quad z_4(k) \quad z_5(k)]^T$$

$$z_s(k) = [z_6(k) \quad z_7(k) \quad z_8(k) \quad z_9(k) \quad z_{10}(k)]^T$$

Để đảm bảo xe duy trì trạng thái ổn định, các biến trạng thái, đầu vào điều khiển của hệ thống cần được giới hạn trong một khoảng nhất định. Do đó, các ràng buộc đối với biến trạng thái, đầu vào điều khiển có thể được mô tả như sau:

$$\begin{cases} -0,61 \leq x_1 \leq 0,61 \\ -0,523 \leq x_2 \leq 0,523 \\ -0,35 \leq u_1 \leq 0,35 \\ -1000 \leq u_2 \leq 1000 \end{cases} \quad (17)$$

4. ĐIỀU KHIỂN DỰ BÁO KẾT HỢP MÔ HÌNH MLD

Hiện nay, điều khiển dự báo mô hình đã được xây dựng kết hợp với mô hình MLD. Đối với dạng này, điều khiển dự báo được xác định bằng cách tối ưu hóa thời gian thực, trong đó các phương pháp quy hoạch số nguyên hỗn hợp được sử dụng [2]. Liên quan bài toán này, theo tiêu chuẩn tối ưu hóa, kết quả bài toán tối ưu hóa được giải bằng phương pháp quy hoạch tuyến tính số nguyên hỗn

hợp (MILP). Đối với một hệ thống được mô hình hóa ở dạng MLD (16) và một cửa sổ dự báo cho trước N, với trạng thái ban đầu x_0 , bài toán tối ưu mong muốn tối thiểu hóa hàm mục tiêu sau:

$$J = \sum_{i=0}^{N-1} \|y(k+i/k) - y_{eq}\|_{Q_y}^2 + \|u(k+i) - u_{eq}\|_{Q_u}^2 + \|x(k+i/k) - x_{eq}\|_{Q_x}^2 + \|z(k+i/k) - z_{eq}\|_{Q_z}^2 + \|\delta(k+i/k) - \delta_{eq}\|_{Q_\delta}^2 \quad (18)$$

Với:

$$x_{min} \leq x(k), x(k+1) \leq x_{max}, u_{min} \leq u(k), u(k+1) \leq u_{max}$$

$$\begin{cases} x(k+i+1/k) = Ax(k+i/k) + B_1 u(k+i) + B_2 \delta(k+i/k) + B_3 z(k+i/k) \\ y(k+i+1/k) = Cx(k+i/k) + D_1 u(k+i) + D_2 \delta(k+i/k) + D_3 z(k+i/k) \\ E_2 \delta(k+i/k) + E_3 z(k+i/k) \leq E_4 x(k+i/k) + E_5 u(k+i) + E_5 \\ x(k+N/k) = x_{eq} \\ x(k=0) = x_0 \end{cases}$$

Trong đó:

- Q_i - Các ma trận trọng số có kích thước phù hợp;
- A, B, C, D, E_i - Các ma trận có kích thước phù hợp;
- (x_{eq}, u_{eq}, y_{eq}) - Tương ứng là trạng thái cân bằng, đầu vào, đầu ra;
- (δ_{eq}, z_{eq}) - Hai biến logic phụ và liên tục phụ;
- $x_{min}, x_{max}, u_{min}, u_{max}$ - Tương ứng lần lượt là giới hạn biến trạng thái và đầu vào.

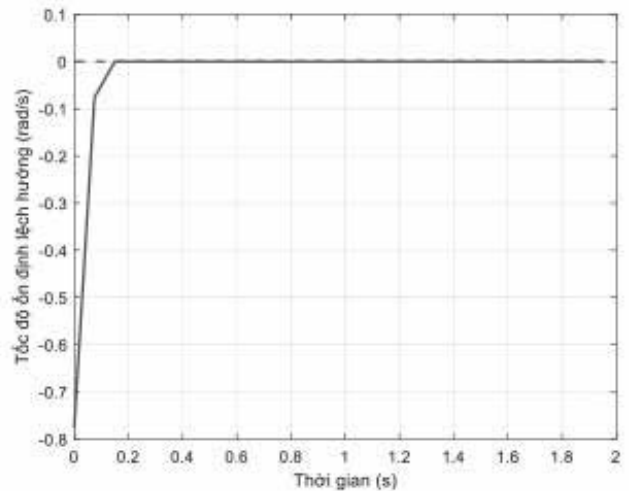
Hệ thống ổn định theo MPC khi:

$$\begin{aligned} \lim_{k \rightarrow \infty} x(k) &= x_{eq} \\ \lim_{k \rightarrow \infty} u(k) &= u_{eq} \\ \lim_{k \rightarrow \infty} \|\delta(k) - \delta_{eq}\|_{Q_\delta} &= 0 \\ \lim_{k \rightarrow \infty} \|z(k) - z_{eq}\|_{Q_z} &= 0 \\ \lim_{k \rightarrow \infty} \|y(k) - y_{eq}\|_{Q_y} &= 0 \end{aligned}$$

5. MÔ PHỎNG SỐ

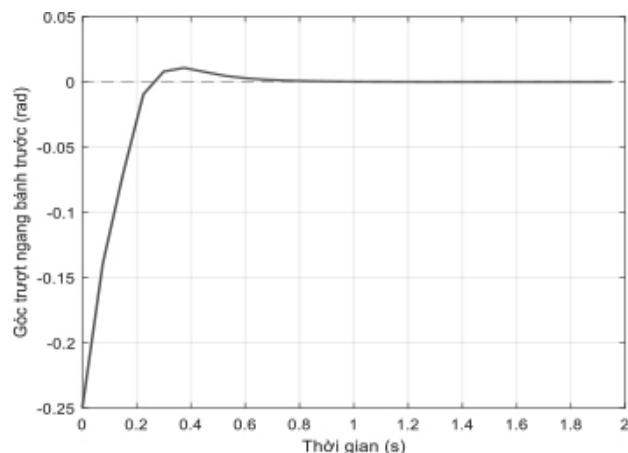
Giả sử rằng ban đầu bánh xe đặt ở vị trí $x_0 = [-0,25 \quad 0,2]$, mục tiêu là xác định hàm mục tiêu nhỏ nhất cho phép của hệ thống để đạt đến trạng thái ổn định lệch hướng của xe trong khi vẫn thỏa mãn các điều kiện ràng buộc. Với cửa sổ dự báo $N=4$, ma trận trọng số $Q_y=10, Q_u=1, Q_x=1$.

Kết quả mô phỏng thu được bằng cách sử dụng ngôn ngữ lập trình HYSDEL [3] và Hybrid Toolbox [1] trong Matlab/Simulink. Các kết quả mô phỏng được hiển thị từ Hình 3 - Hình 7.

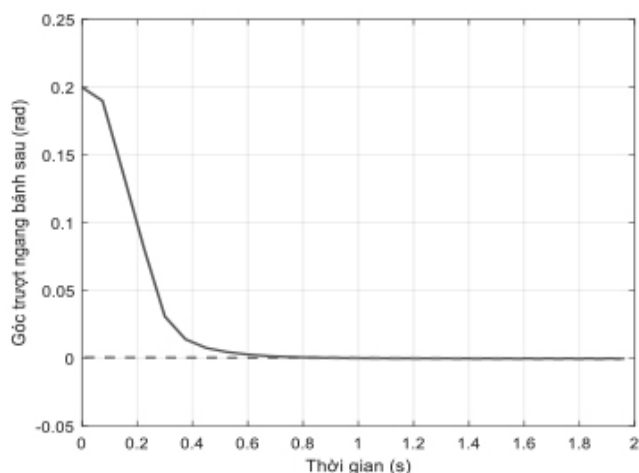


Hình 3. Tốc độ ổn định lệch hướng γ

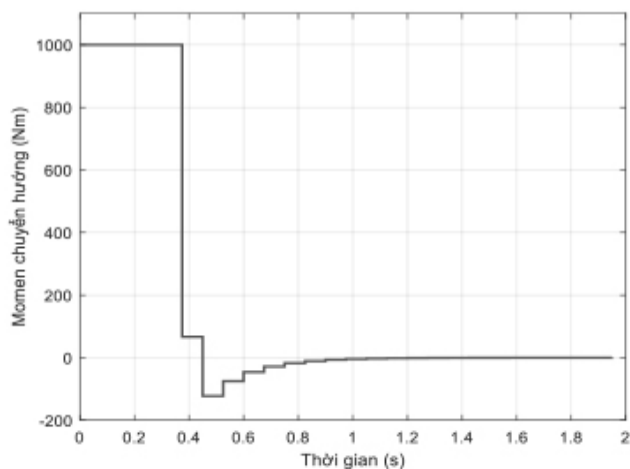
Có thể thấy trên Hình 3 hiệu quả của bộ điều khiển MPC. Tốc độ ổn định lệch hướng của xe trong khoảng 0,15 giây với sai số rất nhỏ, đồng thời góc trượt ngang của bánh xe cũng được kiểm soát, từ đó cho thấy khả năng ổn định xe một cách hiệu quả của bộ điều khiển. Ngoài ra, các tín hiệu điều khiển đầu vào như mô-men, góc đánh lái bánh trước đều nằm trong các giới hạn ràng buộc cho phép.



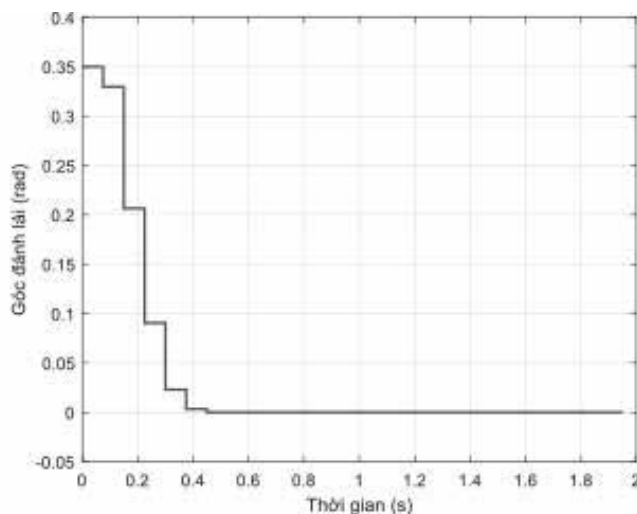
Hình 4. Góc trượt ngang bánh trước α_f



Hình 5. Góc trượt ngang bánh sau α_s



Hình 6. Mô-men chuyển hướng M_z



Hình 7. Góc đánh lái bánh trước θ_f

6. KẾT LUẬN

Như vậy, bài báo đã trình bày một phương pháp điều khiển dự báo mô hình (MPC) nhằm ổn định lệch hướng chuyển động của ô tô điện nhằm đưa ra một luật điều khiển mới để duy trì hướng xe ở vị trí cân bằng.

Việc sử dụng mô hình MLD để tiếp cận bài toán như một hướng đi phù hợp cho hệ thống có nhiều ràng buộc. Mặt khác, điều khiển dự báo MPC được sử dụng để xác định hàm mục tiêu nhỏ nhất cho phép của hệ thống để đạt đến trạng thái ổn định lệch hướng, trong khi góc trượt ngang và đầu vào điều khiển vẫn tuân theo các ràng buộc đã cho sẵn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bemporad, A. (2012b), Hybrid Toolbox - User's Guide.
- [2]. Bemporad, A. and Morari, M. (1999), Control of systems integrating logic, dynamics and constraints, Automatica, vol.35, no.3, pp.407-427.
- [3]. Torrisi, F., Bemporad, A., Bertini, G., Hertach, P., Jost, D. and Mignone, D. (2002), HYSDEL 2.0.5 - User Manual, Automatic Control Laboratory, ETH, Zurich, Switzerland.
- [4]. Borrelli F. MPC-based approach to active steering for autonomous vehicle systems, Int J Veh Auton Syst 2005, 265-91.
- [5]. Choi M, Choi SB. Model predictive control for vehicle yaw stability with practical concerns, IEEE Trans Vehicular Technol 2014; 63(8):3539-48.

Phân tích tai nạn giao thông liên quan đến người đi bộ ở nước ta bằng Python

Analyzing traffic accidents involving pedestrians in Vietnam using Python

> TS VƯƠNG XUÂN CẦN^{1,*}, THS NGUYỄN THẾ ANH²

¹Trường Đại học Giao thông vận tải

²Viện Khoa học Cảnh sát, Học viện Cảnh sát nhân dân

*Email: vuongcan@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Đi bộ không chỉ đơn thuần thực hiện các chuyến đi độc lập mà còn là cầu nối quan trọng giữa các loại hình vận tải để thỏa mãn nhu cầu đi lại của người dân. Đảm bảo an toàn cho người đi bộ sẽ mang lại nhiều lợi ích cho hệ thống giao thông và cộng đồng. Phân tích tai nạn giao thông (TNGT) liên quan đến người đi bộ đóng một vai trò quan trọng trong quá trình xây dựng các giải pháp cải thiện an toàn giao thông (ATGT) vì nó giúp các chuyên gia và các nhà quản lý có cái nhìn từ tổng quan đến chi tiết của các yếu tố ẩn giấu bên trong dữ liệu. Thông qua phân tích thống kê mô tả bằng phần mềm miễn phí Python ở một số khía cạnh từ dữ liệu TNGT liên quan đến người đi bộ ở nước ta trong giai đoạn 2020 - 2022, bài báo đã chỉ ra một số đặc trưng tai nạn liên quan đến người đi bộ ở nước ta trong thời gian qua, nhằm cung cấp nguồn tài liệu quan trọng phục vụ các đề xuất liên quan đến đảm bảo an toàn cho người đi bộ trong thời gian tới.

Từ khóa: Tai nạn giao thông; người đi bộ; Việt Nam; Python.

ABSTRACT

Walking is not only a way to make independent trips but also an important bridge between different modes of transport to satisfy people's travel needs. Ensuring pedestrian safety will bring many benefits to the transportation system and the community. Analyzing traffic accidents involving pedestrians plays a crucial role in the development of solutions to improve traffic safety, as it enables experts and managers to gain a comprehensive understanding of the underlying factors in the data. Through descriptive statistical analysis using a free programming language named Python in some aspects of traffic accident data involving pedestrians in Vietnam in the period 2020 - 2022, this paper has pointed out some characteristics of accidents involving pedestrians in Vietnam in the past, to provide an important reference for proposals related to ensuring pedestrian safety in the future.

Keywords: Traffic accidents; pedestrian; Vietnam; Python.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đi bộ không chỉ đơn thuần thực hiện các chuyến đi độc lập mà còn là cầu nối quan trọng giữa các loại hình vận tải để thỏa mãn nhu cầu đi lại của người dân [1]. Đi bộ là hình thức giao thông xanh và mang lại nhiều lợi ích như giảm ùn tắc giao thông, giảm ô nhiễm môi trường, cải thiện sức khỏe của con người, cầu nối giữa các loại hình vận tải, thúc đẩy phát triển giao thông bền vững... [2]. Tuy nhiên, va chạm với người đi bộ đang là vấn đề an toàn quan trọng ở mỗi quốc gia trên thế giới [3]. Theo Tổ chức Y tế Thế giới (WHO), năm 2021 có khoảng 1,19 triệu người chết vì giao thông đường bộ và phần lớn xảy ra ở các nước có thu nhập thấp và trung bình, đứng thứ 12 về nguyên nhân gây tử vong; người đi bộ chiếm 21% số ca tử vong trong số đó [4]. Một thống kê tại Hoa Kỳ cho thấy rằng, số người đi bộ tử vong chiếm 16,8% tổng số người tử vong do tai nạn và gần một phần tư (24,3%) số người đi bộ tử vong liên quan đến tai nạn bỏ chạy sau khi đâm xe vào năm 2022, cứ khoảng 17 người đi

bộ tử vong mỗi ngày, trung bình cứ 1,3 giờ lại có một người đi bộ tử vong trong các vụ TNGT vào năm 2020 [5].

Thực tế ở nước ta hiện nay cho thấy, mặc dù nhiều giải pháp ATGT dành cho người đi bộ đã được triển khai như hầm chui dành cho người đi bộ, cầu vượt dành cho người đi bộ, đèn tín hiệu dành cho người đi bộ... Tuy nhiên, do dòng giao thông hỗn hợp trong điều kiện đường vẫn còn nhiều hạn chế cộng với ý thức của bộ phận người tham gia giao thông chưa cao nên người đi bộ qua đường vẫn đang phải đối mặt với nhiều nguy cơ TNGT [6]. Điều này không chỉ gây trở ngại đến sự phát triển của giao thông bộ hành mà còn ảnh hưởng đến sự phát triển bền vững giao thông vận tải.

Phân tích TNGT nói chung và tai nạn liên quan đến người đi bộ nói riêng giúp các nhà quản lý, các nhà kỹ thuật cũng như các nhà khoa học có một bức tranh chung về tình hình TNGT và là cơ sở để nghiên cứu và xây dựng các giải pháp ATGT hiệu quả [7]. Trên thế giới, nhiều nghiên cứu phân tích TNGT liên quan đến người đi bộ đã

được triển khai và có những đóng góp nhất định trong cả lý luận và thực tiễn [8, 9].

Ở nước ta, một số học giả cũng đã có quan tâm đến giao thông bộ hành nhưng chủ yếu tập trung vào đặc trưng giao thông hoặc xung đột giao thông mà chưa quan tâm đến phân tích tai nạn liên quan đến người đi bộ [2, 10, 11]. Nếu phân tích về tai nạn cũng chỉ tập trung vào TNGT nói chung hoặc TNGT liên quan đến ô tô, xe buýt và xe máy [7, 12, 13]. Ví dụ, trong nghiên cứu [1], các tác giả đã sử dụng lý thuyết hành vi dự định để nghiên cứu các hành vi nguy cơ tai nạn của người đi bộ. Trong nghiên cứu [11], các tác giả đã phân tích sự ảnh hưởng của người sang đường lên dòng giao thông sử dụng mô phỏng Netlogo với mô hình đơn giản. Họ kết luận rằng, người đi bộ ảnh hưởng đáng kể lên tốc độ dòng xe; tốc độ của phương tiện giao thông tại một số tuyến đường có người đi bộ qua đường của Hà Nội đã được phân tích trong nghiên cứu [2, 14]; một phương pháp đánh giá an toàn của người đi bộ có sử dụng học sâu để phát hiện người đi bộ được thực hiện trong nghiên cứu [10]... Xuất phát từ đó, nghiên cứu này phân tích một số yếu tố về TNGT liên quan đến người đi bộ ở nước ta từ số liệu TNGT trong giai đoạn 2020 - 2022 nhằm bổ sung các khoảng trống trong nghiên cứu, cũng như tạo tiền đề cho các nghiên cứu sâu liên quan và xây dựng các giải pháp ATGT dành cho người đi bộ.

2. SỐ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Số liệu nghiên cứu

Để phân tích dữ liệu TNGT liên quan đến người đi bộ bằng phần mềm Python, quá trình thực hiện như sau:

- Thu thập dữ liệu TNGT đường bộ liên quan đến người đi bộ;
- Phần mềm Python [15] chạy trên môi trường VS Code [16] để phân tích thống kê mô tả. Ở đây, nhóm nghiên cứu trú trọng đến phần trực quan hóa bằng biểu đồ. Python là một ngôn ngữ lập trình cấp cao và mạnh mẽ mà phương thức tiếp cận đơn giản và hiệu quả cao. Nó được ứng dụng rộng rãi trong phân tích dữ liệu, học máy, học sâu, kết nối Internet vạn vật... với các thư viện hỗ trợ phong phú. Các thư viện chủ yếu của phần mềm Python hỗ trợ phân tích dữ liệu và lập biểu đồ được sử dụng trong nghiên cứu này bao gồm Numpy, Pandas và Matplotlib.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Tổng có 752 vụ TNGT đường bộ trong giai đoạn 2020 - 2022 ở Việt Nam thu thập từ các cơ quan quản lý về lĩnh vực ATGT được sử dụng như một nghiên cứu trường hợp về tai nạn liên quan đến người đi bộ trong nghiên cứu này. Đây là những vụ tai nạn có khá đầy đủ thông tin có thể phục vụ phân tích ở nhiều khía cạnh khác nhau liên quan đến người đi bộ.

Dữ liệu TNGT trong giai đoạn 2020 - 2022 trước hết được lọc và làm sạch bằng thư viện Pandas của Python, chỉ giữ lại các vụ liên quan đến người đi bộ và có lượng thông tin phong phú. Sau đó, phân tích thống kê dữ liệu nhờ thư viện Numpy và Pandas trong Python. Cuối cùng, trực quan hóa bằng các đồ thị thông qua thư viện Matplotlib của Python. Trong nghiên cứu này, một số phân tích thống kê được quan tâm phân tích bao gồm: Phân bố TNGT theo thời gian; phân bố TNGT theo loại đường; phân bố TNGT theo loại xe; phân bố TNGT theo mức độ nghiêm trọng...

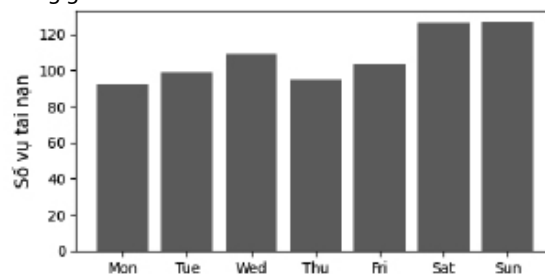
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Phân tích theo từng đối tượng

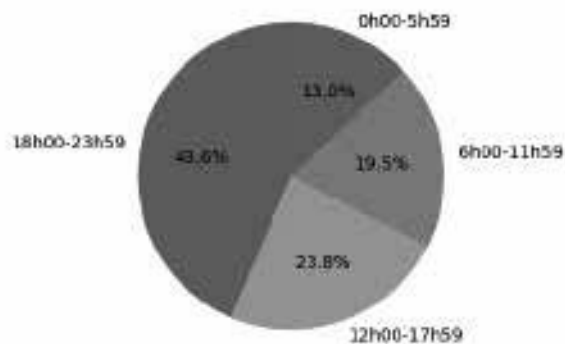
Phân tích theo từng đối tượng chủ yếu phân tích phân bố TNGT theo dạng một chiều thông qua các đối tượng khác nhau như phân bố TNGT theo thời gian; phân bố TNGT theo loại xe, loại đường... Các phân bố này giúp các kỹ sư, nhà quản lý hiểu biết riêng lẻ từng khía cạnh liên quan đến TNGT và người đi bộ. Một số khía cạnh được phân tích như sau.

3.1.1. Phân bố TNGT liên quan đến người đi bộ theo khung giờ và theo ngày

Kết quả phân tích sự phân bố TNGT liên quan đến người đi bộ theo thời gian, bao gồm các ngày trong tuần và các khung giờ trong ngày như thể hiện trong Hình 1. Về các ngày trong tuần (Hình 1a), ngày cuối tuần (thứ Bảy và Chủ nhật), TNGT liên quan người đi bộ có xu hướng cao hơn. Điều này có thể lý giải rằng, ngày cuối tuần nhu cầu đi chơi, giải trí cao hơn ngày thường, lúc đó nhu cầu đi bộ cũng tăng nên nguy cơ tai nạn có thể tăng lên. Về các khung giờ trong ngày (Hình 1b), tỷ lệ TNGT xảy ra vào buổi chiều và buổi tối cao hơn các khung giờ khác, do ở khung giờ này nhu cầu bộ hành cao hơn các khung giờ khác.



a) - Phân bố theo ngày

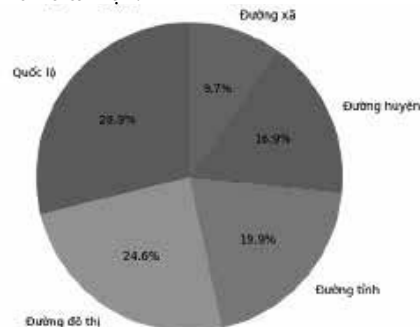


b) - Phân bố theo khung giờ

Hình 1. Phân bố theo khung giờ và theo ngày

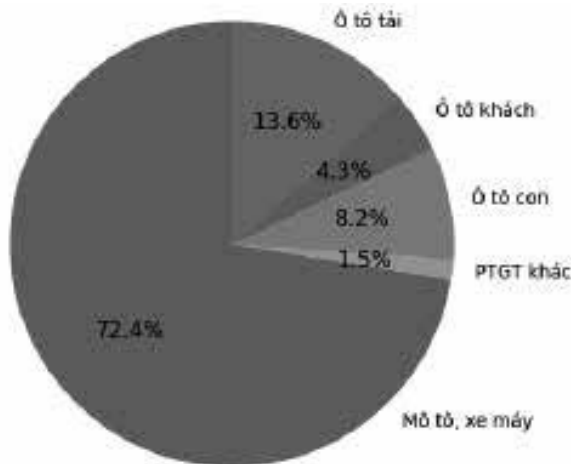
3.1.2. Phân bố liên quan đến người đi bộ theo loại đường và loại xe

Phân bố tỷ lệ TNGT liên quan đến người đi bộ ở các loại đường khác nhau như thể hiện trên Hình 2. Để thấy rằng, quốc lộ và đường đô thị có tỷ lệ TNGT cao hơn các loại đường khác. Trên quốc lộ ở nước ta, tốc độ xe chạy khá cao, trong khi các phương tiện kỹ thuật bảo vệ người đi bộ còn những hạn chế nhất định nên rủi ro tai nạn với người đi bộ khá lớn. Đối với đường đô thị, tuy tốc độ dòng xe thấp hơn quốc lộ nhưng nhu cầu giao thông bộ hành lớn và điều kiện giao thông phức tạp nên người đi bộ cũng phải đối mặt với nhiều mối rủi ro tai nạn.



Hình 2. Phân bố theo loại đường

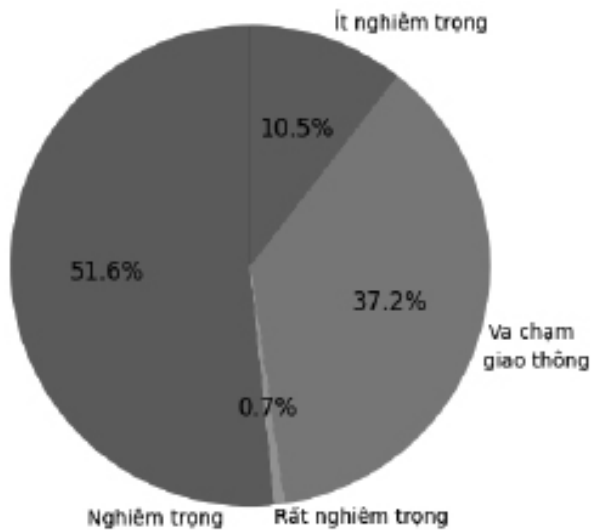
Phân bố tỷ lệ TNGT liên quan đến loại xe trong TNGT với người đi bộ được thể hiện trên Hình 3. Dễ dàng nhận thấy rằng, xe máy chiếm tỷ lệ lớn (khoảng 72,4%) trong các vụ TNGT liên quan đến người đi bộ. Điều này cũng dễ hiểu do dòng giao thông ở nước ta là dòng giao thông hỗn hợp phụ thuộc vào xe máy. Tiếp đó, xe tải (chiếm 13,6%) và ô tô con (chiếm 8,2%) cũng có mặt trong nhiều vụ tai nạn liên quan đến người đi bộ. Đây cũng là hai thành phần xe chủ yếu sau xe máy, nên khả năng xảy ra tai nạn với người đi bộ cũng cao.



