

09-2026

ISSN 2734-9888

tapchixaydung.vn

XÂY DỰNG

TẠP CHÍ CỦA BỘ XÂY DỰNG

JOURNAL OF CONSTRUCTION



TẬP ĐOÀN BĐS AN GIA
KỶ NIỆM 20 NĂM THÀNH LẬP
(2006 - 2026)

ANGIA 20*Years*

BETTER AND MORE BETTER AND MORE

BETTER AND MORE BETTER AND MORE

BETTER AND MORE BETTER AND MORE

BETTER AND MORE BETTER AND MORE

BETTER AND MORE BETTER AND MORE

BETTER AND MORE BETTER AND MORE

BETTER AND MORE BETTER AND MORE

BETTER AND MORE BETTER AND MORE

BETTER AND MORE BETTER AND MORE

BETTER AND MORE BETTER AND MORE

BETTER AND MORE BETTER AND MORE

BETTER AND MORE BETTER AND MORE

BETTER AND MORE BETTER AND MORE

BETTER AND MORE BETTER AND MORE

BETTER AND MORE BETTER AND MORE

BETTER AND MORE BETTER AND MORE

BETTER AND MORE BETTER AND MORE

BETTER AND MORE BETTER AND MORE

BETTER AND MORE BETTER AND MORE

BETTER AND MORE BETTER AND MORE

BETTER AND MORE BETTER AND MORE

BETTER AND MORE BETTER AND MORE

BETTER AND MORE BETTER AND MORE

BETTER AND MORE BETTER AND MORE

angia.com.vn



CÔNG TY CỔ PHẦN CẤP NƯỚC QUẢNG BÌNH

Địa chỉ: Số 81 đường Lý Thường Kiệt, phường Đồng Hới, tỉnh Quảng Trị

Điện thoại: 02323.825850



MỤC LỤC CONTENT

09.2026 tapchixaydung.vn

HỘI ĐỒNG KHOA HỌC:

PGS.TS Phạm Minh Hà - Chủ tịch Hội đồng
PGS.TS Lê Trung Thành - Thường trực Hội đồng
PGS.TS Vũ Ngọc Anh - Ủy viên
GS.TS Nguyễn Việt Anh - Ủy viên
PGS.TS Phạm Xuân Dương - Ủy viên
PGS.TS Hoàng Hà - Ủy viên
TS Nguyễn Hồng Hải - Ủy viên
TS Lê Quang Hùng - Ủy viên
PGS.TS Nguyễn Văn Hùng - Ủy viên
TS Khuất Việt Hùng - Ủy viên
PGS.TS.KTS Hoàng Vĩnh Hưng - Ủy viên
GS.TS Phạm Huy Khang - Ủy viên
GS.TS.KTS Doãn Minh Khôi - Ủy viên
GS.TS.KTS Nguyễn Tố Lăng - Ủy viên
PGS.TS Nguyễn Ngọc Long - Ủy viên
GS.TS Phan Quang Minh - Ủy viên
TS Phan Hữu Duy Quốc - Ủy viên
PGS.TS Nguyễn Thanh Sang - Ủy viên
GS.TS Phạm Cao 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:

Tầng 3, Số 308E Minh Khai,
phường Tương Mai, TP Hà Nội
Phòng Thư ký - Biên tập (tiếp nhận bài):
024.39740744
Email: banbientap@tapchixaydung.vn
Văn phòng đại diện phía Nam:
17A Hồng Hà, phường Tân Sơn Hoà, TP.HCM.
Giấy phép xuất bản:
Số 14/GP-BVHTTDL, ngày 11/4/2025.
ISSN: 2734-9888
Mã số thuế: 0100931323
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: Hà Nội đang hướng tới một cấu trúc
đa cực, đa trung tâm, phát triển theo mạng lưới,
gắn kết đô thị với giao thông, sinh thái và kinh
tế. Ảnh: Phạm Hùng.

Giá 75.000 đồng

THANH NGÀ 6
NGỌC HÀ 8
ANH MINH 10

PGS.TS.KTS NGUYỄN VŨ PHƯƠNG 14
KS NGUYỄN ĐỨC THUYỀN 18

THS LÊ TÙNG LÂM 20
KTS PHẠM THANH TÙNG 23
TS.KTS BUI DUY ĐỨC 26

TS.KTS TRƯƠNG VĂN QUẢNG 30

NGUYỄN HOÀNG LINH 36

VĂN QUYẾT 38

GS.TS.KTS DOÃN MINH KHÔI, KTS CAO THÀNH NGHIỆP 40
THS.KTS NGUYỄN NGỌC VẤN 44

HUỲNH TRỌNG NHÂN, LÊ HOÀNG THIÊN LONG 50

PGS.TS NGUYỄN THỊ HỒNG HẠNH, PGS.TS PHẠM VĂN HÙNG 56
PGS.TS TRẦN QUANG PHÚ, THS NGUYỄN TẤN THÀNH, THS LÊ VĂN DƯƠNG, THS NGUYỄN QUỐC PHIL, THS NGUYỄN TRI THỨC 60
THS.NCS LÊ NGỌC HẢI, TS TRẦN XUÂN HIẾU, TS LÊ MINH KHUÊ, TS VƯƠNG XUÂN CÁN, TS.KTS LÊ TRỌNG HẢI, KTS NGUYỄN THỊ HỒNG 65

TRẦN LÊ VINH TRÀ, NGÔ THỊ KIM DUNG 70

VŨ ĐỨC NGUYỄN 76

THS.KTS NGUYỄN TRẦN TRỌNG NGHĨA, TS.KTS NGUYỄN SONG HOÀN NGUYỄN 80
LÊ HOÀNG SƠN, NGÔ THỊ THANH HƯƠNG, TRẦN TUẤN HUY, ĐINH VĂN PHỤNG, TS TRẦN THUY ANH, GS.TS TRẦN ĐỨC HẠ, THS ĐÀU KHẮC TIẾN 86
PHẠM THỊ MAI THẢO, VŨ THỊ MAI, HOÀNG THỊ NGÂN HÀ, NGUYỄN THANH TÂM, TS LÊ THÁI BÌNH, TS CHU VIỆT THỨC, TS NGUYỄN VĂN CHÍNH 91
PGS.TS NGUYỄN VĂN LONG, TS NGUYỄN ĐỨC SỸ, THS ĐỖ HOÀNG GIA 96
TS VŨ HỒNG TRƯỜNG, TS THẠCH MINH QUÂN, PGS.TS NGUYỄN HỒNG THÁI 102
CN LÊ THỊ TƯƠI, TS NGUYỄN THU HUYỀN, THS NGUYỄN THỊ HỒNG HƯƠNG, TS VŨ MINH TÂM 106

NGUYỄN LÂM QUẢNG, NGHIÊM VĂN KHANH, TRẦN ĐỨC DUNG 110
TS NGUYỄN ĐÌNH TỬ, PGS.TS NGUYỄN HỒNG THÁI 114

PGS.TS TRỊNH TÚ ANH, THS.KTS ĐẶNG THẾ HIỂN, THS.KTS THÁI ANH VŨ, TS PHẠM NGUYỄN HOÀI, THS HỒ THÁI HÙNG, GS.TS NGUYỄN TRUNG VIỆT, PGS.TS NGÔ TRÍ THƯỜNG 118
KS NGUYỄN CHÍ THIÊN, PGS.TS TRƯƠNG ĐÌNH NHẬT, PGS.TS NGUYỄN HỮU ANH TUẤN, TS TRƯƠNG GIA TOẠI, THS LÊ THỊ THUY LINH 122

QUẢN LÝ NGÀNH

Thu hẹp tiền kiểm, tăng trách nhiệm trong quản lý xây dựng
Đổi mới phương thức quản lý theo Nghị quyết số 57-NQ/TW
6 nhiệm vụ công nghệ chiến lược lĩnh vực đường sắt: Hướng tới làm chủ chuỗi công nghệ

TỪ CHÍNH SÁCH ĐẾN CUỘC SỐNG

Quản trị đô thị trong chính quyền địa phương hai cấp: Tiếp cận đa quy mô theo chức năng
Giải bài toán nhà ở cho người trẻ: Nghiên cứu mô hình cộng đồng tự xây - tự quản kết hợp với cơ chế khai báo xây dựng
Kiến tạo cấu trúc không gian cấp tỉnh
Suy nghĩ về vị trí đặt tượng đài
Sức quyền rũ của những "thành phố tiệc tùng"

TRÒ CHUYỆN VỚI CHUYÊN GIA

"Quy hoạch để trăm năm sau vẫn giữ hồn cốt Hà Nội"

GÓC NHÌN TỪ THỰC TIỄN

Minh bạch hơn với căn hộ chung cư cũ

DOANH NGHIỆP 4.0

Công ty CP Logistics Phước Tạo - đơn vị hàng đầu trong vận tải thủy phía Nam

NGHIÊN CỨU KHOA HỌC

Cấu trúc nước đô thị Cần Thơ trong định hướng quy hoạch đô thị thích ứng biến đổi khí hậu
Một số giải pháp quy hoạch trong bối cảnh mới nhằm phát huy vai trò phát triển công nghiệp tại khu vực Bắc TP Hồ Chí Minh
Hướng tới quy hoạch không gian dựa trên dữ liệu: Khung khái niệm cập nhật động cho quy hoạch đô thị và nông thôn Việt Nam
Nghiên cứu mô hình TOD đối với các tuyến đường sắt đô thị tại TP Hà Nội
Đề xuất định hướng đầu tư hạ tầng giao thông tại TP Hồ Chí Minh theo mô hình đô thị đa trung tâm
Phương pháp quy hoạch kịch bản thích ứng sử dụng dữ liệu động trong tái phát triển khu chung cư cũ ở Hà Nội
Giải pháp giảm thiểu đảo nhiệt đô thị tích hợp trong thiết kế kiến trúc cao tầng khu vực trung tâm TP Hồ Chí Minh
Di sản kiến trúc chùa Khmer vùng Tây Nam Bộ trong bối cảnh đương đại: Giá trị và những thách thức bảo tồn
Ứng dụng mô phỏng trong đánh giá hiệu quả thiết kế thụ động của nhà phố tại TP Hồ Chí Minh: Trường hợp nghiên cứu nhà Bình Tân
Đặc điểm văn hóa trong kiến trúc đình làng Bình Dương
Đề xuất chỉ số suy giảm chất lượng tổng hợp (IPDI) phục vụ quản lý khai thác công trình đường bộ ven biển trong bối cảnh biến đổi khí hậu: Trường hợp nghiên cứu tỉnh An Giang
Giải pháp bổ cập oxy nhằm tăng cường khả năng tự làm sạch và tích hợp cảnh quan cho hồ đô thị
Từ nhận thức xanh đến hành vi chuyển đổi: Nghiên cứu việc thay thế xe máy xăng bằng xe máy điện của sinh viên Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội
Giải pháp nâng cao tiêu chí về giao thông trong xây dựng nông thôn mới tại tỉnh Cao Bằng
Gia cường mặt đường bê tông nhựa bằng lưới địa kỹ thuật: Kinh nghiệm quốc tế và khuyến nghị nghiên cứu cho Việt Nam
Phương pháp luận tính lượng giảm phát thải khí nhà kính của tuyến đường sắt đô thị Cát Linh - Hà Đông so với sử dụng phương tiện cá nhân tại Hà Nội
Giải pháp kiểm soát vi khí hậu và hạ tầng không gian đệm cho di tích kiến trúc gỗ ven biển Nghệ An
Đề xuất mô hình dự báo lưu lượng giao thông cho dự án có đường chính và đường song hành ở Việt Nam
Một số giải pháp về quản lý chất thải rắn xây dựng thực hiện theo mô hình kinh tế tuần hoàn
Quản lý môi trường dựa trên chỉ số KPI đối với máy xây dựng trong thi công công trình giao thông ở Việt Nam
Thực trạng hạ tầng giao thông đường bộ tại Đồng bằng sông Cửu Long và định hướng tái cấu trúc thích ứng mạng lưới giao thông đường thủy
Nghiên cứu tương quan giữa chiều cao dầm và chiều dài nhịp trong cầu dây văng liên hợp bằng mô hình hồi quy phân đoạn
Xây dựng và so sánh các mô hình học máy dự báo cường độ bám dính giữa thanh cốt FRP và bê tông siêu tính năng



INDUSTRY MANAGEMENT

- THANH NGA 6 Reduce pre-approval requirements and increase accountability in construction management
NGOC HA 8 Innovating management methods in accordance with Resolution No. 57-NQ/TW
ANH MINH 10 Six strategic technological tasks for the railway sector: Aiming to master the technology chain

FROM POLICY TO LIFE

- NGUYEN VU PHUONG 14 Urban governance in two-level Local government: A functional, multi-scale approach
NGUYEN DUC THUYEN 18 Addressing the housing challenge for young people: exploring a self-built, self-managed community model combined with a construction declaration mechanism
LE TUNG LAM 20 Creating a provincial-level spatial structure
PHAM THANH TUNG 23 Reflections on the location of the monument
BUI DUY DUC 26 The allure of "party cities"

TALK WITH EXPERTS

- TRUONG VAN QUANG 30 "Planning to preserve the soul of Hanoi for the next hundred years"

PERSPECTIVE TO PRACTICAL

- NGUYEN HOANG LINH 36 More transparency regarding older apartment buildings.

ENTERPRISE 4.0

- VAN QUYET 38 Phuoc Tao logistic corp - a leading unit in southern water transport

SCIENTIFIC RESEARCH

- DOAN MINH KHOI, CAO THANH NGHIEP 40 Can Tho urban water structure in the context of urban planning for climate change adaptation
NGUYEN NGOC VAN 44 Planning solutions for enhancing industrial development in Northern Ho Chi Minh City in the new context
HUYNH TRONG NHAN, LE HOANG THIEN LONG 50 Toward Data-driven spatial planning: A dynamically updated conceptual framework for urban and rural planning in Vietnam
NGUYEN THI HONG HANH, PHAM VAN HUNG 56 Studying on the TOD model for urban railway lines in Hanoi
TRAN QUANG PHU, NGUYEN TAN THANH, LE VAN DUONG, NGUYEN QUOC PHIL, NGUYEN TRI THUC 60 Proposed directions for transport infrastructure investment in Ho Chi Minh City under a polycentric urban development model
LE NGOC HAI, TRAN XUAN HIEU, LE MINH KHUE, VUONG XUAN CAN 65 A dynamic data-driven adaptive scenario planning method for the redevelopment of old apartment complexes in Hanoi
LE TRONG HAI, NGUYEN THI HONG 70 Integrated urban heat island mitigation solutions in high-rise architectural design in central Ho Chi Minh City
TRAN LE VINH TRA, NGO THI KIM DUNG 76 Khmer buddhist architectural heritage in Southwestern Vietnam in the contemporary context: Values and conservation challenges
VU DUC NGUYEN 80 Application of simulation in evaluating the passive design performance of a townhouse in Ho Chi Minh City: The case of Binh Tan house
NGUYEN TRAN TRONG NGHIA, NGUYEN SONG HOAN NGUYEN 86 Cultural characteristics of communal house architecture in Binh Duong
LE HOANG SON, NGO THI THANH HUONG, TRAN TUAN HUY, DINH VAN PHUNG 91 A proposed integrated pavement deterioration index (IPDI) for operation and maintenance management of coastal road infrastructure under climate change: A case study in An Giang province, Vietnam
TRAN THUY ANH, TRAN DUC HA, DAU KHAC TIEN 96 Oxygen supplementation solutions for enhancing self-purification and landscape integration in urban lakes
PHAM THI MAI THAO, VU THI MAI, HOANG THI NGAN HA, NGUYEN THANH TAM 102 From green awareness to switching behavior: A study of the transition from gasoline motorcycles to electric motorcycles among HUNRE students
LE THAI BINH, CHU VIET THUC, NGUYEN VAN CHINH 106 Solutions to improve rural transportation criteria in the new rural development program in Cao Bang province
NGUYEN VAN LONG, NGUYEN DUC SY, DO HOANG GIA 110 Reinforcement of asphalt concrete pavements with geogrids: International experience and research recommendations for Vietnam
VU HONG TRUONG, THACH MINH QUAN, NGUYEN HONG THAI 114 Methodology for quantifying greenhouse gas emission reductions of the Cat Linh - Ha Dong metro compared with the use of private vehicles in Hanoi
LE THI TUOI, NGUYEN THU HUYEN, NGUYEN THI HONG HUONG 118 Solutions for microclimate control and buffer-zone technical infrastructure for coastal timber architectural heritage in Nghe An
VU MINH TAM 122 A proposed traffic forecasting model for projects with main carriageways and parallel minor roads in Vietnam
NGUYEN LAM QUANG, NGHIEM VAN KHANH, TRAN DUC DUNG 125 Some solutions for construction solid waste management implemented according to the circular economy model
NGUYEN DINH TU, NGUYEN HONG THAI 130 Environmental management based on KPI indicators for construction equipment in transport infrastructure projects in Vietnam
TRINH TU ANH, DANG THE HIEN, THAI ANH VU, PHAM NGUYEN HOAI 133 Road transport infrastructure vulnerability in the Mekong delta and strategic orientations for adaptive restructuring of the inland waterway network
HO THAI HUNG, NGUYEN TRUNG VIET, NGO TRI THUONG 138 Studying the girder depth-to-span correlation in composite cable-stayed bridges using a piecewise regression model
NGUYEN CHI THIEN, TRUONG DINH NHAT, NGUYEN HUU ANH TUAN, TRUONG GIA TOAI, LE THI THUY LINH 143 Development and comparison of machine learning models for predicting the bond strength between FRP reinforcing bars and ultra-high performance concrete

SCIENTIFIC COMMISSION:

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

EDITOR-IN-CHIEF:

Nguyen Thai Binh

DEPUTY-EDITOR-IN-CHIEF:

Nguyen Van Huong
Pham Van Dung
Nguyen Thanh Hoa
Ly Ngoc Thanh

OFFICE:

3rd Floor, 308E Minh Khai Street,
Tuong Mai Ward, Hanoi, Vietnam
Editorial Board: 024.39740744
Email: banbientap@tapchixaydung.vn
Representative Office in Ho Chi Minh City:
17A Hong Ha, Tan Son Hoa, HCM City.

PUBLICATION:

No: 14/GP-BVHTTDL dated April 11, 2025.
ISSN: 2734-9888
TIN: 0100931323
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

09.2026 tapchixaydung.vn

HỘI ĐỒNG KHOA HỌC:

PGS.TS Phạm Minh Hà - Chủ tịch Hội đồng
PGS.TS Lê Trung Thành - Thường trực Hội đồng
PGS.TS Vũ Ngọc Anh - Ủy viên
GS.TS Nguyễn Việt Anh - Ủy viên
PGS.TS Phạm Xuân Dương - Ủy viên
PGS.TS Hoàng Hà - Ủy viên
TS Nguyễn Hồng Hải - Ủy viên
TS Lê Quang Hùng - Ủy viên
PGS.TS Nguyễn Văn Hùng - Ủy viên
TS Khuất Việt Hùng - Ủy viên
PGS.TS.KTS Hoàng Vĩnh Hưng - Ủy viên
GS.TS Phạm Huy Khang - Ủy viên
GS.TS.KTS Doãn Minh Khôi - Ủy viên
GS.TS.KTS Nguyễn Tổ 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

THS HOÀNG LONG HẢI	148	Ứng xử theo các trạng thái giới hạn của hệ móng khối đệm Top-base chịu hoạt tải sàn nhà xưởng trên nền đất yếu
TS PHÍ HOÀNG TRÌNH	153	Phân tích đặc tính tĩnh và dao động riêng của hệ thống treo MacPherson bằng phương pháp phần tử hữu hạn
THS NGUYỄN QUỐC TRÚC, TS TRẦN HỮU BẢNG	158	Nghiên cứu chế tạo vữa Geopolymer thân thiện môi trường từ tro bay và xỉ lò cao nghiền mịn
ĐỖ TRỌNG THÀNH, TỐNG TÔN KIẾN, LÊ VIỆT DŨNG	162	Ảnh hưởng của cát nghiền từ đá vôi đến tổn thất độ sụt và cường độ chịu nén của bê tông xi măng chịu lực
PGS.TS TRẦN VĂN QUÂN, TS VŨ TRUNG HIẾU, TS TRINH HOÀNG SƠN, THS.NCS LÊ VĂN HIỆP	168	So sánh sự phát triển cường độ của cấp phối phosphogypsum - trầm tích nạo vét - xi măng dưới hai điều kiện bảo dưỡng
THS.NCS NGUYỄN TUẤN CƯỜNG, TS VŨ VIỆT HÙNG, PGS.TS NGUYỄN THANH SANG	172	Nghiên cứu thiết kế thực nghiệm tối ưu hóa thành phần bê tông ít xi măng có độ bền cao cho kết cấu bê tông cốt thép trong môi trường ven biển Việt Nam bằng phương pháp Plackett-Burman
TS TRẦN THÁI MINH	177	Một số đề xuất về định hướng xây dựng, phát triển hệ thống tiêu chuẩn, quy chuẩn kỹ thuật cho đường sắt tốc độ cao tại Việt Nam
THS.NCS NGUYỄN VĂN HUY, TS ĐÌNH QUANG TOÀN	182	Tối ưu hóa thiết kế dầm học bằng mô hình TPACK và SAMR trong giáo dục nghề nghiệp gắn chuyển đổi số thực chất và hiệu quả
THS NGUYỄN THỊ HẢI YẾN, THS LÊ HOÀNG BẢO NGÔN	186	Ứng dụng WebGIS xây dựng cơ sở dữ liệu đất thủy lợi phục vụ công tác quản lý đất đai của chính quyền trên địa bàn tỉnh Đồng Tháp
THS.NCS NGUYỄN THỊ TRANG, PGS.TS NGUYỄN THANH CHƯƠNG	190	Ứng dụng công nghệ số trong nâng cao trải nghiệm hành khách sử dụng đường sắt đô thị tại Hà Nội
ĐỖ QUỐC HOÀNG, TRẦN ANH BÌNH, NGUYỄN TUẤN ANH, NGUYỄN MẠNH TUẤN	194	Nghiên cứu và phát triển hệ thống số hóa, truy vấn ngôn ngữ tự nhiên kho hồ sơ bản vẽ kiến trúc dạng scan
NGUYỄN HỒNG HẢI, NGUYỄN SƠN LÂM, HOÀNG MẠNH	198	QCVN 04-3:2026/BXD và tác động đến hiệu quả sử dụng năng lượng, giảm phát thải khí nhà kính và mục tiêu phát thải ròng bằng "0" trong lĩnh vực xây dựng
HỒ THANH PHONG, NGUYỄN ANH TUẤN, HỒ QUỐC BẢO, LÊ HOÀNG SƠN, ĐỖ VIỆT DŨNG	202	Quản lý sức khỏe cầu đường bộ thích ứng biến đổi khí hậu ứng dụng trí tuệ nhân tạo
TRẦN VĂN TOÀN PHẠM VĂN VƯỢNG	206	Tổ chức và quản lý thông tin công trình xây dựng giai đoạn thiết kế cơ sở trên BIM
CN TRẦN THẾ PHONG, TS THẠCH MINH QUÂN	211	Khung đánh giá đa tiêu chí lựa chọn công nghệ điện rác phù hợp với đặc tính chất thải rắn sinh hoạt và yêu cầu BAT theo IED tại Việt Nam
VŨ QUÝ PHÁT, TS ĐỖ VĂN CHÍNH	216	Tổng quan hệ thống về các xu hướng nghiên cứu trong lĩnh vực taxi điện: Phân tích trắc lượng thư mục bằng OSviewer
THS.NCS LÊ PHI VŨ, TS LÊ MẠNH TƯỜNG	221	Tổng quan quản lý rủi ro trong đầu tư xây dựng công trình nông nghiệp và phát triển nông thôn
TS THÂN TRỌNG TRẦN HOAN, THS PHẠM TRƯỜNG GIANG, THS BÙI MINH NGỌC TRUNG, NGUYỄN THỊ THUY DUNG	226	Nghiên cứu những rào cản trong thu hút đầu tư phát triển hạ tầng giao thông thủy nội địa trên địa bàn tỉnh Đồng Tháp
THS LÊ KIM NHUNG, PGS.TS NGUYỄN HOÀNG TÙNG, THS LÊ KHÁNH CHI, NGUYỄN NAM SƠN	230	Chứng khoán hóa nợ, giải pháp quản trị rủi ro trong đầu tư phát triển cơ sở hạ tầng tại Việt Nam
THS NGÔ TOÀN THẮNG, TS ĐỖ THỊ HUỲNH, PGS.TS NGUYỄN LƯƠNG HẢI	234	Nghiên cứu tác động của các chính sách thu hút đầu tư vào các dự án hạ tầng giao thông đường bộ theo hình thức đối tác công - tư (PPP) đối với quyết định tham gia dự án của doanh nghiệp tư nhân tại Đồng bằng sông Hồng
THS NGUYỄN THỊ NGÀ	238	Tiếp cận Fuzzy Delphi xây dựng chức năng điều hành trong quản lý khai thác cơ sở vật chất tại các cơ sở giáo dục đại học công lập Việt Nam
THS.NCS NGUYỄN THỊ THÁI	242	Nhận diện rủi ro doanh thu trong giai đoạn vận hành dự án BOT đường bộ: Phân tích một số trường hợp điển hình tại Việt Nam
TS NGUYỄN THỊ HẠNH, THS CHU THỊ THU HẰNG, THS PHẠM CAO CƯỜNG	246	Hoàn thiện cơ chế quản lý tài chính đối với dịch vụ sự nghiệp công bảo đảm an toàn hàng hải
THS TRẦN MINH ĐỨC, ĐỖ THU HUỲNH, PHẠM TRẦN TUYẾT NHÌ, ĐẤU QUỲNH GIANG, THS BÙI THỊ NHƯ LOAN	250	Các yếu tố ảnh hưởng đến quyết định làm thêm của sinh viên Khoa Quản trị, Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải
THS.NCS LÊ PHI VŨ, PGS.TS DƯƠNG HỮU TUYẾN	254	Nghiên cứu ứng dụng ma trận xác suất - tác động đối với các yếu tố rủi ro tổ chức trong dự án xây dựng công trình đường bộ
TS ĐỖ VĂN THUẬN, THS.NCS TRẦN TUẤN PHONG, TS LÊ THỊ THU HUỲNH	258	Chính sách về thu hút đầu tư phát triển hạ tầng giao thông liên quan đến vùng nhiễm mặn trên địa bàn tỉnh Đồng Tháp
TS NGUYỄN THỊ HẠNH, THS PHẠM CAO CƯỜNG, THS TRINH THỊ QUỲNH MAI	262	Tác động của phối hợp quản lý vốn đến tiến độ giải ngân vốn đầu tư công trong các dự án xây dựng giao thông
TS TRẦN LÊ THẾ DIỄN, TS THIÊM QUỐC TUẤN	265	Đẩy mạnh hoạt động cho vay nhà ở xã hội của Ngân hàng Chính sách xã hội
NGUYỄN VŨ TRỌNG, VŨ THỊ TUYẾT GIANG	268	Mối liên hệ cơ chế giữa thủy động lực học và mất ổn định bờ sông trong môi trường trầm tích dính kết tại điểm trượt lở Bình Đức, sông Hậu, An Giang
PGS.TS PHẠM THỊ NGỌC LAN, PGS.TS NGUYỄN THỊ THẾ NGUYỄN, PGS.TS NGHIÊM VĂN KHANH	272	Đánh giá ảnh hưởng của kích thước gia tăng chuyển vị đến áp lực đất bị động bằng phân tích phần tử hữu hạn biến dạng phẳng theo tiêu chuẩn Mohr-Coulomb
	276	Hiện trạng đóng cửa, điều kiện hạ tầng kiểm soát ô nhiễm và sự phù hợp giữa mối quan tâm và giám sát tại mười bãi chôn lấp chất thải rắn đô thị ở Việt Nam



HOANG LONG HAI	148	Limit state behavior of the Top-base foundation system subjected to factory floor live loads on soft soil
PHI HOANG TRINH	153	Finite element analysis of the static and modal characteristics of a MacPherson suspension system
NGUYEN QUOC TRUC, TRAN HUU BANG	158	Study on the fabrication of eco-friendly Geopolymer mortar from fly ash and ground granulated blast-furnace slag
DO TRONG THANH, TONG TON KIEN, LE VIET DUNG	162	Influence of crushed limestone sand on slump loss and compressive strength of cement concrete
TRAN VAN QUAN, VU TRUNG HIEU, TRINH HOANG SON, LE VAN HIEP	168	Comparison of strength development of a phosphogypsum - dredged sediment - cement mixture under two curing conditions for road subgrade and base applications
NGUYEN TUAN CUONG, VU VIET HUNG, NGUYEN THANH SANG	172	Design of experiment based optimization of low-cement concrete mixtures using the Plackett-Burman method for reinforced concrete structures in vietnam's coastal environment
TRAN THAI MINH	177	Some proposals regarding the direction for developing a system of standards and technical regulations for high-speed rail in Vietnam
NGUYEN VAN HUY, DINH QUANG TOAN	182	Optimizing instructional design through TPACK and SAMR models in vocational education and training for substantive and effective digital transformation
NGUYEN THI HAI YEN, LE HOANG BAO NGON	186	WebGIS application is used to build a database of irrigated land to serve land management work of the government in Dong Thap province
NGUYEN THI TRANG, NGUYEN THANH CHUONG	190	Applying digital technology to enhance passenger experience on Hanoi's urban railway
DO QUOC HOANG, TRAN ANH BINH, NGUYEN TUAN ANH, NGUYEN MANH TUAN	194	Research and development of a system for digitizing and querying scanned architectural drawing archives using natural language
NGUYEN HONG HAI, NGUYEN SON LAM, HOANG MANH	198	QCVN 04-3:2026/BXD and its implications for building energy efficiency, greenhouse gas emissions mitigation, and the transition towards net-zero emissions in the building sector
HO THANH PHONG, NGUYEN ANH TUAN, HO QUOC BAO, LE HOANG SON, DO VIET DUNG	202	AI-enabled climate-adaptive health management for road bridges
TRAN VAN TOAN, PHAM VAN VUONG	206	Organization and management of building information for basic design stage using BIM
	211	Multi-criteria framework for selecting waste-to-energy technologies compatible with municipal solid waste characteristics and BAT requirements under the IED in Viet Nam
TRAN THE PHONG, THACH MINH QUAN	216	A systematic overview of research trends in electric taxis: A bibliometric analysis using VOSviewer
VU QUY PHAT, DO VAN CHINH	221	A systematic review of risk management in agricultural and rural development construction investment
LE PHI VU, LE MANH TUONG	226	Barriers to investment attraction for inland waterway transport infrastructure development in Dong Thap province
THAN TRONG TRAN HOAN, PHAM TRUONG GIANG, BUI MINH NGOC TRUNG, NGUYEN THI THUY DUNG	230	Debt Securitization, a risk management solution for infrastructure development investment in Vietnam
LE KIM NHUNG, NGUYEN HOANG TUNG, LE KHANH CHI, NGUYEN NAM SON	234	A study on the impact of investment attraction policies on private enterprises' participation decisions in public-private partnership (PPP) road infrastructure projects in the Red river delta region
NGO TOAN THANG, DO THI HUYEN, NGUYEN LUONG HAI	238	Approaching Fuzzy Delphi to build an executive function in the management and exploitation of facilities at Vietnamese public higher education institutions
NGUYEN THI NGÀ	242	Revenue risk identification during the operational phase of road BOT projects: An analysis of selected case studies in Vietnam
NGUYEN THI THAI	246	Improving the financial management mechanism for public maritime safety assurance services
NGUYEN THI HANH, CHU THI THU HANG, PHAM CAO CUONG	250	Factors influencing part-time employment decisions among students of the Faculty of Management at the University of Transport Technology
TRAN MINH DUC, DO THU HUYEN, PHAM TRAN TUYET NHI, DAU QUYNH GIANG, BUI THI NHU LOAN	254	Application of the probability - impact matrix to organizational risk factors in road construction projects
LE PHI VU, DUONG HUU TUYEN	258	Policies for attracting investment in transport infrastructure development in saline-affected areas of Dong Thap province
DO VAN THUAN, TRAN TUAN PHONG, LE THI THU HUYEN	262	The impact of coordination in capital management on public investment disbursement progress in transport infrastructure projects
NGUYEN THI HANH, PHAM CAO CUONG, TRINH THI QUYNH MAI	265	Enhancing social housing lending by the Vietnam Bank for Social Policies
TRAN LE THE DIEN, THIEM QUOC TUAN	268	Mechanistic relationship between hydrodynamics and riverbank instability in cohesive sediments at the Binh Duc landslide site, Hau river, An Giang province
NGUYEN VO TRONG, VO THI TUYET GIANG	272	Assessing the effect of displacement increment size on passive earth pressures using plane strain finite element analysis with the Mohr-Coulomb criterion
PHAM THI NGOC LAN, NGUYEN THI THE NGUYEN, NGHIEM VAN KHANH	276	Closure status, pollution-control component condition and concern-monitoring correspondence at ten municipal solid waste landfills 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

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

Thu hẹp tiền kiểm, tăng trách nhiệm trong quản lý xây dựng



THANH NGÀ

Hệ thống nghị định hướng dẫn Luật Xây dựng năm 2025 thay đổi cách quản lý từ kiểm soát rộng bằng thủ tục sang kiểm soát có trọng tâm, dựa trên trách nhiệm của chủ đầu tư, điều kiện năng lực và dữ liệu. Việc phân cấp không đồng nghĩa giảm yêu cầu về an toàn, chất lượng, chi phí và tiến độ dự án.

Luật Xây dựng số 135/2025/QH15 được Quốc hội thông qua ngày 10/12/2025. Các nghị định, thông tư quy định chi tiết cùng có hiệu lực từ ngày 01/7/2026, bao quát các khâu từ chuẩn bị dự án, thẩm định, thiết kế, quản lý chi phí, hợp đồng, năng lực đến cơ sở dữ liệu về hoạt động xây dựng.

MỘT THỦ TỤC TỪ CHUẨN BỊ ĐẦU TƯ ĐẾN KHỞI CÔNG

Theo Cục Kinh tế - Quản lý đầu tư xây dựng (Bộ Xây dựng), phương thức quản lý mới được thể hiện trước hết ở việc chuyển từ tiền kiểm rộng sang tiền kiểm có trọng tâm. Kể từ khi chuẩn bị đầu tư đến khi khởi công công trình, cơ quan chuyên môn về xây dựng chỉ thực hiện một thủ tục hành chính; đối tượng và nội dung thẩm định cũng được cắt giảm. Những vấn đề mang tính liên tỉnh, liên vùng, liên quốc gia; liên quan quốc phòng, an ninh, chủ quyền; đòi hỏi chuyên môn sâu hoặc thuộc dự án quan trọng quốc gia, dự án trọng điểm công nghệ mới tiếp tục được giữ ở cấp Trung ương. Các thủ tục còn lại được phân cấp cho địa phương.

Theo Nghị định số 217/2026/NĐ-CP về quản lý hoạt động xây dựng, Nhà nước không tiền kiểm mọi dự án và mọi nội dung, mà tập trung vào những yếu tố tác động lớn đến an toàn, lợi ích công cộng và việc tuân thủ pháp luật.

Do đó, giảm thẩm định không có nghĩa giảm trách nhiệm quản lý nhà nước. Trách nhiệm ấy được thực hiện bằng tiêu chuẩn, quy chuẩn kỹ thuật, điều kiện năng lực, kiểm tra và giám sát. Ở chiều ngược lại, chủ đầu tư không chỉ tổ chức thực hiện dự án mà phải chịu trách nhiệm về tính đúng đắn, hợp pháp, chất lượng, chi phí, tiến độ và an toàn của quyết định thuộc thẩm quyền.

Cục Kinh tế - Quản lý đầu tư xây dựng lưu ý 4 vấn đề khi thẩm định dự án. Trước hết, phải xác định dự án thuộc trường hợp cơ quan chuyên môn về xây dựng thẩm định Báo cáo

nghiên cứu khả thi hay do chủ đầu tư tổ chức thẩm định. Tiếp đó, cần phân biệt phạm vi thẩm định của cơ quan chuyên môn với phạm vi của chủ đầu tư hoặc cơ quan chủ trì thẩm định. Với dự án thuộc diện cơ quan chuyên môn thẩm định, thẩm quyền cụ thể phải được xác định theo Điều 32 và Điều 33 Nghị định số 217/2026/NĐ-CP. Dự án đã hoặc đang triển khai phải đối chiếu quy định chuyển tiếp tại Điều 76.

Điểm cần tránh là địa phương mở rộng phạm vi thẩm định, yêu cầu thêm thành phần hồ sơ hoặc xem xét lại nội dung pháp luật đã giao chủ đầu tư. Cách làm này vừa kéo dài thủ tục, vừa làm mờ trách nhiệm của từng chủ thể, không đúng mục tiêu cải cách.

Quản lý thiết kế cũng được điều chỉnh. Luật mới quy định theo “loại thiết kế xây dựng” thay cho cách diễn đạt “bước thiết kế xây dựng”, khắc phục cách hiểu rằng các bước thiết kế luôn phải triển khai theo một trình tự cứng. Nghị định số 217/2026/NĐ-CP quy định nội dung của từng loại thiết kế, làm căn cứ đánh giá sự phù hợp khi thiết kế được điều chỉnh. Nếu điều chỉnh thiết kế triển khai sau khi dự án được phê duyệt nhưng không dẫn đến trường hợp phải điều chỉnh dự án, chủ đầu tư tự quyết định và báo cáo người quyết định đầu tư.

Về tổ chức quản lý dự án, khi lựa chọn hình thức chủ đầu tư trực tiếp quản lý dự án, chủ đầu tư được quyết định thuê tư vấn quản lý, thành lập ban quản lý dự án trực thuộc hoặc tự thực hiện. Tổ chức, cá nhân tham gia quản lý dự án không còn phải có chứng chỉ năng lực, chứng chỉ hành nghề như trước; cá nhân phải có kinh nghiệm chuyên môn đáp ứng yêu cầu công việc.

Quy định về giấy phép xây dựng nằm từ Điều 49 đến Điều 66 Nghị định số 217/2026/NĐ-CP. Hồ sơ được thực hiện trực tuyến toàn trình trên Cổng Dịch vụ công quốc gia; thông tin đã có trong cơ sở dữ liệu quốc gia không phải nộp lại.

Một điểm đang dễ bị hiểu sai là trường hợp miễn giấy phép. Công trình cấp IV hoặc nhà ở riêng lẻ dưới 7 tầng, tổng diện tích sàn dưới 500 m², không đương nhiên được miễn phép. Theo điểm g khoản 2 Điều 43 Luật Xây dựng năm 2025, các công trình này chỉ được miễn khi không nằm trong các khu vực luật liệt kê, trong đó có khu chức năng, khu vực phát triển đô thị xác định trong quy hoạch chung; khu dân cư nông thôn, khu vực xây dựng xác định trong quy hoạch chung xã; hoặc khu vực đã có quy chế quản lý kiến trúc.

CHI PHÍ PHẢI BẮM THỊ TRƯỜNG, HỢP ĐỒNG PHẢI PHÂN RÕ RỦI RO

Nếu Nghị định số 217/2026/NĐ-CP điều chỉnh trình tự và trách nhiệm quản lý dự án, Nghị định số 206/2026/NĐ-CP quy định chi tiết về quản lý chi phí đầu tư xây dựng cùng Thông tư số 36/2026/TT-BXD hướng dẫn một số nội dung, phương pháp xác định và quản lý chi phí đầu tư xây dựng đặt yêu cầu kiểm soát chi phí sát điều kiện thực tế hơn.

Khi xác định tổng mức đầu tư và dự toán, chủ đầu tư, tư vấn được tham khảo nhiều nguồn thông tin về giá xây dựng và dữ liệu chi phí của công trình tương tự. Giá được lựa chọn phải phù hợp tiêu chuẩn, chỉ dẫn kỹ thuật, xuất xứ, yêu cầu chất lượng của công trình và mặt bằng thị trường. Chi phí dự phòng phải tính đến thời gian thực hiện, tiến độ dự kiến và khả năng biến động giá trong nước, quốc tế.

Quy định mới cũng làm rõ việc điều chỉnh tổng mức đầu tư, dự toán, kể cả công trình hoặc gói thầu đã ký hợp đồng. Chủ đầu tư được điều chỉnh cơ cấu các khoản mục chi phí để giữ tiến độ và mục tiêu dự án, với điều kiện không thay đổi mục tiêu, quy mô, cơ cấu nguồn vốn và không vượt tổng mức đầu tư đã được duyệt. Quyền chủ động này đi kèm trách nhiệm chứng minh đầy đủ căn cứ, dữ liệu và phương pháp tính.

Ở cấp địa phương, UBND tỉnh, thành phố có trách nhiệm tổ chức khảo sát, thu thập thông tin, xác định và công bố giá VLXD, giá nhân công, giá ca máy, chỉ số giá xây dựng. Dữ liệu phải phản ánh kịp thời diễn biến thị trường, bởi đây là đầu vào trực tiếp cho lập, điều chỉnh và quản lý chi phí dự án.

Đối với hợp đồng, Luật Xây dựng năm 2025 và Nghị định số 210/2026/NĐ-CP quy định chi tiết và hướng dẫn thi hành một số điều của Luật Xây dựng về hợp đồng xây dựng đặt nguyên tắc phân chia rủi ro minh bạch, phù hợp tính chất từng loại hợp đồng. Khi biến động giá đáp ứng điều kiện của trường hợp bất khả kháng hoặc hoàn cảnh thay đổi cơ bản theo pháp luật, chủ đầu tư có thể quyết định sửa đổi hợp đồng, bao gồm: loại hợp đồng, hình thức giá và phương pháp điều chỉnh.

Tuy nhiên, giá vật liệu tăng cao không phải là căn cứ tự động để điều chỉnh. Hợp đồng phải thuộc loại được điều chỉnh giá; các bên phải thỏa thuận rõ trường hợp điều chỉnh, công thức tính, nguồn dữ liệu giá và nội dung liên quan.

Nghị định số 210/2026/NĐ-CP bổ sung hợp đồng theo kết quả đấu ra. Thay vì kiểm soát chi tiết từng đầu việc và chi phí, loại hợp đồng này quản lý chất lượng sản phẩm cuối cùng, tạo dư địa cho nhà thầu lựa chọn công nghệ, tổ chức thi công và tối ưu tiến độ, chi phí. Việc thanh toán, quyết toán căn cứ kết quả đấu ra đã thỏa thuận.

Các quy định về sửa đổi, điều chỉnh giá, tạm dừng, chấm dứt và thanh lý hợp đồng cũng được cụ thể hơn. Đáng chú ý, một bên được quyền đơn phương thanh lý nếu bên còn lại không thực hiện thanh lý theo thỏa thuận. Hợp đồng cũng có thể tự thanh lý mà không cần biên bản thanh lý nếu các bên đã thỏa thuận. Những quy định này đòi hỏi điều khoản hợp đồng phải được soạn cụ thể ngay từ đầu.

DỮ LIỆU TRỞ THÀNH CÔNG CỤ QUẢN LÝ XUYẾN SUỐT

Nghị định số 212/2026/NĐ-CP quy định về điều kiện năng lực hoạt động xây dựng, Hệ thống thông tin, Cơ sở dữ liệu quốc gia về hoạt động xây dựng và Thông tư số 39/2026/TT-BXD hướng dẫn một số nội dung chi tiết trong Hệ thống thông tin, Cơ sở dữ liệu quốc gia về hoạt động xây dựng thiết lập nền tảng quản lý bằng dữ liệu, mã định danh và công khai thông tin năng lực. Trách nhiệm được phân theo nguồn hình thành dữ liệu.

Với dữ liệu phát sinh từ kết quả giải quyết thủ tục hành chính, cơ quan chuyên môn về xây dựng hoặc cơ quan thực hiện thủ tục phải thu thập, kiểm tra, chuẩn hóa, xác thực và cập nhật vào Cơ sở dữ liệu quốc gia về hoạt động xây dựng. Với dữ liệu do chủ đầu tư, tổ chức, cá nhân tự kê khai, chủ thể cung cấp chịu trách nhiệm về tính đầy đủ, chính xác và kịp thời.

Thông tin về tổ chức, cá nhân, dự án, công trình và các nội dung liên quan được chuẩn hóa, liên kết bằng mã định danh. Khi dữ liệu đã được xác lập trên hệ thống, người dân và doanh nghiệp không phải kê khai, nộp hoặc chứng minh lại trong thủ tục tiếp theo. Mã định danh là khóa nối dữ liệu giữa dự án, công trình và chủ thể, giúp chuyển từ quản lý từng bộ hồ sơ sang kế thừa, kiểm tra và khai thác dữ liệu.

Theo ông Bùi Văn Dưỡng - Phó Cục trưởng Cục Kinh tế - Quản lý đầu tư xây dựng, các nghị định không vận hành tách rời mà tạo thành chuỗi quản lý theo vòng đời dự án. Nghị định về quản lý hoạt động xây dựng xác lập trình tự chung; nghị định về chi phí kiểm soát nguồn lực; nghị định về hợp đồng xác định quyền, nghĩa vụ và phân chia rủi ro; nghị định về điều kiện năng lực và cơ sở dữ liệu kiểm soát chủ thể, kết nối thông tin phục vụ quản lý. Cùng với quy định về chất lượng và VLXD, hệ thống này kiểm soát từ đầu vào đến kết quả hoàn thành công trình.

Đối với dự án, thiết kế, dự toán, hợp đồng, chứng chỉ và thủ tục đã thực hiện trước ngày 01/7/2026, nguyên tắc chuyển tiếp là không yêu cầu làm lại công việc đã hoàn thành hợp pháp. Những phần việc chưa thực hiện chuyển sang áp dụng quy định mới theo trạng thái thực tế và quy định của từng lĩnh vực. Khoản 7 Điều 95 Luật Xây dựng năm 2025 là căn cứ chung; từng nghị định quy định cụ thể điểm chuyển giao.

Trong giai đoạn đầu, Bộ Xây dựng đã ban hành văn bản hướng dẫn, thông báo những nội dung được giao quy định chi tiết và thiết lập kênh tiếp nhận, giải đáp vướng mắc. Điểm quyết định của cơ chế mới không nằm ở số lượng thủ tục được cắt giảm, mà ở việc trách nhiệm có được xác định đúng và dữ liệu có được cập nhật đầy đủ hay không.❖

Đổi mới phương thức quản lý theo Nghị quyết số 57-NQ/TW



NGỌC HÀ

Chuyển đổi số ngành Xây dựng hiện nay đang bước sang một giai đoạn mới: Từ xây dựng nền tảng sang khai thác giá trị của dữ liệu.

Thực hiện Nghị quyết số 57-NQ/TW của Bộ Chính trị về đột phá phát triển khoa học, công nghệ, đổi mới sáng tạo và chuyển đổi số quốc gia, Bộ Xây dựng đã hoàn thành 185/291 nhiệm vụ. Đến nay, cơ sở dữ liệu quốc gia về hoạt động xây dựng và 9 cơ sở dữ liệu chuyên ngành đã được đưa vào khai thác, kết nối với Trung tâm dữ liệu quốc gia, từng bước chuyển từ quản lý bằng hồ sơ sang quản trị dựa trên dữ liệu.

HÌNH THÀNH NỀN TẢNG DỮ LIỆU CHO QUẢN TRỊ SỐ

Thực hiện Nghị quyết số 57-NQ/TW ngày 22/12/2024 của Bộ Chính trị về đột phá phát triển khoa học, công nghệ, đổi mới sáng tạo và chuyển đổi số quốc gia, Bộ Xây dựng đã tập trung triển khai đồng bộ các nhiệm vụ về hoàn thiện thể chế, phát triển hạ tầng số, xây dựng cơ sở dữ liệu (CSDL), cải cách thủ tục hành chính (TTHC), khoa học công nghệ và đổi mới sáng tạo.

Trong tổng số 291 nhiệm vụ được giao theo Nghị quyết số 57-NQ/TW, có 185 nhiệm vụ đã hoàn thành, đạt 63,6%, trong đó 162 nhiệm vụ hoàn thành đúng hạn và 23 nhiệm vụ hoàn thành quá hạn. Bên cạnh đó, 102 nhiệm vụ đang được thực hiện thường xuyên, chiếm 35% và 4 nhiệm vụ đang thực hiện đúng hạn, chiếm 1,4%.

Một trong những kết quả nổi bật là việc hình thành và đưa vào khai thác CSDL quốc gia về hoạt động xây dựng cùng 9 CSDL chuyên ngành. Các hệ thống từng bước được kết nối, chia sẻ với Trung tâm dữ liệu quốc gia và các CSDL liên quan, tạo nền tảng để chuyển hoạt động quản lý từ phương thức dựa trên hồ sơ sang khai thác dữ liệu.

Theo báo cáo của Bộ Xây dựng, đến ngày 30/8/2026, CSDL quốc gia về hoạt động xây dựng có 17.850 tài khoản, 194.224 bản ghi dữ liệu về quy hoạch, dự án và hoạt động xây dựng; 24.685 dữ liệu đã được đồng bộ với Trung tâm dữ liệu quốc gia. Hệ thống được triển khai trên toàn quốc, kết nối với hệ thống giải quyết TTHC tập trung tại địa phương và các CSDL quốc gia liên quan.

Cùng với đó, 9/9 CSDL chuyên ngành đã được hoàn thành, đưa vào sử dụng và kết nối với Trung tâm dữ liệu quốc gia. Phạm

vi dữ liệu trải rộng từ đăng kiểm phương tiện, đường bộ, đường sắt, hàng không, hàng hải đến năng lực hoạt động xây dựng, nhà ở và thị trường BĐS, cấp - thoát nước và phát triển đô thị.

Quy mô dữ liệu được tích hợp ngày càng lớn. CSDL đăng kiểm có hơn 7,29 triệu hồ sơ phương tiện và hơn 3,73 triệu hồ sơ nguồn gốc; CSDL năng lực hoạt động xây dựng có 191.753 chứng chỉ. Dữ liệu về kết cấu hạ tầng đường bộ gồm 3.494 hồ sơ đường, 6.219 hồ sơ cầu và 28 hồ sơ hầm; các lĩnh vực đường sắt, hàng không, hàng hải, cấp - thoát nước và phát triển đô thị cũng từng bước được số hóa.

Việc chuẩn hóa, làm sạch và đồng bộ dữ liệu cũng được đẩy mạnh. CSDL đăng kiểm phương tiện và năng lực hoạt động xây dựng đã hoàn thành 100% yêu cầu đồng bộ; dữ liệu đường sắt, hàng không, cấp - thoát nước đạt trên 80%.

Những kết quả này cho thấy ngành Xây dựng đã bước đầu hình thành nền móng dữ liệu cho quản trị số. Tuy nhiên, báo cáo cũng chỉ rõ dữ liệu lịch sử trước ngày 01/01/2026 chưa được số hóa đầy đủ; 4/9 CSDL chuyên ngành chưa đáp ứng đầy đủ yêu cầu “đúng, đủ, sạch, sống”; mới có 14/28 CSDL phục vụ quản lý và cung cấp dịch vụ công được hoàn thành.

Tại Hội nghị sơ kết tình hình triển khai thực hiện Nghị quyết số 57-NQ/TW của Bộ Chính trị và Kế hoạch hành động 100 ngày xử lý điểm nghẽn về chuyển đổi số của Bộ Xây dựng, Bộ trưởng Trần Hồng Minh nhận định, việc triển khai Nghị quyết số 57-NQ/TW tại Bộ đã có những chuyển biến tích cực. Bước đầu hình thành, đưa vào khai thác các cơ sở dữ liệu quốc gia, cơ sở dữ liệu chuyên ngành; thực hiện kết nối, chia sẻ dữ liệu và vận hành hệ thống theo dõi nhiệm vụ phục vụ công tác chỉ đạo, điều hành dựa trên dữ liệu.

Tuy nhiên, theo Bộ trưởng, tiến độ số hóa dữ liệu lịch sử còn chậm, hiệu quả khai thác dữ liệu phục vụ cải cách TTHC và quản lý nhà nước chưa tương xứng với nguồn lực đã đầu tư.

Bộ trưởng yêu cầu phải chuyển mạnh “từ hoàn thành nhiệm vụ sang tạo ra sản phẩm, kết quả cụ thể; từ quản lý bằng hồ sơ sang quản trị dựa trên dữ liệu”, lấy hiệu quả phục vụ người dân, doanh nghiệp và nâng cao năng lực quản lý nhà nước làm tiêu chí đánh giá.

Vì vậy, chỉ tiêu của giai đoạn tiếp theo không chỉ được nhìn nhận qua số lượng CSDL, tài khoản hay hồ sơ trực tuyến, mà phải đo bằng mức độ dữ liệu được khai thác, tái sử dụng và khả năng tạo ra thay đổi trong quản lý.

Cùng với dữ liệu, Bộ trưởng yêu cầu gắn khoa học công nghệ và đổi mới sáng tạo với sản phẩm đầu ra, hiệu quả thực tế; thúc đẩy công nghệ chiến lược trong đường sắt tốc độ cao và đường sắt đô thị. Đồng thời, an ninh mạng phải được tăng cường, bảo đảm các hệ thống thông tin có CSDL quan trọng được phê duyệt hồ sơ cấp độ và triển khai đầy đủ phương án bảo đảm an toàn.

Để đạt mục tiêu đó, yêu cầu “rõ người, rõ việc, rõ trách nhiệm, rõ sản phẩm” cần trở thành nguyên tắc xuyên suốt quá trình triển khai. Bộ trưởng Trần Hồng Minh yêu cầu các đơn vị xác định rõ người thực hiện, công việc, thời gian, trách nhiệm, sản phẩm và thẩm quyền; đồng thời lấy kết quả và hiệu quả thực chất làm một trong những tiêu chí đánh giá kết quả công tác hằng quý, hằng năm.

“Nghị quyết số 57-NQ/TW là cơ hội để ngành Xây dựng đổi mới căn bản phương thức quản lý, nâng cao năng suất, chất lượng trong lĩnh vực xây dựng và giao thông vận tải. Do vậy, toàn thể cán bộ, công chức, viên chức tại các cơ quan, đơn vị thuộc Bộ tiếp tục phát huy tinh thần trách nhiệm, chủ động, đổi mới, sáng tạo và quyết liệt trong tổ chức thực hiện” - Bộ trưởng Trần Hồng Minh nhấn mạnh.❖

Một trong những lĩnh vực cho thấy rõ nhất yêu cầu chuyển từ “có dữ liệu” sang “dùng được dữ liệu” là giải quyết TTHC.

Ở địa phương, từ ngày 01/01/2026, Bộ Xây dựng đã triển khai hệ thống thử nghiệm đối với 215/215 TTHC; hơn 70.000 tài khoản cán bộ được tạo lập. Tổng số hồ sơ tiếp nhận đạt 603.890, trong đó 516.190 hồ sơ trực tuyến, tương đương 85,5%.

Tuy nhiên, theo Bộ Xây dựng, hiệu quả tái sử dụng dữ liệu còn thấp. Chỉ 1.718/101.278 hồ sơ được thay thế thành phần giấy tờ dựa trên dữ liệu, tương đương 1,7%. Con số này cho thấy khoảng cách giữa việc xây dựng, kết nối CSDL và khai thác dữ liệu trong thực tế vẫn còn đáng kể.

Tương tự, việc tích hợp dữ liệu ngành Xây dựng trên VNED mới đạt 3/33 loại giấy tờ. Ba nhóm dữ liệu đã tích hợp gồm 3.657.135 bản ghi về nguồn gốc phương tiện, 6.968.600 bản ghi về giấy chứng nhận, tem kiểm định phương tiện và 59.560 bản ghi giấy phép kinh doanh vận tải.

6 NHIỆM VỤ CÔNG NGHỆ CHIẾN LƯỢC LĨNH VỰC ĐƯỜNG SẮT:

Hướng tới làm chủ chuỗi công nghệ

> ANH MINH

6 nhiệm vụ khoa học, công nghệ và đổi mới sáng tạo mang tính chiến lược lĩnh vực đường sắt, tập trung vào các nhóm công nghệ cốt lõi gồm: ray và bộ ghi; tà vẹt và đường không đá ba lát; xử lý nền đất yếu và vùng chuyển tiếp; mạng thông tin di động 5G dành cho đường sắt; hệ thống liên khoa máy tính; và các chi tiết, cụm chi tiết cốt lõi của phương tiện đường sắt.

YÊU CẦU CẤP THIẾT

Sự phát triển của đường sắt tốc độ cao và đường sắt đô thị không chỉ là vấn đề xây dựng một tuyến giao thông mới mà còn là quá trình hình thành một hệ thống công nghệ có mức độ tích hợp cao. Một tuyến đường sắt hiện đại đòi hỏi sự phối hợp đồng bộ giữa kết cấu đường, nền móng, hệ thống thông tin, điều khiển, phương tiện và các tiêu chuẩn bảo đảm an toàn.

Trong bối cảnh Việt Nam định hướng phát triển đường sắt tốc độ cao, đồng thời mở rộng mạng lưới đường sắt đô thị và đường sắt điện khí hóa, vấn đề quan trọng không chỉ là lựa chọn công nghệ phù hợp mà còn là khả năng làm chủ công nghệ sau đầu tư. Nếu phần lớn các cấu phần quan trọng phải phụ thuộc vào thiết kế, vật liệu, thiết bị và dịch vụ kỹ thuật từ bên ngoài, chi phí vòng đời của hệ thống có thể chịu ảnh hưởng lớn từ giá nhập khẩu, chuỗi cung ứng và khả năng tiếp cận công nghệ.

Vì vậy, việc Bộ Xây dựng đề xuất 6 nhiệm vụ phát triển công nghệ chiến lược có ý nghĩa như một bước chuyển từ tư duy “đầu tư dự án” sang tư duy “xây dựng năng lực công nghệ”. 6 nhiệm vụ bao phủ tương đối rộng chuỗi giá trị của ngành đường sắt, từ ray - nền đường - hệ thống thông tin và điều khiển - đến phương tiện.

Mục tiêu cuối cùng không chỉ là tạo ra một sản phẩm hoặc quy trình kỹ thuật riêng lẻ mà là từng bước hình thành năng lực trong nước về thiết kế, chế tạo, thử nghiệm, kiểm

soát chất lượng và chuyển giao công nghệ. Chuyển trọng tâm từ nghiên cứu đơn thuần sang làm chủ toàn bộ chuỗi công nghệ, bao gồm thiết kế, vật liệu, chế tạo, kiểm tra, thử nghiệm, kiểm soát chất lượng và chuyển giao ứng dụng. Đây là cơ sở quan trọng để hình thành năng lực công nghệ nội sinh, giảm phụ thuộc vào nhập khẩu và từng bước xây dựng hệ sinh thái công nghiệp đường sắt trong nước.

Từ yêu cầu đó, Bộ Xây dựng đề xuất 6 nhiệm vụ khoa học, công nghệ và đổi mới sáng tạo nhằm phát triển các công nghệ chiến lược phục vụ đường sắt tốc độ cao và đường sắt đô thị. Đây có thể xem là bước tiếp cận theo hướng lựa chọn những “mắt xích” công nghệ quan trọng để từng bước hình thành hệ sinh thái công nghiệp đường sắt trong nước.

6 NHÓM CÔNG NGHỆ TRỌNG TÂM

1. Ray, phụ kiện liên kết ray và bộ ghi

Nhóm công nghệ đầu tiên tập trung vào ray, phụ kiện liên kết ray và bộ ghi. Mục tiêu là làm chủ thiết kế, sản xuất và kiểm soát chất lượng, đồng thời chứng minh khả năng sản xuất ổn định, đồng nhất giữa các lô ở quy mô công nghiệp.

Đây là hướng nghiên cứu có tính thực tiễn cao bởi ray và bộ ghi là những cấu phần trực tiếp chịu tác động của đoàn tàu và có liên quan mật thiết đến độ ổn định, an toàn và khả năng khai thác của tuyến đường.

Điểm quan trọng không phải chỉ là chế tạo thành công một mẫu sản phẩm mà phải bảo đảm khả năng sản xuất lặp



6 nhiệm vụ khoa học, công nghệ và đổi mới sáng tạo mang tính chiến lược lĩnh vực đường sắt, tập trung vào các nhóm công nghệ cốt lõi. Ảnh AI.

lại với chất lượng ổn định. Chẳng hạn, một loại ray có thể đạt yêu cầu trong thử nghiệm ban đầu nhưng nếu tính chất vật liệu hoặc độ chính xác hình học thay đổi đáng kể giữa các lô sản xuất thì khó đáp ứng yêu cầu khai thác lâu dài. Vì vậy, kiểm soát chất lượng và tính đồng nhất sản phẩm phải được coi là một phần của quá trình làm chủ công nghệ.

2. Tà vệt và đường không đá ba lát

Nhiệm vụ thứ hai hướng tới làm chủ thiết kế, vật liệu, chế tạo, lắp đặt và kiểm soát chất lượng tà vệt và đường không đá ba lát. Trong đó, cấu hình bê tông dự ứng lực và hệ đường ray bản bê tông (slab track) sẽ được kiểm chứng, đồng thời xây dựng hồ sơ kỹ thuật để xem xét tích hợp vào dự án.

Đường slab track là một ví dụ điển hình cho yêu cầu chuyển từ nghiên cứu vật liệu, kết cấu sang công nghệ thi công và kiểm soát chất lượng. Một cấu hình có thể đáp ứng yêu cầu trong phòng thí nghiệm nhưng chưa chắc đã phù hợp với điều kiện thi công thực tế.

Do đó, việc kiểm chứng đầy đủ từ thiết kế, chế tạo đến lắp đặt có ý nghĩa quan trọng trong việc chuyển kết quả nghiên cứu thành công nghệ có thể ứng dụng.

3. Xử lý nền đất yếu và vùng chuyển tiếp

Nền đường là yếu tố có ảnh hưởng trực tiếp đến độ ổn định hình học và chất lượng khai thác đường sắt. Đối với Việt Nam, điều kiện địa chất đa dạng và sự tồn tại của nhiều khu vực đất yếu khiến công nghệ xử lý nền trở thành một trong những vấn đề cần được ưu tiên.

Nhiệm vụ thứ ba tập trung vào một công nghệ xử lý nền đất yếu và một công nghệ xử lý vùng chuyển tiếp, với mục tiêu kiểm soát lún dài hạn, duy trì ổn định hình học tuyến và bảo đảm an toàn khai thác.

Tính thực tiễn của hướng nghiên cứu này nằm ở yêu cầu công nghệ phải phù hợp với điều kiện địa chất, khí hậu, vật liệu và năng lực thi công trong nước. Ví dụ, nếu nền đất tiếp tục lún sau khi tuyến được đưa vào khai thác, vấn đề có thể dẫn tới gia tăng nhu cầu bảo trì và ảnh hưởng đến chất lượng vận hành. Vì vậy, hiệu quả của giải pháp xử lý nền cần được đánh giá trong dài hạn thay vì chỉ dựa trên trạng thái công trình tại thời điểm hoàn thành.

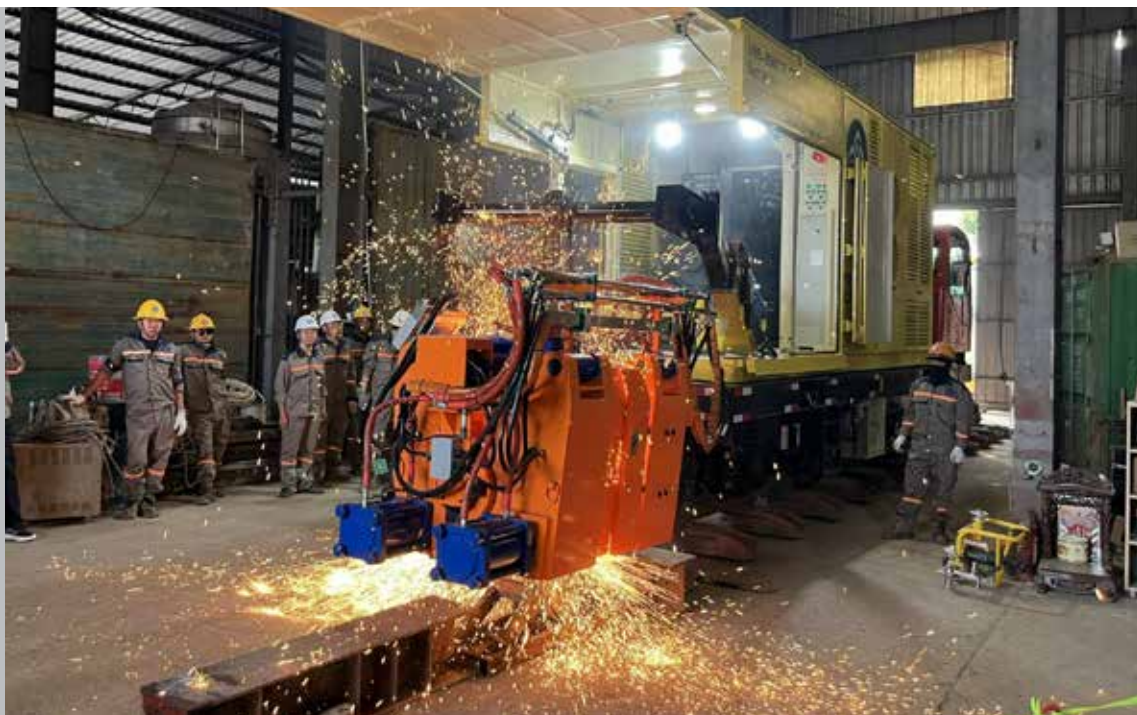
4. Mạng 5G dành cho đường sắt

Một trong những công nghệ có tính nền tảng đối với đường sắt hiện đại là hạ tầng thông tin liên lạc. Nhiệm vụ phát triển mạng 5G dành cho đường sắt hướng tới xây dựng hạ tầng truyền thông số phục vụ vận hành và định hướng theo hệ thống thông tin di động đường sắt tương lai (FRMCS).

Khác với mạng viễn thông phục vụ người dùng thông thường, thông tin liên lạc đường sắt phải đáp ứng những yêu cầu đặc thù của môi trường vận hành. Đoàn tàu di chuyển với tốc độ cao, liên tục thay đổi vị trí và cần duy trì kết nối ổn định với hệ thống điều hành.

Do đó, việc nghiên cứu mạng 5G dành cho đường sắt cần được nhìn nhận như một cấu phần của hệ thống vận hành, thay vì chỉ là việc đưa mạng viễn thông thương mại vào hành

Giới thiệu công nghệ hàn ray chảy giáp mép.



lang đường sắt. Làm chủ hạ tầng thông tin sẽ tạo tiền đề cho quá trình số hóa và tự động hóa ngành đường sắt.

5. Hệ thống liên khoá máy tính CBI

Nhiệm vụ thứ năm tập trung vào hệ thống liên khoá máy tính (CBI), được định hướng làm nền tảng điều khiển an toàn cho các ga đường sắt quốc gia và có khả năng mở rộng sang đường sắt đô thị, đường sắt tốc độ cao.

CBI là lĩnh vực có hàm lượng công nghệ cao, kết hợp giữa phần cứng, phần mềm, logic điều khiển, truyền thông và các yêu cầu nghiêm ngặt về an toàn.

Khả năng làm chủ CBI có ý nghĩa lớn đối với năng lực công nghệ quốc gia bởi đây không chỉ là sản phẩm phần cứng mà còn liên quan đến tri thức về thiết kế hệ thống và phương pháp kiểm chứng an toàn. Một hệ thống liên khoá được phát triển trong nước có thể trở thành nền tảng để từng bước mở rộng năng lực sang các hệ thống điều khiển đường sắt phức tạp hơn.

6. Các chi tiết, cụm chi tiết cốt lõi của phương tiện

Nhiệm vụ thứ sáu tập trung vào các cấu phần cơ khí, vật liệu, tiếp điện và phanh của phương tiện đường sắt. Định hướng trước mắt là phục vụ đường sắt đô thị, sau đó từng bước mở rộng sang đường sắt điện khí hóa và đường sắt tốc độ cao.

Đây là cách tiếp cận phù hợp với quá trình nội địa hóa từng bước. Thay vì đặt mục tiêu ngay lập tức chế tạo hoàn chỉnh một đoàn tàu, chương trình tập trung vào một số chi tiết, cụm chi tiết có khả năng nghiên cứu, thiết kế, chế tạo và thử nghiệm trong nước.

Đặc biệt, việc xây dựng tài liệu thiết kế, quy trình công nghệ và phương án chuyển giao giúp kết quả nghiên cứu

có khả năng được tiếp nhận bởi doanh nghiệp. Đây là yếu tố quan trọng để biến kết quả khoa học thành năng lực sản xuất thực tế.

TỪ NGHIÊN CỨU KHOA HỌC ĐẾN LÀM CHỦ CÔNG NGHỆ

Điểm chung của sáu nhiệm vụ là chuyển trọng tâm từ “nghiên cứu để có kết quả” sang “nghiên cứu để tạo năng lực công nghệ”. Làm chủ công nghệ cần được hiểu theo nghĩa rộng, bao gồm khả năng thiết kế, chế tạo, kiểm tra, thử nghiệm, kiểm soát chất lượng, vận hành, bảo trì và cải tiến.

Theo cách tiếp cận này, chuỗi phát triển công nghệ cần được tổ chức theo hướng: **Nghiên cứu** → **thiết kế** → **chế tạo mẫu** → **thử nghiệm** → **kiểm chứng thực tế** → **hoàn thiện hồ sơ kỹ thuật** → **sản xuất thử** → **chuyển giao** → **ứng dụng**.

Chẳng hạn, đối với ray, chỉ tiêu quan trọng là khả năng sản xuất ổn định giữa các lô; đối với xử lý nền là khả năng kiểm soát lún dài hạn; đối với CBI là khả năng đáp ứng yêu cầu an toàn; còn đối với cấu phần phương tiện là khả năng chế tạo và kiểm tra theo quy trình công nghiệp.

Cách tiếp cận này cũng hạn chế một rủi ro thường gặp trong nghiên cứu ứng dụng: sản phẩm đạt yêu cầu ở quy mô thử nghiệm nhưng không thể chuyển sang sản xuất hàng loạt hoặc không có doanh nghiệp tiếp nhận.

VAI TRÒ CỦA LIÊN KẾT NHÀ NƯỚC, VIỆN NGHIÊN CỨU, TRƯỜNG ĐẠI HỌC VÀ DOANH NGHIỆP

Một điều kiện quan trọng để 6 nhiệm vụ đạt hiệu quả là tăng cường liên kết giữa cơ quan quản lý Nhà nước, viện



Các buổi giới thiệu về công nghệ đường sắt thu hút đông đảo các nhà khoa học, doanh nghiệp, ban quản lý dự án, tư vấn... tham dự.

nghiên cứu, cơ sở đào tạo và doanh nghiệp.

Nhà nước giữ vai trò xác định nhu cầu và định hướng công nghệ; viện nghiên cứu thực hiện nghiên cứu, thử nghiệm và đánh giá; trường đại học cung cấp nguồn nhân lực và tri thức chuyên sâu; trong khi doanh nghiệp đóng vai trò chuyển hóa kết quả thành sản phẩm, quy trình sản xuất và dịch vụ kỹ thuật.

Sự tham gia của doanh nghiệp ngay từ đầu đặc biệt quan trọng. Nếu doanh nghiệp chỉ tiếp nhận công nghệ sau khi nhiệm vụ nghiên cứu đã hoàn thành, khoảng cách giữa kết quả nghiên cứu và yêu cầu sản xuất có thể rất lớn. Ngược lại, khi doanh nghiệp tham gia từ khâu xác định bài toán, lựa chọn công nghệ, thiết kế sản phẩm và thử nghiệm, khả năng thương mại hóa sẽ cao hơn.

Đây cũng là cơ sở để hình thành mạng lưới công nghiệp hỗ trợ đường sắt, trong đó các doanh nghiệp có thể chuyên môn hóa theo từng nhóm sản phẩm và từng bước tham gia sâu hơn vào chuỗi giá trị.

TRIỂN VỌNG HÌNH THÀNH NĂNG LỰC CÔNG NGHỆ NỘI SINH

6 nhiệm vụ có thể tạo ra ba tác động quan trọng đối với ngành đường sắt Việt Nam.