Hình 3. Phân bố theo loại xe

3.1.3. Phân bố liên quan đến người đi bộ theo mức độ nghiêm trọng

Tại Hình 4 cho ta thấy rằng, tỷ lệ TNGT nghiêm trọng chiếm hơn một nửa tai nạn liên quan đến người đi bộ được phân tích trong nghiên cứu này (chiếm 51,6%). Đây là điều cần thiết được quan tâm để có các giải pháp giảm thiểu mức độ nghiêm trọng của tai nạn.



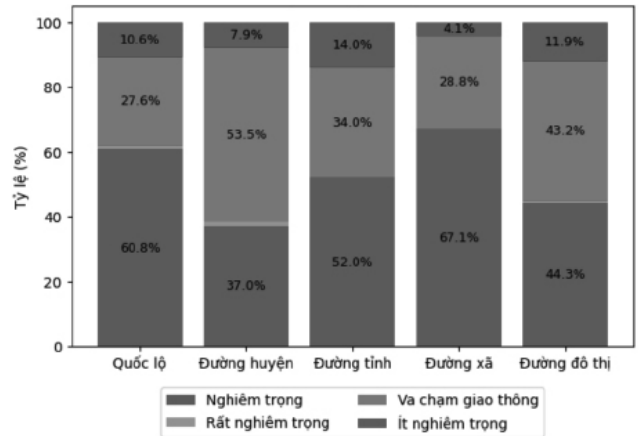
Hình 4. Phân bố theo mức độ nghiêm trọng

3.2. Phân tích chéo giữa các đối tượng

Phân tích chéo giữa các đối tượng chủ yếu xếp chồng các đối tượng riêng rẽ về phân bố TNGT được trình bày ở mục trên thông qua các biểu đồ cột “Stacked Bar” để có thể hiểu biết sâu sắc về TNGT. Dữ liệu phân tích chéo, xếp chồng nhằm so sánh giữa các nhóm đối tượng được xem xét, cụ thể như dưới đây.

3.2.1. Phân tích theo loại đường - mức độ nghiêm trọng

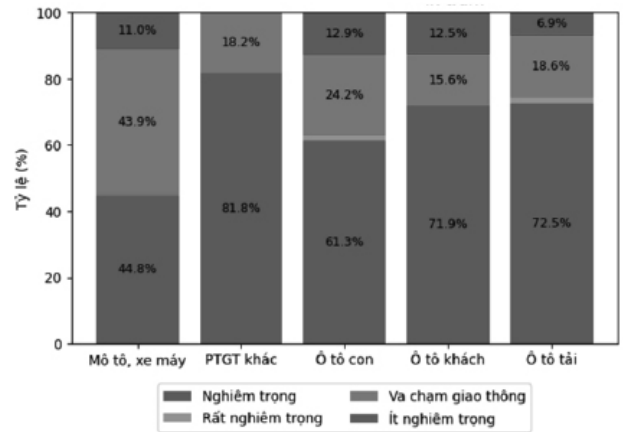
Hình 5 cho ta thấy rằng, tỷ lệ TNGT nghiêm trọng chiếm tỷ lệ cao ở hầu hết các loại đường, nhất là đối với quốc lộ, đường tỉnh và đường xã. Do đó, chúng ta cần thiết có những giải pháp ứng phó phù hợp để cải thiện an toàn cho người đi bộ.



Hình 5. Tỷ lệ mức độ nghiêm trọng của TNGT ở từng loại đường

3.2.2. Phân tích theo loại xe - mức độ nghiêm trọng

Tại Hình 6 cho ta thấy rằng, tỷ lệ TNGT nghiêm trọng chiếm tỷ lệ cao ở hầu hết các loại phương tiện giao thông. Do vậy, cần thiết có những giải pháp ứng phó phù hợp đối với người điều khiển phương tiện ở tất cả các loại phương tiện khác nhau, nhất là đối với ô tô con, xe khách và xe tải.

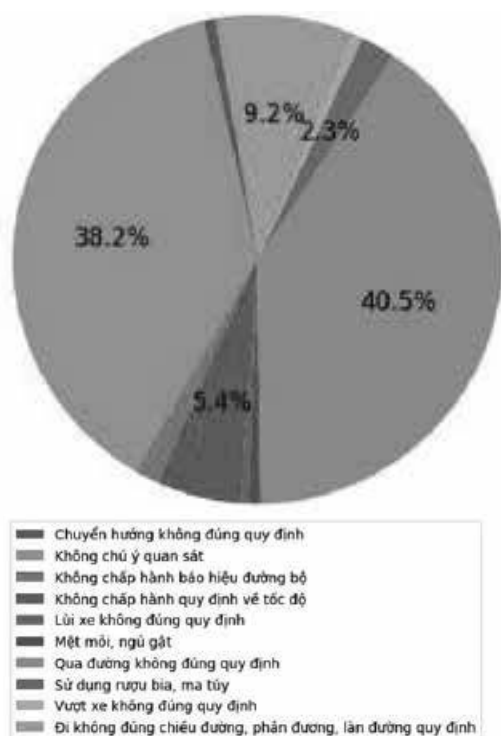


Hình 6. Tỷ lệ mức độ nghiêm trọng của TNGT ở từng loại xe

3.3. Các nguyên nhân của TNGT liên quan đến người đi bộ

Phân tích nguyên nhân TNGT liên quan đến người đi bộ từ 491 vụ trong bộ dữ liệu của nghiên cứu này với nguyên nhân đã được chỉ rõ cho thấy, trong 10 nguyên nhân chính dẫn đến TNGT liên quan đến người đi bộ, phần lớn xuất phát từ lỗi của người điều khiển phương tiện và người đi bộ (Hình 7). Trong đó, “Qua đường không đúng quy định” và “Không chú ý quan sát”, “Đi không đúng chiều đường, phần đường, làn đường quy định” là các nguyên nhân hàng đầu liên quan đến tai nạn được phân tích. Do đó, cần có các giải pháp cụ thể hướng đến người đi bộ và người điều khiển phương tiện.

Xét đến khả năng thương vong trong một vụ TNGT liên quan đến người đi bộ cho thấy rằng, tỷ lệ tử vong, thương nặng, thương nhẹ trong một vụ TNGT từ số vụ TNGT được phân tích lần lượt là 0,515, 0,30 và 0,431, tức tương đương khoảng 2 vụ TNGT sẽ có 1 người tử vong, 1 người thương. Tỷ lệ này còn rất cao so với nhiều nước ở trong khu vực và thế giới [7].



Hình 7. Các nguyên nhân chủ yếu của TNGT liên quan người đi bộ

3.4. Một số giải pháp định hướng cải thiện an toàn cho người đi bộ

Trên cơ sở đó, một số giải pháp định hướng khuyến nghị để cải thiện ATGT dành cho người đi bộ như sau:

- Về hành pháp: Tăng cường xử lý vi phạm Luật Đường bộ, Luật Trật tự ATGT đường bộ đối với cả người điều khiển phương tiện giao thông và người đi bộ. Xe máy được tìm thấy trong nhiều vụ tai nạn liên quan đến người đi bộ, nên cần tiếp tục tăng cường quản lý đối tượng này.

- Về kỹ thuật và công nghệ: Nhu cầu đi bộ ngày một tăng mà không gian bộ hành lại hạn chế, cho nên cần mở rộng không gian dành cho người đi bộ; tăng cường phương tiện kỹ thuật phục vụ người đi bộ; tăng cường áp dụng các dịch vụ của hệ thống giao thông thông minh hướng đến người đi bộ như tự động cảnh báo bộ hành, tự động nhận dạng người đi bộ...

- Về giáo dục và tuyên truyền: Tăng cường giáo dục trong trường học và trên đường về việc chấp hành pháp luật giao thông vận tải, văn hóa giao thông; xem xét đưa giáo dục ATGT vào các cấp học, kể cả đại học.

4. KẾT LUẬN

Đi bộ ngày càng có vai trò quan trọng trong hệ thống giao thông đường bộ. Nâng cao ATGT cho người đi bộ góp phần không nhỏ vào tiến trình phát triển bền vững giao thông vận tải. Bài báo đã phân tích được một số khía cạnh về TNGT liên quan đến người đi bộ ở nước ta trong giai đoạn 2020 - 2022 bằng phần mềm Python. Kết quả nghiên cứu không chỉ cung cấp thêm cho các nhà phân tích, các nhà nghiên cứu về ATGT có thêm một lựa chọn về công cụ miễn phí để nghiên cứu và đào tạo về ATGT ở Việt Nam mà còn cung cấp tài liệu tham khảo để xây dựng các giải pháp cải thiện ATGT trong thời gian tới. Ở các nghiên cứu tiếp theo, nhóm nghiên cứu sẽ cố gắng tập trung vào xây dựng các mô hình hồi quy, mô hình dự báo liên quan đến người đi bộ để tìm kiếm thêm thông tin quan trọng trong dữ liệu tai nạn.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Giao thông vận tải trong Đề tài mã số T2025-MT-001.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. X. C. Vuong, R.-F. Mou, T. T. Vu and T. A. Nguyen (2021), A Study of Intended Unsafe Pedestrian Crossing Behaviors at Signalized Intersections in Vietnam, in AUC 2019: Springer, pp.185-193.
- [2]. Đặng Minh Tân và Lê Hoàng Tuấn Anh (2023), Nghiên cứu tốc độ của phương tiện giao thông tại vị trí người đi bộ qua đường trên một số tuyến đường trục chính TP Hà Nội, Tạp chí GTVT, số tháng 9, tr.60-62.
- [3]. Đỗ Hoàng Thạch (2017), Nghiên cứu nâng cao ATGT cho người đi bộ trong điều kiện giao thông ở Việt Nam, Tạp chí GTVT, Hà Nội.
- [4]. WHO (2023), Global status report on road safety 2023, World Health Organization, Switzerland.
- [5]. K. L. Chen, B.-W. Tsai, G. Fortin and J. F. Cooper (2022), 2022 SafeTREC Traffic Safety Fact Sheet: Pedestrian Safety.
- [6]. C. T. Nguyen, X. C. Vuong and T. T. Vu (2023), Exploring Human-error factors contributing to motorcycle accidents in Hanoi city using Grey relational analysis, ASEAN Engineering Journal, vol.13, no.2, pp.25-31.
- [7]. R. Mou, X. Vuong and T. Vu (2019), Analysis of road accident in Hanoi, Vietnam, in Proceedings of the 13th International Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies (EASTS).
- [8]. N. A. Stanton, P. M. Salmon, G. H. Walker and M. Stanton (2019), Models and methods for collision analysis: A comparison study based on the Uber collision with a pedestrian, Safety Science, vol.120, pp.117-128.
- [9]. Ö. Kaygisiz, A. Yildiz and S. Duzgun (2015), Spatio-temporal pedestrian accident analysis to improve urban pedestrian safety: The case of the Eskisehir Motorway, Gazi University Journal of Science, vol.28, no.4, pp.623-630.
- [10]. Nguyễn Tuấn Thành (2022), Nghiên cứu ứng dụng học sâu (deep learning) trong phát hiện và đánh giá an toàn đối với người đi bộ khi tham gia giao thông, Trường Đại học GTVT, Hà Nội.
- [11]. Trần Vũ Tự, Võ Trọng Bộ, Nguyễn Huỳnh Tấn Tài (2017), Phân tích mô phỏng ảnh hưởng của người sang đường lên dòng giao thông, Tạp chí Khoa học Đại học Thủ Dầu Một, số 32, tr.12-18.
- [12]. M. H. Nguyen et al. (2025), Is there a difference in crash self-reports between electric and conventional motorcycles in Vietnam?, Traffic Injury Prevention, pp.1-9.
- [13]. T. C. Nguyen, M. H. Nguyen, J. Armoogum and T. T. Ha (2021), Bus crash severity in Hanoi, Vietnam, Safety, vol.7, no.3, p.65.
- [14]. Đặng Minh Tân (2023), Nghiên cứu đánh giá và đề xuất giải pháp nâng cao ATGT tại vị trí người đi bộ qua đường trên các tuyến đường đô thị ở TP Hà Nội, Trường Đại học GTVT, Hà Nội.
- [15]. Python Software Foundation, Python, <https://www.python.org/downloads/> (accessed September 14, 2025).
- [16]. Microsoft, Visual Studio Code, <https://code.visualstudio.com/> (accessed September 14, 2025).

Nghiên cứu, kiến nghị hoàn thiện mô hình hoa tiêu hàng hải Việt Nam

Research and Recommendations for the Improvement of the Maritime Pilotage Model in Vietnam

> THS LÊ VĂN THỨC

Cảng vụ Hàng hải TP.HCM

Email: levanthuc.vinamarine@gmail.com

TÓM TẮT

Hệ thống cảng biển Việt Nam có 614 cầu cảng, hơn 1.100 km luồng hàng hải và kích thước tàu đến cảng ngày càng lớn nên yêu cầu công tác dẫn tàu an toàn đang là mối quan tâm hàng đầu của cơ quan chức năng. Mặt khác, mặc dù quy định về hoa tiêu hàng hải (HTHH) Việt Nam tương đối đầy đủ nhưng mô hình tổ chức so với nhiều nước trên thế giới còn có khác biệt, hơn nữa sự phát triển đội tàu biển trên thế giới theo xu hướng: Ngày càng xanh hơn - ngày càng thông minh hơn - ngày càng lớn hơn kết hợp với việc nghiên cứu, thử nghiệm tàu điều khiển tự động từ xa không những tạo ra thách thức đối mới công tác quản lý, nâng cao trình độ hoa tiêu mà còn đặt ra yêu cầu nghiên cứu, xác định mô hình hoa tiêu phù hợp xu thế phát triển. Xuất phát từ đòi hỏi thực tế, bài báo phân tích, đánh giá quy định về HTHH Việt Nam và các nước trên thế giới, qua đó đề xuất Mô hình HTHH phù hợp tại Việt Nam.

Từ khóa: Mô hình hoa tiêu hàng hải; xu hướng phát triển tàu biển; Luật Cảng; Luật Hoa tiêu; Luật Vận tải thương mại; Bộ luật Hàng hải Việt Nam; Luật An toàn giao thông; khu vực hoa tiêu bắt buộc.

ABSTRACT

Vietnam's seaport system comprises 614 berths and more than 1,100 kilometers of navigational channels. With vessels calling at ports becoming increasingly larger, ensuring the safety of pilotage operations has become a primary concern for the competent authorities. Although the regulatory framework on maritime pilotage in Vietnam is relatively comprehensive, its organizational model remains different from that of many other countries. At the same time, the global seagoing vessels are evolving toward becoming greener, smarter and larger, accompanied by research and trials of remotely operated commercial vessels. These developments not only present challenges for innovation in ship regulation and management and the advancement of pilotage expertise but also necessitate research and determination of a pilotage model aligned with these global trends. In response to these practical demands, this article analyzes and evaluates the regulatory framework on maritime pilotage in Vietnam and other jurisdictions, thereby proposing amendments to the legal framework and recommending a suitable maritime pilotage model for Vietnam.

Keywords: Maritime pilotage model; the development of the global ships; Ports act; Pilotage act; Merchant shipping act; navigation code; pilotage zones; Transport Code Maritime Safety Act.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

An toàn hàng hải đã, đang là điều kiện tiên quyết bảo đảm cho sự phát triển bền vững của ngành Hàng hải và nâng cao hiệu quả kinh doanh khai thác cảng. Hàng năm, để bảo đảm an toàn cho khoảng gần 100.000 lượt tàu biển vào, rời cảng biển Việt Nam thì hoạt động quản lý, cung cấp dịch vụ hoa tiêu dẫn tàu của các tổ

chức HTHH đang là một trong các mối quan tâm hàng đầu của cơ quan quản lý nhà nước, của chủ tàu và của doanh nghiệp cảng.

Hiện nay, Việt Nam có 5 tổ chức HTHH, với 468 HTHH (trong đó, hoa tiêu ngoại hạng 245 người, hạng nhất 87 người, hạng nhì 64 người, hạng ba 52 người, tập sự: 20 người) đảm nhận nhiệm vụ dẫn tàu trên các tuyến luồng hàng hải có tổng chiều dài trên 1.100 km

(trong đó khu vực phía Bắc có 21 tuyến luồng với tổng chiều dài khoảng 277 km, khu vực phía Nam có 24 tuyến luồng với tổng chiều dài khoảng 815 km và một số tuyến luồng hàng hải chuyên dùng khác) và cung cấp dịch vụ hoa tiêu dẫn tàu trên 8 vùng hoa tiêu bắt buộc được công bố của Việt Nam để đưa tàu hành trình vào, rời 298 bến cảng biển (614 cầu cảng) và 74 khu neo đậu.

Tuy nhiên, trước thách thức liên quan cuộc cách mạng về đóng mới, đưa vào khai thác các siêu tàu container, tàu khí hóa lỏng có sức chở ngày càng lớn, yêu cầu kỹ năng điều động tàu ngày càng cao cùng với hoạt động nghiên cứu đưa vào thử nghiệm khai thác tàu biển thông minh điều khiển tự động (với hỗ trợ của trí tuệ nhân tạo, hệ thống công nghệ điều khiển tích hợp, Internet vạn vật...) đòi hỏi ngành dịch vụ hàng hải nói chung và dịch vụ HTHH nói riêng cũng phải đổi mới tương thích với cuộc cách mạng về công nghệ hàng hải, yêu cầu phát triển bền vững và tính quốc tế hóa cao. Ở khía cạnh khác, quy định pháp luật về tổ chức hoạt động HTHH của Việt Nam hiện nay so với nhiều nước trên thế giới còn có khác biệt nên việc nghiên cứu, đánh giá và đề xuất mô hình HTHH phù hợp cho Việt Nam là cần thiết và có tính thực tiễn cao.



Hình 1. Dẫn tàu container rời cảng biển Vũng tàu, Việt Nam

2. NGHIÊN CỨU, ĐÁNH GIÁ VỀ MÔ HÌNH TỔ CHỨC CỦA HTHH VIỆT NAM VÀ CÁC NƯỚC TRÊN THẾ GIỚI

Một điểm chung rất dễ nhận thấy là quy định về HTHH của Việt Nam cũng như của các nước có ngành Hàng hải phát triển đều được đề cập trong các đạo luật quan trọng của quốc gia, ví dụ: Việt Nam (Bộ luật Hàng hải Việt Nam), Đức (Luật Đường thủy Liên bang), Italia (Bộ luật Hàng hải), Pháp (Luật Giao thông vận tải), Bỉ (Nghị định Hoàng gia về hoa tiêu), Đan Mạch (Luật Hoa tiêu, Luật An toàn hàng hải, Luật Cảnh tranh), Úc (Luật Hàng hải), Hoa Kỳ (Tiêu đề 46, Bộ luật Hoa Kỳ, Luật ủy quyền Cảnh sát biển, Luật liên quan về hoa tiêu của các tiểu bang), Canada (Luật Hoa tiêu), Phần Lan (Luật Hoa tiêu), Malaysia (Bộ luật Vận tải thương mại, Luật Cảng và bến cảng), Nhật

Bản (Luật An toàn giao thông hàng hải, Luật Cảng), Hàn quốc (Luật Hoa tiêu), Singapore (Luật cơ quan hàng hải và cảng Singapore, Luật Vận tải thương mại), Trung Quốc (Luật An toàn giao thông hàng hải, Luật Cảng biển), Ấn Độ (Luật Cảng biển, Luật Vận tải thương mại), Nigeria (Luật Cảng biển)... và đều có chung quy định là Nhà nước thống nhất quản lý HTHH thông qua việc ban hành quy định về điều kiện thành lập và chức năng, quyền hạn của tổ chức hoa tiêu; địa vị pháp lý của hoa tiêu và nhiệm vụ cụ thể của hoa tiêu khi dẫn tàu; công bố các vùng hoa tiêu bắt buộc và giao tuyến dẫn tàu; quy định về kiểm tra sức khỏe - đào tạo, cấp giấy chứng nhận hoa tiêu và thực hiện chức năng kiểm tra, giám sát hoạt động hoa tiêu, giá dịch vụ hoa tiêu. Tuy nhiên, quy định pháp luật Việt Nam về HTHH có một số khác biệt với quy định pháp luật của nhiều nước trên thế giới nên cần thiết phải nghiên cứu, vận dụng để xác định mô hình tổ chức HTHH phù hợp áp dụng đối với Việt Nam, cụ thể:

2.1. Quy định về mục đích sử dụng HTHH

Hầu hết các quốc gia đều có chung quy định cụ thể việc sử dụng HTHH là “nhằm mục đích bảo đảm an toàn hàng hải, phòng ngừa ô nhiễm môi trường biển, vùng nước nội địa liên quan” nhưng

một số ít nước như Việt Nam, Nigeria... ngoài mục đích “bảo đảm an toàn hàng hải, phòng ngừa ô nhiễm môi trường” thì pháp luật hàng hải còn có thêm quy định về mục đích sử dụng hoa tiêu là để “... bảo đảm an ninh hàng hải”.

Tuy nhiên với Việt Nam, ngoài quy định chung trong Bộ luật Hàng hải Việt Nam năm 2015, luật và các văn bản dưới luật hiện chưa cụ thể hóa nhằm làm rõ hơn nội hàm của mục đích sử dụng HTHH để “bảo đảm an ninh hàng hải, góp phần bảo vệ chủ quyền, thực hiện quyền chủ quyền và quyền tài phán của quốc gia” cụ thể như thế nào nên cần thiết nghiên cứu, bổ sung vào Bộ luật Hàng hải Việt Nam cho đầy đủ.

2.2. Quy định về tổ chức HTHH

Tổ chức HTHH tại Việt Nam hiện nay bao gồm nhiều loại hình doanh nghiệp, chưa nhất quán về tổ chức và mô hình cũng không

giống với bất cứ mô hình hoa tiêu nào của các quốc gia khác trên thế giới.

Việt Nam hiện có 5 tổ chức HTHH (Công ty TNHH MTV Hoa tiêu miền Nam, Công ty TNHH MTV Hoa tiêu miền Bắc trực thuộc Tổng công ty Bảo đảm an toàn hàng hải Việt Nam; Công ty TNHH MTV Hoa tiêu Tân cảng trực thuộc Tổng công ty Tân cảng, Bộ Quốc phòng; Công ty Cổ phần HTHH trực thuộc Tập đoàn Công nghiệp than - khoáng sản Việt Nam và Công ty Cổ phần Dịch vụ và vận tải biển Vũng Tàu trực thuộc chính quyền địa phương là UBND TP.HCM, trong đó có 4 tổ chức hoạt động theo mô hình Công ty mẹ - Công ty con, 3 tổ chức nhà nước nắm giữ 100% vốn điều lệ và 2 tổ chức đã được cổ phần hóa (Nhà nước nắm giữ tối thiểu 75% vốn điều lệ).

Về loại hình tổ chức HTHH, quy định tại Bộ luật Hàng hải Việt Nam 2015 hiện chỉ bao gồm một điều (Điều 248) với nội dung: “Tổ chức HTHH là doanh nghiệp cung cấp dịch vụ dẫn tàu thuyền đến, rời cảng biển” và tổ chức HTHH quy định tại Nghị định 70/2016/NĐ-CP ngày 01/7/2016 của Chính phủ: “doanh nghiệp được thành lập theo quy định pháp luật, do Nhà nước nắm giữ tối thiểu 75% vốn điều lệ” là chưa thật sự rõ ràng về loại hình doanh nghiệp nên khó tránh khỏi vướng mắc trong thực tế quản lý, điều hành chung.

Tham khảo quy định tại một số quốc gia trên thế giới, tại các quốc gia phát triển thì hầu hết xác định dịch vụ hoa tiêu không vì mục tiêu lợi nhuận và các tổ chức hoa tiêu có ngành nghề chủ yếu chỉ chuyên thực hiện dịch vụ HTHH, thu giá dịch vụ và được tự quyết định các khoản đầu tư của mình. Mặc dù loại hình tổ chức hoa tiêu trên thế giới tương đối đa dạng nhưng có thể tạm thời phân chia mô hình HTHH theo các hình thái tổ chức chủ yếu như sau:

2.2.1. Mô hình thị trường tự do, cho phép cạnh tranh trực tiếp giữa các tổ chức hoa tiêu

Hiện chỉ có Đan Mạch triển khai mô hình này, từ năm 2014 đến nay Đan Mạch cho phép tư nhân được thành lập tổ chức hoa tiêu (doanh nghiệp cung cấp dịch vụ HTHH) cạnh tranh trực tiếp với công ty hoa tiêu thuộc sở hữu nhà nước trong các vùng hoa tiêu bắt buộc (cạnh tranh kể cả tại tuyến dẫn tàu vào, rời các cảng trong nội địa lẫn eo biển Oresund hay các tuyến dẫn tàu ven biển của Đan Mạch) và cho phép trong một vùng hoa tiêu bắt buộc hay một tuyến dẫn tàu có cả hoa tiêu nhà nước lẫn tư nhân cùng hoạt động nhằm khuyến khích thị trường tự do cạnh tranh, tăng chất lượng dịch vụ, giảm chi phí hoa tiêu; chủ tàu được quyền chọn đơn vị cung cấp dịch vụ hoa tiêu. Nhà nước quản lý, giám sát về chất lượng, giá dịch vụ và bảo đảm môi trường để duy trì cạnh tranh lành mạnh theo Luật Cạnh tranh, đáp ứng yêu cầu an toàn.

2.2.2. Mô hình quản lý tập trung, giao tuyến dẫn tàu độc lập cho mỗi tổ chức và không cho phép cạnh tranh trực tiếp giữa các tổ chức hoa tiêu

- Hình thức Nhà nước cung cấp dịch vụ công HTHH:

Điển hình như tại Canada, Bộ Giao thông vận tải chịu trách nhiệm quản lý nhà nước lĩnh vực GTVT (trong đó có hoạt động HTHH), trên cơ sở đó Bộ thành lập 4 tổ chức hoa tiêu trực thuộc hoạt động độc lập tại các khu vực khác nhau (gồm: Atlantic Pilotage Authority, Laurentian Pilotage Authority, Great Lakes Pilotage Authority, Pacific Pilotage Authority) nhằm cung cấp dịch vụ HTHH cho khu vực phụ trách, thu phí hoa tiêu theo quy định và Bộ GTVT còn ủy quyền cho mỗi tổ chức hoa tiêu được thực hiện một số quyền thuộc chức năng quản lý nhà nước như: Ban hành các quy định cụ thể về hoạt động hoa tiêu cho khu vực được giao điều hành, cung cấp dịch vụ; cấp phép đăng ký dịch vụ hoa tiêu; tổ chức thi kiểm tra, cấp giấy phép và giấy chứng nhận cho hoa tiêu; quản lý, giám sát trực tiếp hoạt động

của các HTHH.

Ngoài ra, Singapore có hình thức tổ chức cơ bản tương đồng khi phần lớn hoa tiêu là nhân viên của cơ quan hàng hải và cảng Singapore (MPA) hoặc các công ty trực thuộc gián tiếp MPA, hoạt động dưới sự kiểm soát chặt chẽ của MPA và tổ chức cung cấp dịch vụ hoa tiêu chính tại hầu hết các cảng, vùng nước thuộc Singapore (cảng container, khu neo đậu, vùng nước phía Đông Johor Strait, eo biển Singapore) hay như tại Bỉ, đơn vị nhà nước là cơ quan dịch vụ hàng hải và bờ biển Bỉ (MDK) cung cấp dịch vụ hoa tiêu cho các cảng lớn và hoa tiêu là nhân sự trực thuộc MDK hoặc do MDK thuê, ký hợp đồng...