Thứ nhất, chương trình tạo điều kiện hình thành **năng lực thiết kế và chế tạo trong nước** đối với những cấu phần có ý nghĩa chiến lược.

Thứ hai, việc nội địa hóa một số sản phẩm và công nghệ có thể góp phần giảm sự phụ thuộc vào nguồn cung bên ngoài, đặc biệt trong bảo trì, sửa chữa và nâng cấp hệ thống.

Thứ ba, các nhiệm vụ tạo môi trường để doanh nghiệp

trong nước tích lũy kinh nghiệm và từng bước nâng cao trình độ công nghệ. Đường sắt đô thị có thể là bước thử nghiệm và hoàn thiện ban đầu đối với một số sản phẩm, trước khi mở rộng sang đường sắt điện khí hóa và đường sắt tốc độ cao.

Điều quan trọng là không nên đặt mục tiêu nội địa hóa toàn bộ ngay lập tức. Một chiến lược khả thi hơn là xác định các công nghệ có tính chiến lược, có nhu cầu đủ lớn, có khả năng làm chủ và có tiềm năng tạo hiệu ứng lan tỏa để ưu tiên đầu tư.

KẾT LUẬN

Đề xuất 6 nhiệm vụ công nghệ chiến lược cho đường sắt tốc độ cao và đường sắt đô thị thể hiện định hướng chuyển từ tư duy tiếp nhận công nghệ sang từng bước làm chủ và phát triển công nghệ trong nước. 6 nhóm nhiệm vụ bao phủ những cấu phần quan trọng của hệ thống, từ kết cấu đường, nền đường đến thông tin, điều khiển và phương tiện.

Giá trị của chương trình không chỉ nằm ở việc tạo ra một số sản phẩm hoặc công nghệ riêng lẻ mà ở khả năng hình thành năng lực nội sinh theo chuỗi thiết kế - chế tạo - kiểm tra - thử nghiệm - ứng dụng - chuyển giao.

Để đạt mục tiêu này, cần gắn chặt nhiệm vụ khoa học với nhu cầu thực tế của dự án, xác định rõ sản phẩm đầu ra và tiêu chí đánh giá, đồng thời bảo đảm sự tham gia thực chất của doanh nghiệp. Nếu được triển khai đồng bộ, 6 nhiệm vụ có thể trở thành những hạt nhân công nghệ quan trọng, góp phần xây dựng hệ sinh thái công nghiệp đường sắt Việt Nam và tạo nền tảng cho quá trình làm chủ công nghệ phục vụ đường sắt đô thị, đường sắt điện khí hóa và đường sắt tốc độ cao trong tương lai.❖

QUẢN TRỊ ĐÔ THỊ TRONG CHÍNH QUYỀN ĐỊA PHƯƠNG HAI CẤP:

Tiếp cận đa quy mô theo chức năng

PGS.TS.KTS NGUYỄN VŨ PHƯƠNG^(*)

Việc vận hành chính quyền địa phương hai cấp đang làm thay đổi căn bản phương thức quản lý và tổ chức phát triển đô thị ở Việt Nam. Khi cấp huyện không còn, thẩm quyền được phân định lại trực tiếp giữa cấp tỉnh và cấp xã; trong khi đó, nhiều vấn đề đô thị như giao thông, thoát nước, môi trường, nhà ở, công nghiệp, logistics và thị trường lao động vẫn vận hành vượt ranh giới một xã/phường. Thách thức vì vậy không chỉ là phân định thẩm quyền giữa các cấp, mà còn là xác định một vấn đề cần được quản trị ở quy mô nào và bằng phương thức nào.

Từ phân tích thể chế - pháp lý, các tiếp cận quản trị đa cấp, đa quy mô và đối chiếu với Chương trình phát triển đô thị tỉnh Phú Thọ giai đoạn 2026-2030, bài viết đề xuất khung quản trị: Hai cấp chính quyền - Ba phương thức quản trị - Nhiều quy mô chức năng - Một hệ thống điều phối tích hợp. Đây không phải đề xuất hình thành thêm cấp quản lý trung gian, mà nhằm bảo đảm mỗi vấn đề đô thị được xử lý đúng chủ thể, đúng phương thức, đúng quy mô và đủ điều kiện thực thi.

1. HAI CẤP CHÍNH QUYỀN - BA BÀI TOÁN MỚI CỦA QUẢN TRỊ ĐÔ THỊ

Việc chuyển sang mô hình chính quyền địa phương hai cấp là một thay đổi thể chế lớn, tác động trực tiếp đến phương thức quản lý và tổ chức phát triển đô thị. Khi cấp huyện không còn, quan hệ quản lý được tổ chức trực tiếp giữa cấp tỉnh và cấp xã, đồng thời nhiều nhiệm vụ, thẩm quyền vốn thuộc cấp huyện được phân định lại giữa hai cấp. Sự thay đổi này góp phần tinh gọn bộ máy, rút ngắn tầng nấc hành chính và tăng tính chủ động của chính quyền cơ sở, nhưng cũng đặt ra yêu cầu cao hơn về năng lực, nguồn lực, dữ liệu và trách nhiệm thực thi [2,5].

Trong lĩnh vực quản lý nhà nước của Bộ Xây dựng, quá trình

^(*) PGD Học viện Chiến lược, Bồi dưỡng cán bộ xây dựng (Bộ Xây dựng)

rà soát cho thấy phần lớn nhiệm vụ, thẩm quyền trước đây của cấp huyện được chuyển xuống cấp xã, trong khi một phần được chuyển lên cấp tỉnh. Điều đó cho thấy cải cách không chỉ là bỏ một cấp hành chính, mà thực chất là tái cấu trúc đáng kể quan hệ thẩm quyền giữa tỉnh và cấp xã.

Tuy nhiên, sự thay đổi về tổ chức chính quyền không làm thay đổi bản chất của các quá trình đô thị. Giao thông không dừng ở ranh giới một phường; thoát nước vận hành theo lưu vực; ô nhiễm môi trường có thể lan qua nhiều địa bàn; khu công nghiệp, logistics, nhà ở và thị trường lao động hình thành những quan hệ liên xã, liên phường hoặc cả vùng đô thị. Vì vậy, địa giới hành chính xác định trách nhiệm quản lý, nhưng không phải lúc nào cũng phản ánh đúng phạm vi vận hành của vấn đề đô thị [12,14].

Từ đó xuất hiện ba bài toán chính sách:

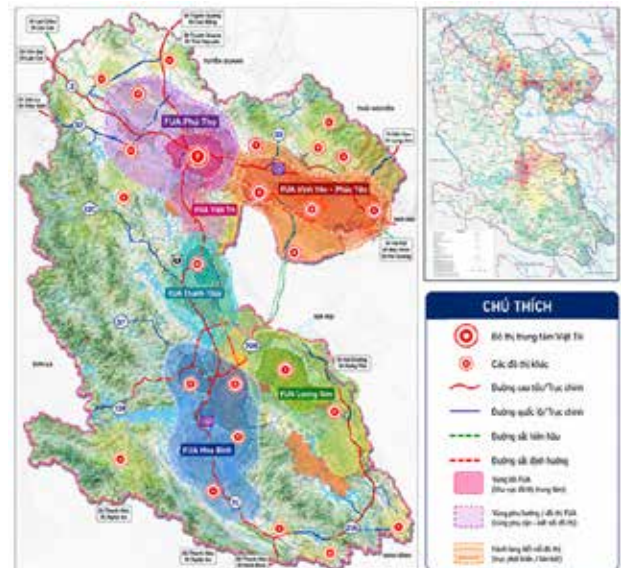
1) Nguy cơ quá tải ở cấp tỉnh. Khi không còn cấp huyện, tỉnh vừa trực tiếp làm việc với số lượng lớn xã/phường, vừa phải xử lý các vấn đề liên địa phương về quy hoạch, hạ tầng, giao thông, môi trường, công nghiệp và phát triển đô thị. Nếu mọi vấn đề khó đều được chuyển lên tỉnh, các sở, ngành dễ bị cuốn vào công việc sự vụ, làm giảm nguồn lực dành cho chiến lược, tổ chức hệ thống đô thị, hạ tầng khung và giám sát.

2) Yêu cầu ngày càng cao đối với năng lực ở xã/phường. Đây là cấp trực tiếp quản lý địa bàn và tổ chức thực hiện nhiều nhiệm vụ về quy hoạch, đất đai, xây dựng, trật tự đô thị, hạ tầng, môi trường và dịch vụ công. Tuy nhiên, phường trung tâm, xã ven đô, địa bàn công nghiệp hay khu vực ít đô thị hóa có mức độ phức tạp rất khác nhau. Vì vậy, phân quyền không thể chỉ là chuyển nhiệm vụ, mà phải đi cùng nhân lực, nguồn lực, dữ liệu và công cụ thực hiện [5,11].

3) Khoảng trống phối hợp đối với các vấn đề vượt ranh giới. Đây là nhóm vấn đề không thể giải quyết hiệu quả trong phạm vi một xã/phường, nhưng cũng không nhất thiết phải chuyển toàn bộ lên cấp tỉnh. Nếu thiếu cơ chế phối hợp, quản lý dễ bị



Hình 1. Cấu trúc vùng đô thị chức năng (FUA) và minh họa không gian FUA Việt Trì (Nguồn: Tác giả tổng hợp và đề xuất cho tỉnh Phú Thọ và đô thị trung tâm Việt Trì).



Hình 2. Minh họa đề xuất các vùng đô thị chức năng (FUA) trong cấu trúc đô thị đa trung tâm tỉnh Phú Thọ (Nguồn: Tác giả tổng hợp và đề xuất).

phân mảnh theo địa giới; ngược lại, nếu tập trung tất cả lên tỉnh, nguy cơ quá tải sẽ tăng.

Vấn đề chính sách vì vậy không phải là tái lập một cấp trung gian, mà là thiết kế phương thức quản trị phù hợp với quy mô thực tế của từng vấn đề.

Vấn đề trong địa bàn → Cấp xã quản trị trực tiếp.

Vấn đề vượt địa bàn → Phối hợp liên địa phương.

Vấn đề chiến lược và toàn hệ thống → Cấp tỉnh điều phối.

2. TỪ QUẢN LÝ THEO ĐỊA GIỚI ĐẾN QUẢN TRỊ THEO KHÔNG GIAN CHỨC NĂNG

Một yêu cầu quan trọng trong bối cảnh chính quyền địa phương hai cấp là phải phân biệt cấp chính quyền với quy mô quản trị. Địa giới hành chính xác định thẩm quyền và trách nhiệm của chính quyền, nhưng không phải lúc nào cũng phản ánh đúng phạm vi vận hành của các vấn đề đô thị. Giao thông có thể kết nối nhiều xã/phường, thoát nước vận hành theo lưu vực, trong khi việc làm, công nghiệp, dịch vụ và hạ tầng có thể hình thành các quan hệ liên kết rộng hơn ranh giới của từng địa phương.

Hiểu đơn giản, không gian chức năng là phạm vi mà một vấn đề đô thị thực sự vận hành, có thể trùng hoặc vượt ra ngoài ranh giới hành chính. Vì vậy, cùng trong một hệ thống chính quyền hai cấp, các vấn đề đô thị có thể cần được xử lý ở những quy mô khác nhau.

Các nghiên cứu về quản trị đa cấp (multi-level governance) cho thấy thẩm quyền theo địa giới hành chính và cơ chế phối hợp linh hoạt theo chức năng có thể cùng tồn tại [11]. Trên cơ sở đó, quản trị đa quy mô (multi-scalar governance) đặt thêm câu hỏi: một vấn đề đô thị cần được xử lý ở phạm vi nào và bằng phương thức nào, thay vì mặc nhiên coi địa giới hành chính là phạm vi quản trị duy nhất [14].

Theo cách tiếp cận này, cần phân biệt ba thành tố. Cấp chính quyền xác định ai có thẩm quyền; Phương thức quản trị xác định

cách thức xử lý và phối hợp; Quy mô chức năng xác định phạm vi thực tế mà vấn đề vận hành. Ba thành tố có quan hệ chặt chẽ nhưng không đồng nhất. Một vấn đề có thể được giải quyết trong phạm vi một xã/phường, cần phối hợp giữa nhiều địa phương, hoặc cần điều phối ở quy mô toàn tỉnh, liên tỉnh hay vùng.

"Cấp chính quyền xác định thẩm quyền –

Quy mô của vấn đề xác định phạm vi phối hợp"

Một công cụ hỗ trợ nhận diện các không gian liên kết này là Vùng đô thị chức năng - FUA (Functional Urban Area). Theo cách tiếp cận EU-OECD, FUA phản ánh phạm vi vận hành thực tế của đô thị dựa trên các liên kết giữa lõi đô thị và khu vực phụ cận, đặc biệt về dân cư, việc làm và đi lại [10]. Trong điều kiện Việt Nam, FUA không phải là đơn vị hành chính hay loại quy hoạch mới, mà là công cụ phân tích để nhận diện phạm vi liên kết chức năng và các địa bàn cần phối hợp trong cùng một hệ thống đô thị. (Hình 1)

Không gian chức năng không chỉ giới hạn ở FUA. Tùy tính chất của từng vấn đề, phạm vi quản trị có thể là liên xã/phường, hành lang giao thông, lưu vực thoát nước, vùng công nghiệp - logistics, khu vực đô thị hóa liên tục, toàn tỉnh hoặc liên tỉnh. Các công cụ tổ chức phát triển theo hành lang, trong đó có TOD, cũng có thể hỗ trợ nhận diện và tổ chức các mối liên kết không gian gắn với hệ thống giao thông [15].

FUA, hành lang, lưu vực hay các không gian liên kết chức năng không phải các cấp chính quyền mới, mà là những phạm vi giúp xác định đúng quy mô của vấn đề để lựa chọn phương thức quản trị phù hợp. Chuyển từ quản lý thuần túy theo địa giới sang quản trị theo không gian chức năng vì vậy không làm thay đổi mô hình chính quyền hai cấp, mà giúp tổ chức phối hợp linh hoạt và hiệu quả hơn đối với những vấn đề đô thị vượt ranh giới hành chính [11,14].

3. PHÚ THỌ - MINH CHỨNG CHO NHU CẦU QUẢN TRỊ ĐA QUY MÔ

Bảng 1. Một số số liệu về phân định nhiệm vụ, thẩm quyền từ cấp huyện khi tổ chức chính quyền địa phương hai cấp

Thời điểm/phạm vi thống kê	Xuống cấp xã	Lên cấp tỉnh	Ý nghĩa
Rà soát mô hình, 07/5/2025	90/99	9/99	Số liệu khái quát khi xây dựng mô hình
Sau hoàn thiện hệ thống nghị định, 20/6/2025	Gần 600	Hơn 100	Phạm vi nhiệm vụ, thẩm quyền cụ thể trong các lĩnh vực quản lý nhà nước
Lĩnh vực Bộ Xây dựng	101	15	Tổng cộng 116 nhiệm vụ, thẩm quyền

(Nguồn: Tác giả tổng hợp từ báo cáo của Bộ Nội vụ tại Kỳ họp thứ 9, Quốc hội khóa XV ngày 07/5/2025; báo cáo của Chính phủ ngày 20/6/2025; và Biểu thống kê kèm Công văn số 5652/BXD-PC ngày 24/6/2025 của Bộ Xây dựng).

Phủ Thọ sau hợp nhất là trường hợp thể hiện khá rõ yêu cầu quản trị đô thị đa quy mô. Tỉnh có diện tích khoảng 9.361 km², dân số trên 4 triệu người, 148 đơn vị hành chính cấp xã và 60 đô thị hiện hữu được xác định chuyển tiếp. Trong Chương trình phát triển đô thị tỉnh Phú Thọ giai đoạn 2026-2030, tỉnh xác định tập trung đầu tư phát triển 14 đô thị trọng tâm, gồm 5 đô thị loại II: Việt Trì, Phú Thọ, Hòa Bình, Vĩnh Yên, Phúc Yên; và 9 đô thị loại III: Lâm Thao, Lương Sơn, Vĩnh Tường, Tam Hồng, Thanh Thủy, Tam Đảo, Tam Dương, Cẩm Khê và Lập Thạch. Phạm vi 14 đô thị này bao trùm 35 trong tổng số 60 đô thị hiện hữu chuyển tiếp, cho thấy cấu trúc đô thị sau hợp nhất không chỉ mang tính đa trung tâm mà còn hình thành các cụm, chuỗi và không gian liên kết vượt ranh giới từng xã/phường [4].

Một đô thị có thể gồm nhiều xã/phường

Sau hợp nhất, Việt Trì giữ vai trò trung tâm hành chính của tỉnh mới và là một cực quan trọng trong cấu trúc đô thị đa trung tâm. Đô thị Việt Trì được xác định trên phạm vi 8 đơn vị hành chính cấp xã (gồm các phường Việt Trì, Nông Trang, Thanh Miếu, Vân Phú và các xã Hy Cương, Sông Lô, Tiên Lữ, Sơn Đông) đồng thời có quan hệ chức năng với Lâm Thao, Phú Thọ và các khu vực phụ cận [9]. Trường hợp này cho thấy phạm vi quản trị của một đô thị có thể vượt ranh giới của từng xã/phường.

Hệ thống đô thị hình thành theo chuỗi và hành lang

Các chuỗi Việt Trì - Lâm Thao - Phú Thọ, Vĩnh Yên - Phúc Yên, Hòa Bình - Lương Sơn cùng các khu vực phụ cận hình thành những quan hệ phát triển vượt khỏi ranh giới từng xã/phường. Giao thông, việc làm, dịch vụ, công nghiệp và thị trường bất động sản tạo ra các quan hệ chức năng mà quản lý theo từng địa bàn riêng lẻ khó phản ánh đầy đủ [9].

Hạ tầng và môi trường có quy mô riêng

Một tuyến giao thông có thể liên kết nhiều đô thị; một lưu vực thoát nước có thể bao trùm nhiều xã/phường; một khu công nghiệp tạo dòng lao động, nhà ở, vận tải và dịch vụ vượt khỏi địa bàn nơi dự án được đặt. Vì vậy, từng vấn đề đòi hỏi một quy mô phối hợp khác nhau. Điều này dẫn tới một nguyên tắc:

"Không quản trị mọi vấn đề bằng cùng một địa giới.

Quy mô quản trị phải tương thích với quy mô của vấn đề."

Trường hợp Phú Thọ chỉ là một minh chứng. Cách tiếp cận này còn có ý nghĩa đối với các thành phố trực thuộc Trung ương và những địa phương có hệ thống đô thị phức hợp, nơi các quan hệ giao thông, hạ tầng, môi trường, nhà ở và phát triển kinh tế thường vượt ranh giới từng xã/phường [12,14]. (Hình 2)

4. KHUNG QUẢN TRỊ ĐÔ THỊ ĐA QUY MÔ TRONG MÔ HÌNH CHÍNH QUYỀN HAI CẤP

Từ các phân tích trên, bài viết đề xuất khung quản trị đô thị theo nguyên tắc: Hai cấp chính quyền - Ba phương thức quản trị - Nhiều quy mô chức năng - Một hệ thống điều phối tích hợp. Khung không tạo thêm cấp quản lý, mà tổ chức cách thức xử lý và phối hợp phù hợp với tính chất, phạm vi của từng vấn đề đô thị.

Hai cấp chính quyền - xác lập thẩm quyền

Cấp tỉnh tập trung vào định hướng phát triển hệ thống đô thị, quy hoạch, hạ tầng khung, phân bổ nguồn lực, dữ liệu dùng chung, kiểm tra và giám sát; đồng thời điều phối những vấn đề có tính chiến lược hoặc phạm vi rộng.

Cấp xã trực tiếp quản lý địa bàn, tổ chức thực hiện nhiệm vụ theo thẩm quyền, cập nhật dữ liệu và xử lý các vấn đề phát sinh tại cơ sở [2,5].

Như vậy, hai cấp chính quyền trả lời trước hết câu hỏi ai có thẩm quyền và chịu trách nhiệm.

Ba phương thức quản trị - xử lý theo tính chất của vấn đề

Tùy phạm vi và mức độ liên kết của từng vấn đề, có thể lựa chọn ba phương thức:

1. Quản trị trực tiếp theo địa bàn đối với những vấn đề có thể giải quyết hiệu quả trong phạm vi một xã/phường.

2. Phối hợp liên địa phương, liên ngành đối với những vấn đề vượt ranh giới như giao thông, thoát nước, môi trường, hạ tầng dùng chung, khu công nghiệp - logistics hoặc các không gian liên kết chức năng.

3. Điều phối toàn hệ thống đối với hệ thống đô thị, hạ tầng khung, phân bổ nguồn lực và những vấn đề cần bảo đảm tính thống nhất trên phạm vi toàn tỉnh hoặc rộng hơn [11,14].

Ba phương thức này không phải ba cấp quản lý, mà là ba cách thức tổ chức xử lý vấn đề trong cùng hệ thống chính quyền hai cấp.

Nhiều quy mô chức năng - lựa chọn đúng phạm vi quản trị

Quy mô quản trị cần được xác định theo phạm vi thực tế của vấn đề, có thể từ khu vực/địa bàn, xã/phường, liên xã/phường đến FUA, hành lang, lưu vực, toàn tỉnh hoặc liên tỉnh. Các quy mô này không hình thành thêm cấp hành chính, mà là những phạm vi phân tích, phối hợp và tổ chức thực hiện được lựa chọn phù hợp với tính chất của từng vấn đề của đô thị.

Địa giới xác định thẩm quyền - Quy mô của vấn đề xác định phạm vi phối hợp.

Một hệ thống điều phối tích hợp - bảo đảm khả năng thực thi

Để hai cấp chính quyền, ba phương thức quản trị và nhiều quy mô chức năng vận hành thống nhất, cần một hệ thống điều phối tích hợp gồm pháp lý, nguồn lực, dữ liệu/GIS, Chương trình phát triển đô thị và cơ chế giám sát. Trong đó, pháp lý xác định thẩm quyền và trách nhiệm; nguồn lực bảo

đảm khả năng thực hiện; dữ liệu hỗ trợ ra quyết định và phối hợp; Chương trình phát triển đô thị kết nối quy hoạch tỉnh với ưu tiên đầu tư và tổ chức thực hiện; giám sát bảo đảm trách nhiệm giải trình và khả năng điều chỉnh [9,11]. (Hình 3)

Có thể khái quát nguyên tắc vận hành của khung bằng bốn yêu cầu:

“Đúng chủ thể - Đúng phương thức - Đúng quy mô - Đủ điều kiện thực thi”.

5. TỪ KHUNG QUẢN TRỊ ĐẾN BỐN ƯU TIÊN CHÍNH SÁCH

Khung quản trị chỉ có ý nghĩa khi được chuyển thành cơ chế thực thi. Từ thực tiễn hiện nay, có thể xác định bốn ưu tiên.

Thể chế hóa cơ chế phối hợp liên địa phương và liên ngành

Mô hình hai cấp không cần một cấp hành chính trung gian mới, nhưng cần chức năng điều phối đối với những vấn đề vượt ranh giới. Đối với từng loại vấn đề cần xác định rõ: phạm vi cần phối hợp; cơ quan chủ trì; các địa phương và ngành tham gia; trách nhiệm của từng bên; nguồn lực thực hiện; cơ chế chia sẻ dữ liệu; và phương thức kiểm tra, giám sát. Có thể thí điểm cơ chế này tại một số FUA, hành lang giao thông, lưu vực hoặc khu vực đô thị hóa liên tục có mối liên kết rõ trước khi tổng kết và mở rộng [10].

Gắn phân quyền với năng lực và nguồn lực của cấp xã

Phân quyền cần gắn với năng lực và điều kiện thực hiện của từng loại địa bàn. Nhu cầu quản trị của một phường khác một xã ven đô; địa bàn có khu công nghiệp khác địa bàn nông nghiệp; khu vực đô thị hóa nhanh khác khu vực ít biến động. Vì vậy, cùng với phân quyền cần đánh giá và phân hóa năng lực theo đặc điểm địa bàn, đồng thời bảo đảm nhân lực chuyên môn, tài chính, dữ liệu và công cụ thực hiện tương ứng.

Xây dựng nền tảng dữ liệu đô thị dùng chung

GIS và dữ liệu đô thị dùng chung cần trở thành nền tảng thông tin của hệ thống quản trị. Dữ liệu quy hoạch, đất đai, xây dựng, giao thông, hạ tầng, nhà ở, môi trường và dân cư cần được tích hợp và cập nhật để phục vụ đồng thời quản lý tại xã/phường, phối hợp liên địa phương và điều phối ở cấp tỉnh.

Nền tảng số cần bảo đảm dòng thông tin hai chiều tỉnh – xã/phường, đồng thời hỗ trợ phối hợp liên ngành, ra quyết định và giám sát thực hiện [11,12]. Điều quan trọng không chỉ là xây dựng thêm cơ sở dữ liệu, mà phải hình thành cơ chế dùng chung dữ liệu giữa các chủ thể quản trị.

Nâng Chương trình phát triển đô thị thành công cụ điều phối thực thi

Trong mô hình chính quyền hai cấp, Chương trình phát triển đô thị không chỉ là công cụ xác định mục tiêu, chỉ tiêu phát triển mà còn có thể trở thành công cụ điều phối đầu tư và tổ chức thực hiện. Quy hoạch xác lập cấu trúc và định hướng; Chương trình phát triển đô thị cần cụ thể hóa thành mục tiêu, dự án ưu tiên, phân kỳ đầu tư, nhu cầu nguồn lực, trách nhiệm thực hiện và hệ thống theo dõi.

Có thể khái quát thành chuỗi: Quy hoạch tỉnh → Chương trình phát triển đô thị → Ưu tiên và nguồn lực → Tổ chức thực hiện → Theo dõi, đánh giá.”

Trường hợp Phú Thọ cho thấy vai trò này khá rõ. Chương trình giai đoạn 2026-2030 định hướng nâng tỷ lệ đô thị hóa từ khoảng 29,15% lên khoảng 40%, đồng thời ưu tiên hoàn thiện

hạ tầng, tiêu chí còn thiếu và tăng cường liên kết giữa các cực đô thị [9]. Trong điều kiện không còn cấp huyện, Chương trình phát triển đô thị có thể trở thành cầu nối giữa quy hoạch cấp tỉnh với quản lý và tổ chức thực hiện tại cấp xã, đồng thời là công cụ để tỉnh điều phối nguồn lực trên toàn hệ thống đô thị.

6. KẾT LUẬN

Mô hình chính quyền địa phương hai cấp làm thay đổi căn bản cấu trúc quản lý đô thị, nhưng không làm thay đổi thực tế rằng nhiều vấn đề về giao thông, hạ tầng, môi trường, công nghiệp, dịch vụ hay phát triển đô thị vẫn vận hành vượt ranh giới một xã/phường. Vì vậy, yêu cầu đặt ra không chỉ là phân định rõ nhiệm vụ giữa cấp tỉnh và cấp xã, mà còn phải xác định phương thức và quy mô quản trị phù hợp với từng vấn đề.

Từ đối chiếu trường hợp Phú Thọ và các tiếp cận về quản trị đa cấp, đa quy mô, bài viết đề xuất khung quản trị: Hai cấp chính quyền - Ba phương thức quản trị - Nhiều quy mô chức năng - Một hệ thống điều phối tích hợp.

Cốt lõi của cách tiếp cận này là: địa giới hành chính xác định thẩm quyền, nhưng không trở thành giới hạn của phối hợp; vấn đề trong địa bàn được xử lý trực tiếp, vấn đề vượt địa bàn được phối hợp theo chức năng, còn các vấn đề chiến lược và toàn hệ thống do cấp tỉnh điều phối.

Do đó, trọng tâm của đổi mới quản trị đô thị trong giai đoạn hiện nay không phải là tạo thêm tầng nấc quản lý, mà là làm rõ trách nhiệm, lựa chọn đúng quy mô quản trị, thiết lập cơ chế phối hợp linh hoạt và bảo đảm các điều kiện thực thi về nguồn lực, dữ liệu và công cụ. Đây là yêu cầu có ý nghĩa không chỉ đối với các tỉnh mà còn đối với 9 thành phố trực thuộc Trung ương trong việc nâng cao hiệu quả quản lý và tổ chức phát triển đô thị.❖

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Quốc hội (2024), Luật Quy hoạch đô thị và nông thôn số 47/2024/QH15, ngày 26/11/2024.
- Quốc hội (2025), Luật Tổ chức chính quyền địa phương số 72/2025/QH15, ngày 16/6/2025.
- Quốc hội (2025), Luật số 144/2025/QH15 sửa đổi, bổ sung một số điều của Luật Quy hoạch đô thị và nông thôn.
- Ủy ban Thường vụ Quốc hội (2025), Nghị quyết số 111/2025/UBTVQH15 về phân loại đô thị.
- Chính phủ (2025), Nghị định số 145/2025/NĐ-CP về phân định thẩm quyền của chính quyền địa phương hai cấp, phân quyền, phân cấp trong lĩnh vực quy hoạch đô thị và nông thôn.
- Chính phủ (2025), Nghị định số 178/2025/NĐ-CP quy định chi tiết một số điều của Luật Quy hoạch đô thị và nông thôn.
- Chính phủ (2026), Nghị định số 34/2026/NĐ-CP sửa đổi, bổ sung Nghị định số 178/2025/NĐ-CP.
- Chính phủ (2026), Nghị định số 35/2026/NĐ-CP quy định chi tiết một số nội dung về phân loại đô thị.
- UBND tỉnh Phú Thọ (2026), Chương trình phát triển đô thị tỉnh Phú Thọ giai đoạn 2026-2030, tầm nhìn đến năm 2050.
- Dijkstra, L., Poelman, H. & Veneri, P. (2019), “The EU-OECD Definition of a Functional Urban Area”, OECD Regional Development Working Papers, No. 2019/11, OECD Publishing, Paris.
- OECD (2017), Multi-level Governance Reforms: Overview of OECD Country Experiences, OECD Publishing, Paris.
- OECD & European Commission (2020), Cities in the World: A New Perspective on Urbanisation, OECD Publishing, Paris.
- Sassen, S. (2001), The Global City: New York, London, Tokyo, 2nd ed., Princeton University Press, Princeton, NJ.
- UN-Habitat (2017), Steering the Metropolis: Metropolitan Governance for Sustainable Urban Development, UN-Habitat.
- World Bank (2019), TOD Implementation Resources and Tools.

GIẢI BÀI TOÁN NHÀ Ở CHO NGƯỜI TRÉ:

Nghiên cứu mô hình cộng đồng tự xây - tự quản kết hợp với cơ chế khai báo xây dựng



KS NGUYỄN ĐỨC THUYỀN

Giá nhà ngày càng vượt xa thu nhập của người lao động, trong khi nhu cầu phát triển nhà ở xã hội tiếp tục gia tăng nhưng nguồn lực công luôn có giới hạn. Điều này đặt ra yêu cầu nghiên cứu những phương thức phát triển mới nhằm huy động hiệu quả hơn nguồn lực xã hội, đồng thời vẫn bảo đảm vai trò quản lý của Nhà nước.

Một hướng tiếp cận có thể xem xét là mô hình cộng đồng tự xây - tự quản nhà ở xã hội kết hợp với khai báo xây dựng, trong đó người dân sẽ trực tiếp tham gia tổ chức xây dựng nơi ở của mình dưới sự quản lý và giám sát của Nhà nước thông qua cơ chế khai báo xây dựng.

Theo mô hình này, Nhà nước tập trung thực hiện các chức năng cốt lõi thuộc trách nhiệm công như giải phóng mặt bằng, lập quy hoạch tổng thể kiến trúc, khảo sát địa chất, ban hành tiêu chuẩn xây dựng, phòng cháy chữa cháy, kết cấu chịu lực và tổ chức phân phối suất xây dựng cho các đối tượng đủ điều kiện thông qua hệ thống giao dịch điện tử công khai. Giá bán suất xây dựng được xác định trên nguyên tắc thu hồi toàn bộ chi phí Nhà nước đã đầu tư cho dự án.

Để mô hình được triển khai thống nhất trên phạm vi cả nước, Trung ương xây dựng nền tảng số dùng chung phục vụ cơ chế "khai báo - lưu trữ - hoàn công - vận hành", còn địa phương tập trung thực hiện quy hoạch, giải phóng mặt bằng, khảo sát địa chất và tổ chức phân bổ suất xây dựng. Nền tảng số này quản lý toàn bộ vòng đời dự án, từ đăng ký tham gia, thành lập BQLDA, lựa chọn nhà thầu, thi công, nghiệm thu, hoàn công đến quản lý vận hành tòa nhà sau khi đưa vào sử dụng, tạo thành cơ sở dữ liệu thống nhất phục vụ công tác quản lý nhà nước cũng như hoạt động tự quản của cộng đồng dân cư.

Sau khi được phân phối suất xây dựng, những người tham

gia sẽ thành lập BQLDA đại diện cho cộng đồng dân cư. Ban này chịu trách nhiệm lựa chọn nhà thầu, quản lý tài chính, giám sát tiến độ, kiểm soát chất lượng và chịu trách nhiệm trước pháp luật thông qua cơ chế khai báo xây dựng ngay từ khi thành lập. Toàn bộ quá trình xây dựng được cập nhật trên nền tảng số, giúp minh bạch hồ sơ, hạn chế sai phạm và tạo cơ sở để cơ quan quản lý, trọng tài xây dựng hoặc các bên liên quan xử lý khi phát sinh tranh chấp. Sau khi công trình hoàn thành, nền tảng này tiếp tục được sử dụng để quản lý vận hành tòa nhà, công khai thu chi, bảo trì và tối ưu chi phí quản lý. Bên cạnh đó, các hộ dân được quyền lựa chọn mức độ hoàn thiện căn hộ phù hợp với nhu cầu và khả năng tài chính của mình, trong khi toàn bộ kết cấu công trình và các hạng mục chung vẫn phải tuân thủ đầy đủ các tiêu chuẩn kỹ thuật do Nhà nước quy định.

Nếu được thiết kế phù hợp, mô hình có thể mang lại một số lợi ích đáng xem xét.

Thứ nhất, việc cắt giảm một số tầng trung gian trong quá trình phát triển dự án có thể góp phần giảm chi phí quản lý và chi phí tài chính, từ đó tạo điều kiện để giá thành nhà ở xã hội tiệm cận hơn với khả năng chi trả của người lao động.

Thứ hai, nguồn vốn hình thành dự án chủ yếu đến từ chính những người có nhu cầu ở thực kết hợp với nguồn tín dụng ưu đãi của Nhà nước. Nhờ đó, dòng vốn hỗ trợ được chuyển trực tiếp đến đúng đối tượng thụ hưởng, hạn chế tình trạng đầu cơ hoặc hưởng lợi từ chính sách.



Ảnh: NGUYỄN HÀ HIỆP

Để mô hình được triển khai thống nhất trên phạm vi cả nước, Trung ương xây dựng nền tảng số dùng chung phục vụ cơ chế "khai báo - lưu trữ - hoàn công - vận hành", còn địa phương tập trung thực hiện quy hoạch, giải phóng mặt bằng, khảo sát địa chất và tổ chức phân bổ suất xây dựng.

Thứ ba, mô hình giúp nâng cao hiệu quả sử dụng nguồn lực công. Sau khi hoàn thành giải phóng mặt bằng, Nhà nước thu hồi ngay phần kinh phí đã đầu tư thông qua việc chuyển giao quyền triển khai dự án cho cộng đồng, qua đó bảo toàn nguồn vốn ngân sách. Với cùng một lượng vốn công, Nhà nước không chỉ thực hiện được công tác giải phóng mặt bằng mà còn có thể kích hoạt nguồn vốn rất lớn từ người dân và hệ thống tín dụng để phát triển nhà ở xã hội trên quy mô lớn hơn nhiều. Điều này tạo hiệu ứng lan tỏa cho nền kinh tế, thúc đẩy tăng trưởng, đồng thời vẫn bảo đảm mục tiêu an sinh xã hội khi giúp nhiều người dân, đặc biệt là thế hệ trẻ, có cơ hội an cư, lạc nghiệp.

Thứ tư, mô hình góp phần giảm đáng kể khối lượng công việc của cơ quan quản lý nhà nước. Thay vì cơ chế "xin - cho" với quy trình tiền kiểm phức tạp, mô hình chuyển sang cơ chế "khai báo - lưu trữ - tự chịu trách nhiệm" trên nền tảng số. Cơ quan quản lý chỉ kiểm soát các tiêu chí quy hoạch, tiêu chuẩn kỹ thuật và thực hiện hậu kiểm khi xảy ra sự cố, trong khi trách nhiệm tổ chức thực hiện được chuyển cho BQLDA, đơn vị tư vấn, kỹ sư và cộng đồng dân cư. Cách tiếp cận này giúp giảm đáng kể nhu cầu về nhân lực hành chính, cắt giảm thủ tục, giảm trách nhiệm trực tiếp của Nhà nước trong quá trình triển khai dự án để tập trung nguồn lực vào các chức năng cốt lõi như quy hoạch, xây dựng thể chế và giám sát thực thi.

Thứ năm, việc hình thành một cơ sở dữ liệu số thống nhất cho toàn bộ vòng đời công trình giúp nâng cao tính minh

bạch và khả năng quản lý lâu dài. Hồ sơ thiết kế, vật liệu, nhật ký thi công, nghiệm thu, hoàn công, bảo trì, vận hành và các giao dịch tài chính đều được lưu trữ tập trung, hạn chế thất lạc hồ sơ, tạo thuận lợi cho công tác bảo trì, cải tạo công trình cũng như giải quyết tranh chấp khi cần thiết.

Bên cạnh những lợi ích trên, mô hình cũng đặt ra một số thách thức. Trong quá trình triển khai có thể phát sinh tranh chấp về tài chính, tiến độ hoặc quyền lợi giữa các bên tham gia dự án. Để xử lý vấn đề này, cần thiết lập cơ chế trọng tài xây dựng độc lập, đồng thời quy định một số khoản giải ngân bắt buộc phải thực hiện thông qua hệ thống ngân hàng dưới sự giám sát của đại diện cộng đồng dân cư. Việc kết nối nền tảng khai báo xây dựng với hệ thống ngân hàng sẽ giúp toàn bộ dòng tiền được ghi nhận và truy vết minh bạch, tạo cơ sở cho công tác kiểm tra, giải quyết tranh chấp và xử lý khi xảy ra sự cố; đồng thời, cơ chế thu hồi bắt buộc quyền xây dựng của cư dân có thể được kích hoạt trong những trường hợp cần thiết nhằm bảo vệ quyền lợi của tất cả các bên tham gia.

Mọi mô hình mới đều cần được kiểm chứng bằng thực tiễn và hoàn thiện thông qua thí điểm. Tuy nhiên, nếu được thiết kế phù hợp, mô hình này có thể là một hướng tiếp cận đáng nghiên cứu nhằm huy động hiệu quả hơn nguồn lực xã hội trong phát triển nhà ở xã hội. Bởi một chính sách tốt không phải là Nhà nước làm thay tất cả, mà là tạo cơ chế để người dân phát huy tốt nhất nguồn lực của chính mình dưới sự bảo đảm của Nhà nước.❖

Kiến tạo cấu trúc không gian cấp tỉnh



THS LÊ TÙNG LÂM^(*)

Mô hình cấu trúc không gian là “ngữ pháp” của lãnh thổ; cực là điểm tạo lực; hành lang là không gian truyền dẫn; dòng là biểu hiện của vận động; mạng là hệ thống quan hệ; còn vùng là không gian chịu ảnh hưởng của những quan hệ ấy.

Trong quy hoạch không gian một tỉnh, có những quyết định liên quan đến từng khu đất, tuyến đường, khu công nghiệp hay dự án cụ thể. Nhưng phía trên tất cả là một quyết định nền tảng hơn: tỉnh đó sẽ được tổ chức và vận hành như một hệ thống không gian như thế nào? Đây là nơi tập trung nguồn lực, đây là các cực tạo động lực, các cực liên hệ với nhau ra sao, các dòng người, hàng hóa, vốn, tri thức và dịch vụ sẽ vận động theo hướng nào, khu vực nào giữ vai trò cửa ngõ, khu vực nào là trung gian, khu vực nào cần chuyên môn hóa và cuối cùng nguồn lực hữu hạn phải được đặt vào đâu để cấu trúc mong muốn thực sự hình thành?

Đó là lý do việc thống nhất mô hình cấu trúc không gian và hệ thống các cực phải được xem là một trong những quyết định quan trọng nhất của quy hoạch cấp tỉnh. Sai một tuyến đường có thể điều chỉnh tuyến đường. Sai một dự án có thể điều chỉnh dự án. Nhưng nếu nhận thức sai cấu trúc lãnh thổ, xác định sai những nơi cần tập trung nguồn lực và sai quan hệ giữa các khu vực, hệ quả có thể lan truyền xuống hàng loạt quyết định về đô thị, giao thông, công nghiệp, logistics, hạ tầng xã hội và đầu tư công trong nhiều thập niên. Vì vậy, vấn đề không phải trên bản đồ có bao nhiêu vòng tròn, bao nhiêu trục hay bao nhiêu hành lang, mà quan trọng hơn là logic nào nằm phía sau những ký hiệu ấy.

Một tỉnh không đơn giản là tập hợp của đất đai, đô thị, khu công nghiệp, cảng biển, sân bay và đường giao thông. Tỉnh là một hệ thống luôn vận động. Mỗi ngày, con người di chuyển từ nơi ở đến nơi làm việc; hàng hóa đi từ vùng sản xuất tới nhà máy, kho bãi, cảng và thị trường; vốn tìm đến những nơi có cơ hội; bệnh nhân tìm đến các cơ sở y tế; học sinh, sinh viên tập trung vào các trung tâm giáo dục; khách du lịch di chuyển giữa các điểm đến; thông tin và tri thức lan truyền giữa doanh nghiệp, trường đại học, cơ quan quản lý và cộng đồng. Chính những chuyển động ấy tạo nên một

mạng lưới quan hệ vô hình phía sau hình thái hữu hình của lãnh thổ.

Nhìn theo cách đó, cấu trúc không gian được hình thành từ địa điểm, nhưng không dừng ở địa điểm. Giữa các địa điểm xuất hiện những quan hệ; các quan hệ tạo thành những dòng; các dòng kết nối thành mạng; trong mạng xuất hiện những điểm tập trung; khi mức độ tập trung, kết nối và ảnh hưởng đủ lớn, một số điểm trở thành cực; và từ các cực hình thành những vùng ảnh hưởng. Cấu trúc không gian thực sự vì thế không chỉ nằm trong “các điểm ở đâu”, mà còn nằm trong “các điểm quan hệ với nhau như thế nào”.

Cách nhìn này làm thay đổi phương pháp quy hoạch. Thay vì bắt đầu bằng câu hỏi đặt cực ở đâu, cần bắt đầu bằng câu hỏi lãnh thổ đang vận động như thế nào. Thay vì chỉ hỏi một tuyến đường đi qua đâu, cần hỏi dòng nào cần tuyến đường ấy và tuyến đường sẽ làm thay đổi các dòng ra sao. Thay vì chỉ gọi một nơi là trung tâm hay cực, phải kiểm tra nơi đó đang thu hút nguồn lực nào, phục vụ ai và ảnh hưởng tới phạm vi nào. Mô hình cấu trúc không gian vì vậy không thể chỉ là một sơ đồ đẹp ở phần đầu của hồ sơ quy hoạch. Nó phải là mô hình giải thích cách toàn bộ lãnh thổ vận hành.

Có thể xem mô hình cấu trúc không gian như “ngữ pháp” của lãnh thổ. Trong ngữ pháp ấy, vùng, cực, trung tâm, nút, trục và hành lang không phải những từ đồng nghĩa. Trung tâm là nơi tập trung các chức năng và cung cấp dịch vụ cho một phạm vi nhất định. Nút là nơi nhiều tuyến hoặc nhiều dòng gặp nhau. Hành lang là không gian truyền dẫn và tập trung hoạt động dọc theo một hướng kết nối. Vùng là một không gian có mức độ liên kết hoặc đặc trưng tương đối thống nhất. Còn cực phải có một thuộc tính mạnh hơn: khả năng tạo lực. Chính vì vậy, nếu mọi nơi quan trọng đều được gọi là cực thì khái niệm cực cuối cùng sẽ mất khả năng phân biệt.

Điểm quan trọng nhất cần xác lập là cực không phải một danh hiệu mà quy hoạch có thể tùy ý trao cho một địa điểm;

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

TỪ VẼ CẤU TRÚC ĐẾN KIẾN TẠO CẤU TRÚC KHÔNG GIAN CẤP TỈNH

TỈNH LÀ MỘT HỆ THỐNG KHÔNG GIAN LUÔN VẬN ĐỘNG



QUY HOẠCH KHÔNG CHỈ LÀ NHỮNG GÌ ĐƯỢC VẼ TRÊN BẢN ĐỒ

Mô hình cấu trúc phải giải thích được cách toàn bộ lãnh thổ vận hành



CỤC KHÔNG PHẢI DANH HIỆU

Cục là một trạng thái của hệ thống không gian, hình thành khi đồng thời đạt mức đủ lớn về:



HÀNH LANG - KHÔNG CHỈ LÀ TUYẾN GIAO THÔNG



TỪ MÔ HÌNH ĐẾN QUYẾT ĐỊNH ĐẦU TƯ



HỆ THỐNG CỰC VÀ HÀNH LANG TRONG CẤU TRÚC KHÔNG GIAN



MỘT TỈNH CẦN BAO NHIÊU CỤC?



CÓ NÊN CÓ CỤC Ở GIỮA HAI CỤC CÁCH NHAU 90 KM?



QUY HOẠCH KIẾN TẠO ĐIỀU KIỆN ĐỂ CỤC HÌNH THÀNH



CẤU TRÚC KHÔNG GIAN CHỈ THỰC SỰ TỒN TẠI KHI CÁC QUAN HỆ VÀ CÁC DÒNG TƯƠNG ỨNG TỒN TẠI

Cực không phải thứ được vẽ ra, cực là thứ phát được chứng minh. Cấu trúc không phải thứ được đặt tên, cấu trúc là thứ phát vận hành. Quy hoạch phải chỉ ra con đường để cấu trúc tương lai ấy có thể hình thành trong thực tế.

cực là một trạng thái của hệ thống không gian. Một địa điểm chỉ thực sự có tính cực khi hội tụ đủ mạnh các thuộc tính về tập trung nguồn lực, chức năng vượt trội, khả năng kết nối, sức hút các dòng, khả năng tạo giá trị và đặc biệt là ảnh hưởng lan tỏa ra bên ngoài chính nó. Sự tập trung tạo điều kiện cho kết nối; kết nối làm xuất hiện và gia tăng các dòng; các dòng tạo tương tác; tương tác tạo ra giá trị; khi giá trị và ảnh hưởng vượt khỏi phạm vi địa điểm ban đầu, tính cực bắt đầu xuất hiện.

Một khu vực có nhiều quỹ đất chưa chắc là cực. Một khu vực có cao tốc chạy qua chưa chắc là cực. Một trung tâm hành chính tập trung nhiều cơ quan công quyền cũng chưa chắc là cực phát triển. Ngược lại, một khu vực chưa được gọi là cực trong văn bản quy hoạch nhưng đã thu hút mạnh lao động, doanh nghiệp, hàng hóa, dịch vụ và đầu tư thì trên thực tế có thể đang hình thành tính cực. Điều đó cho thấy cần phân biệt rõ cực hiện hữu, cực tiềm năng và cực quy hoạch. Cực hiện hữu đã có sức hút và ảnh hưởng có thể quan sát. Cực tiềm năng sở hữu những điều kiện thuận lợi nhưng chưa đạt mức đủ lớn để tạo lực. Cực quy hoạch là nơi Nhà nước chủ động kiến tạo các điều kiện với kỳ vọng trong tương lai sẽ trở thành cực. Nếu không phân biệt ba trạng thái này, rất dễ nhầm lẫn giữa thực tại, tiềm năng và ý chí quy hoạch.

Sau khi nhận diện được cực, một câu hỏi khó hơn xuất hiện: một tỉnh cần bao nhiêu cực? Không có nguyên tắc rằng càng nhiều cực càng tốt. Mỗi cực cần một khối lượng tới hạn nhất định về dân số, việc làm, doanh nghiệp, thị trường, hạ tầng, dịch vụ và khả năng kết nối. Nếu nguồn lực hữu hạn của một tỉnh được chia cho quá nhiều nơi, từng nơi có thể không bao giờ đạt được khối lượng tới hạn. Kết quả là nguồn lực bị phân tán, lực hút yếu, các dòng yếu và những “cực” được xác định trên bản đồ không thể trở thành cực trong thực tế.

Ngược lại, nếu gần như toàn bộ nguồn lực được tập trung vào một cực duy nhất, cấu trúc cũng có thể phát sinh những vấn đề khác như quá tải hạ tầng, giá đất và chi phí tăng cao,

khoảng cách tiếp cận lớn, chênh lệch lãnh thổ và sự suy yếu tương đối của vùng ngoại vi. Bài toán đúng do đó không phải tối đa hóa hay tối thiểu hóa số cực, mà là tìm số lượng và cấu hình cực thích hợp với quy mô, hình thái, nguồn lực và mục tiêu phát triển của tỉnh.

Điều này đặc biệt rõ khi xem xét trường hợp một tỉnh đã có hai cực Bắc và Nam cách nhau khoảng 90 km. Nhìn trên bản đồ, rất dễ xuất hiện suy nghĩ rằng nên hình thành thêm một cực ở giữa để tạo thế cân bằng. Nhưng khoảng cách địa lý 45 km tới mỗi cực không phải lý do đủ để khu vực giữa trở thành một cực mới. Câu hỏi quan trọng hơn phải là: giữa hai cực hiện hữu có tồn tại một khoảng trống cấu trúc thực sự hay không? Nếu người dân khu vực giữa có thể tiếp cận thuận lợi hai cực hiện hữu, các dịch vụ cấp cao đã được đáp ứng, các dòng lao động và hàng hóa đang vận hành hiệu quả, khu vực giữa không có quy mô dân số, sản xuất hoặc nguồn lực đặc thù đủ lớn thì việc tạo thêm một cực có thể chỉ làm phân tán đầu tư. Trong trường hợp đó, khu vực giữa có thể chỉ cần là một trung tâm hoặc một nút trung gian. Ngược lại, nếu khu vực giữa có cụm dân cư lớn, khu công nghiệp, đầu mối giao thông, tài nguyên đặc thù, thời gian tiếp cận hai cực hiện hữu quá dài hoặc có khả năng đảm nhiệm một chức năng mà hai cực kia không thể cung cấp hiệu quả, việc hình thành một cực trung gian có thể hợp lý. Như vậy, không nên tạo cực để lấp khoảng trống trên bản đồ; chỉ nên kiến tạo cực khi cần lấp một khoảng trống trong cấu trúc vận hành của lãnh thổ.

Quan trọng hơn việc đánh giá từng cực riêng lẻ là đánh giá hệ thống các cực. Quy hoạch không thể chỉ dừng ở câu hỏi A có phải cực hay không, B có phải cực hay không, mà phải tiếp tục hỏi A, B và C khi đặt cùng nhau có tạo thành một hệ thống hợp lý hay không? Các cực bổ trợ hay cạnh tranh với nhau? Chúng có cùng chức năng hay có sự phân công? Một cực mới sẽ tạo thêm giá trị cho toàn mạng hay chỉ hút nguồn lực từ cực hiện hữu? Giữa các cực có đủ dòng để

duy trì các hành lang hay không? Có cực nào quá mạnh khiến toàn hệ thống phụ thuộc vào nó hay không?

Một hệ thống đa cực hiệu quả vì thế không phải là nhiều cực đứng cạnh nhau. Đó phải là một mạng lưới có phân công, kết nối và tương tác. Có thể có cực lõi đảm nhận các chức năng cấp cao; cực cửa ngõ kết nối tình với bên ngoài; cực công nghiệp chuyên môn hóa sản xuất; cực logistics tổ chức dòng hàng; cực du lịch khai thác nguồn lực đặc thù; cực đổi mới sáng tạo tập trung tri thức và công nghệ; hoặc cực trung gian tổ chức những khu vực ở xa cực lõi. Khi các cực bổ sung chức năng cho nhau và tạo ra các dòng tương tác đủ mạnh, tổng giá trị của hệ thống có thể lớn hơn tổng giá trị của từng cực riêng lẻ.

Hành lang cũng cần được nhìn theo cùng logic đó. Có một tuyến cao tốc không đồng nghĩa tự động có một hành lang kinh tế. Tuyến giao thông là công trình vật chất; kết nối là khả năng mà công trình tạo ra; dòng là sự vận động thực tế của người, hàng hóa, vốn và hoạt động; còn hành lang phát triển chỉ thực sự hình thành khi những dòng ấy đủ mạnh để tạo ra chuỗi hoạt động và tương tác kinh tế - xã hội dọc tuyến. Vì vậy, cực và hành lang không thể được thiết kế độc lập. Cực tạo lực hút và phát sinh dòng, hành lang truyền dẫn dòng, dòng kết nối các cực, còn mạng lưới tương tác giữa chúng mới tạo thành cấu trúc không gian thực sự.

Từ đây cũng cần nhìn lại vai trò của quy hoạch. Nếu cực là trạng thái phát sinh từ tập trung, kết nối và dòng thì Nhà nước không thể tạo ra cực chỉ bằng một quyết định hành chính. Nhưng Nhà nước có thể kiến tạo những điều kiện để cực hình thành thông qua quy hoạch, thể chế, hạ tầng, đất đai, đầu tư môi, dịch vụ công và chính sách thu hút các hoạt động kinh tế - xã hội. Những điều kiện đó thúc đẩy hoạt động, hoạt động tạo ra các dòng, các dòng làm gia tăng tích tụ và khi sự tích tụ vượt một ngưỡng nhất định, cực mới thực sự xuất hiện.

Điểm quan trọng là phải xác định chính xác một cực tiềm năng đang thiếu gì? Có nơi thiếu giao thông. Có nơi giao thông rất tốt nhưng thiếu dân số và thị trường. Có nơi có thị trường nhưng thiếu quỹ đất. Có nơi có đất và hạ tầng nhưng thiếu chức năng khác biệt. Có nơi có doanh nghiệp nhưng thiếu nguồn nhân lực, dịch vụ đô thị hoặc hệ sinh thái đổi mới. Nếu chẩn đoán sai nút thắt, đầu tư rất lớn chưa chắc tạo được cực. Vì vậy, thay vì chỉ tuyên bố “phát triển A thành cực động lực”, quy hoạch phải trả lời rõ A đang thiếu điều kiện nào để trở thành cực và Nhà nước phải can thiệp vào đâu để bổ sung điều kiện đó.

Đây cũng là phép thử cuối cùng của một mô hình cấu trúc không gian. Nếu một địa điểm được xác định là cực, quy hoạch phải giải thích được nó là cực gì, cấp nào, có chức năng chủ đạo gì, thu hút những dòng nào, phạm vi ảnh hưởng đến đâu, liên kết với những cực nào, hiện đang thiếu điều kiện gì, dự án nào phải được ưu tiên, nguồn lực công cần tập trung vào đâu và đến khi nào có thể xác định rằng cực đã thực sự hình thành. Nếu không trả lời được những câu hỏi đó, “cực” vẫn chủ yếu là một ký hiệu trên bản đồ.

Như vậy, giữa tầm nhìn phát triển và dự án đầu tư phải

tồn tại một chuỗi logic thống nhất. Tầm nhìn được cụ thể hóa thành mô hình cấu trúc không gian; mô hình cấu trúc xác định hệ thống cực, trung tâm, hành lang và vùng; hệ thống ấy cho biết những dòng nào cần được duy trì hoặc tạo mới; từ đó xác định nhu cầu về hạ tầng, thể chế và dịch vụ; cuối cùng mới hình thành danh mục dự án, thứ tự ưu tiên và phương án phân bổ nguồn lực. Sau đầu tư lại phải tiếp tục theo dõi xem các dòng, các cực và cấu trúc mong muốn có thực sự hình thành hay không để điều chỉnh quy hoạch. Đây chính là điểm nối giữa quy hoạch không gian và quản trị phát triển.

Từ cách tiếp cận này có thể hình thành một phương pháp luận tương đối rõ: trước hết phải đọc lãnh thổ, sau đó nhận diện các dòng, từ các dòng nhận diện mạng quan hệ, từ mạng xác định nút và trung tâm, từ đó kiểm định nơi nào thực sự có hoặc có khả năng hình thành tính cực, tiếp tục xem xét quan hệ giữa các cực để xây dựng hệ thống cực, rồi mới lựa chọn mô hình cấu trúc không gian và cuối cùng xác định các can thiệp quy hoạch cần thiết. Đây là sự chuyển đổi quan trọng từ việc mô tả và vẽ cấu trúc sang thiết kế và kiến tạo một hệ thống không gian có khả năng vận hành.

Xét đến cùng, một tỉnh không trở thành đa cực vì trên bản đồ có nhiều vòng tròn. Một địa điểm không trở thành cực vì vẫn bản quy hoạch gọi nó là cực. Một tuyến giao thông cũng không tự động trở thành hành lang kinh tế vì được tô đậm trên sơ đồ. Cấu trúc không gian chỉ thực sự tồn tại khi những quan hệ và những dòng tương ứng với nó tồn tại.

Vì vậy, quy hoạch không tạo ra cực bằng một ký hiệu trên bản đồ. Quy hoạch kiến tạo những điều kiện để sự tập trung tạo ra kết nối, kết nối làm gia tăng các dòng, các dòng tạo ra tương tác, tương tác tạo ra giá trị và giá trị tạo ra ảnh hưởng lan tỏa. Khi quá trình ấy vượt một ngưỡng đủ lớn, cực mới thực sự hình thành.

Theo nghĩa đó, mô hình cấu trúc không gian là “ngữ pháp” của lãnh thổ; cực là điểm tạo lực; hành lang là không gian truyền dẫn; dòng là biểu hiện của vận động; mạng là hệ thống quan hệ; còn vùng là không gian chịu ảnh hưởng của những quan hệ ấy. Điều quan trọng trong quy hoạch cấp tỉnh vì thế không phải tìm một công thức hấp dẫn kiểu “hai vùng - ba hành lang - bốn cực”, mà phải chứng minh được tại sao cấu trúc ấy phù hợp hơn những cấu trúc khác; tại sao phải là bốn cực mà không phải ba; tại sao cực phải ở A mà không phải B; tại sao giữa hai cực cách nhau 90 km cần hoặc không cần cực thứ ba; và tại sao nguồn lực hữu hạn phải được tập trung vào những địa điểm nhất định.

Khi trả lời được những câu hỏi ấy, quy hoạch mới vượt khỏi việc sắp xếp các đối tượng trên bản đồ để tiến tới bản chất sâu hơn của nó: thiết kế những quan hệ, những dòng và những điều kiện để toàn bộ lãnh thổ có thể vận hành như một hệ thống thống nhất. Bởi xét đến cùng, cực không phải thứ được vẽ ra, cực là thứ phải được chứng minh; cấu trúc không phải thứ được đặt tên, cấu trúc là thứ phải vận hành. Và giá trị của quy hoạch không nằm ở việc bản đồ thể hiện bao nhiêu cực, mà ở khả năng chỉ ra được phải kiến tạo những điều kiện nào, ở đâu và theo thứ tự nào để cấu trúc phát triển mong muốn có thể trở thành hiện thực.❖

Suy nghĩ về vị trí đặt tượng đài



KTS PHẠM THANH TÙNG^(*)

Chúng ta không bảo tồn ký ức bằng cách đóng khung một di sản, mà bảo tồn bằng cách đưa di sản hòa cùng với đời sống đô thị.

VÌ SAO PHẢI DI CHUYỂN TƯỢNG ĐÀI?

Tôi cứ băn khoăn khi được biết Hà Nội có chủ trương di chuyển tượng đài “Quyết tử để Tổ quốc quyết sinh” ở khu vực đền Bà Kiệu về khuôn viên của Trung đoàn 692, Sư đoàn bộ binh 301, Bộ Tư lệnh Thủ đô, trước ngày 30/9/2026. Dẫu biết rằng, chủ trương di chuyển tượng đài trên là với mục đích trả lại không gian cảnh quan di tích đặc biệt hồ Gươm, sắp xếp lại không gian, chỉnh trang đô thị trung tâm và tạo dư địa cho sinh hoạt văn hóa cộng đồng khu vực quanh hồ Hoàn Kiếm; hơn nữa vị trí tượng đài hiện tại nằm trong khu vực bảo vệ cấp 1 của di tích đền Bà Kiệu, do đó di chuyển tượng đài là cần thiết. Nhưng với tình cảm của một người đã gắn bó gần hết cuộc đời với Hà Nội, tôi rất không muốn di chuyển tượng đài bên hồ Gươm vốn đã quen thuộc với ký ức của tôi và của bao lớp người Hà Nội. Vì thế, trong bài viết này, tôi không bàn đến chuyện “nên hay không nên” di chuyển tượng đài, mà điều tôi quan tâm, đó là địa điểm vị trí đặt tượng đài này sau khi phải di chuyển.

Tượng đài “Quyết tử để Tổ quốc quyết sinh” do nhà điêu khắc quân đội Kim Giao sáng tác và xây dựng vào năm 1984, đã gắn bó hơn bốn thập kỷ với người dân Thủ đô, nhất là những người sống trong khu vực hồ Gươm, nên việc lựa chọn vị trí mới đặt tượng đài phải thực sự xứng tầm và dễ dàng cho nhân dân tiếp cận chiêm ngưỡng. Tượng đài “Quyết tử để Tổ quốc quyết sinh” không phải là một câu chuyện riêng của quân đội. Câu nói gắn với thư Chủ tịch Hồ Chí Minh gửi các chiến sĩ Trung đoàn Thủ đô

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

ngày 27/01/1947 đã trở thành biểu tượng của quân và dân Hà Nội trong những ngày đầu toàn quốc kháng chiến. Đặc biệt, bản thân nhóm tượng cũng mô tả ba thành phần: quân đội - phụ nữ - công nhân, nên nó có tính xã hội rộng hơn nhiều một tượng đài truyền thống quân đội thuần túy. Vì lẽ đó, khi đưa một biểu tượng của ký ức chung của Hà Nội vào một không gian thuộc một đơn vị quân đội, liệu chúng ta có vô tình thu hẹp phạm vi tiếp cận và diễn giải của biểu tượng đó hay không? Đây là câu hỏi cần được thảo luận nghiêm túc. Tôi rất đồng tình với chỉ đạo của Thường vụ Thành ủy Hà Nội, khi thống nhất về chủ trương di chuyển tượng đài nhưng yêu cầu tiếp tục nghiên cứu các ý kiến góp ý để lựa chọn địa điểm mới tương xứng với giá trị lịch sử, văn hóa và ý nghĩa của công trình. Nơi đặt tượng đài phải có không gian trang nghiêm, thuận lợi cho người dân và du khách tham quan, qua đó phát huy giá trị giáo dục truyền thống, tôn vinh tinh thần “Quyết tử để Tổ quốc quyết sinh”. Phương án cụ thể sẽ được báo cáo cấp có thẩm quyền xem xét, quyết định trước khi triển khai. Việc di dời chỉ thực hiện sau khi Hà Nội công bố thông tin quy hoạch khu vực hồ Gươm và hoàn thiện cơ sở vật chất tại địa điểm mới.

Sự chỉ đạo sáng suốt của Thành ủy Hà Nội đã cho thấy vị trí đặt tượng đài quan trọng thế nào trong không gian đô thị Hà Nội.

TƯỢNG ĐÀI TRONG QUY HOẠCH ĐÔ THỊ

Trong cấu trúc không gian đô thị, vị trí đặt tượng đài, công trình tưởng niệm rất được quan tâm. Bởi tượng đài

không phải là vật thể có thể tùy tiện “đặt ở đâu cũng được”. Tại sao lại nói như vậy. Vì một tượng đài chỉ có giá trị khi đảm bảo các yếu tố về giá trị nghệ thuật - giá trị lịch sử - giá trị ký ức và giá trị của không gian đặt tượng. Thậm chí, với những tượng đài có ý nghĩa lịch sử đặc biệt, không gian có thể làm tăng thêm tầng ý nghĩa cho chính tượng đài. Một tượng đài đặt trong doanh trại quân đội sẽ được nhìn như một biểu tượng truyền thống của lực lượng vũ trang. Nhưng cũng chính tượng đài ấy đặt bên hồ Gươm, trong một không gian công cộng mà hàng ngày người dân Hà Nội, du khách quốc tế đi qua chiêm ngưỡng... lại trở thành ký ức chung của toàn xã hội.

Đó chính là sự khác biệt của vị trí đặt tượng đài. Và điều khác biệt đó cần được lưu ý trong trường hợp di chuyển tượng đài “Quyết tử để Tổ quốc quyết sinh”.

Một tượng đài đặt trong không gian đô thị sẽ có ba tầng không gian.

Tầng thứ nhất là tác phẩm, gồm hình khối, tỷ lệ, chất liệu, nghệ thuật điêu khắc, nội dung biểu tượng... Tượng “Quyết tử để Tổ quốc quyết sinh” được nhà điêu khắc tạo nên với hình tượng nghệ thuật rất đẹp, gồm ba nhân vật đại diện cho các chiến sĩ Vệ quốc đoàn, cho người dân Hà Nội và công nhân. Phần bệ tượng đài là dòng chữ vàng đắp nổi “Quyết tử để Tổ quốc quyết sinh”. Đây là giá trị vật thể.

Tầng thứ hai là không gian kiến trúc cảnh quan. Đây là câu chuyện của kiến trúc đô thị. Có nhiều vị trí đặt tượng đài, như: ở quảng trường; vườn hoa, công viên; trước một công trình kiến trúc lịch sử; bên hồ nước; trong khuôn viên một cơ quan, doanh trại; trong bảo tàng... Đó là giá trị về không gian.

Tầng thứ ba, là không gian xã hội. Khi đó nhà quy hoạch và nhà quản lý đô thị phải trả lời được câu hỏi: Ai nhìn thấy nó? Ai có thể đến gần, có thể dừng lại, suy ngẫm, chụp ảnh và kể cho trẻ em câu chuyện của lịch sử? Đây là giá trị xã hội của ký ức. Và tôi cho rằng, tầng thứ ba này đặc biệt quan trọng đối với một tượng đài chiến tranh cách mạng.

Trên thế giới, các thành phố lớn đều có quy hoạch vị trí tượng đài. Và tượng đài có giá trị lịch sử thường được đặt ở nơi “ký ức gặp đời sống”. Là nơi mọi người dễ nhìn thấy, dễ tiếp cận, chiêm ngưỡng. Còn nếu là tượng đài có ý nghĩa biểu tượng của đô thị thì không gian đặt tượng không chỉ rộng, không bị che khuất mà còn làm cho tượng đài thêm hoành tráng. Washington, D.C. - Thủ đô của nước Mỹ là một ví dụ. Tại đây có National Mall (Quảng trường Quốc gia) là một công viên cảnh quan mang tính biểu tượng nằm ở trung tâm Thủ đô. National Mall không chỉ có nhiều tượng đài, mà nó còn được coi là “cảnh quan ký ức quốc gia”. Đây là một trong những không gian biểu tượng và địa lý trung tâm của Washington, đồng thời là nơi diễn ra các lễ nghi quốc gia, tưởng niệm, hoạt động công cộng và cả biểu đạt chính trị. Điều đáng học hỏi là: người ta không đặt tượng đài vào một chỗ trống bất kỳ; ngược lại, họ thiết kế cả một hệ thống không gian để tượng đài có thể phát huy ý nghĩa, đó là quy hoạch

tổng thể tượng đài và bảo tàng (Memorials and Museums Master Plan). Đây là một bản quy hoạch đô thị chiến lược quan trọng của Washington, D.C. được Ủy ban Quy hoạch Thủ đô Quốc gia (NCPC) thông qua năm 2001 nhằm định hướng việc xây dựng các công trình tưởng niệm và bảo tàng mới trong tương lai. Trong bản quy hoạch này, người ta đánh giá địa điểm theo quy mô, giao thông công cộng, tài nguyên lịch sử và bối cảnh khu dân cư. Nước Mỹ còn có những khu vực “reserve” không cho phép xây thêm công trình tưởng niệm nhằm bảo vệ cấu trúc không gian lịch sử.

Đây là một bài học về quy hoạch đô thị và quản trị rất đáng suy nghĩ.

Nhưng thế giới cũng cho thấy một điều rất thú vị, đó là không phải tượng đài nào cũng cần nằm ở quảng trường lớn khi xuất hiện một xu hướng quy hoạch đô thị hiện đại, đó là chuyển từ “monument” (tượng đài) sang “memorial landscape” (cảnh quan tưởng niệm). Mà công trình Vietnam Veterans Memorial ở Washington là một ví dụ nổi tiếng do KTS Maya Lin thiết kế vào năm 1981, khi ấy bà mới 21 tuổi và còn là sinh viên năm cuối của Trường Đại học Yale. Ở đây, Maya Lin không cố tạo ra một tượng đài thật cao để “thống trị” không gian. Ngược lại, công trình đài tưởng niệm chỉ bao gồm hai bức tường liền kề có hình chữ V bắt đầu từ mặt đất, rồi đi xuống dưới và đi lên trở lại mặt đất. Mỗi bức tường dài 75,21 m và được cấu tạo từ 72 tấm đá granit đen được đánh bóng rất kỹ, trên mỗi bức tường được khắc tên những người được vinh danh. Đến với đài tưởng niệm, người xem đi chậm lại, đọc tên những người đã mất được khắc trên tường đá, khẽ chạm vào đó, rồi để lại dưới chân tường tưởng niệm một bông hoa, cái bưu thiếp, hay một con búp bê nhỏ... và lặng trong suy nghĩ! Maya Lin đã rất thành công khi chuyển tải thông điệp “Một vết thương đã khép lại và đang lành” cho nước Mỹ. Tác phẩm nổi tiếng này đã đưa Maya Lin trở thành một trong các kiến trúc sư tài năng nhất của thế kỷ 21.

Tôi thấy cần đặc biệt lưu ý sự khác nhau giữa “không gian công cộng” và “không gian công cộng khu vực hồ Gươm”. Một quảng trường, một không gian công cộng ở Hà Nội đã quan trọng. Nhưng không gian cảnh quan hồ Gươm là một cấp độ khác. Hồ Gươm không đơn thuần là một công viên. Nó là: không gian lịch sử - không gian văn hóa - không gian du lịch - không gian sinh hoạt cộng đồng - không gian chính trị - không gian ký ức của Hà Nội. Do đó, khi một tượng đài đặt tại đây từ 1984, theo thời gian hơn bốn thập kỷ, điều đó có nghĩa là tác phẩm điêu khắc này đã tham gia vào “bộ nhớ đô thị” của Hà Nội. Đây là lý do vì sao tôi rất đồng tình với yêu cầu của Ban Thường vụ Thành ủy rằng địa điểm mới phải được nghiên cứu kỹ và tương xứng với giá trị của công trình. Tuy nhiên, tôi muốn việc di chuyển tượng đài cần được xem xét khách quan dưới góc độ xã hội học. Sau hơn 40 năm, cấu trúc không gian phía Đông hồ Gươm đã thay đổi. Hiện khu vực trung tâm Hà Nội còn có những công trình khác cùng kể câu chuyện về toàn quốc kháng chiến,



trong đó có phù điêu “Hà Nội mùa đông 1946” trước chợ Đồng Xuân và một tượng đài “Quyết tử để Tổ quốc quyết sinh” tại vườn hoa Vạn Xuân (do hai nhà điêu khắc Vũ Đại Bình và Mai Văn Kế sáng tác, khánh thành năm 2004, nhân dịp kỷ niệm 60 năm ngày thành lập Quân đội Nhân dân Việt Nam). Do đó, nếu di chuyển đến địa điểm mới có làm cho giá trị của tượng đài tăng lên hay giảm đi? Khi tượng đài được đưa về một doanh trại quân đội thì sẽ gần trực tiếp với lực lượng vũ trang Thủ đô, trang nghiêm, dễ bảo vệ; thuận lợi cho giáo dục truyền thống trong quân đội. Nhưng tượng đài sẽ không còn nằm trong đời sống thường nhật của đại đa số người dân Thủ đô, và “ký ức của thành phố” có nguy cơ chuyển thành “ký ức của một thiết chế”. Đó là một sự thay đổi rất tinh tế nhưng rất quan trọng. Vì thế, cần trả lời vị trí đặt tượng đài có mối liên hệ thực chất với câu chuyện mà tượng đài kể không? Người dân, học sinh, du khách có dễ dàng tiếp cận không? Địa điểm có đủ tầm vóc để mang biểu tượng của Thủ đô không? Có nằm trong mạng lưới các địa điểm ký ức khác của Hà Nội không? Và liệu 30 - 50 năm nữa địa điểm ấy còn phù hợp không?