- Hình thức các nghiệp đoàn hay hiệp hội nghề HTHH cung cấp dịch vụ:

Theo đó, Nhà nước phân chia vùng nước nội địa, tuyến ven biển, vùng nước ngoài khơi thành nhiều tuyến dẫn tàu hay nhiều vùng hoa tiêu bắt buộc và mỗi tuyến dẫn tàu chỉ giao một tổ chức hoa tiêu hoạt động. Tổ chức hoa tiêu được thành lập theo mô hình hợp tác xã hay nghiệp đoàn hoặc hiệp hội nghề chỉ chuyên thực hiện dịch vụ về HTHH và hoạt động dưới sự kiểm tra, giám sát của Nhà nước. Điển hình theo hình thức tổ chức này là Nhật Bản, Hiệp hội Hoa tiêu Nhật Bản (JPA) là tổ chức duy nhất cung cấp dịch vụ hoa tiêu trên toàn quốc và tại mỗi khu vực dẫn tàu (Vịnh Tokyo, biển nội địa Seto, Cảng Hakodate...). JPA thành lập một chi nhánh trực thuộc hoạt động độc lập với các nhiệm vụ chính là đào tạo hoa tiêu, cung cấp dịch vụ HTHH hay như tại Pháp, tổ chức hoa tiêu theo mô hình hợp tác xã nghề nghiệp, mỗi tổ chức đảm nhiệm một khu vực, ví dụ: Hoa tiêu Bordeaux phụ trách sông Gironde và cảng Bordeaux, Hoa tiêu Le Havre phụ trách khu vực cảng Le Havre và vùng nước lân cận.

Tại Đức, mỗi hiệp hội hoa tiêu đảm nhiệm một khu vực, ví dụ: Hiệp hội Hoa tiêu Elbe phụ trách sông Elbe và cảng Hamburg, Hiệp hội Hoa tiêu Weser/Jade phụ trách sông Weser và cảng Bremen/Bremerhaven. Tại Malaysia, Hiệp hội Hoa tiêu Malaysia thực hiện trách nhiệm tổ chức điều phối cung cấp dịch vụ hoa tiêu chung trong phạm vi toàn quốc (Hiệp hội sẽ cử người lãnh đạo hoa tiêu khu vực) và trực tiếp điều hành, cung cấp hoa tiêu tại các cảng lớn như: Cảng Klang, cảng Penang, cảng Johor, cảng Tanjung Pelepas, cảng Kuantan - Sabah - Sarawak và eo biển Malacca (tại các cảng nhỏ hay cảng thủy nội địa quy mô nhỏ của tư nhân, Cục Hàng hải Malaysia có thể cấp phép cho tổ chức hoa tiêu khác ngoài Hiệp hội Hoa tiêu dẫn tàu)...

- Các hình thức hỗn hợp khác:

Một số nước như Singapore, Bỉ kết hợp giữa hình thức quản lý tập trung với phân cấp một số dịch vụ hoa tiêu tư nhân giới hạn nhưng quy định chia tách rõ ràng khu vực trách nhiệm dẫn tàu cho mỗi chủ thể và không cho phép cạnh tranh trực tiếp giữa 2 tổ chức hoa tiêu trong cùng vùng hoặc tuyến dẫn tàu. Ví dụ, Bỉ phân quyền quản lý hàng hải giữa chính phủ liên bang và các vùng (Flanders, Wallonia), với Flanders cơ quan dịch vụ hàng hải và bờ biển Flanders (MDK) được Chính phủ Flanders ủy quyền độc quyền cho dẫn tàu ngoài âu tàu tại các tuyến hàng hải chính là khu vực bao gồm các cảng Antwerp, Zeebrugge, Ghent, Ostend, cũng như sông Scheldt và vùng ven biển Biển Bắc. Còn đơn vị tư nhân như Brabo Dock Pilots được phép hoạt động trong phạm vi giới hạn trong khu vực bến cảng nội địa sau âu tàu tại Antwerp, không cạnh tranh trực tiếp với MDK mà bổ sung dịch vụ trong phạm vi giới hạn, tạo ra sự phân chia rõ ràng trên cùng tuyến dẫn tàu để tăng tính linh hoạt.

Hay quy định của Singapore cho phép doanh nghiệp khai thác

bến cảng dầu được sử dụng hoa tiêu nội bộ (hoa tiêu được Nhà nước kiểm tra, cấp phép hoạt động) dẫn tàu trong giới hạn phạm vi vùng nước bến dầu của họ hoặc như tại Ấn Độ, các doanh nghiệp khai thác cảng lớn được phép liên kết thành lập tổ chức hoa tiêu để cung ứng dịch vụ hoa tiêu cho tàu vào rời cảng của chính họ và được thu giá hoa tiêu theo quy định. Tại Trung Quốc, mỗi cảng biển lớn như tại Thượng Hải, Thiên Tân, Quảng Châu, Thẩm Quyển, Ninh Ba - Chu Sơn..., có một tổ chức hoa tiêu trực thuộc chính quyền địa phương cung cấp dịch vụ HTHH.

2.3. Một số quy định liên quan khác

Ngoài quy định về loại hình hoạt động HTHH, quy định liên quan khác về cỡ tàu áp dụng chế độ hoa tiêu bắt buộc của các quốc gia là rất đa dạng, phụ thuộc vào điều kiện địa lý, tính chất đặc thù vùng hoa tiêu bắt buộc của mỗi khu vực và quốc tịch tàu để mỗi nước ban hành quy định áp dụng cho từng loại tàu khác nhau (tàu hàng, tàu dầu, tàu hóa chất...) hay quy định về áp dụng chế độ hoa tiêu bắt buộc được phân chia theo giới hạn dung tích GT của tàu (Việt Nam, Ấn Độ, Singapore...) hay theo chiều dài lớn nhất của tàu (Đức, Pháp, Ý, Hà Lan, Anh, Canada, Úc...), theo trọng tải của tàu (Pháp, Ý, Canada, Nhật Bản, Malaysia...) hoặc theo giới hạn môn nước của tàu (Bỉ, Đan Mạch...).

Ngoài ra, nhiều nước có quy định chặt chẽ hơn Việt Nam về yêu cầu kiểm tra sức khỏe định kỳ cho hoa tiêu, về tuổi hoa tiêu và số ngày, giờ làm việc tối đa trong năm của hoa tiêu; yêu cầu về kinh nghiệm đi biển và chương trình, thời gian, hình thức (mô phỏng - thực hành) đào tạo hoa tiêu; thực tập, thi và cấp giấy chứng nhận hoa tiêu; phương tiện, trang thiết bị phục vụ hoa tiêu và trong các quy định thể hiện sự định hướng rõ ràng chất lượng dịch vụ hoa tiêu phải được đảm bảo thông qua các tiêu chuẩn đào tạo, thi xét duyệt lên hạng nghiêm ngặt và kiểm tra, giám sát chặt chẽ của Nhà nước, chất lượng dịch vụ không dựa trên cạnh tranh thị trường (trừ Đan Mạch).

Hầu hết các nước có quy định tổ chức hoa tiêu định kỳ báo cáo, giải trình mức chi phí cấu thành đơn giá dịch vụ hoa tiêu trình bộ, ngành chủ quản xem xét, giám sát để tránh lạm thu, đảm bảo tính minh bạch. Hơn nữa, một số nước như Mỹ, Úc, Bỉ, Trung Quốc đang xúc tiến nghiên cứu, xây dựng dự thảo quy định tích hợp hoa tiêu dẫn tàu từ xa (remote pilotage) để chuẩn bị cơ sở pháp lý hỗ trợ dẫn tàu thể hệ tàu tự động điều khiển hay bán tự động trong tương lai hoặc chủ động ứng phó khi có dịch bệnh hay trong điều kiện thời tiết khắc nghiệt, có khả năng gây mất an toàn cho hoa tiêu khi lên, xuống tàu.

3. KẾT LUẬN, KIẾN NGHỊ

HTHH là ngành nghề đặc thù, đòi hỏi tính chuyên môn cao, có ảnh hưởng to lớn đến an toàn khai thác tàu, khai thác cảng nên dịch vụ HTHH cần thiết là dịch vụ công, không có cạnh tranh giữa các tổ chức hoa tiêu trên một tuyến dẫn tàu nhằm loại bỏ áp lực thương mại và chủ động ứng phó, cung cấp dịch vụ hiệu quả, kịp thời trường hợp có chiến tranh, dịch bệnh nguy hiểm. Mặt khác, về chi phí dịch vụ HTHH có thể xem xét, xác định được cấu thành từ hai thành tố: Phí hoa tiêu (phí đặc quyền thu của Nhà nước) và giá hoa tiêu (mức chi phí cấu thành đơn giá dịch vụ hoa tiêu của doanh nghiệp) nhằm tăng tính chủ động cho tổ chức hoa tiêu trong công tác đào tạo, tuyển dụng, mua sắm thiết bị, phương tiện thủy hiện đại phục vụ HTHH.

Mặt khác, cần xem xét quy định mô hình tổ chức hoa tiêu theo hướng là doanh nghiệp có ngành nghề chủ yếu thực hiện dịch vụ

HTHH, tránh để doanh nghiệp hoạt động trái ngành (doanh nghiệp có ngành nghề không chủ yếu đầu tư, kinh doanh trong lĩnh vực hàng hải) cung cấp dịch vụ HTHH để thuận lợi trong quản lý rủi ro và tối ưu hóa hiệu quả, chất lượng hoa tiêu. Hơn nữa, nghiên cứu này góp phần đánh giá, kiến nghị sửa đổi Bộ luật Hàng hải Việt Nam năm 2015 và Nghị định 70/2016/NĐ-CP của Chính phủ nhằm làm rõ quy định liên quan đến mục đích sử dụng HTHH; cụ thể hóa loại hình doanh nghiệp HTHH, bổ sung một số quy định khung liên quan đến cung cấp dịch vụ dẫn tàu từ xa nhằm đáp ứng xu thế phát triển các thể hệ tàu tự động điều khiển trong tương lai và ứng phó hiệu quả với tình huống bất khả kháng (thiên tai, dịch bệnh)..., qua đó góp phần nghiên cứu, hoàn thiện pháp luật hàng hải Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Uğurlu Ö, Yildirim U, Başar E. 2015b, Analysis of ground-ing accidents caused by human error, J Mar Sci Technol. 23:748-760.
- [2]. ISPO (2015), International Standard for Maritime Pilot Organiza-tions. [cited 2015 May 3], Available from: <http://www.ispo-standard.com>.
- [3]. IMPA (2015), Pilot organisation. [cited 2015 Nov 12], Available from: <http://www.bshl.de>.
- [4]. EMPA (2015), Recommendations on a Uniform Recruitment for Maritime Pilots. [cited 2015 Dec 15], Available from: <http://www.empa-pilots.eu/our-views/recommendations/a-uniform-recruitment-for-maritime-pilots>.
- [5]. Bruno K, Lützhöft M. (2009), Shore-based pilotage: pilot or autopilot? Piloting as a control problem. J Navig, 62: 427-437.
- [6]. Drouin P, Heath R. (2009), The pilotage paradigm. [cited 2015 Dec 25], Available from: http://www.safeship.ca/uploads/3/2/0/1/3201205/pilotage_paradigm_drouin_heath.pdf.
- [7]. Nam Kyu Park and Sang Cheol Sun, Tendency toward Mega Containerships and the Constraints of Container Terminals.
- [8]. Pháp luật liên quan đến HTHH của các nước và thông tin trên ấn phẩm của: Marine Insight, Alphaliner, Clarksons Research, Ship Technogogy, Lloyd's List.
- [9]. Lê Văn Thúc (2025), Nghiên cứu, đánh giá an toàn và khả năng tiếp nhận tàu 250.000 DWT của cảng biển khu vực Cái Mép, tỉnh Bà Rịa - Vũng tàu, Tạp chí Xây dựng, tháng 3.
- [10]. Lê Văn Thúc (2023), Nghiên cứu, kiến nghị Mô hình phát triển cảng trung chuyển quốc tế tại khu bến Cái Mép, tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu, Tạp chí Khoa học công nghệ GTVT, tập 12, số 4, tr.8-14.
- [11]. Lê Văn Thúc, Đồng Xuân Vương, Phạm Thị Duyên Anh (2023), Research and propose solutions to form and develop smart ports at Vungtau Seaport, STAIS 2023, pp.315-324.
- [12]. Lê Văn Thúc, Phạm Thị Duyên Anh, Đặng Xuân Kiên, Study and Evaluation of the Use of Portable Pilot Units by Maritime Pilots and Propose Solutions for Managing and Guidance on the Use of PPU at Vietnamese Seaports, OCCOE 2024, pp.468-478.

Nghiên cứu đánh giá an toàn công trình đường sắt trong quá trình khai thác

Research on safety assessment of railway structures in operation

> **KS HOÀNG PHỐ ÁNH**

Công ty Cổ phần Tư vấn đầu tư và Xây dựng GTVT

Email: hoangphoanh@gmail.com

TÓM TẮT

An toàn công trình đường sắt là một trong những yếu tố quyết định đến hiệu quả vận hành, độ tin cậy và tính bền vững của hệ thống giao thông vận tải đường sắt. Bài báo nghiên cứu, phân tích khung pháp lý, kinh nghiệm quốc tế và thực tiễn tại Việt Nam trong công tác đánh giá an toàn công trình đường sắt trong quá trình khai thác. Trên cơ sở đó, bài báo đề xuất phương pháp đánh giá an toàn chịu lực công trình đường sắt nhằm nâng cao mức độ an toàn công trình đường sắt tại Việt Nam.

Từ khóa: An toàn đường sắt; công trình đường sắt; quản lý rủi ro; SMS; kiểm định; khai thác.

ABSTRACT

The safety of railway structures is one of the decisive factors for the operational efficiency, reliability and sustainability of the railway transportation system. This paper studies and analyzes the legal framework, international experience and practical application in Vietnam regarding the assessment of railway structure safety in operation. On this basis, the paper proposes methods for evaluating the structural safety of railway facilities in order to enhance their safety levels in Vietnam.

Keywords: Railway safety; railway structures; risk management; SMS; inspection; operation.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đường sắt là loại hình vận tải có lịch sử lâu đời, giữ vai trò quan trọng trong phát triển kinh tế - xã hội của nhiều quốc gia. So với các loại hình vận tải khác, đường sắt có ưu điểm vượt trội về an toàn, khả năng chuyên chở khối lượng lớn, ổn định và thân thiện môi trường. Tuy nhiên, để đảm bảo an toàn khai thác lâu dài, công trình đường sắt (ray, phụ kiện liên kết ray, tà vẹt, đá ballast, nền đường) cần được đánh giá, kiểm tra định kỳ và theo dõi liên tục.

Ở các quốc gia có hệ thống đường sắt phát triển, khung pháp lý, tiêu chuẩn kỹ thuật và hệ thống quản lý an toàn đã hình thành từ nhiều thập kỷ, đảm bảo quá trình đánh giá an toàn xuyên suốt vòng đời dự án. Trong khi đó, tại Việt Nam, công tác đánh giá an toàn công trình đường sắt mới được quan tâm trong thời gian gần đây, gắn với các dự án đường sắt đô thị và định hướng phát triển đường sắt tốc độ cao.

2. TỔNG QUAN VỀ ĐÁNH GIÁ AN TOÀN CÔNG TRÌNH ĐƯỜNG SẮT

2.1. Kinh nghiệm quốc tế

Liên minh châu Âu (EU) đã ban hành Chỉ thị An toàn Đường sắt 2004/49/EC (sau này được thay thế bởi Chỉ thị 2016/798/EU) [1] buộc các doanh nghiệp đường sắt phải thiết lập hệ thống quản lý an toàn (SMS) và xin Giấy chứng nhận an toàn từ Cơ quan An toàn

quốc gia. Tại Đức, chỉ thị EU được nội luật hóa qua Luật Đường sắt (AEG) và các quy định của Cục Đường sắt Liên bang (EBA). Hệ thống tiêu chuẩn kỹ thuật DIN (ví dụ bộ tiêu chuẩn DIN 27200 [2] về an toàn phương tiện đường sắt) cùng các quy chuẩn của EBA và hướng dẫn của Deutsche Bahn tạo thành bộ quy tắc thực hành được thừa nhận. EBA chịu trách nhiệm giám sát an toàn, cấp chứng nhận an toàn cho doanh nghiệp đường sắt và phê duyệt đưa vào vận hành các hệ thống, phương tiện mới.

Ở Nhật Bản, sau tai nạn nghiêm trọng năm 2005, Luật Kinh doanh Đường sắt [3] đã được sửa đổi để thiết lập chế độ hệ thống quản lý an toàn đường sắt bắt buộc. Các doanh nghiệp vận tải đường sắt phải xây dựng quy định quản lý an toàn, bổ nhiệm cán bộ phụ trách an toàn cấp cao và báo cáo định kỳ cho cơ quan quản lý. Sửa đổi này cũng yêu cầu lắp đặt bổ sung thiết bị bảo vệ tàu tự động (ATS) trên các đoạn đường cong nguy hiểm, thể hiện phản ứng pháp lý quyết liệt sau bài học tai nạn. Tại Hàn Quốc, Luật An toàn Đường sắt [4] và nghị định hướng dẫn quy định chi tiết về hệ thống quản lý an toàn, tiêu chuẩn kỹ thuật và chế tài xử phạt vi phạm. Bộ Đất đai, Cơ sở hạ tầng và Giao thông Hàn Quốc (MOLIT) ban hành Tiêu chuẩn kỹ thuật hệ thống quản lý an toàn đường sắt làm căn cứ để kiểm tra, phê duyệt việc thực thi SMS của các doanh nghiệp đường sắt.

Ở Hoa Kỳ, khung pháp lý tập trung vào các quy chuẩn liên

bang do Cục Đường sắt Liên bang (FRA) ban hành, quy định chi tiết về tiêu chuẩn đường ray, đầu máy toa xe, vận hành, tín hiệu... (ví dụ: Tiêu chuẩn an toàn cầu đường sắt 49 CFR Part 237 [5] yêu cầu mọi cầu đường sắt phải được kiểm tra ít nhất mỗi năm một lần). Gần đây, Mỹ cũng bổ sung cách tiếp cận hệ thống: Luật Rail Safety Improvement Act 2008 [6] yêu cầu triển khai Hệ thống an toàn tích hợp (PTC) để tự động phòng ngừa tai nạn và chương trình Risk Reduction Program (RRP) đòi hỏi các công ty đường sắt lớn phân tích rủi ro và giảm thiểu nguy cơ tai nạn một cách chủ động.

2.2. Thực tiễn tại Việt Nam

Tại Việt Nam, công tác đảm bảo và đánh giá an toàn cho công trình đường sắt bước đầu đã được quan tâm nhưng nhìn chung còn nhiều hạn chế so với thông lệ quốc tế. Khung pháp lý và tiêu chuẩn kỹ thuật trong nước: Bộ Giao thông vận tải (nay là Bộ xây dựng) đã ban hành Thông tư 31/2018/TT-BGTVT ngày 15/5/2018 [7] quy định về thực hiện đánh giá, chứng nhận an toàn hệ thống đối với đường sắt đô thị. Thông tư này và các sửa đổi bổ sung sau đó (năm 2020) được hợp nhất trong Văn bản 15/VBHN-BGTVT năm 2021 [8]. Nội dung thông tư xác định quy trình, thủ tục để thẩm định hồ sơ an toàn, thuê tư vấn độc lập đánh giá an toàn và cấp Giấy chứng nhận thẩm định hồ sơ an toàn hệ thống đường sắt đô thị.

Về an toàn kết cấu hạ tầng đường sắt quốc gia, Bộ Giao thông vận tải (nay là Bộ xây dựng) cũng ban hành Thông tư 03/2021/TT-BGTVT [9] quy định về quản lý, bảo trì kết cấu hạ tầng đường sắt quốc gia. Theo khoản 1 Điều 10 thông tư này, công trình đường sắt có quy mô lớn, kỹ thuật phức tạp ảnh hưởng đến an toàn công trình theo quy định của pháp luật về quản lý chất lượng và bảo trì công trình xây dựng phải được tổ chức đánh giá an toàn chịu lực và an toàn vận hành công trình đường sắt trong quá trình khai thác, sử dụng theo định kỳ hoặc đột xuất. Quy định này giao trách nhiệm cho doanh nghiệp kinh doanh kết cấu hạ tầng đường sắt (hiện nay là Tổng công ty Đường sắt Việt Nam - VNR và các công ty cổ phần đường sắt trực thuộc) theo dõi tình trạng công trình, đề xuất kế hoạch đánh giá an toàn và gửi Cục Đường sắt Việt Nam phê duyệt, tổ chức thực hiện. Đây là một bước tiến quan trọng, bởi trước năm 2021, pháp luật chưa có yêu cầu cụ thể về việc đánh giá định kỳ an toàn kết cấu công trình đường sắt sau khi đưa vào sử dụng.

Ngoài ra, Việt Nam có hệ thống Tiêu chuẩn, Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia (TCVN/QCVN) liên quan đến thiết kế và khai thác đường sắt. Ví dụ, QCVN 08:2018/BGTVT [10] Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về khai thác đường sắt, TCVN 11793-2017 về đường sắt khổ 1.000 mm yêu cầu thiết kế tuyến... Luật Đường sắt 2025 [11] là nền tảng pháp lý chính cho lĩnh vực đường sắt. Luật này đã bổ sung một số quy định mới liên quan đến an toàn. Đáng chú ý, Điều 52 Luật Đường sắt 2025 quy định đường sắt tốc độ cao, đường sắt cấp I, đường sắt đô thị xây dựng mới hoặc nâng cấp trước khi đưa vào khai thác phải được đánh giá, chứng nhận an toàn hệ thống. Ngoài ra, Luật yêu cầu chủ đầu tư dự án phải lựa chọn đơn vị tư vấn độc lập với các đơn vị tư vấn dự án, nhà thầu thi công xây dựng, cung cấp thiết bị của dự án để tổ chức đánh giá, chứng nhận an toàn hệ thống. Đây là lần đầu tiên khái niệm SMS được đưa vào luật tại Việt Nam, thể hiện bước tiến tiệm cận thông lệ quốc tế.

Tuy nhiên, nhìn chung tiêu chuẩn an toàn chuyên biệt đặc biệt về an toàn hệ thống công trình đường sắt còn thiếu. Việc thiếu tiêu chuẩn nội địa khiến các chủ đầu tư phải dựa vào tư vấn quốc tế và tiêu chuẩn ngoại khi đánh giá an toàn, dẫn đến phụ thuộc và khó chủ động.

3. ĐÁNH GIÁ AN TOÀN CHỊU LỰC CÔNG TRÌNH ĐƯỜNG SẮT

Đánh giá tính an toàn của các thiết bị đường ray là đánh giá

xem các bộ phận như ray, phụ kiện liên kết ray, tà vẹt, nền đường có đá ballast, ghi... có được lắp đặt an toàn và các phương tiện di chuyển có thể chạy an toàn hay không.

3.1. Đánh giá an toàn công trình bao gồm: Chẩn đoán độ chính xác và đánh giá hiệu suất sử dụng

- Chẩn đoán độ chính xác: Để cập đến công tác điều tra và phát hiện các khuyết tật trong kết cấu các công trình đường sắt, đồng thời đề xuất các phương pháp như sửa chữa và gia cố kịp thời để ngăn ngừa tai nạn. Chẩn đoán độ chính xác bao gồm các khiếm khuyết về vật lý và chức năng trong các bộ phận đường ray như ray, ốc vít, tà vẹt, đá ballast và ghi, bao gồm các vết nứt, hư hỏng bề mặt, mài mòn, biến dạng đường ray, tình trạng, hư hỏng vật liệu, trọng tải tàu tích lũy, lực cản ngang của đá ballast, bụi và đây là hoạt động để xuất các phương pháp sửa chữa, gia cố... nhằm phát hiện các yếu tố rủi ro và có hành động kịp thời, thích hợp để khắc phục chúng.

- Đánh giá hiệu suất sử dụng (đánh giá chất lượng): Đường ray là đề cập đến công tác đánh giá toàn diện về chất lượng của đường ray, chẳng hạn như an toàn cấu trúc, độ bền và tính năng sử dụng, để duy trì chức năng của đường. Đánh giá hiệu suất sử dụng: Là giai đoạn trong đó độ bền và khả năng sử dụng được xem xét dựa trên chẩn đoán chính xác về kết cấu hạ tầng đường ray. Độ bền, sự thoải mái khi đi tàu và việc bảo trì được thực hiện theo sự thay đổi lão hóa trong môi trường muối, trọng tải tàu chạy qua, cường độ bê tông và độ sâu cacbonat hóa cũng như tốc độ tàu. Trọng tâm là xác định các ưu tiên để bảo trì bằng cách đánh giá toàn diện hiệu suất của những người tiên phong được nghiên cứu bằng cách đánh giá khả năng sử dụng, chẳng hạn như thời gian.

3.2. Khoảng thời gian đánh giá

Đánh giá độ chính xác và đánh giá hiệu suất sử dụng dựa vào mức độ an toàn. Các cấp độ an toàn được phân thành các loại từ A đến E.

Bảng 1. Thời gian thực hiện chẩn đoán độ chính xác và đánh giá chất lượng

Cấp an toàn	Kiểm tra định kỳ	Chẩn đoán độ chính xác	Đánh giá chất lượng
Cấp A	1 năm 1 lần	6 năm 1 lần	5 năm 1 lần
Cấp B, C		5 năm 1 lần	
Cấp D, E		4 năm 1 lần	

3.3. Khu vực đánh giá

Chia khu vực đánh giá thành các khu vực:

a) Khu vực thường

- Đối tượng đánh giá: Đường ray, phụ kiện liên kết, tà vẹt, đá ballast, nền đường.

- Phân đoạn đánh giá: 100 m (có thể điều chỉnh nếu cần).

- Phương pháp đánh giá: Tính toán phân đoạn đánh giá bằng cách thu thập kết quả đánh giá theo từng lĩnh vực (đường ray, phụ kiện liên kết, tà vẹt, đá ballast, nền đường).

b) Khu vực ghi

- Đối tượng đánh giá: Các phần cấu tạo ghi, đường ray, phụ kiện liên kết, tà vẹt, đá ballast, nền đường tại ghi.

- Phân đoạn đánh giá: Theo kích thước của bộ ghi.

- Phương pháp đánh giá: Đánh giá theo mẫu của ghi.

c) Phạm vi thực hiện chẩn đoán độ chính xác và đánh giá hiệu suất sử dụng

Phạm vi chẩn đoán độ chính xác của đường ray và đánh giá hiệu suất sử dụng được phân loại thành các thiết bị đường ray như ray, phụ kiện liên kết ray, tà vẹt, đá ballast, nền đường và ghi.

Các danh mục nhỏ bao gồm ray, mối nối ray, phụ kiện liên kết ray, tà vẹt gỗ, tà vẹt bê tông, đá ballast, nền đường, ghi.

Ngoài ra, các hạng mục cần điều tra bao gồm các vết nứt, khuyết tật hàn, hư hỏng bề mặt, hư hỏng mối nối của ray thường, mài mòn, sai lệch đường ray, trọng tải đoàn tàu chạy qua và độ thẳng của mối hàn. Độ mài mòn, đánh bóng tương ứng với độ bền, trọng tải tàu chạy qua, sự thoải mái khi đi tàu tương ứng với loại đường ray và khả năng sử dụng, trở ngại vận hành đường ray do đường sắt gây ra, an toàn lái tàu và đánh giá hành vi đường ray...