Đây là câu hỏi cần sự trả lời của quy hoạch và nhà quản lý!

THAY LỜI KẾT

Câu chuyện di chuyển tượng đài trong khuôn viên đền Bà Kiệu đến địa điểm mới tưởng đơn giản như thực hiện một chủ trương hành chính, nhưng thực tế không như vậy. Nó đòi hỏi sự thận trọng và trách nhiệm rất cao trước lịch sử, trước nhân dân Thủ đô, khi Hà Nội đang thực hiện quy hoạch tổng thể tầm nhìn 100 năm mà trong đó có dự án quy hoạch cải tạo chỉnh trang khu vực phía Đông hồ Hoàn Kiếm. Tôi hy vọng, nếu có thể hình thành một “Tuyến ký ức 1946 - 1947 của Hà Nội” với Bắc Bộ Phủ - Hàng Đậu - Đồng Xuân - Ô Quan Chưởng - Hoàng thành Thăng Long - các địa điểm chiến đấu 60 ngày đêm bất tử của quân và dân Hà Nội... Trong đó tượng đài “Quyết tử để Tổ quốc quyết sinh” là một điểm nút ký ức, chứ không đứng đơn độc. Đây sẽ là cách tiếp cận rất phù hợp với tư duy đô thị đương đại.

Chúng ta không bảo tồn ký ức bằng cách đóng khung một di sản, mà bảo tồn bằng cách đưa di sản hòa cùng với đời sống đô thị.❖

Sức quyến rũ của những “thành phố tiệc tùng”



TS.KTS BUI DUY ĐỨC^(*)

Trong nhiều năm gần đây tại Việt Nam, ta chứng kiến một sự trỗi dậy của những trung tâm du lịch về đêm mới. Nếu trước năm 2000, chỉ có TP.HCM nổi tiếng là nơi náo nhiệt cho những buổi tiệc tùng, thì sau đó Hà Nội, Đà Nẵng đã nhanh chóng bắt kịp nhịp phát triển và tham gia vào thị trường hấp dẫn này. Không chỉ vậy, tại nhiều thành phố du lịch nhỏ như Hội An, Phú Quốc, Hạ Long... không khí tiệc tùng cũng bắt đầu gắn với nhịp sống hàng ngày của đô thị. Câu hỏi chúng tôi đặt ra là: Những mô hình “thành phố tiệc tùng” hình thành như thế nào? Sự đa dạng của những mô hình đó ra sao? Sức hấp dẫn của chúng nằm ở đâu? Chúng ta sẽ cùng quan sát một số ví dụ ở châu Mỹ và tìm hiểu kinh nghiệm cho những “không gian tiệc tùng” trong các đô thị Việt Nam.

ĐÔ THỊ TIỆC TÙNG CÓ TỪ BAO GIỜ?

Các đô thị tiệc tùng không phải sản phẩm hiện đại. Chúng có nguồn gốc từ các thành phố lễ hội Hy Lạp và La Mã cổ đại, nơi có không gian đô thị gắn với vui chơi tập thể hay những lễ hội rượu vang. Pompeii - thành phố náo nhiệt sầm uất đã bị hủy diệt bởi núi lửa là một ví dụ điển hình của mô hình “party city” này. Cùng với sự phát triển của ngành hàng hải, các thành phố cảng thế kỷ 17 - 19 trở thành những địa điểm tiệc tùng như New Orleans, Bergen, Macau... Tại đó, các thủy thủ, thương nhân, nhà hát, quán rượu là những yếu tố hình thành nên “khu giải trí đêm”. Thế kỷ 20 chứng kiến sự bùng nổ của đô thị giải trí với sự tiến bộ của công nghệ chiếu sáng, đây là thời điểm mô hình “party city” hiện đại được khởi phát rõ rệt. Thành phố tiệc tùng được định nghĩa là *mô hình đô thị nơi giải trí - lễ hội - văn hóa trở thành động lực chủ chốt phát triển kinh tế và công cụ định hình thương hiệu đô thị mà trong đó không gian văn hóa - sáng tạo đa phương diện - trải nghiệm du lịch là các thành phần chủ đạo*. Nó được thể hiện đặc thù bởi sự hoạt động xuyên suốt thời điểm ban đêm của hệ thống giao thông, không gian công

cộng, của dịch vụ, hệ sinh thái giải trí - nghệ thuật và quản trị.

Các mô hình “thành phố tiệc tùng - party city” hiện đại rất đa dạng. Hẳn chúng ta đều đã từng nghe đến thành phố casino - giải trí Las Vegas gắn với sự hợp pháp hóa cờ bạc năm 1931 và sự bùng nổ casino - nightlife từ thập niên 1940 - 1950. Bên cạnh đó là những thành phố lễ hội không kém phần nổi tiếng như Rio de Janeiro từ đầu những năm đầu thế kỷ 20 khi Carnival trở thành thương hiệu toàn cầu và định hình mô hình “festival city”. Sự đa dạng còn mở rộng đến những mô hình thành phố du lịch như “resort party city”, thành phố ẩm thực, thành phố techno gắn với âm nhạc điện tử, nghệ thuật và văn hóa giới trẻ... “Party city” không phải một mô hình duy nhất mà là một phổ rộng từ vị văn hóa đến vị tiêu dùng. Để hình dung rõ hơn, chúng ta cùng quan sát hai ví dụ tiêu biểu là mô hình xa xỉ của Las Vegas và mô hình đại chúng của Rio de Janeiro.

TỪ HÌNH ẢNH XA XỈ ĐẾN “THÀNH PHỐ TRÁCH NHIỆM”

Las Vegas năm 1931 có khởi đầu là một thị trấn đường sắt nhỏ nơi người Mỹ đã tạo ra những kỳ quan nhân tạo, những sông bài lộ liễu, và các show diễn triệu đô trải nghiệm sự xa xỉ giữa sa mạc Nevada cằn cỗi. Việc hợp pháp hóa cờ bạc cùng với sự bùng nổ của ngành giải trí sau Thế chiến II đã biến Las Vegas thành “thủ đô giải trí của thế giới”. Ngành công nghiệp sông bài là nguồn thu chính với doanh thu hàng tỷ đô-la hàng năm cho thành phố và tiểu bang Nevada thành phố mọc lên như một ảo ảnh rực rỡ của ánh đèn neon và những dòng thác nước nhân tạo lấp lánh. Đây là một đô thị không được xây dựng dựa trên tài nguyên thiên nhiên hay vị trí giao thương chiến lược, mà dựa trên trí tưởng tượng không giới hạn của con người và sức mạnh của nền kinh tế giải trí. Tại Las Vegas, khái niệm thời gian hoàn toàn bị xóa nhòa. Các sông bạc không có cửa sổ và đồng hồ nhằm giữ chân con người trong một vòng lặp tiêu dùng liên tục. Lối sống này thúc đẩy một nhu cầu không ngừng nghỉ về thực phẩm, dịch vụ và sự kích thích tinh thần. (Hình 1)

^(*) Cơ quan quy hoạch và phát triển vùng đô thị Toulouse (Pháp)



Kiến trúc mô phỏng Venice ở Phú Quốc. Ảnh: Lê Minh/VI.

Các công trình tại Las Vegas có vòng đời ngắn hơn bất kỳ nơi nào khác. Một khách sạn khổng lồ có thể bị phá hủy hoàn toàn bằng thuốc nổ để nhường chỗ cho một công trình khác lớn hơn và mang chủ đề mới mẻ hơn. Chu kỳ trung bình của một resort lớn là 20 - 30 năm trước khi bị thay thế. Triết lý ở đây là “cũ là chết, mới là sống”. Điều đó khiến Las Vegas trở thành một giấc mơ không bao giờ ngừng tỏa sáng. Las Vegas quyến rũ bởi khả năng tạo ra “thế giới khác” giúp con người rời khỏi đời sống thường nhật. Tại đây, họ không chỉ mua hàng hóa mà mua cảm xúc. Thành phố đầu tư vào những “điểm chạm” trải nghiệm, các show diễn như Cirque du Soleil hay các nhà hàng của những đầu bếp đạt sao Michelin để tạo ra sức hấp dẫn và giữ chân cư dân cũng như du khách. Trải nghiệm nơi đây được thiết kế để kích thích tất cả các giác quan cùng lúc, từ mùi hương đặc trưng trong mỗi khách sạn đến âm thanh vòm được hiệu chỉnh chính xác.

“Las Vegas không phải là một thành phố. Nó là một trải nghiệm” - Gottdiener, M.

Trong tương lai, Las Vegas sẽ luôn là “thành phố tiệc tùng”, nhưng họ đang nỗ lực chuyển sang vận hành bằng năng lượng mặt trời và nước tái chế. Về năng lượng, với hàng triệu bóng đèn LED và hệ thống điều hòa chạy hết công suất để tạo hiệu ứng hấp dẫn, “thành phố không ngủ” này cần sự làm việc liên tục của các nhà máy điện quy mô lớn. Hiện nay, 24% điện toàn Nevada đến từ năng lượng tái tạo. Tận dụng lợi thế ánh nắng dồi dào, các sòng bạc lớn như MGM hay Caesars đã đầu tư vào các cánh đồng điện mặt trời khổng lồ. Mục tiêu của nhiều tập đoàn giải trí tại đây là đạt mức 100% năng lượng tái tạo trong tương lai gần. Các khách sạn xây dựng mới đều phải đạt các chứng chỉ xanh nghiêm ngặt. Việc sử dụng vật liệu thông minh và hệ thống quản lý năng lượng tự động giúp giảm đáng kể dấu chân carbon của các tổ hợp giải trí. Về tài nguyên nước, ít ai biết rằng Las Vegas là một trong những thành phố tái chế nước tốt nhất thế giới. Gần 100% lượng nước sử dụng trong nhà như vòi sen, bồn cầu được thu gom, xử lý và trả lại hồ Mead

để tái sử dụng. Thành phố đã ban hành các quy định nghiêm ngặt về việc loại bỏ cỏ trang trí để cắt giảm một hạng mục tiêu tốn lượng nước khổng lồ. Từ 2002 - 2023, thành phố giảm 58% lượng nước sử dụng bình quân đầu người nhờ sử dụng thiết bị tiết kiệm nước. Khi một thành phố giữa sa mạc có thể học cách tiết kiệm từng giọt nước để duy trì những đài phun nước rực rỡ của mình, thì đó là hy vọng cho thấy sự sáng tạo và những bữa tiệc của con người có thể trở nên “trách nhiệm” hơn. (Hình 2)

TIỆC TÙNG ĐẠI CHÚNG VÀ TRẢI NGHIỆM CẢM XÚC

Nếu Las Vegas là một “màn kịch” được dàn dựng tỉ mỉ dưới ánh đèn neon nơi mọi sự xa hoa đều nằm trong kịch bản của các nhà đầu tư thì Rio de Janeiro ở Brazil lại là một thực thể hoàn toàn khác biệt. Tại Rio, văn hóa không được nhốt trong các nhà hát hay phòng triển lãm, nó tràn xuống phố.

Để hiểu được linh hồn của Rio, ta có không gian đậm chất Afro-Brazil ở Pedra do Sal, nghĩa là Tầng đá Muối - một địa danh lịch sử được UNESCO công nhận là biểu tượng di sản thế giới. Cái tên Pedra do Sal gợi nhắc về một quá khứ nhọc nhằn. Vào thế kỷ 19, đây là nơi những người nô lệ da đen gốc Phi phải khuân vác những bao muối nặng trĩu từ tàu biển lên dốc đá trơn trượt. Mỗi bước chân của họ in hằn nỗi đau khổ sai. Nhưng cũng chính tại đây, trong những giờ giải lao hiếm hoi, họ đã tìm thấy sự an ủi từ cội nguồn. Khi những nghi lễ tôn giáo Candomblé bí mật và nhịp điệu thô mộc, đau thương của những bài hát dân gian Phi châu được xướng lên - thì điệu nhảy Samba - linh hồn của Brazil đã chính thức khai sinh. Khu vực xung quanh Pedra do Sal đã được mệnh danh là “châu Phi nhỏ” và trở thành nơi tụ họp của những người tự do, nơi đó lưu giữ những nét văn hóa nguyên bản nhất của lực địa đen giữa lòng Nam Mỹ.

“Pedra do Sal là nơi samba diễn ra ngoài trời, miễn phí, không sân khấu, không khu biệt ranh giới giữa nghệ sĩ và khán giả.” - The Rio Times

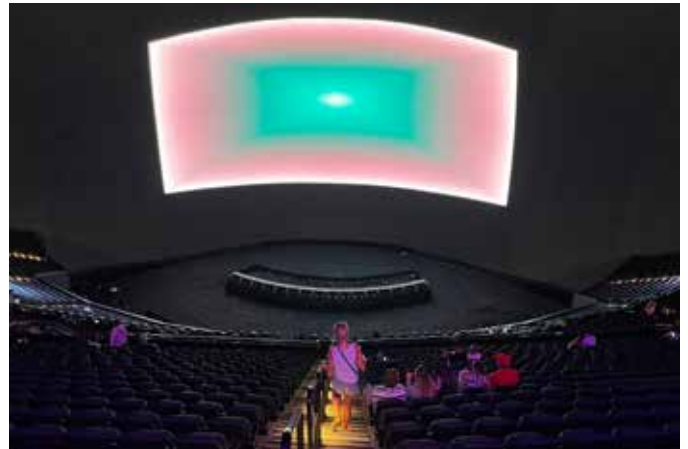
Ngày nay, cứ mỗi chiều tối thứ hai hàng tuần, Pedra do Sal



Hình 1. Las Vegas thành “thủ đô giải trí của thế giới” và các kiến trúc mô phỏng Newyork. Ảnh: BDD

lại biến thành một “thánh đường” ngoài trời. Không có sân khấu lộng lẫ, các nhạc công ngồi quanh một chiếc bàn gỗ đơn sơ với hàng ngàn người dân địa phương và du khách vây quanh. Trong cái không khí quyến rũ đặc quánh mùi rượu chanh Caipirinha và sự cuồng nhiệt, Samba hiện lên như một tôn giáo không biên giới. Chính trên dốc đá mà cha ông họ từng khuôn muối, người dân nơi đây nhảy múa. Vũ điệu sôi động, tinh thần tự do biến nơi này thành một biểu tượng của kháng chiến và niềm vui tái sinh. Khi tiếng trống Samba vang lên, mọi ranh giới đô thị đều bị xóa nhòa. Từ những bãi biển Copacabana sang trọng đến những lối đi lắt léo trong các Favela - khu ổ chuột, tất cả đều hòa vào một nhịp đập. Carnival là thời điểm người nghèo trở thành “vua chúa” trong những bộ trang phục lộng lẫ, và đường phố được trả về đúng nghĩa đen của nó, là không gian của cộng đồng - nơi quyền năng của xe hơi và bê tông phải nhường chỗ cho sự thăng hoa của con người. Theo RioOnWatch, Carnival Rio đón gần 2 triệu du khách mỗi năm. Dưới góc độ đô thị học, Carnival không chỉ là một lễ hội mà còn là cách Rio tổ chức lại không gian sống. Với mô hình “tiệc tùng carbon thấp” này, niềm vui được tạo ra từ sự kết nối người với người thay vì từ sự tiêu thụ tài nguyên thiên nhiên quá mức. Như vậy, sức hấp dẫn của các “party cities” không chỉ đến từ xa xỉ hay tiêu dùng mà còn đến từ các trải nghiệm cảm xúc phong phú. (Hình 3)

Trong khi Las Vegas xây dựng thương hiệu đô thị dựa trên hiện thực hoá những giấc mơ tảo bạo nhất của con người, thì Rio



Hình 2. Bên trong nhà hát Sphere, “điểm chạm mới” của công nghệ trải nghiệm. Ảnh: BDD

de Janeiro phát triển bằng sự chú trọng đến tích lũy cảm xúc và ký ức của cư dân. Thay vì phát triển theo những bản quy hoạch khô cứng từ trên xuống, Rio lớn lên như một cơ thể sống biết thích nghi với địa hình đồi núi dốc đứng và sự đa dạng văn hóa. Từ đó, từng góc phố hay những ngã tư đường đều trở thành những “điểm chạm” cảm xúc lưu giữ vô vàn câu chuyện đời thường. Sức quyến rũ từ những bức tranh đầy màu sắc trên mảng tường cũ, từ những con hẻm ngoằn ngoèo, và từ sự tự phát của văn hóa dân gian dần dần trở thành linh hồn của Rio. Sự hỗn loạn một cách trật tự rất đời của thành phố này khiến du khách và cư dân cảm thấy được kết nối sâu sắc với không gian xung quanh thay vì cảm giác xa lạ trong những đô thị kính và thép bóng bẩy.

BÀI HỌC VỀ SỰ CÂN BẰNG VÀ BẢN SẮC

Việt Nam đang đứng trước một khúc quanh lịch sử của quá trình đô thị hóa. Khi “nền kinh tế ban đêm” được Chính phủ phê duyệt để án phát triển, các đô thị lớn không còn chỉ là nơi để làm việc mà đang chuyển mình thành những “sân khấu” giải trí. Tuy nhiên, nhìn từ bài học xa hoa của Las Vegas và những bữa tiệc bản địa của Rio de Janeiro, bài toán đặt ra cho Việt Nam không chỉ là doanh thu, mà là sự cân bằng giữa tăng trưởng và bản sắc đô thị.

Quản trị “kinh tế trải nghiệm” và tính đa dạng

Những bài học từ triết lý tiêu dùng của Las Vegas không còn là những câu chuyện xa xôi, mà đã hiện hữu trực tiếp trong cấu trúc của các thành phố tại Việt Nam. Ta thấy trong trường hợp của Phú Quốc, với tốc độ tăng trưởng khách du lịch bình quân đạt hơn 25%/năm, đảo ngọc đang chuyển mình từ một nơi hoang sơ thành một trung tâm giải trí tầm cỡ mang hình bóng của một “Las Vegas nhiệt đới”. Những tổ hợp “thành phố không ngủ”, các công trình mô phỏng kiến trúc Địa Trung Hải hay những show diễn đa giác quan tại Nam đảo cho thấy Phú Quốc đang đi theo triết lý kinh tế trải nghiệm. Mặc dù sự đa dạng là điều cần thiết, nhưng cũng cần tránh sao chép kiến trúc quá đà khiến du khách quên mất họ đang ở Việt Nam. Thay vào đó, cần tích hợp văn hóa làng chài, ẩm thực nước mắm và các câu chuyện dân gian đảo vào các show diễn công nghệ cao tại Nam Đảo. Ngoài ra, Phú Quốc đang đối mặt với vấn đề tiêu thụ năng lượng và xử lý rác thải, nước thải khổng lồ. Nếu không có hệ thống tuần hoàn nước và năng lượng sạch, “giấc mơ giải trí”



Hình 3. Lễ hội CarnivalRio, nguồn Fernando Maia, Riotur

sẽ sớm trở thành gánh nặng cho hệ sinh thái biển đảo.

Trong trường hợp của TP.HCM, là nơi mô hình tiêu dùng hiện đại giao thoa với văn hóa đường phố bình dân, chúng ta cần một “quy hoạch đô thị đêm”. Các khu vực như Bùi Viện hay các Rooftop bar ở quận 1 cũ nên được quản trị như những “điểm chạm cảm xúc”. Đây cũng là nơi có thể thí điểm quản trị theo mô hình “hội đồng về đêm” đang được áp dụng tại các siêu đô thị lớn. Bên cạnh đó, để giảm tải cho lõi nội đô quận 1 cũ, thành phố cần hệ thống giao thông công cộng về đêm. Việc triển khai các tuyến xe buýt điện 24/7 có thể giúp giảm đến 15 - 20% tình trạng ùn tắc cục bộ và hạn chế tai nạn giao thông do nồng độ cồn. Thách thức đô thị hiện nay không chỉ là xây dựng bao nhiêu khu vui chơi, mà là làm sao để tìm thấy điểm cân bằng giữa tăng trưởng kinh tế, bảo tồn ký ức và trách nhiệm với môi trường để trở thành những đô thị tiêu dùng và tiệc tùng “thông minh” hơn. (Hình 4)

“Khoảng lặng” và Di sản

Bên cạnh đó, không gian “đô thị tiệc tùng” của Việt Nam không nên chỉ sao chép các mô hình phương Tây mà nên tích hợp yếu tố truyền thống, nghệ thuật trình diễn bản địa vào các show diễn công nghệ cao. Điều này tạo ra sự khác biệt cạnh tranh trên bản đồ du lịch thế giới. Nếu TP.HCM là nhịp đập hối hả, thì Hà Nội và Đà Nẵng lại cần nghệ thuật của sự tinh tế để tích hợp tiệc tùng vào không gian di sản.

Thủ đô là ví dụ điển hình của mô hình “Party City” gắn với văn hóa. Tạ Hiện hay phố đi bộ Hồ Gươm chính là những “Pedra do Sal” phiên bản Việt. Sức hấp dẫn ở đây không đến từ hàng ngàn bóng đèn LED mà đến từ sự kết nối cộng đồng. Thành phố đêm có thể ưu tiên không gian cho các nghệ sĩ đường phố và nghệ thuật truyền thống ngay trong lòng phố, như ở phố cổ cuối tuần đều có biểu diễn hát quan họ, ca trù, hòa tấu nhạc dân gian ở khu vực đền Bạch Mã và Ô Quan Chưởng. Đó chính là những khoảng lặng văn hoá giữa những náo nhiệt của hội nhập. Ta có thể dành ít nhất 30% không gian phố đi bộ cho nghệ thuật trình diễn địa phương để tạo ra sự khác biệt.

Ngoài ra, để tránh sự “đồng nhất hóa” những con phố náo nhiệt theo một hình ảnh chung chung, ta có thể di sản hoá các không gian hiện đại. Ví dụ Hà Nội có thể khuyến khích mô hình bia hơi truyền thống như một di sản phi vật thể ở khu Tạ Hiện. Đó chính là cách tạo ra lợi thế cạnh tranh độc đáo cho khu phố này. Nhưng trên hết, vấn đề an toàn trong những không gian



Hình 4. Khu phố Bùi Viện cần những “điểm chạm cảm xúc”. Ảnh: VGP

tiệc tùng về đêm cần được ưu tiên hàng đầu:

“Các cơ sở giải trí về đêm góp phần vào vốn xã hội và đời sống công cộng của các thành phố, tuy nhiên chúng thường tạo các rào cản, nguy cơ về giai cấp, giới tính và thiếu tính toàn diện.” - David Grazian

Chúng ta cần kết hợp hài hoà giữa sự thông minh của công nghệ, sự bền bỉ của di sản và sự nhân văn trong kết nối. Chỉ khi đó, chúng ta mới có thể tạo ra những “di sản sống” trọn vẹn, nơi mỗi cư dân và du khách đều tìm thấy nụ cười và sự an tâm tại những đô thị thân thiện của Việt Nam.

THAY LỜI KẾT

Chúng ta học hỏi người Mỹ trong tư duy liên tục thay đổi và làm mới, đó có thể là chìa khóa để giữ chân du khách trong một thế giới đầy biến động. Chúng ta cũng cần học Rio de Janeiro cách để đưa nghệ thuật cộng đồng và sức sống đường phố vào các quảng trường dọc sông Hồng, sông Hàn, sông Sài Gòn biến các không gian đô thị ven sông, ven biển, thành những sinh thể có linh hồn thay vì chỉ là tập hợp những trung tâm du lịch quanh năm không ngủ dành cho du khách. Điều này tạo ra sức quyến rũ cho đô thị mà không đòi hỏi sự tiêu tốn tài nguyên cực đoan như các dịch vụ hay công viên giải trí khép kín.

Nhìn về Việt Nam, bài học về sự cân bằng chính là sự thấu hiểu rằng một đô thị giàu có không chỉ được đo bằng GDP hay những phố phường rực rỡ, mà bằng những giá trị bản sắc giữa làn sóng tiêu dùng. Chúng ta cần sự táo bạo của Las Vegas trong việc đầu tư trải nghiệm, nhưng cũng cần sự lãng mạn và nhân văn của Rio de Janeiro để thổi hồn vào những góc phố. Tương lai của đô thị Việt Nam nằm ở khả năng kết hợp các mảnh ghép đó một cách hài hòa bền vững và đậm đà bản sắc.❖

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

1. Lefebvre, H. (1991). Sự sản xuất không gian. Blackwell.
2. Florida, R. (2002). Sự trỗi dậy của tầng lớp sáng tạo. Basic Books.
3. Gottdiener, M. (1997). Nước Mỹ: Giác mơ, tầm nhìn và không gian thương mại. Westview Press.
4. Gwiazdzinski, Luc. (2005) Màn đêm, biên giới cuối cùng của thành phố, Ed. de l'Aube
5. David Grazian (2009) Cuộc sống về đêm ở đô thị, Vốn xã hội và Đời sống công cộng của các thành phố, JSTOR
6. Garcia-Ruiz, Mercado & Nofre (2023) Diễn đàn Sociológico, Academia.edu

TS.KTS TRƯƠNG VĂN QUẢNG:

“Quy hoạch để trăm năm sau vẫn giữ hồn cốt Hà Nội”

**NGUYỄN HẠNH****THU THỦY** (thực hiện)

Hà Nội đang đứng trước một cuộc tái cấu trúc lớn với 81 quy hoạch, mở ra bước chuyển từ một đô thị tập trung sang đa cực, đa trung tâm, đồng thời đặt lại bài toán phát triển: Làm thế nào để tạo dựng một Hà Nội hiện đại, năng động mà vẫn giữ được hồn cốt của đô thị nghìn năm văn hiến? BTV Tạp chí Xây dựng có cuộc trò chuyện cùng TS.KTS Trương Văn Quảng - Phó Tổng thư ký Hội Quy hoạch phát triển đô thị Việt Nam về những chuyển động đang định hình Hà Nội hôm nay và mai sau.

ĐỊNH HÌNH ĐÔ THỊ ĐA CỰC

♦ **Thưa TS.KTS Trương Văn Quảng! Nhìn từ góc độ quy hoạch, 81 quy hoạch lần này đang mở ra một cấu trúc Hà Nội như thế nào trong tương lai?**

- Tôi nghĩ, cần nhìn nhận 81 quy hoạch lần này không chỉ ở số lượng đồ án, mà quan trọng hơn là sự chuyển đổi về tư duy và cấu trúc phát triển của Hà Nội. Nếu trước đây quy hoạch chủ yếu giải quyết bài toán mở rộng đô thị, phân khu chức năng và tổ chức giao thông thì lần này, Hà Nội đang hướng tới một cấu trúc đa cực, đa trung tâm, phát triển theo mạng lưới, gắn kết đô thị với giao thông, sinh thái và kinh tế. Có thể nói, đây là một thay đổi khá căn bản trong cách tổ chức không gian Thủ đô.

Trước hết, Hà Nội đang chuyển từ tư duy “thành phố trung tâm mở rộng hay lan tỏa từ trung tâm” sang “Thủ đô đa cực, đa trung tâm”. Các cực phát triển ở phía Bắc, phía Tây, phía Nam, phía Đông cùng hệ thống đô thị vệ tinh, đô thị sinh thái sẽ từng bước hình thành mạng lưới các trung tâm tương hỗ. Mục tiêu không chỉ là mở rộng đô thị mà phải tạo được những động lực phát triển mới,

qua đó giảm áp lực cho khu vực lõi và phân bổ lại cơ hội phát triển.

Một thay đổi đáng chú ý khác là sông Hồng đang chuyển từ yếu tố chia cắt thành một trục động lực tạo dựng cấu trúc mới của Thủ đô. Không chỉ là không gian mặt nước và cảnh quan, sông Hồng có thể trở thành trục xanh - sinh thái - văn hóa - kinh tế - đô thị, kết nối tốt hơn không gian hai bên sông và mối quan hệ giữa phía Bắc với phía Nam thành phố.

Cùng với đó, Vành đai 4 không chỉ là một tuyến giao thông mà đang tạo ra một khung phát triển mới cho toàn vùng, mở ra khả năng tái cấu trúc không gian, phân bổ lại các cực tăng trưởng, khu công nghiệp, logistics, dịch vụ và đô thị mới. Nói cách khác, giao thông không còn chỉ đi sau đô thị mà đang trở thành một trong những công cụ dẫn dắt tổ chức không gian phát triển.

Từ đây, vai trò của TOD cũng trở nên rõ hơn. Gắn phát triển đô thị với đường sắt đô thị, nhà ga và các đầu mối giao thông sẽ tạo ra những trung tâm đô thị nén, đa chức năng, đồng thời giảm phụ thuộc vào phương tiện cá



Giá trị lớn nhất của không gian ngầm không nằm ở việc chúng ta xây được bao nhiêu dưới lòng đất, mà ở những gì chúng ta có thể trả lại cho mặt đất và cho con người. Đó mới là ý nghĩa thực sự của một “Hà Nội bên dưới Hà Nội”.

TS.KTS Trương Văn Quảng

nhân. Đây là bước chuyển từ tư duy “đường đi qua đâu thì đô thị phát triển đến đó” sang “hạ tầng giao thông công cộng dẫn dắt đô thị phát triển”.

Không gian ngầm cũng được đưa vào cấu trúc đô thị tương lai. Với một Hà Nội ngày càng đông và mật độ cao, không gian phát triển không thể chỉ giới hạn trên mặt đất. Không gian ngầm có thể đảm nhiệm giao thông, bãi đỗ xe, hạ tầng kỹ thuật, thương mại, dịch vụ và một số không gian công cộng, qua đó đưa đô thị từ phát triển chủ yếu trên mặt đất sang phát triển cả theo chiều ngang và chiều sâu.

♦ Đây là những thay đổi mang tính bước ngoặt so với cách tổ chức không gian đô thị hiện nay, thưa ông?

- Với tầm nhìn rộng hơn những thay đổi như vừa nói thì tôi cho rằng, điều đáng nói nhất là Hà Nội đang chuyển từ “một thành phố lớn” sang “một hệ thống đô thị - vùng đô thị”. Vì vậy, thành công của 81 quy hoạch không nằm ở việc có thêm bao nhiêu khu đô thị hay tuyến đường mà ở khả năng kết nối các cực phát triển thành một chỉnh

thể, đồng thời cân bằng giữa tăng trưởng kinh tế với sinh thái, văn hóa, giao thông và chất lượng sống.

Nếu phải khái quát bước ngoặt lớn nhất, tôi cho rằng đó là sự chuyển từ tư duy “mở rộng thành phố” sang “tái cấu trúc toàn bộ không gian Thủ đô”. Đây chính là nền tảng có thể định hình diện mạo Hà Nội trong 20 - 30 năm tới và xa hơn.

♦ Hà Nội nhiều năm qua đã chịu áp lực rất lớn ở khu vực nội đô lịch sử. Liệu 81 quy hoạch có thực sự giúp Hà Nội chuyển từ mô hình tập trung vào khu vực trung tâm sang một đô thị đa cực, đa trung tâm?

- Đúng là 81 quy hoạch đang tạo ra tiền đề rất rõ để Hà Nội chuyển từ mô hình tập trung sang đô thị đa cực, đa trung tâm. Nhưng theo tôi, điều quan trọng hơn là phải nhìn vào bản chất của sự chuyển đổi này. Đa cực không đơn thuần là đưa dân cư ra khỏi khu vực nội đô lịch sử để hình thành thêm những khu đô thị mới, mà phải coi đây là quá trình tái phân bố các động lực phát triển của Thủ đô.



Hà Nội cần chuyển từ tư duy “quản lý từng đồ án” sang “quản trị cả hệ thống không gian phát triển. 81 đồ án không phải là 81 bản vẽ được triển khai song song, mà là những cấu phần của một chương trình phát triển thống nhất, trong đó mỗi dự án biết mình nằm ở đâu, đóng vai trò gì và tạo ra tác động như thế nào đối với toàn bộ Thủ đô”.

TS.KTS Trương Văn Quảng

Bởi áp lực lên khu vực nội đô hiện nay không chỉ đến từ mật độ dân số. Điều khiến khu vực này luôn quá tải còn là sự tập trung quá lớn của việc làm, dịch vụ chất lượng cao, giáo dục, y tế, thương mại, các hoạt động văn hóa và cơ hội phát triển kinh tế. Nếu chỉ chuyển nhà ở ra bên ngoài nhưng người dân vẫn phải hằng ngày quay trở lại trung tâm để làm việc, học tập, sử dụng dịch vụ thì về thực chất, chúng ta mới chỉ “giãn dân”, chứ chưa giải quyết được căn nguyên của sự tập trung.

Vì vậy, thước đo quan trọng của một Hà Nội đa cực không phải là có thêm bao nhiêu khu đô thị hay bao nhiêu trung tâm mới, mà là những trung tâm đó có đủ sức tạo ra một đời sống đô thị riêng hay không.

♦ Vậy làm thế nào để những trung tâm mới thực sự trở thành những cực phát triển?

- Đây là điểm tôi cho rằng cần đặc biệt lưu ý trong quá trình triển khai 81 quy hoạch. Nếu phát triển các khu vực mới chủ yếu dựa trên nhà ở và bất động sản, trong khi việc làm, dịch vụ công cộng và các chức năng kinh tế chưa theo kịp, rất dễ hình thành những “đô thị ngủ”. Ban ngày người dân lại di chuyển vào trung tâm, buổi tối trở về nơi ở. Khi đó, hình thức có thể đã đa cực nhưng dòng chảy hoạt động đô thị vẫn tập trung, và áp lực lên nội đô lịch sử vẫn còn nguyên.

Do đó, vấn đề không chỉ là quy hoạch ở đâu, xây dựng gì, mà là phân bổ nguồn lực phát triển như thế nào và theo trình tự nào. Muốn một cực đô thị thực sự hình thành, phải đồng thời tạo ra hạ tầng, việc làm, dịch vụ, không gian công cộng và những chức năng kinh tế - xã hội đủ sức giữ lại các hoạt động ngay tại đó. Khi các cực có khả năng tự tạo động lực nhưng vẫn liên kết với nhau trong một hệ thống thống nhất, Hà Nội mới thực sự thoát khỏi mô hình “một trung tâm - nhiều khu vực phụ thuộc”.

Có thể nói, 81 quy hoạch đang mở ra cơ hội để Hà Nội giải bài toán này, nhưng quy hoạch mới chỉ là điều kiện cần. Điều kiện đủ nằm ở cách chúng ta tổ chức đầu tư, phân bổ nguồn lực và triển khai trong thực tế. Đa cực

không có nghĩa là chia dân cư ra nhiều nơi, mà là chia sẻ được các động lực phát triển. Khi đó, nội đô lịch sử không còn phải gánh phần lớn các chức năng của toàn đô thị, còn các trung tâm mới không chỉ là nơi để ở mà trở thành những không gian thực sự sống được, làm việc được và phát triển được.

MỞ KHÔNG GIAN NGẦM CHO HÀ NỘI DƯỚI LÒNG HÀ NỘI

♦ Hà Nội đang đặt nhiều kỳ vọng vào mô hình TOD - phát triển đô thị gắn với giao thông công cộng. Nhưng làm thế nào để TOD không chỉ dừng ở việc xây dựng mật độ cao quanh các nhà ga, mà thực sự thay đổi cách người dân đi lại và sinh sống?

- Khi Hà Nội triển khai TOD, thước đo thành công của TOD không phải là xây được bao nhiêu tầng cao quanh nhà ga, mà là có làm thay đổi được cách người dân đi lại, tiếp cận dịch vụ và tổ chức cuộc sống hằng ngày hay không. Nếu quanh nhà ga xuất hiện những công trình cao tầng, nhưng người dân vẫn phải sử dụng ô tô, xe máy cho phần lớn các chuyến đi, thì đó mới chỉ là TOD về hình thức, chưa phải TOD thực chất.

Muốn TOD thực sự trở thành một phương thức tổ chức đô thị mới, trước hết phải nhìn nhà ga không chỉ là nơi người dân lên xuống tàu, mà là một trung tâm của đời sống đô thị. Trong phạm vi tiếp cận thuận tiện từ nhà ga cần hình thành một không gian đô thị hỗn hợp, nơi có nhà ở, việc làm, thương mại, trường học, y tế, dịch vụ và không gian công cộng. Khi người dân có thể sống, làm việc, mua sắm, học tập, vui chơi trong cùng một khu vực và dễ dàng tiếp cận đường sắt đô thị, nhu cầu phải di chuyển xa sẽ tự nhiên giảm xuống.

Nhưng để người dân thực sự sử dụng giao thông công cộng, khoảng cách từ nhà đến ga lại có ý nghĩa rất lớn. Một khu TOD tốt phải bắt đầu từ những câu hỏi rất đời thường: Từ cửa nhà đến cửa ga có đi bộ thuận tiện không? Có an toàn không? Có bóng mát, cây xanh, vỉa hè liên tục không? Có thể đi xe đạp hay kết nối thuận tiện với xe buýt không? Những yếu tố tưởng như rất nhỏ đó lại quyết định việc người dân có lựa chọn đường sắt đô thị trong cuộc sống hằng ngày hay vẫn quay về với xe máy, ô tô cá nhân.

Một vấn đề khác cũng cần nhìn nhận là TOD không thể chỉ được hiểu như một câu chuyện về mật độ xây dựng hay giá trị đất đai. Nếu cứ quanh nhà ga tăng hệ số sử dụng đất, tăng tầng cao, tăng giá bất động sản mà thiếu hạ tầng xã hội và không gian công cộng tương ứng thì rất dễ biến TOD thành những “đảo bất động sản” giá trị cao. Điều này hết sức quan trọng! Giá trị gia tăng từ việc đầu tư giao thông công cộng và thay đổi khả năng tiếp cận đất đai cần được khai thác hợp lý và một phần phải quay trở lại phục vụ hạ tầng, giao thông công cộng, không gian công cộng và các nhu cầu xã hội của chính khu vực đó. Nhìn nhận mô hình TOD thành công chỉ khi nó tạo ra giá trị cho đô thị và người dân, chứ không chỉ

tạo ra giá trị cho đất đai.

Cùng với đó, Hà Nội không nên triển khai TOD theo cách mỗi nhà ga là một dự án độc lập. Điều quan trọng hơn là hình thành một mạng lưới các trung tâm TOD, trong đó mỗi khu vực có thể đảm nhận một vai trò khác nhau. Có nơi tập trung thương mại, dịch vụ; có nơi phát triển mạnh về việc làm, giáo dục, y tế; những khu vực ngoại vi có thể gắn với logistics, công nghiệp công nghệ cao hoặc các đô thị sinh thái. Khi các nhà ga được kết nối thành một mạng lưới chức năng như vậy, đường sắt đô thị mới thực sự trở thành bộ khung để tổ chức lại các hoạt động của toàn đô thị.

Tôi cũng lưu ý và cần tránh một cách hiểu khá phổ biến rằng TOD đồng nghĩa với mật độ cao bằng mọi giá. Mật độ chỉ có ý nghĩa khi đi cùng với năng lực hạ tầng, không gian xanh, trường học, dịch vụ công cộng và khả năng tiếp cận giao thông. Có những khu vực cần mật độ đủ cao để tạo nguồn khách cho vận tải công cộng, nhưng cũng có những nơi cần kiểm soát mật độ để bảo vệ cảnh quan, sinh thái và bản sắc đô thị. TOD tốt không phải là nơi xây dựng dày nhất, mà là nơi sử dụng đất hiệu quả nhất gắn với năng lực của hệ thống giao thông và chất lượng sống.

Vì thế, với Hà Nội, tôi cho rằng cần chuyển từ tư duy “TOD quanh nhà ga” sang “đô thị lấy giao thông công cộng làm cấu trúc tổ chức”. Khi đó, đường sắt đô thị không chỉ làm nhiệm vụ đưa người dân từ điểm này đến điểm khác, mà còn tác động đến việc họ lựa chọn nơi ở, nơi làm việc, cách tiếp cận dịch vụ và cách các trung tâm đô thị được hình thành.

♦ Một điểm đáng chú ý khác là việc đưa không gian ngầm vào hệ thống quy hoạch. Theo ông, “Hà Nội bên dưới Hà Nội” trong tương lai nên đảm nhiệm những chức năng gì?

- Tôi cho rằng ý tưởng “Hà Nội bên dưới Hà Nội” rất đáng chú ý, bởi khi không gian mặt đất ngày càng hữu hạn, phát triển theo chiều sâu sẽ trở thành một hướng đi quan trọng của đô thị tương lai. Nhưng cần hiểu đúng rằng không gian ngầm không phải là một “mặt đất thứ hai” để chúng ta tiếp tục xây dựng và gia tăng mật độ, mà trước hết phải là một hệ thống hạ tầng hỗ trợ, giải phóng và nâng cao chất lượng không gian trên mặt đất.

Trước hết, không gian ngầm sẽ đóng vai trò rất lớn đối với giao thông và kết nối. Đường sắt đô thị, các tuyến đi bộ ngầm, không gian trung chuyển giữa metro với xe buýt và các phương thức giao thông khác, hay hệ thống bãi đỗ xe ở những khu vực phù hợp đều có thể được tổ chức dưới lòng đất. Đặc biệt, tại các khu vực TOD, không gian ngầm có thể tạo ra những kết nối trực tiếp và thuận tiện giữa nhà ga với các chức năng đô thị xung quanh, qua đó giảm xung đột giao thông và áp lực lên mặt đất.

Có thể hình dung rất rõ điều này qua tuyến đường sắt đô thị Cát Linh - Hà Đông. Bản thân một nhà ga chỉ

thực sự phát huy giá trị TOD khi từ đó, người dân có thể tiếp cận thuận tiện các khu nhà ở, trường học, dịch vụ, thương mại và các phương thức giao thông khác. Nếu bước ra khỏi ga vẫn phải băng qua những tuyến đường khó đi bộ, thiếu kết nối xe buýt hoặc thiếu không gian công cộng, thì lợi thế của nhà ga chưa được chuyển hóa thành một lợi thế đô thị. Vì vậy, TOD phải được nhìn từ toàn bộ hành trình của người dân, chứ không chỉ từ công trình nhà ga.

Cùng với giao thông là một hệ thống khác ít được nhìn thấy nhưng lại quyết định khả năng vận hành của thành phố, đó là hạ tầng kỹ thuật đô thị, cấp, thoát nước, điện, viễn thông, các tuyến kỹ thuật và những công trình phục vụ quản lý đô thị cần được tính toán đồng bộ trong không gian ngầm. Khi những chức năng này được tổ chức hợp lý dưới lòng đất, chúng ta có thể trả lại nhiều hơn không gian mặt đất cho cây xanh, quảng trường, người đi bộ và các hoạt động cộng đồng.

Ở những khu vực có lưu lượng lớn, đặc biệt là quanh các nhà ga trung tâm, không gian ngầm cũng có thể bổ sung một số chức năng thương mại, dịch vụ, tiện ích công cộng, văn hóa hoặc triển lãm. Nhưng ở đây cần có sự chọn lọc. Không phải cứ có khoảng trống dưới lòng đất là phải khai thác thương mại. Không gian ngầm trước hết phải phục vụ những nhu cầu thiết yếu của đô thị; thương mại chỉ nên được đưa vào ở những nơi có đủ điều kiện và thực sự tạo thêm giá trị cho không gian đô thị.

Một tư duy khác cũng cần được đưa vào ngay từ bây giờ, đó là coi không gian ngầm như một nguồn dự trữ cho tương lai. Quy hoạch hôm nay không thể biết chính xác vài chục năm nữa, công nghệ giao thông, hạ tầng kỹ thuật hay nhu cầu sử dụng đô thị sẽ thay đổi như thế nào. Vì vậy, bên cạnh những chức năng đã xác định, cần dành một mức độ linh hoạt nhất định để Hà Nội có thể thích ứng với những nhu cầu mà hiện nay chúng ta chưa hình dung đầy đủ.

♦ Quả là phức tạp và thú vị. Vậy đâu là giới hạn mà thành phố cần lưu ý?

- Đúng thế, nói về tiềm năng của không gian ngầm bao nhiêu thì càng phải nói rõ về giới hạn bấy nhiêu. Hà Nội có điều kiện địa chất, thủy văn khá đặc thù, với hệ thống sông, hồ, mực nước ngầm và cấu trúc địa chất phức tạp. Vì vậy, không thể đơn giản lấy kinh nghiệm của những đô thị khác để áp dụng nguyên trạng. Mỗi công trình ngầm phải được đặt trong một tổng thể địa chất - thủy văn, an toàn công trình và tác động tích lũy đối với toàn khu vực.

Quan trọng hơn, không gian ngầm không được trở thành một cách để tiếp tục chất thêm chức năng vào những khu vực vốn đã quá tải. Nếu mặt đất đã chịu áp lực lớn về dân số, giao thông và hạ tầng mà chúng ta lại đưa thêm hàng loạt chức năng xuống dưới lòng đất chỉ để tăng khả năng khai thác, thì thực chất vấn đề chưa được



Hà Nội hoàn toàn có thể trở thành một đô thị hiện đại, thông minh, xanh và có sức cạnh tranh quốc tế... Nhưng, Hà Nội tương lai vẫn phải là Hà Nội - một thành phố của sông Hồng, hồ Tây, những hồ nước, hàng cây, phố cũ, làng xóm lâu đời ven sông, di sản, không gian văn hóa và trên hết là con người”.

TS.KTS Trương Văn Quảng

giải quyết mà chỉ chuyển từ trên xuống dưới.

Chi phí cũng là một giới hạn không thể bỏ qua. Xây dựng dưới lòng đất phức tạp và tốn kém hơn rất nhiều so với trên mặt đất, trong khi việc vận hành, bảo trì và bảo đảm an toàn cũng đặt ra những yêu cầu riêng. Vì vậy, Hà Nội cần có thứ tự ưu tiên rất rõ: chức năng nào bắt buộc phải đưa xuống ngầm, chức năng nào có thể tổ chức trên mặt đất, khu vực nào cần ưu tiên cho hạ tầng kỹ thuật và khu vực nào đủ điều kiện để khai thác các chức năng công cộng, dịch vụ. Không nên biến ngầm hóa thành một mục tiêu tự thân.

Và tôi cho rằng đây là nguyên tắc quan trọng nhất khi nói về “Hà Nội bên dưới Hà Nội”: ngầm hóa để giải phóng mặt đất, chứ không phải ngầm hóa để xây dựng nhiều hơn. Nếu làm đúng, người dân có thể không nhìn thấy phần lớn những gì đang diễn ra dưới lòng đất, nhưng họ sẽ cảm nhận được kết quả trên mặt đất, đó là những con phố thuận tiện hơn cho người đi bộ, nhiều cây xanh và không gian công cộng hơn, giao thông ít xung đột hơn và hệ thống hạ tầng vận hành ổn định hơn.

Nói cách khác, giá trị lớn nhất của không gian ngầm không nằm ở việc chúng ta xây được bao nhiêu dưới lòng đất, mà ở những gì chúng ta có thể trả lại cho mặt đất và cho con người. Đó mới là ý nghĩa thực sự của một “Hà Nội bên dưới Hà Nội”.

CẤU TRÚC KHÔNG GIAN HÔM NAY - ĐỊNH HÌNH ĐÔ THỊ TRĂM NĂM SAU

♦ Với quy mô 81 đồ án, đâu là thách thức lớn nhất khi chuyển từ quy hoạch trên bản vẽ sang thực tế: nguồn vốn, tiến độ hạ tầng, giải phóng mặt bằng, năng lực quản lý hay sự phối hợp giữa các cấp, ngành?

- Theo tôi, nếu phải chọn một thách thức lớn nhất thì không hẳn là thiếu vốn, cũng không riêng giải phóng mặt bằng, mà là khả năng tổ chức thực hiện một khối lượng quy hoạch rất lớn theo một chương trình thống nhất, có thứ tự ưu tiên và tiến độ hợp lý.

Bởi 81 đồ án có thể được xem như 81 mảnh ghép, nhưng Hà Nội không thể phát triển theo 81 cách riêng

biệt. Mỗi đồ án có thể đúng khi đứng độc lập, nhưng nếu hạ tầng không đồng bộ, tiến độ không ăn khớp, các khu vực không kết nối được với nhau thì tổng thể vẫn có thể không đạt được cấu trúc mà quy hoạch hướng tới.

Với quy mô như vậy, không thể và cũng không nên triển khai tất cả cùng một lúc với mức độ ưu tiên như nhau. Hà Nội phải xác định được đâu là hạ tầng khung cần đi trước, đâu là dự án có khả năng tạo động lực, đâu là những dự án có thể huy động nguồn lực xã hội. Có những công trình nếu được đầu tư đúng thời điểm sẽ mở đường cho cả một khu vực phát triển; ngược lại, nếu đầu tư dàn trải thì nguồn lực rất dễ bị chia nhỏ mà hiệu quả lan tỏa không cao.

Đây cũng là lý do tôi nghĩ hạ tầng phải đi trước hoặc ít nhất đi cùng với sự phát triển đô thị. Nếu nhà ở và các dự án đô thị hình thành nhanh hơn đường sá, trường học, bệnh viện và giao thông công cộng, người dân sẽ phải tự thích nghi bằng phương tiện cá nhân, và cuối cùng hạ tầng lại phải chạy theo để giải quyết những áp lực đã hình thành.

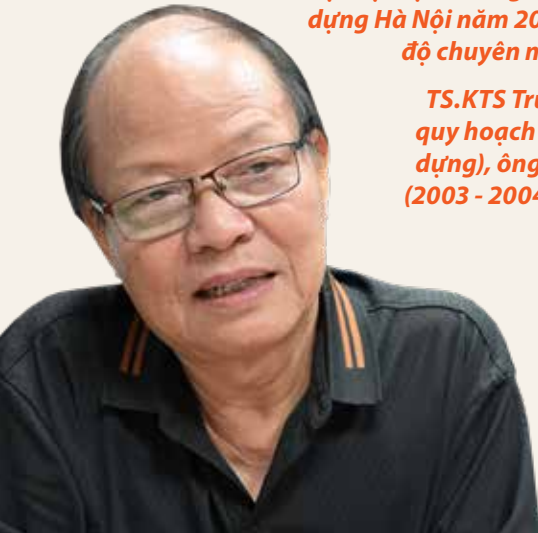
♦ Vậy ai sẽ là người kết nối và điều phối những mảnh ghép đó, thưa ông?

- Đây là một trong những vấn đề Hà Nội cần đặc biệt lưu ý. 81 đồ án liên quan đến rất nhiều lĩnh vực, từ đất đai, giao thông, xây dựng, môi trường, nhà ở đến tài chính, văn hóa..., đồng thời liên quan đến nhiều cấp quản lý khác nhau. Nếu mỗi ngành chỉ hoàn thành phần việc của mình nhưng thiếu một cơ chế nhìn toàn cục, hoàn toàn có thể xảy ra tình trạng từng dự án đều đúng nhưng đặt cạnh nhau lại không tạo thành một hệ thống tốt.

Quy hoạch càng lớn thì càng không thể quản lý bằng tư duy của từng dự án riêng lẻ. Cần có một cơ chế điều phối đủ mạnh để xác định mối quan hệ giữa các dự án: dự án nào phải đi trước, dự án nào phụ thuộc vào dự án nào, hạ tầng nào phải hoàn thành trước khi một khu vực phát triển đến một quy mô nhất định, và nguồn lực nào cần tập trung vào những mắt xích có khả năng tạo hiệu ứng lan tỏa.

Nhưng điều phối không chỉ là phối hợp giữa các cơ quan trong quá trình triển khai. Với một quy hoạch dài hạn, còn cần có khả năng theo dõi, đánh giá và điều chỉnh. Dân số có thể thay đổi, công nghệ thay đổi, thị trường thay đổi, yêu cầu về môi trường và thích ứng với biến đổi khí hậu cũng thay đổi. Vì vậy, quy hoạch không thể là một bản đồ bất biến; phải có hệ thống dữ liệu để thường xuyên kiểm tra thực tế đang đi đến đâu, chỉ tiêu nào đạt, chỉ tiêu nào chưa đạt và ở đâu cần điều chỉnh.

Từ góc độ đó, tôi cho rằng Hà Nội cần chuyển từ tư duy “quản lý từng đồ án” sang “quản trị cả hệ thống không gian phát triển”. Khi đó, 81 đồ án không phải là 81 bản vẽ được triển khai song song, mà là những cấu phần của một chương trình phát triển thống nhất, trong đó mỗi dự án biết mình nằm ở đâu, đóng vai trò gì và tạo ra tác động như thế nào đối với toàn bộ Thủ đô.



TS.KTS Trương Văn Quảng sinh năm 1955 tại Bắc Ninh. Ông tốt nghiệp Kiến trúc sư năm 1979 tại Đại học Quốc gia Tirana (Albania); bảo vệ luận án Tiến sĩ Kiến trúc tại Trường Đại học Xây dựng Hà Nội năm 2023. Ông đã tham gia các chương trình đào tạo, bồi dưỡng nâng cao trình độ chuyên môn tại Singapore (1994), Nhật Bản (2005, 2015) và Vương quốc Bỉ (2007).

TS.KTS Trương Văn Quảng là chuyên gia giàu kinh nghiệm, có uy tín trong lĩnh vực quy hoạch vùng và đô thị. Tại Viện Quy hoạch Đô thị và Nông thôn quốc gia (Bộ Xây dựng), ông lần lượt giữ các vị trí: Giám đốc Trung tâm Nghiên cứu Môi trường đô thị (2003 - 2004), Trưởng phòng Quản lý Khoa học và Kỹ thuật (2004 - 2008) và Phó Viện trưởng (2009 - 2015).

Từ năm 2016, sau khi nghỉ hưu, ông tiếp tục tham gia hoạt động chuyên môn tại Hội Quy hoạch Phát triển Đô thị Việt Nam (VUPDA), giữ cương vị Ủy viên Thường vụ Ban Chấp hành, kiêm Phó Tổng thư ký.

Trong quá trình công tác tại Viện và Hội, ông đã được giao chủ trì, chủ nhiệm nhiều đồ án quy hoạch quan trọng, tiêu biểu như: Quy hoạch chi tiết Khu trung tâm chính trị Ba Đình; Quy hoạch khu vực hồ Gươm và phụ cận; Quy hoạch chung TP Đà Nẵng, TP Đà Lạt, TP Buôn Ma Thuột; Quy hoạch chung Thủ đô Hà Nội; Quy hoạch xây dựng vùng Thủ đô Hà Nội; Điều chỉnh định hướng quy hoạch tổng thể hệ thống đô thị Việt Nam đến năm 2025 và tầm nhìn đến năm 2050.

Ông tham gia phản biện, hội đồng xét duyệt các đồ án quy hoạch, đề tài nghiên cứu khoa học; đồng thời tham gia xây dựng dự thảo Nghị quyết số 06-NQ/TW của Bộ Chính trị. Ông cũng tham gia đào tạo sau đại học tại các trường đại học chuyên ngành kiến trúc, xây dựng...

Cuối cùng, bản lĩnh của một quy hoạch lớn không nằm ở chỗ nó vẽ được một Hà Nội rất đẹp trên bản đồ, mà ở khả năng biến hình hài ấy thành những thay đổi có thể nhìn thấy và cảm nhận được trong đời sống.

◆ Nếu nhìn xa hơn năm 2045, thậm chí tới tầm nhìn 100 năm, điều gì trong những quyết định quy hoạch hôm nay sẽ quyết định Hà Nội trở thành thành phố như thế nào trong tương lai?

- Nhìn xa hơn năm 2045, thậm chí tới tầm nhìn 100 năm, tôi cho rằng điều quyết định Hà Nội trở thành thành phố như thế nào chính là những lựa chọn về cấu trúc không gian được đưa ra hôm nay.

Một khi cấu trúc đô thị đã hình thành thì rất khó thay đổi. Vì vậy, những quyết định về đất đai, giao thông, không gian xanh, các khu đô thị mới và các cực phát triển hôm nay thực chất chính là những “di sản quy hoạch” mà chúng ta để lại cho các thế hệ sau. Hà Nội cần lựa chọn một mô hình phát triển đa cực, đa trung tâm, dựa trên mạng lưới giao thông công cộng, các hành lang xanh, hệ thống sông hồ và những trung tâm kinh tế - văn hóa mới, thay vì tiếp tục mở rộng dần trải.

Nhưng quy hoạch cho 100 năm không có nghĩa là hôm nay phải dự đoán chính xác Hà Nội sẽ như thế nào sau một thế kỷ. Điều quan trọng hơn là phải để lại đủ không gian và khả năng thích ứng cho tương lai. Chúng ta cần giữ được quỹ đất cho cây xanh, mặt nước, hạ tầng xã hội, giao thông công cộng và các vùng sinh thái - nông nghiệp. Công nghệ, dân

số hay mô hình kinh tế có thể thay đổi, nhưng những không gian đã bị bê tông hóa hoặc bị đánh mất thì rất khó lấy lại.

◆ Đây là điều ông mong muốn Hà Nội tuyệt đối không đánh mất?

- Nếu hỏi điều gì tôi mong Hà Nội tuyệt đối không đánh mất, thì đó là bản sắc và hồn cốt của một đô thị nghìn năm văn hiến.

Hà Nội hoàn toàn có thể trở thành một đô thị hiện đại, thông minh, xanh và có sức cạnh tranh quốc tế. Có thể có những trung tâm mới, những công trình cao tầng và những hệ thống hạ tầng rất hiện đại. Nhưng Hà Nội tương lai vẫn phải là Hà Nội - một thành phố của sông Hồng, hồ Tây, những hồ nước, hàng cây, phố cũ, làng xóm lâu đời ven sông, di sản, không gian văn hóa và trên hết là con người.

Tôi nghĩ, sau cùng, thước đo của quy hoạch không phải là thành phố xây được bao nhiêu, mà là sau 50 hay 100 năm nữa, người Hà Nội có còn nhận ra và tự hào khi nói: “Đây là Hà Nội” hay không.

Nếu câu trả lời vẫn là có, thì Hà Nội có thể thay đổi rất nhiều về hình thức mà vẫn giữ được linh hồn. Và đó mới là một thành phố phát triển thực sự bền vững. Thành phố có thể thay đổi hình thức qua thời gian, nhưng đừng để phát triển làm mất đi linh hồn của Hà Nội. ♦

◆ Trân trọng cảm ơn ông về cuộc trò chuyện!

Minh bạch hơn với căn hộ chung cư cũ



NGUYỄN HOÀNG LINH

Lần đầu tiên trong lịch sử lập pháp, “tuổi thọ” của căn hộ chung cư được mở xẻ cận kề tại Quốc hội nhằm bảo đảm quyền tài sản của chủ sở hữu, đồng thời gắn trách nhiệm và nghĩa vụ của các đối tượng liên quan.

NGHỊCH LÝ CẢI TẠO CHUNG CƯ CŨ

Nếu ai theo dõi những nỗ lực cải tạo chung cư cũ ở các đô thị lớn như Hà Nội, TP.HCM trong khoảng hai chục năm gần đây sẽ thấy những ách tắc, thậm chí có thể gọi là bế tắc, trong quá trình thực thi chính sách.

Chẳng hạn tại Hà Nội, con số thống kê cho thấy hiện nay, thành phố có khoảng 2.160 chung cư, nhà tập thể cũ, phần lớn được xây dựng từ những năm 1960 - 1980. Qua nhiều thập kỷ sử dụng, không ít công trình đã xuống cấp nghiêm trọng, thậm chí rơi vào tình trạng nguy hiểm, cần phá dỡ để bảo đảm an toàn cho người dân. Tuy nhiên, dù chủ trương cải tạo, xây dựng lại các khu chung cư cũ đã có cách đây khoảng 20 năm nhưng hiện mới có 19 dự án được đưa vào sử dụng và 14 dự án đang triển khai, chiếm chưa đến 2%.

Tại TP.HCM có 474 chung cư được xây dựng trước năm 1975. Đến nay có 16 chung cư được xếp loại D, mức nguy hiểm cao, cần di dời khẩn cấp để đảm bảo an toàn cho người dân nhưng cũng chỉ hoàn thành việc di dời tại 9/16 chung cư cấp D với 534 hộ dân trong tổng số 1.194 hộ thuộc diện phải bố trí chỗ ở mới.

Một nghịch lý trong an sinh xã hội xảy ra, khi một phương tiện giao thông không bảo đảm các yêu cầu kỹ thuật, có thể gây nguy hiểm đến tính mạng của người dân sẽ không được phép hoạt động, cùng với đó là những quy định của pháp luật nhằm điều chỉnh hành vi ấy trong xã hội. Nhưng với những tòa nhà chung cư sau kiểm định, các thông số kỹ thuật cảnh báo ở mức nguy hiểm đến tính mạng người dân

như nêu trên lại không có những chế tài hiệu quả để ngăn chặn. Mà ai cũng hiểu nếu để xảy ra sự cố, mức thiệt hại sẽ khủng khiếp đến mức không thể lường trước.

Nghịch lý nữa, với một chung cư cũ xuống cấp, tất cả các bên liên quan, từ cơ quan quản lý Nhà nước, doanh nghiệp, cư dân... đều có mong muốn chúng được cải tạo để người dân an cư nhưng không hiểu vì sao, với nhiều nguyên nhân tựa như “trên trời rơi xuống” đã khiến những chủ trương, những mong muốn tốt đẹp ấy bị đông cứng lại.

Nhân đây, xin nêu ví dụ về một dự án cải tạo chung cư cũ tại TP.HCM, địa phương năng động hàng đầu của cả nước, bị đình trệ gần 20 năm khiến doanh nghiệp và người dân khốn đốn. Đó là dự án cải tạo chung cư cũ 350 Hoàng Văn Thụ. Năm 2010 khi được giao làm chủ đầu tư dự án, Công ty CP Đức Khải Tân Bình đã tiến hành bồi thường để di dời 137 hộ dân, bố trí tạm cư cho 20 hộ dân. Công ty cũng đã hoàn tất các thủ tục, từ thủ tục chủ trương đầu tư đến chi trả chi phí tiền tạm cư cho người dân... nhưng đến nay, doanh nghiệp vẫn chưa được thành phố giao đất để thực hiện do vướng... quy hoạch.

Với ngân ấy thời gian chờ đợi, dù ai có lòng dạ có sắt đá đến mấy cũng phải mòn!

LUẬT QUY ĐỊNH THỜI HẠN SỬ DỤNG CHUNG CƯ

Thực tiễn cho thấy, những dây dưa kéo dài trong việc thực hiện chủ trương cải tạo chung cư cũ có nhiều nguyên nhân, nhưng nếu liên tưởng đến lĩnh vực quản lý nhà nước



XI MĂNG CẨM PHẢ
CÔNG NGHỆ NHẬT BẢN

HÂN HẠNH TÀI TRỢ CHUYÊN MỤC

về phương tiện giao thông khi hết niên hạn sử dụng thì có thể nhận xét rằng, một trong những nguyên nhân là trong hệ thống luật pháp hiện nay chưa có sự minh bạch giữa quyền sở hữu lâu dài của người dân về căn hộ chung cư và “tuổi thọ” hữu hạn của căn hộ chung cư ấy.

Để tạo nền tảng cho sự minh bạch này, Nghị quyết số 21-NQ/TW ngày 28/7/2026 của Ban Chấp hành Trung ương Đảng khóa XIV đã nêu định hướng giao đất có thời hạn lâu dài đối với đất xây dựng nhà ở thương mại để bán, ưu tiên chủ yếu là nhà chung cư; đối với chung cư xây dựng mới, sẽ quy định thời hạn sử dụng căn hộ chung cư theo niên hạn xây dựng công trình, gắn với bảo đảm quyền tài sản, chủ sở hữu căn hộ chung cư được quyền thực hiện nghĩa vụ tài chính để xây dựng mới chung cư theo quy định khi hết thời hạn.

Tại phiên họp Quốc hội ngày 19/8/2026, trong bản dự thảo Luật Nhà ở sửa đổi, lần đầu tiên đưa vào quy định “chung cư có thời hạn” theo thời hạn sử dụng công trình xây dựng và cũng là lần đầu tiên trong lịch sử lập pháp, “tuổi thọ” của căn hộ chung cư được nhiều đại biểu thảo luận, mổ xẻ cặn kẽ nhằm bảo đảm quyền tài sản của chủ sở hữu, đồng thời gắn trách nhiệm và nghĩa vụ của các đối tượng liên quan.

Với tinh thần của Nghị quyết số 21-NQ/TW, dự thảo Luật Nhà ở sửa đổi lần này đã xác định minh bạch hơn về quyền thực hiện nghĩa vụ tài chính của chủ sở hữu căn hộ để xây dựng mới chung cư khi hết thời hạn. Đó là khi nhà chung cư hết thời hạn sử dụng theo hồ sơ thiết kế hoặc chưa hết thời hạn sử dụng theo hồ sơ thiết kế nhưng bị hư hỏng, có nguy cơ sập đổ, không bảo đảm an toàn cho chủ sở hữu, người sử dụng nhà chung cư thì UBND cấp tỉnh phải chỉ đạo thực hiện việc kiểm định, đánh giá chất lượng công trình nhà chung cư theo quy định của pháp luật xây dựng.

Thời hạn sử dụng nhà chung cư được xác định theo hồ sơ thiết kế và thời gian sử dụng thực tế nhà chung cư căn cứ kết luận kiểm định theo quy định của pháp luật xây dựng. Thời hạn sử dụng nhà chung cư theo hồ sơ thiết kế phải được ghi rõ trong văn bản thẩm định của cơ quan có thẩm quyền theo quy định của pháp luật về xây dựng. Dự thảo cũng giao cho Chính phủ quy định chi tiết trách nhiệm thực hiện kiểm định, đánh giá chất lượng nhà chung cư.

Như vậy, khi nội dung trên được Quốc hội ban hành trong Luật Nhà ở mới, quyền sở hữu chung cư và tuổi thọ công trình được xác định minh bạch và công bằng, hy vọng một trong những điểm nghẽn trì trệ trong thực thi chính sách cải tạo chung cư cũ về cơ bản sẽ được giải tỏa.

VẪN CÒN NHIỀU GIAN NAN PHÍA TRƯỚC

Trở lại câu chuyện “dở khóc dở cười” của dự án cải tạo chung cư cũ 350 Hoàng Văn Thụ tại TP.HCM. Một câu hỏi đặt ra, tại sao một dự án được chính quyền khởi xướng, doanh nghiệp đồng tình, người dân ủng hộ mà lại ạch đến tận gần 20 năm?

Thông tin trên báo Tuổi Trẻ cho biết, dự án gặp khó khăn liên quan vấn đề quy hoạch. Năm 2009, khi quận mời gọi đầu tư, chung cư có quy mô 18 tầng nhưng theo quy hoạch 1/2000 của quận chỉ là 14 tầng. Vì sự chênh lệch này, Sở KH&ĐT đã



Khi quyền sở hữu chung cư và tuổi thọ công trình được xác định minh bạch và công bằng, hy vọng một trong những điểm nghẽn trì trệ trong thực thi chính sách cải tạo chung cư cũ về cơ bản sẽ được giải tỏa”.

để nghị chủ đầu tư liên hệ với quận lập hồ sơ điều chỉnh quy hoạch. Trên cơ sở giải quyết xong vấn đề quy hoạch mới giải quyết việc gia hạn thời gian thực hiện dự án.

Một giám đốc doanh nghiệp chia sẻ: “Doanh nghiệp chúng tôi bị rất nhiều áp lực. Áp lực từ phía người dân vì chậm thực hiện dự án, áp lực tài chính vì vốn liếng bị chôn vùi trong dự án. Chúng tôi tha thiết mong thành phố tập trung chỉ đạo rất ráo tháo gỡ vướng mắc về pháp lý. Nếu tháo gỡ sớm thủ tục thì tiến độ cải tạo, xây dựng mới lại chung cư cũ sẽ rất nhanh”. Rất may gần đây, UBND thành phố đã quyết liệt chỉ đạo, ra thời hạn cụ thể giải quyết thủ tục cho dự án này.

Còn một vấn đề nan giải nữa thường xảy ra trong thực tiễn khiến nhiều dự án bị đình trệ, đó là thỏa thuận hệ số bồi thường diện tích thực ở (hệ số K) giữa chủ đầu tư và người dân. Đây là nội dung tác động trực tiếp đến quyền lợi của người dân và nhà đầu tư, đồng thời cũng là vấn đề dễ phát sinh tranh chấp nhất trong quá trình cải tạo chung cư.

Hệ số K vốn là một định lượng do thỏa thuận tạo nên, phụ thuộc vào hoàn cảnh cụ thể của từng dự án, chính sách hỗ trợ và sự năng động, sáng tạo của từng cấp chính quyền địa phương. Chẳng hạn mới đây, ngày 15/6/2006, HĐND TP Hà Nội đã thông qua Nghị quyết liên quan đến vấn đề này, trong đó quy định hệ số K do chủ đầu tư và chủ sở hữu nhà tự thỏa thuận nhưng không vượt quá 2 lần diện tích sử dụng căn hộ hợp pháp. Trường hợp hai bên không tự thỏa thuận được thì hệ số K được xác định bằng 1 lần đối với các căn hộ từ tầng 2 trở lên; bằng 1,2 lần đối với các căn hộ tầng 1, cùng với đó là các quy định cụ thể được ngân sách hỗ trợ tiền thuê nhà trong thời gian dự án. Chủ đầu tư thực hiện dự án với lợi nhuận định mức tối đa là 15%. Trường hợp chủ đầu tư không thực hiện dự án theo quy định trên, Nhà nước thực hiện thu hồi quyết định giao chủ đầu tư.

Để kết thúc bài viết này, xin lưu ý rằng trong Luật Xây dựng và Luật Nhà ở hiện hành đã quy định “tuổi thọ” của công trình từ nhiều năm nay nhưng trong thực thi đã bị buông lỏng. Vì thế, sự kiện lần đầu tiên đưa quy định “chung cư có thời hạn” vào dự thảo Luật Nhà ở sửa đổi lần này sẽ góp phần làm minh bạch giữa quyền sở hữu và thời hạn sử dụng để thị trường căn hộ chung cư nói chung và việc cải tạo chung cư cũ nói riêng ngày càng phát triển suôn sẻ và lành mạnh hơn.❖

Công ty CP Logistics Phước Tạo - đơn vị hàng đầu trong vận tải thủy phía Nam



VĂN QUYẾT

Là một trong những đơn vị tiên phong và uy tín hàng đầu trong lĩnh vực vận tải đường thủy khu vực TP.HCM và ĐBSCL, Công ty CP Logistics Phước Tạo đã mang đến nhiều giải pháp giúp tối ưu chi phí vận chuyển cho khách hàng, nâng cao sức cạnh tranh cho doanh nghiệp và kinh tế khu vực.

TỐI ƯU CHI PHÍ VẬN CHUYỂN

Thành lập từ năm 2015, Công ty CP Logistics Phước Tạo (Công ty Phước Tạo) là một trong những đơn vị tiên phong và uy tín hàng đầu trong lĩnh vực vận tải đường thủy bằng sà lan tự hành hoạt động chủ yếu tại TP.HCM và các tỉnh Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) với các tuyến vận chuyển trọng điểm như: TP.HCM - ĐBSCL - Cái Mép - Vũng Tàu - Bình Dương - Đồng Nai và tuyến Campuchia - Việt Nam mang đến nhiều giải pháp kết nối dịch vụ logistics linh hoạt và tối ưu chi phí cho khách hàng.

Công ty Phước Tạo đã khẳng định vị thế vững chắc, chất lượng dịch vụ đáng tin cậy trên mọi hành trình vận tải đường sông, đường biển với hàng loạt các ưu điểm cho khách hàng như: Tiết kiệm chi phí; Năng lực vận chuyển đa dạng; Đội ngũ chuyên môn cao; Rút ngắn thời gian thông quan và vận chuyển hàng hóa; Giảm rủi ro phát sinh; Đảm bảo tuân thủ quy trình pháp lý...

Hiện nay, Công ty Phước Tạo đang sở hữu đội sà lan tự hành gồm 50 chiếc, sức chở từ 24 - 250 TEUS phục vụ đa dạng nhu cầu vận chuyển hàng container, sắt thép, thiết bị công nghiệp... giữa các bến, cảng TP.HCM, Đồng Nai, Tây Ninh và các tỉnh ĐBSCL.

Để đáp ứng nhu cầu phục vụ khách hàng và góp phần thúc đẩy vận tải đường thủy ngày càng phát triển. Mới đây, Công ty Phước Tạo đã hạ thủy đưa vào hoạt động phương tiện sà lan Phước Tạo 10 chuyên vận chuyển container có sức chở lên đến 250 TEUS, được thiết kế phù hợp với điều kiện luồng lạch sông ngòi thủy nội địa và tuyến vận tải quốc tế ngắn sang Campuchia. Đây là tuyến vận tải có nhu cầu lớn, ổn định, đòi hỏi phương tiện có sức tải cao, khả năng vận hành liên tục và đảm bảo tiến độ giao nhận hàng hóa.

NÂNG CAO NĂNG LỰC VẬN CHUYỂN

Với mục tiêu hoàn thiện chuỗi dịch vụ logistics đường thủy kết hợp đường bộ, những năm gần đây Công ty Phước Tạo không ngừng đầu tư và mở rộng phương tiện đường bộ với hơn 10 xe đầu kéo, 14 sơ mi rơ moóc chuyên dụng, đáp ứng yêu cầu vận chuyển hàng container từ cảng đến kho. Bên cạnh việc cung cấp phương tiện cho các cảng, Công ty Phước Tạo còn là đơn vị vận



Người thuyền trưởng hơn 10 năm rong ruổi trên khắp các tuyến sông, rạch - ông Võ Thanh Phú chèo lái đưa Công ty Phước Tạo ngày càng phát triển.

chuyển container độc lập, phục vụ trực tiếp khách hàng với quy trình điều phối chuyên nghiệp, tối ưu thời gian giao nhận và đảm bảo tiến độ góp phần đáp ứng hiệu quả nhu cầu giao nhận hàng hóa ngày càng gia tăng tại khu vực miền Tây Nam Bộ.

Dịch vụ vận chuyển của Công ty Phước Tạo được xây dựng trên ba yếu tố cốt lõi gồm: Hệ thống phương tiện đa dạng đáp ứng nhu cầu vận chuyển; Đội ngũ tài xế chuyên nghiệp, giàu kinh nghiệm; Bộ phận điều phối và chuyên viên logistics theo sát lịch trình, xử lý kịp thời các tình huống phát sinh trong quá trình vận chuyển.

TÂM VÀ TÂM CỦA “NGƯỜI THUYỀN TRƯỞNG” TÀI BA

Xuất phát từ người thuyền trưởng hơn 10 năm rong ruổi trên khắp các tuyến sông, rạch khu vực TP.HCM và các tỉnh ĐBSCL nên ông Võ Thanh Phú – Giám đốc Công ty Phước Tạo luôn tâm huyết tận dụng tiềm năng sông ngòi, kênh rạch khu vực ĐBSCL để xây dựng nên chuỗi hoạt động vận tải logistics bằng đường thủy. Năm 2015, nền kinh tế Việt Nam có nhiều cơ hội và thách thức bằng bản lĩnh, đam mê và sự nhạy bén với thị trường ông Võ



Công ty Phước Tạo sở hữu đội sà lan tự hành gồm 50 chiếc, sức chở từ 24 - 250 TEUS phục vụ đa dạng nhu cầu vận chuyển hàng hoá.



Công ty Phước Tạo không ngừng đầu tư và mở rộng phương tiện đường bộ, đáp ứng linh hoạt yêu cầu vận chuyển hàng container từ cảng đến kho, bãi.

Thanh Phú đã chuyển đổi mô hình thành lập Công ty CP Phước Tạo với mong muốn huy động được nguồn lực, xây dựng một doanh nghiệp vận tải thuỷ gắn kết tạo nên sức mạnh tập thể.

Ngoài ra, Công ty Phước Tạo cũng tích cực phối hợp tham gia với các cơ quan chức năng và địa phương tổ chức nhiều chương trình an sinh, xã hội hỗ trợ người dân trong mùa dịch covid-19, tặng quà, giúp đỡ những người có hoàn cảnh khó khăn.

Với niềm đam mê, nhiệt huyết và sáng tạo, đổi mới trong điều hành doanh nghiệp. Trải qua hơn một thập kỷ xây dựng thương hiệu bền vững, người thuyền trưởng tài ba Võ Thanh Phú đã chèo lái đưa con thuyền Phước Tạo ngày càng phát triển và tăng trưởng liên tục khoảng 15% mỗi năm, đời sống, thu nhập của người lao động được đảm bảo ở mức cao.

Theo ông Võ Thanh Phú, khu vực ĐBSCL có tiềm năng lớn về phát triển đường thuỷ nhưng hiện nay hệ thống sông nhỏ chưa được đầu tư nạo vét đồng bộ, luồng lạch các cầu còn hạn chế về tĩnh không khiến doanh nghiệp vận tải chỉ đưa những phương tiện sà lan dưới 1.000 tấn vào vận chuyển điều này làm hạn chế sức cạnh tranh do không cắt giảm chi phí.

Trong thời gian tới các doanh nghiệp hoạt động vận tải thuỷ mong muốn Chính phủ, Bộ Xây dựng và các địa phương tiếp tục rà soát đầu tư đồng bộ, nâng tĩnh không cầu, khơi thông dòng chảy để doanh nghiệp đưa phương tiện trọng tải lớn đến tận kho, bãi sản xuất để tiêu thụ nông sản cho người dân và nâng cao chất lượng, giảm giá thành cạnh tranh cho doanh nghiệp, ông Phú kiến nghị.

THỰC HIỆN ĐÚNG QUY ĐỊNH PHÁP LUẬT

Về góc độ quản lý nhà nước, Cảng vụ Hàng hải TP.HCM cho biết, Công ty Phước Tạo là doanh nghiệp hoạt động tích cực trong lĩnh vực logistics vận tải hàng hóa bằng đường thủy trên các tuyến kết nối cảng biển TP.HCM với các khu vực Đông Nam Bộ, ĐBSCL và Campuchia. Với quy mô phương tiện tương đối lớn và phạm vi hoạt động rộng, doanh nghiệp đã góp phần vào việc kết nối vận tải giữa cảng biển với hệ thống cảng, bến thủy nội địa, qua đó góp phần chia sẻ áp lực vận tải đường bộ và nâng cao hiệu quả chuỗi logistics trong khu vực.

Từ đầu năm 2026 đến nay, Cảng vụ Hàng hải TP.HCM đã cấp phép 788 lượt phương tiện thủy nội địa cho Công ty Phước Tạo ra vào khu vực cảng, bến an toàn. Trong quá trình hoạt động, nhìn chung Công ty Phước Tạo có ý thức tuân thủ các quy định trong lĩnh vực hàng hải, đường thủy nội địa. Đồng thời có tinh thần hợp tác, trao đổi thông tin và phối hợp với cơ quan chức năng trong quá trình quản lý hoạt động của phương tiện.

Theo Cảng vụ Hàng hải TP.HCM, những năm gần đây Công ty Phước Tạo đã có những bước đổi mới rõ rệt trong việc đầu tư phương tiện và mở rộng các tuyến vận tải từ khu vực cảng biển TP.HCM - Cái Mép đến ĐBSCL và Campuchia, cho thấy doanh nghiệp đã chủ động tìm kiếm thị trường tận dụng lợi thế hệ thống đường thủy nhằm tối ưu chi phí vận tải. Tuy nhiên, cùng với việc mở rộng quy mô phương tiện và phạm vi hoạt động, doanh nghiệp cũng cần tiếp tục quan tâm đến chất lượng phương tiện, nguồn nhân lực, công tác quản lý, ứng dụng công nghệ trong điều hành và chấp hành đầy đủ các quy định của pháp luật về hàng hải, đường thủy nội địa. Như vậy thì việc mở rộng đầu tư mới bảo đảm được tính hiệu quả và phát triển bền vững. ❖

Cấu trúc nước đô thị Cần Thơ trong định hướng quy hoạch đô thị thích ứng biến đổi khí hậu

Can Tho urban water structure in the context of urban planning for climate change adaptation

> GS.TS.KTS DOÃN MINH KHÔI¹, KTS CAO THÀNH NGHIỆP^{2,*}

¹Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

²Trường Đại học Kiến trúc TP Hồ Chí Minh

*Email: ktscaothanhnghep@gmail.com

TÓM TẮT

Cần Thơ là đô thị châu thổ nằm ở trung tâm vùng Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) trù phú, được kiến tạo từ hàng trăm nhánh rạch xẻo nhỏ đổ về bờ sông cái hướng ra biển. Lịch sử hình thành và phát triển của Cần Thơ, qua từng giai đoạn phát triển đều gắn liền với cấu trúc nước và khẳng định vai trò quan trọng của hệ thống sông nước Cần Thơ trong phát triển kinh tế - xã hội và định hình bản sắc. Tuy nhiên trong quá trình Quy hoạch phát triển đô thị Cần Thơ đã tồn tại những giai đoạn chưa nhận thức đúng vai trò của cấu trúc nước Cần Thơ trong Quy hoạch tổng thể, đặc biệt trong ứng phó với biến đổi khí hậu (BĐKH). Bài báo sử dụng phương pháp phân tích hình thái học dưới góc độ lịch sử - địa lý, và lý thuyết thành phố bọt biển nhằm nhận diện cấu trúc nền tảng thủy văn từ thuở khẩn hoang đến nay và đề xuất định hướng phát triển không gian thuận thiên, vị nhân sinh và ứng phó với BĐKH trong định hướng quy hoạch chung TP Cần Thơ.

Từ khóa: Cấu trúc nước Cần Thơ; biến đổi khí hậu; nhận diện; định hướng phát triển.

ABSTRACT

Can Tho is a delta city situated in the heart of the fertile Mekong Delta, shaped by hundreds of small canals and tributaries flowing into the main river toward the sea. Throughout its history, the city's evolution has been inextricably linked to its water-based structure, underscoring the vital role of its river system in socio-economic development and identity formation. However, past urban planning phases have at times failed to fully recognize the significance of this water structure within the master plan, particularly regarding climate change adaptation. This paper employs a historical-geographical morphological analysis and the "Sponge City" theory to examine the city's hydrological foundation from its early settlement to the present. It proposes spatial development strategies for Can Tho that are nature-positive, human-centric, and resilient to climate change.

Keywords: Can Tho water structure; climate change; identification; development orientation.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cần Thơ là đô thị trung tâm vùng ĐBSCL, được hình thành trên hạ lưu sông Mê Kông trong quan hệ trực tiếp với dòng Bassac, mạng rạch xẻo, các dải bờ cao, giống, cồn và vùng trũng. Trong Gia Định thành thông chí, Trịnh Hoài Đức gọi Bassac là một trong hai nhánh sông lớn ở hạ lưu sông Mekong; dòng nước ấy cùng chế độ nước lớn-ròng tạo nên điều kiện mở đất, lập vườn, tụ cư và trao đổi hàng hóa [1]. Nhà nghiên cứu Nam Bộ - Nhà văn Sơn Nam, khi mô tả lịch sử khẩn hoang Nam Bộ, nhấn mạnh cảnh quan "trăm nhánh rạch xẻo nhỏ đổ về bờ sông cái hướng ra mặt tiền, nơi đô thị bắt đầu từ con sông và nương theo tiếng sóng" [2]. Cách ghi nhận này cho thấy cấu trúc nước không phải phòng nền tự nhiên, mà là nền tảng tạo lập nơi chốn của đô thị châu thổ Cần Thơ.

Các điểm định cư ban đầu thường bám theo bờ sông, rạch, giống và cồn. Theo đó, nhà ở, vườn, bến và chợ hình thành theo thủy lộ trước khi được chồng thêm lớp quản trị hành chính và mạng đường bộ. Ở giai đoạn phát triển kế tiếp, lớp nền ấy được phân hóa thành ba miền địa mạo liên kết. Đó là hành lang sông Hậu với các bờ cao và rạch ven sông;

vùng trũng - kênh đào Hậu Giang và không gian giống cát, cửa sông-biển của Sóc Trăng.

Từ cuối thế kỷ XX, việc xây dựng và mở rộng các hành lang đường bộ với nền đắp cao đã làm thu hẹp các rạch nhánh, gia tăng diện tích bề mặt không thấm và làm suy giảm tính liên thông của dòng chảy cũng như không gian trữ nước. Tình trạng ngập, sụt lún và xói lở không chỉ bắt nguồn từ các vấn đề kỹ thuật hạ tầng mà sâu xa hơn còn là biểu hiện của sự đứt gãy với nền địa mạo - thủy văn. Các nghiên cứu về Cần Thơ đã chỉ ra những thách thức trong thích ứng của đô thị châu thổ [10, 22], trong đó có tác động cộng hưởng của quá trình đô thị hóa và biến đổi khí hậu [9].

Nghị quyết số 202/2025/QH15 của Quốc hội về việc sắp xếp đơn vị hành chính đã xác lập TP Cần Thơ mới trên cơ sở hợp nhất thành phố Cần Thơ, tỉnh Hậu Giang và tỉnh Sóc Trăng [6]. Nhiệm vụ Quy hoạch chung TP Cần Thơ đến năm 2050, tầm nhìn đến năm 2075 tiếp tục xác định bản sắc "đô thị sông - nước gắn với các hạ tầng tự nhiên" [7]. Trong bối cảnh đó, bài báo tập trung nhận diện nền tảng cấu trúc nước, quá trình biến đổi hình thái và các đứt gãy chủ yếu của đô thị Cần Thơ, từ đó

để xuất các định hướng tổ chức không gian thích ứng với biến đổi khí hậu. Phương pháp nghiên cứu là phân tích hình thái học đô thị dưới góc độ lịch sử - không gian, kết hợp đối chiếu các tư liệu lịch sử, bản đồ và các nghiên cứu khoa học liên quan.



Hình 1: Vị trí TP. Cần Thơ trong mối liên hệ vùng ĐBSCL. Nguồn: [8]

2. CƠ SỞ LÝ LUẬN VÀ KHUNG PHÂN TÍCH CẤU TRÚC NƯỚC ĐÔ THỊ CẦN THƠ

2.1. Hình thái học đô thị và vai trò của cấu trúc nước đô thị châu thổ

Hình thái học đô thị xem đô thị là kết quả của sự tích lũy và biến đổi các lớp không gian theo thời gian. Trong nghiên cứu kinh điển về phân tích bình đồ đô thị, M.R.G. Conzen nhận diện hình thái qua quan hệ giữa mạng đường, thửa đất và cấu trúc xây dựng [12]. Theo đó, việc đọc và hiểu cấu trúc các lớp tự nhiên, cư trú, kinh tế - xã hội và hạ tầng là cơ sở để nhận diện tính liên tục của cấu trúc đô thị và định hướng phát triển phù hợp [11].

Đối với đô thị châu thổ, nước không chỉ đơn thuần thuộc hệ thống cấp, thoát nước. Hệ thống nước Cần Thơ bao gồm các sông, rạch, kênh, với chế độ thủy triều thất thường, gắn liền với bờ cao, giống, cồn và vùng trũng. Tất cả tạo thành nền địa mạo - thủy văn đặc trưng chi phối vị trí định cư, vườn tược, chợ - bến, giao thông, sản xuất và phân bố các cực phát triển. Vì vậy, có thể nhận diện vai trò quan trọng của cấu trúc nước Cần Thơ thông qua 5 mối quan hệ thiết yếu: (i) sông chính, rạch nhánh, kênh và vùng trữ nước; (ii) bờ cao, giống, cồn; (iii) định cư - vườn - bến - chợ; (iv) giao thông thủy, đường bộ và công trình kiểm soát nước; (v) hệ thống trung tâm, hành lang phát triển và logistics sông - biển.



Hình 2: Cấu trúc đô thị Cần Thơ sau sáp nhập đơn vị hành chính. Nguồn: [8]

2.2. Lý thuyết quy hoạch châu thổ, đô thị nước và thành phố bọt biển

Meyer và Nijhuis, trong nghiên cứu "Delta urbanism: planning and design in urbanized deltas" (2013), đặt quy hoạch châu thổ trong tương tác động giữa quá trình tự nhiên, khai thác đất đai và tổ chức không gian đô thị [13]. Theo cách tiếp cận này, nước, phù sa, triều, lũ và sự thay đổi đường bờ không phải các điều kiện bên ngoài cần khắc phục sau quy hoạch, mà là dữ liệu gốc của quy hoạch và thiết kế.

Trong Water Urbanisms East (2013), De Meulder và Shannon tiếp cận nước như tác nhân kiến tạo hình thái. Theo đó mạng nước tham gia trực tiếp vào tổ chức đất đai, giao thông, không gian công cộng và đời sống đô thị [14]. Khái niệm này đặc biệt phù hợp với Cần Thơ, nơi quan hệ sông - rạch - bến - chợ từng là cấu trúc vận hành của đô thị, trước khi đường bộ trở thành hạ tầng chi phối.

Khái niệm "thành phố bọt biển" được Yu, Li, Yuan và cộng sự trình bày trong "Sponge City: Theory and Practice" (2015) như cách quản lý nước mưa dựa vào hấp thụ, thấm, trữ, làm sạch, điều tiết và tái sử dụng [15]. Hướng dẫn của Quốc vụ viện Trung Quốc năm 2015 cụ thể hóa nguyên tắc này bằng việc ưu tiên duy trì đặc điểm tự nhiên của sông, hồ, vùng trũng và mạng thoát nước tại chỗ [16]. Ba tiếp cận trên cùng xác lập quan điểm là: Hạ tầng, sử dụng đất và các trung tâm phát triển phải tôn trọng năng lực điều tiết của từng lưu vực, thay vì làm gián đoạn dòng chảy rồi xử lý hệ quả bằng công trình kỹ thuật đơn tuyến.



Hình 3: Mô hình đô thị bọt biển Sponge City. Nguồn: [23]

2.3. Kinh nghiệm thực tiễn và bài học vận dụng cho nhận diện cấu trúc nước đô thị Cần Thơ

Các nghiên cứu về cấu trúc Nước Hà Nội cho thấy sông, hồ và làng - chợ là lớp cấu trúc gốc, có trước và tiếp tục chi phối "đô" là lớp cấu trúc thứ hai. Chính vì vậy, việc nghiên cứu nhận diện, bảo tồn và tái lập liên kết sông - hồ - không gian công cộng Hà Nội trong phát triển hiện đại [17] là rất quan trọng.

Trường hợp TP.HCM cho thấy, việc nghiên cứu sự biến đổi của cấu trúc sông Đồng Nai - Sài Gòn - Vàm Cỏ và kênh rạch dưới tác động thuộc địa hóa, công nghiệp hóa và đô thị hóa vùng là bài học cốt lõi của việc không tách rời hành lang nước, vùng ngập và mạng giao thông thủy [18] trong phát triển.

Ở Rotterdam, quảng trường nước Benthemplein và các không gian trữ nước đa chức năng cho thấy, nước mưa có thể được tiếp nhận trong không gian công cộng thay vì chỉ đưa vào cống ngầm [19]. Tại Thượng Hải, các chương trình thành phố bọt biển gắn giải pháp thấm - trữ - lọc - điều tiết với kiểm soát sử dụng đất theo lưu vực và theo loại hình khu vực [20]. Những kinh nghiệm này không phải mô hình để sao chép, mà cung cấp cách vận dụng thích ứng cho Cần Thơ nhằm bảo toàn tính liên tục của cấu trúc nước, chuyển không gian trữ nước thành hạ tầng công cộng đa chức năng và tổ chức trung tâm, giao thông, logistics trên nền mạng xanh - lam.

Các lý thuyết và kinh nghiệm thực tiễn trên cho thấy, đô thị châu thổ chỉ có thể phát triển bền vững khi cấu trúc nước được xem là nền tảng tổ chức không gian, thay vì là đối tượng xử lý kỹ thuật sau đô thị hóa. Đối với Cần Thơ, việc nhận diện hình thái cần đặt trong mối quan hệ giữa sông Hậu và mạng rạch nhánh, địa mạo giống - cồn - vùng trũng, cấu trúc cư trú - vườn - bến - chợ, cùng sự chuyển đổi của hạ tầng giao thông và các trung tâm phát triển. Các thành phần này không tồn tại riêng lẻ mà chồng lớp, tác động qua lại trong tiến trình lịch sử.

3. QUÁ TRÌNH HÌNH THÀNH, BIẾN ĐỔI VÀ ĐỊNH HƯỚNG QUY HOẠCH CẤU TRÚC NƯỚC ĐÔ THỊ CẦN THƠ

3.1. Giai đoạn sơ khởi hình thành nền tảng đô thị sông nước (1739 - 1876)

Tư liệu về địa danh ghi nhận Trấn Giang- tiền thân của Cần Thơ, đã hình thành từ năm 1739 gắn với vị trí thủy lộ trên dòng Bassac [5] và các hoạt động khai phá của cư dân ở hạ lưu sông Mê Kông. Đây là con sông chính có mặt tiền giao thương với các rạch nhánh dẫn nước cho phép người và hàng ra vào nội đồng tập nập. Các dải bờ cao, giống và cồn là các điểm tựa thuận lợi cho không gian cư trú, trong khi các vùng trũng chỉ đảm nhận chức năng điều tiết nước và sản xuất.

Không theo một sơ đồ đường phố áp đặt, các không gian nhà - vườn - bến - chợ phát triển theo mạng thủy lộ. Có thể nhận thấy sự khác biệt của hình thái các con sông tại Cần Thơ. Nếu hành lang sông Hậu có các dải bờ cao ven sông thì Hậu Giang gắn với vùng trũng và hệ kênh nội đồng, trong khi Sóc Trăng lại bao gồm các giống cát, cồn và không gian cửa sông - biển. Sự khác biệt ấy là cơ sở của phân công chức năng tự nhiên giữa các cực, không phải trở ngại cần phải san bằng cưỡng bức.

3.2. Giai đoạn định hình cấu trúc nước thời thuộc địa (1876 - 1954)

Ngày 23/2/1876, chính quyền Pháp lập hạt Cần Thơ. Tới đầu thế kỷ XX, hạt trở thành tỉnh [5]. Quan điểm của người Pháp khi lập khu trung tâm hành chính - thương mại ven sông là chuyển tiếp từ cấu trúc nước chỉ phối sang cấu trúc nước kết hợp, nhằm nhấn mạnh vai trò trung tâm Cần Thơ trong vùng.

Theo Nghiên cứu chuyên khảo về TP Cần Thơ (Monographie de la province de Cần-Thơ, 1904) thì giao thông nước được phân thành *sông rạch, kênh đào và đường bộ* - đồng thời ghi nhận dòng Bassac tại khu vực Cần Thơ có bề rộng dài gần 5 km [4]. Tư liệu này cho thấy trung tâm thuộc địa với bến - chợ - kho vẫn luôn gắn liền với sông, kênh đào và tuyến đường bộ.



Hình 4. Bản đồ Cần Thơ 1890 của Bertaux. Nguồn: gallica.bnf.fr

3.3. Giai đoạn biến đổi của cấu trúc nước trong đô thị và những hệ lụy (1954 - 2025)

Giai đoạn 1954 - 1975 duy trì vai trò giao thương vùng của Cần Thơ, trong đó giao thông thủy còn quan trọng đối với trao đổi nội

đồng. Từ sau năm 1975, nhất là khi Cần Thơ trở thành thành phố trực thuộc Trung ương năm 2004, hạ tầng đường bộ, công nghiệp và đất xây dựng mở rộng nhanh. Đô thị phát triển mạnh theo các trục đường và các khu nền đắp, trong khi nhiều rạch nhánh bị thu hẹp, bị ngăn cắt hoặc tách khỏi quan hệ thủy văn ban đầu.

Sự biến đổi này tạo động lực kinh tế nhưng cũng gây đứt gãy hình thái: đường đắp cao cản trở hướng thoát nước, bề mặt không thấm gia tăng, còn vùng trũng và ao hồ bị thu hẹp. Trong điều kiện nền đất yếu, triều và tác động khí hậu, việc mất liên thông giữa sông chính, rạch nhánh và tiểu lưu vực làm giảm năng lực tự điều tiết của đô thị. Vì vậy, ngập, sụt lún và xói lở cần được nhận thức như hệ quả của một mô hình phát triển chưa tương thích đầy đủ với nền châu thổ [9, 22].

3.4. Giai đoạn tái cấu trúc không gian đô thị Cần Thơ mới (từ năm 2025 đến nay)

Sau sắp xếp đơn vị hành chính cấp tỉnh năm 2025, Cần Thơ mới trở thành khu vực đô thị liên kết sông Hậu, vùng trũng nội đồng - giống cát và cửa sông - biển [6]. Quy hoạch phát triển gắn liền với cấu trúc nước Cần Thơ. Hành lang sông Hậu quy tụ các cực Ninh Kiều, Bình Thủy, Cái Răng, Ô Môn và Thốt Nốt. Hậu Giang bao gồm Vị Thanh - Ngã Bảy - Phụng Hiệp gắn với kênh đào và sản xuất. Sóc Trăng, Kế Sách và Trần Đề kết nối vùng giống cát, cửa sông, biển và logistics. Đây không phải sự cộng gộp ba đơn vị hành chính, mà là ba thành phần hình thái bổ sung trong một hệ thống châu thổ.

Quy hoạch chung cần tổ chức các cực này theo quan hệ sông - đồng bằng - biển, phù hợp định hướng "đô thị sông - nước gắn với các hạ tầng tự nhiên" đã được xác lập trong nhiệm vụ quy hoạch [7]. Điều đó đòi hỏi chuyển từ tư duy mở rộng đơn cực theo nền đường sang tổ chức đa cực, trong đó hạ tầng xanh - lam là khung liên kết và kiểm soát phát triển.

3.5. Định hướng quy hoạch đô thị châu thổ Cần Thơ thích ứng biến đổi khí hậu trên cơ sở cấu trúc nước

3.5.1. Nguyên tắc chung

Kết quả nghiên cứu trên cho thấy, tầm nhìn chiến lược cho Định hướng quy hoạch đô thị châu thổ Cần Thơ thích ứng biến đổi khí hậu là cần tái lập mối quan hệ cộng sinh giữa cấu trúc nước, hệ thống trung tâm và động lực phát triển vùng. Việc xác định trung tâm hành chính mới, nếu được đặt ra, không nên bắt đầu từ một vị trí đơn lẻ. Điều quan trọng trước hết phải đặt nó trong một cấu trúc bảo đảm an toàn nước - đất. Cấu trúc này cho phép tiếp cận vùng, phát huy năng lực lan tỏa mà không làm suy giảm không gian xanh - lam.

3.5.2. Các nguyên tắc cụ thể

- Thiết lập lộ giới xanh xương cá để phục hồi tính liên tục của cấu trúc nước

Lộ giới xanh xương cá được hiểu là mạng không gian mở liên tục với nền tảng sông Hậu và các sông chính là trục xương sống, các rạch nhánh, kênh, hành lang cây xanh và đường đi chậm là các nhánh ngang kết nối nước, cây xanh và không gian công cộng vào khu dân cư. Lộ giới không chỉ là khoảng lùi ven sông, nó còn là không gian nơi các rạch bị nghẽn cần được mở thông. Nguyên tắc này vừa bảo vệ hành lang thoát nước, vừa khôi phục quan hệ bến - vườn - khu ở vốn có của đô thị châu thổ.



Hình 5. Cấu trúc xanh - nước đô thị Cần Thơ

- Kiến tạo hệ thống trữ nước phân tán theo tiểu lưu vực

Thay vì dựa chủ yếu vào cống, kè và trạm bơm, mỗi tiểu lưu vực cần xác định nơi tiếp nhận nước mưa, nơi trữ tạm, hướng thoát và khả năng thấm. Hệ thống trữ nước bao gồm: Hồ điều tiết, ao hồ, vùng trũng, công viên ngập nước và sân bãi đa năng. Chúng cần được tổ chức thành chuỗi dự trữ - điều tiết phân tán. Trong điều kiện bình thường, đó là không gian công cộng, sinh thái và cảnh quan. Khi mưa lớn hoặc triều cao, chúng chuyển hóa thành nơi tiếp nhận nước và giảm áp lực lên hệ thống thoát nước. Giải pháp này vận dụng nguyên lý thành phố bọt biển nhưng phải phù hợp địa mạo và chế độ triều của từng tiểu vùng.

- Hệ thống trung tâm đa cực và logistics xanh sông - biển: được hình thành bao gồm:

+ Ninh Kiều với vai trò tiếp tục là trung tâm lịch sử, văn hóa, thương mại và dịch vụ công cộng cấp vùng.

+ Cái Răng, Ô Môn - Thốt Nốt tăng cường chức năng công nghiệp, dịch vụ và giao thương ven sông;

+ Vị Thanh - Ngã Bảy - Phụng Hiệp gắn với nông nghiệp, chế biến và mạng kênh nội đồng;

+ Sóc Trăng - Kế Sách - Trần Đề gắn với cửa sông, biển và logistics.

Các trung tâm đa cực trên phải đi kèm giao thông đa phương thức, bảo vệ hành lang nước và hạn chế nền đắp chia cắt lưu vực.

- Đối với trung tâm hành chính mới, việc lựa chọn địa điểm cần được kiểm chứng trong các bước quy hoạch tiếp theo gồm:

+ An toàn địa mạo - thủy văn, không nằm trong vùng trữ nước, xói lở hoặc ngập sâu;

+ Tiếp cận vùng bằng đường bộ và đường thủy;

+ Khả năng thừa hưởng hạ tầng công cộng;

+ Năng lực tạo lan tỏa mà không hút áp lực vào một lõi đơn cực;

+ Bảo toàn cấu trúc xanh - lam, hạn chế san lấp và nền đắp lớn;

+ Tính khả thi đầu tư, thực hiện và đồng thuận xã hội.

Các quan niệm truyền thống về đất cao, hướng nước và không gian thoáng chỉ có giá trị khi được chuyển hóa thành các chỉ tiêu địa mạo, thủy văn, tiếp cận và không gian công cộng có thể kiểm chứng. Hành lang logistics xanh sông Hậu - Trần Đề cần được xem là một cấu phần của hệ thống này: tăng vận tải thủy, liên kết sản xuất - chế biến - cửa biển và giảm sự phụ thuộc tuyệt đối vào đường bộ nền đắp. Như vậy, định hướng phát triển không bắt đầu từ một công trình hành chính đơn lẻ mà từ việc phục hồi cấu trúc nước như nền tảng tổ chức đô thị.

4. KẾT LUẬN

Thông qua nghiên cứu cấu trúc nước Cần Thơ qua từng giai đoạn phát triển, có thể nhận thấy: (1) Từ giai đoạn mới hình thành, hệ thống kênh đào, giếng - cồn và vùng trũng đã là khung cấu trúc nền tảng của Cần Thơ; (2) Công cuộc đô thị hóa với việc san lấp, thu hẹp thủy hệ để phát triển giao thông đường bộ là nguyên nhân làm giảm liên thông dòng chảy và không gian trữ nước; (3) Cần Thơ mới cần được tổ chức như hệ thống đa cực xanh - lam, không phải một lõi Ninh Kiều mở rộng, trong đó mỗi cực cần phát triển theo lợi thế địa mạo, thủy văn và khả năng kết nối vùng.

Trong định hướng phát triển Cần Thơ, cần gắn cấu trúc quy hoạch dựa trên cấu trúc nước đa dạng của Cần Thơ theo hướng giảm phụ thuộc vào giao thông đường bộ, mở rộng hệ thống giao thông thủy. Quy hoạch Cần Thơ theo hướng đa cực, đa trung tâm, tạo kết nối giao thông thủy với các thành phần cấu thành không gian đô thị.

Việc xác định trung tâm hành chính mới cần tuân thủ các tiêu chí địa mạo - thủy văn, tiếp cận vùng, hạ tầng công cộng, năng lực lan tỏa và bảo toàn cấu trúc xanh - lam. Đây là căn cứ hình thái - thủy

văn để quy hoạch chung Cần Thơ phát triển thuận thiên, thích ứng biến đổi khí hậu và giữ được bản sắc đô thị châu thổ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Trịnh Hoài Đức. Gia Định thành thông chí. NXB. Giáo dục, Hà Nội, 1998.
- [2] Sơn Nam. Lịch sử khẩn hoang miền Nam. NXB. Đồng Phổ, Sài Gòn, 1973.
- [3] Vương Hồng Sển. Hậu Giang - Ba Thắc, Sài Gòn, 1967.
- [4] Anonyme. Géographie physique, économique et historique de la Cochinchine: Xe fascicule - Monographie de la province de Cần-Thơ. Saigon: Imprimerie L. Ménard, 1904.
- [5] Đào Ngọc Cảnh. Bàn về nguồn gốc và ý nghĩa của địa danh "Cần Thơ". Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ, vol, 57, no. 3C, pp. 229-235. 2021, <https://doi.org/10.22144/ctu.jvn.2021.105>
- [6] Quốc hội. Nghị quyết số 202/2025/QH15 về sắp xếp đơn vị hành chính cấp tỉnh năm 2025, 2025.
- [7] Thủ tướng Chính phủ. Quyết định số 909/QĐ-TTg ngày 21/5/2026 phê duyệt Nhiệm vụ Quy hoạch chung thành phố Cần Thơ đến năm 2050, tầm nhìn đến năm 2075, 2026.
- [8] VIUP. Báo cáo ý tưởng Quy hoạch chung TP Cần Thơ đến năm 2050, tầm nhìn đến năm 2075. Tài liệu báo cáo, 2026.
- [9] Huang, H.T.L., & Pathirana, A. Urbanization and climate change impacts on future urban flooding in Can Tho City, Vietnam. Hydrology and Earth System Sciences, vol. 17, pp. 379-394. 2013, <https://doi.org/10.5194/hess-17-379-2013>.
- [10] Shannon, K., De Meulder, B., & D'Auria, V. From above/from below: The case of Can Tho, Vietnam. New Geographies, vol. 4, pp. 73-84. 2011.
- [11] Đoàn Minh Khôi. Hình thái học đô thị. NXB. Xây dựng, Hà Nội, 2016.
- [12] Conzen, M.R.G. Alnwick. Northumberland: A Study in Town-Plan Analysis, London: Institute of British Geographers, 1960.
- [13] Meyer, H., & Nijhuis, S. Delta urbanism: Planning and design in urbanized deltas - Comparing the Dutch Delta with the Mississippi River Delta. Journal of Urbanism, vol. 6 no. 2, pp. 160-191. 2013, <https://doi.org/10.1080/17549175.2013.820209>.
- [14] De Meulder, B. & Shannon, K. Water urbanisms East: Emerging practices and age-old traditions, in B. De Meulder & K. Shannon (Eds.), Water Urbanisms East, pp. 4-17, Zürich: Park Books, 2013.
- [15] Yu, K., Li, D., Yuan, H., Fu, W., Qiao, Q., & Wang, S. "Sponge City": Theory and practice. City Planning Review, vol. 39, no. 6, pp. 26-36. 2015.
- [16] General Office of the State Council of the People's Republic of China Guiding Opinions on Promoting the Construction of Sponge Cities. 2015.
- [17] Đoàn Minh Khôi, & Cao Thành Nghiệp. Nhận diện cấu trúc nền tảng cho định hướng phát triển không gian đô thị Hà Nội. Tạp chí Xây dựng, số 05, pp. 54-59. 2026.
- [18] Đoàn Minh Khôi, Trương Thái Hoài An, & Cao Thành Nghiệp. Biến đổi khung cấu trúc đô thị TP.HCM dưới góc nhìn hình thái học đô thị. Kỳ yếu hội thảo trường Đại học Kiến trúc TP.HCM "Định hình cấu trúc siêu đô thị TP.HCM trong bối cảnh mới", 2026.
- [19] Ilgen, S., Sengers, F., & Wardekker, A. The case of water squares in Rotterdam and Mexico City. Water, vol. 11, no. 5, p. 983, 2019, <https://doi.org/10.3390/w11050983>.
- [20] Feng, S., & Yamamoto, T. Preliminary research on sponge city concept for urban flood reduction: A case study on ten sponge city pilot projects in Shanghai, China. Disaster Prevention and Management, vol. 29, no. 6, pp. 961-985, 2020, <https://doi.org/10.1108/DPM-01-2020-0019>.
- [21] Thủ tướng Chính phủ. Quyết định số 287/QĐ-TTg ngày 28/2/2022 phê duyệt Quy hoạch vùng đồng bằng sông Cửu Long thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050. 2022.
- [22] World Bank. Can Tho, Vietnam: Enhancing Urban Resilience. Washington, DC: World Bank, 2015.
- [23] Phạm Ngọc Tuấn & Cao Thành Nghiệp. Định hình cấu trúc không gian đô thị Nhà Bè trong bối cảnh mới. Kỳ yếu hội thảo "Quy hoạch và định hướng phát triển Nhà Bè trong giai đoạn mới", 2025.

Một số giải pháp quy hoạch trong bối cảnh mới nhằm phát huy vai trò phát triển công nghiệp tại khu vực Bắc TP Hồ Chí Minh

Planning solutions for enhancing industrial development in Northern Ho Chi Minh City in the new context

> THS.KTS NGUYỄN NGỌC VĂN

Ban Quản lý dự án Đầu tư xây dựng các công trình DD&CN TP.HCM

Email: vannn1974@gmail.com

TÓM TẮT

Trong bối cảnh sau khi sáp nhập, TP.HCM đang tổ chức rà soát lại quy hoạch theo mô hình phát triển đa cực, đa trung tâm, theo đó trọng tâm phát triển kinh tế được xác định tại khu vực công nghiệp phía Bắc TP.HCM. Mục tiêu sắp tới là tháo gỡ những điểm nghẽn, tăng cường kết nối giữa khu vực trung tâm với khu vực phía Bắc nhằm phát huy hơn nữa vai trò tiên phong trong phát triển công nghiệp. Nghiên cứu này khảo sát sự hình thành và phát triển các khu công nghiệp (KCN) tại khu vực phía Bắc TP.HCM qua các thời kỳ. Bằng cách sử dụng khung phân tích đa ngành, kết hợp giữa phân tích chuyển hóa đô thị và mô hình đổi mới Triple Helix (Ba xoắn ốc), bài viết đánh giá các cộng hưởng không gian và chức năng hiện tại giữa lõi dịch vụ - tài chính của TP.HCM và cực đổi mới sáng tạo tại khu vực phía Bắc TP.HCM. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng quá trình hình thành và phát triển đòi hỏi sự thay đổi tư duy, từ các khu công nghiệp truyền thống sang các "Hub Sáng tạo Sinh thái" (Eco-Creative Hubs) - nơi giao thoa giữa chuyển đổi số, nguyên lý kinh tế tuần hoàn và hạ tầng xanh. Bài viết đề xuất một mô hình quản trị kết nối không gian, bảo đảm sự phát triển hài hòa và bền vững. Nghiên cứu cung cấp cơ sở lý luận và đề xuất các chính sách thực tiễn cho công tác quy hoạch đô thị, góp phần cân bằng giữa phát triển kinh tế - xã hội và đô thị hóa, đồng thời hài hòa lợi ích giữa doanh nghiệp và Nhà nước, với sự tham gia tư vấn của các nhà nghiên cứu khoa học.

Từ khóa: HUB sáng tạo sinh thái.

ABSTRACT

Following the administrative merger, Ho Chi Minh City is reviewing its urban planning under a multi-polar, multi-center development model. In this plan, the northern industrial area of the city has been identified as a key driver of economic growth. The next priority is to remove existing bottlenecks and strengthen connections between the city center and the northern area in order to further enhance its leading role in industrial development. This study examines the formation and development of industrial parks in the northern area of Ho Chi Minh City over different periods. Using an interdisciplinary analytical framework that combines urban transformation analysis with the Triple Helix innovation model, the study evaluates the current spatial and functional linkages between the city's financial and service center and the innovation hub in northern Ho Chi Minh City. The findings indicate that future development requires a change in mindset: from traditional industrial parks to Eco-Creative Hubs, where digital transformation, circular economy principles, and green infrastructure are integrated. The study also proposes a spatial governance model to strengthen regional connectivity while ensuring balanced and sustainable development. This research provides a theoretical foundation and practical policy recommendations for urban planning. It aims to support a better balance between socio-economic development and urbanization, while creating a harmonious relationship between the interests of businesses and the government, with researchers serving as policy advisors.

Keywords: Eco-Creative HUB.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh toàn cầu hóa và hội nhập sâu rộng, sự dịch chuyển của các chuỗi cung ứng toàn cầu đang đặt ra những yêu cầu

cấp bách về việc đổi mới mô hình tăng trưởng kinh tế vùng. Tại Việt Nam, vùng Đồng Nam Bộ đóng vai trò là đầu tàu kinh tế của cả nước, trong đó sự hình thành của TP.HCM sau sáp nhập mở ra một tầm

nhìn không gian đô thị đa cực, tích hợp và liên vùng. Nằm ở cửa ngõ phía Bắc của siêu đô thị này, khu vực công nghiệp Bắc TP.HCM từ lâu đã được xác định là "thủ phủ công nghiệp" - xương sống tạo nên giá trị gia tăng và năng lực cạnh tranh quốc tế của toàn vùng.

Tuy nhiên, nhìn nhận từ lý luận và thực tiễn quy hoạch đô thị - công nghiệp, mô hình phát triển truyền thống qua ba thập kỷ đang đứng trước "bẫy thu nhập trung bình" và những điểm nghẽn về hạ tầng, môi trường. Sự phát triển nhanh chóng của các KCN dọc theo các trục giao thông huyết mạch như Quốc lộ 13 hay Mỹ Phước - Tân Vạn đã vô tình tạo ra áp lực lớn đối với hệ sinh thái đô thị, sự chia cắt không gian giữa khu vực sản xuất và khu vực lưu trú của người lao động, cũng như thiếu vắng sự kết nối chặt chẽ với hệ thống đối mới sáng tạo.



Hình 1. Mô hình tích hợp công nghiệp và đô thị sinh thái

Nguồn: *Cổng thông tin quy hoạch đô thị và hạ tầng kỹ thuật*

Để giải quyết bài toán này, định hình lại tư duy quy hoạch KCN tại khu vực phía Bắc TP.HCM không chỉ dừng ở việc bổ sung quỹ đất hay nâng cấp hạ tầng giao thông, mà cần tiếp cận theo hướng tích hợp và bền vững. Nghiên cứu tham khảo kinh nghiệm từ các mô hình quy hoạch công nghiệp tiên tiến trên thế giới, tiêu biểu như KCN sinh thái Jurong (Singapore) và mô hình cộng sinh công nghiệp Kalundborg (Đan Mạch). Những kinh nghiệm này cho thấy khả năng chuyển đổi mô hình phát triển không gian công nghiệp theo hướng tích hợp công nghệ số, kinh tế tuần hoàn và liên kết Nhà nước - Nhà trường - Doanh nghiệp. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất khung giải pháp quy hoạch chiến lược nhằm nâng cao năng lực cạnh tranh, đồng thời hướng tới phát triển bền vững, trung hòa carbon và cải thiện chất lượng không gian sống cho người dân đô thị trong bối cảnh mới.

2. THỰC TRẠNG PHÁT TRIỂN KCN TẠI KHU VỰC BẮC TP.HCM

Với vai trò là "cực động lực công nghiệp" chủ đạo ở cửa ngõ phía Bắc, sự phát triển của hệ thống khu công nghiệp tại đây không chỉ phản ánh quá trình công nghiệp hóa của Việt Nam mà còn là một "phòng thí nghiệm sống" (living lab) về quy hoạch đô thị - công nghiệp.

2.1. Cấu trúc không gian

Vùng Nam (Dĩ An, Thuận An): Đây là thế hệ KCN đầu tiên (Sóng Thần, Đồng An, VSIP I). Hiện nay, khu vực này đang đối mặt với tình trạng "nén đô thị" (urban compression). Quỹ đất đã cạn kiệt, hạ tầng giao thông quá tải do sự xung đột giữa xe tải trọng lớn và giao thông dân sinh. Định hướng quy hoạch hiện tại là giải nén và chuyển đổi công năng các KCN này thành các khu đô thị - dịch vụ thương mại cao cấp.

Vùng trung tâm và phía Bắc (Bến Cát, Bàu Bàng, Phú Giáo): Trọng tâm công nghiệp đang dịch chuyển mạnh mẽ lên phía Bắc dọc theo trục Mỹ Phước - Tân Vạn và Quốc lộ 13. Các KCN tại đây (VSIP II, Mỹ Phước, Bàu Bàng) được quy hoạch với quy mô "khổng lồ"

(lên tới hàng ngàn hecta), kết hợp mô hình "Công nghiệp - Đô thị - Dịch vụ".



Hình 2. Bản đồ quy phân bố KCN Bình Dương

Nguồn: <https://binhduong.gov.vn>

2.2. Chuyển dịch cơ cấu ngành

Chuyển dịch khỏi mô hình công nghiệp "nâu": Địa phương chủ động từ chối các dự án thâm dụng lao động, sử dụng nhiều tài nguyên và có nguy cơ phát thải lớn, như dệt may truyền thống, da giày và chế biến gỗ.

Đón đầu công nghiệp "xanh" và công nghệ cao: Dấu ấn quy hoạch rõ nét nhất là KCN VSIP III, được định hình là KCN thông minh và sinh thái (Eco-Industrial Park). Sự kiện Tập đoàn LEGO đầu tư nhà máy hơn 1 tỷ USD vận hành hoàn toàn bằng năng lượng mặt trời (trung hòa carbon) tại đây đã thiết lập một chuẩn mực quy hoạch mới cho toàn vùng.



Hình 3. Phối cảnh nhà máy trung hòa carbon của LEGO tại KCN Vsip III Bình Dương

Nguồn: <https://www.lego.com/en-vn/aboutus/news/2021/december/lego-group-invests-in-first-carbon-neutral-run-factory-in-vietnam>

2.3. Những điểm nghẽn và mâu thuẫn trong không gian đô thị (Urban Metabolism)

Mất cân đối nơi làm việc - nơi ở (Job-Housing Mismatch): Hàng triệu lao động nhập cư đổ về làm việc nhưng quy hoạch nhà ở xã hội đồng bộ trong các KCN giai đoạn đầu bị bỏ ngỏ. Điều này dẫn đến sự bùng nổ của các "khu ổ chuột kiểu mới" (nhà trọ tự phát chật hẹp, thiếu tiện ích, nguy cơ cháy nổ cao) bám quanh ranh giới KCN.

Phân mảnh hệ sinh thái đổi mới sáng tạo (Innovation Fragmentation): Mặc dù có chủ trương xây dựng "Vùng đổi mới sáng tạo", nhưng sự liên kết vật lý và chức năng giữa Nhà máy (Doanh nghiệp) - Trường Đại học (Viện nghiên cứu) - Trung tâm quản lý (Nhà nước) (Mô hình Triple Helix) còn lỏng lẻo. Các khu R&D

chưa được bố trí xen kẽ đủ dày đặc trong các KCN để tạo ra hiệu ứng lan tỏa tri thức.



Hình 4. Triple helix

Nguồn: Mô hình ba xoắn ốc (triple helix) áp dụng trong quy hoạch đổi mới sáng tạo

2.4. Định hướng tương lai, quy hoạch "Vùng Đổi mới sáng tạo Bình Dương"

Khu đô thị Khoa học Công nghệ Bàu Bàng: Không chỉ là nơi sản xuất, mà là một thành phố thông minh thu nhỏ, thu hút các chuyên gia quốc tế lưu trú và nghiên cứu.

Hệ thống Logistics thông minh: Quy hoạch các cảng cạn (ICD) và trung tâm logistics đa phương thức gắn liền với tuyến đường sắt xuyên Á trong tương lai, kết nối trực tiếp cụm KCN phía Bắc Bình Dương với cảng biển Cái Mép - Thị Vải và sân bay Long Thành.



Hình 5. Tổng thể các phân khu chức năng chính trong vùng Đổi mới sáng tạo.

Nguồn: becamex.com.vn

3. CÁC VẤN ĐỀ CÒN THIẾU TRONG QUÁ TRÌNH QUY HOẠCH VÀ ĐẦU TƯ PHÁT TRIỂN

3.1. Sự đứt gãy trong liên kết vùng và điểm nghẽn hạ tầng giao thông công cộng

Quá tải hạ tầng đường bộ: Giao thông công nghiệp (xe container, xe tải nặng) xung đột trực tiếp với giao thông dân sinh, tạo ra các "nút thắt cổ chai" gây ách tắc và mất an toàn giao thông nghiêm trọng tại cửa ngõ tiếp giáp khu vực Trung tâm TP.HCM.

Văng bóng TOD (Transit-Oriented Development): Quy hoạch KCN hiện nay hoàn toàn thiếu vắng các giải pháp kết nối bằng giao thông công cộng sức chở lớn (đường sắt đô thị - Metro, xe buýt nhanh - BRT). Các KCN khổng lồ ở Bến Cát, Bàu Bàng bị cô lập về mặt giao thông công cộng với lõi đô thị dịch vụ.



Hình 6. Mô hình tích hợp TOD tại các vành đai công nghiệp Nhật Bản

Nguồn: World Bank: Transit-Oriented Development (TOD) Knowledge Hub

3.2. Mất cân bằng giữa "Không gian sản xuất" và "Không gian sống" (Job-Housing Imbalance)

Sự bùng nổ của các "khu nhà trọ phi chính thức": Hàng trăm ngàn công nhân phải sống trong các khu nhà trọ chật hẹp, thiếu sáng, thiếu hệ thống phòng cháy chữa cháy và không gian xanh.

Thiếu hụt thiết chế văn hóa: Các KCN thiếu vắng trầm trọng hệ thống trường học, bệnh viện, nhà trẻ và công viên liên kế, khiến đời sống tinh thần của công nhân bị bản cùng hóa, dẫn đến tỷ lệ biến động lao động cao.



Hình 7. Quy hoạch nhà ở xã hội đồng bộ hạ tầng tại các cụm công nghiệp

Nguồn: Housing & Development Board (HDB) Singapore - Urban Planning

3.3. Hạn chế trong chuyển hóa đô thị: Thiếu vắng tư duy kinh tế tuần hoàn (Linear Urban Metabolism)

Mạng lưới kỹ thuật cục bộ: Mỗi nhà máy tự xử lý nước thải sơ bộ trước khi đưa vào nhà máy xử lý chung. Chưa có hạ tầng ngầm để phân loại, thu hồi nhiệt dư, hay sử dụng nước thải xám (Greywater) tưới tiêu nội khu.

Lãng phí không gian mái và năng lượng: Hàng triệu mét vuông mái tôn nhà xưởng vẫn chưa được khai thác triệt để để lắp đặt điện mặt trời áp mái, trong khi khu vực này có cường độ bức xạ nhiệt rất cao.



Hình 8. Mô hình KCN sinh thái Ulsan, Hàn Quốc

Nguồn: UNIDO - Eco-Industrial Parks: Case Studies from South Korea

3.4. Sự mờ nhạt của hệ sinh thái đổi mới sáng tạo (The Missing "Triple Helix" Link)

Làng Đại học Quốc gia TP.HCM (Dĩ An) nằm ngay sát các KCN lớn, nhưng ranh giới vật lý và chức năng lại hoàn toàn tách biệt. Không có cầu nối về không gian R&D (Nghiên cứu & Phát triển) chung.

Các KCN thiếu các "vườn ươm công nghệ" (Incubators), phòng thí nghiệm dùng chung (Shared Labs) hay không gian làm việc chung (Co-working spaces) dành cho các startup kỹ thuật.



Hình 9. Quy hoạch liên kết không gian đại học-công nghiệp tại RTP (Research Triangle Park (RTP) - Master Plan

Nguồn: <https://www.rtp.org>

4. CÁC MỤC TIÊU KINH TẾ CỤ THỂ TRONG QUY HOẠCH VÀ PHÁT TRIỂN KCN

4.1. Bảng tóm tắt các chỉ tiêu quy hoạch kinh tế - không gian cốt lõi

4.1. BẢNG TÓM TẮT CÁC CHỈ TIÊU QUY HOẠCH KINH TẾ - KHÔNG GIAN CỐT LÕI		
LĨNH VỰC MỤC TIÊU	HIỆN TRẠNG (ƯỚC TÍNH)	MỤC TIÊU QUY HOẠCH (ĐẾN NĂM 2030)
Cơ cấu giá trị công nghiệp	Công nghiệp truyền thống, chiếm dụng hai động lực (đầu tư, xuất khẩu)	45 - 50% giá trị sản xuất đến từ công nghệ mới, xuất khẩu và dịch vụ (tài chính)
Tiêu chuẩn không gian KCN	Đa số là KCN đơn thuần (công nghiệp)	100% KCN mới đạt chuẩn quốc gia về môi trường, 30% KCN cũ được cải tạo xanh
Hạ tầng năng lượng & Môi trường	Phụ thuộc vào lưới quốc gia và chất lượng nước	Tối thiểu 30% năng lượng tái tạo (điện mặt trời, gió, thủy điện...), 15-20% nước thải được tái sử dụng nội khu
Phát triển hạ tầng xã hội	Thiếu hụt nghiêm trọng các dịch vụ xã hội (y tế, giáo dục, văn hóa, thể thao...)	Đảm bảo 100% KCN mới phải có đầy đủ các dịch vụ xã hội cơ bản

Hình 10. Bảng tóm tắt chỉ tiêu quy hoạch kinh tế - không gian cốt lõi

Nguồn: Hình ảnh được tạo trong quá trình nghiên cứu

4.2. Phân tích chi tiết các mục tiêu kinh tế chiến lược

Mục tiêu 1: Dịch chuyển lên chuỗi giá trị cao (Nâng cấp cấu trúc ngành)

Khu vực Bắc TP.HCM không thể tiếp tục cạnh tranh bằng đất đai giá rẻ và lao động phổ thông. Mục tiêu kinh tế cốt lõi là dịch chuyển vị trí của địa phương trên "Đường cong nụ cười" (Smiling Curve) - tức là giảm bớt tỷ trọng gia công lắp ráp, tăng cường khâu R&D (Nghiên cứu & Phát triển) và Logistics/Phân phối. Thu hút dòng vốn FDI thế hệ mới vào các ngành công nghiệp bán dẫn, chip điện tử, cơ khí chính xác và dược phẩm. Xây dựng ít nhất 2 - 3 "Khu công nghiệp chuyên ngành" (Specialized IPs) chỉ dành riêng cho hệ sinh thái công nghệ cao tại khu vực Bàu Bàng và Phú Giáo.



Hình 11. Chiến lược nâng cấp chuỗi giá trị toàn cầu (GVCs)

Nguồn: World Bank: Global Value Chain Development Report

Mục tiêu 2: Thiết lập chỉ tiêu "Net-Zero" và Kinh tế tuần hoàn trong KCN

Chuyển đổi xanh không còn là khẩu hiệu mà là rào cản kỹ thuật bắt buộc nếu muốn giữ chân các tập đoàn đa quốc gia (đang chịu áp lực từ thuế carbon xuyên biên giới - CBAM của Châu Âu). Xây dựng hệ thống Cộng sinh công nghiệp (Industrial Symbiosis). Mục tiêu đến 2030, lượng phát thải khí nhà kính (GHG) tại các KCN khu vực Bắc TP.HCM giảm ít nhất 25 - 30%. Các KCN mới phải thiết kế sẵn hệ thống hạ tầng ngầm để trao đổi nhiệt dư, nước xám (greywater) và năng lượng tái tạo giữa các nhà máy.

Mục tiêu 3: Công nghiệp gắn liền với Đô thị - Logistics thông minh (TOD)

Sản xuất phải đi liền với khả năng lưu thông hàng hóa và vận chuyển con người với chi phí tối ưu nhất. Hình thành mạng lưới trung tâm logistics đa phương thức cấp vùng. Cụ thể, quy hoạch các Cảng cạn (ICD) quy mô lớn tại các vành đai công nghiệp phía Bắc, kết nối trực tiếp với tuyến đường sắt Dĩ An - Lộc Ninh (thuộc đường sắt Xuyên Á) và Vành đai 4.

Mục tiêu 4: Mục tiêu về kinh tế Tri thức và An sinh không gian (Mô hình Triple Helix)

Mục tiêu kinh tế sẽ thất bại nếu thiếu đi động lực từ nguồn nhân lực chất lượng cao. Phân bổ tối thiểu 15 - 20% quỹ đất trong các Vùng đổi mới sáng tạo (như Bàu Bàng) để xây dựng các Vườn ươm công nghệ, Khu không gian làm việc chung (Co-working/Maker spaces), với các trung tâm thực hành liên kết trực tiếp tại Đại học Quốc gia TP.HCM và Đại học Việt Đức. Đồng thời, giải quyết triệt để bài toán nhà ở xã hội cho 60 - 70% lao động nhập cư, biến họ thành "cư dân đô thị" thực thụ thay vì chỉ là "lực lượng lao động tạm trú".

5. SO SÁNH VỚI CÁC MÔ HÌNH QUỐC TẾ VÀ BÀI HỌC ỨNG DỤNG CHO KHU VỰC PHÍA BẮC TP.HCM

5.1. Mô hình KCN Sinh thái Kalundborg (Đan Mạch) - Bài học về Kinh tế tuần hoàn



Hình 12. Không có khái niệm "rác thải cuối cùng"

Nguồn: KCN sinh thái Kalundborg (Đan Mạch) scharvik / getty image

Thực tiễn: Các KCN mới như VSIP III hay KCN Bàu Bàng mở rộng cần bắt buộc áp dụng tiêu chuẩn quy hoạch hạ tầng ngầm dùng chung (Utilidor) ngay từ khâu tỷ lệ 1/2000.

Giải pháp: Thay vì cấp phép đầu tư dàn trải, khu vực Bắc TP.HCM cần quy hoạch phân khu theo cụm ngành có khả năng cộng sinh (ví dụ: đặt nhà máy sản xuất linh kiện điện tử cạnh nhà máy tái chế vật liệu bán dẫn để tận dụng hóa chất tuần hoàn).

5.2. Mô hình Quận Đổi mới sáng tạo Jurong (Singapore) - Tích hợp Đô thị & TOD



Hình 13. Xóa bỏ hoàn toàn hàng rào bê tông của các KCN truyền thống

Nguồn: Tổ hợp công nghiệp - cảng biển tại Jurong (Singapore) bloomberg/ bloomberg via getty image

Đối với các KCN cũ (Dĩ An, Thuận An): Cần áp dụng mô hình của Jurong để "giải nén". Quy hoạch lại các nhà xưởng thấp tầng hiện hữu thành các tổ hợp công nghiệp thẳng đứng (Vertical Factories) kết hợp không gian thương mại.

Đối với quy hoạch giao thông: Phải coi các KCN phía Bắc (Bến Cát, Bàu Bàng) là các "vệ tinh đô thị" chứ không chỉ là nơi sản xuất. Bắt buộc phải bảo lưu quỹ đất dự trữ để kéo dài tuyến Metro số 1 từ Suối Tiên xuyên qua Dĩ An, tiến thẳng lên cụm đô thị công nghiệp trung tâm.

5.3. Công viên Khoa học Tân Trú (Đài Loan) - Mô hình "Ba xoắn ốc" (Triple Helix)



Hình 14. Không có khoảng cách vật lý giữa phòng thí nghiệm của trường đại học và dây chuyền sản xuất

Nguồn: Công viên khoa học Tân Trú (Đài Loan) Bing-Jhen Hong

Thực tiễn: Khu vực này đang có Làng Đại học Quốc gia TP.HCM và Đại học Việt Đức, nhưng chưa có quy hoạch không gian liên kết vật lý (Physical Linkage) với các KCN lân cận.

Giải pháp: Đề án "Vùng Đổi mới Sáng tạo Bắc TP.HCM" cần quy hoạch các Trung tâm R&D dùng chung ngay tại vùng đệm giữa trường đại học và khu sản xuất. Tạo ra các "vườn ươm" (Incubators) được nhà nước trợ giá mặt bằng, nơi sinh viên, giảng viên và kỹ sư doanh nghiệp có thể tương tác hàng ngày.

6. ĐỀ XUẤT MỘT SỐ GIẢI PHÁP TRONG CÔNG TÁC QUY HOẠCH VÀ ĐẦU TƯ XÂY DỰNG

6.1. Giải pháp quy hoạch không gian

Tại khu vực phía Nam (Dĩ An, Thuận An): Giải pháp là "Giải nén và Nén dọc". Khuyến khích cải tạo các nhà máy thấp tầng thành mô hình Vertical Factories (Nhà máy cao tầng) dành cho các ngành công nghiệp nhẹ, công nghệ cao, ít phát thải. Phân khu đất công nghiệp đôi dư được chuyển đổi công năng thành không gian công cộng, thương mại và dịch vụ hỗ trợ (mixed-use).

Tại khu vực phía Bắc (Bàu Bàng, Phú Giáo): Xây dựng các cụm KCN thể hệ mới với mô hình Campus-style. Xóa bỏ các tường rào cứng giữa các phân khu nhà máy; thay thế bằng các dải hành lang xanh (Green Corridors), công viên cảnh quan để điều hòa vi khí hậu đô thị (Urban Microclimate) và xử lý nước mưa tự nhiên (Sponge City concept).



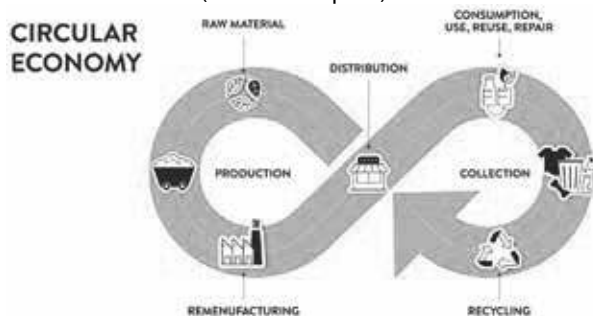
Hình 15. Mô hình tổ hợp quy hoạch KCN sinh thái hiện đại

Nguồn: Shengxiao wu / Getty images

6.2. Giải pháp kỹ thuật và hạ tầng thông minh

Xây dựng Hào kỹ thuật dùng chung (Utilidors): Trong các bản đồ quy hoạch 1/2000 của các KCN mở rộng mới, bắt buộc phải thiết kế mạng lưới đường ống ngầm liên kết các lô đất. Mục đích là để thu hồi năng lượng (hơi nóng dư thừa) hoặc chia sẻ nước xám (greywater) từ nhà máy này sang nhà máy khác.

Hạ tầng Năng lượng Độc lập (Micro-grid): Yêu cầu 100% mái nhà xưởng mới phải thiết kế chịu lực để lắp đặt hệ thống pin năng lượng mặt trời. Ứng dụng lưới điện thông minh để các KCN có thể tự điều tiết năng lượng nội bộ, giảm sự phụ thuộc vào lưới điện quốc gia và giảm dấu chân carbon (Carbon Footprint).



Hình 16. Mô hình luân chuyển tài nguyên trong KCN kinh tế tuần hoàn

Nguồn: Whale Design

6.3. Giải pháp tích giao thông

Tích hợp TOD (Transit-Oriented Development) vào KCN: Quy hoạch đô thị - công nghiệp phải bám theo các nhà ga giao thông công cộng. Việc ưu tiên kéo dài tuyến Metro số 1 từ trung tâm TP.HCM lên tận Bến Cát, Bàu Bàng là yếu tố sống còn. Tại các điểm dừng nhà ga Metro (Transit Nodes), quy hoạch mật độ xây dựng cao (FAR lớn) cho các văn phòng R&D, nhà ở chuyên gia và trung tâm thương mại.

Tách bạch giao thông (Traffic Segregation): Phát triển hệ thống Cảng cạn ICD quy mô lớn liên kết các KCN phía Bắc, kết nối trực tiếp với tuyến đường sắt vận tải hàng hóa xuyên Á. Thiết lập các tuyến đường bộ trên cao hoặc luồng chạy xe dành riêng (Dedicated lanes) cho xe container chạy thẳng ra cụm cảng Cái Mép - Thị Vải mà không đi xuyên qua khu dân cư.



Hình 17. Quy hoạch không gian đô thị tích hợp đa chức năng quanh nút giao thông (TOD)

Nguồn: CBRE

6.4. Giải pháp thiết chế xã hội và hệ sinh thái đổi mới (Mô hình Triple Helix)

Bắt buộc quỹ đất cho nhà ở xã hội (Mô hình HDB): Chuyển từ "khuyến khích" sang "bắt buộc". Trong cơ cấu sử dụng đất của bất kỳ KCN mới nào, phải dành ra tối thiểu 10 - 15% diện tích cho các khu dân cư lưu trú đồng bộ, bao gồm nhà ở, trường học, bệnh viện, nhà trẻ và không gian công cộng mở.

Không gian R&D "Ba Xoắn Ốc": Quy hoạch các Trung tâm Đổi mới sáng tạo (Innovation Centers) tại vùng đệm giáp ranh giữa các trường Đại học (ĐHQG TP.HCM, ĐH Việt Đức) và các cụm sản xuất. Đây sẽ là những khu vực phi thuế quan hoặc được ưu đãi đặc biệt

để ươm mầm các startup công nghệ, tạo cầu nối vật lý vững chắc giữa sinh viên/giảng viên và dây chuyền sản xuất của doanh nghiệp.

7. KIẾN NGHỊ

7.1. Kiến nghị đối với Chính phủ và các Bộ, ngành Trung ương (Thể chế và Chính sách)

Luật hóa "Cộng sinh công nghiệp": Cần sớm ban hành các nghị định, thông tư hướng dẫn cụ thể và nới lỏng các rào cản pháp lý liên quan đến việc mua bán, trao đổi năng lượng tái tạo, trao đổi nước thải sau xử lý và phế phẩm công nghiệp.

Thiết lập các gói tín dụng "Quy hoạch Xanh": Ngân hàng Nhà nước và Bộ Tài chính cần xây dựng cơ chế tín dụng ưu đãi, giảm thuế thu nhập doanh nghiệp cho các chủ đầu tư hạ tầng tiên phong áp dụng chứng chỉ KCN sinh thái (Eco-Industrial Park) và các tiêu chuẩn ESG.

Bắt buộc chỉ tiêu hạ tầng xã hội trong quy hoạch: Bộ Xây dựng cần điều chỉnh quy chuẩn quy hoạch (QCVN), bắt buộc các địa phương khi duyệt quy hoạch phân khu 1/2000 cho KCN mới phải dành tỷ lệ quỹ đất cứng cho nhà ở xã hội và các thiết chế văn hóa, y tế, giáo dục đồng bộ.

7.2. Kiến nghị đối với chính quyền TP.HCM (Về quản trị không gian liên vùng)

Thành lập Hội đồng Quy hoạch tổng thể: Hội đồng này sẽ trực tiếp chỉ đạo việc khớp nối quy hoạch mạng lưới giao thông công cộng sức chở lớn (kéo dài các tuyến Metro từ TP.HCM qua Dĩ An, Thuận An lên Bến Cát, Bàu Bàng) và mạng lưới logistics dùng chung.

Chính sách "Giải nén" vùng lõi: TP.HCM cần có lộ trình cứng rắn trong việc di dời, chuyển đổi công năng các KCN cũ, ô nhiễm tại khu vực phía Nam. Đối lại, cung cấp các quỹ đất sạch với hạ tầng thông minh ở phía Bắc để hỗ trợ doanh nghiệp di dời.

Kiến tạo "Vùng đệm sáng tạo": Chính quyền cần chủ động tạo ra các cơ chế ưu đãi đặc biệt (đất đai, thuế) tại các khu vực giáp ranh giữa Làng Đại học Quốc gia TP.HCM, Đại học Việt Đức và các KCN, nhằm hình thành không gian thực nghiệm R&D theo mô hình Triple Helix.

7.3. Kiến nghị đối với chủ đầu tư hạ tầng KCN và cộng đồng doanh nghiệp

Chuyển đổi tư duy quy hoạch hạ tầng vi mô (Micro-infrastructure Planning)

Tiên phong thực thi tiêu chuẩn xanh toàn cầu (ESG & Eco-Industrial Park standards)

Tích hợp không gian R&D và thiết chế xã hội (Social & Innovation Integration)

Quản trị KCN bằng công nghệ bản sao Kỹ thuật số (Digital Twin)



Hình 18. Tư duy thiết kế hạ tầng KCN sinh thái thông minh.

Nguồn: phonlamai photo getty images

8. KẾT LUẬN

Sự sáp nhập và định hướng tái cấu trúc không gian của siêu đô thị TP.HCM mở ra một giai đoạn quy hoạch mới, trong đó khu vực phía Bắc, được giao phó trọng trách là "cực động lực công nghiệp, công nghệ cao và dịch vụ thông minh" mang tầm vóc quốc tế. Bài

toán đặt ra là không gian này không thể tiếp tục vận hành theo mô hình, việc duy trì mô hình KCN thâm dụng lao động, phát triển tuyến tính và hoàn toàn cô lập với hệ sinh thái đô thị sẽ vĩnh viễn đẩy khu vực này vào "bẫy thu nhập trung bình" và đối mặt với khủng hoảng môi trường, xã hội trầm trọng.

Bằng việc ứng dụng khung phân tích đa chiều, nghiên cứu này đã chỉ ra một lộ trình chuyển hóa mang tính sống còn cho không gian công nghiệp phía Bắc TP.HCM. Theo đó, nguyên lý Chuyển hóa Đô thị (Urban Metabolism) được sử dụng để giải quyết triệt để bài toán sinh thái. Hạ tầng của các KCN mới tại Bàu Bàng, Phú Giáo không thể chỉ là điện và đường, mà phải là hệ thống tuần hoàn khép kín (nhiệt, nước, phế phẩm) nhằm hướng tới mục tiêu phát thải ròng bằng 0 (Net-Zero). Mô hình Ba xoắn ốc (Triple Helix) được sử dụng để kiến tạo động lực tri thức. Quy hoạch không gian phải xóa bỏ hàng rào cứng của nhà máy, việc kéo dài mạng lưới Metro, tích hợp không gian R&D liền kề các trường Đại học lớn và bắt buộc xây dựng nhà ở xã hội đồng bộ chính là chìa khóa để kiến tạo một hệ sinh thái đổi mới sáng tạo đích thực.

Quá trình lột xác từ các KCN truyền thống thành những "Hub Sáng tạo Sinh thái" (Eco-Creative Hubs) không đơn thuần là phép cộng của việc trồng thêm cây xanh hay lắp thêm pin mặt trời. Đó là một cuộc cách mạng về tư duy quy hoạch: Chuyển từ việc "phân bổ chức năng sử dụng đất" sang "điều phối các dòng chảy tài nguyên, tri thức và con người". Khi có sự đồng hành chiến lược, phá vỡ tư duy cục bộ giữa Nhà nước (dẫn dắt thể chế, quy hoạch liên vùng) - Nhà trường (cung cấp tri thức, R&D) - Doanh nghiệp (thực thi và tuần hoàn tài nguyên), chúng ta mới có thể giải quyết hài hòa bài toán lợi ích kinh tế, bảo vệ môi trường và nâng cao chất lượng sống. Với vai trò tham mưu, các nhà nghiên cứu quy hoạch mang sứ mệnh không ngừng cọ xát lý luận và thực tiễn, góp phần kiến tạo nên một không gian sống và làm việc thịnh vượng, nhân văn, vững bước tiến vào kỷ nguyên phát triển bền vững của vùng Đông Nam Bộ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bộ Chính trị. Nghị quyết số 24-NQ/TW ngày 07/10/2022 về phát triển kinh tế - xã hội và bảo đảm quốc phòng, an ninh vùng Đông Nam Bộ đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050, 2022.
- [2] Chính phủ. Nghị định số 35/2022/NĐ-CP ngày 28/5/2022 quy định về quản lý khu công nghiệp và khu kinh tế, 2022.
- [3] Thủ tướng Chính phủ. Quyết định số 950/QĐ-TTg ngày 01/8/2018 phê duyệt Đề án phát triển đô thị thông minh bền vững Việt Nam giai đoạn 2018 - 2025 và định hướng đến năm 2030, 2018.
- [4] Thủ tướng Chính phủ. Quyết định số 73/QĐ-TTg ngày 28/02/2024 phê duyệt Quy hoạch tỉnh Bình Dương thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050, 2024.
- [5] Etzkowitz, H., Leydesdorff, L. The dynamics of innovation: From National Systems and "Mode 2" to a Triple Helix of university-industry-government relations. Research Policy, vol. 29, no. 2, pp. 109-123, 2000.
- [6] Kennedy, C., Pincetl, S., Bunje, P. The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design. Environmental Pollution, vol. 159, no. 8-9, pp. 1965-1973, 2011.
- [7] United Nations Industrial Development Organization (UNIDO). Eco-Industrial Parks: Achievements and Key Insights from the Global RECP Programme, 2019.
- [8] JTC Corporation. Jurong Innovation District Master Plan. Singapore, 2020.
- [9] Hsinchu Science Park Bureau. Annual Report on Industrial Spatial Linkage and University Cooperation. Taiwan, 2021.