Bảng 2. Các chi tiết cần chẩn đoán độ chính xác và đánh giá chất lượng

Mục chính	Mục chung		Mục nhỏ	Mục phân loại chi tiết
Thiết bị đường ray	Khu vực thường	Ray	Ray	Ray
			Mối nối ray	Mối nối ray
		Phụ kiện liên kết ray	Phụ kiện liên kết ray	Phụ kiện liên kết ray
			Tà vẹt gỗ	Tà vẹt gỗ
		Tà vẹt	Tà vẹt bê tông hai khối	Tà vẹt bê tông hai khối
			Tà vẹt bê tông dự ứng lực	Tà vẹt bê tông dự ứng lực
	Khu vực ghi ray	Nền đường	Nền đường có đá ballast	Nền đường có đá ballast
		Ghi	Phần ghi của đường ray có đá ballast	Tà vẹt gỗ Tà vẹt bê tông

3.4. Xác định hạng mục khảo sát và phương pháp khảo sát đối với các bộ phận đường ray

Gồm có: Ray; mối nối ray; phụ kiện liên kết; tà vẹt; đá ballast; ghi.

3.5. Đánh giá từng hạng mục chi tiết

- Đánh giá tính an toàn: Tính an toàn để cập đến khả năng ngăn ngừa thương vong và thiệt hại và tổn thất của các công trình đường sắt theo yêu cầu của các công trình đường sắt.

Bảng 3. Cấp đánh giá tính an toàn

Cấp	Nội dung đánh giá	Tiêu chuẩn
A	Rất tốt	Tình trạng đường ray không có nguy hiểm như lỗi thẩm mỹ, hư hỏng hoặc nguy cơ sụp đổ.
B	Tốt	Tình trạng đường ray trong đó các khuyết tật nhỏ được tìm thấy ở một số bộ phận và linh kiện, và tiến trình của các khuyết tật phải được theo dõi liên tục và phải tiến hành sửa chữa.
C	Bình thường	Tình trạng đường ray cần được sửa chữa đơn giản khi phát hiện khuyết tật trong phạm vi rộng ở các bộ phận, linh kiện nhưng không gây trở ngại cho sự an toàn của toàn bộ thiết bị đường sắt.
D	Xấu	Tình trạng đường ray yêu cầu sửa chữa và gia cố khẩn cấp cho những khuyết tật nghiêm trọng và một số hạn chế sử dụng.
E	Rất xấu	Cấm sử dụng ngay lập tức và tăng cường hoặc thay thế các thiết bị đường sắt có nguy cơ an toàn do khuyết tật nghiêm trọng.

- Đánh giá độ bền:

Độ bền để cập đến chất lượng của các công trình đường sắt để duy trì các chức năng cần thiết trong suốt thời gian sử dụng của các công trình đường sắt. Đánh giá độ bền là đánh giá chất lượng của các công trình để chống lại những hư hỏng có thể xảy ra do thay đổi tính chất vật liệu, do thời gian sử dụng các công trình đường sắt và điều kiện môi trường bên ngoài dựa theo các tiêu chí sau.

Bảng 4. Cấp đánh giá độ bền

Cấp	Nội dung đánh giá	Tiêu chuẩn
A	Rất tốt	Công trình đường sắt thấp có khả năng giảm độ bền do điều kiện môi trường bên ngoài.
B	Tốt	Một số thành phần, linh kiện phát hiện giảm độ bền, phải xem xét các điều kiện như môi trường bên ngoài để quyết định có sửa chữa hay không.
C	Bình thường	Công trình đường sắt cần được sửa chữa đơn giản bằng cách tiến hành ở mức độ cần chú ý hoặc khi phát hiện độ bền giảm ở nhiều bộ phận, phụ tùng.
D	Xấu	Công trình đường sắt yêu cầu sửa chữa và gia cố khẩn cấp do độ bền kém của nhiều bộ phận và phụ tùng.
E	Rất xấu	Độ bền của nhiều bộ phận bị suy giảm nghiêm trọng, nên bị cấm sử dụng ngay lập tức và cần phải gia cố hoặc thay thế.

- Đánh giá khả năng sử dụng:

Khả năng sử dụng để cập đến sự thuận tiện và chức năng phù hợp về mặt sử dụng các công trình đường sắt. Đánh giá khả năng sử dụng là đánh giá hiệu quả hoạt động của công trình đường sắt nhằm thỏa mãn sự thuận tiện cho người sử dụng được đảm bảo trong suốt thời gian sử dụng và mục đích sử dụng dựa trên các tiêu chuẩn thiết kế tại thời điểm lập quy hoạch, có xét đến nhu cầu của công trình đường sắt trong tương lai theo các tiêu chí sau.

Bảng 5. Cấp đánh giá khả năng sử dụng

Cấp	Nội dung đánh giá	Tiêu chuẩn
A	Rất tốt	Có thể đáp ứng nhu cầu hiện tại và đáp ứng nhu cầu trong tương lai và những thay đổi bên ngoài.
B	Tốt	Cần chú ý và quan sát mức độ đáp ứng nhu cầu hiện tại, nhu cầu trong tương lai và những thay đổi trong điều kiện bên ngoài.
C	Bình thường	Cần cải thiện do một số vấn đề về chức năng hoặc sự thuận tiện của người dùng đối với nhu cầu trong tương lai và những thay đổi bên ngoài.
D	Xấu	Cần cải thiện trên phạm vi rộng vì hầu hết các chức năng không đáp ứng được các chức năng yêu cầu hoặc đáng lo ngại nghiêm trọng về tiện ích vận hành và sử dụng.
E	Rất xấu	Mức hiệu suất đòi hỏi phải cải thiện hoặc cải tiến bởi vì tính năng hoạt động hoặc sử dụng tiện lợi không thể mong đợi.

- Đánh giá chất lượng toàn diện:

Đánh giá chất lượng toàn diện được đưa ra theo phân loại trong bảng dưới đây sau khi xem xét đánh giá từng hạng mục chi tiết.

Bảng 6. Cấp đánh giá chất lượng toàn diện

Chỉ số đánh giá chất lượng (E)	Cấp	Nội dung đánh giá	Tiêu chuẩn
4,5<E<5,0	A	Rất tốt	Có thể thích ứng với những thay đổi của điều kiện môi trường bên ngoài, khả năng bị suy giảm độ bền thấp và không có hư hỏng hay khuyết tật bên ngoài.
3,5<E<4,5	B	Tốt	Phải được theo dõi liên tục và công tác sửa chữa được thực hiện khi phát hiện khuyết tật nhỏ ở một số bộ phận, phụ tùng, độ bền có khả năng bị suy giảm.
2,5<E<3,5	C	Bình thường	Khả năng xảy ra lỗi hoặc độ bền kém ở nhiều bộ phận, phụ tùng và một số vấn đề về chức năng hoặc sự thuận tiện khi sử dụng, nhưng không có trở ngại nào đối với sự an toàn của toàn công trình và mức chất lượng chỉ cần sửa chữa hoặc gia cố đơn giản.
1,5<E<2,5	D	Xấu	Cần phải sửa chữa, gia cố hoặc cải tiến khẩn cấp ở mức độ gặp khó khăn trong việc sử dụng do chất lượng không đáp ứng tiêu chuẩn.
1,0<E<1,5	E	Rất xấu	Phải ngừng sử dụng ngay lập tức, tăng cường hoặc cải tạo do các khiếm khuyết nghiêm trọng hoặc độ bền kém.

3.6. Quy trình thực hiện đánh giá hiệu suất sử dụng

- Tính toán chỉ số đánh giá hiệu suất và mức đánh giá hiệu suất sử dụng cho các công trình riêng lẻ;
- Phân tích kết quả;
- Đánh giá toàn diện;
- Đề xuất chiến lược bảo trì;
- Kết luận chung.

4. KẾT LUẬN

Đánh giá an toàn công trình đường sắt trong quá trình khai thác là nhiệm vụ phức tạp, đòi hỏi sự phối hợp của nhiều yếu tố: Khung pháp lý, tiêu chuẩn kỹ thuật, công nghệ kiểm định, năng lực con người và văn hóa an toàn.

Việt Nam đã có những bước tiến quan trọng, nhưng còn khoảng cách lớn so với chuẩn mực quốc tế. Việc học hỏi kinh nghiệm từ Nhật Bản, Hàn Quốc, châu Âu và Hoa Kỳ là cần thiết. Việc thiết lập hệ thống đánh giá an toàn bài bản, ứng dụng công nghệ hiện đại và xây dựng văn hóa an toàn sẽ là “chìa khóa” để đảm bảo sự phát triển bền vững, hiệu quả và an toàn cho hệ thống đường sắt Việt Nam.

Bài báo trình bày việc đánh giá an toàn các bộ phận đường sắt riêng lẻ được phân loại thành từng hạng mục an toàn, độ bền và khả năng sử dụng và kết quả đánh giá được ghi lại. Chỉ số đánh giá chất lượng và cấp đánh giá chất lượng được chỉ định bằng cách phản ánh mức độ quan trọng. Tầm quan trọng được sử dụng trong đánh giá hiệu suất để cập đến mức độ ảnh hưởng đến việc cung cấp dịch vụ của công trình và được xác định bằng quy trình phân tích thứ bậc (Analytic Hierarchy Process, AHP). Tầm quan trọng của việc

sử dụng trong các hạng mục riêng lẻ được xác định bằng phương pháp phân tích AHP thông qua các chuyên gia được chọn từ các cơ sở quản lý. Việc đánh giá chất lượng toàn diện kết cấu đường ray nhằm đề xuất chiến lược bảo trì phù hợp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Directive (EU) 2016/798 of the European Parliament and of the Council of 11 May 2016 on railway safety (recast) (Text with EEA relevance).

[2]. DIN 27200, State of railway vehicles - Principles and terms for safe state of operation.

[3]. Luật số 92 năm 1986 của Nhật Bản, Luật Kinh doanh Đường sắt.

[4]. Luật số 7245 năm 2024 của Hàn Quốc, Luật An toàn Đường sắt.

[5]. Part 237-Bridge safety standards, 2010.

[6]. Rail Safety Improvement Act of 2008 (RSIA), United States Department of Transportation.

[7]. Thông tư số 31/2018/TT-BGTVT ngày 15/5/2018 của Bộ GTVT (quy định về thực hiện đánh giá, chứng nhận an toàn hệ thống đối với đường sắt đô thị).

[8]. Thông tư số 15/VBHN/BGTVT ngày 17/8/2021 của Bộ GTVT Quy định về thực hiện đánh giá, chứng nhận an toàn hệ thống đối với đường sắt đô thị.

[9]. Thông tư số 03/2021/TT-BGTVT của Bộ GTVT ngày 08/02/2021 Quy định về quản lý, bảo trì kết cấu hạ tầng đường sắt quốc gia.

[10]. QCVN 08:2018/BGTVT, Quy chuẩn Kỹ thuật quốc gia về khai thác đường sắt.

[11]. Luật Đường sắt 2025, Quốc hội Việt Nam.

Nghiên cứu lan truyền ô nhiễm không khí do hoạt động dòng xe tại nút giao Giảng Võ - Láng Hạ - Đề La Thành

Investigation of air pollution diffusion caused by traffic activities at the intersection of Giang Vo - Lang Ha - De La Thanh

> THS NGUYỄN LAN ANH, TS VŨ PHƯƠNG THẢO*

Trường Đại học Giao thông vận tải

*Email: vpthao@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Hoạt động giao thông vận tải, bao gồm ô tô, xe máy và các phương tiện sử dụng nhiên liệu hóa thạch là nguồn phát thải đáng kể các chất ô nhiễm không khí như CO, NO_x, SO₂, VOC và bụi. Các chất này không chỉ gây tác động tiêu cực đến sức khỏe con người mà còn góp phần thúc đẩy quá trình nóng lên toàn cầu và biến đổi khí hậu. Nút giao Giảng Võ - Láng Hạ - Đề La Thành là nơi tập trung mật độ giao thông cao, thường xuyên xảy ra hiện tượng ùn tắc, dừng đỗ kéo dài, khiến lượng khí thải từ phương tiện tăng đột biến so với các đoạn đường thông thường. Để hiểu rõ hơn về mức độ lan truyền của các chất này trong không gian, nghiên cứu này áp dụng mô hình Sutton - một mô hình khuếch tán Gaussian đơn giản nhưng hiệu quả, cho phép ước lượng nồng độ chất ô nhiễm theo khoảng cách từ nguồn phát thải để mô phỏng phân bố nồng độ ô nhiễm không khí tại nút giao Giảng Võ - Láng Hạ - Đề La Thành, làm cơ sở cho việc đánh giá rủi ro môi trường và đề xuất giải pháp giảm thiểu.

Từ khóa: Ô nhiễm không khí; lan truyền ô nhiễm; nút giao thông đô thị; mô hình Sutton.

ABSTRACT

Transportation activities, including automobiles, motorcycles, and other fossil fuel-powered vehicles, represent a significant source of air pollutant emissions such as CO, NO_x, SO₂, VOCs, and particulate matter. These pollutants not only pose serious risks to human health but also contribute to global warming and climate change. The Giang Vo - Lang Ha - De La Thanh intersection is characterized by high traffic density and frequent congestion, where prolonged idling and stop-and-go conditions result in a sharp increase in vehicle emissions compared to regular road segments. To better understand the spatial spread of these substances, this study applies the Sutton model - a simple but effective Gaussian diffusion model - to estimate to estimate pollutant concentrations as a function of distance from the emission source. The model is applied to simulate the spatial distribution of air pollutants at the Giang Vo - Lang Ha - De La Thanh intersection, providing a basis for environmental risk assessment and the formulation of mitigation strategies.

Keywords: Air pollution; pollution diffusion; intersection; Sutton model.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh đô thị hóa nhanh chóng và số lượng phương tiện cơ giới không ngừng gia tăng, các nút giao thông đô thị đang trở thành những "điểm nóng" không chỉ về giao thông mà còn về môi trường không khí. Nút giao Giảng Võ - Láng Hạ - Đề La Thành là một trong những điểm giao cắt quan trọng tại Thủ đô Hà Nội. Nút giao này nằm ở phía Tây của trung tâm Hà Nội, đây là điểm giao cắt giữa ba tuyến đường huyết mạch, đóng vai trò quan trọng

trong việc kết nối các quận trung tâm với các khu vực ngoại thành và các tuyến giao thông liên vùng. Đây là khu vực giáp ranh của hai phường lớn của Thành phố, bao gồm phường Giảng Võ mới và phường Láng mới.

Xung quanh nút giao là các khu dân cư đông đúc với nhiều chung cư cao tầng mới, rất nhiều tòa nhà tập thể cũ được xây dựng từ những năm 1980 (khu tập thể Thành Công, khu tập thể Giảng Võ, khu tập thể Láng Hạ...), các khu chợ sầm uất, nhiều trường học,

bệnh viện, siêu thị và các tòa nhà văn phòng, các hoạt động thương mại sôi động khiến cho nhu cầu đi lại và vận chuyển hàng hóa lớn, từ đó tạo ra lượng người tham gia giao thông rất lớn. Nút giao này từ lâu đã trở thành điểm nóng về ùn tắc giao thông, làm gia tăng nồng độ các chất ô nhiễm trong không khí như CO, NO_x, SO₂, VOC và bụi... [1] gây ảnh hưởng tiêu cực đến sức khỏe người tham gia giao thông và người dân sinh sống tại các khu vực lân cận [2, 3].

Để đánh giá nồng độ các chất ô nhiễm và mô phỏng sự lan truyền của các chất này từ tìm đường ra môi trường xung quanh do hoạt động giao thông trên các tuyến phố, nhóm nghiên cứu lựa chọn mô hình Sutton [4] - là một dạng cải biên của mô hình khuếch tán Gaussian để phù hợp hơn với điều kiện thực, đặc biệt trong khu vực gần nguồn phát thải và các nguồn đường, nguồn thấp gần mặt đất giúp mô tả hệ số khuếch tán biến đổi theo cả khoảng cách và dùng phần mềm Excel như một công cụ mô phỏng lan truyền ô nhiễm theo mô hình Sutton, từ đó làm cơ sở để hiểu rõ mức độ ảnh hưởng của giao thông đối với chất lượng không khí trong các khu vực khác nhau, đặc biệt tại các thành phố lớn và các trục đường chính, xây dựng các chiến lược và giải pháp nhằm giảm thiểu ô nhiễm giúp bảo vệ môi trường.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

* Khu vực nghiên cứu: Nút giao thông Giảng Võ - Láng Hạ - Đê La Thành.

* Thu thập dữ liệu đầu vào:

- Lưu lượng phương tiện theo giờ, thành phần phương tiện;
- Hệ số thải lượng ô nhiễm không khí (g/km) của các phương tiện giao thông;
- Thông số khí tượng tại thời điểm khảo sát (tốc độ gió, hướng gió...).

* Ứng dụng mô hình Sutton để xác định nồng độ các chất ô nhiễm:

Dựa vào mô hình cải biên của Sutton, có thể xác định nồng độ các chất ô nhiễm trung bình ở một điểm bất kỳ trong không khí do nguồn đường phát thải liên tục theo công thức sau:

$$C = 0,8E \left\{ \exp \left[\frac{-(z+h)^2}{2\sigma_z^2} \right] + \exp \left[\frac{-(z-h)^2}{2\sigma_z^2} \right] \right\} \frac{1}{\sigma_z u}$$

Trong đó:

C - Nồng độ chất ô nhiễm trong không khí (mg/m³);

E - Thải lượng chất ô nhiễm trên một đơn vị chiều dài trong một đơn vị thời gian, hay còn gọi là công suất nguồn thải (mg/m.s).

$$E = \sum_{i=1}^K \frac{N_i G_i}{3600}$$

z - Độ cao của điểm tính (m);

σ_z - Hệ số khuếch tán theo phương z (m) là hàm số của khoảng

cách x theo phương gió thổi;

u - Tốc độ gió trung bình (m/s);

h - Độ cao của mặt đường so với mặt đất xung quanh (m);

N_i - Số lượng phương tiện thứ i trong 1 giờ (xe/h);

K - Số lượng loại xe;

G_i - Lượng khí thải của loại xe thứ i thải ra trên 1 km tính theo hệ số ô nhiễm không khí đối với các loại xe.

Trị số hệ số khuếch tán ô nhiễm σ_z theo phương đứng z trong trường hợp nguồn đường giao thông, trị số này được xác định theo công thức Slade (1968) [5] với độ ổn định khí quyển loại "B" có dạng sau đây:

$$\sigma_z = 0,53 x^{0,73}$$

Trong đó:

x - Khoảng cách (toạ độ) của điểm tính so với nguồn thải theo phương gió thổi.

* Sử dụng phần mềm Excel như một công cụ mô phỏng lan truyền ô nhiễm theo mô hình Sutton.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Thống kê lưu lượng các phương tiện giao thông đi qua nút giao

Do số lượng phương tiện di chuyển qua khu vực nút giao rất nhiều nên để thuận tiện cho việc khảo sát, nhóm nghiên cứu đã chia ngã tư thành 12 hướng đếm xe, bao gồm hướng đi thẳng, rẽ trái và rẽ phải của 4 nhánh tuyến (Giảng Võ, Láng Hạ, Đê La Thành chiều đi Ô Chợ Dừa, Đê La Thành chiều đi Cầu Giấy), sau đó sẽ được tổng hợp thành hai chiều lưu thông chính là Đê La Thành và Giảng Võ - Láng Hạ. Do các tuyến đường quanh khu vực nút giao này hạn chế các loại xe tải trọng nặng theo khung giờ trong ngày nên phương tiện giao thông được phân loại khảo sát bao gồm các loại xe ô tô con, xe máy, xe tải trọng nhẹ, xe buýt và xe khách. Thời gian khảo sát vào các khung giờ cao điểm trong 3 ngày, sáng từ 7h - 8h30 và chiều từ 16h30 - 18h30 tùy ngày, mỗi ca đếm thời gian 60 phút.

Tại các vị trí đếm xe, việc ghi nhận số lượng phương tiện được thực hiện bằng cách sử dụng camera điện thoại ghi lại hiện trạng giao thông. Sau đó, các clip ghi hình sẽ được chuyển về kiểm đếm theo loại phương tiện, dữ liệu kiểm đếm sẽ được thực hiện trong phòng làm việc.

Sau đó, kết quả khảo sát các phương tiện giao thông khu vực nút giao được quy đổi sang nhóm rút gọn để tính phát thải, thể hiện ở Bảng 1 và Bảng 2.

Bảng 1. Số lượt xe trung bình giờ cao điểm sáng theo các chiều chuyển động

Chiều chuyển động	Số lượt xe trung bình (xe/h) giờ cao điểm sáng			
	Xe con	Xe tải <3,5 tấn	Xe buýt, xe khách	Xe máy
Lưu thông trên đường Đê La Thành	468,0	4,67	26,7	9891,7
Lưu thông trên đường Giảng Võ - Láng Hạ	1434,7	11,67	113,7	13846,7

Bảng 2. Số lượt xe trung bình giờ cao điểm chiều theo các chiều chuyển động

Chiều chuyển động	Số lượt xe trung bình (xe/h) giờ cao điểm sáng			
	Xe con	Xe tải <3,5 tấn	Xe buýt, xe khách	Xe máy
Lưu thông trên đường Đê La Thành	354,0	18,0	21,0	11015
Lưu thông trên đường Giảng Võ - Láng Hạ	1247,3	34,00	93,67	13713,7

3.2. Hệ số thải lượng ô nhiễm không khí của các phương tiện giao thông

Hệ số thải lượng ô nhiễm không khí của các loại phương tiện giao thông cơ giới đường bộ được xác định theo tài liệu của Tổ chức Y tế Thế giới WHO (1993) [6] như Bảng 3.

Bảng 3. Hệ số thải lượng ô nhiễm không khí của các loại phương tiện giao thông

TT	Loại xe	Đơn vị (U)	Bụi TSP (kg/U)	SO ₂ (kg/U)	NO _x (kg/U)	CO (kg/U)	VOC (kg/U)
Nguồn			WHO	WHO	WHO	WHO	EEA
1	Xe tải						
	Xe tải < 3,5 tấn	1.000 km	0,2	1,16S	0,7	1	0,15
	Xe tải 3,5 - 16 tấn	1.000 km	0,9	4,29S	11,8	6,0	2,6
	Xe tải > 16 tấn	1.000 km	1,6	7,26S	18,2	7,3	5,8
2	Xe ô tô có bộ xúc tác 3 chức năng có điều khiển						
	Động cơ < 1.400cc	1.000 km	0,07	1,61S	0,2	1,71	0,24
	Động cơ 1.400 - 2.000cc	1.000 km	0,07	1,94S	0,25	1,49	0,19
	Động cơ > 2.000cc	1.000 km	0,07	2,23S	0,25	1,49	0,19
3	Xe buýt						
		1.000 km	1,4	6,6S	16,5	6,6	5,3
4	Xe máy						
	Động cơ < 50cc, 2 kỳ	1.000 km	0,12	0,36S	0,05	10	6
	Động cơ > 50cc, 2 kỳ	1.000 km	0,12	0,6S	0,08	22	15
	Động cơ > 50cc, 4 kỳ	1.000 km	-	0,76S	0,3	20	3

Trong đó: S - Hàm lượng lưu huỳnh trong nhiên liệu giả thiết là 0,5%.

3.3. Thông số khí tượng

Các thông số khí tượng đầu vào cho mô hình tính bao gồm tốc độ gió và hướng gió. Tốc độ gió ảnh hưởng tới quá trình lan truyền của chất ô nhiễm tới các khu vực xung quanh nguồn đường. Theo QCVN 02:2009/BXD [7], tương ứng với tháng thực hiện khảo sát tốc độ gió = 2,1 m/s. Giả thiết hướng gió luôn nằm ngang và không thay đổi tại các vị trí.

3.4. Dữ liệu địa hình

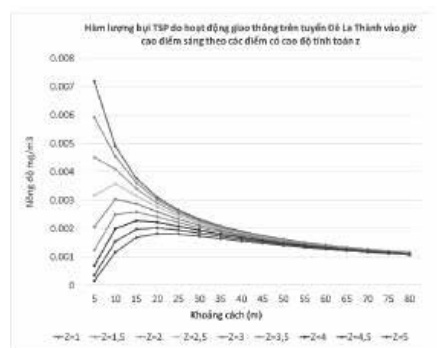
Địa hình khu vực có liên quan đến tốc độ phát tán chất ô nhiễm trong môi trường không khí. Độ cao của mặt đường so với mặt đất xung quanh khu vực nút giao Giảng Võ - Láng Hạ - Đê La Thành được tính trung bình với giá trị $h = 0,5$ m.

3.5. Các thông số ô nhiễm tính toán

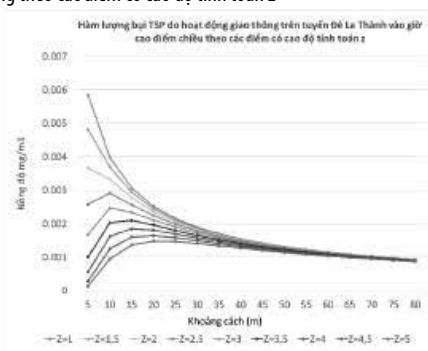
Bài báo lựa chọn các thông số chính được tính toán để đánh giá mức độ lan truyền ô nhiễm trong không khí do hoạt động giao thông tại khu vực nút giao Giảng Võ - Láng Hạ - Đê La Thành là tổng lượng bụi lơ lửng TSP, khí SO₂, CO, NO_x.

3.6. Kết quả tính toán từ mô hình

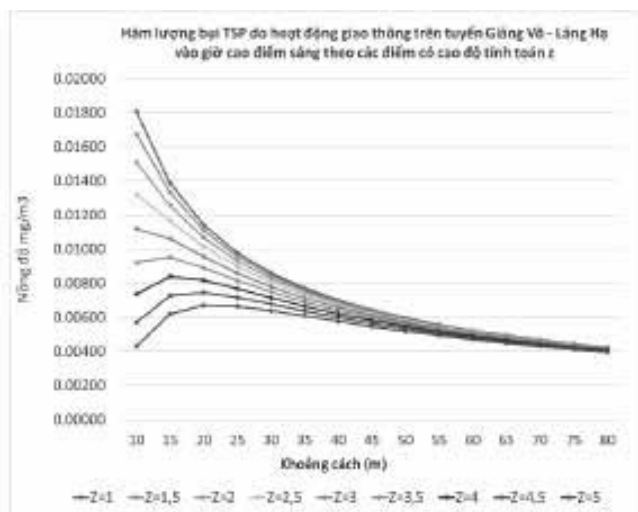
Để mô tả việc lan truyền của các chất ô nhiễm trong không khí, nồng độ các chất ô nhiễm sẽ được tính toán với độ cao của điểm tính z từ 1 m đến 5 m, biến thiên mỗi khoảng 0,5 m. Với khoảng cách x để xét đến ảnh hưởng tới khu dân cư hai bên đường, tuyến Giảng Võ - Láng Hạ sẽ được tính với các khoảng cách 10 m từ tim đường, tuyến Đê La Thành được tính bắt đầu từ 5 m do mặt cắt ngang có chiều rộng nhỏ hơn.