Hướng tới quy hoạch không gian dựa trên dữ liệu: Khung khái niệm cập nhật động cho quy hoạch đô thị và nông thôn Việt Nam

Toward Data-driven spatial planning: A dynamically updated conceptual framework for urban and rural planning in Vietnam

> HUỖNH TRỌNG NHÂN*, LÊ HOÀNG THIÊN LONG

Khoa Kiến trúc, Trường Đại học Xây dựng Miền Tây

*Corresponding author, Email: huynhnhan@mtu.edu.vn

TÓM TẮT

Chuyển đổi số trong quy hoạch đô thị và nông thôn đang thúc đẩy GIS hóa hồ sơ, nhưng hệ thống hiện nay mới dừng ở số hóa hồ sơ đã được phê duyệt, chưa hình thành dữ liệu sống được cập nhật thường xuyên và ràng buộc với quy chuẩn quy hoạch xây dựng. Trước khoảng trống về một khung khái niệm gắn việc cập nhật dữ liệu với ngưỡng chỉ tiêu quy chuẩn, tính nhất quán giữa các cấp quy hoạch và sức chịu tải hạ tầng, trên cơ sở phân tích QCVN 01:2026/BXD và cấu trúc dữ liệu GIS tại Thông tư 16/2025/TT-BXD, bài viết đề xuất khung khái niệm cập nhật động gồm bốn thành phần: kiến trúc hai lớp tách biệt trạng thái dữ liệu và trạng thái pháp lý; cơ chế kế thừa - chia tách và đối chiếu chỉ tiêu giữa các cấp; cơ chế kiểm tra ràng buộc khi dữ liệu được cập nhật; và mô hình hai cây quan hệ "chứa - phục vụ" kiểm soát tải hạ tầng. Khung đề xuất có thể triển khai trên nền dữ liệu GIS với một số bổ sung ở cấp độ cấu trúc dữ liệu, góp phần hiện thực hóa quy hoạch không gian dựa trên dữ liệu.

Từ khóa: Quy hoạch dựa trên dữ liệu; cập nhật động; hệ thống thông tin địa lý (GIS); ngưỡng chịu tải hạ tầng; đồng bộ quy hoạch; QCVN 01:2026/BXD.

ABSTRACT

The digital transformation of urban and rural planning is driving the conversion of planning dossiers into GIS, yet most current systems stop at digitizing already-approved dossiers, without producing living data that is regularly updated and bound to technical regulations. This paper identifies a gap of the absence of a conceptual framework linking data updating to regulatory thresholds, cross-level planning consistency, and infrastructure carrying capacity. Building on an analysis of National Standard 01:2026/BXD and the GIS data structure prescribed in Circular 16/2025/TT-BXD, the paper proposes a live-update conceptual framework with four components: a two-layer architecture separating the data state from the legal state; a mechanism for inheritance, subdivision, and cross-level reconciliation of planning indicators; a constraint-checking loop triggered upon each update; and a dual-tree "containment-service" model for controlling infrastructure load. The proposed framework can be implemented on GIS planning data with additional data, contributing to the realization of data-driven spatial planning.

Keywords: Data-driven planning; live update; geographic information system (GIS); infrastructure carrying capacity threshold; cross-level planning consistency; National Standard 01:2026/BXD.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Chuyển đổi số đang định hình lại việc lập và quản lý quy hoạch đô thị, nông thôn ở Việt Nam. Xây dựng Hệ thống thông tin và cơ sở dữ liệu (CSDL) về quy hoạch đã thành nhiệm vụ cấp quốc gia [1], kéo theo các yêu cầu số hóa hồ sơ ở địa phương. Một số nơi như Hà Nội, TP.HCM, Bình Dương đã thiết lập hệ thống thông tin địa lý phục vụ công khai và quản lý quy hoạch [2, 3]. Xu thế chung là chuyển từ hồ sơ giấy, bản đồ tĩnh sang CSDL không gian số, mở đường cho quy hoạch dựa trên dữ liệu. Tuy nhiên, phần lớn hệ thống hiện nay mới số hóa hồ sơ đã phê duyệt, chưa thành

dữ liệu sống được cập nhật thường xuyên và ràng buộc với quy định kỹ thuật; dữ liệu còn phân tán, cập nhật chậm [3, 4], nhiều nền tảng chỉ mang tính tham khảo và dữ liệu địa chính nền có thể lạc hậu, chưa phản ánh kịp biến động như tách thửa [4]. Hệ quả là khoảng cách giữa hiện trạng phát triển và dữ liệu quy hoạch ngày càng nổi rộng.

Vấn đề trở nên phức tạp bởi bản chất phân cấp của quy hoạch không gian: quy hoạch chung, phân khu và chi tiết ràng buộc lẫn nhau qua các chỉ tiêu dân số, sử dụng đất và năng lực hạ tầng, trong đó cấp dưới phải cụ thể hóa và không vượt

ngưỡng cấp trên xác lập. QCVN 01:2026/BXD [5] đã quy định các chỉ tiêu này thành ngưỡng cụ thể cho lô đất và công trình. Do đó, một thay đổi cục bộ như tách lô, xen cấy công trình, điều chỉnh chỉ tiêu không chỉ tác động tại chỗ mà còn làm thay đổi chỉ tiêu tổng hợp ở cấp cao hơn; thiếu cơ chế cập nhật và kiểm soát động, mỗi thay đổi rời rạc đều có nguy cơ phá vỡ tính nhất quán liên cấp và vượt ngưỡng chịu tải hạ tầng mà không được phát hiện kịp thời.

Từ đó, câu hỏi nghiên cứu là cập nhật dữ liệu quy hoạch cần tổ chức thế nào để vừa phản ánh kịp biến động phát triển, vừa bảo đảm nhất quán giữa các cấp quy hoạch và không vượt ngưỡng chịu tải hạ tầng, trong khuôn khổ quy chuẩn và quy định hồ sơ hiện hành? Bài báo đề xuất một khung khái niệm cập nhật động (live update) cho quy hoạch đô thị và nông thôn dựa trên dữ liệu, gắn với các quy định về không gian, hệ số sử dụng đất và chỉ tiêu liên quan của QCVN 01:2026/BXD. Về phạm vi, bài báo tập trung vào dữ liệu chức năng và công trình; hạ tầng kỹ thuật chỉ là đầu vào đối chiếu, không đi vào dự báo nhu cầu hạ tầng. Mục tiêu là xây dựng khung khái niệm và mô hình quan hệ dữ liệu, làm cơ sở cho các nghiên cứu về thử nghiệm và đánh giá định lượng tiếp theo.

2. TỔNG QUAN VỀ QUY HOẠCH KHÔNG GIAN DỰA TRÊN DỮ LIỆU

Hướng nghiên cứu liên quan gần nhất với cập nhật động là GIS tương tác động và bản sao số đô thị (UDT) với mô hình số thành phố được cập nhật theo thời gian để mô phỏng và thảo luận kịch bản phát triển [7, 8]. Tuy nhiên, phần lớn hệ thống dừng ở trực quan hóa, cập nhật theo chu kỳ, và ràng buộc quy hoạch chỉ mang tính tham khảo, chưa gắn bắt buộc với phê duyệt [9, 10]. Zurich là ví dụ tiêu biểu (Hình 1): dữ liệu ba chiều công trình, cây xanh được số hóa, cập nhật và công khai để các bên xác định kịch bản phát triển đô thị.

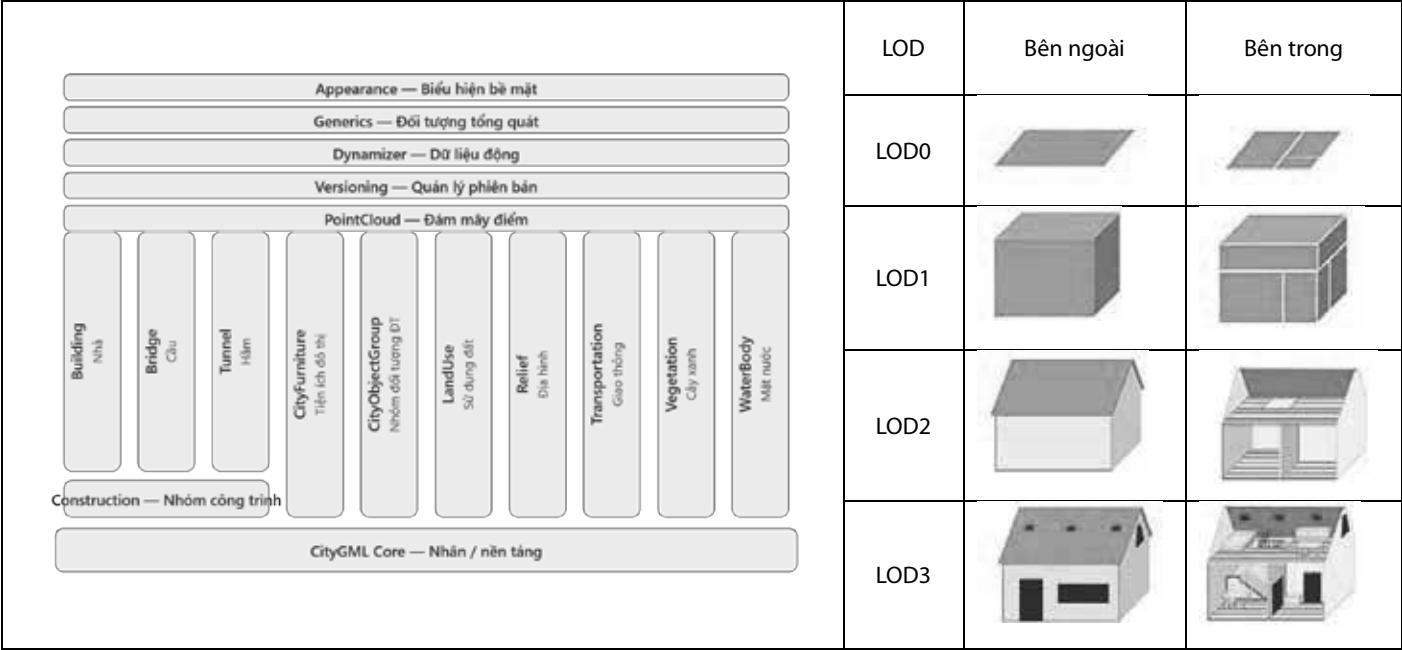
Một hướng khác là kiểm tra tuân thủ tự động của quy hoạch (Automated Compliance Checking - ACC), chuyển điều khoản pháp lý thành quy tắc mà máy tính có thể kiểm tra được để đối chiếu. Hướng này được nghiên cứu từ năm 2009 [11], tổng kết

gần đây [12], với một nhánh tập trung bóc tách yêu cầu từ văn bản quy phạm [13]. Nhiều nghiên cứu ghép BIM với GIS để kiểm tra ở cấp thửa đất [14]. Tuy nhiên, ACC dừng chủ yếu ở hình học và phân vùng của bản thân lô đất. Công cụ này trả lời tốt câu hỏi công trình có đúng chỉ tiêu của lô không, nhưng chưa trả lời được liệu nhiều thay đổi cộng lại có làm quá tải hạ tầng khu vực, hay một thay đổi cấp dưới có phá vỡ ngưỡng cấp trên hay không.



Hình 1. Bản sao số đô thị (UDT) được triển khai tại thành phố Zurich. Nguồn: ESRI

Mặt khác, công cụ đánh giá sức chịu tải đô thị (UCCAS) xác định mật độ phát triển theo năng lực hạ tầng hiện hữu, tích hợp bảy nhóm yếu tố gắn trùng với hạ tầng mà QCVN 01:2026/BXD điều chỉnh [15]; ở quy mô lớn hơn có khung “đánh giá kép” làm tiền đề cho quy hoạch không gian [16]. Hạn chế chung: các mô hình này mang tính đánh giá tĩnh, tổng hợp, không ở cấp lô đất và tách rời quy trình lập - thẩm định. Về chuẩn hóa dữ liệu, mô hình LADM (ISO 19152) biểu diễn cấu trúc phân cấp quy hoạch, với hệ đơn vị quy hoạch - khối quy hoạch tương ứng khá sát chuỗi lô đất - ô phố - khu đất của Việt Nam và hỗ trợ yếu tố phiên bản [18, 19]. CityGML cung cấp mô hình ba chiều gắn hình học - thuộc tính - ngữ nghĩa cho công trình, với các mức chi tiết từ LOD0 đến LOD4 [17], là nền tảng cho dự thảo thông tư về CSDL bản đồ 3D của Bộ Nông nghiệp và Môi trường (Hình 2).



Hình 2. Kiến trúc của chuẩn dữ liệu đô thị CityGML 3.0 và các mức độ chi tiết công trình (LOD). Nguồn: www.ogc.org

Tại Việt Nam, xây dựng hệ thống thông tin và CSDL quốc gia về quy hoạch đã thành nhiệm vụ cấp quốc gia [1, 2]. Thông tư 16/2025/TT-BXD quy định chi tiết CSDL quy hoạch đô thị và nông thôn, với cả lớp quan hệ phân cấp (phân khu, phân ô, chức năng sử dụng đất) và lớp phân vùng phục vụ hạ tầng (lưu vực, cấp nước, cấp điện, điểm đầu nối), cùng mã hồ sơ có yếu tố phiên bản [3]. Dự thảo thông tư về CSDL bản đồ 3D (LoD0, LoD1) của Bộ Nông nghiệp và Môi trường dựa trên CityGML, quy định mô hình phân cấp cha - con

cho công trình [4]. Như vậy, khung pháp quy hiện hành đã cung cấp nền tảng của một hệ dữ liệu quy hoạch số: lược đồ lớp dữ liệu, cấu trúc phân cấp, mã định danh có yếu tố phiên bản, và các lớp phân vùng phục vụ hạ tầng. Tuy nhiên các văn bản này chỉ định hướng chuẩn hóa, đóng gói và lưu trữ hồ sơ đã phê duyệt, chưa quy định cơ chế cập nhật động và kiểm soát ràng buộc khi dữ liệu thay đổi. Đây là phần còn thiếu mà nghiên cứu hướng tới.

Bảng 1. Bảng tổng hợp xác định các khoảng trống nghiên cứu liên quan

Hướng nghiên cứu và khung pháp lý liên quan	Các nhóm vấn đề liên quan đến quy hoạch không gian dựa trên dữ liệu				
	Cập nhật động, phân chia lô đất	Đồng bộ giữa các cấp QH	Sức chịu tải hạ tầng	Kiểm ràng buộc quy chuẩn (tự động)	Tách lớp dữ liệu – pháp lý
GIS động & bản sao số [7 - 10]	Cập nhật theo chu kỳ	Không đối chiếu liên cấp	Mô phỏng, không theo lưu vực	Quy chuẩn chỉ tham chiếu	Không tách lớp pháp lý
Kiểm tuân thủ tự động (ACC) [11 - 14]	Kiểm theo hồ sơ, chưa liên tục	Chỉ xét lô, không cộng dồn	Không đựng tải hạ tầng	Đã chuyển thành công cụ kiểm tra tự động	Không phân lớp
Sức chịu tải đô thị [15, 16]	Đánh giá một lần	Ngưỡng tổng, chưa phân bổ	Tổng hợp, không theo lưu vực	Không gắn điều khoản	Ngoài quy trình pháp lý
Chuẩn dữ liệu LADM/CityGML [17 - 20]	Có dữ liệu động, chưa gắn kiểm tra	Có phân cấp, chưa thành ràng buộc	Không mô hình tải/năng lực	Không kiểm quy chuẩn	Có tạo phiên bản, chưa định ranh giới
Quy định về CSDL của Việt Nam (TT16/dự thảo thông tư về bản đồ 3D) [1 - 4]	Có mã phiên bản, cấu trúc cha-con	Có lớp phân khu/ô, chưa đối chiếu	Có lớp lưu vực, chưa tính tải	Chưa mã hóa ngưỡng	Tách hồ sơ pháp lý, chưa định ngưỡng

Tổng quan cho thấy các hướng nghiên cứu và khung pháp quy liên quan còn tách rời, chưa hướng nào phủ đủ năm tiêu chí (Bảng 1). Khoảng trống trọng tâm là chưa có khung khái niệm hợp nhất: cập nhật dữ liệu ở cấp lô đất, đối chiếu chỉ tiêu giữa các cấp quy hoạch, kiểm soát sức chịu tải hạ tầng theo lưu vực phục vụ, và gắn với ràng buộc quy chuẩn cùng ranh giới pháp lý của quy hoạch đã duyệt. Phần tiếp theo đề xuất một khung khái niệm cập nhật động, cụ thể hóa qua QCVN 01:2026/BXD và tương thích với Thông tư 16/2025/TT-BXD cùng mô hình 3D theo CityGML.

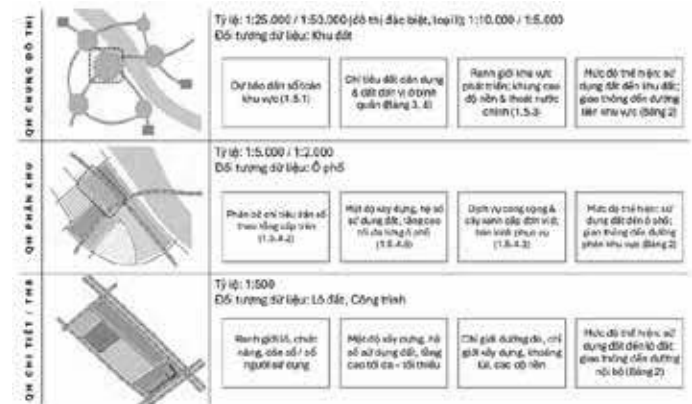
3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Bài viết dùng cách tiếp cận nghiên cứu lý luận theo hướng xây dựng khung khái niệm, không kiểm nghiệm thực nghiệm nhằm đề xuất mô hình mới và chứng minh tính nhất quán, khả thi về logic trên nền quy định hiện hành. Một khung khái niệm được đánh giá theo tính đầy đủ, tính nhất quán nội tại, và tính khả thi triển khai. Quy trình nghiên cứu được thực hiện qua bốn bước nối tiếp, trong đó đầu ra của mỗi bước là đầu vào của bước sau.

i. Xác định khoảng trống dữ liệu, quy trình lập - thẩm định - phê duyệt: hệ thống hóa các hướng nghiên cứu và khung pháp quy liên quan, đối chiếu theo tiêu chí phản ánh đúng yêu cầu bài toán là cập nhật ở cấp lô đất, đối chiếu chỉ tiêu liên cấp, sức chịu tải hạ tầng, kiểm tra ràng buộc tự động, và tách trạng thái dữ liệu - pháp lý.

ii. Chuyển đổi các quy định kỹ thuật trong quy chuẩn thành dữ liệu: phân tích QCVN 01:2026/BXD để chuyển nội dung quy chuẩn thành dạng có thể mô hình hóa, tách thành ba nhóm: (i) đối tượng không gian và quan hệ phân cấp, tương ứng chuỗi khu đất - ô phố - lô đất; (ii) chỉ tiêu và ngưỡng kiểm soát (mật độ xây dựng, hệ số sử dụng đất, tầng cao, khoảng lùi, đất dịch vụ công cộng, cây xanh,

ngưỡng hạ tầng); và (iii) điều khoản ràng buộc liên cấp và điều kiện điều chỉnh.



Hình 3. Chuyển đổi các quy định của QCVN 01:2026/BXD theo 3 cấp độ quy hoạch.

Nguồn: Tác giả

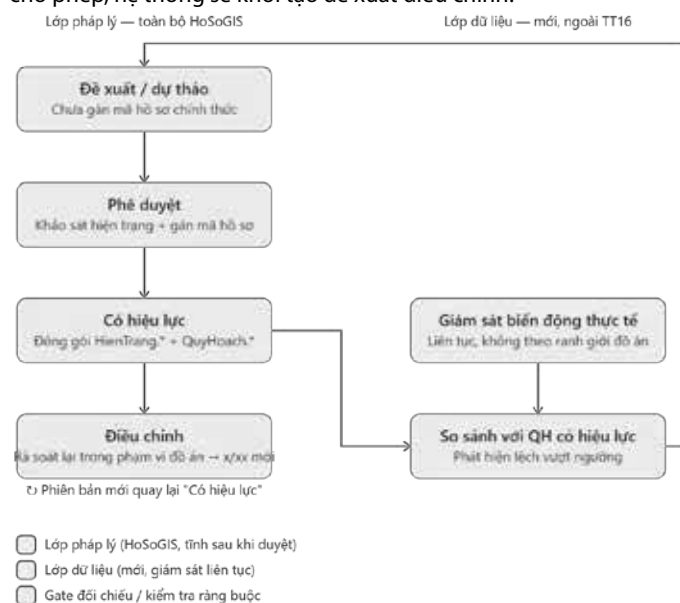
iii. Mô hình hóa quan hệ dữ liệu: xây dựng mô hình quan hệ giữa các đối tượng quy hoạch, phân biệt hai loại quan hệ song song: quan hệ chứa theo cấp quy hoạch (ngưỡng dân số, chỉ tiêu sử dụng đất) và quan hệ phục vụ theo lưu vực hạ tầng (khả năng chịu tải, đối chiếu năng lực). Mô hình đối chiếu với cấu trúc dữ liệu của Thông tư 16/2025/TT-BXD và các khái niệm tương ứng trong LADM, CityGML.

ix. Xây dựng khung cập nhật động và cơ chế kiểm tra: tổng hợp các kết quả thành khung đề xuất, bao gồm kiến trúc hai lớp dữ liệu/pháp lý, quy trình hình thành dữ liệu, và vòng kiểm tra ràng buộc kích hoạt mỗi khi có cập nhật, minh họa qua QCVN 01:2026/BXD.

4. ĐỀ XUẤT KHUNG KHÁI NIỆM CẬP NHẬT ĐỘNG CHO QUY HOẠCH ĐÔ THỊ VÀ NÔNG THÔN DỰA TRÊN DỮ LIỆU

4.1. Kiến trúc cập nhật thông tin quy hoạch giữa lớp dữ liệu thực và hồ sơ GIS của đồ án quy hoạch

Thành phần đầu tiên của khung đề xuất là phân tách mỗi đối tượng quy hoạch thành hai lớp trạng thái song song: lớp dữ liệu, phản ánh biến động phát triển thực tế, và lớp pháp lý, ghi nhận nội dung đã phê duyệt nhằm khắc phục tình trạng lẫn lộn giữa thông tin tham khảo và thông tin có giá trị pháp lý ở các nền tảng tra cứu hiện nay (Mục 1). Đối chiếu Phụ lục II Thông tư 16/2025/TT-BXD cho thấy CSDL địa lý HoSoGIS gồm nhóm dữ liệu hiện trạng (HienTrang.*) và quy hoạch (QuyHoach.*) được đóng gói tại thời điểm phê duyệt và gắn với mã hồ sơ (maHoSoQH) duy nhất [3], mã hóa lần điều chỉnh tổng thể và cục bộ để xác lập phiên bản. Tuy nhiên, dữ liệu hiện trạng chỉ khảo sát một lần trước khi lập đồ án, không phải luồng giám sát liên tục. Toàn bộ HoSoGIS thuộc lớp pháp lý; khung pháp quy hiện hành chưa có lớp dữ liệu sống nào. Trên cơ sở đó, bài viết đề xuất một lớp dữ liệu mới, vận hành độc lập với chu kỳ phê duyệt đồ án, hình thành từ các nguồn giám sát biến động thường xuyên như dữ liệu địa chính về tách - hợp thửa, giấy phép xây dựng đã cấp và dữ liệu viễn thám định kỳ. Mỗi bản ghi mang định danh tạm thời, tách biệt với maHoSoQH, và chỉ chuyển thành một phần của lớp pháp lý khi được tiếp nhận vào một đồ án điều chỉnh và hoàn tất phê duyệt. Quan hệ giữa hai lớp được thiết lập qua cơ chế đối chiếu định kỳ (Hình 4). Khi độ lệch vượt ngưỡng cho phép, hệ thống sẽ khởi tạo đề xuất điều chỉnh.



Hình 4. Đề xuất kiến trúc cập nhật thông tin quy hoạch giữa lớp dữ liệu thực và hồ sơ GIS của đồ án quy hoạch

4.2. Cơ chế kế thừa - chia tách và phân bổ chỉ tiêu giữa các cấp quy hoạch

Thành phần thứ hai mô hình hóa quan hệ ràng buộc theo chiều dọc giữa ba cấp quy hoạch. Theo QCVN 01:2026/BXD, dự báo dân số chỉ thực hiện ở cấp quy hoạch chung, còn quy hoạch phân khu và chi tiết phải cụ thể hóa và phân bổ lại chỉ tiêu này (1.5.1; 1.5.4.2). Khi chuyển giữa các cấp, mỗi khu đất có thể được giữ nguyên, chia tách một phần hoặc toàn bộ thành các ô phố ở cấp dưới; phần đã chia tách không còn hiệu lực pháp lý và được thay thế bởi các đối tượng hình thành sau chia tách, gắn trực tiếp với kiến trúc phiên bản ở Mục 4.1. Trên cơ sở đó, khung đề xuất mô hình hóa quan hệ liên cấp thành hai quy tắc kiểm tra tự động:

i. Quy tắc thứ nhất: không được chia vượt phần được giao. Tổng dân số phân bổ cho các ô phố con không được lớn hơn dân số khu đất cha, và tương tự khi chia ô phố thành các lô đất theo yêu cầu tại 1.5.5.2 và 1.5.5.4 rằng cấp dưới phải đối chiếu và không vượt chỉ tiêu của cấp trên.

$$\sum P(\text{ô phố con}) \leq P(\text{khu đất cha})$$

$$\sum P(\text{lô đất}) \leq P(\text{ô phố})$$

ii. Quy tắc thứ hai: bảo đảm chỉ tiêu đất dịch vụ công cộng và cây xanh theo dân số của từng lô đất. Diện tích đất dịch vụ công cộng và cây xanh của mỗi đơn vị phải đạt tối thiểu bằng dân số nhân chỉ tiêu bình quân theo quy chuẩn (cây xanh công cộng cấp khu vực tối thiểu 5 m²/người; dịch vụ công cộng cấp đơn vị ở theo Bảng 6 của QCVN 01:2021/BXD):

$$\text{Diện tích dịch vụ} \geq \text{Dân số} \times \text{Chỉ tiêu bình quân}$$

Hai quy tắc trên chạy một chiều từ trên xuống, nhưng quy chuẩn còn đòi hỏi chiều ngược lại: khi một lô đất thay đổi, phải kiểm tra lại tác động lên cả phân khu. Tiêu biểu là quy định về xen cây công trình, chỉ được tăng hệ số sử dụng đất của một lô nếu chứng minh chỉ tiêu chung của cả phân khu (dân số, nhu cầu hạ tầng, chức năng đất) vẫn không vượt mức cho phép (2.6.1.11). Điều này có nghĩa là thay đổi ở một lô phải được cộng dồn ngược lên đơn vị chứa nó rồi kiểm tra lại, chẳng hạn mật độ xây dựng gộp của cả khu:

$$\text{Mật độ xây dựng gộp} = \frac{\text{Tổng diện tích chiếm đất}}{\text{Diện tích khu}} \leq 60\% (\text{khu dân cư} - 2.5.4.1).$$

Cả ba phép kiểm tra vừa nêu (ngưỡng dân số, chỉ tiêu tối thiểu đất dịch vụ và đối chiếu ngược khi xen cây) đều cộng dồn theo quan hệ chứa của quy hoạch, tức chuỗi khu đất - ô phố - lô đất, vì quy chuẩn gắn các chỉ tiêu này với dân số và bán kính phục vụ của từng đơn vị ở. Chúng là đầu vào cho các cổng kiểm tra. Riêng tài hệ thống hạ tầng kỹ thuật lại phải cộng dồn theo một phân vùng độc lập, thường không trùng ranh giới ô phố và cấu trúc tầng bậc của quy hoạch chức năng.

4.3. Cơ chế kiểm tra ràng buộc khi có điều chỉnh, cập nhật quy hoạch

Nghiên cứu đề xuất cơ chế chuyển các ràng buộc rời rạc thành một quy trình kiểm tra tự động, chạy mỗi khi có thay đổi ở lớp dữ liệu được phê duyệt. Nguyên tắc là mỗi cập nhật phải lần lượt vượt qua ba cổng kiểm tra mới được ghi nhận; các cổng sắp xếp theo độ phức tạp tính toán tăng dần, và quá trình dừng ngay tại cổng đầu tiên không đạt, giúp phần lớn vi phạm được phát hiện sớm mà không phải thực hiện những phép tính phức tạp phía sau.

i. Cổng thứ nhất kiểm tra ràng buộc trong phạm vi từng lô đất: những chỉ tiêu có thể xác định đúng sai chỉ bằng dữ liệu của chính lô đó so với QCVN 01:2026/BXD, bao gồm mật độ xây dựng, hệ số sử dụng đất, khoảng lùi và tầng cao, với các ngưỡng tại Bảng 7, Bảng 8, Bảng 9 và điểm 2.5.3.5.

ii. Cổng thứ hai kiểm tra sự phù hợp giữa các cấp quy hoạch: đòi hỏi cộng dồn các lô đất lên đơn vị chứa chúng theo quan hệ cha - con, gồm hai điều kiện: ngưỡng dân số tính theo tổng dân số phân bổ cho các đơn vị con không vượt chỉ tiêu của đơn vị cha; và chỉ tiêu tối thiểu về dịch vụ, theo đó diện tích đất cây xanh và dịch vụ công cộng phải đạt tối thiểu theo dân số.

iii. Cổng thứ ba kiểm tra khả năng chịu tải của hệ thống hạ tầng kỹ thuật: tải phát sinh không cộng dồn theo ranh giới ô phố mà theo lưu vực phục vụ của từng loại hạ tầng. Cách phân chia này độc lập với quan hệ quy hoạch.

Về cơ chế phản hồi (Hình 5), khi một cổng không đạt, hệ thống phát thông báo nêu rõ đối tượng không đạt yêu cầu, chỉ tiêu bị vượt và mức chênh lệch, cung cấp thông tin cần thiết để điều chỉnh. Phát sinh ở cổng thứ nhất: điều chỉnh trực tiếp thông số của lô (giảm tầng cao, mật độ). Phát sinh ở cổng thứ hai hoặc ba: bổ sung chỉ tiêu còn

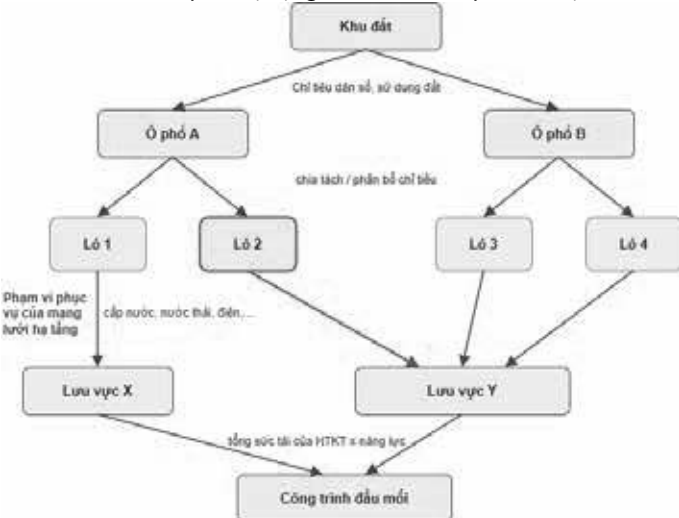
thiếu (thêm quỹ đất dịch vụ, nâng năng lực hạ tầng), hoặc điều chỉnh chỉ tiêu phân bổ ở cấp trên rồi chạy lại vòng kiểm tra. Chỉ khi cả ba cổng cùng đạt, cập nhật mới được ghi vào lớp pháp lý và sinh phiên bản mới (tăng mã điều chỉnh trong maHoSoQH). Các tiêu chí định tính như hài hòa kiến trúc, cảnh quan, bản sắc (1.5.5.6) thuộc phạm vi thẩm định của người quản lý, nằm ngoài phần tự động hóa; khung đề xuất chỉ đảm nhận phần kiểm tra định lượng vốn dễ bị bỏ sót khi làm thủ công.



Hình 5. Đề xuất cơ chế kiểm tra ràng buộc khi có điều chỉnh, cập nhật quy hoạch

4.4. Mô hình hai cây quan hệ: ranh giới quy hoạch và ranh giới phục vụ hạ tầng

Khung đề xuất do đó đặt trên cùng một tập lô đất hai cấu trúc quan hệ song song: cây chứa theo cấp quy hoạch (khu đất chứa ô phố, ô phố chứa lô đất; cộng dồn dân số và chỉ tiêu sử dụng đất), và cây phục vụ theo lưu vực hạ tầng (mỗi lô đất quy về lưu vực cấp nước, thoát nước thải, phân vùng cấp điện, rồi về công trình đầu mối: cộng dồn tải và đối chiếu năng lực). Một lô đất vì vậy thuộc đồng thời hai cây, và vị trí trong hai cây này nói chung không trùng nhau. Cấu trúc CSDL GIS đã có sẵn các lớp: PhanKhuQuyHoach_A và PhanOQuyHoach_A thể hiện cây chứa; PhanVungCapNuoc_A, PhanVungLuuVuc_A, PhanVungCapDien_A cùng DiemDauNoi_P, NutTinhToanTNT_P thể hiện cây phục vụ (Thông tư 16/2025/TT-BXD, Phụ lục II). Khung đề xuất không tạo mới cấu trúc dữ liệu mà chỉ hình thức hóa quan hệ cộng dồn trên các lớp đã tồn tại.



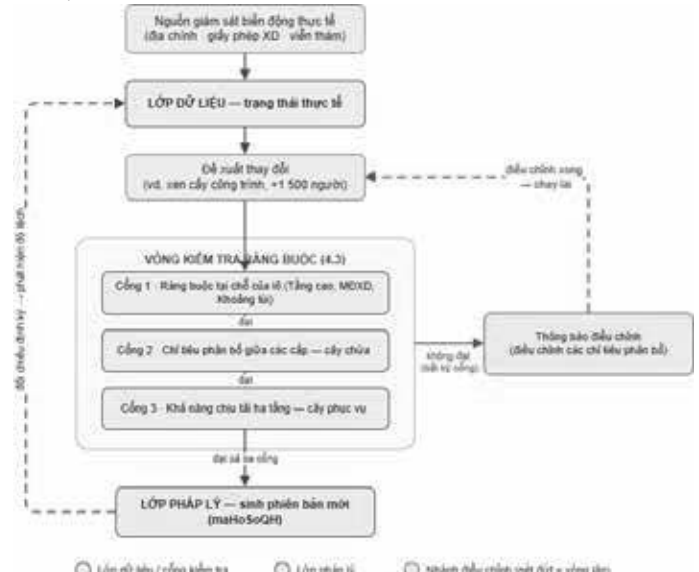
Hình 6. Mô hình phân bổ các chỉ tiêu quy hoạch dựa trên ranh giới quy hoạch và ranh giới phục vụ hạ tầng

4.5. Khung cập nhật động dữ liệu quy hoạch đô thị và nông thôn cho trường hợp giả định điển hình

Nghiên cứu giả định một phân khu thuộc khu vực hiện hữu, trong đó một đơn vị ở đang được quy hoạch cho 18.000 người, hiện đạt đúng mức tối thiểu về đất dịch vụ: 9 ha cây xanh công cộng ($18.000 \times 5 \text{ m}^2/\text{người}$, theo 2.4.3) và 3,6 ha dịch vụ công cộng ($18.000 \times 2 \text{ m}^2/\text{người}$). Nay một chủ đầu tư xin xen cấy một lô chung cư mới, làm tăng hệ số sử dụng đất cục bộ và thêm khoảng 1.500 người.

Quy trình như Hình 7, khởi đầu ở lớp dữ liệu như các nguồn giám sát biến động như dữ liệu địa chính, giấy phép xây dựng, ảnh viễn thám ghi nhận công trình mới xen cấy vào lô đất hiện hữu, làm tăng hệ số sử dụng đất và thêm khoảng 1.500 người. Bản ghi này chưa có giá trị pháp lý và được gửi vào vòng kiểm tra. Cổng thứ nhất kiểm tra thông số của lô (mật độ, hệ số sử dụng đất, tầng cao) và giả định đạt. Cổng thứ hai đối chiếu chỉ tiêu theo cây chứa: vì khu vực đang ở đúng mức tối thiểu về dịch vụ, dân số tăng thêm gây thiếu hụt cây xanh và đất dịch vụ và báo không đạt. Nếu phần thiếu đã được bù, kiểm tra xem 1.500 người tăng thêm có làm vượt năng lực công trình đầu mối cấp nước, thoát nước thải hay không. Chỉ khi cả ba cổng cùng đạt, cập nhật mới được ghi vào lớp pháp lý và sinh phiên bản mới (tăng mã điều chỉnh trong maHoSoQH); ngược lại, mỗi cổng không đạt phát thông báo chẩn đoán để chỉnh sửa và chạy lại vòng kiểm tra.

Kép vòng, lớp pháp lý vừa cập nhật lại trở thành mốc đối chiếu mới cho lớp dữ liệu: mọi biến động thực tế phát sinh sau đó tiếp tục được so với trạng thái pháp lý hiện hành, và khi độ lệch vượt ngưỡng, một chu trình cập nhật mới lại bắt đầu. Nhờ vậy, dữ liệu quy hoạch không còn là ảnh chụp tĩnh tại thời điểm phê duyệt mà trở thành dữ liệu sống được kiểm soát liên tục theo đúng ràng buộc của QCVN 01:2026/BXD.



Hình 7. Đề xuất khung cập nhật động dữ liệu quy hoạch đô thị và nông thôn

5. BÀN LUẬN KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Đóng góp của bài viết không nằm ở từng thành phần riêng lẻ như kiểm tra chỉ tiêu quy hoạch, đánh giá sức chịu tải, chuẩn hóa dữ liệu đầu đã có nghiên cứu tiền lệ, mà ở việc hợp nhất chúng thành một khung khái niệm vận hành được, gắn với những chỉ tiêu quy chuẩn và CSDL GIS quy hoạch. Ba điểm mới của nghiên cứu là: tách biệt trạng thái dữ liệu và pháp lý; hình thức hóa đối chiếu chỉ tiêu

liên cấp thành bất đẳng thức kiểm tra tự động; và phân biệt hai cách cộng dồn không trùng nhau theo quan hệ chứa của quy hoạch và theo lưu vực phục vụ hạ tầng.

Đối với hồ sơ GIS theo Thông tư 16/2025/TT-BXD, CSDL hiện hành đã có gần đủ các lớp cần thiết: quan hệ phân cấp (PhanKhuQuyHoach_A, PhanOQuyHoach_A), phân vùng phục vụ hạ tầng (PhanVungCapNuoc_A, PhanVungLuuVuc_A), và mã hồ sơ (maHoSoQH) có yếu tố phiên bản. Để áp dụng khung đề xuất, cần bổ sung ba yếu tố: một lớp dữ liệu “trạng thái/đề xuất” tách khỏi hồ sơ đã duyệt; trường thuộc tính lưu chỉ tiêu định lượng ở cấp đối tượng để tính toán cộng dồn được; và quan hệ tương minh giữa lô đất với đơn vị chứa và lưu vực phục vụ. Đề xuất này chỉ là bổ sung ở tầng cấu trúc, không đòi hỏi đổi toàn bộ CSDL.

Việc triển khai đòi hỏi phân công trách nhiệm giữa các cơ quan quản lý nhà nước cũng như các bên liên quan. Bộ Xây dựng ban hành chuẩn dữ liệu, quy tắc kiểm tra và cập nhật lược đồ. Sở Xây dựng vận hành hệ thống cấp tỉnh, quản lý mã hồ sơ và phiên bản điều chỉnh. Phòng Kinh tế - Hạ tầng cấp phường, xã cập nhật biến động thực tế qua giấy phép xây dựng, tách thửa. Đây là mất xích quyết định để dữ liệu cập nhật liên tục. Hội đồng thẩm định quy hoạch xây dựng dùng kết quả các cổng kiểm tra tự động làm đầu vào khách quan, đồng thời đảm nhận thẩm định định tính (kiến trúc, cảnh quan, bản sắc); đơn vị tư vấn chịu trách nhiệm nhập đúng chỉ tiêu và chứng minh phù hợp khi điều chỉnh. Khung không thay thế vai trò thẩm định của người quản lý mà chuẩn hóa phần kiểm tra định lượng để bị bỏ sót khi làm thủ công.

Về hạn chế, nghiên cứu mới dừng ở khung khái niệm và mô hình quan hệ dữ liệu, chưa kiểm nghiệm thực địa hay đánh giá định lượng hiệu quả, chi phí triển khai. Khung tập trung vào chỉ tiêu định lượng cộng dồn được; yêu cầu định tính nằm ngoài phạm vi tự động hóa. Tính toán tải hạ tầng từ dân số qua chỉ tiêu bình quân cũng là giản lược so với mô hình thủy lực hay lưới điện chi tiết. Hướng tiếp theo đề xuất sẽ thử nghiệm trên khu vực cụ thể với dữ liệu thật, xây dựng công cụ nguyên mẫu, và mở rộng mô hình lưu vực phục vụ sát thực tế vận hành hơn.

6. KẾT LUẬN

Chuyển đổi số trong lĩnh vực quy hoạch đô thị và nông thôn đã và đang tạo ra khối lượng lớn dữ liệu không gian được số hóa, nhưng phần lớn vẫn dừng ở lưu trữ hồ sơ đã phê duyệt dưới dạng số, chưa thành dữ liệu sống được cập nhật và ràng buộc chặt với quy chuẩn. Khoảng trống nằm ở cơ chế cập nhật động và kiểm soát ràng buộc khi dữ liệu thay đổi. Để lấp khoảng trống đó, bài viết đề xuất khung khái niệm cập nhật động gồm bốn thành phần: kiến trúc hai lớp dữ liệu - pháp lý; cơ chế kế thừa - chia tách và đối chiếu chỉ tiêu liên cấp; vòng kiểm tra ba cổng kích hoạt mỗi khi có cập nhật; và mô hình hai cây “chứa - phục vụ” kiểm soát khả năng chịu tải hạ tầng theo lưu vực. Bốn thành phần hợp thành một quy trình khép kín: mỗi thay đổi cục bộ phải vượt qua các cổng kiểm tra trước khi được ghi nhận giá trị pháp lý, và trạng thái pháp lý mới lại trở thành mốc đối chiếu cho biến động tiếp theo. Khung đề xuất được cụ thể hóa qua QCVN 01:2026/BXD và tương thích với CSDL tại Thông tư 16/2025/TT-BXD, mở khả năng triển khai trên nền hạ tầng dữ liệu hiện hành. Trong khuôn khổ một nghiên cứu lý luận, khung mới dừng ở mức khái niệm; thử nghiệm thực địa, xây dựng công cụ nguyên mẫu và đánh giá định lượng hiệu quả triển khai là bước tiếp theo cần thiết.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Thủ tướng Chính phủ. Đề án xây dựng, quản lý Hệ thống thông tin và CSDL quốc gia về quy hoạch, Quyết định số 06/QĐ-TTg, 02/01/2025.

[2] Chính phủ. Quy định về CSDL quốc gia về hoạt động xây dựng, Nghị định số 111/2024/NĐ-CP, 06/9/2024.

[3] Bộ Xây dựng. Quy định chi tiết về CSDL quy hoạch đô thị và nông thôn, Thông tư số 16/2025/TT-BXD, Phụ lục II, 2025.

[4] Bộ Nông nghiệp và Môi trường. Quy định kỹ thuật về CSDL bản đồ 3D mức chi tiết LoD0 và LoD1. Dự thảo Thông tư, 2026.

[5] Bộ Xây dựng. Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về quy hoạch đô thị và nông thôn. QCVN 01:2026/BXD, 2026.

[6] Bộ Xây dựng. Công văn 1247/BXD-PTĐT hướng dẫn tổ chức thiết lập Hệ thống CSDL đô thị liên thông trên nền GIS phục vụ phát triển đô thị, 14/4/2022.

[7] C. Weil, S. E. Bibri, R. Longchamp, F. Golay and A. Alahi. Urban digital twin challenges: A systematic review and perspectives for sustainable smart cities. *Sustainable Cities and Society*, vol. 99, art. no. 104862, 2023.

[8] G. Schrotter and C. Hürzeler. The digital twin of the city of Zurich for urban planning. *PFG - Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*, vol. 88, pp. 99-112, 2020.

[9] A. Afif Supianto, W. Nasar, D. Margrethe Aspen, A. Hasan, A. S. T. Karlsen, and R. D. S. Torres, "An urban digital twin framework for reference and planning," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 152444-152465, 2024.

[10] M. Alvi, H. Dutta, R. Minerva, N. Crespi, S. M. Raza, and M. Herath. Global perspectives on digital twin smart cities: Innovations, challenges and pathways to a sustainable urban future. *Sustainable Cities and Society*, vol. 126, art. no. 106356, 2025, doi: 10.1016/j.scs.2025.106356.

[11] C. Eastman, J.-M. Lee, Y.-S. Jeong, and J.-K. Lee. Automatic rule-based checking of building designs. *Automation in Construction*, vol. 18, no. 8, pp. 1011-1033, 2009.

[12] R. Amor and J. Dimyadi. The promise of automated compliance checkin. *Developments in the Built Environment*, vol. 5, art. no. 100039, 2021.

[13] J. Zhang and N. M. El-Gohary. Semantic NLP-based information extraction from construction regulatory documents for automated compliance checking. *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 30, no. 2, art. no. 04015014, 2016.

[14] Y. Demir Altıntaş and M. E. İlal. Loose coupling of GIS and BIM data models for automated compliance checking against zoning codes. *Automation in Construction*, vol. 128, art. no. 103743, 2021.

[15] K. Oh, Y. Jeong, D. Lee, W. Lee and J. Choi. Determining development density using the Urban Carrying Capacity Assessment System. *Landscape and Urban Planning*, vol. 73, no. 1, pp. 1-15, 2005.

[16] Ministry of Natural Resources of China. Guidelines for the Evaluation of Resource and Environmental Carrying Capacity and Territorial Space Development Suitability ("Double Evaluation"). Beijing, China: MNR, 2020.

[17] G. Gröger and L. Plümer. CityGML - Interoperable semantic 3D city models. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 71, pp. 12-33, 2012.

[18] Geographic Information - Land Administration Domain Model (LADM) - Part 5: Spatial Plan Information. ISO 19152-5:2025. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2025.

[19] Geographic Information - Land Administration Domain Model (LADM). ISO 19152:2012. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2012.

[20] United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). Spatial Planning: Key Instrument for Development and Effective Governance. Geneva, Switzerland: UNECE, 2008.

Nghiên cứu mô hình TOD đối với các tuyến đường sắt đô thị tại TP Hà Nội

Studying on the tod model for urban railway lines in Hanoi

> PGS.TS NGUYỄN THỊ HỒNG HẠNH^{1,*}, PGS.TS PHẠM VĂN HÙNG²

¹Trường Đại học Giao thông vận tải

²Đại học Kinh tế quốc dân

*Email: hanhnth@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu mô hình phát triển đô thị theo định hướng giao thông công cộng (TOD) gắn với mạng lưới đường sắt đô thị Hà Nội. Trên cơ sở tổng hợp lý luận về các cấp độ phát triển TOD và phân tích kinh nghiệm tại Nhật Bản, Trung Quốc, nghiên cứu xác định những yêu cầu vận dụng phù hợp với điều kiện của Thủ đô Hà Nội.

Từ khóa: Phát triển đô thị theo định hướng giao thông công cộng (TOD); đường sắt đô thị; quy hoạch sử dụng đất; kết nối giao thông; TP Hà Nội.

ABSTRACT

This paper examines the Transit-Oriented Development (TOD) model in the context of Hanoi's urban railway network. Based on a synthesis of theories regarding TOD development levels and an analysis of experiences from Japan and China, the study identifies requirements for its appropriate application to the specific conditions of the capital city, Hanoi.

Keywords: Transit-Oriented Development (TOD); urban rail; land-use planning; transport connectivity; Hanoi City.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Quá trình đô thị hóa nhanh đang đặt Hà Nội trước sức ép ngày càng lớn về ùn tắc giao thông, ô nhiễm môi trường, mở rộng không gian đô thị và sử dụng đất thiếu hiệu quả. Mạng lưới đường sắt đô thị được quy hoạch với quy mô lớn có khả năng không chỉ nâng cao năng lực vận tải hành khách công cộng mà còn tái cấu trúc sự phân bố dân cư, việc làm và dịch vụ của Thủ đô. Tuy nhiên, nếu đầu tư đường sắt tách rời quy hoạch sử dụng đất, tổ chức không gian và kết nối trung chuyển, hiệu quả khai thác tuyến cũng như giá trị gia tăng từ đất đai quanh ga sẽ khó được phát huy đầy đủ. Phát triển đô thị theo định hướng giao thông công cộng (Transit-Oriented Development - TOD) vì vậy là cách tiếp cận cần thiết nhằm tích hợp nhà ga với khu dân cư, thương mại, dịch vụ và không gian công cộng trong phạm vi tiếp cận thuận lợi. Kinh nghiệm tại Nhật Bản và Trung Quốc cho thấy TOD có thể tạo nguồn hành khách ổn định, giảm phụ thuộc vào phương tiện cá nhân và hỗ trợ huy động nguồn lực đầu tư hạ tầng. Luật Đường sắt số 95/2025/QH15 đã tạo cơ sở pháp lý quan trọng cho việc triển khai các dự án đô thị theo mô hình TOD. Trên cơ sở đó, bài báo phân tích kinh nghiệm quốc tế, điều kiện thực tiễn và đề xuất mô hình TOD phù hợp với mạng lưới đường sắt đô thị Hà Nội.

2. MÔ HÌNH TOD (Transit Oriented Development)

2.1. Mô hình TOD

Khái niệm TOD lần đầu tiên bắt nguồn từ Hoa Kỳ. Năm 1993, nhà thiết kế kiến trúc và đô thị người Mỹ Peter Calthorpe lần đầu tiên đề cập đến khái niệm TOD (Phát triển theo định hướng giao thông) trong cuốn sách "Thế hệ tiếp theo của các khu vực đô thị Mỹ: Sinh thái, Cộng đồng và Giấc mơ Mỹ" [6].

Mô hình TOD là mô hình phát triển đô thị tập trung vào việc phát triển các khu vực xung quanh hệ thống giao thông công cộng. Mô hình này đã từng bước được nâng cấp và phát triển qua các giai đoạn từ TOD 1.0 đến TOD 5.0

- TOD phiên bản 1.0:

Thời đại của nhà ga đường sắt trong các thành phố. Kể từ thế kỷ trước, vận tải đường sắt đã dần trở nên phổ biến, điều này đã làm tăng đáng kể hiệu quả vận chuyển đô thị và hình thành hình thức chính của chế độ TOD, đó là TOD 1.0.

- TOD phiên bản 2.0:

Ý tưởng kết hợp thương mại và vận tải, hệ thống các trung tâm mua sắm ngầm và hệ thống sân ga dành cho người đi bộ hai tầng đã được hình thành trong khu ga.

- TOD phiên bản 3.0:

Tích hợp nhà ga - thành phố, tổng hợp chức năng ban đầu. Ga Shibuya ở Nhật Bản là đại diện tiêu biểu, việc xây dựng đường sắt đã hình thành một cấu trúc phát triển chung với xây dựng đô thị và phát triển bất động sản, để hiện thực hóa mô hình TOD 3.0 tối đa hóa giá trị kinh tế và xã hội, đó là "mô hình tích hợp nhà ga-thành phố".

- TOD phiên bản 4.0:

Sự tích hợp của thành phố nhà ga và khu dân cư thương mại để xây dựng một siêu đô thị ba chiều. TOD 4.0 là một khái niệm nhảy vọt, được thúc đẩy bởi "nhu cầu của con người", trên cơ sở thỏa mãn nhu cầu đi lại bằng đường sắt, dịch vụ công cộng và tiêu thụ vật chất, nó tích hợp việc chăm sóc hành vi hàng ngày của người dân, kết hợp cảnh quan thiên nhiên địa phương và nghệ thuật với đặc điểm riêng của thành phố để tạo ra một nơi có nét quyến rũ độc đáo, đó là tạo thành một "nhà ga-thành phố và hội nhập con người".

- TOD phiên bản 5.0:

TOD phiên bản 5.0 là mô hình cao cấp toàn diện về đường sắt tốc độ cao + tàu điện ngầm + công nghiệp + kinh doanh + thành phố + cư trú + con người. Nó mô tả "lý thuyết phát triển" mới nhất của đô thị - làm thế nào để xây dựng một cuộc sống ba chiều trong



Hình 1. Mô hình TOD các phiên bản từ TOD 1.0 đến TOD 5.0

Nguồn: <https://zhuanlan.zhihu.com>.

2.2. Các mô hình TOD điển hình

2.2.1. TOD ở Nhật Bản

Nhật Bản là quốc gia đã đưa TOD đến mức điển hình và trở thành mục tiêu của nhiều quốc gia noi theo. Chỉ riêng 23 khu vực thuộc Tokyo có 42 tuyến đường sắt tổng chiều dài 2.246 km, với lưu lượng hành khách trung bình hàng ngày là hơn 16 triệu hành khách.

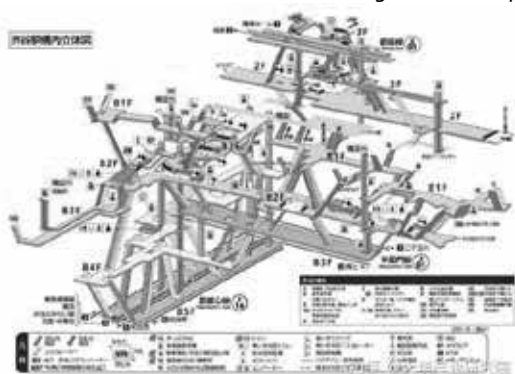
- Ga Shibuya, đô thị TOD lớn nhất Tokyo:

Tọa lạc tại Shibuya-ku, Tokyo, Ga Shibuya là một trong những trung tâm giao thông công cộng lớn của Tokyo thuộc Công ty Đường sắt Đông Nhật Bản, Tokyo Metro, Đường sắt điện khí hóa Tokyo Kyuko và Đường sắt Điện khí hóa Keio. Khu vực phát triển hỗn hợp Ga Shibuya là đô thị TOD lớn nhất Tokyo.



Hình 2. Ga Shibuya, Tokyo

Nguồn: www.nippon.com.



Hình 3. Bố trí bên trong của Ga Shibuya

Nguồn: <https://zhuanlan.zhihu.com>.

- Ga Shinjuku, một trong những trung tâm giao thông bận rộn nhất thế giới:

một thành phố hiệu quả, theo xu hướng do con người dẫn dắt của thời đại, đồng thời tận hưởng vẻ đẹp của thiên nhiên, nghệ thuật và sự tiện nghi.



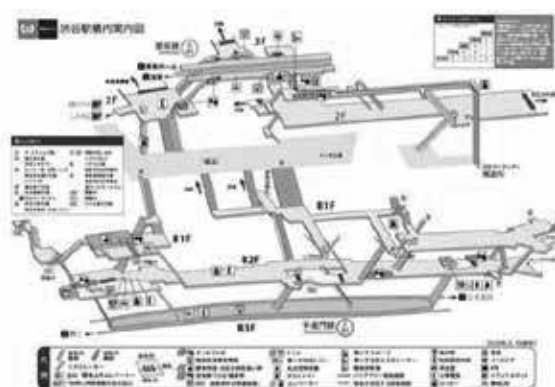
Trong số rất nhiều dự án TOD ở Nhật Bản, khu thương mại trải dài xung quanh Ga Shinjuku là một trong những dự án tiêu biểu nhất. Ga Shinjuku là một trong những trung tâm giao thông bận rộn nhất trên thế giới, được đặc trưng bởi số lượng lớn các tuyến, bao gồm 7 tuyến chính và 8 nhà ga, có tới 200 lối ra kết nối nhà ga, lưu lượng hàng ngày là 3,4 triệu hành khách.

Nhà ga cũng được kết nối thuận tiện với các trung tâm mua sắm và cửa hàng tiện ích trên mặt đất và có các lối đi ngầm kết nối với nhà ga với các tòa nhà thương mại ở phía Đông và phía Tây của nhà ga. Sân ga thương mại ở tầng hầm một là sân ga xương sống kết nối các doanh nghiệp và các cửa hàng thương mại xung quanh.



Hình 4. Shinjuku Station, Tokyo

Nguồn: www.alamy.com.



Hình 5. Bố trí bên trong của Ga Shinjuku

Nguồn: <https://zhuanlan.zhihu.com>.

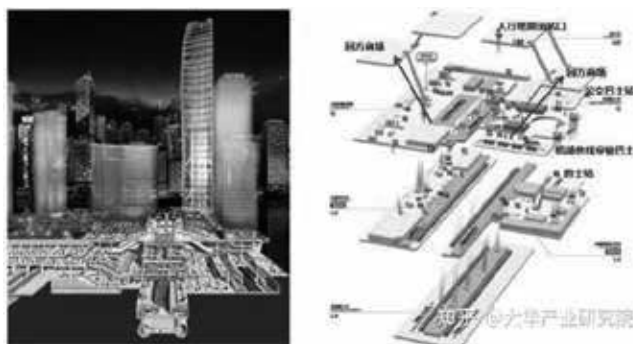
2.2.2. TOD ở Trung Quốc

TOD tại Ga Cửu Long ở Hồng Kông có diện tích 13,54 ha, với diện tích xây dựng hơn 1 triệu m², 5.809 căn hộ ở, 72.472 m² căn hộ dịch

vụ, 231.778 m² tòa nhà văn phòng, 82.750 m² trung tâm mua sắm và 5.400 chỗ đậu xe được tập hợp trên khu đất rộng 13,54 ha này.

Ngoài trung tâm xe buýt và tàu điện ngầm Hồng Kông, nó còn gần ga trung tâm của Đường sắt cao tốc Tây Cửu Long - Thâm Quyển - Hồng Kông và đã trở thành TOD cấp trung tâm ảnh hưởng đến mô hình phát triển của toàn bộ khu vực đô thị Quảng Đông - Hồng Kông - Macao.

Do sự phân chia chức năng phức tạp của toàn bộ dự án, việc tăng cường kết nối giữa mỗi cá nhân sẽ được xem xét đầy đủ trong thiết kế tổng thể TOD, với các tòa nhà trong vòng 200 m được kết nối bằng các công viên sân ga và trong vòng 200 - 500 m được kết nối bằng cầu đi bộ.



Hình 6. Bố trí của Ga Cửu Long, Hồng Kông

Nguồn: Báo cáo nghiên cứu TOD của Savills.

3. MÔ HÌNH TOD ĐỐI VỚI CÁC TUYẾN ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ TẠI TP HÀ NỘI

3.1. Sự cần thiết phát triển TOD gắn với mạng lưới đường sắt đô thị Hà Nội

Hà Nội đang đồng thời đối mặt với yêu cầu nâng cao năng lực vận tải hành khách công cộng, kiểm soát mở rộng không gian đô thị và khai thác hiệu quả nguồn lực đất đai. Sự gia tăng dân số và phương tiện cơ giới cá nhân cùng quá trình phát triển đô thị theo chiều rộng đã làm gia tăng ùn tắc, ô nhiễm môi trường, chi phí đi lại và sự mất cân đối giữa phân bố dân cư, việc làm với năng lực hạ tầng. Thực trạng này cho thấy mô hình phát triển phụ thuộc vào phương tiện cá nhân không còn phù hợp với mục tiêu phát triển bền vững của Thủ đô.

Mạng lưới đường sắt đô thị Hà Nội được định hướng phát triển với quy mô trên 600 km, kết nối khu vực trung tâm với các đô thị vệ tinh. Khi được đầu tư đồng bộ, mạng lưới này không chỉ đáp ứng nhu cầu vận tải mà còn có khả năng tái cấu trúc không gian đô thị. Do đó, đường sắt đô thị cần được xác định là trục phát triển, thay vì chỉ là công trình giao thông độc lập.

Phát triển đô thị theo định hướng giao thông công cộng (TOD) cho phép tích hợp quy hoạch sử dụng đất, tổ chức không gian và vận tải công cộng sức chở lớn; tập trung dân cư, việc làm và dịch vụ trong phạm vi tiếp cận nhà ga. Mô hình này tạo quan hệ tương hỗ giữa gia tăng khả năng tiếp cận, giá trị đất đai với hình thành nguồn hành khách và nguồn lực tài chính cho đường sắt. Luật Đường sắt số 95/2025/QH15 đã tạo cơ sở pháp lý để Hà Nội quy hoạch đồng bộ tuyến đường sắt, nhà ga, quỹ đất và các dự án đô thị trong vùng ảnh hưởng.

3.2. Cấu trúc không gian TOD phù hợp với Hà Nội

Mô hình TOD đối với các tuyến đường sắt đô thị Hà Nội cần được tổ chức theo cấu trúc đa cấp, phù hợp với vị trí, chức năng của từng ga và điều kiện phát triển của từng khu vực. Không nên áp dụng một mô hình giống nhau cho toàn bộ mạng lưới, bởi ga trung tâm,

ga trung chuyển, ga khu dân cư hiện hữu và ga thuộc khu đô thị mới có quy mô thị trường, khả năng tiếp cận và quỹ đất rất khác nhau.

Xét theo phạm vi tác động, không gian TOD có thể được phân thành ba cấp. Cấp thứ nhất là khu vực tại nhà ga và ngay xung quanh nhà ga. Đây là không gian lõi, nơi tập trung hoạt động lên xuống tàu, chuyển đổi phương thức, đón trả khách và cung cấp các dịch vụ trực tiếp cho hành khách. Khu vực này cần bố trí quảng trường ga, đường dành cho người đi bộ, điểm dừng xe buýt, điểm đón trả taxi, xe hợp đồng, bãi đỗ xe đạp và các công trình thương mại - dịch vụ quy mô phù hợp. Việc tổ chức giao thông phải giảm xung đột giữa người đi bộ với phương tiện cơ giới, đồng thời bảo đảm khả năng tiếp cận cho người cao tuổi, trẻ em và người khuyết tật.

Cấp thứ hai là khu vực trong phạm vi đi bộ khoảng 500 - 800 m tính từ nhà ga, tương ứng với thời gian đi bộ khoảng 5 - 10 phút tùy thuộc điều kiện địa hình và chất lượng không gian đường phố. Đây là phạm vi trọng tâm của quy hoạch TOD. Trong khu vực này cần khuyến khích sử dụng đất hỗn hợp, tăng mật độ dân cư và việc làm có kiểm soát, bố trí đan xen nhà ở, văn phòng, thương mại, giáo dục, y tế, văn hóa và không gian xanh. Cường độ xây dựng có thể cao hơn tại khu vực gần ga và giảm dần về phía ranh giới TOD. Tuy nhiên, tăng mật độ phải đi kèm với nâng cao năng lực hạ tầng kỹ thuật, hạ tầng xã hội và chất lượng không gian công cộng, tránh tình trạng chỉ gia tăng hệ số sử dụng đất để phát triển bất động sản.

Cấp thứ ba là vùng phục vụ mở rộng từ khoảng 3 - 5 km hoặc xa hơn, được kết nối với nhà ga bằng xe buýt gom khách, phương tiện giao thông điện cỡ nhỏ và các hình thức trung chuyển khác. Cấp không gian này đặc biệt quan trọng trong giai đoạn mạng lưới đường sắt đô thị Hà Nội chưa hoàn chỉnh. Việc tổ chức các tuyến xe buýt gom khách, vé liên thông và thông tin hành trình thống nhất có thể mở rộng đáng kể phạm vi phục vụ của nhà ga, qua đó nâng cao sản lượng vận tải và hiệu quả khai thác tuyến đường sắt.

Ở cấp độ mạng lưới đô thị, các khu TOD của Hà Nội có thể được phân thành bốn nhóm chủ yếu. Thứ nhất là TOD trung tâm đô thị, áp dụng tại các ga nằm trong khu vực nội đô có mật độ cao, nơi ưu tiên tái thiết đô thị, bổ sung không gian công cộng và hạn chế phương tiện cá nhân. Thứ hai là TOD đầu mối trung chuyển, hình thành tại nơi giao cắt từ hai tuyến đường sắt trở lên hoặc giữa đường sắt đô thị với đường sắt quốc gia, xe buýt và các phương thức vận tải khác. Thứ ba là TOD khu vực, được phát triển tại trung tâm các quận, khu đô thị hoặc các cực việc làm lớn. Thứ tư là TOD đô thị mới tại khu vực vành đai, ngoại thành và các đô thị vệ tinh, nơi còn quỹ đất để tổ chức đồng bộ nhà ga, khu dân cư, thương mại, dịch vụ và hệ thống hạ tầng.

3.3. Mô hình tổ chức chức năng và kết nối giao thông

Trên cơ sở các giai đoạn phát triển TOD từ TOD 1.0 đến TOD 5.0 được tổng hợp trong tài liệu nghiên cứu, mô hình phù hợp đối với phần lớn nhà ga đường sắt đô thị Hà Nội là TOD 3.0 và TOD 4.0. TOD 3.0 nhấn mạnh sự tích hợp giữa nhà ga, đô thị và phát triển bất động sản; TOD 4.0 phát triển cao hơn theo hướng kết hợp nhà ga, khu dân cư, thương mại, dịch vụ, cảnh quan, văn hóa và nhu cầu sinh hoạt hằng ngày của con người. Đối với một số đầu mối lớn có khả năng kết nối đường sắt đô thị, đường sắt quốc gia và các trung tâm kinh tế mới, có thể nghiên cứu các yếu tố của TOD 5.0 theo hướng hình thành tổ hợp giao thông - công nghiệp - thương mại - dịch vụ - nhà ở có quy mô vùng.

Mô hình TOD 2.0, với đặc trưng phát triển thương mại và không gian đi bộ ngầm trong phạm vi nhà ga, có thể gặp khó khăn tại một số ga ngầm của Hà Nội do hạn chế về không gian, chi phí xây dựng và điều kiện địa chất. Tuy nhiên, điều này không có nghĩa là loại bỏ hoàn toàn các chức năng thương mại ngầm. Tùy điều kiện cụ thể,

các ga ngầm vẫn có thể bố trí không gian dịch vụ thiết yếu và các hành lang đi bộ kết nối trực tiếp với công trình lân cận. Điểm quan trọng là không làm giảm năng lực thoát người, an toàn phòng cháy, chữa cháy và chức năng vận tải chủ yếu của nhà ga.

Hệ thống kết nối phải ưu tiên người đi bộ. Các tuyến đường từ khu dân cư, trường học, văn phòng và trung tâm thương mại tới ga cần liên tục, đủ rộng, có chiếu sáng, cây xanh hoặc mái che, có vị trí sang đường an toàn và hạn chế bị lấn chiếm. Tại những khu vực bị chia cắt bởi đường giao thông lớn có thể bố trí cầu đi bộ hoặc lối đi ngầm, nhưng phải bảo đảm khả năng tiếp cận thuận tiện và không tạo thêm quãng đường vòng quá lớn. Các lối vào ga nên được phân bố về nhiều phía nhằm mở rộng vùng tiếp cận thực tế, thay vì chỉ bố trí tại một mặt đường chính.

Quảng trường ga vừa là không gian giao thông, vừa là không gian công cộng của khu vực. Ngoài chức năng phân tán dòng hành khách và chuyển đổi phương thức, quảng trường cần tạo điều kiện cho hoạt động gặp gỡ, nghỉ ngơi, sinh hoạt cộng đồng và nhận diện không gian đô thị. Hoạt động thương mại bán lẻ, dịch vụ ăn uống và tiện ích hàng ngày có thể được bố trí hợp lý quanh quảng trường để tăng sức sống cho khu vực, nhưng không được cản trở dòng hành khách.

Kết nối xe buýt có ý nghĩa quyết định đối với hiệu quả TOD. Mạng lưới xe buýt cần được điều chỉnh theo hướng gom khách cho đường sắt đô thị, hạn chế trùng lặp trên cùng hành lang và bảo đảm khoảng cách chuyển tuyến ngắn. Hệ thống vé điện tử liên thông, thông tin hành trình thời gian thực và biểu đồ chạy xe phối hợp sẽ làm giảm chi phí chuyển đổi phương thức. Tại các ga ngoại vi có vùng phục vụ rộng, có thể bố trí bãi gửi xe - đi tàu (Park and Ride), nhưng tại các ga nội đô cần kiểm soát nghiêm ngặt chỗ đỗ ô tô để tránh thu hút thêm phương tiện cá nhân vào khu vực trung tâm.

3.4. Cơ chế quy hoạch, quản lý đất đai và huy động nguồn lực

Điều kiện tiên quyết để thực hiện TOD là tích hợp quy hoạch đường sắt với quy hoạch sử dụng đất và thiết kế đô thị. Ranh giới khu vực TOD phải được xác định ngay trong quá trình chuẩn bị dự án đường sắt, trên cơ sở khoảng cách tiếp cận thực tế, cấu trúc đường phố, ranh giới ô đất và điều kiện phát triển của địa phương. Đối với mỗi ga, cần lập quy hoạch chi tiết hoặc thiết kế đô thị riêng, quy định rõ chức năng sử dụng đất, mật độ xây dựng, hệ số sử dụng đất, chiều cao công trình, tỷ lệ không gian công cộng, yêu cầu kết nối và lộ trình đầu tư.

Quỹ đất công, đất do di dời cơ sở sản xuất, đất tái thiết và phần không gian trên hoặc dưới công trình giao thông cần được rà soát để tạo nguồn lực cho TOD. Phần giá trị đất đai tăng thêm nhờ đầu tư đường sắt cần được thu hồi hợp lý thông qua đấu giá quyền sử dụng đất, đấu thầu dự án có sử dụng đất, khai thác không gian thương mại nhà ga, cho thuê tài sản kết cấu hạ tầng và các công cụ tài chính phù hợp. Nguồn thu này có thể được tái đầu tư cho xây dựng tuyến đường sắt, hạ tầng kết nối và không gian công cộng.

Kinh nghiệm của mô hình “đường sắt cộng bắt động sản” cho thấy hiệu quả cao nhất đạt được khi đơn vị phát triển đường sắt tham gia từ giai đoạn quy hoạch đất đai, phát triển nhà ga đến khai thác các công trình thương mại. Tuy nhiên, việc áp dụng tại Hà Nội cần bảo đảm công khai, minh bạch và hài hòa lợi ích giữa Nhà nước, nhà đầu tư và cộng đồng. TOD không nên bị đồng nhất với việc dành ưu đãi mật độ cho một dự án bất động sản riêng lẻ, mà phải tạo ra lợi ích công cộng có thể đo lường được, như tăng tỷ lệ sử dụng vận tải công cộng, cải thiện điều kiện đi bộ, bổ sung không gian xanh và giảm nhu cầu đỗ xe.

Một vấn đề cần đặc biệt quan tâm là khả năng tiếp cận nhà ở của các nhóm thu nhập khác nhau. Việc tăng giá đất quanh ga có thể dẫn đến di dời cư dân và hoạt động kinh doanh truyền thống. Vì vậy, quy

hoạch TOD cần dành tỷ lệ phù hợp cho nhà ở xã hội, nhà ở giá hợp lý, cơ sở dịch vụ công và hỗ trợ tái định cư tại chỗ. Đối với khu vực có giá trị lịch sử, kiến trúc và văn hóa, mật độ và hình thức phát triển phải được kiểm soát để không làm suy giảm bản sắc đô thị.

3.5. Định hướng triển khai và đánh giá hiệu quả

Trong giai đoạn đầu, Hà Nội nên lựa chọn thí điểm TOD tại một số ga có điều kiện đại diện: Ga trung chuyển lớn, ga nội đô cần tái thiết, ga thuộc khu đô thị mới và ga ngoại vi có quỹ đất phát triển. Kết quả thí điểm sẽ là cơ sở hoàn thiện tiêu chí quy hoạch, cơ chế tài chính và mô hình quản lý trước khi nhân rộng trên toàn mạng lưới. Đầu tư TOD cần được triển khai đồng thời với xây dựng tuyến đường sắt, tránh để quỹ đất quanh ga bị phát triển manh mún hoặc gia tăng giá trị đầu cơ trước khi quy hoạch được phê duyệt.

Hiệu quả TOD cần được đánh giá bằng hệ thống chỉ tiêu tổng hợp, gồm: Mật độ dân cư và việc làm; mức độ hỗn hợp chức năng; tỷ lệ dân cư tiếp cận ga trong 10 phút đi bộ; chất lượng và tính liên tục của mạng lưới đi bộ; tỷ lệ chuyển đi bằng vận tải công cộng; số lượt chuyển tuyến; mức giảm sử dụng phương tiện cá nhân; tỷ lệ không gian xanh, không gian công cộng; khả năng cung cấp nhà ở giá hợp lý; sản lượng hành khách và nguồn thu từ khai thác quỹ đất. Việc theo dõi định kỳ giúp điều chỉnh quy hoạch và tránh tình trạng phát triển có mật độ cao nhưng không tạo ra sự chuyển đổi hành vi đi lại.

Như vậy, mô hình TOD đối với các tuyến đường sắt đô thị Hà Nội cần được xác lập như một mô hình phát triển đô thị tích hợp, đa trung tâm và lấy con người làm trọng tâm. Việc kết hợp TOD 3.0 và TOD 4.0, tổ chức không gian theo ba cấp ảnh hưởng, phân loại ga theo chức năng và áp dụng cơ chế thu hồi giá trị đất tăng thêm có thể tạo ra sự đồng bộ giữa phát triển giao thông và phát triển đô thị. Nếu được quy hoạch, đầu tư và quản lý thống nhất, TOD sẽ góp phần tăng lượng hành khách đường sắt đô thị, nâng cao hiệu quả sử dụng đất, hình thành các trung tâm đô thị mới, cải thiện môi trường sống và thúc đẩy quá trình phát triển bền vững của Thủ đô Hà Nội.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Giao thông vận tải, Đề tài “Nghiên cứu mô hình TOD đối với các tuyến đường sắt đô thị tại thành phố Hà Nội” mã số T2026-KT-017.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Luật Đường sắt 95/2025/QH15.
- [2] JICA. Dự án nghiên cứu thực hiện phát triển đường sắt đô thị gắn kết với phát triển đô thị ở Hà Nội, Việt Nam (HAIMUD2). Cơ quan hợp tác quốc tế Nhật Bản và UBND thành phố Hà Nội, 2015.
- [3] JICA. Dự án phát triển UMRT gắn kết với phát triển đô thị ở Hà Nội - Nước CHXHCN Việt Nam (HAIMUD1; HAIMUD2). Cơ quan Hợp tác quốc tế Nhật Bản và UBND TP Hà Nội, 2010.
- [4] <https://mrh.hanoi.gov.vn>.
- [5] Arrington, G. B., & Cervero, R. TCRP Report 128: Effects of TOD on Housing, Parking and Travel. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, DC, 3, 2008.
- [6] Peter Calthorpe. The Next Generation of American Metropolitan Areas: Ecology, Community and the American Dream. Publisher: Princeton Architectural Press, 1997 (Edition: 3rd) ISBN-10:1878271687, ISBN-13:978-1878271686. Internet: <https://www.scribd.com/document/438792710/Urban-Design-Principles>.
- [7] Sun Yang, Yao Shimou, Zhang Luo Cheng. Functional structure of spatial flow in the Yangtze River Delta: Analysis of passenger based data for the high speed railway - Progress in Geography, 2016, 35(11): 1381-1387, doi: 10.18306/dlxjz.2016.11.008.
- [8] ZHENG Wensheng, XIONG Yajun, WANG Xiaofang, HUANG Jianwu. High-speed railway access pattern and spatial overlap characteristics of China's urban agglomerations-Acta Geographica Sinica, Transportation and tourism geography, 2023, 78(4): 930-936, doi: 10.11821/dlxz202304010.

Đề xuất định hướng đầu tư hạ tầng giao thông tại TP Hồ Chí Minh theo mô hình đô thị đa trung tâm

Proposed directions for transport infrastructure investment in Ho Chi Minh City under a polycentric urban development model

> PGS.TS TRẦN QUANG PHÚ*, THS NGUYỄN TẤN THÀNH, THS LÊ VĂN DƯƠNG
THS NGUYỄN QUỐC PHIL, THS NGUYỄN TRÍ THỨC

Trường Đại học Giao thông vận tải TP Hồ Chí Minh

*Email: phu.tran@ut.edu.vn

TÓM TẮT

Quá trình chuyển đổi từ mô hình đô thị đơn tâm sang đa trung tâm đang làm thay đổi yêu cầu đối với chiến lược đầu tư hạ tầng giao thông của TP.HCM. Nghiên cứu sử dụng tổng hợp lý thuyết về cấu trúc đô thị và phân tích định hướng quy hoạch để làm rõ mối quan hệ giữa chuyển đổi cấu trúc đô thị và chiến lược đầu tư hạ tầng giao thông. Kết quả cho thấy sự thay đổi cấu trúc đô thị làm dịch chuyển logic đầu tư từ đáp ứng nhu cầu vận tải sang kiến tạo không gian phát triển, tăng cường liên kết vùng và hình thành các động lực tăng trưởng mới. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất định hướng ưu tiên đầu tư các công trình kết nối chiến lược, phát triển giao thông công cộng khối lượng lớn và đổi mới cơ chế huy động nguồn lực nhằm nâng cao hiệu quả đầu tư hạ tầng trong bối cảnh phát triển đô thị đa trung tâm.

Từ khóa: Đô thị đa trung tâm; hạ tầng giao thông; đầu tư hạ tầng; liên kết vùng; TP Hồ Chí Minh; siêu đô thị; TOD.

ABSTRACT

The transition from a monocentric to a polycentric urban

structure is reshaping the requirements for transport infrastructure investment strategies in Ho Chi Minh City. This study synthesizes theories of urban structure and analyzes planning orientations to examine the relationship between urban structural transformation and transport infrastructure investment strategies. The findings indicate that changes in urban structure shift the investment logic from meeting existing transport demand to shaping urban spatial development, strengthening regional connectivity and fostering new growth poles. Based on these findings, the study proposes prioritizing strategic transport connectivity projects, expanding high-capacity public transport systems, and reforming resource mobilization mechanisms to enhance the effectiveness of transport infrastructure investment in the context of polycentric urban development.

Keywords: Polycentric urban structure; transport infrastructure; infrastructure investment; regional connectivity; Ho Chi Minh City; megacity; transit-oriented development (TOD).

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

TP.HCM đang bước vào giai đoạn phát triển mới với định hướng trở thành siêu đô thị có năng lực cạnh tranh khu vực và quốc tế. Theo định hướng Quy hoạch tổng thể TP.HCM thời kỳ 2025 - 2050, tầm nhìn 100 năm, không gian phát triển của Thành phố được mở rộng cả về quy mô lãnh thổ, dân số và chức năng kinh tế, đồng thời chuyển dịch từ mô hình phát triển tập trung sang cấu trúc đô thị đa cực, đa trung tâm và siêu kết nối. Cùng với đó, Nghị quyết số 09-NQ/TW của Bộ Chính trị [1] xác lập yêu cầu đổi mới mô hình tăng trưởng, phát huy vai trò cực tăng trưởng quốc gia và trung tâm liên kết vùng của TP.HCM trong giai đoạn

phát triển mới.

Sự chuyển đổi cấu trúc đô thị làm thay đổi căn bản yêu cầu đối với hệ thống hạ tầng giao thông. Nếu trong mô hình đơn tâm, đầu tư giao thông chủ yếu nhằm tăng cường khả năng tiếp cận khu vực trung tâm và giải quyết các điểm nghẽn vận tải, thì trong mô hình đa trung tâm, hạ tầng giao thông phải đảm nhận vai trò kết nối các cực tăng trưởng, hình thành hành lang kinh tế và dẫn dắt quá trình tái cấu trúc không gian phát triển. Thực tiễn cho thấy tình trạng ùn tắc giao thông, quá tải hạ tầng và mất cân đối không gian phát triển của TP.HCM có nguyên nhân quan trọng từ sự tập trung quá mức các chức năng kinh tế - xã hội vào khu vực trung

tâm, qua đó đặt ra yêu cầu chuyển dịch từ tư duy đầu tư đáp ứng nhu cầu giao thông hiện hữu sang tư duy đầu tư kiến tạo không gian phát triển dài hạn.

Mặc dù đã có nhiều nghiên cứu về quy hoạch đô thị và hạ tầng giao thông, các nghiên cứu xem xét mối quan hệ giữa cấu trúc đô thị và chiến lược đầu tư hạ tầng trong bối cảnh chuyển đổi sang mô hình đa trung tâm vẫn còn hạn chế, đặc biệt đối với các siêu đô thị đang hình thành tại Việt Nam. Trên cơ sở đó, bài báo phân tích lý luận chuyển đổi từ đô thị đơn tâm sang đa trung tâm của TP.HCM và những tác động đối với chiến lược đầu tư hạ tầng giao thông giai đoạn 2025 - 2050. Luận điểm trung tâm của bài báo nhấn mạnh sự chuyển đổi cấu trúc đô thị làm thay đổi căn bản logic phân bổ nguồn lực đầu tư hạ tầng giao thông. Theo đó, hạ tầng không chỉ phục vụ nhu cầu vận tải mà trở thành công cụ kiến tạo không gian phát triển và các động lực tăng trưởng mới của đô thị trong dài hạn.

2. CƠ SỞ LÝ LUẬN VÀ KHUNG PHÂN TÍCH

2.1. Cơ sở lý luận về chuyển đổi cấu trúc đô thị và chiến lược đầu tư hạ tầng giao thông

Đô thị đơn tâm tập trung các hoạt động kinh tế, hành chính và dịch vụ tại khu vực trung tâm, trong khi đô thị đa trung tâm phân bổ các chức năng này vào nhiều cực phát triển được kết nối bởi hệ thống hạ tầng giao thông [2], đây là xu hướng phát triển đô thị quy mô lớn [3]. Khi quy mô đô thị gia tăng, mô hình đơn tâm thường bộc lộ các hạn chế như quá tải hạ tầng, ùn tắc giao thông và mất

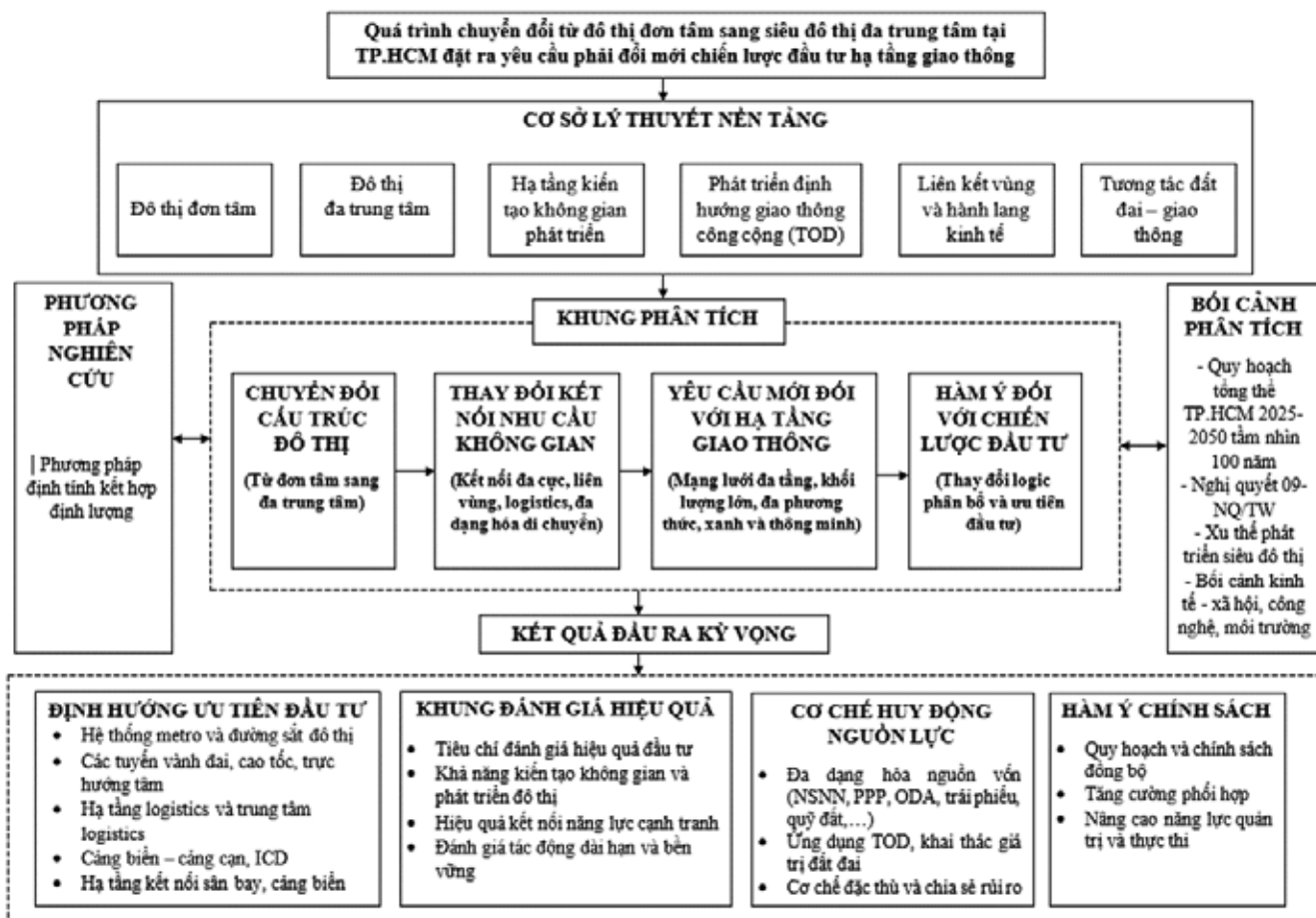
cân đối trong phân bổ nguồn lực, tạo động lực cho quá trình chuyển đổi sang mô hình đa trung tâm [4].

Sự chuyển đổi này không chỉ làm thay đổi cấu trúc không gian đô thị mà còn làm thay đổi nhu cầu kết nối giữa các khu vực chức năng. Nếu trong mô hình đơn tâm, đầu tư hạ tầng chủ yếu hướng tới tăng cường khả năng tiếp cận khu vực trung tâm, thì trong mô hình đa trung tâm, trọng tâm chuyển sang phát triển mạng lưới kết nối giữa các cực tăng trưởng, nâng cao liên kết vùng và hỗ trợ phân bổ lại dân cư, việc làm và các hoạt động kinh tế [5, 6].

Do đó, hạ tầng giao thông không chỉ thực hiện chức năng vận tải mà còn trở thành công cụ tổ chức không gian phát triển. Từ góc độ đầu tư, hiệu quả của hạ tầng cần được đánh giá không chỉ thông qua năng lực lưu thông mà còn ở khả năng thúc đẩy kết nối không gian và hình thành các động lực phát triển mới. Từ đó, nghiên cứu xây dựng khung phân tích về mối quan hệ giữa chuyển đổi cấu trúc đô thị, nhu cầu kết nối không gian và chiến lược đầu tư hạ tầng giao thông.

2.2. Khung phân tích đề xuất

Trên cơ sở tổng hợp lý thuyết, nghiên cứu đề xuất khung phân tích gồm 4 thành tố: (i) Chuyển đổi cấu trúc đô thị; (ii) thay đổi nhu cầu kết nối; (iii) thay đổi yêu cầu đối với hệ thống hạ tầng giao thông; và (iv) thay đổi chiến lược đầu tư (Hình 1). Khung phân tích này được sử dụng làm cơ sở để đánh giá trường hợp TP.HCM trong bối cảnh chuyển đổi sang mô hình đô thị đa trung tâm, đồng thời làm rõ những yêu cầu mới đối với chiến lược đầu tư hạ tầng giao thông giai đoạn 2025 - 2050.



Hình 1. Khung phân tích tác động của quá trình chuyển đổi cấu trúc đô thị đến chiến lược đầu tư hạ tầng giao thông

Nguồn: Tác giả tổng hợp.

3. SỰ CHUYỂN ĐỔI CẤU TRÚC ĐÔ THỊ VÀ NHỮNG YÊU CẦU MỚI ĐỐI VỚI HẠ TẦNG GIAO THÔNG TẠI TP.HCM

3.1. Chuyển đổi cấu trúc đô thị từ đơn tâm sang đa trung tâm

Trong suốt quá trình phát triển đô thị hiện đại, TP.HCM được tổ chức chủ yếu theo mô hình đô thị đơn tâm, với khu vực trung tâm lịch sử giữ vai trò hạt nhân tập trung các chức năng hành chính, tài chính, thương mại và dịch vụ cấp cao. Mô hình này tạo điều kiện tích tụ nguồn lực và thúc đẩy tăng trưởng kinh tế, nhưng đồng thời làm gia tăng sự tập trung không gian của các hoạt động kinh tế - xã hội, khiến các dòng lưu chuyển lao động, hàng hóa và dịch vụ chủ yếu vận động theo hướng tâm, tạo áp lực ngày càng lớn lên hệ thống hạ tầng kỹ thuật và hiệu quả sử dụng không gian đô thị.

Cùng với quá trình đô thị hóa và mở rộng quy mô phát triển, những giới hạn của mô hình đơn tâm ngày càng bộc lộ rõ thông qua tình trạng quá tải hạ tầng, ùn tắc giao thông, chi phí sử dụng đất gia tăng và sự chênh lệch phát triển giữa khu vực trung tâm với vùng ngoại vi [6, 7]. Đây là đặc trưng thường gặp của các đô thị lớn khi quy mô dân số và không gian phát triển vượt quá khả năng điều phối của một trung tâm duy nhất.

Bảng 1. Những thay đổi về quy mô và không gian phát triển của TP.HCM trong quá trình chuyển đổi sang mô hình đô thị đa trung tâm

Chỉ tiêu	TP.HCM trước sáp nhập	TP.HCM sau sáp nhập	Vùng đô thị TP.HCM (phạm vi quy hoạch chiến lược mở rộng)
Diện tích tự nhiên (km ²)	2.095,39	6.772,59	12.401 (bao gồm TP.HCM và 3 tỉnh vệ tinh: Đồng Nai, Tây Ninh, Đồng Tháp)
Dân số (triệu người)	10,38	14,4	18,6 - 20 (toàn vùng kinh tế)
Cấu trúc đơn vị hành chính	22 đơn vị cấp huyện (16 quận, 1 thành phố thuộc thành phố, 5 huyện). Tổng cộng 312 xã/phường/thị trấn.	113 phường, 54 xã và 1 đặc khu	Mạng lưới liên kết vùng gồm 4 cực hành chính cấp tỉnh (trong đó có 2 thành phố trực thuộc Trung ương), kết nối qua các trục hành lang kinh tế quốc gia.
Định hướng phát triển	Đô thị đơn tâm nén, bắt đầu dịch chuyển sang đa trung tâm nội vùng (TP Thủ Đức cũ là cực phía Đông).	Đa cực - đa trung tâm - siêu kết nối	Đa cực - đa trung tâm - siêu kết nối (lấy TP.HCM làm đô thị hạt nhân trung tâm, phát triển các tâm phụ cấp vùng)

Nguồn: Tác giả tổng hợp.

Các chỉ tiêu tại Bảng 1 cho thấy TP.HCM đang bước vào giai đoạn phát triển với quy mô không gian và dân số vượt xa khuôn khổ của mô hình đô thị đơn tâm truyền thống. Việc mở rộng phạm vi lãnh thổ, gia tăng quy mô dân số và tăng cường liên kết vùng [8] tạo ra yêu cầu khách quan phải tái cấu trúc không gian phát triển

theo hướng đa cực, đa trung tâm và siêu kết nối.

Quá trình chuyển đổi này được thúc đẩy bởi các động lực về thể chế và quy hoạch. Nghị quyết số 09-NQ/TW của Bộ Chính trị xác định TP.HCM là cực tăng trưởng quốc gia, trung tâm đổi mới sáng tạo, tài chính, logistics và hội nhập quốc tế [1], trong khi định hướng Quy hoạch tổng thể TP.HCM thời kỳ 2025 - 2050 định hướng tổ chức lại không gian phát triển trên quy mô siêu đô thị, hình thành các trung tâm chức năng có tính chuyên môn hóa cao.

Như vậy, sự chuyển đổi từ mô hình đô thị đơn tâm sang đa trung tâm không chỉ là sự thay đổi về hình thái không gian mà còn là sự thay đổi trong phương thức tổ chức các nguồn lực phát triển. Đây là tiền đề làm thay đổi nhu cầu kết nối không gian và đặt ra những yêu cầu mới đối với chiến lược đầu tư hạ tầng giao thông trong giai đoạn phát triển tiếp theo.

3.2. Thay đổi nhu cầu kết nối không gian và yêu cầu mới đối với hệ thống hạ tầng giao thông

Sự chuyển đổi từ mô hình đô thị đơn tâm sang đa trung tâm làm thay đổi căn bản nhu cầu kết nối trong toàn bộ hệ thống đô thị. Nếu trong mô hình đơn tâm, các dòng lưu chuyển lao động, hàng hóa, dịch vụ và dòng vốn chủ yếu tập trung về khu vực trung tâm, thì trong mô hình đa trung tâm, nhu cầu kết nối được phân bố theo mạng lưới đa hướng giữa các cực tăng trưởng và các trung tâm chức năng [3, 6]. Đối với TP.HCM, định hướng phát triển các cực tăng trưởng như TP Thủ Đức (cũ), Long Thành, Cái Mép - Phú Mỹ và Cần Giờ đã mở rộng phạm vi kết nối từ khu vực nội đô sang toàn vùng đô thị và vùng kinh tế trọng điểm phía Nam. Trong bối cảnh đó, hiệu quả phát triển của từng khu vực không còn phụ thuộc chủ yếu vào khả năng tiếp cận trung tâm mà ngày càng phụ thuộc vào mức độ liên kết và tương tác giữa các cực phát triển trong toàn hệ thống.

Sự thay đổi về nhu cầu kết nối đặt ra yêu cầu tái cấu trúc hệ thống hạ tầng giao thông theo hướng mạng lưới thay cho mô hình hướng tâm truyền thống. Theo đó, trọng tâm đầu tư không còn giới hạn ở việc tăng cường năng lực tiếp cận khu vực trung tâm mà chuyển sang nâng cao khả năng kết nối giữa các cực tăng trưởng, các hành lang kinh tế và các đầu mối logistics thông qua hệ thống giao thông đa phương thức có tính liên kết vùng cao. Đây là điều kiện để bảo đảm sự phân bố hợp lý các hoạt động kinh tế, nâng cao hiệu quả khai thác không gian đô thị và tăng cường năng lực cạnh tranh của toàn vùng đô thị TP.HCM.

Bảng 2. Sự chuyển dịch trọng tâm đầu tư hạ tầng giao thông TP.HCM theo quá trình chuyển đổi từ đô thị đơn tâm sang đa trung tâm

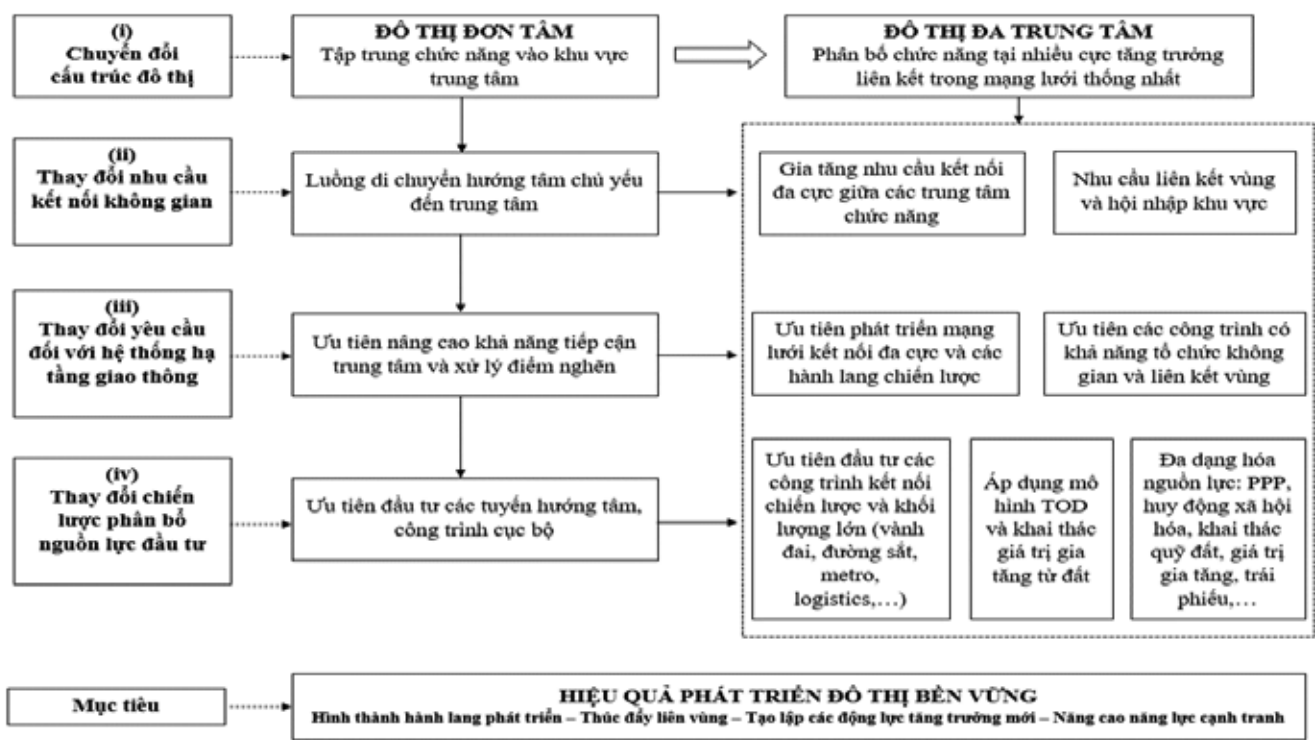
Loại hình đầu tư	Trước 2010	2011 - 2020	2021 - 2030	Định hướng 2030 - 2050
Đường hướng tâm	✓✓✓	✓✓	✓	
Đường vành đai		✓	✓✓✓	✓✓✓
Cao tốc liên vùng	✓	✓✓	✓✓✓	✓✓✓
Metro		✓	✓✓✓	✓✓✓
TOD			✓	✓✓✓
Đường sắt vùng			✓	✓✓✓
Trung tâm trung chuyển			✓	✓✓✓

Ghi chú: ✓ = mức độ ưu tiên thấp; ✓✓ = trung bình; ✓✓✓ = ưu tiên cao.

Bảng 2 cho thấy trọng tâm đầu tư hạ tầng giao thông đã chuyển từ các tuyến hướng tâm sang phát triển mạng lưới kết nối đa cực, trong đó các dự án đường vành đai, cao tốc liên vùng, metro, TOD, đường sắt vùng và các trung tâm trung chuyển ngày càng giữ vai trò chủ đạo. Sự chuyển dịch này phản ánh quá trình chuyển từ tư duy đầu tư đáp ứng nhu cầu giao thông sang đầu tư kiến tạo cấu trúc không gian phát triển, đồng thời đặt ra yêu cầu điều chỉnh tiêu chí đánh giá hiệu quả đầu tư theo hướng coi trọng khả năng kết nối không gian và tạo lập động lực phát triển đô thị.

4. HÀM Ý ĐỀ XUẤT ĐỐI VỚI CHIẾN LƯỢC ĐẦU TƯ HẠ TẦNG GIAO THÔNG

Kết quả nghiên cứu cho thấy sự chuyển đổi từ mô hình đô thị đơn tâm sang đa trung tâm không chỉ làm thay đổi nhu cầu kết nối không gian mà còn làm thay đổi căn bản logic đầu tư hạ tầng giao thông. Trong bối cảnh đó, chiến lược đầu tư cần chuyển từ mục tiêu đáp ứng nhu cầu vận tải hiện hữu sang kiến tạo cấu trúc không gian phát triển. Theo logic này, các hàm ý đối với chiến lược đầu tư hạ tầng giao thông của TP.HCM được tổng hợp trong Hình 2.



Hình 2. Mô hình đề xuất về chuyển đổi chiến lược đầu tư hạ tầng giao thông trong bối cảnh phát triển đô thị đa trung tâm

Hình 2 đã khái quát mối quan hệ giữa chuyển đổi cấu trúc đô thị, thay đổi nhu cầu kết nối, yêu cầu mới đối với hệ thống hạ tầng giao thông và định hướng điều chỉnh chiến lược đầu tư. Theo đó, ưu tiên đầu tư cần tập trung vào các công trình có khả năng tăng cường kết nối giữa các cực tăng trưởng và hình thành mạng lưới giao thông đa cực, thay vì tiếp tục ưu tiên các công trình chỉ nhằm cải thiện khả năng tiếp cận khu vực trung tâm.

Bảng 3. Một số dự án hạ tầng giao thông chiến lược hỗ trợ hình thành cấu trúc đô thị đa trung tâm TP.HCM giai đoạn 2025 - 2035

Tên dự án	Quy mô	Tổng mức đầu tư phê duyệt/ đề xuất (tỷ VND)	Vai trò trong mô hình đa trung tâm
Đường Vành đai 3 TP.HCM	76,3 km	75.378	Liên kết các cực tăng trưởng; giảm áp lực khu vực lõi
Đường Vành đai 4 TP.HCM	206,7 km	120.400	Liên kết vùng; kết nối khu công nghiệp, cảng biển và sân bay
Tuyến metro số 1 (Bến Thành - Suối Tiên)	19,7 km	43.757	Trục xuyên tâm kết nối Trung tâm và Cực phía Đông; thúc đẩy TOD

Đề án phát triển đường sắt đô thị (Hệ thống ưu tiên đến 2035 - Kết luận số 49-KL/TW của Bộ Chính trị)	≈183 km đến năm 2035	871.200	Mạng lưới giao thông công cộng nòng cốt của đô thị đa trung tâm
Cao tốc TP.HCM - Thủ Dầu Một - Chơn Thành	70 km	17.408	Kết nối vùng công nghiệp phía Bắc; mở rộng không gian phát triển
Cảng hàng không quốc tế Long Thành	Giai đoạn 1: 25 triệu hành khách/năm	109.112	Cửa ngõ hàng không quốc tế; động lực phát triển phía Đông
Tuyến đường sắt Thủ Thiêm - Long Thành	47,7 km	175.000	Kết nối Thủ Thiêm với Long Thành; tăng cường liên kết vùng

Các dự án trong Bảng 3 phản ánh xu hướng chuyển dịch này. Trọng tâm đầu tư được chuyển sang các hành lang kết nối chiến lược, hệ thống giao thông khối lượng lớn và hạ tầng của ngõ vùng, qua đó tạo lập các động lực phát triển mới và nâng cao khả năng liên kết không gian của toàn vùng đô thị.

Bên cạnh việc điều chỉnh danh mục ưu tiên, tiêu chí đánh giá hiệu quả đầu tư cũng cần được mở rộng từ các chỉ tiêu vận tải truyền thống sang đánh giá khả năng tạo lập giá trị phát triển, bao gồm mức độ tăng cường liên kết vùng, hình thành các cực tăng trưởng và hiệu ứng lan tỏa đối với phát triển đô thị. Đồng thời, để hiện thực hóa chiến lược đầu tư trong điều kiện nguồn lực ngân sách còn hạn chế, cần đa dạng hóa cơ chế huy động vốn thông qua PPP, phát triển đô thị định hướng giao thông công cộng (TOD) và khai thác giá trị gia tăng từ đất nhằm hình thành nguồn lực tái đầu tư cho hệ thống hạ tầng giao thông [9].

5. KẾT LUẬN

Quá trình chuyển đổi từ mô hình đô thị đơn tâm sang đa trung tâm đang làm thay đổi cấu trúc không gian phát triển và nhu cầu kết nối của TP.HCM. Trên cơ sở khung phân tích đề xuất, nghiên cứu cho thấy sự thay đổi này kéo theo những yêu cầu mới đối với hệ thống hạ tầng giao thông và chiến lược phân bổ nguồn lực đầu tư. Theo đó, hạ tầng giao thông không chỉ thực hiện chức năng vận tải mà còn trở thành công cụ tổ chức không gian phát triển và tăng cường liên kết vùng. Từ kết quả nghiên cứu, bài báo đề xuất định hướng chuyển từ tư duy đầu tư đáp ứng nhu cầu giao thông hiện hữu sang đầu tư kiến tạo không gian phát triển, ưu tiên các công trình kết nối chiến lược, đồng thời đổi mới tiêu chí đánh giá hiệu quả đầu tư và cơ chế huy động nguồn lực thông qua PPP, TOD và khai thác giá trị gia tăng từ đất nhằm nâng cao hiệu quả đầu tư và phát triển đô thị bền vững.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bộ Chính trị. Nghị quyết số 09-NQ/TW về xây dựng và phát triển TP Hồ Chí Minh trong kỷ nguyên mới, Hà Nội, Văn phòng Trung ương Đảng, 2025.
- [2] Alonso, William. Location and Land Use: Toward a General Theory of Land Rent. Cambridge, Harvard University Press, 1964.
- [3] Hall, Peter; Pain, Kathy. The Polycentric Metropolis: Learning from Mega-City Regions in Europe, London, Earthscan, 2006.
- [4] Cervero, Robert. The Transit Metropolis: A Global Inquiry. Washington D.C., Island Press, 1997.
- [5] OECD. Impact of Transport Infrastructure Investment on Regional Development.

Paris, Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), 2002.

[6] Wegener, Michael. Overview of Land Use Transport Models, in Handbook of Transport Geography and Spatial Systems, Amsterdam, Elsevier, pp. 127-146. 2004.

[7] Muth, Richard F. Cities and Housing: The Spatial Pattern of Urban Residential Land Use, Chicago and London. The University of Chicago Press, 1969.

[8] Quốc hội Nước Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam. Nghị quyết số 202/2025/QH15 về việc sắp xếp đơn vị hành chính cấp tỉnh, Hà Nội, 2025.

[9] Quốc hội Nước Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam. Nghị quyết số 260/2025/QH15 sửa đổi, bổ sung một số điều của Nghị quyết số 98/2023/QH15 về thí điểm một số cơ chế, chính sách đặc thù phát triển TP Hồ Chí Minh, Hà Nội, 2025.

Phương pháp quy hoạch kịch bản thích ứng sử dụng dữ liệu động trong tái phát triển khu chung cư cũ ở Hà Nội

A dynamic data-driven adaptive scenario planning method for the redevelopment of old apartment complexes in Hanoi

> **THS.NCS LÊ NGỌC HẢI^{1,*}, TS TRẦN XUÂN HIẾU¹, TS LÊ MINH KHUÊ¹, TS VƯƠNG XUÂN CẦN²**

¹Nhóm chuyên môn Quy hoạch, Khoa Kiến trúc và Quy hoạch, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

²Trường Đại học Giao thông vận tải

*Email: ngochai.arc@gmail.com

TÓM TẮT

Bài báo này đề xuất phương pháp quy hoạch thích ứng sử dụng dữ liệu động cho tái phát triển khu chung cư cũ ở Hà Nội, nhằm xử lý sự không tương thích giữa dữ liệu lập quy hoạch và các biến động kinh tế, xã hội, chính sách trong quá trình triển khai. Nội dung chính tập trung vào cơ chế hỗ trợ ra quyết định kết hợp quy hoạch kịch bản với dữ liệu cập nhật, gồm: (i) Field Anomaly Relaxation (FAR) để tạo và sàng lọc kịch bản; (ii) chỉ số biến động ΔI và trọng số W_i để lượng hóa thay đổi dữ liệu; và (iii) ma trận chỉ báo kịch bản (SIM) cùng chỉ số biến động tổng hợp (DCI) để giám sát và xác định thời điểm cần rà soát. Phương pháp được kiểm chứng tại khu chung cư cũ Thanh Xuân Bắc, Hà Nội. Từ 1.024 tổ hợp ban đầu, quá trình sàng lọc và phân cụm xác định bốn nhóm kịch bản đại diện; trong đó K3 được ưu tiên và cho kết quả không gian tương đồng với phương án PA02. Kết quả cho thấy, phương pháp không thay thế trình tự pháp lý hoặc tự động điều chỉnh đồ án đã phê duyệt, mà bổ sung lớp phản hồi có cấu trúc để chuyển biến động dữ liệu thành tín hiệu rà soát quyết định. Cách tiếp cận này góp phần tăng tính minh bạch, khả năng giải trình và khả năng thích ứng trong tái phát triển khu chung cư cũ.

Từ khóa: Quy hoạch thích ứng; dữ liệu động; quy hoạch kịch bản; khu chung cư cũ; tái phát triển đô thị; Hà Nội.

ABSTRACT

This paper proposes an adaptive planning method using dynamic data for the redevelopment of old apartment complexes in Hanoi, addressing the mismatch between planning-stage data and subsequent economic, social, and policy changes during implementation. The study focuses on a decision-support mechanism that integrates scenario planning with updated data, including: (i) Field Anomaly Relaxation (FAR) to generate and screen scenarios; (ii) the change index ΔI and weights W_i to quantify data variations; and (iii) the Scenario Indicator Matrix (SIM) and Dynamic Change Index (DCI) to monitor conditions and identify when a scenario should be reviewed. The method is tested at the Thanh Xuan Bac old apartment complex in Hanoi. From 1,024 initial combinations, the screening and clustering process identifies four representative scenario groups, with K3 ranked as the preferred scenario and producing a spatial outcome comparable to planning alternative PA02. The findings indicate that the method does not replace statutory procedures or automatically modify an approved plan; instead, it adds a structured feedback layer that translates dynamic data changes into signals for reviewing planning decisions. This approach contributes to greater transparency, accountability, and adaptive capacity in old apartment redevelopment.

Keywords: Adaptive planning; dynamic data; scenario planning; old apartment complexes; urban redevelopment; Hanoi.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tái phát triển các khu chung cư cũ tại Hà Nội là một bài toán quy hoạch đô thị phức hợp, chịu tác động đồng thời của các yếu tố kinh tế, xã hội, chính sách, môi trường và lợi ích của nhiều bên liên quan. Quá trình từ khảo sát, lập quy hoạch đến tổ chức thực hiện thường

kéo dài, trong khi giá đất, chi phí xây dựng, nhu cầu tái định cư, mức độ đồng thuận của cư dân và các quy định quản lý có thể thay đổi đáng kể. Vì vậy, dữ liệu và giả định phù hợp tại thời điểm lập quy hoạch có thể không còn phản ánh đúng điều kiện thực tế khi phương án được triển khai [1, 2, 3].

Thực trạng này cho thấy sự không tương thích giữa tính biến động của quá trình tái phát triển và phương thức ra quyết định còn dựa nhiều vào dữ liệu tại một thời điểm. Sau khi phương án được lựa chọn và phê duyệt, các điều kiện chi phối tính khả thi vẫn tiếp tục thay đổi. Điều chỉnh chính sách bồi thường có thể ảnh hưởng đến mức độ đồng thuận; biến động chi phí đầu tư có thể làm thay đổi hiệu quả tài chính; thay đổi dân số, tăng cao hoặc hệ số sử dụng đất có thể tác động đến yêu cầu hạ tầng. Nếu các biến động này không được theo dõi và phản hồi trở lại quá trình ra quyết định, tính phù hợp của phương án có thể giảm theo thời gian [1, 4, 3].

Các hướng tiếp cận quy hoạch đương đại cung cấp một số nền tảng để xử lý vấn đề trên. Quy hoạch kịch bản (Scenario Planning) cho phép xem xét nhiều trạng thái tương lai thay vì một dự báo đơn tuyến; quy hoạch dựa trên dữ liệu (Data-driven Planning) hỗ trợ khai thác dữ liệu cập nhật trong phân tích; trong khi quy hoạch thích ứng (Adaptive Planning) nhấn mạnh cơ chế giám sát, phản hồi và điều chỉnh khi điều kiện thực tế thay đổi. Tuy nhiên, các hướng tiếp cận này khi áp dụng riêng lẻ chưa hình thành đầy đủ cơ chế liên kết giữa biến động dữ liệu, mức độ phù hợp của kịch bản và thời điểm cần rà soát quyết định quy hoạch [5, 6].

Do đó, vấn đề nghiên cứu không chỉ là xây dựng nhiều kịch bản mà còn phải xác định được kịch bản nào còn phù hợp, điều kiện nào đang thay đổi và khi nào mức độ thay đổi đủ lớn để yêu cầu đánh giá lại phương án. Khoảng trống nghiên cứu nằm ở việc hình thành một phương pháp liên kết ba quá trình: xây dựng và sàng lọc kịch bản; cập nhật và lượng hóa biến động dữ liệu; chuyển các biến động thành tín hiệu hỗ trợ duy trì, rà soát hoặc đánh giá lại kịch bản. Theo cách tiếp cận này, dữ liệu không chỉ là đầu vào ban đầu của đồ án mà tiếp tục tham gia vào quá trình giám sát và hỗ trợ quyết định trong suốt quá trình thực hiện.

Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất phương pháp quy hoạch kịch bản thích ứng sử dụng dữ liệu động trong tái phát triển khu chung cư cũ ở Hà Nội. Phương pháp kế thừa công cụ phân tích, tổ hợp và sàng lọc kịch bản Field Anomaly Relaxation (FAR), đồng thời bổ sung phân cụm kịch bản, chỉ số biến động ΔI , trọng số W_i , Ma trận chỉ báo kịch bản (Scenario Indicator Matrix - SIM) và Chỉ số biến động tổng hợp (Dynamic Change Index - DCI). Các thành phần này được liên kết thành chuỗi dữ liệu - kịch bản - chỉ báo - giám sát - rà soát nhằm hỗ trợ quá trình ra quyết định theo hướng có khả năng phản hồi và thích ứng. Phương pháp được kiểm chứng tại khu chung cư Thanh Xuân Bắc, Hà Nội.

Từ đó, bài viết tập trung trả lời ba câu hỏi nghiên cứu: (1) Phương pháp quy hoạch kịch bản thích ứng sử dụng dữ liệu động cần được cấu trúc như thế nào để liên kết quá trình xây dựng kịch bản với giám sát biến động? (2) Các biến động kinh tế, xã hội và chính sách có thể được lượng hóa và chuyển thành tín hiệu rà soát kịch bản bằng cơ chế nào? (3) Khi áp dụng tại Thanh Xuân Bắc, phương pháp đề xuất bổ sung giá trị gì cho quá trình lựa chọn, giải trình và duy trì tính khả thi của phương án quy hoạch? Qua đó, nghiên cứu hướng tới chuyển từ phương thức lựa chọn một phương án tương đối cố định tại một thời điểm sang quá trình hỗ trợ quyết định có giám sát, phản hồi và thích ứng theo sự thay đổi của thực tiễn.

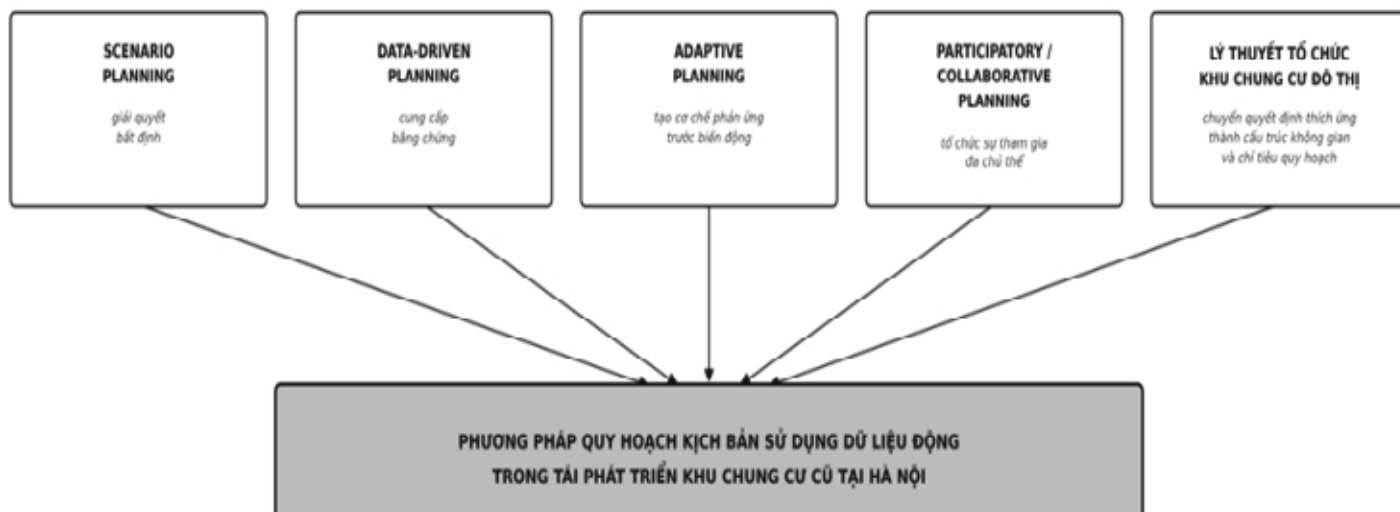
2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Sơ lược về phương pháp quy hoạch kịch bản thích ứng sử dụng dữ liệu động và khung nghiên cứu

Phương pháp quy hoạch kịch bản thích ứng sử dụng dữ liệu động trong nghiên cứu này được hiểu là phương pháp tổ chức quá trình lập và hỗ trợ thực hiện quy hoạch trong điều kiện các yếu tố kinh tế, xã hội, chính sách và môi trường tiếp tục biến động theo thời gian. Thay vì chỉ sử dụng dữ liệu tại một thời điểm để lựa chọn một phương án tương đối cố định, phương pháp duy trì mối liên hệ giữa dữ liệu - kịch bản - chỉ báo - giám sát - rà soát, qua đó cho phép đánh giá mức độ phù hợp của kịch bản khi điều kiện thực tế thay đổi [7, 8, 9, 10].

Khung nghiên cứu được hình thành từ ba nền tảng chính: quy hoạch kịch bản (Scenario Planning), quy hoạch dựa trên dữ liệu (Data-driven Planning) và quy hoạch thích ứng (Adaptive Planning). Quy hoạch kịch bản hỗ trợ nhận diện bất định và xây dựng nhiều trạng thái tương lai; quy hoạch dựa trên dữ liệu cung cấp cơ sở cập nhật và phân tích thông tin; quy hoạch thích ứng bổ sung cơ chế giám sát, phản hồi và xem xét điều chỉnh khi các điều kiện nền thay đổi [5, 6].

Trên cơ sở đó, nghiên cứu kế thừa công cụ phân tích, tổ hợp và sàng lọc kịch bản Field Anomaly Relaxation (FAR), đồng thời bổ sung phân cụm kịch bản (Scenario Clustering), chỉ số biến động ΔI , trọng số W_i , Ma trận chỉ báo kịch bản (Scenario Indicator Matrix - SIM) và Chỉ số biến động tổng hợp (Dynamic Change Index - DCI). Các thành phần được liên kết thành khung Dynamic Adaptive Scenario Planning - DASP, trong đó dữ liệu cập nhật tạo tín hiệu để duy trì, rà soát hoặc đánh giá lại kịch bản, thay vì tự động làm thay đổi đồ án quy hoạch.



Hình 1. Khung tích hợp cơ sở lý thuyết của nghiên cứu

DASP được xác định là phương pháp hỗ trợ kỹ thuật cho quá trình ra quyết định, không thay thế trình tự lập, thẩm định, phê duyệt và điều chỉnh quy hoạch theo quy định pháp luật [11, 12].

2.2. Thiết kế nghiên cứu

Để xây dựng và kiểm chứng phương pháp, nghiên cứu được thực hiện theo bốn bước chính:

Bước 1: Hệ thống hóa cơ sở lý luận, xác định các miễn dữ liệu, biến số và ràng buộc có ảnh hưởng đến quá trình tái phát triển khu chung cư cũ.

Bước 2: Thu thập, kiểm tra và chuẩn hóa dữ liệu theo nguồn, thời điểm, đơn vị và phạm vi; phân biệt dữ liệu nền với dữ liệu cập nhật nhằm nhận diện biến động theo thời gian.

Bước 3: Sử dụng FAR để tạo, tổ hợp và sàng lọc kịch bản; kiểm tra tương thích và các ràng buộc bắt buộc; phân cụm các kịch bản khả thi và xác định kịch bản đại diện.

Bước 4: Chuyển các kịch bản đại diện thành hệ thống chỉ báo theo dõi thông qua SIM; lượng hóa biến động bằng ΔI, Wi và DCI để xác định tín hiệu duy trì hoặc rà soát kịch bản.

Khu chung cư cũ Thanh Xuân Bắc được lựa chọn để kiểm chứng khả năng vận hành của phương pháp. Nghiên cứu sử dụng bộ điều tra 4.088 hộ năm 2017 làm dữ liệu nền cho một số biến xã hội và khảo sát bổ sung 100 hộ giai đoạn 2025 - 2026, xác định theo công thức Cochran và lấy mẫu phân tầng [13]. Các dữ liệu này được đối chiếu với hồ sơ quy hoạch, GIS, thông tin kinh tế, chính sách và ý kiến chuyên gia.

Ý kiến chuyên gia được thu thập thông qua Delphi, kết hợp phương pháp phân tích thứ bậc AHP và dữ liệu thực nghiệm để hỗ trợ xác định trọng số và quan hệ tương thích [14, 15]. Trọng số và ngưỡng sử dụng tại Thanh Xuân Bắc được xem là tham số hiệu chỉnh của trường hợp nghiên cứu, không phải giá trị mặc định cho toàn bộ các khu chung cư cũ ở Hà Nội [16].

Bảng 1. Nguồn dữ liệu và vai trò trong nghiên cứu

Nhóm dữ liệu	Nguồn/thời điểm	Tính chất sử dụng	Vai trò trong nghiên cứu
Dữ liệu xã hội nền	Bộ khảo sát 4.088 hộ, năm 2017	Dữ liệu nền kế thừa	Làm mốc đối chiếu cho các biến xã hội
Khảo sát cập nhật	100 hộ, 2025 - 2026; Cochran, lấy mẫu phân tầng	Dữ liệu sơ cấp bổ sung	Cập nhật trạng thái xã hội so với mốc nền
Kinh tế, chính sách, không gian	Hồ sơ quy hoạch, thống kê, văn bản pháp lý, GIS	Dữ liệu thứ cấp	Xác định chuỗi biến và ràng buộc
Ý kiến chuyên gia	Delphi, AHP, khảo sát chuyên gia	Dữ liệu chuyên gia	Xác định trọng số, tương thích và hiệu chỉnh

2.3. Kết quả nghiên cứu và bàn luận

2.3.1. Thiết lập quy trình kỹ thuật của phương pháp

Kết quả nghiên cứu hình thành một chuỗi xử lý liên kết dữ liệu động với quá trình xây dựng và giám sát kịch bản.

Trước hết, dữ liệu được tổ chức theo năm miễn gồm chính sách, kinh tế, không gian, xã hội và môi trường, đồng thời được kiểm tra về nguồn, thời điểm, đơn vị và phạm vi trước khi đưa vào phân tích. Mức độ thay đổi của các biến được phản ánh thông qua chỉ số ΔI; trọng số Wi thể hiện mức ảnh hưởng tương đối của các biến trong cùng một miễn.

Tiếp theo, FAR được sử dụng để tạo không gian kịch bản thông qua tổ hợp các trạng thái của từng miễn và kiểm tra quan hệ tương thích [17]. Các tổ hợp vi phạm ràng buộc pháp lý hoặc có xung đột không thể chấp nhận được loại bỏ trước khi đánh giá. Các kịch bản khả thi sau đó được phân cụm nhằm xác định các nhóm đại diện [18].

Kịch bản đại diện được chuyển thành tập hợp các chỉ báo có thể theo dõi thông qua SIM. Dữ liệu cập nhật tiếp tục được lượng hóa để xác định mức độ sai lệch so với trạng thái nền, trong khi DCI phản ánh mức biến động tổng hợp của hệ thống. Kết quả tạo thành chuỗi:

Dữ liệu → FAR → kịch bản → phân cụm → SIM → giám sát biến động → DCI → rà soát kịch bản.



Hình 2. Chuỗi xử lý dữ liệu và đánh giá kịch bản trong nghiên cứu

Việc bổ sung các bước phân cụm, SIM và DCI giúp mở rộng FAR từ công cụ tạo và sàng lọc kịch bản thành một thành phần của quá trình hỗ trợ quyết định có khả năng tiếp nhận dữ liệu cập nhật.

2.3.2. Thiết lập cơ chế dữ liệu động và vòng phản hồi thích ứng

Trong phương pháp đề xuất, dữ liệu không kết thúc vai trò sau khi phương án được lựa chọn mà tiếp tục được cập nhật trong quá trình thực hiện. Các biến động được so sánh với giá trị nền và lượng hóa thông qua ΔI, Wi và DCI nhằm xác định mức độ ảnh hưởng đến các điều kiện duy trì tính khả thi của kịch bản.

Dữ liệu mới không trực tiếp làm thay đổi phương án quy hoạch. Khi biến động nằm trong phạm vi cho phép, kịch bản tiếp tục được duy trì và theo dõi. Khi xuất hiện sai lệch đáng kể, SIM được sử dụng để xác định các chỉ báo cần kiểm tra. Nếu biến động ảnh hưởng đến các giả định hoặc điều kiện nền của kịch bản, hệ thống phát tín hiệu yêu cầu đánh giá lại.

Vòng phản hồi của phương pháp được khái quát như sau:

Dữ liệu cập nhật → lượng hóa biến động → đối chiếu chỉ báo → phát tín hiệu → rà soát → duy trì hoặc đánh giá lại kịch bản.

Cơ chế này cho phép quy hoạch phản ứng với thay đổi của thực tế nhưng đồng thời tránh việc điều chỉnh tùy tiện trước các biến động ngắn hạn.

2.3.3. Thiết lập ma trận chỉ báo kịch bản và chỉ số biến động tổng hợp

SIM được sử dụng để chuyển một kịch bản thành tập hợp các chỉ tiêu có khả năng theo dõi trong quá trình thực hiện, gồm hệ số sử dụng đất, mật độ xây dựng, tầng cao, dân số, cây xanh, tái định cư, chi phí và tiến độ. Mỗi chỉ tiêu được xác định theo giá trị mục tiêu, khoảng kiểm soát và ngưỡng cần rà soát, qua đó tạo cầu nối giữa kịch bản quy hoạch và dữ liệu thực tế.

Biến động cấp hệ thống được tổng hợp thông qua DCI:

$$DCI = \sum (A_i \times \Delta I_i)(1)$$

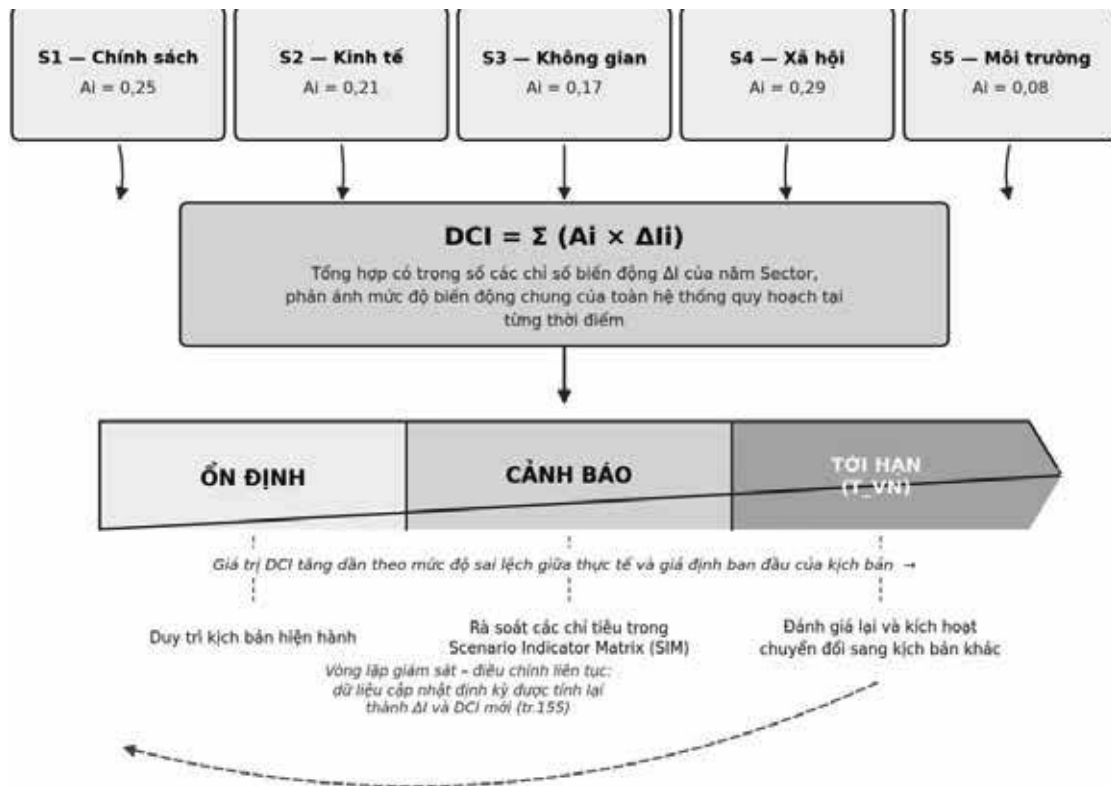
Trong đó, ΔI_i là chỉ số biến động của từng miễn dữ liệu và A_i là trọng số của miễn tương ứng.

Trên cơ sở DCI và SIM, nghiên cứu phân trạng thái vận hành thành ba vùng:

Ổn định: tiếp tục duy trì và theo dõi kịch bản.

Cảnh báo: rà soát các chỉ báo và giả định có liên quan.

Tới hạn: phát tín hiệu yêu cầu đánh giá lại giả định và xem xét kịch bản thay thế.



Hình 3. Cơ chế tổng hợp DCI và ba vùng phản ứng

Các giá trị ngưỡng DCI trong nghiên cứu chỉ được hiệu chỉnh cho trường hợp Thanh Xuân Bắc. Đóng góp chính không nằm ở một trị số ngưỡng cố định mà ở nguyên tắc sử dụng biến động định lượng để xác định khi nào cần rà soát kịch bản. DCI vì vậy là công cụ hỗ trợ kỹ thuật, không tự động điều chỉnh hoặc thay thế quy hoạch đã được phê duyệt.

2.3.4. Kiểm chứng tại khu chung cư cũ Thanh Xuân Bắc

Thanh Xuân Bắc được lựa chọn kiểm chứng do đây là khu chung cư cũ quy mô lớn, đồng thời chịu các ràng buộc về dân số, không gian, tái định cư, hiệu quả đầu tư và đồng thuận cộng đồng [2, 19]. Khu vực nghiên cứu có diện tích khoảng 24,3 ha.

Với năm miễn dữ liệu và bốn trạng thái cho mỗi miễn, nghiên cứu tạo được 1.024 tổ hợp kịch bản ban đầu. FAR được sử dụng để kiểm tra tương thích và loại bỏ các tổ hợp xung đột. Các kịch bản còn lại tiếp tục được phân cụm và đánh giá đa tiêu chí, hình thành bốn nhóm đại diện:

K1 - Cải tạo tối thiểu; K2 - Thị trường dẫn dắt; K3 - Cân bằng hợp tác công - tư; K4 - Thông minh thích ứng.

Bảng 2. Bốn kịch bản đại diện sau quá trình sàng lọc tại Thanh Xuân Bắc

Kịch bản	Đặc trưng cốt lõi	FARnorm	Đồng thuận dự kiến*	Kết quả không gian
K1	Cải tạo tối thiểu	0,68	35%	Giữ 4 tầng hoặc PA01
K2	Thị trường dẫn dắt	0,75	52-62%	PA03, 55 tầng
K3	Cân bằng hợp tác công - tư	$\geq 0,90$	78%	PA02, 40 tầng
K4	Thông minh thích ứng	0,73	72-82%	PA03, 55 tầng

Trong cấu hình nghiên cứu, K3 được xếp hạng ưu tiên với FARnorm từ 0,90 trở lên, thể hiện mức cân bằng tốt hơn giữa các điều kiện được xem xét. Giá trị đồng thuận 78% của K3 là kết quả

ước tính/mô phỏng từ dữ liệu và giả định của kịch bản, không phải tỷ lệ cư dân được khảo sát trực tiếp tại thời điểm công bố.

Đáng chú ý, kết quả không gian của K3 tương đồng với PA02 của phương pháp quy hoạch hiện hành: 7 tòa nhà, cao 40 tầng và tổng diện tích sàn khoảng 724.244,9 m². Sự tương đồng này không được sử dụng để khẳng định DASP tạo ra một phương án hình thái không gian tốt hơn. Ngược lại, kết quả cho thấy DASP có thể đóng vai trò như một lớp kiểm định và giải trình bổ sung cho quyết định quy hoạch.

Cùng một phương án không gian, DASP cho phép truy xuất bốn nhóm điều kiện cần tiếp tục theo dõi gồm: cơ sở pháp lý và cơ chế thực hiện; đồng thuận cộng đồng; hiệu quả tài chính; và yêu cầu môi trường. Khi các điều kiện này thay đổi, Δi , SIM và DCI hỗ trợ nhận diện nội dung cần rà soát thay vì mặc nhiên duy trì các giả định ban đầu.

Bảng 3. Đối chiếu kết quả lựa chọn phương án tại Thanh Xuân Bắc

Nội dung	Quy hoạch hiện hành	Quy hoạch kịch bản thích ứng
Phương án không gian	PA02: 7 tòa, 40 tầng, khoảng 724.244,9 m ²	K3 $\approx$ PA02: kết quả không gian tương đồng
Cơ sở lựa chọn	Tập trung vào phương án và chỉ tiêu không gian	FARnorm và đánh giá đa tiêu chí
Điều kiện đi kèm	Các điều kiện được xem xét riêng theo hồ sơ	Pháp lý/cơ chế thực hiện, đồng thuận, tài chính, môi trường được gắn với kịch bản
Xử lý xung đột	Giải quyết theo từng nội dung trong quá trình lập và thẩm định	Sàng lọc xung đột và truy xuất điều kiện trước khi xếp hạng kịch bản
Thích ứng khi dữ liệu đổi	Không có cơ chế DCI/SIM trong quy trình lựa chọn ban đầu	Δi /DCI phát tín hiệu rà soát và đánh giá lại kịch bản

2.3.5. Điều kiện áp dụng và khả năng chuyển giao

Việc áp dụng phương pháp phụ thuộc vào ba nhóm điều kiện chính:

Thứ nhất, điều kiện dữ liệu yêu cầu xác định rõ nguồn, thời điểm, đơn vị, quyền truy cập, tần suất cập nhật và nguyên tắc chuẩn hóa dữ liệu.

Thứ hai, điều kiện phương pháp yêu cầu quan hệ tương thích, trọng số Wi, Ai và ngưỡng DCI phải được hiệu chỉnh cho từng khu vực nghiên cứu. Các tham số của Thanh Xuân Bắc không được coi là chuẩn chung cho Hà Nội.

Thứ ba, điều kiện tổ chức và pháp lý yêu cầu xác định rõ trách nhiệm cung cấp, kiểm chứng, cập nhật và xử lý dữ liệu. DASP chỉ cung cấp tín hiệu hỗ trợ kỹ thuật; mọi quyết định thay đổi hoặc điều chỉnh đồ án vẫn thuộc thẩm quyền của cơ quan nhà nước và phải thực hiện theo trình tự pháp luật.

Khi áp dụng sang khu vực khác, cần xây dựng lại bộ dữ liệu nền, lựa chọn các biến phù hợp, hiệu chỉnh trọng số và ngưỡng, kiểm tra quan hệ tương thích và thực hiện phân tích độ nhạy trước khi sử dụng kết quả để hỗ trợ quyết định.

2.3.6. Bàn luận

Kết quả nghiên cứu cho phép rút ra ba nhận định chính:

Thứ nhất, giá trị bổ sung của phương pháp không nhất thiết nằm ở việc tạo ra một phương án không gian khác với quy hoạch hiện hành. DASP bổ sung khả năng giải thích “vì sao phương án còn khả thi, điều kiện nào phải được duy trì và biến động nào cần kích hoạt rà soát”. Trọng tâm của phương pháp do đó chuyển từ lựa chọn phương án tại một thời điểm sang theo dõi các điều kiện duy trì tính khả thi của phương án theo thời gian.

Thứ hai, đóng góp phương pháp nằm ở việc kết nối ba quá trình: xây dựng nhiều kịch bản để xử lý bất định; sử dụng dữ liệu biến động để phản ánh thực tế; và thiết lập tín hiệu định lượng để xác định thời điểm cần đánh giá lại. FAR đảm nhiệm tạo và sàng lọc kịch bản; SIM chuyển kịch bản thành hệ thống chỉ báo; trong khi ΔI , Wi và DCI kết nối dữ liệu cập nhật với cơ chế rà soát. Nhờ đó, dữ liệu tham gia trực tiếp vào quá trình giám sát quyết định thay vì chỉ tồn tại ở giai đoạn đầu của đồ án.

Thứ ba, phương pháp góp phần tăng khả năng minh bạch và giải trình. Các chủ thể có thể truy xuất kịch bản được lựa chọn về dữ liệu, giả định và các điều kiện kinh tế, xã hội, chính sách, môi trường đã sử dụng. Khi một điều kiện thay đổi, phương pháp hỗ trợ xác định nội dung cần kiểm tra thay vì duy trì toàn bộ giả định cũ.

Tuy nhiên, nghiên cứu mới được kiểm chứng chuyên sâu tại một trường hợp; dữ liệu xã hội cập nhật có quy mô nhỏ hơn bộ dữ liệu nền năm 2017; các trọng số và ngưỡng DCI vẫn mang tính hiệu chỉnh trường hợp; hệ thống dữ liệu chưa được cập nhật hoàn toàn theo thời gian thực. Vì vậy, chưa thể khái quát các tham số của Thanh Xuân Bắc cho toàn bộ khu chung cư cũ Hà Nội. Các nghiên cứu tiếp theo cần kiểm chứng trên nhiều trường hợp, đánh giá độ nhạy của trọng số và ngưỡng, đồng thời từng bước chuẩn hóa hệ thống dữ liệu phục vụ khả năng ứng dụng rộng rãi hơn.

3. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Nghiên cứu đề xuất khung quy hoạch kịch bản thích ứng động (Dynamic Adaptive Scenario Planning - DASP) nhằm xử lý sự không tương thích giữa dữ liệu quy hoạch tại một thời điểm và các biến động kinh tế, xã hội, chính sách trong quá trình tái phát triển khu chung cư cũ. Khung phương pháp liên kết FAR mở rộng với phân cụm kịch bản, Ma trận chỉ báo kịch bản (SIM), chỉ số ΔI , trọng số nội miền Wi và Chỉ số biến động tổng hợp (DCI), qua đó chuyển dữ liệu cập nhật thành tín hiệu hỗ trợ rà soát kịch bản.

Kiểm chứng tại khu chung cư cũ Thanh Xuân Bắc cho thấy DASP và phương pháp quy hoạch hiện hành có thể hội tụ về phương án không gian tương đồng PA02/K3. Giá trị bổ sung của phương pháp nằm ở khả năng làm rõ các điều kiện chi phối tính khả thi và nhận diện biến động cần đánh giá lại, thay vì bắt buộc tạo ra phương án không gian khác. DASP là lớp hỗ trợ kiểm định và giải trình quyết định, không thay thế quy trình pháp lý hoặc tự động điều chỉnh quy

hoạch đã được phê duyệt. Kết quả hiện mới kiểm chứng khả năng vận hành ban đầu; các trọng số và ngưỡng cần tiếp tục hiệu chỉnh qua nhiều trường hợp.

Nghiên cứu kiến nghị: (1) thí điểm báo cáo phân tích kịch bản DASP như một lớp hỗ trợ chuyên môn cho một số đồ án tái phát triển khu chung cư cũ; (2) chuẩn hóa cơ sở dữ liệu dùng chung cho các biến kinh tế, xã hội, chính sách và không gian - môi trường; (3) khi chuyển giao cần hiệu chỉnh hệ miễn - yếu tố, Wi, Ai và ngưỡng DCI, kết hợp kiểm định độ nhạy; và (4) tiếp tục nghiên cứu vị trí của FAR, SIM và tín hiệu DCI trong hoạt động lập, thẩm định, giám sát và rà soát quy hoạch chi tiết, bảo đảm phù hợp với trình tự pháp luật hiện hành.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Thị Thanh Mai. Nâng cao tính tự chủ của cộng đồng dân cư trong các dự án tái phát triển và di dân đô thị. Tạp chí Khoa học Công nghệ xây dựng, tập 6, số 2, tr. 25-32, 2012.
- [2] Nguyễn Việt Ninh. Tái thiết các khu chung cư cũ nội thành Hà Nội. Luận án Tiến sĩ Kiến trúc, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội, 2024.
- [3] Nguyễn Văn Luyến. Chính sách đất đai đối với việc cải tạo, xây dựng lại chung cư cũ trên địa bàn thành phố Hà Nội. Tạp chí Quản lý nhà nước, 2023.
- [4] Tạ Quỳnh Hoa. Tổ chức giám sát, đánh giá cơ chế huy động sự tham gia của người dân trong quy hoạch đô thị tại Việt Nam. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, tập 6, số 2, tr. 33-44, 2012.
- [5] Nguyễn Thị Thanh Mai, Trần Quốc Thái, Nguyễn Xuân Nghĩa. Phương pháp tiếp cận dự báo theo kịch bản trong quy hoạch giao thông đô thị bền vững. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, tập 12, số 2, tr. 74-79, 2018.
- [6] Đỗ Tú Lan. Xây dựng, duy trì và phát triển hệ thống cơ sở dữ liệu về quy hoạch đô thị. Tạp chí Xây dựng, số 3, 2026.
- [7] Schoemaker, P.J.H. Scenario Planning: A Tool for Strategic Thinking. Sloan Management Review, vol. 36, pp. 25-40, 1995.
- [8] Goodspeed, R. Scenario Planning for Cities and Regions: Managing and Envisioning Uncertain Futures. Cambridge, MA: Lincoln Institute of Land Policy, 2020.
- [9] Walker, W.E., Rahman, S.A., Cave, J. Adaptive policies, policy analysis and policy-making. European Journal of Operational Research, vol. 128, no. 2, pp. 282-289, 2001, doi: 10.1016/S0377-2217(00)00071-0.
- [10] Haasnoot, M., Kwakkel, J.H., Walker, W.E., ter Maat, J. Dynamic adaptive policy pathways: A method for crafting robust decisions for a deeply uncertain world. Global Environmental Change, vol. 23, no. 2, pp. 485-498, 2013, doi: 10.1016/j.gloenvcha.2012.12.006.
- [11] Ủy ban nhân dân TP Hà Nội. Quyết định số 5289/QĐ-UBND ngày 18/12/2021 về việc ban hành Đề án cải tạo, xây dựng lại chung cư cũ trên địa bàn thành phố Hà Nội. 2021.
- [12] Chính phủ. Nghị định số 98/2024/NĐ-CP ngày 25/7/2024 quy định chi tiết một số điều của Luật Nhà ở về cải tạo, xây dựng lại nhà chung cư Hà Nội, 2024.
- [13] Cochran, W.G. Sampling Techniques Introduction. 1977.
- [14] Dalkey, N., Helmer, O. An Experimental Application of the DELPHI Method to the Use of Experts. Management Science, vol. 9, no. 3, pp. 458-467, 1963, doi: 10.1287/mnsc.9.3.458.
- [15] Saaty, T.L. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. 1980.
- [16] Phạm Hoài Chung, Phạm Anh Tuấn. Xây dựng bộ chỉ tiêu phát triển bền vững giao thông đường bộ đô thị. Tạp chí Giao thông vận tải, 2018.
- [17] Ritchey, T. Problem Structuring Using Computer-Aided Morphological Analysis. Journal of the Operational Research Society, vol. 57, no. 7, pp. 792-801, 2006, doi: 10.1057/palgrave.jors.2602177.
- [18] Kaufman, L., Rousseeuw, P.J. Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis. New York, NY: John Wiley & Sons, 1990.
- [19] Nguyễn Vũ Bảo Minh. Sự tham gia cộng đồng trong quản lý không gian công cộng tại các khu chung cư cũ ở Hà Nội. Luận án Tiến sĩ, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội, 2024.