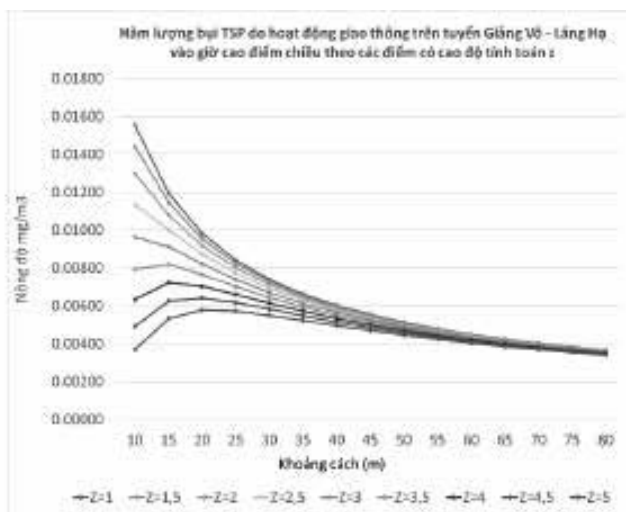
Hình 1. Hàm lượng bụi TSP do hoạt động giao thông trên tuyến Đê La Thành vào giờ cao điểm sáng theo các điểm có cao độ tính toán z



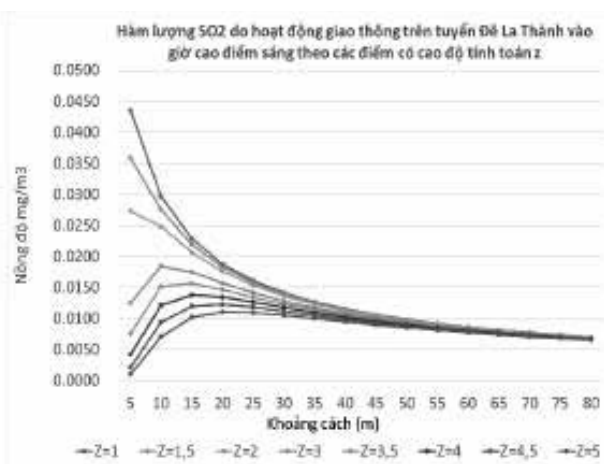
Hình 2. Hàm lượng bụi TSP do hoạt động giao thông trên tuyến Đê La Thành vào giờ cao điểm chiều theo các điểm có cao độ tính toán z



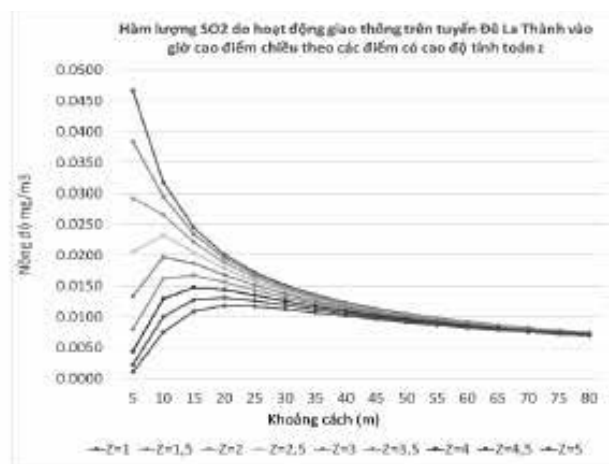
Hình 3. Hàm lượng bụi TSP do hoạt động giao thông trên tuyến Giăng Võ - Láng Hạ vào giờ cao điểm sáng theo các điểm có cao độ tính toán z



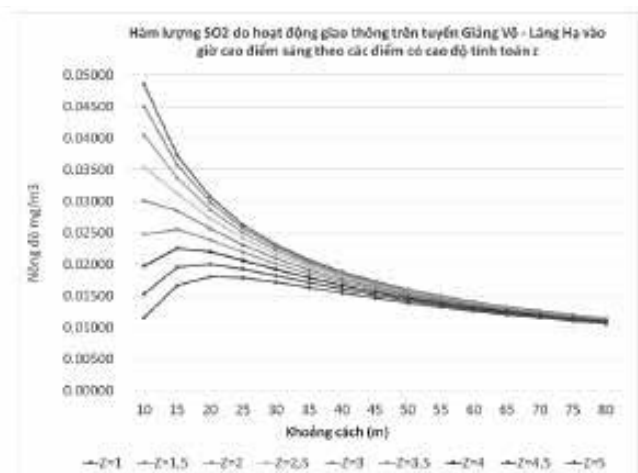
Hình 4. Hàm lượng bụi TSP do hoạt động giao thông trên tuyến Giăng Võ - Láng Hạ vào giờ cao điểm chiều theo các điểm có cao độ tính toán z



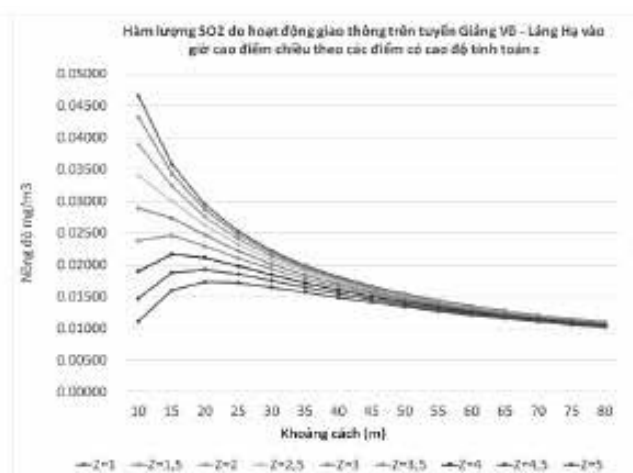
Hình 5. Hàm lượng SO_2 do hoạt động giao thông trên tuyến Đê La Thành vào giờ cao điểm sáng theo các điểm có cao độ tính toán z



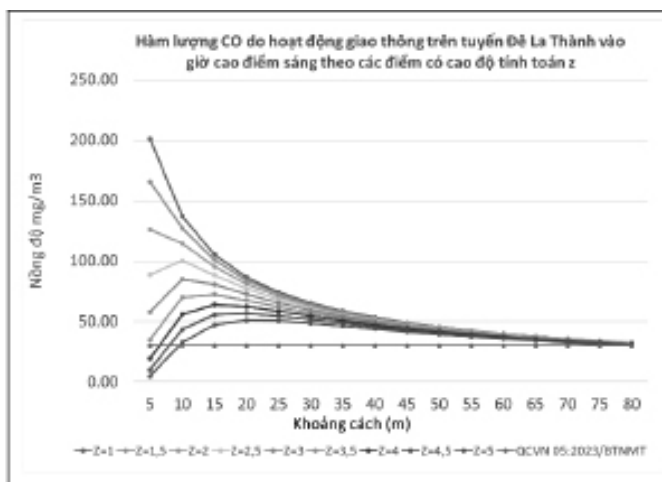
Hình 6. Hàm lượng SO_2 do hoạt động giao thông trên tuyến Đê La Thành vào giờ cao điểm chiều theo các điểm có cao độ tính toán z



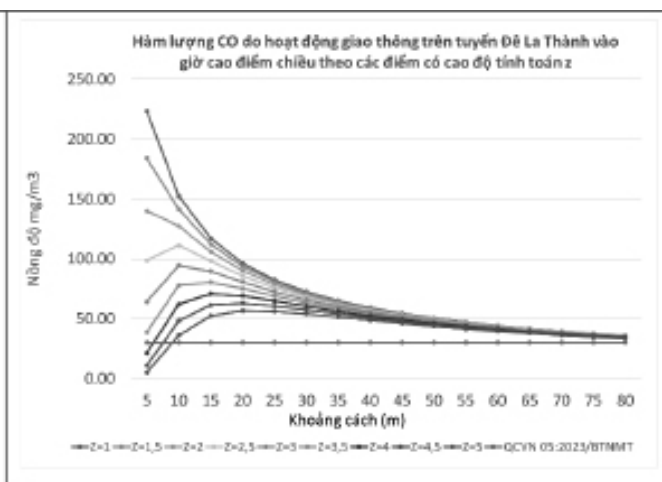
Hình 7. Hàm lượng SO_2 do hoạt động giao thông trên tuyến Giăng Võ - Láng Hạ vào giờ cao điểm sáng theo các điểm có cao độ tính toán z



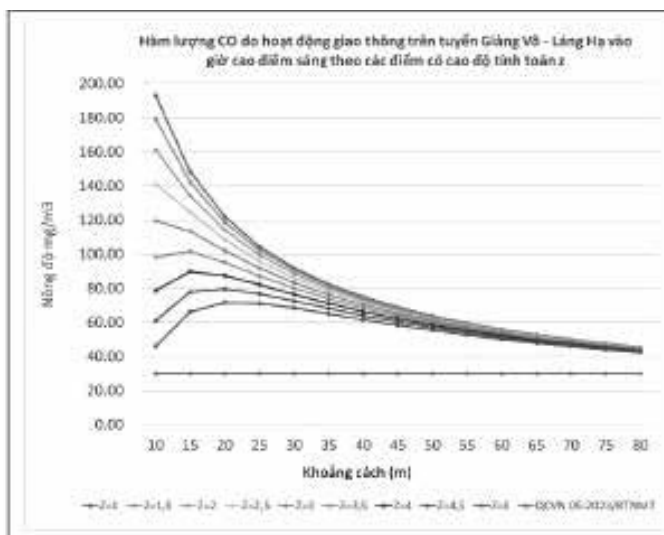
Hình 8. Hàm lượng SO_2 do hoạt động giao thông trên tuyến Giăng Võ - Láng Hạ vào giờ cao điểm chiều theo các điểm có cao độ tính toán z



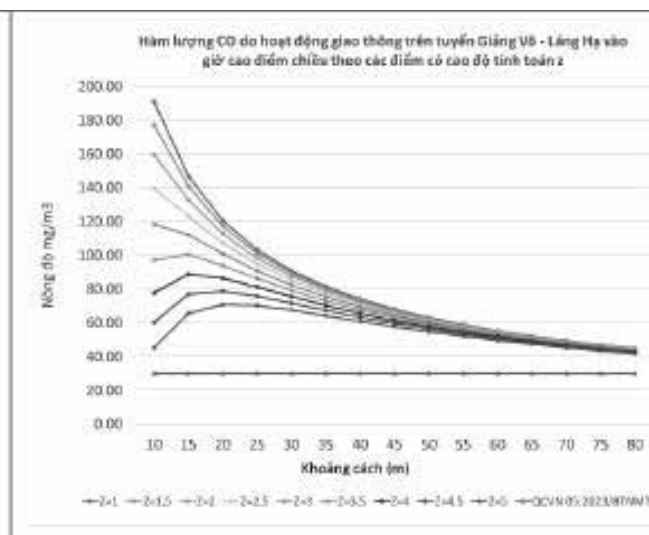
Hình 9. Hàm lượng CO do hoạt động giao thông trên tuyến Đê La Thành vào giờ cao điểm sáng theo các điểm có cao độ tính toán z



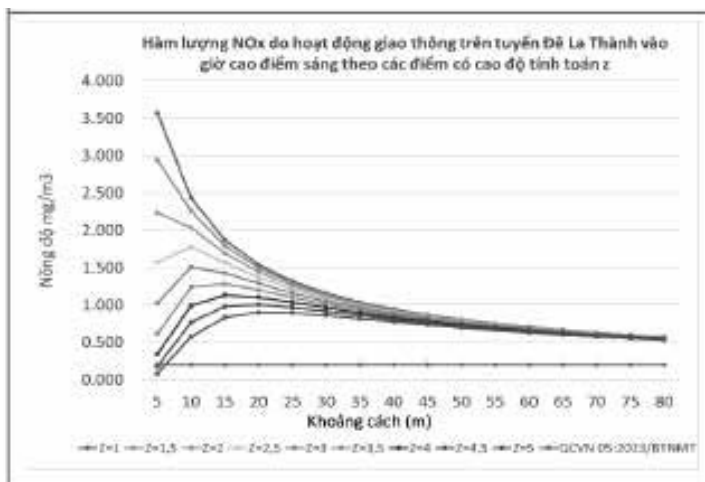
Hình 10. Hàm lượng CO do hoạt động giao thông trên tuyến Đê La Thành vào giờ cao điểm chiều theo các điểm có cao độ tính toán z



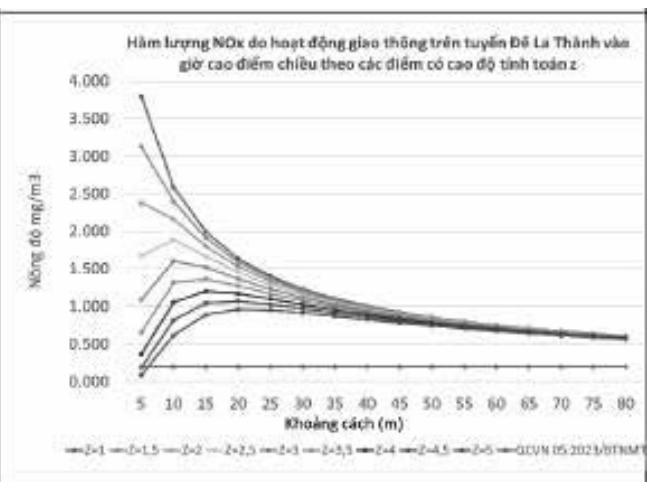
Hình 11. Hàm lượng CO do hoạt động giao thông trên tuyến Giảng Võ - Láng Hạ vào giờ cao điểm sáng theo các điểm có cao độ tính toán z



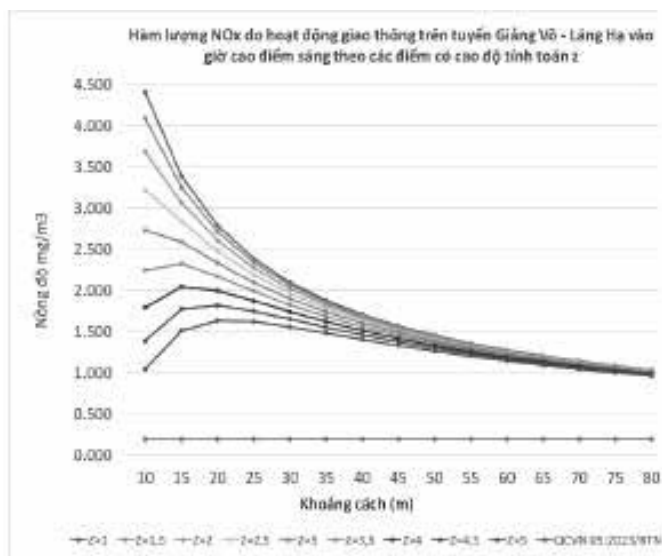
Hình 12. Hàm lượng CO do hoạt động giao thông trên tuyến Giảng Võ - Láng Hạ vào giờ cao điểm chiều theo các điểm có cao độ tính toán z



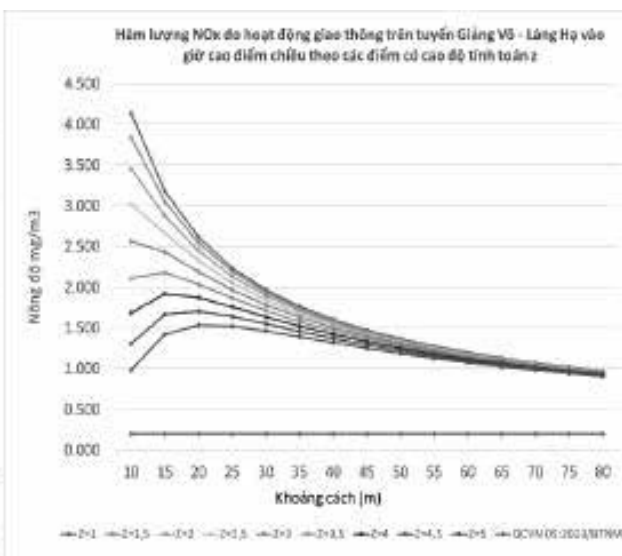
Hình 13. Hàm lượng NO_x do hoạt động giao thông trên tuyến Đê La Thành vào giờ cao điểm sáng theo các điểm có cao độ tính toán z



Hình 14. Hàm lượng NO_x do hoạt động giao thông trên tuyến Đê La Thành vào giờ cao điểm chiều theo các điểm có cao độ tính toán z



Hình 15. Hàm lượng NO_x do hoạt động giao thông trên tuyến Giăng Võ - Láng Hạ vào giờ cao điểm sáng theo các điểm có cao độ tính toán z



Hình 16. Hàm lượng NO_x do hoạt động giao thông trên tuyến Giăng Võ - Láng Hạ vào giờ cao điểm chiều theo các điểm có cao độ tính toán z

So sánh với giá trị giới hạn tối đa các thông số cơ bản trong không khí xung quanh của QCVN 05:2023/BTNMT (trung bình 1 giờ) [8], kết quả tính toán theo mô hình ở các chiều chuyển động khu vực nút giao Giăng Võ - Láng Hạ - Đề La Thành cho thấy nồng độ tổng bụi lơ lửng TSP và nồng độ SO_2 đều thấp hơn giá trị cho phép nhiều, tuy nhiên nồng độ các chất ô nhiễm như CO và NOx lại vượt quá giá trị cho phép rất nhiều lần.

Cụ thể, nồng độ bụi TSP cực đại ở khung giờ cao điểm sáng và chiều đối với tuyến Đề La Thành (Hình 1 và Hình 2) là 0,0072 mg/Nm^3 và 0,0058 mg/Nm^3 ($1 \text{ mg}/\text{m}^3 = 1 \text{ mg}/\text{Nm}^3$), nồng độ bụi TSP cực đại ở khung giờ cao điểm sáng và chiều đối với tuyến Giăng Võ - Láng Hạ (Hình 3 và Hình 4) là 0,0181 mg/Nm^3 và 0,0155 mg/Nm^3 , thấp hơn giá trị quy định trong quy chuẩn 0,3 mg/Nm^3 . Tương tự, nồng độ SO_2 cực đại ở khung giờ cao điểm sáng và chiều đối với tuyến Đề La Thành (Hình 5 và Hình 6) là 0,0435 mg/Nm^3 và 0,0466 mg/Nm^3 , nồng độ SO_2 cực đại ở khung giờ cao điểm sáng và chiều đối với tuyến Giăng Võ - Láng Hạ (Hình 7 và Hình 8) là 0,0485 mg/Nm^3 và 0,0466 mg/Nm^3 , thấp hơn giá trị quy định trong quy chuẩn 0,35 mg/Nm^3 .

Ngược lại, nồng độ CO cực đại tại cả hai chiều lưu thông trên các tuyến Đề La Thành và Giăng Võ - Láng Hạ trong các khung giờ cao điểm sáng (Hình 9 và Hình 11) và chiều (Hình 10 và Hình 12) đều vượt quá giới hạn cho phép hơn 6 lần. Đồng thời, phần lớn các vị trí tính toán trên các tuyến này cũng ghi nhận giá trị nồng độ CO cao hơn quy chuẩn, đặc biệt tuyến Giăng Võ - Láng Hạ có nồng độ CO nhỏ nhất ở khung giờ cao điểm sáng và chiều là 42,32 mg/Nm^3 và 41,86 với khoảng cách xa 80 m đều cao hơn giá trị quy định 30 mg/Nm^3 .

Đối với nồng độ NOx kết quả tính toán thể hiện xu hướng tương tự, khi nồng độ cực đại tại cả hai chiều lưu thông trên các tuyến nêu trên trong giờ cao điểm sáng (Hình 13 và Hình 15) và chiều (Hình 14 và Hình 16) đều vượt quá giới hạn cho phép hơn 17 lần và hầu hết các điểm tính đều có giá trị vượt ngưỡng quy định.

4. KẾT LUẬN

Kết quả mô phỏng cho thấy sự phân bố nồng độ ô nhiễm thay

đổi rõ rệt theo khoảng cách và độ cao, phản ánh đặc trưng khuếch tán trong khí quyển. So sánh với QCVN 05:2023/BTNMT, nồng độ bụi TSP và SO_2 nằm trong giới hạn cho phép, trong khi nồng độ CO và NOx tại nút giao Giăng Võ - Láng Hạ - Đề La Thành vượt quy chuẩn nhiều lần, đặc biệt trong giờ cao điểm, cho thấy nguy cơ ô nhiễm không khí nghiêm trọng tại khu vực này.

Các kết quả này cũng đồng thời cho thấy hoạt động giao thông đang góp phần đáng kể vào tình trạng ô nhiễm không khí, từ đó cung cấp cơ sở quan trọng để phân tích nguyên nhân và đề xuất các biện pháp kiểm soát phát thải trong thời gian tới.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Giao thông vận tải trong Đề tài mã số T2025-CT-019. Xin chân thành cảm ơn Trường Đại học Giao thông vận tải đã hỗ trợ nhóm tác giả thực hiện đề tài này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Hans Orru et al (2017), The Interplay of Climate Change and Air Pollution on Health, Current Environmental Health Reports 4(5), DOI:10.1007/s40572-017-0168-6.
- [2]. Patrick Miner et al (2024), Car harm: A global review of automobility's harm to people and the environment, Journal of Transport Geography, vol.115, 103817, <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2024.103817>.
- [3]. Marinella Giunta (2020), Assessment of the Impact of CO, NOx and PM10 on Air Quality during Road Construction and Operation Phases, MDPI Sustainability, DOI:10.3390/su122410549.
- [4]. Sutton, O. G. (1953), Micrometeorology: A Study of Physical Processes in the Lowest Layers of the Earth's Atmosphere, McGraw-Hill Book Company, New York.
- [5]. Slade, D. H. (Ed.), Meteorology and Atomic Energy 1968, U.S. Atomic Energy Commission, Division of Technical Information, Germantown, Maryland.
- [6]. World Health Organization (WHO) (1993), Motor Vehicle Air Pollution: Public Health Impact and Control Measures, WHO/PEP/GET/NET/93.1-A World Health Organization, Geneva.
- [7]. QCVN 02:2009/BXD (2009), Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về Số liệu điều kiện tự nhiên dùng trong xây dựng.
- [8]. QCVN 05:2023/BTNMT (2023), Quy chuẩn Kỹ thuật quốc gia về Chất lượng không khí.

Effect of polymer additives on mechanical properties of high-strength mortar for marine structures

Ảnh hưởng của phụ gia polymer đến một số tính chất cơ học của vữa cường độ cao cho công trình biển

> NGUYEN SY DUC¹, DINH NGOC TRUNG¹, LE HUY VIET^{1,2}, NGO XUAN HUNG^{1,*}

¹Department of Civil Engineering, Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

²Geotechnical Engineering, Construction Materials and Sustainability Research group, Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

*Corresponding author, Email: ngoxuanhung@humg.edu.vn

ABSTRACT

This study evaluates the effect of polymer additives on the mechanical properties of high-strength modified mortar (HPMM), with the aim of using it as a protective layer for reinforced concrete in a marine environment. The research utilized a redispersible polymer powder (RDP) at contents ranging from 1% to 10% and a latex emulsion at a content of 5% by mass of cement, in mortar with a water-to-cement (w/c) ratio of 0.2. The conducted experiments included evaluating the flowability, compressive strength, flexural strength, and corrosion resistance in a saltwater environment (Cl⁻ ions, 3.5% NaCl solution). The results showed that as the RDP content increased from 1% to 10%, the flowability was in the range of 11.0 to 16.0 cm, while the compressive strength varied from 74.67 MPa to 81.78 MPa and the flexural strength ranged from 17.68 MPa to 19.99 MPa, showing no clear trend. The bulk density gradually changed from 2066 kg/m³ to 2238 kg/m³. The HPMM with RDP produced higher compressive and flexural strengths than that with latex. Notably, the polymer-modified mortar layer demonstrated superior protective capabilities, significantly reducing rebar corrosion. The study proposes that polymer-modified mortar is an effective and economical solution for protecting concrete marine structures, contributing to extending the service life of Vietnam's coastal infrastructure.

Keywords: Corrosion protection, high-strength modified mortar, marine structures, mechanical properties, polymer additives.

TÓM TẮT

Nghiên cứu này đánh giá ảnh hưởng của phụ gia polymer đến một số đặc trưng cơ học của vữa biến tính cường độ cao (HPMM), nhằm ứng dụng làm lớp bảo vệ cho bê tông cốt thép trong môi trường biển. Sử dụng polymer dạng khô tái phân tán (Redispersible Polymer Powder - RDP) với hàm lượng từ 1% đến 10% so với khối lượng xi măng và dạng latex với hàm lượng 5% trong vữa có tỷ lệ nước/xi măng (N/X) = 0.2. Các thí nghiệm được thực hiện bao gồm đánh giá độ chảy xè, cường độ nén, cường độ uốn và khả năng chống ăn mòn trong môi trường nước mặn (ion Cl⁻, dung dịch 3.5% NaCl). Kết quả cho thấy, khi tăng hàm lượng RDP từ 1% đến 10%, độ chảy xè của vữa dao động từ 11.0 đến 16.0 cm, trong khi cường độ nén dao động từ 74.67 MPa đến 81.78 MPa và cường độ uốn từ 17.68 MPa đến 19.99 MPa, không có xu hướng biến thiên rõ rệt. Vữa cường độ cao sử dụng RDP đạt cường độ chịu nén và uốn cao hơn hẳn so với sử dụng Latex. Khối lượng thể tích dao động từ 2066 kg/m³ đến 2238 kg/m³. Đặc biệt, lớp vữa biến tính với polymer thể hiện khả năng bảo vệ vượt trội, giảm đáng kể ăn mòn cốt thép nhờ cơ chế lấp đầy mao quản và hình thành màng liên tục, giảm hệ số thấm. Nghiên cứu đề xuất vữa biến tính polymer là giải pháp hiệu quả, kinh tế cho bảo vệ bê tông công trình biển, góp phần nâng cao tuổi thọ hạ tầng ven biển Việt Nam.

Từ khóa: Chống ăn mòn, kết cấu công trình biển, phụ gia polymer, tính chất cơ học, vữa biến tính cường độ cao.

1. INTRODUCTION

With the current development of the economy and the advancement of science and technology, the development and

exploitation of marine resources have become a focus of attention. Bridges and seaports have become a crucial part of driving infrastructure development. However, reinforced concrete

structures frequently operate in an aggressive environment. The corrosion of concrete and steel reinforcement leads to cracking and the destruction of the structure, causing premature damage to the concrete and failing to ensure the service life of the structure. The actual service life and durability of reinforced concrete structures in a marine environment are often lower due to the negative effects of harmful agents from the sea (chloride ions, sulfates, etc.), as well as a lack of regular and timely maintenance measures.

According to Zhang et al. [1], the design service life for coastal reinforced concrete structures is typically 50 years. However, the actual service life of many structures has been significantly reduced in recent years due to harsh operating environments, severe structural corrosion, frequent extreme weather events, and overloading. Traditional concrete, the primary construction material for marine structures, fails to meet the special operational demands of complex marine environments due to its low compressive and tensile strength, poor crack resistance, and insufficient durability [2-8].

According to recent study [9], the addition of polymer materials to cement mortar enhances corrosion resistance, improves durability, and reduces the permeability of the mortar, making it a favorable and economical option for certain applications. Latex polymers, redispersible dry polymers, and water-soluble polymers are different types of polymers used to produce polymer-modified mortar. In addition to improving workability, polymers also increase the mortar's adhesion, toughness, flexural or tensile strength, and chemical resistance. High-strength polymer-modified mortar requires less water than traditional concrete, which helps reduce excess water in the concrete, creating a denser structure and increasing its strength.

Most of the polymer-modified mortars available on the Vietnamese market are primarily supplied for general construction projects, with very few types specifically designed for marine environments that must withstand harsh and complex conditions.