Giải pháp giảm thiểu đảo nhiệt đô thị tích hợp trong thiết kế kiến trúc cao tầng khu vực trung tâm TP Hồ Chí Minh

Integrated urban heat island mitigation solutions in high-rise architectural design in central Ho Chi Minh City

> TS.KTS LÊ TRỌNG HẢI¹, KTS NGUYỄN THỊ HỒNG²

¹Trường Đại học Quốc tế Hồng Bàng; Email: hailt@hiu.vn

²Công ty TNHH Thiết kế kiến trúc PA; Email: Hong2302art@gmail.com

TÓM TẮT

Nghiên cứu này đánh giá mức độ phát xạ nhiệt từ mặt đứng công trình cao tầng vào không gian đô thị tại trung tâm TP.HCM. Qua khảo sát vi khí hậu tại 3 nhóm vỏ bao che tiêu biểu (thuần kính, kính kết hợp lam che, tường gạch), nghiên cứu áp dụng định luật Stefan-Boltzmann để tính toán bức xạ nhiệt thông qua 3 chỉ số: Nhiệt độ bức xạ trung bình (T_{mrt}), Nhiệt độ tương đương sinh lý (T_{pet}), và Mật độ dòng nhiệt ròng (Q_{rad}). Kết quả chỉ ra cấu trúc vật liệu và tỷ lệ rỗng mặt đứng quyết định trực tiếp lượng nhiệt xả thải ra môi trường. Từ đó, bài báo đề xuất các giải pháp kiến trúc tích hợp thụ động nhằm giảm thiểu hiệu ứng Đảo nhiệt đô thị (UHI), bao gồm: lồng đệm nhiệt hờ đa phương, hẻm gió thụ động kết hợp hành lang hút nhiệt, mái xanh sân thượng và tối ưu hệ số phản xạ màu sơn.

Từ khóa: Đảo nhiệt đô thị (UHI); kiến trúc cao tầng; thiết kế tích hợp; T_{mrt} ; T_{pet} ; trung tâm TP.HCM

ABSTRACT

This study evaluates the level of thermal radiation emitted from high-rise building facades into the urban space in central Ho Chi Minh City. Through microclimate surveys of three typical building envelope groups (all-glass, glass combined with shading louvers, and brick walls), the research applies the Stefan-Boltzmann law to calculate thermal radiation using three indicators: Mean Radiant Temperature (T_{mrt}), Physiological Equivalent Temperature (T_{pet}), and Net Heat Flux (Q_{rad}). The results indicate that the material structure and the window-to-wall ratio of the facades directly determine the amount of heat discharged into the environment. Consequently, the paper proposes passive integrated architectural solutions to mitigate the Urban Heat Island (UHI) effect, including: multi-directional open thermal buffer cages, passive wind alleys combined with heat-absorbing corridors, green roofs, and paint albedo optimization.

Keywords: Urban Heat Island (UHI); high-rise architecture; integrated design; T_{mrt} ; T_{pet} ; Ho Chi Minh City center.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Quá trình đô thị hóa với mật độ xây dựng dày đặc tại TP.HCM đã làm suy giảm mảng xanh và mặt nước. Điều này làm gia tăng nền nhiệt trung bình, ảnh hưởng sức khỏe người dân [7] và góp phần tạo ra hiệu ứng đảo nhiệt đô thị (UHI) nghiêm trọng [5]. Trong các nguyên nhân gây ra UHI, sự phát xạ nhiệt từ các khối công trình kiến trúc cao tầng có hình thể và vật liệu vỏ bao che phản xạ nhiệt lớn đóng vai trò đáng kể. Tại khu vực trung tâm TP.HCM, sự xuất hiện dày đặc của các tòa nhà thuần kính không có hệ thống che nắng đã tạo ra những 'túi nhiệt' khổng lồ, ảnh hưởng trực tiếp đến tiện nghi nhiệt của người đi bộ dưới chân công trình. Việc cải thiện môi trường khí hậu ngoài trời đã trở thành vấn đề cấp thiết, bảo đảm cho đô thị phát triển bền vững. Nghiên cứu này hướng tới việc xác định mối liên hệ giữa cấu trúc vỏ bao che tòa nhà và mức độ phát xạ nhiệt ròng, từ đó đưa ra các giải pháp kiến trúc tích hợp chủ động để hạ nhiệt cho không gian đô thị.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VỀ TIÊU CHÍ ĐÁNH GIÁ CÔNG TRÌNH XANH

Công trình xanh hướng tới việc tiết kiệm tài nguyên tối đa và tạo dựng không gian sống gần gũi với thiên nhiên. Theo hệ thống tiêu chí của Hội đồng Công trình Xanh Việt Nam (LOTUS), để giảm thiểu đảo nhiệt đô thị (UHI), các thiết kế phải đáp ứng tiêu chí "Tổng thể bền vững" (duy trì mật độ cây xanh, giảm hiệu ứng đảo nhiệt) và "Sử dụng hiệu quả năng lượng". Điều này đòi hỏi lớp vỏ bao che công trình phải hạn chế hấp thụ nhiệt bức xạ, ưu tiên sử dụng vật liệu nhẹ, thân thiện và cách nhiệt tốt nhằm giảm mức độ phát thải nhiệt ra môi trường xung quanh [2].

Tính toán các chỉ số nhiệt (T_{mrt} , T_{pet} , Q_{rad})

Quá trình khảo sát hiện trạng hình thể kiến trúc của 03 thể loại nhóm nhà cho thấy các chỉ số nhiệt đo đạc bằng máy nhiệt ẩm kế

Amtas gồm: Nhiệt độ bức phản xạ xuống mặt đường, vỉa hè xung quanh chân tòa nhà, nhiệt độ phản xạ dưới bóng cây gần kề tòa nhà và nhiệt phản xạ trên tường ngoài của từng loại nhóm tòa nhà trên, đều có sự thay đổi nhiệt độ theo chiều tăng trên từng loại cấu trúc vật liệu sử dụng làm tường: thấp nhất là tường gạch - cao nhất là tường thuần kính. Đây là các chỉ số thực tế quan trọng để đưa vào tính toán các giá trị đại lượng Tmrt, Tpet, và Qrad theo công thức của Định luật Stefan-Boltzmann [9]. Đặc biệt tại khu vực TP.HCM, chỉ số cảm nhận nhiệt (HI) nên thường xuyên vượt ngưỡng cảnh báo 32°C vào các tháng mùa khô do sự kết hợp của nhiệt độ và độ ẩm cao [8]. Do đó, việc tính toán chi tiết các đại lượng nhiệt vật lý dưới đây là cực kỳ cần thiết để đánh giá chính xác mức độ "cộng hưởng nhiệt" bức xạ từ lớp vỏ công trình vào môi trường đô thị vốn đã vô cùng bức bối.

Công thức tổng quát cho Tmrt được xác định từ phương trình cân bằng bức xạ sau:

$$\sigma T_{mrt}^4 = \sum_{i=1}^N F_{p-i} E_i$$

(Trong đó: σ là hằng số Stefan-Boltzmann; F_{p-i} là hệ số góc (view factor) giữa người và bề mặt bức xạ i; E_i là cường độ bức xạ từ bề mặt i).

Và chỉ số Nhiệt độ sinh lý Tpet (Physiological Equivalent Temperature - Nhiệt độ sinh lý tương đương) từ đó tính Qnet (Net Heat Flux - Mật độ dòng nhiệt ròng) hoặc Net Radiation (Bức xạ ròng) trên nền tảng cân bằng bức xạ (Radiation Balance) với công thức tính của Định luật Stefan-Boltzmann: tính Mật độ dòng nhiệt ròng phát xạ trên một bề mặt tường của tòa nhà : đơn vị tính là W/m²

$$Q_{net} = (\text{tổng bức xạ đến}) - (\text{Tổng bức xạ đi})$$

Hay chi tiết hơn (trong trường hợp tường bao che mặt ngoài nhà là tường kính)

$$Q_{net} = q_{sol} + q_{ref} - q_{rad, wall}$$

Mục tiêu: Để đánh giá mức độ phát xạ "thêm nhiệt" của tòa nhà vào môi trường.

3. PHÂN TÍCH ĐẶC TÍNH NHIỆT TẠI 3 NHÓM KIẾN TRÚC ĐẶC TRƯNG

Các dữ liệu khảo sát vi khí hậu được tiến hành thu thập thực tế vào các ngày 19/10/2025 và 05/11/2025. Mặc dù đây là giai đoạn giao mùa, điều kiện thời tiết vẫn ghi nhận nền nhiệt ngoài trời ở mức cao (31.24°C - 33.24°C), qua đó phản ánh tính chất bức bối và sự phát xạ nhiệt thường trực của vỏ công trình tại trung tâm TP.HCM ngay cả khi chưa bước vào cao điểm mùa khô.

• Nhóm 1: Kiến trúc tường ngoài thuần kính (Đại diện: tòa nhà Bitexco)

Tòa tháp Bitexco được thiết kế xây dựng bằng thép, kính đôi chịu lực và gia nhiệt, có hàm lượng mật độ sắt thấp. Hình thể kiến trúc tạo khối trơn tru thuần Kính phẳng nhẵn màu sáng, tuy có thẩm nhiệt nhưng phản xạ nhiệt cũng ở mức cao.

Kết quả khảo sát vi khí hậu tại tòa nhà Bitexco: Nhiệt độ nền (theo Đài KTTV Nam Bộ) là 33,24°C, tốc độ gió mặt đường đạt 3,03 m/s. Nhiệt độ dưới bóng cây ghi nhận ở hai mức 33,4°C (độ ẩm 45%) và 36,6°C (độ ẩm 42%). Trên bề mặt tường kính, nhiệt độ đo được là 42,1°C (độ ẩm 30%). Đặc biệt, nhiệt độ phản xạ từ tường và bức xạ xuống mặt đường (nhựa Asphalt kết hợp đá granite) đạt mức cao nhất là 44,2°C (độ ẩm 30%).

Đánh giá tóm tắt kết quả khảo sát hiện trạng nhiệt độ bức xạ và phản xạ của tòa nhà Bitexco ra môi trường đô thị là 44,2°C, Nhiệt độ ngoài trời trên tường kính của tòa nhà là 42,1°C tăng so với nhiệt độ

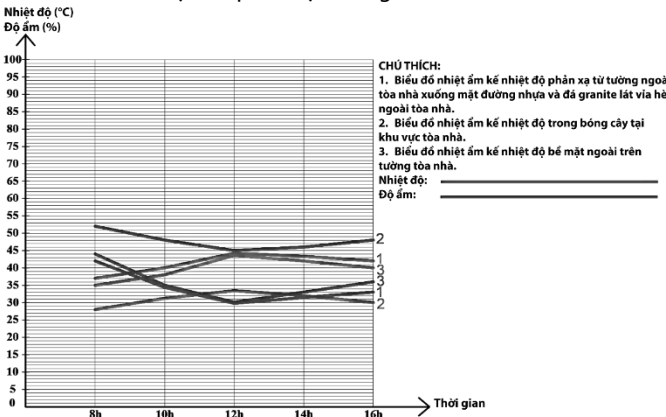
không khí môi trường thành phố trong ngày là 9°C - 10°C đều ở ngưỡng cao.



Hình 1. Mặt đứng và mặt cắt của tòa nhà Bitexco



Hình 2. Biểu đồ nhiệt khí hậu ngày khảo sát [1]
Biểu đồ1. Nhiệt ẩm phản xạ bên ngoài tòa nhà Bitexco



Bảng 1. Tóm tắt và đánh giá kết quả tính toán các chỉ số nhiệt tại tòa nhà Bitexco

Chỉ số	Giá trị	Đơn vị	Đánh giá
Tmrt	≈75.76	°C	Cực kỳ Khắc nghiệt (Nhiệt độ bức xạ cảm nhận)
Tpet	≈74.0	°C	Căng thẳng nhiệt Cực độ (Extreme Heat Stress)
Qrad	= 493.20	W/m²	Dòng phát xạ cao từ tường kính.

Đánh giá Độ tin cậy và Khả năng chịu đựng: Các giá trị này đáng tin cậy về mặt toán học dựa trên công thức và các giả định được thiết lập ví dụ: $T_g = T_s$ (bề mặt), max.

Khả năng chịu đựng: Môi trường với $T_{pet} > 70^\circ\text{C}$ là không thể chịu đựng được đối với con người, ngay cả trong thời gian ngắn, và có nguy cơ gây tử vong nếu tiếp xúc lâu dài mà không có biện pháp bảo vệ. Tốc độ gió cao (4 m/s, giúp tăng khả năng làm mát đối lưu, nhưng không đủ để giảm nhẹ tác động bức xạ lớn).

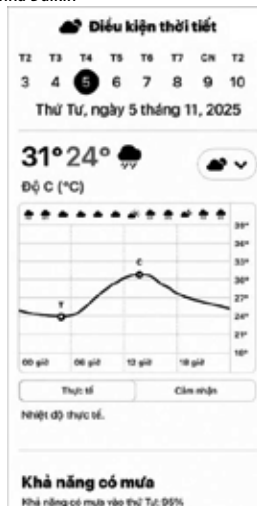
• Nhóm 2: Kiến trúc kính kết hợp tường gạch và lam che nắng (Đại diện: tòa nhà Daikin Building)

Tòa nhà Daikin Building được thiết kế theo chuẩn công trình xanh (LEED V4, Lotus Platinum), với vỏ bao che kết hợp giữa tường đặc và kính hộp hai lớp màu sáng. Mặt đứng công trình được bố trí hệ lam chắn nắng phương ngang với khoảng cách trực đứng 2 m. Cấu tạo lam bao gồm các tấm hợp kim đúc lỗ thoáng giúp tối ưu thông gió tự nhiên, được bo viền bởi hai dải ống kim loại sơn trắng (đường kính 10 - 20 cm). Tuy nhiên, thiết kế lam ngang này bị giảm đáng kể hiệu quả che chắn bức xạ khi chịu tác động trực tiếp từ góc nắng chiếu thấp (góc 15h 00) vào buổi chiều.

Kết quả khảo sát vi khí hậu tại tòa nhà Daikin: Nhiệt độ nền do Đài KTTV Nam Bộ cung cấp là $31,24^\circ\text{C}$, tốc độ gió mặt đường đạt 2,5 m/s. Nhiệt độ dưới bóng cây ghi nhận mức $32,5^\circ\text{C}$ (độ ẩm 59%). Trên bề mặt tường bao che (tỷ lệ 50% gạch, 50% kính), nhiệt độ đo được là $33,1^\circ\text{C}$ (độ ẩm 52%). Lượng nhiệt phản xạ từ mặt tường và bức xạ xuống mặt đường (nhựa Asphalt kết hợp đá granite) đạt mức cao nhất là $34,1^\circ\text{C}$ (độ ẩm 59%).

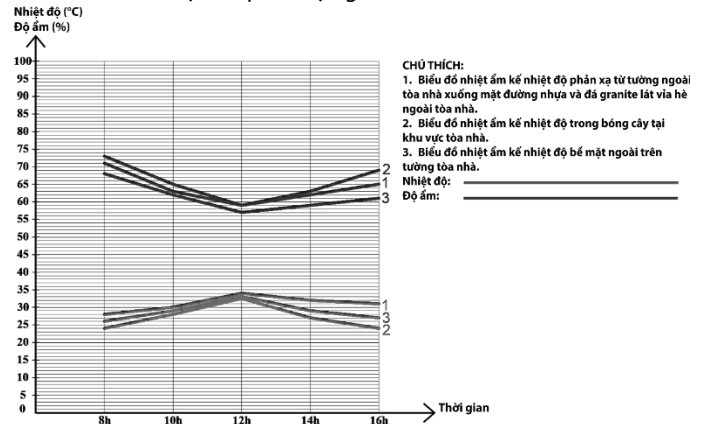


Hình 3. Mặt đứng của tòa nhà Daikin



Hình 4. Nhiệt độ khí hậu ngày khảo sát [1]

Biểu đồ 2. Nhiệt ẩm phản xạ ngoài tòa nhà DaiKin



Bảng 2. Kết quả tính toán chỉ số nhiệt tòa nhà Daikin đối sánh tổng hợp

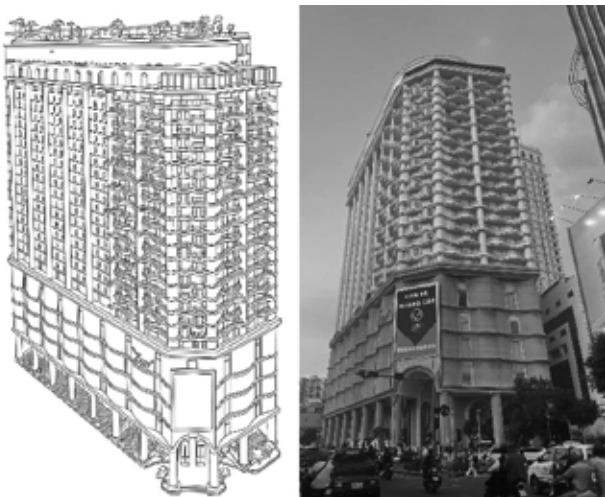
Chỉ số	Daikin Building (50% gạch - 50% kính)	Tòa nhà thuần kính (Ước tính cùng điều kiện)
Nhiệt độ bề mặt (T_s)	$33,1^\circ\text{C}$	$38,0-41,0^\circ\text{C}$
T_{mrt} (Bức xạ trung bình)	$36,8^\circ\text{C}$	$44,2^\circ\text{C}$
T_{pet} (Cảm giác nhiệt)	$31,4^\circ\text{C}$ (Ấm)	$36,5^\circ\text{C}$ (Rất nóng)
Q_{rad} (Cường độ bức xạ)	Thấp	Trung bình Cao

Nhận xét: Dữ liệu khảo sát của nhóm nghiên cứu đo đạc cho thấy một kết quả rất tích cực: bề mặt tòa nhà không bị "quá nhiệt" ($33,1^\circ\text{C}$) đã ngăn chặn hiệu ứng cộng hưởng bức xạ với mặt đường. Kết hợp với tốc độ gió 2,5 m/s đóng vai trò là "bộ làm mát" tự nhiên, giúp kéo chỉ số T_{pet} xuống mức dễ chịu cho người đi bộ. Đây là một hướng tư duy rất sát với xu hướng kiến trúc bền vững hiện nay. Việc chuyển từ tường gạch đặc (Mass Wall) sang mặt đứng thông hơi (Ventilated Facade) không chỉ là thay đổi vật liệu bề mặt, mà là thay đổi cơ chế trao đổi nhiệt của toàn bộ lớp vỏ công trình, góp phần quan trọng vào giải pháp thiết kế tích hợp nâng cao hiệu quả năng lượng cho các không gian cao tầng [4], song vẫn cần cải thiện nhiệt phản xạ và phát xạ của công trình này theo hướng tích cực hơn nữa.

• Nhóm 3: Kiến trúc tường xây tỷ lệ lớn, cửa sổ kính nhỏ (Đại diện: khách sạn La Vela Saigon Hotel)

Khách sạn La Vela Saigon Hotel có các mặt tiền hướng Tây Bắc và Đông Nam, chịu tác động mạnh từ bức xạ mặt trời. Vỏ bao che tại các hướng này sử dụng tường gạch đất nung với tỷ lệ rỗng (cửa sổ kính) chỉ khoảng 35%, kết hợp hệ mái hắt che nắng. Đặc biệt, khối đế công trình được thiết kế lùi sâu 1,2 m tạo thành hành lang đệm giúp che nắng và giảm nhiệt chủ động. Mặc dù vậy, việc vận hành hệ thống điều hòa trung tâm công suất lớn đã trực tiếp gia tăng lượng nhiệt xả thải ra môi trường đô thị.

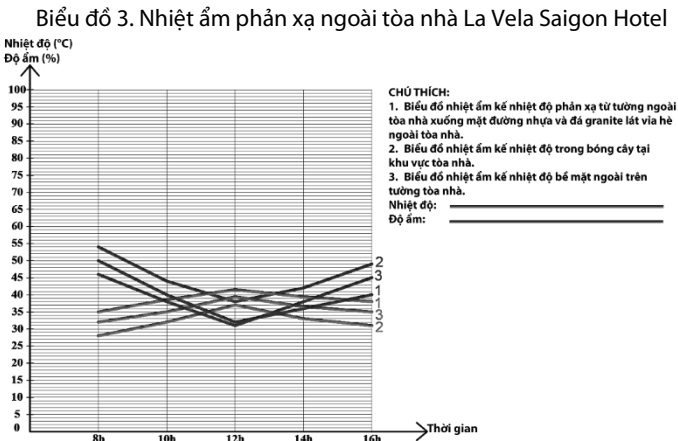
Kết quả khảo sát vi khí hậu tại khách sạn La Vela Saigon: Nhiệt độ nền do Đài KTTV Nam Bộ cung cấp là $33,24^\circ\text{C}$, tốc độ gió mặt đường đạt 2,8 m/s. Nhiệt độ dưới bóng cây ghi nhận mức $36,9^\circ\text{C}$ (độ ẩm 38%). Trên bề mặt tường gạch bê tông, nhiệt độ đo được là $39,4^\circ\text{C}$ (độ ẩm 31%). Lượng nhiệt phản xạ từ mặt tường và bức xạ xuống mặt đường (nhựa Asphalt kết hợp đá granite) đạt $41,5^\circ\text{C}$ (độ ẩm 32%).



Hình 5. Mặt đứng của tòa nhà khách sạn La Vela Saigon Hotel



Hình 6. Nhiệt khí hậu ngày khảo sát [1]



Bảng 3. So sánh thay đổi nhiệt do hình thể kiến trúc và vật liệu xây dựng tường ngoài của các tòa nhà

Chỉ số	Kiến trúc kính (Bitexco)	Kiến trúc gạch (Hotel des Arts)	Kiến trúc hiện đại (La Vela)
T _{mrt}	58,5 °C	51,2 °C	46,8 °C
T _{pet}	42,5 °C	38,5 °C	36,2 °C
Q _{rad}	≈750 W/m ²	≈560 W/m ²	≈510 W/m ²
Đặc điểm lý tính	Phản xạ gương, gây chói và nóng gắt trực tiếp.	Tích nhiệt cao, tỏa nhiệt chậm về đêm	Tán xạ tốt nhờ màu sáng và hình khối cong tự che nắng

Kết quả tính toán:
Q_{rad} ≈ 490 - 520 W/m²
Kết quả cho thấy:
1. Lợi thế của màu sắc (Albedo): La Vela sử dụng tông màu chủ đạo là kem/sáng. Điều này giúp phản xạ phần lớn bức xạ mặt trời sóng ngắn trở lại khí quyển thay vì hấp thụ vào tường (như gạch) hoặc hấp xuống mặt đường (như kính).
2. Hiệu ứng tự che nắng (Self-shading): Hệ thống ban công và các đường gờ kiến trúc của La Vela tạo ra những khoảng tối nhỏ trên bề mặt công trình. Điều này làm giảm tổng diện tích tiếp xúc trực tiếp với ánh nắng, từ đó làm giảm chỉ số Q_{rad} tổng thể của tòa nhà tác động lên vỉa hè.
3. Tác động đến người đi bộ: Kết quả cho thấy kiến trúc hiện đại có nhiều khoảng lùi và sử dụng vật liệu tán xạ ánh sáng (như sơn kem trắng, tấm ốp sáng màu) là giải pháp tối ưu nhất cho vi khí hậu tại các tuyến đường huyết mạch của TP.HCM.

Bảng 4. So sánh giá trị các chỉ số nhiệt

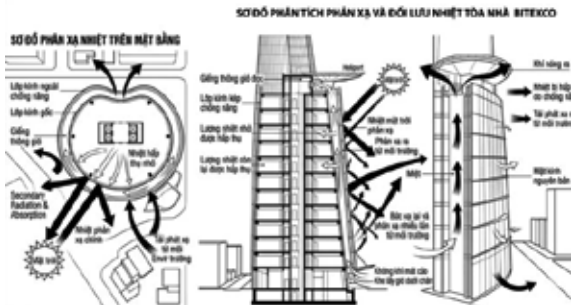
STT	Tên tòa nhà	T _{mrt} (°C)		T _{pet} (°C)		Q _{rad} (W/m ²)		Ghi chú
		Trị số	Mức độ	Trị số	Trạng thái	Trị số	Mức độ	
1	Bitexco	75,76	Rất cao	74	Stress nhiệt mạnh	493,20	Cường độ phát xạ cao	Khoảng lùi rộng, có cây xanh
2	Saigon Centre Tower 2	≈ 66,97	Rất cao	58,5	Stress nhiệt mạnh	473,05	Cường độ phát xạ cao	Khoảng lùi rộng, cây xanh ít
3	SaigonTimes Square,	40,0	trung bình	30,0		445,0	Cường độ phát xạ cao	Khoảng lùi rộng, cây xanh ít, sát sông
4	Empress Tower	43,0	Trung bình cao	31,5		140,0	Cường độ phát xạ trung bình thấp	Khoảng lùi rộng, có cây xanh
5	Daikin Building	36,8	Trung bình	31,4		510,0	Cường độ phát xạ cao	Khoảng lùi rộng, có cây xanh
6	Hotel des Arts	51,2 °C	Cao	38,5	Khó chịu	560,0	Cường độ phát xạ rất cao	Khoảng lùi rộng, có cây xanh
7	La Vela Saigon Hotel	46,8	Cao	36,2		510,0	Cường độ phát xạ cao	Khoảng lùi rộng, có cây xanh

4. ĐỀ XUẤT CÁC GIẢI PHÁP TÍCH HỢP TRONG THIẾT KẾ KIẾN TRÚC

Từ kết quả tính toán các chỉ số vi khí hậu (T_{mrt} , T_{pet} , Q_{rad}), nghiên cứu đề xuất các giải pháp kiến trúc sau:

4.1. Giải pháp lồng đệm nhiệt hờ: Giải pháp khoảng đệm nhiệt hờ không khí giữa tường thông gió với mặt tường bao che nhà cao tầng. (Giải pháp này áp dụng chung cho nhóm các công trình có hình thể kiến trúc thuần kính)

Lớp đệm nhiệt hờ dày 25 cm - 35 cm nằm giữa, 2 lớp Kính trong và ngoài cùng đều là thuần kính ví dụ như hiện trạng Bitexco. Phía trên và dưới của Lồng đệm nhiệt đều được cấu tạo hờ thông thoáng để thoát nhiệt. khi càng lên tầng cao, thì càng chịu nhiều sức hút mạnh của vận tốc gió trên cao giúp giảm nhanh nhiệt phát xạ vào môi trường không khí.



Hình 7. Mô phỏng phân xạ và đối lưu nhiệt tòa nhà Bitexco

Phân tích sơ đồ mô phỏng giả lập trên bằng các chỉ số T_{mrt} , T_{pet} và Q_{rad} cho thấy

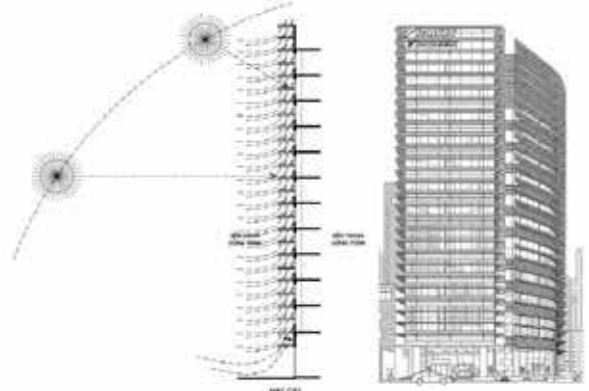
Bảng 5. Tóm tắt giá trị của giải pháp đối với đảo nhiệt đô thị (UHI) [6]

Chỉ số	Tác động của Lồng đệm nhiệt hờ	Hiệu quả môi trường tại TP.HCM
T_{mrt}	Chặn đứng bức xạ xuyên thấu và phản xạ đa cấp.	Giảm sốc nhiệt cho các tòa nhà lân cận.
Q_{rad}	Chuyển hóa nhiệt bức xạ thành nhiệt đối lưu (thải lên cao).	Giảm tích tụ nhiệt tại tầng mặt đất vào ban đêm.
T_{pet}	Tạo dòng khí lưu thông và che chắn bức xạ sóng dài.	Tăng tiện nghi nhiệt cho không gian công cộng xung quanh.

Giải pháp lồng đệm nhiệt hờ qua ví dụ: Mô hình cải thiện nhiệt khí hậu tòa nhà Bitexco tuy giả lập, nhưng cho thấy là một mô hình kiến trúc bền vững điển hình cho khí hậu nhiệt đới nóng ẩm gió mùa cận xích đạo. Nó không chỉ giải quyết bài toán làm mát nội khu mà còn cực kỳ văn minh với môi trường đô thị bằng cách "đẩy" nhiệt lượng thừa lên cao và giảm phát xạ nhiệt trực tiếp xuống đường phố, trực tiếp góp phần giảm nhẹ hiệu ứng đảo nhiệt đô thị tại trung tâm TP.HCM. Giải pháp trực tiếp góp phần giảm nhẹ hiệu ứng đảo nhiệt đô thị tại trung tâm TP.HCM. Tuy nhiên, khi ứng dụng kiến trúc vỏ bao che kép (Double-skin facade) này vào thực tiễn đối với các công trình siêu cao tầng, cần tính toán kỹ lưỡng bài toán tải trọng gió (wind load) và thiết kế hệ thống catwalk (lối đi kỹ thuật) phù hợp để đảm bảo công tác bảo trì, vệ sinh mặt kính bên trong bằng khí hơi nước nóng và khí khô có cường độ phù hợp.

4.2. Giải pháp Hèm gió thụ động tầng dưới kết hợp hành lang hút nhiệt các tầng trên. (Áp dụng cho nhóm nhà cao tầng có tường ngoài bằng kính kết hợp gạch sử dụng lam che hợp kim)

Dựa trên sơ đồ mô hình giả lập của tòa nhà (điển hình như thiết kế của tòa nhà Daikin), giải pháp kết hợp giữa "hèm gió thụ động" ở tầng trệt và "hành lang hút nhiệt hờ" có lam nghiêng ở các tầng trên tạo ra một hệ thống tản nhiệt chủ động cực kỳ hiệu quả cho môi trường đô thị.



Hình 8. Mô hình giả lập trên hiện trạng tòa nhà Daikin Building

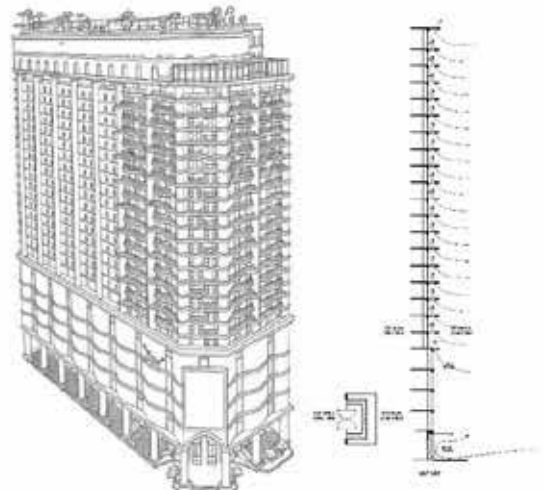
Bảng 6. Tóm tắt hiệu quả môi trường

Thành phần giải pháp	Tác động phát xạ nhiệt	Ý nghĩa với Đảo nhiệt (UHI)
Hệ lam nghiêng	Tán xạ bức xạ mặt trời, ngăn tích nhiệt bề mặt.	Giảm nguồn phát thải nhiệt sóng dài ban đêm.
Hành lang hút nhiệt	Tạo khe hở cách nhiệt và dẫn lưu không khí nóng.	Ngăn hiện tượng tích tụ nhiệt cục bộ trên mặt đứng.
Hèm gió tầng dưới	Kích hoạt dòng khí đối lưu tự nhiên từ chân tòa nhà.	Tăng cường lưu thông gió đô thị, giảm nhiệt độ vỉa hè.

Giải pháp này biến tòa nhà từ một vật thể "tích và tỏa nhiệt" thành một "hệ thống lọc và tản nhiệt". Bằng cách phối hợp giữa vật liệu truyền thống (gạch) và hiện đại (lam nhôm/kính) cùng hình khối khí động học, công trình giúp giảm tải đáng kể lượng nhiệt phát xạ ra môi trường, hỗ trợ hạ nhiệt cho khu vực trung tâm thành phố. Như vậy áp dụng Giải pháp giả lập này rất hiệu quả đạt vai trò giảm lọc tản nhiệt tích cực. Tuy nhiên khi triển khai thiết kế hèm gió ở khối đế, kiến trúc sư cần kiểm soát tốt tỷ lệ không gian (human scale) để tránh tạo ra hiệu ứng gió lùa (wind tunnel effect) có vận tốc quá lớn, làm ảnh hưởng đến tiện nghi vi khí hậu của người đi bộ và các không gian thương mại tại tầng trệt.

4.3. Giải pháp "Hèm gió tầng trệt kết hợp lồng nhiệt hờ tầng trên và mái xanh sân thượng"

Áp dụng cho các tòa nhà cao tầng tường ngoài xây bằng gạch có cửa sổ kính lấy sáng tỷ lệ diện tích của sổ kính nhỏ hơn diện tích tường ví dụ như Des Arts hotel và La vela Saigon Hotel.



Hình 9. Mô hình giả lập trên hiện trạng tòa nhà La Vela Saigon Hotel

Dựa trên sơ đồ mô hình cải thiện cho tòa nhà La Vela Saigon Hotel, việc tích hợp "Hèm gió tầng trệt" kết hợp "Lồng đệm nhiệt hồ đa phương" và "Mái xanh sân thượng" tạo thành một hệ sinh thái tản nhiệt toàn diện.

Bảng 7. Tóm tắt hiệu quả cải thiện cho La Vela Saigon

Thành phần giải pháp	Tác động chỉ số	Lợi ích đối với khu vực Quận 3 (cũ)
Mái xanh sân thượng	Giảm mạnh T_{mrt} tầng mái.	Giảm bức xạ nhiệt từ trên cao xuống đô thị.
Lồng đệm nhiệt hồ	Phân tán Q_{rad} qua đối lưu.	Chống hiện tượng cộng hưởng nhiệt với các công trình lân cận.
Hèm gió tầng trệt	Giảm T_{pet} vỉa hè	Tạo không gian đi bộ mát mẻ, giảm áp lực đảo nhiệt (UHI).

Việc cải thiện La Vela Saigon theo mô hình này biến một công trình biểu tượng thành một "máy làm mát đô thị" chủ động. Hệ thống không chỉ bảo vệ sự riêng tư và tiện nghi bên trong khách sạn mà còn đóng góp trực tiếp vào việc hạ nhiệt độ môi trường xung quanh thông qua việc **hút gió tầng thấp, lọc nhiệt tầng giữa và hạ hỏa tầng mái**. Các nghiên cứu thực nghiệm cũng đã chứng minh rằng việc gia tăng và phân tán các mảng thực vật nhỏ (như hệ thống mái xanh trên các tòa nhà) mang lại hiệu quả làm mát và giảm thiểu UHI mạnh mẽ hơn nhiều so với quy hoạch tập trung [3]. Đây là giải pháp tích cực, áp dụng thuận lợi.

4.4. Giải pháp về màu sơn: Tối ưu hóa màu sơn tường ngoài (Hệ số Albedo)

Thay vì các tông màu xám hoặc trung tính hiện tại, việc sử dụng các tông màu sáng (Trắng sứ, Kem, Beige) với hệ số phản xạ cao sẽ giúp bề mặt tường không bị nóng lên. Các nghiên cứu mới đây chỉ ra rằng việc ứng dụng các lớp sơn chứa hạt sắc tố đặc biệt (như sắc tố xà cù) có khả năng phản xạ tia hồng ngoại gần rất cao, mang lại khả năng tiết kiệm năng lượng vượt trội và hỗ trợ đắc lực trong việc giảm thiểu hiệu ứng UHI [10]

Tính toán độ dày và đặc tính lớp Sơn (Sơn phản xạ nhiệt): Nếu muốn tối ưu hóa chỉ số MRT (Mean Radiant Temperature) mà không làm thay đổi đáng kể cấu trúc bề mặt, lớp sơn phủ đóng vai trò là "lá chắn" bức xạ. Chỉ số quan trọng: Hệ số hấp thụ bức xạ mặt trời (α) và hệ số phát xạ nhiệt (ϵ). Lớp sơn càng dày (thường từ 2 - 3 lớp, tương đương 150 - 300 microns) với các hạt ceramic cách nhiệt sẽ giúp: Giảm lượng nhiệt tích tụ trên bề mặt tường đặc. Hạn chế hiệu ứng bức xạ ngược vào ban đêm (Urban Heat Island). Lưu ý: Độ dày quá lớn của sơn truyền thống không giúp cách nhiệt nhiều, nhưng với sơn chuyên dụng, độ dày đồng nhất là chìa khóa để duy trì tuổi thọ dưới tác động của tia UV tại TP.HCM.

5. KẾT LUẬN

Qua khảo sát vi khí hậu tại 3 nhóm vỏ bao che cao tầng tiêu biểu (thuần kính, kính kết hợp lam che, tường gạch) tại TP.HCM, nghiên cứu khẳng định cấu trúc vật liệu và tỷ lệ rỗng mặt đứng quyết định trực tiếp lượng nhiệt phát xạ ra môi trường. Các chỉ số nhiệt (T_{mrt} , T_{pet} , Q_{rad}) đều tăng thuận chiều với tỷ lệ kính, trong đó tòa nhà thuần kính tạo ra mức căng thẳng nhiệt cực độ. Kết quả này là cơ sở vững chắc để ứng dụng các giải pháp thiết kế tích hợp thụ động nhằm kiểm soát bức xạ nhiệt, cải thiện vi khí hậu và giảm thiểu hiệu ứng UHI tại các đô thị nới.

6. KIẾN NGHỊ

Trong điều kiện hoàn cảnh vị trí đất xây dựng nằm trong vùng khí hậu nhiệt đới nóng ẩm gió mùa cận xích đạo như TP.HCM. Việc thiết kế hình thể kiến trúc nhà cao tầng, đặc biệt là sử dụng vật liệu

hoặc tỷ lệ phối kết các loại vật liệu, cũng như sử dụng mẫu sơn tường bao che ngoài của nhà cao tầng, nên cân nhắc kỹ lưỡng đến mức độ bức xạ nhiệt vào bên trong công trình, phản xạ nhiệt và phát xạ nhiệt ra môi trường không khí đô thị luôn ở mức kiểm soát chủ động, không để "Đảo nhiệt đô thị" bức tiến tiêu cực, mà vẫn tạo nên diện mạo thẩm mỹ của đô thị ngày càng đẹp hiện đại và tiên tiến góp phần phát triển bền vững. Bên cạnh đó, để định lượng chính xác về hiệu quả làm mát của các giải pháp thiết kế trên, tuy đã được tính toán các chỉ số T_{mrt} , T_{pet} và Q_{rad} theo định sterfan-Boltzmann của từng giải pháp giả lập để đưa ra kết quả đối sánh và kết luận, (giảm được cụ thể bao nhiêu °C với giá trị gần đúng), việc tích hợp các mô phỏng chuyên sâu bằng phần mềm CFD hoặc Envi-met sẽ là hướng phát triển trọng tâm của nhóm tác giả sẽ tiếp tục trình bày trong các nghiên cứu tiếp theo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Đài Khí tượng Thủy văn Nam Bộ. Báo cáo Diễn biến khí hậu nổi bật và số liệu nhiệt độ khu vực TP.HCM năm 2024 - 2025, TP.HCM, 2025.
- [2] Hội đồng Công trình Xanh Việt Nam (VGBC). Hệ thống tiêu chí Công trình Xanh Việt Nam (LOTUS), Hà Nội, NXB. Xây dựng, 2015.
- [3] Li, W., Schmidt, S. Can spatial patterns mitigate the urban heat island effect? Evidence from German metropolitan regions. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, pp. 1-17, 2024.
- [4] Lương Xuân Hiếu, Phan Hạnh Liên. Giải pháp thiết kế tích hợp vỏ bao che nhằm nâng cao hiệu quả năng lượng cho văn phòng cao tầng. Tạp chí Xây dựng, số 01, tr. 15-20, 2024.
- [5] Nguyễn Thành Luân. Tổng quan hiện tượng đảo nhiệt tại một số đô thị lớn ở Việt Nam. Tạp chí Quản lý Môi trường, số 09, tr. 45-50, 2024.
- [6] Nguyễn Thành Trung. Hiệu suất Năng lượng và Hệ thống Điều hòa. Tạp chí Khoa học & Công nghệ Xây dựng (HUCE), Đại học Xây dựng Hà Nội, tr. 112-118, 2019.
- [7] Nguyễn Thị Thu Thủy, Michael Waibel. Đảo nhiệt đô thị và những hệ lụy đối với Việt Nam. Báo cáo Quốc gia Việt Nam số 2: Chính sách môi trường ở Việt Nam, Hà Nội, NXB. Thanh Niên, tr. 271-281, 2021.
- [8] Nguyễn Thị Tuyết Nam. Diễn biến của chỉ số nhiệt (heat index) tại TP.HCM giai đoạn năm 1990-2023. Tạp chí Khí tượng Thủy văn, số 768, tr. 45-53, 2024.
- [9] Trần Thanh Nhạc, Nguyễn Thành Văn. Cơ - Nhiệt Vật lý đại cương, tập 1, NXB. Đại học Quốc gia TP.HCM, tr. 140, 10/2022.
- [10] Zhuo, S., Zhou, W., Fang, P., Ye, J., Luo, H., Li, H., Liu, Y. Cost-effective pearlescent pigments with high near-infrared reflectance and outstanding energy-saving ability for mitigating urban heat island effect. Applied Energy, vol. 353, 2024, article 122051.

Di sản kiến trúc chùa Khmer vùng Tây Nam Bộ trong bối cảnh đương đại: Giá trị và những thách thức bảo tồn

Khmer buddhist architectural heritage in Southwestern Vietnam in the contemporary context: Values and conservation challenges

> **TRẦN LÊ VĨNH TRÀ^{1,*}, NGÔ THỊ KIM DUNG²**

GV Khoa Kiến trúc, Trường Đại học Xây dựng Miền Tây

GV Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội

*Email: tranlevinhtra@mtu.edu.vn

TÓM TẮT

Chùa Khmer là một thành tố quan trọng của di sản kiến trúc và không gian văn hóa vùng Tây Nam Bộ (TNB), đồng thời là di sản sống gắn với thực hành Phật giáo Nam tông, sinh hoạt cộng đồng và bản sắc văn hóa Khmer. Nghiên cứu nhằm nhận diện các giá trị chủ yếu, làm rõ những biểu hiện biến đổi trong bối cảnh đương đại và xác định các vấn đề đặt ra đối với bảo tồn. Dựa trên tiếp cận bảo tồn dựa trên giá trị và quan điểm di sản sống, nghiên cứu khảo sát 20 chùa được lựa chọn có chủ đích từ tập hợp 100 trường hợp, kết hợp nghiên cứu tài liệu, khảo sát thực địa, dữ liệu xã hội học và đánh giá theo bộ 58 tiêu chí thuộc 9 nhóm. Kết quả cho thấy giá trị tôn giáo - tinh thần, nghệ thuật, lịch sử và cộng đồng được biểu hiện nổi bật, trong khi kỹ thuật - vật liệu và cảnh quan có mức biểu hiện thấp hơn. Các biến đổi chủ yếu tập trung ở việc bổ sung công trình, điều chỉnh tổ chức không gian, thay đổi vật liệu - kỹ thuật, hình thức trang trí, cảnh quan và cách thức sử dụng. Kết quả cho thấy thay đổi vật chất không thể được đồng nhất trực tiếp với suy giảm của toàn bộ hệ giá trị; tác động cần được xem xét theo thuộc tính bị thay đổi và giá trị gắn với thuộc tính đó. Nghiên cứu đề xuất quản lý sự thay đổi dựa trên giá trị làm cơ sở cho công tác bảo tồn, tu bổ, xây mới và kiểm soát can thiệp tại các chùa Khmer đang tiếp tục được sử dụng.

Từ khóa: Chùa Khmer; Tây Nam Bộ; di sản kiến trúc; di sản sống; bảo tồn dựa trên giá trị; quản lý sự thay đổi.

ABSTRACT

Khmer Buddhist temples are an important component of the architectural heritage and cultural landscape of Southwestern Vietnam and remain living heritage associated with Theravada Buddhist practice, community life and Khmer cultural identity. This study identifies the principal heritage values, clarifies contemporary changes and determines the conservation issues arising from continued use. Drawing on values-based conservation and the living-heritage perspective, 20 temples were purposively selected from a broader survey of 100 cases, combining documentary research, field surveys, social data and assessment through 58 criteria across nine value/assessment domains. While religious-spiritual, artistic, historical, and community values remain strongly expressed, technical-material and landscape dimensions exhibit lower levels of expression. Contemporary changes mainly involve new construction, spatial reorganization, materials and techniques, decorative forms, landscape and patterns of use. The findings indicate that material change cannot be directly equated with decline across the entire value system; its impact must be assessed through the altered attribute and the heritage value associated with it. The study proposes a values-based change-management framework to guide conservation, repair, new construction and intervention control at continuously used Khmer Buddhist temples.

Keywords: Khmer Buddhist temples; Southwestern Vietnam; architectural heritage; living heritage; values-based conservation; management of change.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Chùa Khmer là thành tố quan trọng của không gian văn hóa TNB, đồng thời là quần thể kiến trúc tôn giáo, nơi thực hành Phật giáo Nam tông và sinh hoạt cộng đồng. Giá trị di sản được biểu đạt

qua bố cục, công trình, trang trí, cảnh quan, vật liệu - kỹ thuật, cách sử dụng và quan hệ cộng đồng. Vì được sử dụng liên tục, chùa Khmer là di sản sống, trong đó cấu trúc vật chất và thực hành tôn giáo - xã hội cùng duy trì ý nghĩa địa điểm.

Trong bối cảnh đương đại, sửa chữa, mở rộng, xây mới công trình phụ trợ và sử dụng vật liệu mới diễn ra phổ biến. Đô thị hóa cũng làm thay đổi sân, cây xanh, mặt nước và khoảng đệm. Các can thiệp có thể cần cho sử dụng, nhưng cũng có thể làm suy yếu thuộc tính di sản. Bảo tồn vì vậy cần xác định giới hạn thay đổi có thể chấp nhận.

Các nghiên cứu trước đã làm rõ vai trò tôn giáo - xã hội, kiến trúc - không gian, nghệ thuật trang trí và một số vấn đề bảo tồn chùa Khmer [1, 2, 3, 4, 5]. Khoảng trống nằm ở sự thiếu kết nối giữa giá trị, thuộc tính biểu đạt, bằng chứng biến đổi và quyết định can thiệp. Nghiên cứu nhằm nhận diện hệ giá trị, phân tích biến đổi và đề xuất quản lý thay đổi dựa trên giá trị.

2. CƠ SỞ LÝ LUẬN VÀ TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU

2.1. Cơ sở lý luận và khung pháp lý

Bài viết sử dụng bảo tồn dựa trên giá trị làm tiếp cận chính. Burra Charter xác định ý nghĩa văn hóa qua cấu trúc vật chất, bối cảnh, cách sử dụng, các mối liên hệ và ý nghĩa gắn với địa điểm [6]. Mason xem việc nhận diện giá trị và thuộc tính biểu đạt là cơ sở đánh giá tác động và lựa chọn can thiệp [7]. Với di sản đang sử dụng, tiếp cận di sản sống bổ sung vai trò của thực hành, tri thức và cộng đồng [8, 9]. “Thích ứng” trong bài viết là phương diện đánh giá khả năng tiếp tục sử dụng, không phải một nhóm giá trị văn hóa độc lập.

Luật Di sản văn hóa số 45/2024/QH15 phân biệt bảo quản, tu bổ, phục hồi và tôn tạo di tích; yêu cầu bảo vệ yếu tố gốc cấu thành di tích, phục hồi phải dựa trên cứ liệu khoa học và tôn tạo không được làm ảnh hưởng đến cảnh quan văn hóa [10]. Đây là căn cứ pháp lý khi xem xét can thiệp tại các chùa đã được xếp hạng di tích.

2.2. Đặc trưng của di sản kiến trúc chùa Khmer vùng Tây Nam Bộ

Chùa Khmer là quần thể gồm chánh điện, sala, tầng xá, tháp cốt, cổng và công trình phụ trợ trong khuôn viên có cây xanh, không gian mở; chánh điện giữ vị trí trung tâm nghi lễ và hình thái [1, 3]. Giá trị được tạo nên bởi quan hệ giữa công trình, tổ chức không gian, cảnh quan, trang trí và thực hành tôn giáo - cộng đồng. Vì vậy, biến đổi phải được xem xét ở cấp quần thể, không chỉ qua mức độ nguyên vẹn của chánh điện.

2.3. Tổng quan nghiên cứu và khoảng trống nghiên cứu

Các nghiên cứu trong nước tập trung vào vai trò Phật giáo Nam tông và quan hệ chùa - cộng đồng [2], đặc điểm kiến trúc - không gian [1, 3], cùng nghệ thuật trang trí và biểu tượng [1, 4, 5]. Đây là nền tảng nhận diện đặc trưng và giá trị, nhưng các phương diện giá trị, biến đổi và bảo tồn vẫn thường được xem xét tách biệt.

Ở bình diện khu vực, các nghiên cứu tại Campuchia, Thái Lan và Lào cho thấy tu viện Phật giáo Nam tông biến đổi trong quan hệ với lịch sử sử dụng, tổ chức không gian và thực hành xã hội. Harris và cộng sự phân tích các “Buddhist Terrace” tại Angkor Thom [11]; Sene Na Ayuddhaya và Kirdsiri xây dựng kiểu loại tu viện miền Nam Thái Lan từ cấu trúc kiến trúc và chức năng xã hội [12]. Tại Luang Prabang, Bear, Avieli và Feldman chỉ ra căng thẳng giữa bảo tồn, thực hành tôn giáo và duy tu vật chất [13], trong khi Berliner cho thấy quá trình di sản hóa có thể tái định hình không gian và quan hệ xã hội [14].

Đối chiếu khu vực cho thấy khoảng trống không phải thiếu nghiên cứu về kiến trúc hay di sản sống, mà là thiếu một chuỗi phân tích thống nhất từ giá trị, thuộc tính biểu đạt và bằng chứng biến đổi đến giới hạn can thiệp ở cấp quần thể chùa Khmer TNB.

Nghiên cứu vì vậy kết nối giá trị - biến đổi - bảo tồn, xem sự tiếp tục sử dụng vừa duy trì giá trị vừa tạo nhu cầu thay đổi; trọng tâm chuyển từ mô tả biến đổi sang xác định tác động của biến đổi đối với giá trị di sản.

3. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

3.1. Đối tượng, phạm vi và trường hợp nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là các giá trị và biểu hiện biến đổi của di sản kiến trúc chùa Khmer vùng TNB, tập trung vào tổng thể - không gian, công trình - hình thức kiến trúc, nghệ thuật trang trí, cảnh quan, vật liệu - kỹ thuật và cách thức sử dụng.

Từ 100 chùa được khảo sát, 20 trường hợp được lựa chọn có chủ đích để đánh giá chuyên sâu theo bối cảnh đô thị - nông thôn và địa lý, niên đại, quy mô, tình trạng pháp lý, mức độ can thiệp và vai trò sử dụng. Mẫu bao quát các mức ít can thiệp, can thiệp vừa và can thiệp mạnh/xây mới, nhằm so sánh cấu hình giá trị và dạng biến đổi, không dùng để suy rộng thống kê cho toàn bộ hệ thống chùa Khmer TNB.

3.2. Dữ liệu nghiên cứu

Dữ liệu gồm: (1) khảo sát thực địa, đo vẽ, chụp ảnh về bố cục, công trình, hình thức, trang trí, cảnh quan, vật liệu - kỹ thuật và can thiệp; (2) hồ sơ di tích, ảnh cũ, bản vẽ, bia ký và tư liệu lịch sử để đối chiếu trạng thái trước; (3) phỏng vấn sâu khoảng 5-10 người/chùa; (4) khoảng 100 bảng hỏi cộng đồng quanh 20 chùa. Dữ liệu xã hội chỉ bổ trợ diễn giải giá trị tôn giáo - tinh thần, cộng đồng, bản sắc và ký ức, không thay thế bằng chứng vật chất và không dùng để suy rộng thống kê cho toàn bộ cộng đồng Khmer.

3.3. Bộ tiêu chí và quy trình đánh giá

Bộ đánh giá gồm 58 tiêu chí thuộc 9 nhóm: lịch sử; kiến trúc; nghệ thuật; cảnh quan; tôn giáo - tinh thần; cộng đồng; kỹ thuật - vật liệu; bản sắc; thích ứng. Tiêu chí được xây dựng từ lý thuyết giá trị di sản, đặc trưng chùa Khmer, khảo sát 100 chùa và thử nghiệm chuyên gia; mỗi tiêu chí gắn với bằng chứng kiểm tra được. Thang năm mức dùng các mốc 1-3-5, điểm 2 và 4 là trung gian. Mỗi chùa có 5 lượt đánh giá độc lập; khi chênh lệch từ một bậc điểm trở lên hoặc làm thay đổi nhận định, hồ sơ bằng chứng được đối chiếu lại.

Điểm nhóm là trung bình các tiêu chí thành phần; điểm chung là trung bình 9 nhóm với trọng số ngang nhau. Điểm số chỉ mô tả mức biểu hiện và hỗ trợ đối chiếu bằng chứng, không dùng xếp hạng chùa hay bù trừ giữa các nhóm giá trị.

3.4. Nguyên tắc ghi nhận biến đổi và xử lý dữ liệu

Biến đổi chỉ được xác định khi có hồ sơ, ảnh, bản vẽ, dấu vết vật chất hoặc thông tin về trạng thái trước để đối chiếu. Thiếu dữ liệu trước - sau, nghiên cứu chỉ ghi nhận hiện trạng hoặc dấu hiệu can thiệp. Dữ liệu định lượng dùng ở mức mô tả; dữ liệu định tính giải thích thuộc tính thay đổi và giá trị bị tác động.

4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

4.1. Nhận diện các giá trị của di sản kiến trúc chùa Khmer

Kết quả khảo sát 20 chùa cho thấy 9 nhóm giá trị có mức biểu hiện khác nhau; điểm trung bình chung đạt 4,28/5. Điểm tổng hợp chỉ mô tả cấu hình chung, không thay thế việc xem xét từng nhóm giá trị.

Bảng 1. Các nhóm giá trị của di sản kiến trúc chùa Khmer vùng TNB

Nhóm giá trị	Thuộc tính biểu đạt chủ yếu	Điểm trung bình	Khoảng biến thiên (min - max)
Lịch sử	Niên đại, dấu tích lịch sử, tính liên tục, ký ức cộng đồng	4,37	3,04 - 4,96
Kiến trúc	Bố cục, chánh điện, trục không gian, tỷ lệ - hình khối, tính toàn vẹn và đặc thù loại hình	4,33	3,80 - 4,86

Nhóm giá trị	Thuộc tính biểu đạt chủ yếu	Điểm trung bình	Khoảng biến thiên (min - max)
Nghệ thuật	Điều khắc, hội họa, hoa văn, biểu tượng, màu sắc	4,41	3,80 - 4,89
Cảnh quan	Cây xanh, mặt nước, khoảng mở, quan hệ công trình - cảnh quan	4,17	2,80 - 4,97
Tôn giáo - tinh thần	Không gian thiêng, nghi lễ, biểu tượng Phật giáo, tính liên tục của đời sống tôn giáo	4,43	3,89 - 4,91
Cộng đồng	Quan hệ với phum - sóc, sinh hoạt, lễ hội, giáo dục, kỷ ức cộng đồng	4,37	3,80 - 4,91
Kỹ thuật - vật liệu	Vật liệu, kết cấu, kỹ thuật xây dựng - trang trí, tri thức và kỹ năng truyền thống	3,72	2,87 - 4,50
Bản sắc	Khả năng nhận diện; sự gắn kết giữa kiến trúc, nghệ thuật, tôn giáo và văn hóa Khmer	4,36	3,87 - 4,87
Thích ứng	Khả năng tiếp tục sử dụng và đáp ứng điều kiện tự nhiên, xã hội và nhu cầu sử dụng	4,35	3,70 - 4,93

Nguồn: Tổng hợp từ kết quả khảo sát của nghiên cứu

Tôn giáo - tinh thần có điểm cao nhất (4,43/5), tiếp đến nghệ thuật (4,41/5), lịch sử và cộng đồng (4,37/5), bản sắc (4,36/5), thích ứng (4,35/5) và kiến trúc (4,33/5). Cấu hình này phản ánh sự đồng thời của kiến trúc, nghệ thuật, nghi lễ, kỷ ức và đời sống cộng đồng.

Kỹ thuật - vật liệu thấp nhất (3,72/5), tiếp đến cảnh quan (4,17/5). Khoảng biến thiên của hai nhóm này lần lượt là 2,87 - 4,50 và 2,80 - 4,97, cho thấy mức độ duy trì vật liệu, kỹ thuật và cảnh quan khác biệt đáng kể giữa các chùa.

Thích ứng đạt 4,35/5, nhưng không được dùng để bù trừ mất mát ở vật liệu - kỹ thuật, cảnh quan hoặc thuộc tính có giá trị khác.

4.2. Những biểu hiện biến đổi của di sản trong bối cảnh đương đại

Khảo sát ghi nhận năm nhóm biến đổi: không gian - công trình; hình thức - trang trí; vật liệu - kỹ thuật; cảnh quan; và cách sử dụng. Mức tác động phụ thuộc vào thuộc tính bị thay đổi, không chỉ quy mô can thiệp.

- Biến đổi không gian - công trình chủ yếu do bổ sung hoặc mở rộng sala, tăng xá, nhà khách, lớp học và hạng mục phục vụ. Ở chùa có quỹ đất hạn chế, công trình mới làm tăng mật độ, thu hẹp sân, khoảng đệm và thay đổi quan hệ với chánh điện; vì vậy vị trí và quy mô xây mới cần được kiểm soát.

- Hình thức kiến trúc - trang trí thay đổi qua sửa chữa và xây mới. Naga, Garuda, Yeak và hoa văn Khmer vẫn được duy trì, nhưng vật liệu, màu sắc và kỹ thuật thể hiện có thể thay đổi. Chùa Chén Kiêu cho thấy vật liệu gốm, sành và mảnh chén vừa tạo đặc trưng nhận diện, vừa đòi hỏi kỹ thuật bảo trì phù hợp.

- Vật liệu - kỹ thuật biến đổi rõ do sử dụng rộng hơn bê tông cốt thép, thép, gạch men, sơn công nghiệp và vật liệu hoàn thiện mới. Các giải pháp này đáp ứng độ bền và tiện nghi, nhưng thay thế trực tiếp cấu kiện, bề mặt hoặc phương thức tạo tác có giá trị có thể làm mất bằng chứng vật chất và kỹ năng truyền thống;

điều này phù hợp với điểm kỹ thuật - vật liệu thấp nhất trong chín nhóm.

- Cảnh quan biến đổi do tăng mật độ xây dựng, cứng hóa bề mặt, giảm cây xanh, thu hẹp mặt nước hoặc thay đổi trường nhìn. PituKhosarangsay có điểm cảnh quan 2,80/5 trong khi kiến trúc và nghệ thuật vẫn cao; Chùa Ảng đạt 4,97/5 nhờ duy trì Ao Bà Om, cây xanh lâu năm, ao hồ và khoảng mở. Đối sánh cho thấy chất lượng quần thể không thể suy ra từ riêng công trình chính.

- Cách sử dụng thay đổi theo nhu cầu giáo dục, sinh hoạt cộng đồng, tiếp khách và du lịch. Công năng mới không tự thân làm suy giảm giá trị; tác động phụ thuộc việc duy trì nghi lễ, sức chứa, không gian lễ hội và thuộc tính quan trọng.

Cần phân biệt thay đổi phục vụ sử dụng với thay đổi làm suy yếu quan hệ không gian - cảnh quan hoặc thay thế thuộc tính có giá trị; đánh giá phải dựa trên bằng chứng từng trường hợp.



Hình 1. Một số biểu hiện hiện trạng và can thiệp tại các chùa Khmer khảo sát. Nguồn: Ảnh khảo sát thực địa của tác giả

4.3. Những vấn đề đặt ra đối với bảo tồn và duy trì giá trị di sản

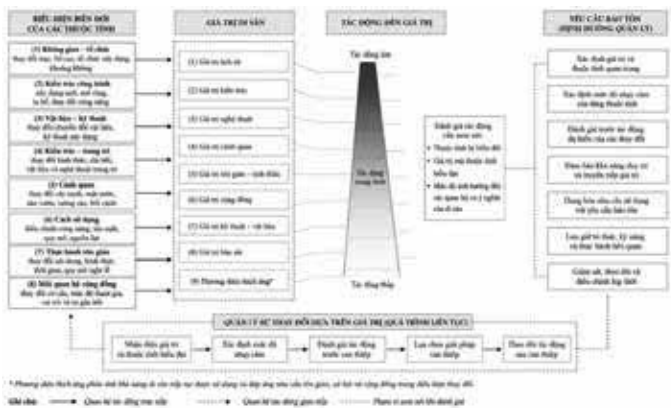
Đối chiếu kết quả với bằng chứng hiện trường cho thấy bốn vấn đề ưu tiên đối với tu bổ, xây mới và quản lý chùa Khmer.

- Thứ nhất, thuộc tính vật chất biến đổi rõ hơn trong khi giá trị tôn giáo - tinh thần và cộng đồng vẫn cao. Kỹ thuật - vật liệu đạt 3,72/5, thấp hơn tôn giáo - tinh thần (4,43/5) và cộng đồng (4,37/5), cho thấy nguy cơ mất vật liệu, kỹ năng và phương thức tạo tác truyền thống dù hoạt động tôn giáo - cộng đồng vẫn tiếp tục.

- Thứ hai, biến đổi vật chất không đồng nghĩa với suy giảm toàn bộ hệ giá trị. Một số thay đổi công năng hoặc công trình phụ trợ là cần thiết; quyết định can thiệp phải xác định thuộc tính bị thay đổi, giá trị liên quan và mức ảnh hưởng chấp nhận được.

- Thứ ba, tính toàn vẹn nằm ở quan hệ của toàn quần thể. Trục tiếp cận, sân, khoảng đệm, cây xanh, mặt nước, trường nhìn và quan hệ chánh điện - sala - tầng xá - tháp cốt có thể suy yếu dù công trình chính không bị phá bỏ; hồ sơ thiết kế vì vậy cần đánh giá tác động ở cấp khuôn viên và cảnh quan.

- Thứ tư, tiếp tục sử dụng vừa duy trì giá trị vừa tạo áp lực thay đổi. Giới hạn thay đổi cần xác định trước khi lập phương án, nhất là vị trí xây mới, chiều cao, mật độ, vật liệu và quan hệ với không gian thiêng.



Hình 2. Chuỗi phân tích từ biến đổi thuộc tính đến giá trị bị tác động và yêu cầu bảo tồn.
Nguồn: Tác giả tổng hợp

5. THẢO LUẬN

5.1. Biến đổi và yêu cầu duy trì giá trị của di sản sống

Bảo tồn chùa Khmer cần xử lý đồng thời tính liên tục và sự biến đổi. Công trình, vật liệu - kỹ thuật và cảnh quan có thể thay đổi theo thời gian, trong khi nghi lễ và sinh hoạt cộng đồng tiếp tục duy trì vai trò của chùa. Điều này phù hợp với tiếp cận di sản sống, nơi giá trị được duy trì qua cả cấu trúc vật chất, thực hành, tri thức và cộng đồng [8, 9].

Từ bảo tồn dựa trên giá trị, cần phân biệt thay đổi thuộc tính với suy giảm giá trị. Burra Charter xác định ý nghĩa văn hóa qua cấu trúc vật chất, bối cảnh, cách sử dụng, các mối liên hệ và ý nghĩa gắn với địa điểm [6]. Một giá trị có thể được biểu đạt bởi nhiều thuộc tính và ngược lại; do đó mức thay đổi vật chất tự thân chưa đủ để kết luận mức suy giảm giá trị.

Ở chùa Khmer, kiến trúc, nghệ thuật, cảnh quan, thực hành tôn giáo và đời sống cộng đồng tạo thành hệ liên kết. Bảo tồn không đồng nghĩa giữ nguyên mọi thành phần, mà ưu tiên duy trì các thuộc tính và quan hệ thiết yếu đối với khả năng biểu đạt, truyền tiếp giá trị.

So với các nghiên cứu trong nước thường tách riêng tôn giáo - xã hội, kiến trúc - không gian hoặc trang trí [1, 2, 3, 4, 5], và các nghiên cứu khu vực về lịch sử sử dụng, kiểu loại tu viện hay quan hệ giữa bảo tồn với thực hành tôn giáo [11, 12, 13, 14], nghiên cứu này đặt giá trị, thuộc tính biểu đạt và biến đổi trong cùng một quan hệ phân tích. Đóng góp nằm ở việc chuyển từ nhận diện biến đổi sang xác định ý nghĩa của biến đổi đối với khả năng duy trì giá trị.

5.2. Quản lý sự thay đổi dựa trên giá trị

Bảo tồn chùa Khmer có thể được tiếp cận như quản lý sự thay đổi dựa trên giá trị. Nhận diện ý nghĩa di sản và thuộc tính biểu đạt cần đi trước quyết định quản lý và lựa chọn can thiệp [6, 7]. Với di tích đã xếp hạng, việc lựa chọn bảo quản, tu bổ, phục hồi hay tôn tạo phải tuân thủ Luật Di sản văn hóa 2024, ưu tiên yếu tố gốc và căn cứ khoa học [10].

Phạm vi quản lý cần mở rộng từ từng công trình sang quan hệ không gian - kiến trúc - cảnh quan - sử dụng - cộng đồng. Một công trình phụ trợ dù không tác động trực tiếp chánh điện vẫn có thể làm thay đổi mật độ, trường nhìn, khoảng đệm hoặc luồng nghi lễ.

Mức chấp nhận thay đổi dựa trên tầm quan trọng và độ nhạy của thuộc tính. Không gian thiêng, bố cục cốt lõi, vật liệu - kỹ thuật đặc trưng và cảnh quan nhận diện cần ngưỡng can thiệp chặt hơn; thành phần phục vụ có thể linh hoạt nếu không làm suy yếu quan hệ tổng thể.

Quy trình quản lý gồm: nhận diện giá trị và thuộc tính biểu đạt → xác định độ nhạy → đánh giá tác động trước can thiệp → lựa

chọn giải pháp → theo dõi sau can thiệp. Nhờ đó, kết quả đánh giá trở thành căn cứ thiết kế và thẩm định thay vì chỉ mô tả hiện trạng.

Theo dõi sau can thiệp cần cập nhật ảnh, bản vẽ hiện trạng, vật liệu, cảnh quan và công năng để phát hiện sớm xu hướng suy giảm. Với di sản sống, bảo tồn là quá trình điều chỉnh liên tục chứ không kết thúc sau một đợt tu bổ.

6. KẾT LUẬN

Khảo sát cho thấy hệ giá trị di sản kiến trúc chùa Khmer TNB có cấu trúc đa thành phần; các giá trị tôn giáo - tinh thần, nghệ thuật, lịch sử và cộng đồng được duy trì rõ, còn kỹ thuật - vật liệu và cảnh quan nhạy cảm hơn trước biến đổi. Vì vậy, đánh giá cần dựa trên cấu trúc giá trị và thuộc tính biểu đạt, không dùng điểm tổng hợp hoặc khả năng thích ứng để bù trừ mất mát ở nhóm khác.

Biến đổi tập trung ở không gian - công trình, hình thức - trang trí, vật liệu - kỹ thuật, cảnh quan và sử dụng. Tác động cần được xác định từ thuộc tính bị thay đổi và giá trị liên quan. Trên cơ sở đó, quản lý sự thay đổi phải nhận diện thuộc tính quan trọng, đánh giá tác động ở cấp quần thể, xác lập giới hạn thay đổi trước can thiệp và theo dõi sau can thiệp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Trần Bảo Ngọc. Kiến trúc chùa Khmer - Biểu tượng nghệ thuật và tâm thức Phật giáo. Văn hóa học, 2013. Internet: <https://www.vanhoahoc.edu.vn/nghien-cuu/van-hoa-viet-nam/van-hoa-nam-bo/2408-tran-bao-ngoc-kien-truc-chua-khmer-bieu-tuong-nghe-thuat-va-tam-thuc-phat-giao.html> (truy cập: tháng 7/2026).
- [2] Nguyễn Khắc Cảnh. Văn hóa truyền thống của người Khmer Nam Bộ nhìn từ khía cạnh ngôi chùa. Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ, tập 14, số 3, tr. 87-92, 2011, doi: 10.32508/stdj.v14i3.2000.
- [3] Hứa Sa Ni. Kiến trúc ngôi “Sa-la” trong chùa Khmer. Hội Văn học Nghệ thuật Đồng Nai, 2024. Internet: <https://hvnt.dongnai.gov.vn/pages/newsdetail.aspx?CatId=102&NewsId=3885> (truy cập: tháng 7/2026).
- [4] Đặng Lê Huệ. Nghệ thuật kiến trúc và trang trí chùa Khmer Nam Bộ (Trường hợp chùa Chantarangsay TP.HCM). Luận văn thạc sĩ, Trường Đại học Khoa học Xã hội và Nhân văn, Đại học Quốc gia TP.HCM, 2017.
- [5] Nguyễn Dương Tử. Kiến trúc chùa Khmer qua nghệ thuật trang trí: Nghiên cứu trường hợp chùa Bô Tum Vongsom Rong, Sóc Trăng. Kỷ yếu Hội nghị khoa học giảng viên, học viên, sinh viên năm 2024, Tập 3, Trường Đại học Thủ Dầu Một, tr. 897-910, 2024.
- [6] Australia ICOMOS. The Burra Charter: The Australia ICOMOS Charter for Places of Cultural Significance 2013. Australia ICOMOS, 2013.
- [7] R. Mason. Assessing values in conservation planning: Methodological issues and choices. In M. de la Torre (Ed.), Assessing the Values of Cultural Heritage, Getty Conservation Institute, Los Angeles, pp. 5-30, 2002.
- [8] S. Court and G. Wijesuriya. People-Centred Approaches to the Conservation of Cultural Heritage: Living Heritage. ICCROM, Rome, 2015.
- [9] H. Stovel, N. Stanley-Price and R. Killick (Eds.). Conservation of Living Religious Heritage. ICCROM, Rome, 2005.
- [10] Quốc hội. Luật Di sản văn hóa số 45/2024/QH15 ngày 23/11/2024. Hà Nội, 2024.
- [11] A. Harris, T. Tin, S. Soeng, H. He, V. Cheng and S. Chhouk. Towards a temporal assessment of Angkor Thom's Theravada “Buddhist Terrace” archaeology. Asian Archaeology, vol. 6, no. 2, pp. 167-183, 2022, doi: 10.1007/s41826-022-00056-y.
- [12] K. Sene Na Ayudhaya and K. Kirdsiri. Southern Buddhist Monasteries: Typology of Buddhist Monasteries Architectures in Takbai, Narathiwat Province and the Observations on Function and Architectural Configuration in Local Society and Culture Context. Journal of Architectural/Planning Research and Studies (JARS), vol. 15, no. 1, pp. 147-164, 2018, doi: 10.56261/jars.v15i1.156360.
- [13] L. Bear, N. Avieli and J. Feldman. UNESCO World Heritage Sites: shared shrines or contested sanctuaries? The case of the Buddhist temples of Luang Prabang, Laos. Journal of Heritage Tourism, vol. 16, no. 1, pp. 1-19, 2021, doi: 10.1080/1743873X.2020.1759609.
- [14] D. Berliner. Multiple nostalgias: the fabric of heritage in Luang Prabang (Lao PDR). Journal of the Royal Anthropological Institute, vol. 18, no. 4, pp. 769-786, 2012, doi: 10.1111/j.1467-9655.2012.01791.x.