This study aims to solve a current challenging problem by researching and fabricating high-strength modified mortar using polymer additives to serve as a protective layer for concrete in

marine structures. The research examines the effects of Redispersible Polymer Powder (RDP) (1-10% by cement weight) and polymer emulsion (latex) (5% by cement weight).

The influence of each type of additive on flowability, compressive strength, flexural strength, and corrosion resistance was investigated. The findings from this research will provide valuable insights for developing optimal high-strength mortar mixes, which will facilitate their application as a protective layer for marine structures.

2. MATERIALS AND EXPERIMENTAL PROGRAM

Table 1 summarizes the compositions of the High-Performance Modified Mortar (HPMM) samples, which contain varying amounts of Redispersible Polymer Powder (RDP) and Latex emulsion. The letters R and L in the sample names respectively denote HPMM containing RDP and latex emulsion, respectively. The numbers that follow indicate their respective content. For example, R1 signifies high-strength mortar containing 1% RDP by mass of cement. The composition of HPMM was designated adopted from previous studies [10-14].

2.1. Materials

Figure 1 shows the main materials used for the high-strength mortar. PCB40 cement (Hoang Thach) and silica fume (SF90) were used as binders in the high-strength mortar mixture and were sieved to remove any clumps formed during storage. Quartz sand with an average diameter of 0.3 to 0.7 mm was used as the fine aggregate. A superplasticizer was used to reduce the water content and increase the flowability of the HPMM, with the water-to-cement (W/C) ratio controlled at 0.2. Polymer additives, in the form of a RDP and a latex emulsion, were used to improve the mechanical properties and enhance the durability of the high-strength mortar. The polymer additives used are readily available on the Vietnamese market, which helps to optimize the product cost.

Table 1 summarizes the mix design of the HPMM, which was designed based on high-strength concrete in accordance with TCVN 10306-2014 [15].

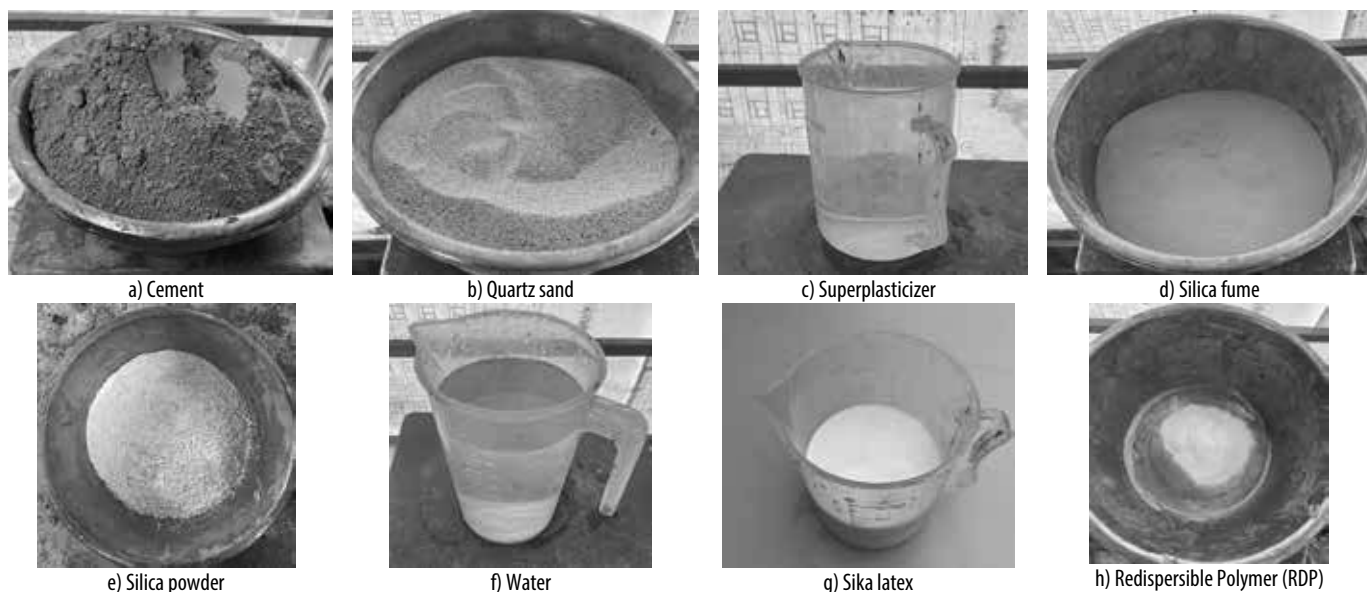


Figure 1. Images of the materials

Table 1. HPMM mix design composition by cement mass ratio

Components	L5	R1	R5	R10
Cement	1	1	1	1
Quartz sand	1	1	1	1
Water	0.2	0.2	0.2	0.2
Superplasticizer	0.04	0.04	0.04	0.04
Silica fume	0.25	0.25	0.25	0.25
RDP (%)	-	1	5	10
Latex (%)	5	-	-	-

2.2. Preparation of Materials

The research team used a 30L mixer to prepare the HPMM samples containing RDP and Latex emulsion. First, cement, silica fume, silica powder, quartz sand, and Redispersible Polymer Powder were mixed for 5 minutes. Then, the superplasticizer and water were gradually added and mixed for another 3 minutes. Next, the Latex emulsion was manually added to the mixture and mixed for an additional 2 minutes. The team then performed a flow test on the fresh mortar mixture. The flow spread was determined using a mini cone with a 50 mm diameter. The procedure was as follows: first, the mortar was placed into the cone and gently tamped until it was full. The cone was then slowly lifted, allowing the mortar to spread on a flat surface until the flow stopped. Finally, the dimensions of the two-way spread were measured with a ruler (as shown in Figure 2a) to calculate the average flow value.

The mixture was then poured into compression molds (50x50x50 mm³) and flexural molds (40x40x160 mm³). All specimens were compacted to remove air bubbles from the surface. They were then arranged in a dry, ventilated area and stored at room temperature for 2 days. After demolding, the samples were labeled and placed in a thermal curing machine for 3 days in hot water (60°C).

To prepare specimens for evaluating corrosion protection, steel reinforcing bar with 16 mm in diameter was embedded in the center of cylinder concrete specimens with diameter of 100 mm and high of 200 mm. The HPMM with 5% RDP was used to generate a cover of specimen with sizes of 150 mm and 200 mm.

2.3. Experimental Setup

The flowability test was conducted in accordance with the Vietnamese standard TCVN 9204:2012 [16]. The resulting flow value was calculated as the average of two orthogonal measurements. Figure 6 illustrates the flow measurement.

Compressive strength and flexural strength were determined using an ADVANTEST 9 system (Controls - Italy) with a 3000 kN load capacity according to the Vietnamese standard TCVN 3121:2022 [17]. The loading rate was precisely controlled at 0.5 MPa/s. The workability of the fresh mix was tested using a mini cone with a diameter of 50 mm and a height of 100 mm. Additionally, the density of HPMM was calculated from the weight of 50x50x50 mm³ samples. The corrosion resistance test of HPMM was performed following the NT Build 356 [18-21]. This evaluation was carried out by immersing standard concrete samples coated with high-strength mortar in water, followed by an assessment of the waterproofing capability of the mortar coating. The experiment was conducted based on the Vietnamese standard TCVN 13599:2022 for polymer-modified mortars [22].

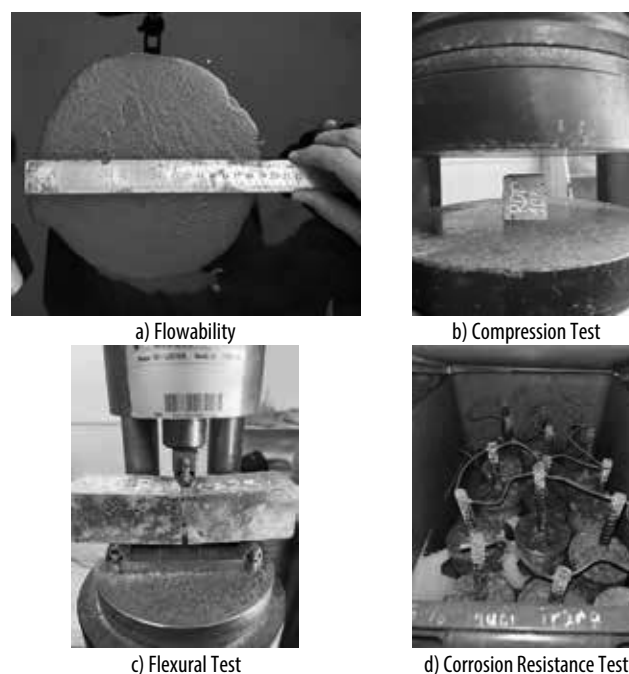


Figure 2. Test setups

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Mechanical Properties of HPMM Containing Redispersible Polymer Powder and Latex Emulsion

Table 2 summarizes the values for flow spread, bulk density, compressive strength, and flexural strength for different types of HPMMs containing varying amounts of RDP and Latex emulsion. Figure 3 and Figure 4 show images of HPMM samples with different RDP and Latex emulsion contents under compressive and flexural loads, respectively. Figure 5 illustrates a cross-section of the HPMM containing RDP and Latex emulsion after testing. Figure 6 compares the mechanical properties of HPMM with different RDP contents. Figure 7 compares the mechanical properties of HPMM containing RDP and Latex emulsion.

The change in compressive and flexural strength when the RDP content varies is not clearly defined. Specifically, sample R1 (with 1% RDP content) had a compressive strength of 79.18 MPa and a flexural strength of 17.68 MPa. When the RDP content was increased to 5% in sample R5, the compressive strength decreased to 74.67 MPa, while the flexural strength increased to 19.99 MPa. When the RDP content was further increased to 10%, the compressive strength was 81.78 MPa, and the flexural strength was 18.99 MPa. Thus, increasing the RDP content has no clear effect on the compressive and flexural strengths of the HPMM.

The flow spread was 14.5 cm, 16 cm, and 11 cm for samples R1, R5, and R10, respectively. As the RDP content increased from 1% to 5%, the flow spread increased, but when it was increased from 5% to 10%, the flow spread decreased. This indicates that the effect of increasing RDP content on flow spread is not straightforward. The bulk density of the HPMM samples ranged from 2066 to 2238 kg/m³.

As can be seen in Fig. 7, the HPMM with RDP produced higher compressive and flexural strengths than that with latex. It would be owing to the water in latex solution increased the total amount of water in the matrix composition and consequently increased the pores in the microstructure of the HPMM, as can be seen in Fig. 5.

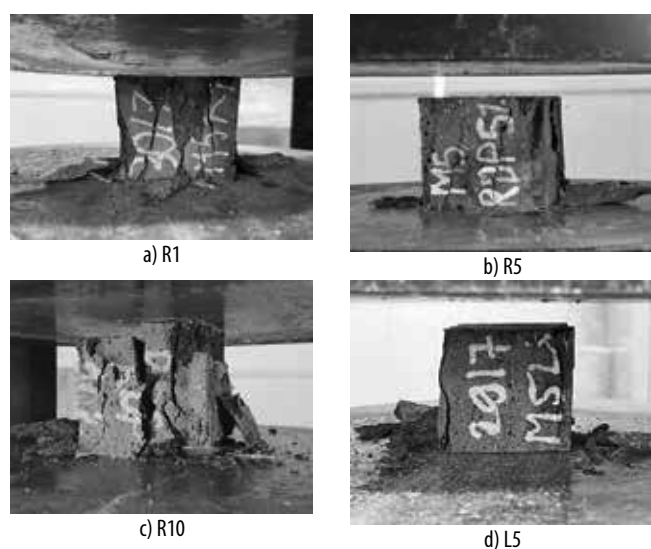


Figure 3. Image of HPMM failure under a compressive load

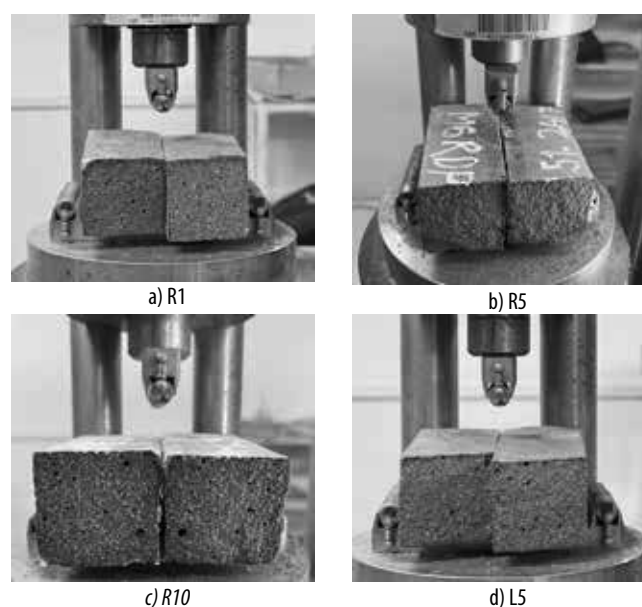


Figure 5. Cross-section of HPMM

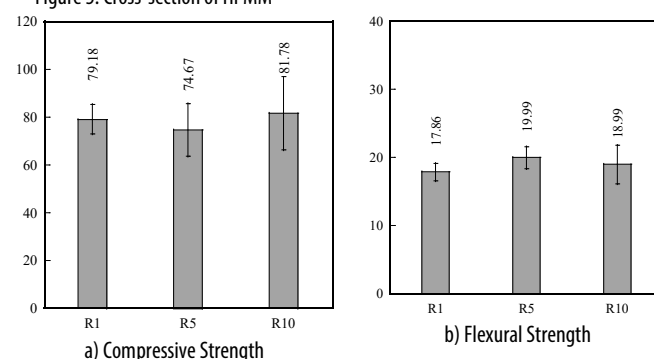


Figure 6. Effect of graphite on the mechanical properties of HPMM

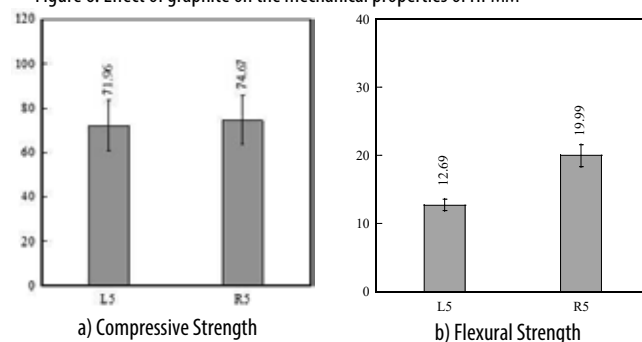


Figure 7. Effect of different polymer types on the mechanical properties of HPMM

Table 2. Mechanical properties of HPMM containing Redispersible Polymer Powder and Latex emulsion

Sample name		Bulk density (kg/m ³)	Flowability (cm)	Compressive strength (MPa)	Flexural strength (MPa)
R1	SP1	2253.6	14.5	79.48	16.88
	SP2	2227.36		73.02	17.4
	SP3	2234.8		85.04	19.31
	Average	2238.59		79.18	17.86
	STD	13.52		4.91	1.28
R5	SP1	2112	16	68.22	21.12
	SP2	2200		87.42	18.86
	SP3	2144		68.38	19.92

	Average	2152.00		74.67	19.99
	STD	44.54		11.04	1.60
R10	SP1	2250.88	11	85.55	16.74
	SP2	2182.88		64.86	22.18
	SP3	2172.72		94.94	18.05
	Average	2202.16		81.78	18.99
	STD	42.50		15.39	2.84
L5	SP1	2031.68	14.5	62.13	11.74
	SP2	2070.96		84.48	13.38
	SP3	2095.84		69.28	12.94
	Average	2066.16		71.96	12.69
	STD	32.3		9.31	0.85

STD: standard deviation.

3.2. Corrosion Resistance of High-Strength Modified Mortar with Different Redispersible Polymer Powder and Latex Emulsion Contents



a) Plain Concrete Sample



b) Sample of concrete coated with high-strength modified mortar



c) Plain concrete sample after the corrosion test in a corrosive environment



d) High-strength mortar-coated concrete sample after the corrosion test in a corrosive environment

Figure 8. HPMM sample testing as a protective layer

Figure 8 illustrates the effect of the high-strength mortar protective layer using polymer additives. Figure 8a shows a regular concrete sample at the beginning, without a protective layer. Figure 8b shows a regular concrete sample wrapped in a layer of high-strength mortar. After the corrosion resistance test, Figure 8c reveals that the steel reinforcement inside the regular concrete sample was noticeably corroded due to the effects of the saltwater environment. In contrast, Figure 8d shows that the sample with the high-strength mortar protective layer exhibited negligible corrosion of the steel reinforcement after the test. This demonstrates the superior corrosion resistance of the high-strength mortar protective layer, which is attributed to the polymer additives. Tran Viet Phuong Dong and Nguyen Ba Phu also indicated that the higher density of mortar produced better corrosion protection [23]. Nguyen Ngoc Tan [24] reported that higher-strength concrete increased the corrosion protection. Due to the polymer molecules disperse in the cement solution and filling the pores and capillaries when mixed into the high-strength mortar. After hardening, the polymer forms a continuous film network within the high-strength mortar, which helps reduce the size and number of capillaries. As a result, the path for penetrating water and ions is elongated and convoluted, thereby reducing the permeability coefficient. Nguyen Thi Diem Thuy et al. [25] reported that the polymer enhanced the permeability resistance owing to the generation of a polymer film. Polymers also have high ductility and elasticity, which increases the plastic deformation and reduces the shrinkage of the concrete. Less cracking means a reduction in the direct pathways for water and ion ingress.

4. CONCLUSION

The study investigated the effect of the content of Redispersible Polymer Powder (RDP) and Latex emulsion on the workability, compressive strength, flexural strength, and corrosion resistance of a high-strength polymer-modified mortar (HPMM) layer. The key findings from the investigation are as follows:

The experimental results show that varying the content of RDP in the range of 1-10% by mass of cement did not produce a clear trend for the mechanical strength of the HPMM. The compressive strength fluctuated between 74.67-81.78 MPa, while the flexural strength ranged from 17.86-19.99 MPa, reflecting a non-uniform variation among the samples. The flow spread of the mixture

increased as the RDP content rose from 1% to 5% but decreased significantly at 10%, indicating a non-linear effect of the polymer additive on the workability of the high-strength modified mortar. The bulk density of HPMM with polymers changed from 2066 to 2238 kg/m³. Based on these results, it can be concluded that, within the investigated range, RDP affects the structure and properties of HPMM through a complex mechanism. It has not yet formed a clear linear relationship with mechanical strength, but does show a tendency to decrease bulk density and alter workability.

The HPMM with RDP produced higher compressive and flexural strength than that with latex.

The experimental results show that the high-strength mortar layer with polymer additives acts as an effective protective layer for plain concrete in a corrosive saltwater environment.

While the plain concrete sample without the protective layer experienced significant rebar corrosion after a period, the sample with the polymer mortar coating showed almost no signs of noticeable corrosion.

Overall, the polymer-modified mortar not only maintains high strength but also enhances long-term durability, making it suitable for the requirements of Vietnamese marine structures.

Acknowledgments: This research was funded by the Ministry of Education and Training, Grant Number B2024-MDA-05. The authors would like to thank the Laboratory of the Department of Underground and Mining Construction, Faculty of Civil Engineering, Hanoi University of Mining and Geology (HUMG), for providing the equipment to conduct the experiments for this paper. and the Civil and Industrial Construction Lab in HUMG for supporting equipment to prepare the test samples. The authors are also grateful for the support received during the preparation of the test samples from students Ngo Trung Hieu, Ngo Ton Hieu, Nguyen Vu Son Tung, Do Manh Nam, and Nguyen Van An.

Author Contributions: Nguyen Sy Duc prepared the samples, conducted the experiments, and wrote the original draft. Dinh Ngoc Trung prepared the samples, conducted the experiments, and wrote the original draft. Le Huy Viet wrote the original draft and edited the manuscript. Ngo Xuan Hung wrote the original draft, edited the manuscript, and conceptualized and implemented the experiments.

REFERENCES

- [1]. L. Zhang, H. Wang, A. Wang, Q. Zhang, Z. Li, X. Wang, C. Huang, A. Jivkov, Experimental study of marine ultra-high-performance concrete with coarse aggregate (UHPC-CA), *Case Stud. Constr. Mater.* 22 (2025) e04731. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e04731>.
- [2]. M. Zhang, S. Sun, K. Liu, T. Li, H. Yang, Research on the critical chloride content of reinforcement corrosion in marine concrete - A review, *J. Build. Eng.* 79 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.107838>.
- [3]. K. Li, D. Zhang, Q. Li, Z. Fan, Durability for concrete structures in marine environments of HZM project: Design, assessment and beyond, *Cem. Concr. Res.* 115 (2019) 545–558. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.08.006>.
- [4]. M. Pour-Ghaz, O.B. Isgor, P. Ghods, The effect of temperature on the corrosion of steel in concrete. Part 1: Simulated polarization resistance tests and model development, *Corros. Sci.* 51 (2009) 415–425. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2008.10.034>.
- [5]. E.G. Goel, E. Bharat, B. Jindal, Suitability of Steel Fiber Reinforced Concrete for RCC Water Tanks, *SSRG Int. J. Civ. Eng.* 2015 (2015) 100–103.
- [6]. M. Saleem, M. Shameem, S.E. Hussain, M. Maslehuddin, Effect of moisture, chloride and sulphate contamination on the electrical resistivity of Portland cement concrete, *Constr. Build. Mater.* 10 (1996) 209–214. [https://doi.org/10.1016/0950-0618\(95\)00078-X](https://doi.org/10.1016/0950-0618(95)00078-X).
- [7]. Rob B. Polder, Test methods for on site measurement of resistivity of concrete – a RILEM TC-154 technical recommendation, *Constr. Build. Mater.* (2001) 125–131.
- [8]. G.F. Gómez-Luna, H.Z. López-Calvo, T.W. Bremner, G.J. Fajardo-San Miguel, P. Castro-Borges, P. Montes-García, Assessment of corrosion prevention methods for steel reinforcement embedded in concrete exposed to a natural marine environment, *Constr. Build. Mater.* 385 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131514>.
- [9]. N.T.D. Thủy, N.N.T. Huỳnh, N.K. Sơn, Nghiên cứu ảnh hưởng thành phần phụ gia polyme tái phân tán đến tính chất vữa khô, *Tạp chí KHCN Xây dựng* 2 (2025) 37–44.
- [10]. D.J. Kim, G.J. Park, H.V. Le, D. Moon, Fresh and hardened properties of steel fiber-reinforced grouts containing ground granulated blast-furnace slag, *Constr. Build. Mater.* 122 (2016) 332–342. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.005>.
- [11]. H.V. Le, D.J. Kim, Effect of matrix cracking on electrical resistivity of high performance fiber reinforced cementitious composites in tension, *Constr. Build. Mater.* 156 (2017) 750–760. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.046>.
- [12]. H.V. Le, D. Moon, D.J. Kim, Effects of ageing and storage conditions on the interfacial bond strength of steel fibers in mortars, *Constr. Build. Mater.* 170 (2018) 129–141. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.064>.
- [13]. T. Le, Huy Viet; Nguyen Van, Khuay; Le Ngoc, Nam; Pham Van, Khai; Tran Dinh, Tu; Tang Van, Lam; Pham Xuan, Nghiên cứu chế tạo bê tông hạt mịn cường độ chịu nén trên 100 MPa sử dụng hạt xi thép thay thế cát, vật liệu và xây dựng 13 (2023) 5–12.
- [14]. H.V. Le, A.D. Do, V.M. Nguyen, T.K. Nguyen, D.L. Nguyen, Compressive and electrical resistivity properties of UHPC containing different steel fibers (Đặc trưng nén và điện trở suất của bê tông cường độ siêu cao sử dụng các loại sợi thép khác nhau), *Xây dựng* (2023) 110–114.
- [15]. B.X. Dũng, Tiêu chuẩn Quốc gia: Bê tông cường độ cao-thiết kế thành phần mẫu thử, TCVN 10306-201(2014).
- [16]. B.X. Dũng, Tiêu chuẩn Quốc gia: Vữa xi măng không co, TCVN-9204-2012 (2012).
- [17]. B.X. Dũng, Tiêu chuẩn Quốc gia: Vữa xây dựng - Phương pháp thử TCVN 3121-2022, (2022).
- [18]. P.V. Chương, P.V. Khoan, N.N. Thắng, Nghiên cứu áp dụng phương pháp gia tốc để đánh giá mức độ ăn mòn cốt thép trong bê tông cát nhiễm mặn, *KHCN Xây dựng* (2019) 33–38.
- [19]. B.X. Dũng, Tiêu chuẩn Quốc gia: Kiểm tra khả năng cốt thép bị ăn mòn - phương pháp điện thế, TCVN-9348-2012 (2012).
- [20]. N. T. H.Yến, B. V.H. Linh, Đánh giá tính khả thi của phương pháp thúc đẩy ăn mòn cốt thép trong kết cấu bê tông cốt thép bằng dòng điện, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ* 53A (2021) 44–51.
- [21]. N.S. Hùng, V.H. Thạch, N.T. Hưng, C. Nữ, K. Anh, Đánh giá cường độ chịu nén của bê tông trong dầm bê tông cốt thép bị ăn mòn bằng thực nghiệm, (2023) 133–135.
- [22]. B.X. Dũng, Tiêu chuẩn Quốc gia: Chất biến tính Polyme dạng bột và dạng Latex sử dụng trong vữa và bê tông xi măng - Phương pháp thử, 2022.
- [23]. T.V.P. Đông, N.B. Phú, Ảnh hưởng của các thông số kỹ thuật của bê tông đến quá trình ăn mòn cốt thép, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ* 67 (2024) 125–133.
- [24]. T.S. Nguyễn Ngọc Tân, Môi trường nghiên cứu thực nghiệm ảnh hưởng của cường độ bê tông đến khả năng hạn chế ăn mòn cốt thép trong môi trường clorua, *Tạp chí KHCN Xây dựng* 3 (2020) 40–47.
- [25]. N.T.D. Thủy, N.N.T. Huỳnh, N.K. Sơn, Nghiên cứu ảnh hưởng thành phần phụ gia polime tái phân tán đến tính chất vữa khô, *Tạp chí KHCN Xây dựng* 2 (2025) 37–44.

Research on the current status of waste generation at The national institute of Hematology and blood transfusion

Nghiên cứu thực trạng phát sinh chất thải tại Viện Huyết học - Truyền máu Trung ương

> NGUYEN THI HONG HUONG¹, LUONG THANH TAM^{1,*}

¹Lecturer, Hanoi University of Natural Resources and Environment

*Corresponding author, Email: lttam@hunre.edu.vn

ABSTRACT

The National Institute of Hematology and Blood Transfusion (NIHBT) has long been at the forefront of medical research and treatment in hematology and blood transfusion. The institute expanded its facilities from 450 beds in 2017 to 935 beds in 2019. However, the increasing number of patients has placed considerable strain on the hospital resources, particularly in managing solid waste and wastewater. NIHBT consumes an average of 373-407.75 m³/day of water, of which approximately 10% is allocated to wastewater treatment and cleaning activities. A wastewater treatment plant with a capacity of 450 m³/day has been constructed, which generally meets treatment requirements. Nevertheless, environmental pollution incidents have occurred during its operation. The institute is licensed to generate 142,692 kg/year of hazardous waste, but in practice it produces about 214,366 kg of infectious waste and 3,750 kg of non-infectious waste annually. Given these challenges, NIHBT is exploring effective waste management solutions and cost reduction measures, including the potential outsourcing of waste management activities to specialized service providers.

Keywords: Environmental management, hospital, wastewater, medical waste, hazardous waste.

TÓM TẮT

Viện Huyết học và Truyền máu Trung ương (National Institute of Hematology and Blood Transfusion - NIHBT) từ lâu đã đi đầu trong nghiên cứu và điều trị y khoa về huyết học và truyền máu. Viện đã mở rộng cơ sở vật chất từ 450 giường bệnh vào năm 2017 lên 935 giường bệnh vào năm 2019. Tuy nhiên, số lượng bệnh nhân ngày càng tăng đã gia tăng áp lực đáng kể cho nguồn lực của bệnh viện, đặc biệt là trong việc quản lý chất thải rắn và nước thải. Nhu cầu cấp nước hàng ngày cho các hoạt động của viện trung bình là 373-407,75 m³/ngày, trong đó khoảng 10% lượng nước cấp được phân bổ cho các hoạt động xử lý nước thải và các hoạt động tẩy rửa. Viện đã xây dựng một trạm xử lý nước thải (XLNT) với công suất 450 m³/ngày, nhìn chung trạm XLNT đã đáp ứng được các yêu cầu xử lý. Tuy nhiên, trong quá trình hoạt động, đã xảy ra các sự cố ô nhiễm môi trường. Viện được cấp phép phát sinh 142.692 kg chất thải nguy hại/năm, nhưng trên thực tế, mỗi năm viện thải ra khoảng 214.366 kg chất thải lây nhiễm và 3.750 kg chất thải không lây nhiễm. Trước những thách thức này, Viện NIHBT đang tìm kiếm các giải pháp quản lý chất thải hiệu quả và các biện pháp giảm chi phí hơn nữa, bao gồm cả việc thuê ngoài các hoạt động quản lý chất thải do các cơ sở có chức năng xử lý chất thải phù hợp.

Từ khóa: Quản lý môi trường, bệnh viện, nước thải, chất thải y tế, chất thải nguy hại.

1. PROBLEM STATEMENT

The National Institute of Hematology and Blood Transfusion (NIHBT) was officially separated to operate independently on March 8, 2004, under the Ministry of Health, pursuant to Decision No. 31/2004/QĐ-TTg of the Prime Minister [1]. Currently, NIHBT has eight clinical units and accommodates 1,200 - 1,300 inpatients daily. In 2019, the number of patients was 154,829, 41 times higher than in 2004, and the number of inpatients was 41,480, 12 times higher than in 2004 [2]. The increase in patients and their relatives has placed

significant pressure on the hospital with respect to environmental management, incident prevention, and pollution control. This study assesses the current status of environmental management at NIHBT, including the evaluating of wastewater collection and treatment systems, exhaust gas collection and treatment, and medical waste collection and treatment. The research findings are expected to inform solutions to improve NIHBT's environmental management efficiency and enhance the environmental quality of its state-of-the-art medical facilities in Hanoi.

2. CURRENT OPERATIONS OF NIHBT

2.1. Size of the institute

The hospital has an initial capacity of 450 beds according to Decision No. 3724/QĐ-BYT dated August 16, 2017, of the Ministry of Health, which approved the detailed environmental protection project of the Central Institute of Hematology and Blood Transfusion.

Currently, the facility operates at full capacity. However, due to increasing demand for examinations and treatment, additional beds have been arranged by repurposing storage areas. Consequently, the number of hospital beds has increased to 935 in accordance with the Ministry of Health's allocation target on April 4, 2018.

Table 1. Size of NIHBT [2]

No	Hospital area measurement and hospital bed size	Unit	Size
1	Usable area	m ²	4,674
1.1	Blood bank area	m ²	469
1.2	Blood treatment area	m ²	3,800
1.3	Cell-Coagulation Laboratory	m ²	205
1.4	Infection Control - Nutrition	m ²	200
2	Total floor area	m ²	30,000
2.1	Floor area of NIHBT	m ²	20,500
2.2	Floor area of the Hanoi Regional Blood Transfusion Center	m ²	9,500
3	Number of offices	room	42
4	Hospital bed	m ²	935
Total area			9,500

The current number of employees of NIHBT is shown in Table 2.

Table 2. Number of staff members of NIHBT [2]

No	Health worker category	Population
I	Officials, workers	996
1	Civil servants, public employees (permanent employees)	912
2	Contract employees under Decree No. 68/2000/ND-CP	96
3	Temporary employees	15
II	Part-time staff and students	33
1	Concurrent staff of VNU University of Medicine and Pharmacy, Vietnam National University	11
2	Boarding students	22
Total		1,029

2.2. Water demand

NIHBT maintains a service contract (No. CG217126385) with the Cau Giay Water Supply Enterprise, a branch of Hanoi Clean Water Company Limited, to ensure a reliable and stable supply of clean water for the institute's operations. The water provided under this contract is essential for maintaining the daily functioning of clinical units, laboratories, and patient wards. It is also used in specialized medical processes that demand strict water quality, particularly blood treatment procedures requiring reverse osmosis purification.

Water demand at the institute fluctuates depending on hospital activities, patient numbers, and seasonal variations. Between January and September 2023, the average daily consumption was approximately 373 m³, with peak demand reaching 407.75 m³/day in February 2023 (Table 3). This pattern demonstrates that while the overall water supply is relatively stable, monthly variations are significant and reflect the increasing intensity of healthcare services. For example, higher water consumption is often observed in months with more patients undergoing treatments, surgical procedures, or during extended use of laundry and sanitation systems.

Table 3. Water usage from January 2023 to September 2023 [2]

No	Period	Volume (m ³ /month)	Average volume (m ³ /day)
1	January 4, 2023-February 3, 2023	8,699	280.61
2	February 4, 2023-March 3, 2023	11,417	407.75
3	March 4, 2023 - April 3, 2023	11,144	359.48
4	April 4, 2023 - May 3, 2023	11,018	367.27
5	May 4, 2023 - June 3, 2023	12,366	398.90
6	June 4, 2023 - July 3, 2023	11,189	372.97
7	July 4, 2023 - August 3, 2023	12,701	409.71
8	August 4, 2023 - September 3, 2023	11,752	379.71
9	September 4, 2023 - October 3, 2023	11,434	381.13
Total		101,720	373

Water supplied to the institute is stored in underground and overhead tanks, from which booster pumps distribute it to all clinical departments, laboratories, and patient accommodation areas. The reverse osmosis (RO) system ensures that water used in blood processing and transfusion-related activities meets the strictest quality standards. Maintaining such a system is essential for both patient safety and treatment efficiency. Overall, the data highlight the growing importance of water resource management at NIHBT, as future increases in patient numbers and medical activities are expected to place additional pressure on existing supply systems.

3. WASTE SOURCES AND MANAGEMENT SOLUTIONS

3.1. Solid waste

Solid waste at NIHBT is classified according to Circular 20/2021/TT-BYT, which regulates medical waste management within medical facilities. Accordingly, solid waste consists of three main categories: domestic-type waste, infectious waste, and non-infectious waste. Figure 1 illustrates NIHBT's solid waste collection and classification diagram.



Figure 1. Solid waste collection diagram at NIHBT

Regular solid waste is categorized into two types: recyclable and non-recyclable. Recyclable waste, such as cardboard boxes, medicine boxes, scrap paper, medicine bottles, and glass bottles without hazardous ingredients, is collected 1-2 times per month. Non-recyclable solid waste is collected daily. In 2023, the amount of solid waste used for recycling was 67.9 tons, while the amount of regular non-recycled solid waste was 1,353,600 tons, according to statistics [2].

Non-infectious hazardous waste is stored in black bins and is transferred to the hazardous waste warehouse at the end of the day. The volumes for 2022 and 2023 are shown in Table 4.

Table 4. Non-infectious waste generated [3] - (a) - according to medical waste management report 2022 ; (b) - generated in 7 months of 2023

No	Name of hazardous waste	Hazardous waste code	Unit	Mass (a)	Mass (b)
1	Chemical waste that includes or contains hazardous components	13 01 02	kg	0	0
2	Disposal of pharmaceuticals	13 01 03	kg	0	0
3	Used, broken, or damaged equipment containing mercury and heavy metals	13 01 02	kg	30	0
4	Waste fluorescent lamps	16 01 06	kg	0	65
5	Soft packaging, cleaning cloth contains toxic chemicals	18 01 01	kg	1	0
6	Plastic waste rigid packaging	18 01 03	kg	210	353
7	Discarded waste is medicine bottles, vials, and tools contaminated with cytotoxic drugs or with warnings from the manufacturer.	18 01 04	kg	3,504	436
8	Waste toner cartridges contain hazardous ingredients	08 02 04	kg	0	0
9	Sludge from wastewater treatment systems	10 02 03	kg	2	0
Total			kg	3,750	854

Infectious waste comprises sharps (such as syringes, broken glass, and pipettes) and materials contaminated with blood, body fluids, and excretions from patients (like cotton, bandages, gauze, and IV lines). If this waste is produced in isolated patient rooms, it will be categorized as "High-risk infectious hazardous waste". This waste is stored in specialized yellow bins and collected daily, with the mass generated shown in Table 5.

Table 5. Infectious hazardous waste generated [2]

No	Waste	Unit	Mass
1	Infectious sharps waste	kg/year	17,790
2	Non-sharp infectious waste	kg/year	196,576
3	Highly infectious waste	kg/year	2,000
Total		kg/year	241,366

All hazardous waste is stored in a separate warehouse and then collected, classified, and treated by the Green Environment Company. The hazardous waste warehouse has an area of 10 m², a concrete floor structure, an anti-overflow edge to prevent rainwater from entering, a roof, warning signs, and air conditioning.

NIHBT was granted a Hazardous Waste Source Owner's Book with code 01000543T by the Hanoi Department of Natural Resources and Environment on July 9, 2015. The permitted hazardous waste volume is 142,692 kg/year. However, the actual amount of hazardous waste generated has exceeded the licensed amount by a significant margin.

3.2. Wastewater

Wastewater sources in the hospital consist of domestic wastewater, kitchen wastewater, hazardous medical wastewater, and wastewater from the laundry area. The domestic wastewater from the toilets of department and office areas is collected and preliminarily treated in a three-chamber septic tank. Wastewater from the kitchen is preliminarily treated through a three-chamber oil separation tank, and laundry wastewater is preliminarily treated

by a physicochemical treatment system. After preliminary treatment, these three wastewater sources are led to a 450 m³ collection tank, which also receives medical wastewater. The mixed wastewater is then directed to two wastewater treatment plants (WWTP) with a total capacity of 450 m³/day (WWTP No. 1 has a capacity of 200 m³/day, and WWTP No. 2 has a capacity of 250 m³/day). Figure 2 illustrates the hospital's wastewater collection diagram.

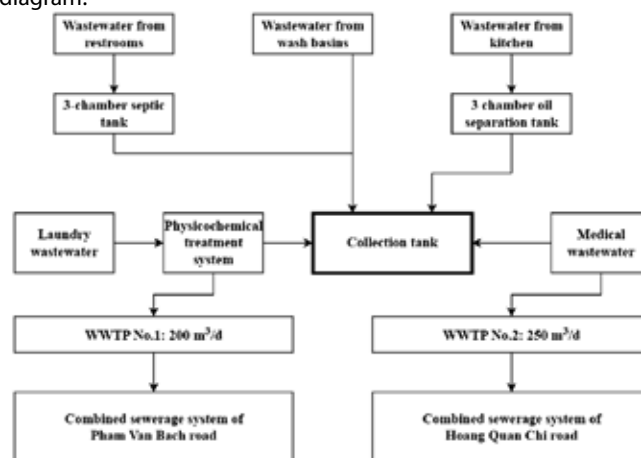


Figure 2. Wastewater collection diagram at NIHBT

From January 2023 to October 2023, the discharge flow of the facility is shown in Table 6 of the corresponding wastewater flow monitoring book. On average, there is a difference of about 42.41 m³/day between the actual water supply flow and wastewater flow. This difference in water volume is due to activities at the hospital, such as floor cleaning, watering plants, fire prevention and fighting drills, etc.

Table 6. Discharge flow and water balance of the facility [2]

No	Period	Discharge flow of WWTP No. 1 (m ³ /month)	Discharge flow of WWTP No. 2 (m ³ /month)	Wastewater discharge (m ³ /month)	Wastewater discharge (m ³ /day)	Water supply flow (m ³ /month)	Difference (**) (m ³ /day)
1	Jan 4, 2023 - Feb 3, 2023	4,835	2,030	6,865	221.45	280.61	59.16
2	Feb 4, 2023 - Mar 3, 2023	5,030	3,420	8,540	305	407.75	102.75
3	Mar 4, 2023 - Apr 3, 2023	6,040	3,320	9,360	301.94	359.48	57.54
4	Apr 4, 2023 - May 3, 2023	5,880	3,390	9,270	309	367.27	58.27
5	May 4, 2023 - Jun 3, 2023	5,730	5,610	11,340	365.81	398.90	33.09
6	Jun 4, 2023 - Jul 3, 2023	5,560	6,090	10,870	362.33	372.97	10.64
7	Jul 4, 2023 - Aug 3, 2023	5,780	5,900	11,680	376.77	409.71	32.94
8	Aug 4, 2023 - Sep 3, 2023	5,710	5,840	11,550	372.58	379.71	6.52
9	Sep 4, 2023 - Oct 3, 2023	5,810	5,360	11,170	360.32	381.13	20.81
Average		5,597.22	4,551.11	10,148.33	330.58		

The wastewater treatment technology used at the two WTPs includes AO technology combined with filtration. WTP No. 1 (with a capacity of 200 m³/day) uses an MBBR tank with a pressure filter tank, while WTP No. 2 (with a capacity of 250 m³/day) uses a conventional aerobic tank combined with an MBR membrane filter. Both WTPs have an equalization tank connected to a 450 m³ collection tank through a float valve system and a pump. Depending on the water level in the equalization tank, water will be pumped from the collection tank. The wastewater treatment technology at the two WTPs is illustrated in Figure 3.

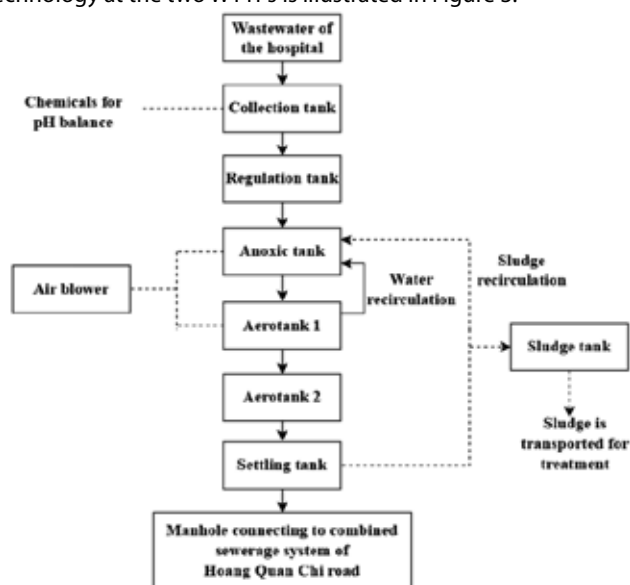


Figure 3. Treatment diagram of WWTP No. 2 with a capacity of 250 m³/day

Based on the water quality monitoring findings in 2022 and 2023 [4], it is evident that most of the monitored parameters conform to the specifications outlined in QCVN 28:2010/BTNMT column B, K=1. Nevertheless, during the third and fourth quarters of 2022, SS, BOD₅, COD, and NH₄ parameters failed to meet the stipulated requirements. This discrepancy can be attributed to NIHBT's ongoing renovation activities, which affected the WWTP's operational compliance.

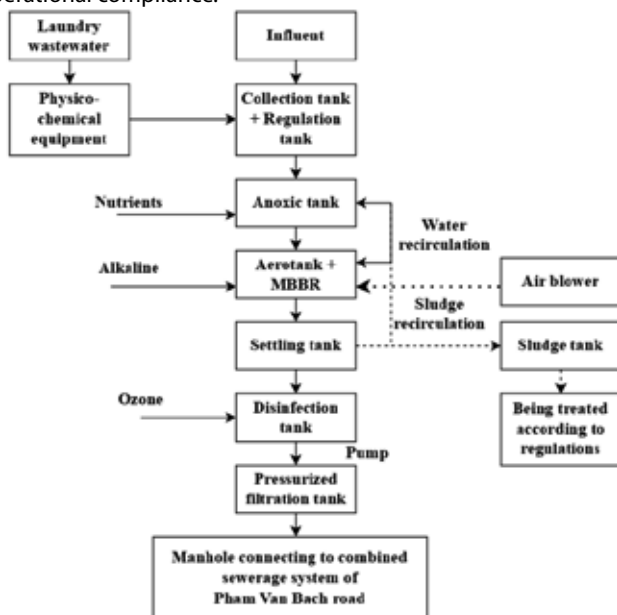


Figure 4. Treatment diagram of WWTP at NIHBT with a capacity of 450 m³/day

4. ASSESS THE CURRENT SITUATION AND PROPOSE SOLUTIONS

The survey results indicate that the amount of waste generated at NIHBT is substantial, corresponding to the hospital's scale of medical examination and treatment. Nevertheless, waste management activities remain inadequate. In terms of solid waste management, although classification procedures are in place, the volume of hazardous and infectious waste significantly exceeds the licensed threshold of 142,692 kg/year. In 2022-2023, the actual amount of hazardous waste generated was approximately 214,366 kg of infectious waste and 3,750 kg of non-infectious waste. This not only violates regulatory limits but also increases the risk of waste accumulation, decomposition, and secondary infection in storage areas. The current warehouse capacity is limited and may not provide sufficient conditions for safe long-term storage.

With respect to the wastewater treatment system, NIHBT operates two plants with a total design capacity of 450 m³/day, applying MBBR and MBR technologies. While these systems generally meet discharge standards, monitoring in 2022 revealed exceedances in parameters such as SS, BOD₅, COD, and NH₄, particularly during periods of renovation. This indicates vulnerabilities in operational stability, especially when highly qualified staff are lacking. Furthermore, the system requires complex operation and high chemical consumption, leading to rising costs and inefficiencies in resource management.

To address these issues, NIHBT needs to strengthen both solid waste and wastewater management. For solid waste, expanding the hazardous waste warehouse, improving classification at source, and introducing sterilization technologies prior to storage could mitigate environmental risks. For wastewater, upgrading monitoring systems, training dedicated full-time environmental staff, and optimizing the use of chemicals in treatment processes are critical. In the longer term, NIHBT should consider establishing partnerships with specialized service providers in medical waste management. Such outsourcing could ensure compliance with regulations, reduce operational risks, and enhance efficiency. However, selecting appropriate service providers is complex and may not always succeed. Therefore, an integrated approach that combines technical, economic, and environmental criteria should be developed to guide decision-making and ensure sustainable environmental management at NIHBT.

REFERENCES

- [1]. Prime Minister (2004) Decision 31/2004/QĐ-TTg dated Mar 8, 2004 on the establishment of the Central Institute of Hematology and Blood Transfusion.
- [2]. Central Institute of Hematology and Blood Transfusion (2023) Summary report.
- [3]. National Institute of Hematology and Blood Transfusion (2022) Waste management report.
- [4]. National Institute of Hematology and Blood Transfusion (2022-2023) Results of water quality monitoring at the Institute.
- [5]. Janik-Karpinska, E., Brancaloni, R., Niemcewicz, M., Wojtas, W., Foco, M., Podogrocki, M. and Bijak, M. (2023), Healthcare waste-a serious problem for global health, Healthcare (Switzerland), 11.

Applying the material flow analysis to propose policy recommendations for implementing the circular economy for the paper packaging industry in Vietnam

Ứng dụng phân tích dòng vật chất đề xuất các khuyến nghị chính sách trong triển khai kinh tế tuần hoàn cho ngành công nghiệp bao bì giấy tại Việt Nam

> NGUYEN THE THONG¹, LAI VAN MANH¹, NGUYEN MINH KHOA¹, NGUYEN CONG THANH², KARLA CERVANTES BARRON³, PHAM VAN NAM⁴, TRAN HOAI LE^{4,*}

¹Institute of Strategy and Policy on Agriculture and Environment (ISPAE), Vietnam

²National Economics University (NEU), Vietnam

³Cambridge University, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland

⁴Hanoi University of Civil Engineering (HUCE), Vietnam; *Corresponding author, Email: leth@huce.edu.vn

ABSTRACT

Vietnam has been taking steps towards increasing its environmental regulations and introducing circular economy (CE) measures. The goal of moving towards a circular economy has been mentioned in the Law on Environmental Protection 2020 and Decree No. 08/2022/ND-CP and the National Action Plan on the Circular Economy by 2035. Applying the material flow analysis to the paper packaging industry has shown that it is an effective tool in quantifying material flows for these stages throughout the life cycle of the paper packaging products. Material flow analysis also proves to be a useful method to identify the opportunities for legal and policy interventions, as well as the effective actions to address the environmental challenges for the paper packaging industry, towards realizing circular economy goals. From the results of material flow analysis, the policy recommendations for implementing the circular economy are also proposed. Accordingly, it is necessary to focus on encouraging the reduction of raw material consumption, more efficient use of resources in the stages of raw material exploitation, production, and consumption of packaging paper, increasing waste classification at source, encouraging the participation of stakeholders, including the informal sector, sharing information, and enhancing cooperation of all parties.

Keywords: Circular economy, material flow analysis, paper packaging industry, Vietnam.

TÓM TẮT

Việt Nam đã và đang thực hiện các bước nhằm tăng cường các quy định về môi trường và đưa ra các biện pháp kinh tế tuần hoàn (CE). Mục tiêu hướng tới kinh tế tuần hoàn đã được đề cập trong Luật Bảo vệ Môi trường năm 2020, Nghị định số 08/2022/NĐ-CP và Kế hoạch hành động quốc gia về kinh tế tuần hoàn đến năm 2035. Việc áp dụng phân tích dòng vật liệu vào ngành bao bì giấy đã cho thấy đây là một công cụ hiệu quả trong việc định lượng các dòng vật liệu cho các giai đoạn này trong suốt vòng đời của các sản phẩm bao bì giấy. Phân tích dòng vật liệu cũng chứng tỏ là một phương pháp hữu ích để xác định các cơ hội can thiệp về mặt pháp lý và chính sách, cũng như các hành động hiệu quả để giải quyết các thách thức về môi trường đối với ngành bao bì giấy, hướng tới hiện thực hóa các mục tiêu kinh tế tuần hoàn.

Từ các kết quả phân tích dòng vật chất, một số khuyến nghị chính sách nhằm thúc đẩy thực hiện kinh tế tuần hoàn trong ngành bao bì giấy đã được đề xuất. Theo đó, cần tập trung vào việc khuyến khích giảm tiêu thụ nguyên liệu thô; sử dụng hiệu quả hơn các nguồn tài nguyên trong các giai đoạn khai thác, sản xuất và tiêu dùng sản phẩm giấy bao bì; tăng cường phân loại chất thải tại nguồn; thúc đẩy sự tham gia của các bên liên quan, bao gồm cả khu vực phi chính thức; chia sẻ dữ liệu thông tin; và mở rộng hợp tác giữa các bên liên quan.

Từ khóa: Kinh tế tuần hoàn, phân tích dòng vật chất, công nghiệp bao bì giấy, Việt Nam.

1. INTRODUCTION

The projected increase of the world population to approximately nine billion is bound to exert pressure on resources to fulfil future demand. A higher population entails more consumption of durable and non-durable goods and services. This leads to challenges of environmental pollution and waste generation, climate change, the increase of greenhouse gases, and the exhausting exploitation of natural resources. To tackle these issues, countries around the world, including Vietnam, are gradually transitioning to green and sustainable economic models.

Promoting sustainable land use, protecting ecosystem recovery, and increasing the use of renewable energy sources are all directly related to CE principles that help conserve natural capital. The Ellen MacArthur Foundation (EMF) suggests that the circular economy (CE) involves reducing the consumption of finite resources and designing products to gradually remove waste from the system. The CE model will help increase economic, natural, and social capital simultaneously. This model represents a systemic shift to build long-term resilience, create business and economic opportunities, and deliver environmental and social benefits (EMF, 2012). The CE approach requires sustainable actions at every stage, including extraction, production, distribution, use, and recycling of products, components, and materials.

Vietnam has demonstrated a strong commitment on the international stage to environmental protection and sustainable development. At COP26, Vietnam announced an ambitious goal to achieve net-zero emissions by 2050 and to reduce emissions by 8% by 2030. To achieve these objectives, it is essential to implement a series of specific policies and solutions. Establishing guidelines and legal regulations for the development of a circular economy is one of the efforts to realize these commitments in Vietnam. The National Action Plan on the Circular Economy Implementation by 2035 was approved in Decision No. 222/QĐ-TTg dated January 23, 2025, demonstrating the commitment of the Vietnamese Government to concretizing the roadmap for implementing the circular economy in Vietnam.

The paper packing industry is one of the industries that plays a role in the economic development. Paper packaging is a widely utilized product in everyday life. The key advantages of this type of packaging include its cost-effectiveness, ease of printing, and environmental sustainability. It finds applications across various sectors, including medical, food, cosmetics, gifts, home appliances, toys, and advertising. Common products within the paper packaging category include paper bags, paper boxes, and carton boxes.

Currently, Vietnam ranks second in paper production in Asia and first in Southeast Asia, with a production capacity of approximately 10 million tonnes per year. In 2023, production exceeded 7 million tonnes, and it is projected to reach around 8 million tonnes in 2024. Of this production, 85% consists of industrial packaging paper, while the remainder includes sanitary ware, printing paper, and writing paper. However, per capita paper consumption in Vietnam remains relatively low, at approximately 70 kg per person, compared to over 200 kg per person in the United States and more than 100 kg per person in China (VPPA, 2024). The demand for paper packaging is experiencing rapid growth, particularly within the food, beverage, e-commerce, and retail sectors. Paper packaging is increasingly regarded as an ideal alternative to plastic packaging due to its compostability and recyclability. In the Vietnamese market, common types of paper packaging products include carton packaging and kraft packaging, among others. Numerous industries

and sectors are closely reliant on paper packaging, including the dairy, food, cosmetics, and industrial manufacturing industries. Notably, the surge of the e-commerce industry in Vietnam during 2022 and 2023 has significantly contributed to increased consumption within the paper packaging sector, necessitating a substantial volume of packaging, particularly carton boxes for product packaging and shipping. There are approximately 280 paper-producing enterprises in the country, with about 30 large enterprises accounting for 70% of total production output, while the remaining 250 small and medium-sized enterprises contribute 30% of the output. The structure of paper products indicates that packaging paper constitutes the largest proportion, estimated at 82.48% (VPPA, 2024). A significant number of both domestic and international corporations have invested in Vietnam's paper packaging industry, fostering competition and enhancing quality standards. It shows the high development potential of this industry in the coming years in Vietnam.

The development of closed systems relies on a comprehensive understanding of material flows within the system. Consequently, the implementation of Material Flow Analysis (MFA) is essential for quantifying these flows in the relevant environment. MFA serves as a valuable tool for identifying opportunities for legal and policy interventions, as well as effective actions to address environmental challenges (Shewyn et al., 2019). In addition, it also provides the technical data necessary for informed decision-making and strategic planning (Luke et al., 2018). The results derived from MFA can directly highlight economic opportunities that are closely tied to environmental impacts, thereby fostering the growth of environmentally sustainable enterprises. This approach emphasizes three critical dimensions: environmental, economic, and social considerations. In the course of designing policies and legislation regarding the circular economy in Vietnam, MFA is a valuable tool that enhances the scientific and precise decision-making process for policymakers. However, the practical implementation of MFA in Vietnam has revealed that one of the greatest challenges in its application is related to data collection. Particularly in countries like Vietnam, the availability and quality of data remain significant limitations.

This research applies the MFA method to identify the material flows at each stage in the life cycle of paper packaging products. The results of the MFA analysis will help identify the stages that generate waste as well as the potential amount of waste generated in the paper packaging industry. The information is useful for proposing legal and policy recommendations in the implementation of the circular economy and addressing the environmental challenges for the paper packaging industry. These research results are also valuable referred for other industries to implement the National Action Plan for Circular Economy by 2035 in Vietnam.

2. METHODOLOGY

MFA is a pivotal instrument for identifying opportunities within the circular economy (CE) framework and for making informed decisions regarding waste management under this model. The results of many studies show that MFA is an effective tool in proposing the solutions towards a circular economy for industries in general and the paper industry in particular (Eva et al., 2015) (Seok et al., 2011) (Vincenzo et al., 2024).

The MFA methodology has been successfully utilized in various countries worldwide to monitor and measure progress towards circular economy initiatives. Notably, the European Union proposed

a monitoring framework designed to assess advancements toward a circular economy at both the EU and national levels (EU, 2025). This framework includes a comprehensive visualization of material flows and a set of ten key indicators that encompass each stage of the raw materials lifecycle, along with associated economic aspects.

In this study, the MFA uses the product life cycle approach with four key stages: Stage 1 - Production materials; Stage 2 - Production; Stage 3 - Consumption and Stage 4 - Waste management. Figure 1 presents our research approach.

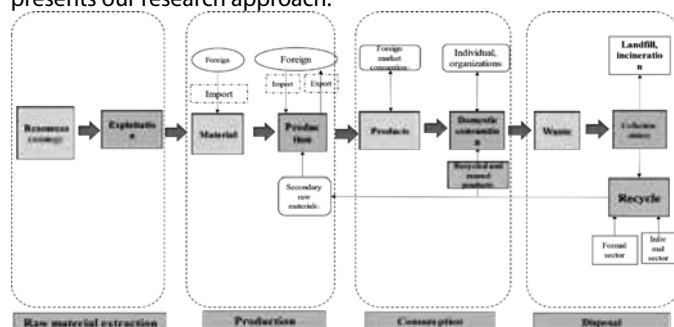


Figure 1. The product lifecycle approach to undertaking MFA

One of the biggest challenges associated with MFA is data collection, especially in developing countries such as Vietnam. The effectiveness of MFA is highly dependent on the availability and quality of the data collected. This study was carried out in the following steps:

- Step 1: Identify the research object
- Step 2: Survey and collect data
- Step 3: Analyze the data and build a material flow diagram
- Step 4: Propose and calculate the proposed economic indicators
- Step 5: Propose appropriate policy solutions to promote CE for the research subjects

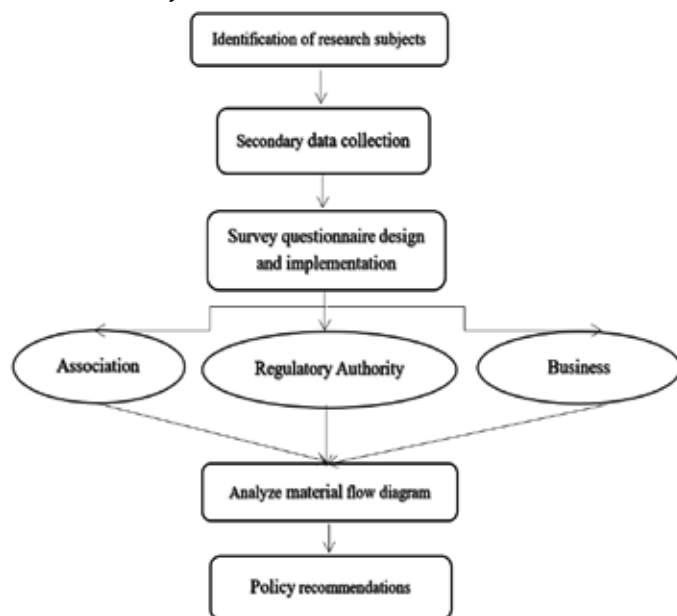


Figure 2. The diagram of research approach

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Material flow analysis for the paper packaging industry

Raw materials for the paper packaging production

The primary raw materials for paper production are scrap paper and pulp. Vietnam produced 107,100 tonnes of paper pulp and imported 154,000 tonnes of paper pulp in 2023 (VPPA, 2024).

For recycled paper materials, the demand for recycled paper materials in 2023 will be 7,861 million tonnes, of which the domestic collection volume is estimated at 3,983,000 tonnes and the imported volume is 3,878,000 tonnes. In particular, the VPPA report estimates that the paper packaging industry accounts for about 70% of the demand for recycled paper nationwide (VPPA, 2024). The total amount of recycled paper used as raw material for the production of paper packaging products in 2023 is 5,502,700 tonnes/year, of which the imported amount is 2,714,600 tonnes/year, and the rest is from domestic recycling activities. It can be seen that the demand for recycled paper materials in production is very high, while the recovery rate is still low, heavily dependent on imported recycled paper, estimated at about 49.2%.

Table 1. Status of recycled paper materials in Vietnam

(Unit: thousand tonnes)

Type	2020	2021	2022	2023
Demand	4,783	5,559	5,760	7,861
Domestic collection	2,343	2,669	2,995	3,983
Import	2,439	2,891	2,765	3,878

Source: VPPA (2024)

Production of the paper packaging

Aggregated data from the past four years indicates a positive growth trend in the paper packaging industry concerning production, import, and consumption activities. Specifically, in 2023, the production volume of paper packaging is expected to reach 5,734,350 tonnes per year, representing an increase of approximately 3% compared to 2022. The import volume of paper packaging, particularly coated paper, is projected to be 1,637,120 tonnes in 2023, reflecting a 10% increase over the previous year. Conversely, the export volume of paper packaging, predominantly carton packaging, is anticipated to be 2,048,020 tonnes per year in 2023, marking a decline of 5.5% compared to 2022. This decrease is attributed to an increased demand for domestic packaging in 2023.

Table 2. Summary of data on production, import and export of paper packaging in Vietnam

(Unit: thousand tonnes)

Activity	2020	2021	2022	2023
Production	4,761.42	4,688.46	5,565.69	5,734.53
Import	1,645.06	1,481.32	1,637.12	1,637.12
Export (mainly carton packaging)	1,307.69	1,033.42	2,048.02	2,048.02

Source: VPPA (2024)

This research also investigated the rate of waste generated from the production process as well as the rate of waste recycling at the paper packaging manufacturing facilities. The survey results in 2024 showed that the average percentage of waste generated from the production process was 7.5%. The production process of packaging paper from recycled paper is estimated to generate approximately 20 to 30 kilograms of waste per tonne of product, which equates to about 2 to 3% of the total output. In contrast, the pulp production process generates approximately 60 to 80 kilograms of waste per tonne of product.

Consumption of paper packaging

Numerous industries and sectors are closely reliant on paper packaging, including the dairy, food, cosmetics, and industrial manufacturing industries. Notably, the surge of the e-commerce industry in Vietnam during 2022 and 2023 has significantly contributed to increased consumption within the paper packaging sector, necessitating a substantial volume of packaging, particularly

carton boxes for product packaging and shipping. The Vietnam E-Commerce Association estimated that the growth rate of Vietnam's e-commerce sector in 2023 will exceed 25% compared to the previous year, reaching a total value of approximately 25 billion USD (VECA, 2024).

Figure 3. Types of paper packaging on the market

No.	Paper Packaging Type	Image	Intended use
1	Carton		Mainly used in transporting products in the following industries: clothing, cosmetics, beverages, food, household appliances, etc.
2	High-quality paper packaging		Used for food and beverage products that require high preservation quality such as milk and beverages,...
3	Kraft Paper Packaging		Used to store food products such as bread, tea packages, coffee, etc.
4	3-5 layers kraft paper packaging		Used in a number of basic industries such as: cement, chemicals, construction, used to store flour, fried flour, food industry with a storage capacity ranging from 10 -50 kg.....
5	Plastic laminated kraft paper packaging		commonly used in industries such as chemicals, construction, plastics and additives in the plastic industry, widely used in industries such as agriculture, animal husbandry, fisheries, etc.

In 2023, the estimated per capita paper consumption in Vietnam is projected to be 69.5 kilograms per person per year. The total consumption of paper across the entire industry is anticipated to reach 6,567,360 tonnes

per year. The consumption of paper packaging products accounts for 79.49%, equivalent to the consumption of 5,220,450 tons of packaging paper products per year in 2023 (VPPA, 2024) (Fig 3).

After being used for various consumption purposes, a part of the paper packaging products will be collected and brought to recycling facilities. The recyclable packaging paper collection activities are carried out by the formal sector (including state companies, the registered facilities to operate under the management of state agencies, etc.) and the informal sector (household-scale facilities, unregistered establishments, etc.). In Vietnam, the informal sector has shown that they are playing an important role in the collection of packaging paper in particular and recyclable waste in general.

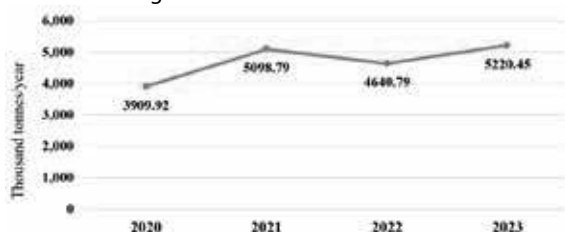


Figure 3. Annual consumption of paper packaging in Vietnam (VPPA, 2024)

Waste management of paper packaging

Solid waste generated from the paper packaging industry includes three main sources: 1) Solid waste from the production process of paper packaging products; 2) solid waste from the recycling process of paper packaging products and; 3) solid waste from the consumption and use of paper packaging products.

Solid wastes from the production process of paper packaging products are classified as industrial waste. They will be collected and processed by the licensed facilities.

Similarly, the solid waste generated after the recycling process is classified as industrial waste at the facilities that recycle the packaging paper products after use. They will be collected and treated by the functional and licensed units. According to the VPPA report in 2024, the waste generation rate for packaging paper product recycling facilities is a maximum of 10% of the volume of raw materials (sludge and waste powder generation is 10-15 kg/tonne, other solid waste is less than 100 kg/tonne) (VPPA, 2024). The remaining amount of packaging paper products is put into the recycling stages, becoming recycled paper materials that return to the raw material production process.

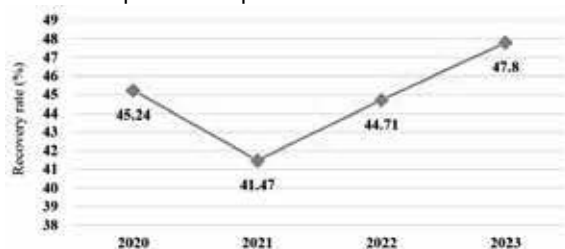


Figure 4. The recovery rate of recycled paper materials (VPPA, 2024)

Solid waste generated from the use and consumption processes of paper packaging products, if not classified, separated and recycled, will be considered the waste. According to the VPPA 2024 report, the amount of sorted and recycled waste accounted for 47.8% in 2023, and showed an increasing trend in recent years (VPPA 2024) (Fig. 4). The remaining amount of uncollected waste (accounting for 52.2%) will be collected with other types of waste such as domestic waste, industrial waste, medical waste, etc. and brought to the reception and treatment waste facilities.

The solid waste generated from the paper packaging industry, like other types of industrial waste, is partly treated by incineration and/or landfill at the solid waste treatment facilities. The remainder

will exit in the environment as waste. Because the data on the rate of waste from the paper packaging industry collected and treated is currently not available, it has not been fully recorded and audited. This research refers to the data on the rate of industrial waste collection and treatment published in Report No. 212/BC-CP of the Government dated May 4, 2024 on Environmental Protection in 2023. Accordingly, the collection rate for industrial waste reaches 90%, and the entire amount of collected waste will be taken to the solid waste treatment facilities (Government Office, 2024). The remaining amount of waste from the paper packaging industry in the environment is 339,608.6 tonnes/year, equivalent to 10%.

Material flow analysis for the packing paper industry

Based on the data collected and analyzed, the research utilized STAN 2.7 software to redefine the flow path of paper packaging materials by the principles of material balance. The results are presented in Figure 5. The results of material flow analysis of the paper packaging industry show that this industry in Vietnam is currently significantly dependent on imported paper raw materials. The amount of imported raw materials, including recycled paper raw materials, is 2,868,600 tonnes/year, accounting for 49.7% of the total supply of paper raw materials for the annual production process (5,763,800 tonnes/year).

During the production process, the amount of paper recycled on-site is very limited, only about 8,601.53 tonnes/year, accounting for about 2.0% of the amount of waste generated from the production process. Meanwhile, this process generates about 421.47 thousand tonnes of waste annually.

The total amount of paper packaging products put into the consumption process is 5,220,450 tonnes/year. After being used in various applications, they become waste. With an estimated collection rate of 47.8%, the amount of waste from the paper packaging industry collected annually is 2,495,375.1 tonnes/year, and the amount of waste not collected is 2,725,074.9 tonnes/year. The amount of paper packaging waste collected and recycled by both the informal and formal sectors will become the material for the recycled paper industry. The amount of recycled paper products through the recycled process is 2,245,837.6 tonnes/year, which is returned as the raw material for the paper packaging industry.

Notably, the consumption progress shows that the inventory is more than 514,080 tonnes/year (accounting for 9.85% of the total consumption), meaning that a part of the paper packaging will be reused or not used in 2023. Meanwhile, the inventory in the paper raw material production process is nearly 2.4 million tonnes/year (accounting for 35.53% of the total raw material). The inventory in the paper packaging product production process is 110,503 tons/year (accounting for 1.93% of the total production). These data show that the largest inventory is in the paper raw material production stage, mainly consisting of pulp materials collected and recycled domestically, which will be used in the following year.

The total amount of waste generated from the paper packaging industry is estimated at 3,396,086.4 tonnes/year. Of which, the amount of waste generated from the production of paper packaging products is 421,474 tonnes/year (accounting for 12.4%), waste from the use of paper packaging that is not collected is 2,725,074.9 tonnes/year (accounting for 80.3%) and waste from the recycling of used paper packaging products is 249,537.5 tonnes/year (accounting for 7.4%). It shows that the amount of waste in the paper packaging industry is mainly used paper packaging that is not collected or cannot be recycled. Therefore, it is necessary to focus on solutions to increase the collection and/or recycling rate to reduce waste.

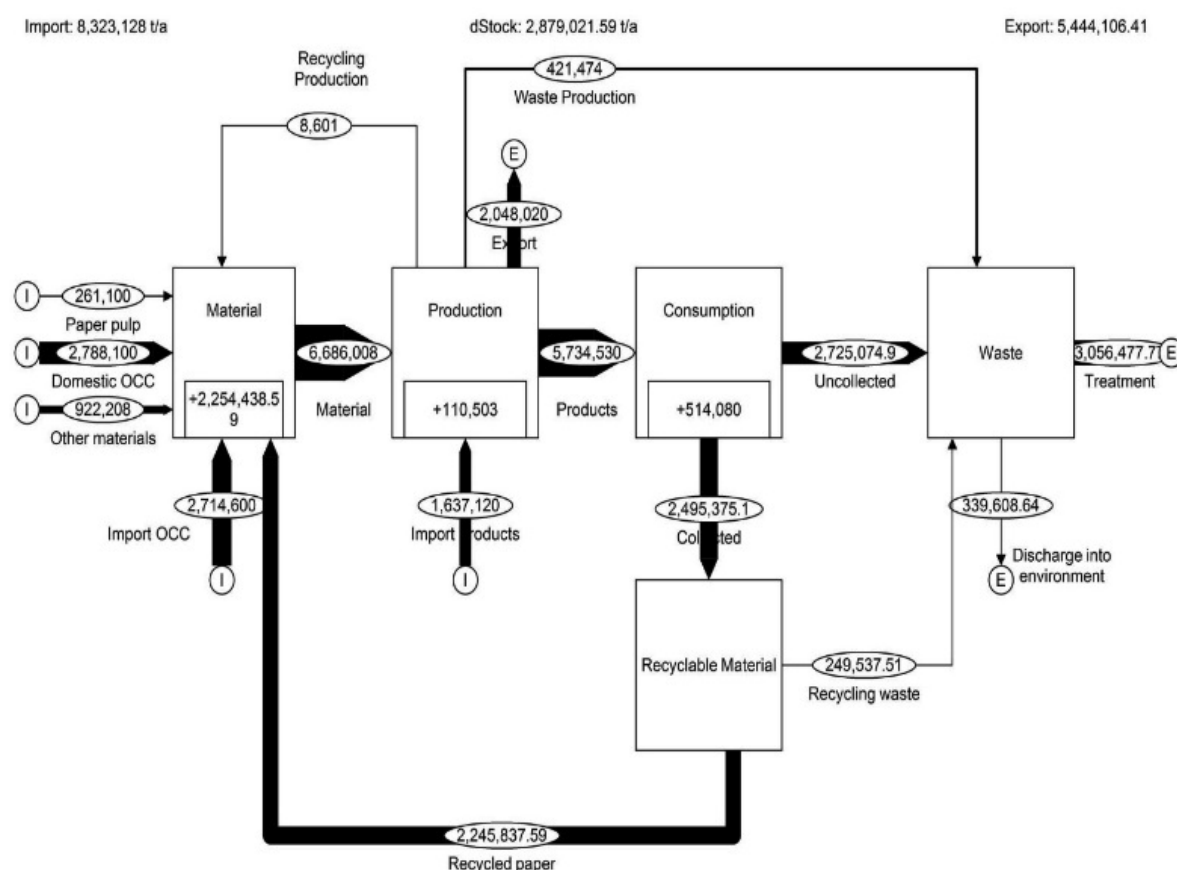


Figure 5. Material flow diagram for Vietnam's paper packaging industry

3.2. Policy recommendations for the paper packaging industry

Vietnam has been taking steps towards increasing its environmental regulations and introducing circular economy (CE) measures. One of the most recent regulations is the manufacturer recycling responsibility (EPR), which has taken effect from January 1, 2024 according to the provisions of the Law on Environmental Protection 2020, Decree No. 08/2022/ND-CP, Decree No. 05/2025/ND-CP. From this date onward, manufacturers and importers of certain types of packaging (containing commercial goods) will be responsible for recycling such packaging after it has been disposed of by consumers. Whereas in the past, manufacturers and importers recycled waste from their products on a voluntary basis, they now have to fulfil this obligation according to the mandatory standards and rates stipulated in environmental protection laws and related guiding documents. Producers and importers can conduct their own recycling or contribute financially to the Vietnamese Environment Protection Fund, which supports recycling operations and general activities related to EPR. The EPR states mandatory recycling rates for paper packaging materials, which range from 15-20%, where the lowest rates are for mixed paper packaging types and the highest rate is for paper and carton packaging.

The newest government direction is to have a holistic value chain perspective where different interest groups, sectors and processes are considered in policy formulation. The introduction of all the new policies implies having detailed knowledge about the packaging sectors regulated, including waste management.

However, there is a lack of detailed industrial resource use statistics to the level needed, while the recycling sector is nascent or informal and therefore data coverage remains low or known recycling rates are low. Thus, this brief aims to address such gaps by collecting lifecycle information and using it to map material flows and benchmark CE indicators. The research aims to address Article 139 of Decree 08/2022/ND-CP by helping to establish a methodological framework for CE. The result of this study will support the new government's aim the creating a value chain that involves job creation, new and existing interest groups and new sectors.

Policy recommendations from this work can be subdivided into overarching recommendations and those relevant to different stages of the value chain and/or product lifecycle. Figure 6 shows a summary of the key policy recommendation areas.

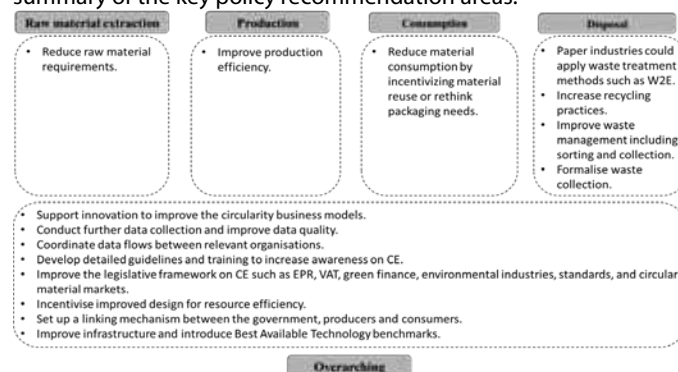


Figure 6. Summary of policy recommendations related to product lifecycles

The policy recommendations for the first three stages (Raw material extraction, Production and Consumption) have components that combine technical expertise with policy incentives, which aim to reduce overall material use. Businesses have incentives to do this already as their costs are impacted by material use so policies should mainly aim to incentivise this behaviour. Consumers on the other hand will benefit from policies that aim to change their habits towards a more efficient use of resources.

Disposal

An effective implementation of waste classification activities is needed nationwide from 2025 to reduce landfill use and increase the proportion of domestic scrap for further industrial reuse and recycling. This involves increasing sorting activities, formalizing waste collection and sorting, and increasing recycling. Planning and investment are thus required for the development of large-scale reuse and recycling waste collection and sorting points. In Vietnam, the discharging waste fee is too small. Economic instruments can then consider incineration or landfill fees to increase the cost of discharging waste and increase the incentive to sort waste.

An estimated 25% of paper production becomes waste since the waste cannot be reused in the same production processes. Waste paper could become biomass and be used for incineration. This has been done in a paper production facility in Vietnam already so the practice could be extended to other facilities.

The informal sector plays an important role in waste collection and recycling. Policies can aim to support the formalisation of the sector so that economic benefits from CE policies can reach it. This will also increase Gender Equality and Social Inclusion since the informal sector has a higher representation of marginalised groups.

Overarching recommendations

The policy recommendations identified involve supporting innovation, improving data practices. Coordinating technical data and interest groups, setting guidelines and improving the legislative framework overall. Data-related opportunities include using the EPR office's data (which is based on company data inputs and reports they make to EPR) for creating evidence that can be shared with the Ministry of Finance (MoF). The Ministry of Industry and Trade (MOIT) can also help with import and export information MoF can help with tax and revenue information. However, some data is sensitive and needs to be handled appropriately.

4. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

Applying the material flow analysis to the paper packaging industry has shown that it is an effective tool in quantifying material flows for these stages throughout the life cycle of the paper packaging products. MFA also proves to be a useful method to identify the opportunities for legal and policy interventions, as well as the effective actions to address the environmental challenges for the paper packaging industry, towards realizing circular economy goals.

From the results of MFA analysis, the policy recommendations for implementing the circular economy are also proposed. Accordingly, it is necessary to focus on encouraging the reduction of raw material consumption, using resources more efficient way at these stages as raw material extraction, paper packaging production and consumption.

For the treatment stage, the nationwide waste classification activities to minimize the use of landfills and increase the proportion of reused household waste and recycled industrial waste should be focused. It includes strengthening the separation

activities, formalizing the waste collection and separation, and increasing recycling, encouraging the participation of the informal sector in waste collection and recycling. These policies can be directed towards supporting the formalization of this sector so that it can benefit economically from environmental and social policies. It will also enhance gender equality and social inclusion as the informal sector has a higher representation of disadvantaged groups. At the national level, policy recommendations include supporting innovation, improving data practices, coordinating technical data and interest groups, establishing guidelines and improving the overall regulatory framework.

Acknowledgments: This research was funded by the Hanoi University of Civil Engineering under Grant No. 05-2025/KH XD. In addition, the study received scientific foundations, methodologies, and reference materials from the Ministry-level Science and Technology Project "Scientific basis for proposing a set of indicators to monitor material flows in the implementation of the circular economy in Vietnam, with pilot applications in the textile sector and solid waste management" Code: TNMT.ĐL.2024.10, chaired by the Institute of Strategy and Policy on Agriculture and Environment. The research also benefited from data support provided by the Southern Partner Fund (SPF) in collaboration with the Vietnam Climate Compatible Growth (CCG) program.

REFERENCES

- [1]. Government Office, Environmental protection Report 2023, 2024.
- [2]. European Union, EU monitoring framework on the circular economy, 2025 <https://ec.europa.eu/eurostat/web/circular-economy/monitoring-framework>
- [3]. Eunomia, Beverage packaging in Vietnam Recycling rate & recycling cost 2022, 2022.
- [4]. Eva Seigné-Itoiz, Carles M. Gasol, Joan Rieradevall, Xavier Gabarrel, Methodology of supporting decision-making of waste management with material flow analysis (MFA) and consequential life cycle assessment (CLCA): case study of waste paper recycling, Journal of Cleaner Production, Volume 105, 15 October 2015, Pages 253-262 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.026>
- [5]. Luke Makarichi, Kua-anan Techato, Warangkana Jutidamrongphan, Material flow analysis as a support tool for multi-criteria analysis in solid waste management decision-making, Resources, Conservation and Recycling, Volume 139, December 2018, Pg 351-365, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.07.024>
- [6]. Ministry of Industry and Trade, Vietnam Import and Export Report, 2023.
- [7]. Seok-jin Hong, Yoon-sil Choi, Kyoung-ryun Kim, Joon-gu Kang, Gil-jong Oh, Tak Hur, Material flow analysis of paper in Korea. Part I. Data calculation model from the flow relationships between paper products, Resources, Conservation and Recycling, Volume 55, Issue 12, October 2011, Pages 1206-1213, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.08.002>
- [8]. Sherwyn Millette, Eric Williams, Clyde Eirikur Hull, Materials flow analysis in support of circular economy development: Plastics in Trinidad and Tobago, Resources, Conservation and Recycling, Vol150, Nov 2019, 104436, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104436>
- [9]. Vietnam Paper and Pulp Association (VPPA), Paper Industry Overview Report, Workshop "Circular Economy of Paper Industry", Hanoi on October 18, 2024.
- [10]. Vietnam E-Commerce Association, Vietnam E-commerce Index Report 2024, 2024.
- [11]. Vincenzo Campobasso, Teodoro Gallucci, Giovanni Lagioia, Application of the MFA Methodology for the Analysis of Paper and Cardboard Waste in Italy and a Focus on Waste Management in Apulia, Innovation, Quality and Sustainability for a Resilient Circular Economy (pp.85-92), April 2024, DOI:10.1007/978-3-031-55206-9_12.



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 Phệt Tích (Bắc Ninh)



Dự án thành phần Chí Thạnh - Vân Phong
thuộc Dự án xây dựng đường bộ cao tốc
Bắc - Nam phía Đông



XI MĂNG CẨM PHẢ **CÔNG NGHỆ NHẬT BẢN**



CÔNG TY CỔ PHẦN XI MĂNG CẨM PHẢ

ĐT: (+84-203) 3 721995

ĐT: (+84-203) 3 721996

FAX: (+84-203) 3 714605

ĐC: Km6, Quốc lộ 18A, P. Cẩm Thạch
TP. Cẩm Phả, Tỉnh Quảng Ninh

CHI NHÁNH PHÍA NAM

ĐT: (+84-254) 3 899 630

FAX: (+84-254) 3 899 629

ĐC: Khu công nghiệp Mỹ Xuân A, P. Mỹ Xuân,
Thành phố Phú Mỹ, Tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu

www.ximangcampha.vn