Ứng dụng mô phỏng trong đánh giá hiệu quả thiết kế thụ động của nhà phố tại TP Hồ Chí Minh: Trường hợp nghiên cứu nhà Bình Tân

Application of simulation in evaluating the passive design performance of a townhouse in Ho Chi Minh City: The case of Binh Tan house

> VŨ ĐỨC NGUYỄN

Trường Đại học Văn Lang; Email: vuducnguyen502@gmail.com

TÓM TẮT

Bài báo trình bày việc ứng dụng các công cụ mô phỏng trong đánh giá hiệu quả thiết kế thụ động của nhà phố tại TP.HCM thông qua nghiên cứu trường hợp Nhà Bình Tân. Nghiên cứu nhằm: (i) đánh giá khả năng thích ứng khí hậu của công trình trên các phương diện che nắng, kiểm soát bức xạ mặt trời và thông gió tự nhiên, từ đó (ii) xác định mức độ phù hợp của các giải pháp thiết kế đối với điều kiện khí hậu nhiệt đới nóng ẩm. Trên cơ sở đó, (iii) nghiên cứu đề xuất một số định hướng tối ưu hóa thiết kế thụ động nhằm nâng cao hiệu quả môi trường cho các công trình nhà phố tương tự tại TP.HCM.

Tiến trình nghiên cứu được thực hiện thông qua khảo sát hiện trạng công trình, phân tích dữ liệu khí hậu địa phương, mô phỏng bức xạ mặt trời và hiệu quả che nắng mặt đứng, đồng thời đánh giá khả năng thông gió tự nhiên bằng các công cụ mô phỏng chuyên dụng. Kết quả nghiên cứu cho thấy hiệu quả môi trường của công trình phụ thuộc chủ yếu vào sự kết hợp giữa các giải pháp che nắng và tổ chức thông gió tự nhiên. Trong đó, thông gió xuyên phòng kết hợp giếng trời và sân sau đóng vai trò quan trọng trong việc cải thiện điều kiện vi khí hậu bên trong công trình.

Từ khóa: Kiến trúc bền vững; hiệu quả thiết kế thụ động; nhà phố; TP.HCM.

ABSTRACT

This paper presents the application of simulation tools to evaluate the performance of passive design strategies in townhouse architecture in Ho Chi Minh City through a case study of Binh Tan House. The study aims to: (i) assess the building's climatic responsiveness in terms of solar shading, solar radiation control, and natural ventilation; (ii) determine the suitability of these design strategies under hot-humid tropical climatic conditions; and (iii) propose design optimization directions to enhance the environmental performance of similar townhouse developments in Ho Chi Minh City.

The research process involved on-site building surveys, local climate data analysis, simulations of solar radiation and façade shading performance, and the evaluation of natural ventilation using specialized simulation tools. The findings indicate that the environmental performance of the building depends primarily on the integration of shading devices and natural ventilation strategies. In particular, cross-ventilation combined with a skylight and rear courtyard plays a significant role in improving the indoor microclimatic conditions of the building.

Keywords: Sustainable architecture; passive design performance; townhouses; Ho Chi Minh City.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nhà phố liền kề là loại hình kiến trúc phổ biến tại TP.HCM. Tuy nhiên, nhà phố lại tồn tại bất cập lớn về hướng tiếp cận. Việc phân tích, đánh giá hiệu quả bền vững thụ động thông qua trường hợp Nhà Bình Tân giúp phát hiện những vấn đề và tìm ra giải pháp tối ưu đối với công trình và loại hình công trình. Nghiên cứu hướng đến mục tiêu chính là đánh giá hiệu quả bền vững thụ động của công trình, từ đó rút ra bài học kinh nghiệm cho thiết kế nhà phố tại TP.HCM.

Đối tượng nghiên cứu là công trình kiến trúc thuộc thể loại nhà phố/nhà ống điển hình tại phường Tân Tạo (quận Bình Tân cũ), TP.HCM. Công trình được xây dựng và hoàn thành trong năm 2024. Vị trí xây dựng thuộc thửa 49, tờ bản đồ số 51 theo tài liệu năm 2005 (Hình 1) [1].

Bài viết triển khai ba câu hỏi nghiên cứu chính như sau: Thứ nhất, các giải pháp thiết kế hiện tại của công trình có ảnh hưởng đến hiệu quả bền vững thụ động là gì; Thứ hai, hiệu suất của các giải pháp thiết kế đó có đạt được hiệu quả bền vững thụ động tối ưu khi sử dụng hay không; Thứ ba, bài học nào có thể được rút ra từ các giải pháp thiết kế trong công trình này?



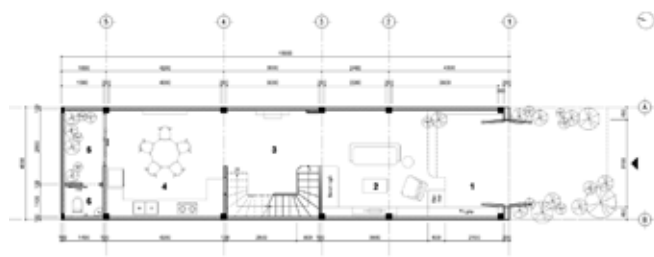
Hình 1. Bản đồ vị trí công trình nghiên cứu. Nguồn: Tác giả, 2026.

Phương pháp tổng hợp và phân tích tài liệu được sử dụng để xây dựng khung lý thuyết cho nghiên cứu. Các nguồn tài liệu bao gồm sách chuyên khảo, bài báo khoa học, và các tiêu chuẩn kỹ thuật quốc tế về thiết kế bền vững thụ động. Thu thập dữ liệu từ hồ sơ bản vẽ thiết kế, hồ sơ pháp lý (giấy phép xây dựng), và khảo sát hiện trạng công trình sau khi hoàn thành thi công. Phương pháp này cho phép so sánh giữa ý đồ thiết kế và thực tế xây dựng, đồng thời ghi nhận các đặc điểm vật liệu và giải pháp kiến trúc được áp dụng.

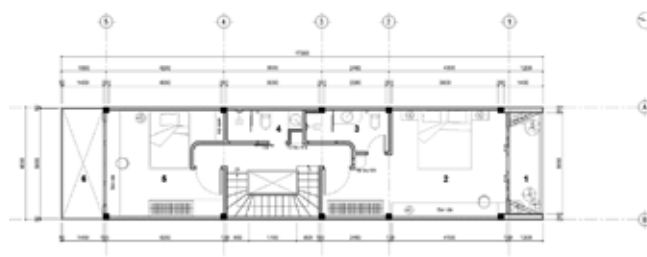
2. TỔNG QUAN VỀ CÔNG TRÌNH VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Công trình có chiều ngang 4 m, dài 17,2 m với ba mặt tiếp giáp nhà ở liền kề và một mặt tiếp cận duy nhất hướng Đông Nam. Quy mô công trình bao gồm: tầng trệt (58 m²); lầu một (59,9 m²); lầu hai (62,8 m²); tầng thượng (62,8 m²). Tổng chiều cao công trình được thiết kế theo quy định là 11,6 m [2] tính từ vỉa hè tiếp giáp mặt tiền (cote ±0.000) đến lan can tầng thượng (cote +11.600). Cao độ tầng trệt là 3,78 m; lầu 1 là 3,4 m; lầu 2 là 3,42 m. Mặt đứng không được che chắn quá 50%, bề mặt vỏ bao che được hoàn thiện bằng đá rửa kết hợp với các diện brise-soleil (vách gạch bông gió) Bảng 1.

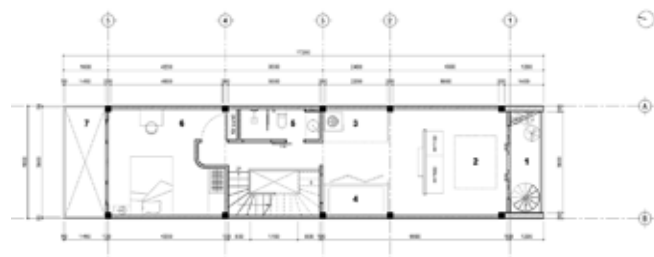
Bảng 1. Bảng tổng hợp các bản vẽ mặt bằng, mặt đứng của công trình nghiên cứu. Nguồn: Tác giả, 2026



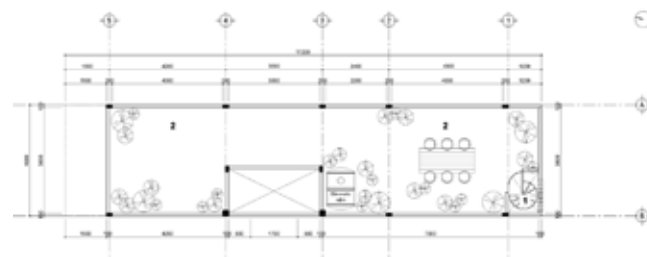
Mặt bằng tầng trệt



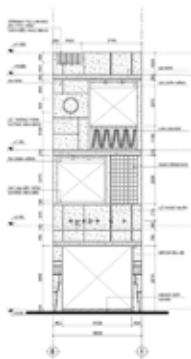
Mặt bằng lầu 1



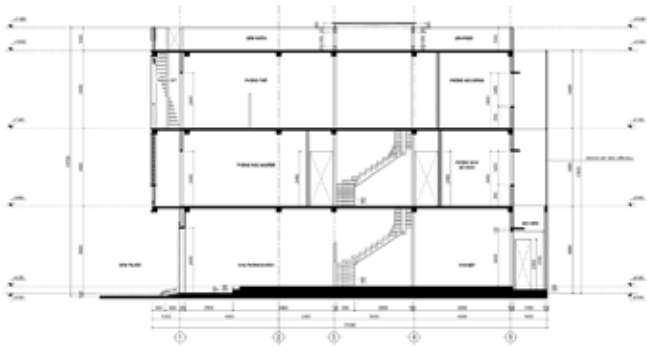
Mặt bằng lầu 2



Mặt bằng tầng thượng



Mặt đứng chính diện, trục 1-5



Mặt cắt tổng thể, trục A-B

3. CƠ SỞ KHOA HỌC

3.1. Khung lý thuyết

Chiến lược làm mát thụ động cho khí hậu nhiệt đới: Nghiên cứu của Gamero-Salinas và cộng sự [3] đã xác định thông gió tự nhiên và độ hấp thụ của tường là các chiến lược làm mát thụ động có ảnh hưởng nhất trong khí hậu nhiệt đới.

Nguyên tắc thiết kế sinh khí hậu: Victor Olgyay đã thiết lập cơ sở cho kiến trúc đáp ứng khí hậu qua Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism. Đối với vùng nóng ẩm, Olgyay khuyến nghị: tối đa hóa các lỗ mở, sử dụng vật liệu nhẹ, sử dụng hiên sâu để che nắng và phát triển “Thời khóa biểu Nhu cầu khí hậu” [4].

Tiêu chuẩn ANSI/ASHRAE Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy [5] yêu cầu vùng tiện nghi chấp nhận được từ 80% đến 90%. Sáu biến số chính: nhiệt độ không khí, nhiệt độ bức xạ trung bình, độ ẩm tương đối, tốc độ gió, tốc độ trao đổi chất, và cách nhiệt trang phục. Đối với công trình thông gió tự nhiên, tiêu chuẩn Tiện nghi thích ứng (ACS) cho phép nhiệt độ trong nhà cao hơn vào mùa hè, áp dụng cho nhiệt độ ngoài trời trung bình chủ đạo từ 10°C đến 33,5°C.

Các nghiên cứu tiền lệ: Nghiên cứu của Zhonghua Gou [6] cho thấy thông gió xuyên phòng qua các lỗ mở tường và giếng trời dẫn đến vận tốc gió cao hơn và mức độ chuẩn hóa không khí thấp hơn đáng kể. Nghiên cứu của Anh-Tuan Nguyen [7] đã xác định các chiến lược đáp ứng khí hậu trong kiến trúc dân gian Việt Nam. Đánh giá hiệu quả cho thấy thông gió tự nhiên, định hướng/hình dạng công trình, và che chắn nắng là phù hợp và hiệu quả cho điều kiện khí hậu Việt Nam.

Bảng 2. Bảng tổng hợp các công cụ mô phỏng hiệu quả bền vững. *Nguồn: Tác giả, 2026*

Công cụ	Mục đích sử dụng
Climate Consultant	Phân tích đặc điểm khí hậu TP.HCM: nhiệt độ, độ ẩm, hướng gió, bức xạ mặt trời
Performative Design: Web App Preview	Mô phỏng biểu kiến mặt trời và bóng đổ lên mặt đứng công trình tại các thời điểm 09:00, 12:00, 15:00 vào ngày Hạ Chí và Đông Chí
Sustainable By Design	Mô phỏng bóng đổ của ô văng trên cửa đi và cửa sổ; đánh giá hiệu quả che nắng trong năm
Optivent	Đánh giá hiệu quả thông gió tự nhiên, làm mát thụ động cho từng không gian trong công trình

3.2. Cơ sở thực tiễn

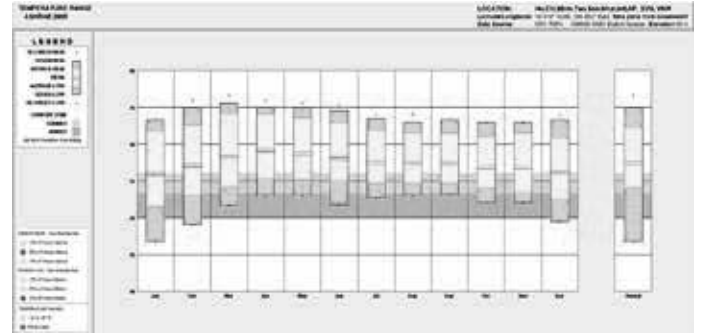
Ba công trình sử dụng giải pháp thiết kế thụ động có tính ứng dụng cao cho điều kiện nóng ẩm của Việt Nam gồm: (1) Nhà Tổ mối (Việt Nam) với ứng dụng lớp vỏ kép (brise-soleil) cho phép không khí lưu thông liên tục, giảm nắng chiếu trực tiếp [8]; (2) S11 House (Malaysia) đại diện cho xu hướng Chủ nghĩa Hiện đại khí hậu (Bioclimatic Modernism) [9]; (3) Ena de Silva House (Sri Lanka) có thiết kế mái hiên vươn sâu che chắn công trình khỏi ánh nắng nhiệt đới và mưa gió mùa [10].

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

4.1. KẾT QUẢ

4.1.1. Thông tin khí hậu từ Climate Consultant

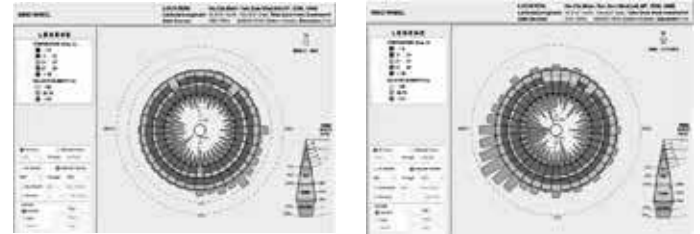
Nhiệt độ: TP.HCM có nền khí hậu nóng ổn định quanh năm, biên độ nhiệt thấp nhưng kéo dài. Nhiệt độ trung bình năm khoảng 26-28°C; Biên độ nhiệt năm thấp khoảng 3-4°C; Nhiệt độ cực đại có thể đạt 35-36°C; Nhiệt độ trung bình cao nhất khoảng 28-29°C vào tháng 3-6 (Hình 2).



Hình 2. Biểu đồ nhiệt độ trung bình năm theo ứng dụng Climate Consultant. *Nguồn: Tác giả tổng hợp, 2026*

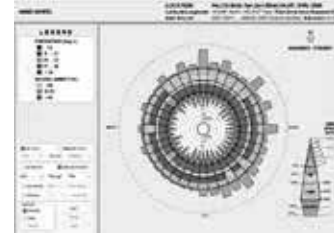
Hướng gió: TP.HCM có chế độ gió mùa rõ rệt với ba pha chính trong năm, hướng gió thay đổi rõ theo mùa, tốc độ gió trung bình 2-5 m/s (Bảng 3).

Bảng 3. Bảng tổng hợp các hướng gió chính tại TP.HCM theo Climate Consultant 6.0. *Nguồn: Tác giả tổng hợp, 2026*



Hướng gió Đông Nam (tháng 3 - tháng 5)

Hướng gió Tây Nam (tháng 6 - tháng 10)



Hướng gió Đông Bắc (tháng 11 - tháng 12)

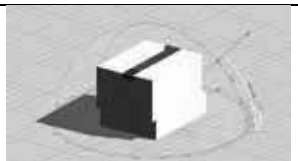
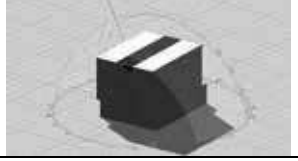
4.1.2. Kết quả mô phỏng ánh sáng mặt trời và bóng đổ

Kết quả mô phỏng ánh sáng mặt trời và bóng đổ được thực hiện thông qua ứng dụng Performative Design: Web App Preview, tại hai thời điểm trong năm: Hạ Chí (ngày 21/6) và Đông Chí (ngày 21/12) (Bảng 4, Bảng 5, Bảng 6).

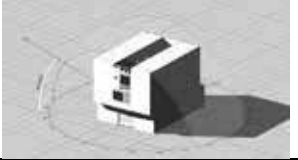
Bảng 4. Kết quả mô phỏng ánh sáng mặt trời theo giờ tại thời điểm Hạ Chí và Đông Chí. *Nguồn: Tác giả, 2026*

Thời điểm trong ngày	Hạ Chí	Đông Chí
09:00		
12:00		

Bảng 5. Phân tích kết quả mô phỏng ánh sáng mặt trời tại thời điểm Hạ Chí. *Nguồn: Tác giả, 2026*

Thời gian	Hướng chiếu mặt trời	Đánh giá	Hình ảnh
09:00	Đông-Đông Bắc Góc cao độ 45-55°	Bức xạ mặt trời tác động mạnh lên mặt đứng hướng Đông, tạo bóng đổ dài về phía Tây. Mặt tiền hướng Nam nhận ít bức xạ trực tiếp.	
15:00	Mặt trời đạt đỉnh, lệch về phía Bắc	Bóng đổ ngắn nhất trong ngày. Bức xạ mặt trời chủ yếu tác động lên mái và các bề mặt nằm ngang. Thời điểm hệ che nắng phát huy hiệu quả tối đa.	
15:00	Tây-Tây Bắc Góc cao độ 45-55°	Bức xạ mặt trời tác động mạnh lên mặt đứng hướng Tây.	

Bảng 6. Phân tích kết quả mô phỏng ánh sáng mặt trời tại thời điểm Đông Chí. *Nguồn: Tác giả, 2026*

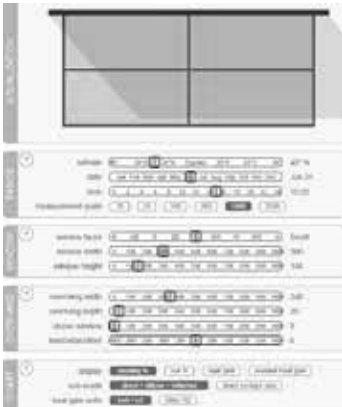
Thời gian	Hướng chiếu mặt trời	Đánh giá	Hình ảnh
09:00	Đông-Đông Nam Góc cao độ 35-45°	Bóng đổ dài, nghiêng về phía Tây Bắc. Mặt tiền hướng Nam nhận bức xạ trực tiếp	
15:00	Mặt trời đạt đỉnh, lệch về phía Nam	Bóng đổ ngắn nhưng vẫn có độ dài đáng kể so với ngày Hạ Chí.	
15:00	Tây-Tây Nam Góc cao độ 35-45°	Bức xạ tác động lên cả mặt đứng hướng Tây và Nam. Bóng đổ kéo dài đáng kể về phía Đông Bắc.	

Bảng 7. Bảng so sánh kết quả mô phỏng ánh sáng mặt trời tại thời điểm Hạ Chí và Đông Chí. *Nguồn: Tác giả, 2026*

Thời điểm	Hạ Chí	Đông Chí
Góc cao độ mặt trời lúc 12:00	75° - 85° (gần thiên đỉnh)	55° - 65° (nghiêng phía Nam)
Hướng mặt trời buổi trưa	Hơi lệch phía Bắc so với thiên đỉnh	Rõ rệt về phía Nam
Độ dài bóng đổ	Ngắn (đặc biệt buổi trưa)	Dài hơn đáng kể
Mặt tiền chịu bức xạ mạnh nhất	Hướng Đông (buổi sáng) Hướng Tây (buổi chiều)	Hướng Nam (cả ngày)

4.1.3. Kết quả mô phỏng bóng đổ trên ô văng

Mô phỏng bóng đổ ô văng trên cửa sổ công trình Nhà Bình Tân được thực hiện để đánh giá vùng bóng đổ của ô văng tại các thời điểm khác nhau trong ngày, cho phép xác định tỷ lệ diện tích cửa sổ được che nắng. Thông số đầu vào mô phỏng được thiết lập cho mô phỏng bóng đổ trên ô văng của công trình Nhà Bình Tân như Hình 3.

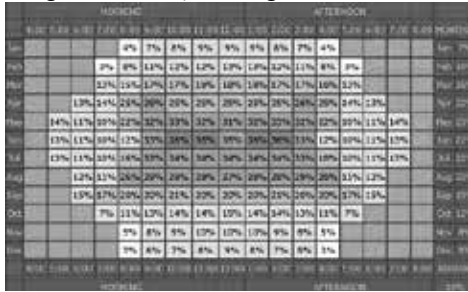


Hình 3. Thông số đầu vào thiết lập cho mô phỏng bóng đổ trên ô văng công trình. *Nguồn: Tác giả, 2026.*

Kết quả phân tích hệ số chiếu: Theo tiêu chuẩn ASHRAE 90.1-2026, Hệ số chiếu (Projection Factor - PF) được tính theo công thức: $PF = D / (H + A)$, trong đó D là chiều sâu nhô ra theo phương ngang của ô văng, H là chiều cao kính cửa sổ, và A là khoảng cách từ mép trên kính đến mép dưới ô văng. Áp dụng công thức này cho công trình Nhà Bình Tân: $PF = 30 / (145 + 0) = 30 / 145 \approx 0.21$

Giá trị PF = 0.21 thuộc mức thấp nhất (PF < 0.25), cho thấy chiều sâu ô văng hiện tại tương đối nhỏ so với chiều cao cửa sổ. Tính toán dựa trên hệ số tăng nhiệt mặt trời tương đương trong khí hậu nhiệt đới, Hệ số chiếu thấp hạn chế khả năng che nắng, đặc biệt khi góc cao độ mặt trời thấp [11]. Hướng dẫn thiết kế từ Whole Building Design Guide (WBDG) khuyến nghị PF từ 0,5 đến 1,0 cho vùng khí hậu nóng để đạt hiệu quả che nắng cao [12].

Bảng kết quả mô phỏng từ công cụ Sustainable By Design (Hình 4) hiển thị tỷ lệ phần trăm diện tích cửa sổ được che nắng theo từng giờ trong ngày và từng tháng trong năm. Kết quả cho thấy hiệu quả che nắng trung bình năm đạt khoảng 16%.



Hình 4. Kết quả mô phỏng hiệu quả che nắng theo tháng. Nguồn: Tác giả, 2026

Bảng 8. Bảng tổng hợp kết quả hiệu quả che nắng theo tháng.

Nguồn: Tác giả, 2026

Tháng	Che nắng (%)	Mức đánh giá	Ghi chú
1	7	Rất thấp	Mùa khô, góc mặt trời thấp
2	10	Thấp	Chuyển mùa
3	16	Trung bình thấp	Xuân phân
4	22	Trung bình	Nóng nhất tại TP.HCM
5	23	Cao nhất	Góc cao độ mặt trời cao
6	22	Trung bình	Hạ chí (21/6)
7	22	Trung bình	Mùa mưa
8	23	Cao nhất	Góc cao độ mặt trời cao
9	19	Trung bình thấp	Thu phân
10	12	Thấp	Chuyển mùa
11	8	Rất thấp	Góc mặt trời thấp
12	6	Thấp nhất	Đông chí (21/12)
Trung bình năm	16	-	Hiệu quả che nắng tổng thể

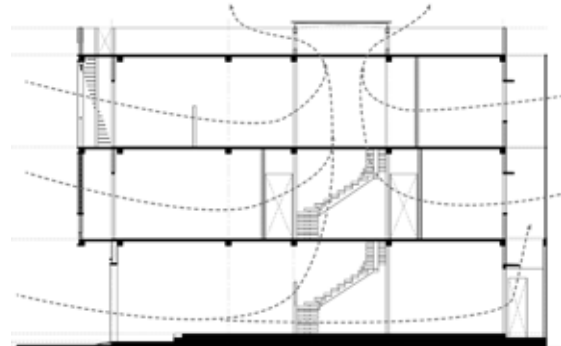
Bảng 9. Bảng phân tích hiệu quả che nắng theo giờ trong ngày Hạng 1. Nguồn: Tác giả, 2026

Thời gian	Hiệu quả che nắng	Hướng chiếu mặt trời	Đánh giá
07:00 - 09:00	10%-13%	Hướng Đông-Đông Nam	Hiệu quả chặn bức xạ của ô văng hạn chế
11:00 - 14:00	33%-36%	Mặt trời đạt đỉnh	Hiệu quả chặn bức xạ của ô văng đạt tối đa
15:00 - 17:00	Giảm dần xuống 10-13%	Hướng Tây-Tây Nam	Hiệu quả chặn bức xạ của ô văng giảm dần

Kết quả mô phỏng cho thấy hiệu quả che nắng trung bình năm chỉ đạt khoảng 16%, đây là mức thấp cho yêu cầu bảo vệ nhiệt trong khí hậu nhiệt đới nóng ẩm. Với hệ số chiếu PF = 0,21 hiện tại, chiều sâu ô văng 30 cm là không đủ để tạo vùng bóng đổ hiệu quả trên cửa sổ cao 145 cm. Theo hướng dẫn của WBDG về thiết bị kiểm soát nắng và che nắng, ô văng cố định hiệu quả nhất khi che chắn kính hướng Nam với góc mặt trời cao vào mùa hè [12]. Tuy nhiên, đối với vĩ độ nhiệt đới thấp như TP.HCM, mặt tiền hướng Bắc cũng cần được che nắng vào một số thời điểm trong năm khi mặt trời ở phía Bắc thiên đỉnh.

4.1.4. Hiệu quả thông gió

Công trình Nhà Bình Tân áp dụng chiến lược thông gió kết hợp giữa thông gió xuyên phòng và hiệu ứng ống khói. Mặt cắt thông gió (Hình 5) thể hiện nguyên lý hoạt động của hệ thống với luồng không khí đi từ mặt tiền hướng Đông Nam, xuyên qua các không gian chức năng, và thoát ra qua giếng trời, sân sau phía Tây Bắc của công trình.



Hình 5. Mặt cắt thể hiện hướng đi của không khí xuyên suốt công trình. Nguồn: Tác giả, 2026

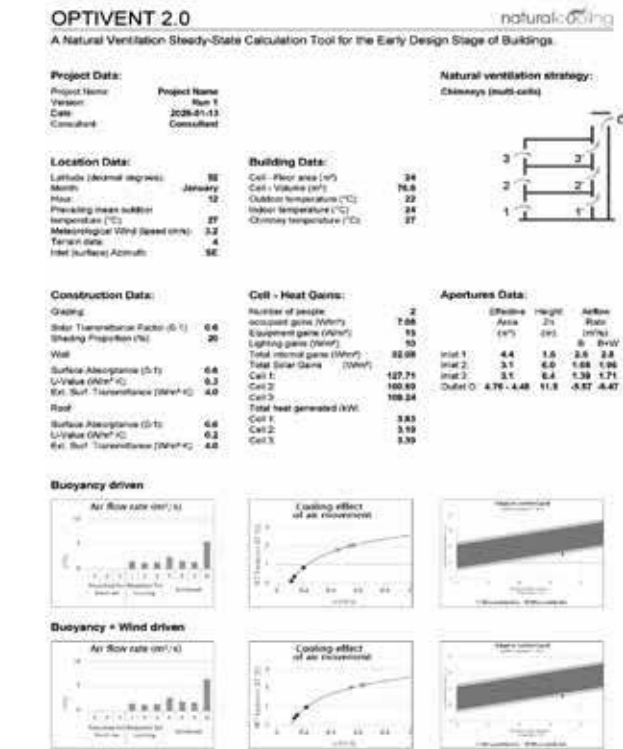
Mô phỏng hiệu quả thông gió, làm mát của công trình qua ứng dụng Optivent (Hình 6): Công trình được mô hình hóa với 3 tầng và 4 lỗ mở thông gió: 3 lỗ mở đầu vào tại mặt tiền hướng Đông Nam và 1 lỗ mở đầu ra tại giếng trời. Kết quả mô phỏng cho thấy cả hai chế độ thông gió đều đạt yêu cầu về lưu lượng không khí tươi (fresh air) và lưu lượng làm mát (cooling) cho tất cả các tầng. Chế độ kết hợp đẩy nổi và gió (B+W) đạt hiệu quả cao hơn chế độ chỉ đẩy nổi (B) khoảng 12-23%, cho thấy việc tận dụng gió tự nhiên song song với hiệu ứng ống khói đạt hiệu quả tốt. Mỗi tầng sinh ra tổng nhiệt từ 3,19 kW đến 3,83 kW, bao gồm tải nhiệt nội bộ (32,08 W/m²) và tải nhiệt từ bức xạ mặt trời (100-127 W/m²). Lưu lượng gió đạt được đủ để tản nhiệt này bằng đối lưu tự nhiên. Biểu đồ Cooling Effect cho thấy mức giảm nhiệt độ sinh lý tương đương (PET Reduction) đạt khoảng 2-3°C tại vận tốc gió 0,4-0,8 m/s. Điều này cho thấy chuyển động không khí có thể bù đắp cho nhiệt độ cao hơn trong công trình thông gió tự nhiên, cho phép mở rộng giới hạn tiện nghi nhiệt [13].

Đánh giá theo tiêu chuẩn tiện nghi nhiệt ASHRAE Standard 55-2020: Đối với công trình nhà Bình Tân sử dụng thông gió tự nhiên, mô hình ACS được áp dụng với công thức: $T_{comfort} = 0.31 \times T_{outdoor(mean)} + 17.8^{\circ}C$. Với nhiệt độ ngoài trời trung bình tại TP.HCM vào thời điểm khảo sát khoảng 27°C, nhiệt độ tiện nghi được tính toán là $T_{comfort} = 0.31 \times 27 + 17.8^{\circ}C = 26.17^{\circ}C$. Theo ASHRAE 55, dải chấp nhận được 80% là $\pm 3.5^{\circ}C$ (22.67 - 29.67°C) và dải chấp nhận được 90% là $\pm 2.5^{\circ}C$ (23.67-28.67°C). Biểu đồ Adaptive Comfort Band từ kết quả Optivent (Hình 6) cho thấy các điểm dữ liệu của công trình nằm trong cả hai dải chấp nhận được 80% và 90%, xác nhận thiết kế thông gió tự nhiên của công trình đạt chuẩn tiện nghi nhiệt theo ASHRAE 55.

Kết quả và phân tích mô phỏng hiệu quả thông gió của công trình nhà Bình Tân cho thấy thiết kế đạt được các mục tiêu về tiện nghi nhiệt thụ động. Mặt tiền hướng Đông Nam phù hợp để đón gió mát trong giai đoạn nóng nhất của năm. Chiến lược kết hợp thông gió xuyên phòng và hiệu ứng ống khói thông qua giếng trời, sân sau tạo ra luồng không khí liên tục qua tất cả các tầng.

Lưu lượng gió đạt được trong mô phỏng Optivent đáp ứng yêu cầu về không khí tươi và làm mát cho tất cả không gian. Nhiệt độ trong nhà 24°C nằm trong dải tiện nghi 90% theo ASHRAE 55 (23,67 – 28,67°C), cho thấy thiết kế có thể duy trì tiện nghi nhiệt mà không cần điều hòa không khí trong điều kiện khí hậu điển hình.

Cần lưu ý rằng mô phỏng Optivent dựa trên trạng thái ổn định và điều kiện khí hậu đại diện. Trong điều kiện thời tiết cực đoan (nhiệt độ trên 35°C, độ ẩm trên 85%), hiệu quả thông gió tự nhiên có thể bị hạn chế và cần bổ sung các giải pháp làm mát cơ học. Kết quả này phù hợp với nghiên cứu tiền lệ về kiến trúc dân gian Việt Nam [7], rằng thiết kế truyền thống có thể không duy trì được tiện nghi nếu không có hệ thống cơ khí bổ sung trong điều kiện thời tiết cực đoan.



Hình 6. Hiệu quả thông gió, làm mát của công trình thực hiện mô phỏng qua ứng dụng Optivent. Nguồn: Tác giả, 2026

4.2. Đánh giá và bàn luận kết quả

Hiệu quả che nắng: Kết quả mô phỏng cho thấy Hệ số chiếu (PF) = 0,21 và hiệu quả che nắng trung bình năm 16% của công trình Nhà Bình Tân ở mặt đứng hướng Tây Bắc thấp hơn đáng kể so với các tiêu chuẩn quốc tế. Hệ số chiếu khuyến nghị cho khí hậu nhiệt đới dao động từ 0,5-0,65 tùy theo hướng [12], trong đó mặt đứng hướng Tây Bắc cần đạt hiệu quả ở tỷ lệ 1.0 (tương đương PF ≥ 0,5). Như vậy, PF = 0,21 của công trình thấp hơn khoảng 50 - 60% so với giá trị khuyến nghị tối thiểu. Việc che nắng không đầy đủ có thể dẫn đến thu nhiệt đáng kể trong các tháng nóng nhất (tháng 3-5). Hệ gạch bông gió ở mặt đứng Đông Nam công trình không chỉ đóng vai trò che nắng đơn thuần mà còn kết hợp chức năng thông gió và lấy sáng, tạo nên hiệu quả tổng hợp cao hơn so với ô văng bê tông đặc truyền thống.

Hiệu quả thông gió tự nhiên: Kết quả Optivent cho thấy công trình đạt tiêu chuẩn tiện nghi thích ứng ASHRAE 55 với nhiệt độ trong nhà 24°C nằm trong dải chấp nhận được 90% (23.67-28.67°C). Điều này chứng minh rằng chiến lược thông gió tự nhiên qua giếng trời và sân sau đã bù đắp hiệu quả cho độ sâu che nắng hạn chế. Hiệu ứng ống khói đa tầng của công trình, với chế độ B+W (đẩy nổi + gió) cao hơn chế độ B thuần túy 12-23%, phù hợp với nguyên lý làm mát thụ động cho nhà phố hẹp nhiệt đới.

Hạn chế và đề xuất cải thiện: Chiều sâu ô văng 30 cm (PF = 0.21) không đủ để tạo vùng bóng đổ hiệu quả, đặc biệt vào các tháng có góc cao độ mặt trời thấp. Đề xuất mở rộng độ sâu ô văng lên 1000-1500 mm hoặc bổ sung lam chắn nắng đứng để mở rộng phạm vi tiện nghi tương đương 2-4°C.

Khía cạnh	Tiêu chí đánh giá	Kết quả	Nhận xét
Hiệu quả bền vững	Hệ số chiếu (PF)	0.21	Chưa đạt chuẩn
	Hiệu quả che nắng	16%	Chưa đạt chuẩn
	Tiện nghi nhiệt ASHRAE 55	24°C	Đạt chuẩn

5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

5.1. Kết luận

Nghiên cứu đã thực hiện phân tích đánh giá công trình nhà Bình Tân trên phương diện hiệu quả bền vững thụ động. Kết quả cho thấy: Công trình đạt tiêu chuẩn tiện nghi nhiệt thích ứng ASHRAE 55 với nhiệt độ trong nhà 24°C, chứng minh hiệu quả của chiến lược thông gió tự nhiên kết hợp giếng trời và sân sau trong việc bù đắp cho hệ thống che nắng có chiều sâu hạn chế (PF=0.21) của mặt đứng hướng Tây Bắc. Cần cải thiện khả năng chống chịu trong điều kiện thời tiết cực đoan và thích ứng với biến đổi khí hậu.

5.2. Kiến nghị

Kiến nghị cho thiết kế nhà phố tại TP.HCM: Thiết kế ô văng với Hệ số chiếu PF ≥ 0.5, tương đương độ vược 1000 - 1500 mm cho cửa sổ tiêu chuẩn. Bố trí giếng trời hoặc sân trong theo hướng gió chủ đạo (Đông Nam cho TP.HCM) để tối ưu hóa thông gió xuyên phòng. Tích hợp quạt trần trong các không gian sinh hoạt chính để mở rộng phạm vi tiện nghi nhiệt.

Kiến nghị cho nghiên cứu tiếp theo: Thứ nhất, cần giám sát thực địa dài hạn cho nhà phố TP.HCM để xác nhận hiệu suất thực tế so với kết quả mô phỏng. Thứ hai, cần nghiên cứu xác nhận hiệu suất của hệ thống brise-soleil gạch bông gió kết hợp với giếng trời trong bối cảnh đô thị đặc thù của TP.HCM. Thứ ba, cần mô phỏng từng không gian phòng để có cơ sở đánh giá hiệu suất tiện nghi nhiệt và khả năng thông gió xuyên phòng để đưa ra các giải pháp gia tăng hiệu quả bền vững thụ động ở mức độ chi tiết.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Phòng quản lý đô thị quận Bình Tân. Thẩm định trình số: 358/TT-QLĐT, 2024.
[2] Ủy ban nhân dân quận Bình Tân. Giấy phép xây dựng số 360/GPXD-UBND, 2024.
[3] Gamero-Salinas, J. et al. Passive cooling design strategies as adaptation measures for lowering the indoor overheating risk in tropical climates. Energy and Buildings, 2021.
[4] V. Olgyay. Design with Climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism. New and expanded ed., Princeton University Press (Original work published 1963), 2015.
[5] ASHRAE. ANSI/ASHRAE Standard 55-2023: Thermal environmental conditions for human occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2023.
[6] Gou, Z. et al. Effectiveness of air-well type courtyards on moderating thermal environments in tropical Chinese Shophouse. Architectural Science Review, vol. 60, no. 6, pp. 493-506, 2017.
[7] Nguyen, A. T. et al. An investigation on climate responsive design strategies of vernacular housing in Vietnam. Building and Environment, vol. 46, no. 10, pp. 2008-2106, 2011.
[8] A. Frearson. Perforated brickwork used to renovate house in Vietnam, 2015. Internet: <https://www.dezeen.com/2015/02/05/tropical-space-termitary-house-vietnam-perforated-brickwork-termites-nest/> (accessed: 01/2026).
[9] Seo Archify. Tropical modernism: A comparison of two approaches, 2025. Internet: <https://www.archify.com/nz/archifynow/tropical-modernism-a-comparison-of-two-approaches> (accessed: 01/2026).
[10] Wallpaper. Ena de Silva House by Geoffrey Bawa is a remarkable preservation story, 2024. Internet: <https://www.wallpaper.com/architecture/residential/ena-de-silva-house-geoffrey-bawa-sri-lanka> (accessed: 01/2026).
[11] A. Bhatia, S. A. R. Sangireddy and V. Garg. An Approach to Calculate the Equivalent Solar Heat Gain Coefficient of Glass Windows with Fixed and Dynamic Shading in Tropical Climates. Journal of Building Engineering, pp. 90-100, 2018.
[12] Whole Building Design Guide. Sun Control and Shading Devices. Internet: <https://www.wbdg.org/resources/sun-control-and-shading-devices> (accessed: 01/2026).
[13] G. S. Brager and R. J. de Dear. Climate, comfort & natural ventilation: A new adaptive comfort standard for ASHRAE Standard 55, Windsor, UK: Proceedings, Moving Thermal Comfort Standards into the 21st Century, 2001.

Đặc điểm văn hóa trong kiến trúc đình làng Bình Dương

Cultural characteristics of communal house architecture in Binh Duong

> THS.KTS NGUYỄN TRẦN TRỌNG NGHĨA¹, TS.KTS NGUYỄN SONG HOÀN NGUYỄN^{2,*}

¹Công ty Cổ phần Tư vấn xây dựng Tổng hợp (NAGECCO)

²Khoa Kiến trúc, Trường Đại học Kiến trúc TP.HCM; *Email: nguyen.nguyensonghoan@uah.edu.vn

TÓM TẮT

Bối cảnh đô thị hóa nhanh tại Bình Dương trước đây khiến di sản đình làng đối mặt với nguy cơ suy giảm giá trị. Nghiên cứu khảo sát các ngôi đình tiêu biểu trên địa bàn, đặt trong tương quan so sánh với kiến trúc đình làng Bắc Bộ, Trung Bộ, Nam Bộ và đền miếu người Hoa. Bằng phương pháp điền dã, phân tích, so sánh và sơ đồ hóa, nghiên cứu làm sáng tỏ các đặc trưng kiến trúc từ mặt bằng, hình thức kiến trúc đến giải pháp kết cấu; qua đó khẳng định sự kế thừa truyền thống, sự tiếp biến văn hóa và tinh thần sáng tạo bản địa. Kết quả cung cấp cơ sở lý luận cho việc bảo tồn bản sắc và gợi mở định hướng ứng dụng vào thiết kế công trình văn hóa Nam Bộ đương đại.

Từ khóa: Kiến trúc đình làng; đặc điểm văn hóa; Bình Dương; Nam Bộ.

ABSTRACT

Rapid urbanization in former Binh Duong threatens traditional communal house *đình* heritage. Comparing key local sites with Northern, Central, and Southern Vietnam communal houses and Chinese temples - via fieldwork, analysis, and mapping - this study elucidates their spatial layouts, forms, and structural systems. The findings highlight traditional continuity, cultural adaptation, and local creativity, providing a theoretical basis for identity preservation while informing contemporary Southern cultural architectural design.

Keywords: Village communal house architecture; cultural characteristics; Binh Duong; southern Vietnam.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong tâm thức người Việt, đình làng thường hiện lên như một di sản xưa cũ gắn liền với các ký ức mờ nhạt, ngoại trừ một số ít di tích quốc gia đã được phổ biến rộng rãi. So với cả nước, các công trình nghiên cứu về đình làng miền Nam - đặc biệt là khía cạnh kiến trúc - vẫn còn mỏng và thiếu chiều sâu. Riêng tại Bình Dương, các tư liệu hiện có còn khu biệt, chưa khái quát thành hệ thống. Trước áp lực đô thị hóa nhanh chóng khiến nhiều ngôi đình đứng trước nguy

cơ mai một hoặc biến đổi làm mất dần bản sắc, việc nghiên cứu kiến trúc đình làng Bình Dương trở nên vô cùng cấp thiết. Nghiên cứu này được thực hiện nhằm lược khảo bối cảnh lịch sử, phân tích các giải pháp kiến trúc tiêu biểu, từ đó làm rõ những đặc trưng văn hóa hiển thị và phi hiển thị trong kiến trúc đình làng của vùng đất này.

2. NỘI DUNG KHOA HỌC

2.1. Dữ liệu và phương pháp

2.1.1. Dữ liệu khảo sát, tham chiếu

Mẫu khảo sát chính: Chọn lọc 15 ngôi đình làng tiêu biểu trên địa bàn tỉnh Bình Dương trước khi sắp xếp đơn vị hành chính có niên đại tạo dựng từ đầu thế kỷ XIX đến giữa thế kỷ XX; trong đó bao gồm 12 di tích cấp Tỉnh (đình Tân Trạch, Dư Khánh, Tương Hiệp, Vĩnh Phước, Bình Nhâm, Tương Bình Hiệp, Phú Cường, Nhựt Thạnh, An Mỹ, Ông Ngãi Thắng, Tân Thới, Dầu Tiếng) và 3 di tích cấp Quốc gia (đình Phú Long, Tân An, Dĩ An).

Mẫu so sánh, tham chiếu: Lựa chọn các công trình tiêu biểu đại diện cho các vùng văn hóa để đánh giá tính kế thừa và phát huy:

- Bắc Bộ: đình Bảng, Chu Quyến, Tây Đằng.
- Trung Bộ: TP Huế: đình Văn Xá, Mỹ Lợi, Thủ Lễ.
- Đông Nam Bộ: đình Tăng Phú, Tân Túc, Tân Lân.
- Tây Nam Bộ: đình Long Trung, Bình Thủy, Mỹ Phước.
- Đền, miếu, hội quán người Hoa Nam Bộ (khu vực Chợ Lớn): Nhị Phủ, Tuệ Thành, Nghĩa An.

2.1.2. Phương pháp

Nhằm đảm bảo tính khoa học, khách quan và độ chính xác cao cho kết quả nghiên cứu, bài viết sử dụng các phương pháp sau:

a) **Phương pháp điền dã:** Thực hiện khảo sát trực tiếp tại hiện trường thông qua ghi chép, chụp ảnh và đo vẽ thực địa. Phương pháp này giúp thu thập các dữ liệu chân thực, khách quan nhằm phản ánh thực trạng kiến trúc cũng như đời sống văn hóa tại các ngôi đình.

b) **Phương pháp tổng hợp & phân tích:** Tập hợp, phân loại và đối chiếu các nguồn tư liệu học thuật sẵn có về kiến trúc truyền thống. Việc này tạo lập hệ quy chiếu vững chắc và làm cơ sở khoa học đầu vào cho các bước phân tích chuyên sâu tiếp theo.

c) **Phương pháp so sánh:** Đối chiếu các giá trị kiến trúc, văn hóa đặc trưng của đình làng Bình Dương với hệ thống đình làng ở các vùng miền khác. Qua đó, nghiên cứu làm nổi bật tính phổ quát, sự dị biệt cùng những đường nét độc đáo riêng có của kiến trúc tín ngưỡng nơi đây.

d) **Phương pháp sơ đồ hóa:** Trực quan hóa các đặc trưng kiến trúc cốt lõi dưới dạng sơ đồ cô đọng, dễ nhận diện. Phương pháp này không chỉ giúp đúc kết các giá trị nền tảng mà còn gợi mở mô hình ứng dụng cho các ý tưởng thiết kế kiến trúc hiện đại.

2.2. Bối cảnh hình thành và các hiện tượng văn hóa trong kiến trúc đình làng Bình Dương

2.2.1. Bối cảnh lịch sử và phân bố

a) *Quá trình di dân*: Lịch sử văn hóa Bình Dương gắn liền với ba làn sóng dịch chuyển dân cư lớn. Từ cuối thế kỷ XVI - đầu thế kỷ XVII, lưu dân người Việt từ vùng Ngũ Quảng bắt đầu vào khai phá các lưu vực sông Bé, sông Đồng Nai, sông Sài Gòn và sông Cửu Long. Công cuộc di dân này diễn ra ráo rít và chính thức hóa sau sự kiện Lễ Thành hầu Nguyễn Hữu Cảnh kinh lược phương Nam, thành lập phủ Gia Định năm 1698. Đến giữa thế kỷ XVIII, sự hiện diện của nhóm cựu thần nhà Minh (người Hoa) nhập cư và định cư ở vùng Nam Bộ đã sớm tạo nên quá trình giao thoa, tiếp biến văn hóa Việt - Hoa rõ nét [7]. Sang thời kỳ Pháp thuộc, việc chiêu mộ lực lượng lớn nhân công làm việc tại các đồn điền cao su đã hình thành nên đợt di dân tiếp theo. Nhóm cư dân này sau đó tiếp tục định cư lâu dài, đóng góp quan trọng vào sự gia tăng dân số và tạo nên sự đa dạng văn hóa cho vùng đất Bình Dương [2].

b) *Mạng lưới phân bố*: Hệ thống đình làng Bình Dương hầu như hiện diện tại mọi đơn vị làng xã được ghi nhận trong địa bạ đầu thời Nguyễn, đóng vai trò là trung tâm tín ngưỡng và hội họp của ban hương chức. Khác với mô hình khép kín ở miền Bắc, cư dân Nam Bộ thường định cư trải dài dọc theo các tuyến sông lớn và trục đường bộ huyết mạch. Theo đó, đình làng cũng được đặt tại các vị trí giao thông thuận lợi, trở thành những cột mốc kết nối mạng lưới liên làng xã, đáp ứng nhu cầu giao lưu kinh tế - xã hội và thắt chặt tình đoàn kết cộng đồng [6]. Đặc biệt tại Bình Dương, mật độ đình làng có sự gia tăng tương ứng với các khu vực tập trung đông đúc cư dân người Hoa. Điều này phản ánh quá trình chung sống hòa hợp, tương trợ giữa hai cộng đồng Việt - Hoa từ thời khai hoang lập ấp, đồng thời tạo tiền đề cho sự giao lưu và tiếp biến văn hóa rõ nét trong kiến trúc đình làng địa phương [7].

2.2.2. Các hiện tượng văn hóa chủ đạo

a) *Hiện tượng kế thừa văn hóa truyền thống*: Là vị trí của ngôi tiếp nhận các luồng di dân sớm từ miền Trung vào Nam Bộ, Bình Dương thể hiện rõ sự gắn kết và tiếp nối sâu sắc với văn hóa gốc Bắc Bộ và Trung Bộ. Từ đời sống sinh hoạt thường nhật cho đến các công trình kiến trúc như nhà ở hay đình làng đều biểu hiện rõ nét hiện tượng kế thừa liên tục giá trị truyền thống của người Việt tại vùng đất này. [5]

b) *Hiện tượng tiếp biến và cộng sinh văn hóa*: Sự phát triển văn hóa luôn gắn liền với quá trình vận động, chọn lọc và tiếp nhận các yếu tố mới. Tại Bình Dương và Nam Bộ, sự tiếp biến văn hóa thể hiện qua kiến trúc nhà ở, nhà việc và đình làng dưới tác động của luồng văn hóa Hoa và phương Tây. Quá trình này diễn ra trên hai cấp độ: thay đổi lớp vỏ bao che và chuyển đổi toàn bộ hình thức công trình, nhằm đáp ứng độ bền vững cũng như sự sẵn có của vật liệu xây dựng đương thời. Hệ thống kiến trúc đa dạng này không chỉ phản ánh bức tranh kinh tế - xã hội địa phương mà còn thể hiện tâm tư, nguyện vọng của con người trong bối cảnh mới [8].

c) *Hiện tượng sáng tạo văn hóa bản địa*: Song song với việc lưu giữ truyền thống và tiếp nhận chọn lọc văn hóa ngoại nhập, người Việt tại Bình Dương đã phát huy tư duy sáng tạo cùng kỹ thuật chế tác bản địa để tạo nên những giải pháp kiến trúc độc đáo. Về kết cấu, thợ thủ công đã kết hợp khéo léo vì kèo kiểu Việt với vì nách kiểu Hoa, biến tấu các cấu kiện gỗ, hoặc ứng dụng cột gạch/bê tông theo thức cổ điển phương Tây để nâng đỡ hệ vì nóc, vì trụ đội đúc bê tông mô phỏng gỗ. Về trang trí, sự sáng tạo thể hiện qua việc phối hợp phong cách Hoa Nam (Quảng Đông, Phước Kiến, Triều Châu) lên trang trí mái, bờ nóc, đồng thời chuyển hóa các họa tiết đắp nổi phương Tây thành các tích truyền cổ Á Đông. Sự đan xen hài hòa giữa chất liệu và hình thức đó đã tạo nên hiện tượng cộng sinh văn hóa độc đáo, khẳng định tri thức và bản sắc riêng của người Việt vùng Nam Bộ [8].

2.3. Đặc điểm văn hóa trong kiến trúc đình làng Bình Dương

2.3.1. Đặc điểm văn hóa hiển thị

a) *Tổng mặt bằng & Không gian chức năng*: Nghiên cứu tiến hành phân tích cấu trúc mặt bằng 15 công trình khảo sát và thống kê được 23 đặc điểm thuộc 2 phương diện cốt lõi: *Tổng mặt bằng* (13 đặc điểm) và *Mặt bằng không gian chức năng* (10 đặc điểm). Các đặc điểm này bao gồm toàn bộ những biểu hiện trực quan có thể quan sát thấy được trên hệ thống bản vẽ kiến trúc đình làng Bình Dương.

Kết quả thống kê tần suất xuất hiện cho thấy có 16 đặc điểm mang tính đặc trưng của đình làng Bình Dương (*khuôn viên cây xanh; cổng tam quan; bình phong; công trình chính, phụ; bố cục hợp khối, bất đối xứng, sắp đặt từ 3 nóc trở lên; mặt tiền hướng theo trục giao thông; 1 gian 2 chái đơn/kép; 3 gian 2 chái; có Tiền điện; có Trung điện; có hành lang; có gian thờ chính; gian thờ phụ*). Những đặc trưng này phản ánh sự tác động trực tiếp của điều kiện tự nhiên - xã hội, hoạt động giao thương sông nước và đời sống tín ngưỡng bản địa lên vị trí, quy mô lẫn cấu tứ không gian kiến trúc đình làng địa phương.

b) *Đặc điểm tạo hình & trang trí*: Qua phân tích mặt đứng của 15 ngôi đình khảo sát tại Bình Dương, nghiên cứu đã tiến hành thống kê 27 đặc điểm khảo sát và đúc kết ra 20 đặc điểm mang tính đặc trưng (*Có "cánh én" (mái 4 dốc); Lợp ngói Tây (ngói móc); Xây gạch; Có trở ô thông gió & lấy sáng; Bao che toàn bộ; Có hành lang khung cột bao quanh; Cửa thượng song/chạm lộng - hạ bản; Cửa lá sách; Cửa sắt uốn-kính/ cửa sắt kéo; Bờ nóc có trang trí tượng/ con giống; Đắp gờ chỉ, phù điêu trang trí; Vòi vữa, sơn; Dùng beton tạo hình; Nhiều màu sắc, sinh động; Cấu trúc tam phần: đế - thân - mái; Cấu trúc mở rộng theo bề sâu; Cấu trúc mở rộng theo bề ngang; Liên thông hành lang-hàng hiên; Tạo hình đối xứng; Phân nhịp theo số lẻ, nhấn trọng tâm; Theo quy luật chính phụ*). Các đặc điểm này đã phản ánh rõ nét tư duy tạo hình, nhu cầu thẩm mỹ cùng quá trình tiếp biến văn hóa trong kiến trúc đình làng Bình Dương.

c) *Hệ khung cấu trúc chịu lực*: Nghiên cứu phân tích mặt cắt kết cấu của 15 ngôi đình khảo sát tại Bình Dương, dựa trên 9 đặc điểm khảo sát và đúc kết ra 7 đặc điểm mang tính đặc trưng (*cấu trúc xuyên-trính; cấu trúc kết nối nhiều bộ khung vì-kèo; bộ vì nóc kiểu giao nguyên-trụ đội; kèo chuyển 2-3 lần trong mỗi bộ khung; khung nhà chánh điện tôn cao; mô phỏng hệ khung xuyên trính; có biến đổi theo nhu cầu sử dụng và vật liệu xây dựng*). Kết quả này đã phản ánh tính ổn định trong việc bảo tồn kỹ thuật dựng khung gỗ truyền thống, đồng thời thể hiện tâm thức duy trì giá trị cốt lõi thông qua giải pháp mô phỏng kết cấu cũ bằng chất liệu xây dựng mới.

2.3.2. Mối tương quan với kiến trúc đình làng các vùng miền khác

a) Đặc điểm kiến trúc đình làng tại các vùng so sánh:

- *Kiến trúc đình làng Bắc Bộ*: Phổ biến mặt bằng chữ Nhất (一), Đình (丁), Công (工); hướng Nam hoặc hướng ra khoảng không thoáng đãng ở bìa làng. Chính điện gồm 3 - 7 gian với 6 hàng cột và 2 chái. Tỷ lệ mái chiếm gần 2/3 chiều cao công trình, lợp ngói mũi hài/vẩy cá, 4 góc mái hếch cao có tàu đao - lá mái. Cột và cấu kiện gỗ to lớn, màu sắc mộc mạc; bờ nóc và các vì nóc được chạm trổ dày đặc, tinh xảo [4].

- *Kiến trúc đình làng Trung Bộ (TP Huế đại diện)*: Công trình chính phổ biến dạng chữ Nhất (一) hoặc chữ Nhị (二) khi có thêm nhà võ cua/tiến tế. Cấu trúc không gian gồm đại đường 3 gian với chái đơn hoặc chái kép. Hệ khung chịu lực đặc trưng là hệ gỗ Xuyên - Trính kết hợp vì kèo Giao nguyên - Trụ đội [4].

- *Kiến trúc đình làng Đông & Tây Nam Bộ*: Cấu trúc mặt bằng phát triển theo trục dọc liên hoàn (Tiền điện, Trung điện, Chánh điện, Hậu sở) dạng "sắp đặt", ghép nối nhiều "nhà vuông" (Tây Nam Bộ) hoặc bố cục "diệp ốc" (Đông Nam Bộ); hướng công trình quay theo trục giao thông thủy/bộ. Hệ khung gỗ tiếp thu hệ Xuyên - Trính và Giao nguyên - Trụ đội miền Trung nhưng mở rộng bước gian. Công trình tích hợp các yếu tố phương Tây (vỏ bao che gạch/bê tông bao bọc khung gỗ, cửa vòm) và trang trí bờ nóc bằng tượng gốm, con giống, gờ chỉ đắp nổi [4, 8].

- Kiến trúc Miếu, Hội quán người Hoa ở Nam Bộ: Bố cục hợp khối liên tục gồm Tiền điện, sân trong, thiêu hương, Chánh điện và dãy Đông/Tây lang kết nối bằng nhà cầu. Mái có tường hồi nhô cao (nhóm Quảng Đông) hoặc bờ nóc cong vút (nhóm Phước Kiến, Triều Châu); trang trí mái giàu tính nghệ thuật với tượng gốm, khảm sành sứ và vẽ màu. Hệ khung gỗ chịu lực dùng kết cấu chống rường hoặc chống rường - trụ đội chạm trổ tinh xảo [9].

b) So sánh kiến trúc đình làng Bình Dương với các vùng văn hóa khác
Đối chiếu 43 đặc điểm phổ biến của kiến trúc đình làng Bình Dương với 5 vùng văn hóa cho thấy mức độ tương đồng cao với

Trung Bộ, Đông Nam Bộ và Tây Nam Bộ, khẳng định tính kế thừa trực tiếp văn hóa truyền thống. Sự tương đồng thấp nhất với đình làng Bắc Bộ phản ánh thực tế người Việt chỉ duy trì các giá trị cốt lõi trên hành trình di dân về phương Nam. Các đặc điểm tương đồng với đền miếu người Hoa thể hiện sự tiếp biến và cộng sinh văn hóa rõ nét. Trong khi đó, những nét kiến trúc riêng biệt chỉ xuất hiện tại Nam Bộ là minh chứng cho tư duy sáng tạo và giải pháp thích ứng bản địa của đình làng Bình Dương. (Bảng 1).

Bảng 1. So sánh đặc điểm đình làng Bình Dương với các vùng văn hóa khác. Nguồn: Tác giả

SO SÁNH ĐẶC ĐIỂM KIẾN TRÚC ĐÌNH LÀNG BÌNH DƯƠNG VỚI ĐẶC ĐIỂM KIẾN TRÚC ĐÌNH LÀNG CÁC VÙNG VĂN HÓA VIỆT NAM							
ĐẶC ĐIỂM KIẾN TRÚC ĐÌNH LÀNG BÌNH DƯƠNG			KIẾN TRÚC ĐÌNH LÀNG CỦA CÁC VÙNG VĂN HÓA VIỆT NAM				
			BẮC BỘ	TRUNG BỘ	MIẾU NGƯỜI HOA NAM BỘ	ĐÔNG NAM BỘ	TÂY NAM BỘ
TỔNG MẶT BẰNG	THÀNH PHẦN TỔNG THỂ	Khuôn viên cây xanh			Không sử dụng		
		Cổng tam quan	Dạng tứ trụ	Dạng tứ trụ	Không cổng/nhất quan		
		Bình phong	Không có bình phong			Một số thay bằng cột cờ	
		Nhà chính (diện thờ)					
		Nhà phụ (miếu phụ, vô ca...)	Không phổ biến nhà phụ	Miếu phụ; Nhà kho	Hợp khối với nhà chính		
	BỐ CỤC	Bố cục hợp khối	Tổng thể chỉ 1 khối nhà			Bố cục tách khối	
		Bố cục bất đối xứng	Bố cục đối xứng		Bố cục đối xứng		
	HƯỚNG	Kiểu sắp đặt 3 - 5 nóc	Chỉ 1 tòa đại đình		Kiểu "Tứ hợp viện"		
		Mặt tiền theo trục giao thông	Theo hướng địa lý				
MẶT BẰNG & KG CHỨC NĂNG	CẤU TRÚC KHÔNG GIAN	1 gian 2 chái đơn/kép	Không có cấu trúc này		3 gian		
		3 gian 2 chái	3-5 gian + 2 chái	Chái kép, là chánh điện	Không chái	Là tiền điện	Tiền điện hoặc hậu điện
		Tiền điện	Không có tiền điện		Tách rời bởi sân trong		
		Trung điện	Không có trung điện		Tách rời bởi sân trong	Không có trung điện	
		Hành lang	Không có hành lang				
	CHỨC NĂNG	Thờ chính	Đặt tại gian giữa, trên cao				
		Thờ phụ	Không có thờ phụ				
	MÁI	Có "cánh én" (mái có 4 dốc)	Gọi là "khu di"		Không có kiểu 4 mái dốc		
		Ngói Tây (ngói hiện nay)	Lợp ngói truyền thống			Lợp ngói truyền thống	
THÀNH PHẦN VỎ BAO CHE	TƯỜNG NGOÀI	Xây gạch, có ô thông gió & sáng	Không hoặc ít xây tường				
		Hành lang, khung cột	Không có hành lang cột				
		Bao che toàn bộ	Không hoặc ít xây tường	Tường 3 mặt trừ mặt tiền			
	HÌNH THỨC CỬA	Thượng song/chạm lọng, hạ bản	Tấm gỗ chạm khắc	Ít dùng cửa			
		Lá sách	Không có cửa lá sách				
	HÌNH THỨC TRANG TRÍ	Sắt uốn + kính/ sắt kéo	Không có cửa sắt kính				
		Bờ nóc trang trí tượng, con giống	Con giống gạch vữa	Con giống khảm sành	Tượng gốm trang trí		
	VẬT LIỆU	Đắp gỗ chỉ, phù điêu trang trí	Không có phù điêu				
		Vôi vữa, sơn	Không dùng vôi vữa/sơn				
	MÀU SẮC	Beton tạo hình (bông gió, lam...)	Không sử dụng				
		Nhiều màu sắc sinh động	Trầm, mộc mạc				
	CẤU TRÚC ĐẶC TRƯNG	Tam phần: Đế - Thân - Mái					
Hàng hiên, Hành lang liên thông		Không sử dụng			Không sử dụng		
Cấu trúc mở rộng theo bề sâu		Mở rộng bề ngang		Sân xen kẽ các nếp nhà			
Cấu trúc mở rộng theo bề ngang		Điện chính 5-7 gian		Nhà phụ nối liền nhà chính	Cấu trúc theo chiều sâu		
QUY LUẬT TẠO HÌNH	Đối xứng						
	Nhịp theo số lẻ, nhấn trọng tâm						
	Quy luật Chính - Phụ	Không sử dụng			Không sử dụng		
HỆ KHUNG CẤU TRÚC	KHUNG GỖ	Cấu trúc xuyên - trính	Không sử dụng		Không sử dụng		
		Cấu trúc kết nối nhiều bộ khung	Cấu trúc đơn				
		Bộ vì nóc "Giao nguyên-trụ đội"	Không sử dụng		Không sử dụng		
		Kéo chuyển 2-3 lần	Không sử dụng		Không sử dụng		
		Khung chánh điện tôn cao	Không sử dụng				
	KHUNG BTCT	Mô phỏng hệ khung xuyên-trính	Không sử dụng			Không sử dụng	
		Biến đổi theo nhu cầu sử dụng	Không sử dụng			Không sử dụng	
TỶ LỆ CÁC ĐẶC ĐIỂM TƯƠNG ĐỒNG		10/43	24/43	23/43	41/43	36/43	

2.3.3. Nhận diện các mô thức kiến trúc điển hình

a) Mặt bằng điển hình: Bằng việc xác định được các đặc điểm phổ biến trong mặt bằng kiến trúc đình làng Bình Dương, có thể xác định 4 loại mặt bằng điển hình (Hình 1) đại diện cho các giải pháp tổ chức không gian:

- Loại I (Sắp đặt 2 nóc): Bố cục 2 khung nhà nối dọc (nhà 3 gian 2 chái nối nhà tứ trụ 1 gian 2 chái kép) với 9 hàng cột dọc, có hàng hiên phía trước, hành lang bên hông khu thờ phụng và tường vách bao bọc chánh điện.

- Loại II (Sắp đặt 5 nóc): Bố cục 5 khung nhà nối dọc (kết hợp không gian 3 gian 2 chái với 1 gian 2 chái kép), có hàng hiên phía trước, tường biên xây gạch hoặc hành lang cột.

- Loại III (Sắp đặt 3 nóc): Bố cục 3 khung nhà chính nối dọc (kết hợp không gian 5 gian hoặc 3 gian với 1 gian 2 chái kép), có hàng hiên phía trước, giếng trời và 2 dãy nhà phụ cấp song song hai bên hông.

- Loại IV (Sắp đặt 3 nóc nhà chính): Bố cục 3 khung nhà chính nối dọc kiểu 1 gian 2 chái kép (có thể thêm nhà phụ ở trước/sau trực), có hàng hiên phía trước và hành lang cột bên hông.

Trong 4 loại mặt bằng điển hình trên, Loại III xuất hiện phổ biến nhất, quy tụ tại các địa bàn sầm uất, đông người Hoa sinh sống (Thủ Dầu Một, Thuận An, Dầu Tiếng) với ưu thế về quy mô và tính linh hoạt không gian. Loại I và IV tương đối phổ biến, mang nhiều nét tương đồng với hệ thống đình làng Đông Nam Bộ. Trong khi đó, Loại II xuất hiện ít nhất, chủ yếu tập trung ở các vùng dân cư người Việt có điều kiện kinh tế phát triển và quy mô lễ hội lớn.

b) Mặt đứng điển hình: Bằng việc xác định được các đặc điểm phổ biến trong mặt đứng kiến trúc đình làng Bình Dương, có thể xác định 4 loại mặt đứng điển hình (Hình 1) đại diện cho các giải pháp tạo hình ngoại thất:

- Loại I: Hệ mái 4 dốc có cánh én (mái nhà trước rộng thấp, mái nhà sau hẹp cao); mặt đứng bố cục 3 gian 2 chái; hàng hiên chống cột hoặc xây gạch trở cửa vòm.

- Loại II: Mái nhà trước rộng thấp dạng 2 dốc có tường đầu hồi nhô cao; mái nhà sau 4 dốc hẹp cao có cổ lâu; mặt đứng bố cục 3 gian; hàng hiên chống cột.

- Loại III: Hệ mái 4 dốc có cánh én (một số ít có mái trùng thiềm);

mặt đứng bố cục 1 gian 2 chái kép; hàng hiên chống cột hoặc xây gạch trở cửa vòm.

- Loại IV: Mái 2 dốc với tường hồi nhô cao đắp lượn sóng; mặt đứng bố cục 5 gian (một số ít dạng 1 gian 2 chái); hàng hiên phía trước chống cột hoặc xây gạch trở cửa vòm, một số có hiên bao quanh.

Trong 4 loại mặt đứng điển hình trên, Loại I và Loại IV có tần suất xuất hiện cao nhất. Trong đó, Loại I phổ biến ở các ngôi đình quy mô vừa và lớn trên toàn vùng Nam Bộ, còn Loại IV mang tính đặc trưng riêng tại các vùng cộng cư Việt - Hoa thuộc Bình Dương (Thủ Dầu Một, Thuận An, Dầu Tiếng). Loại III có mức độ xuất hiện phổ biến vừa phải, trong khi Loại II là dạng tạo hình hiếm gặp nhất.

c) Mặt cắt điển hình: Dựa vào việc đúc kết các đặc điểm mặt cắt kiến trúc đình làng Bình Dương phổ biến, có thể xác định 4 loại cấu trúc mặt cắt điển hình (Hình 1) đại diện cho các giải pháp liên kết hệ khung chịu lực:

- Loại I: Liên kết 2 bộ khung gỗ xuyên - trính nối nhau (mái tiền điện thấp, mái chánh điện cao); quy mô gồm 8 - 9 hàng cột, có kết hợp tường gạch chịu lực.

- Loại II: Liên kết 2 bộ khung bê tông cốt thép mô phỏng kết cấu xuyên - trính (mái tiền điện thấp, mái chánh điện cao dạng cổ lâu); quy mô gồm 9 hàng cột.

- Loại III: Liên kết 4 bộ khung gỗ xuyên - trính nối nhau (giữa hai khung có nhà cầu kết nối, mái tiền điện thấp, mái chánh điện cao); có kết hợp tường gạch chịu lực và kết cấu quá giang.

- Loại IV: Liên kết 3 bộ khung gỗ xuyên - trính nối nhau (mái tiền điện thấp, mái chánh điện cao); có kết hợp tường gạch chịu lực và kết cấu quá giang.

Trong 4 loại cấu trúc mặt cắt điển hình trên, Loại IV xuất hiện phổ biến nhất nhờ độ sâu không gian kéo dài vừa phải, đáp ứng đa dạng nhu cầu thờ tự (kể cả các hệ khung bê tông cốt thép đúc mới cũng duy trì dạng kết cấu này). Loại I là dạng kết cấu phổ biến chung của hệ thống đình làng vùng Nam Bộ. Loại III đại diện cho các công trình quy mô lớn, thể hiện nhu cầu mở rộng tối đa không gian sử dụng. Trong khi đó, Loại II là dạng cấu trúc đặc thù và hiếm gặp nhất.

CÁC MÔ THỨC KIẾN TRÚC ĐIỂN HÌNH CỦA ĐÌNH LÀNG BÌNH DƯƠNG					
MẶT BẰNG ĐIỂN HÌNH		MẶT ĐỨNG ĐIỂN HÌNH		MẶT CẮT ĐIỂN HÌNH	
	Loại I		Loại I		Loại I
	Loại II		Loại II		Loại II
	Loại III		Loại III		Loại III
	Loại IV		Loại IV		Loại IV

Hình 1. Các dạng mặt bằng, mặt đứng, mặt cắt đình làng Bình Dương điển hình. Nguồn: Tác giả

2.3.4. Đặc điểm văn hóa phi hiện thị

Từ việc đối chiếu hệ thống dữ liệu, nghiên cứu xác định 43 đặc điểm văn hóa hiển thị của kiến trúc đình làng Bình Dương và phân lập thành 3 nhóm đặc tính cốt lõi (Bảng 2):

- Tính kế thừa và khai thác kiến trúc Bắc Bộ, Trung Bộ (24 đặc điểm): Thể hiện qua sự tương đồng từ 3 đến 4 nhóm kiến trúc đình làng Việt, bao gồm các giá trị thuộc nhóm "văn hóa gốc" (Bắc Bộ và Trung Bộ).

- Tính dung hòa và tiếp biến kiến trúc Hoa (9 đặc điểm): Thể hiện qua các đặc điểm tương đồng giữa đình làng Bình Dương với kiến trúc Hoa tại Nam Bộ, nhưng hoàn toàn không tìm thấy ở vùng văn hóa Bắc - Trung Bộ.

- Tính sáng tạo các giải pháp kiến trúc mới (10 đặc điểm): Thể hiện qua các nét kiến trúc đặc thù chỉ tìm thấy sự tương đồng duy nhất với nhóm văn hóa kiến trúc Nam Bộ.

Toàn bộ 43 đặc điểm văn hóa hiển thị này có mối liên hệ trực tiếp và phản ánh trọn vẹn 5 đặc tính văn hóa phi hiện thị của đình làng Bình Dương:

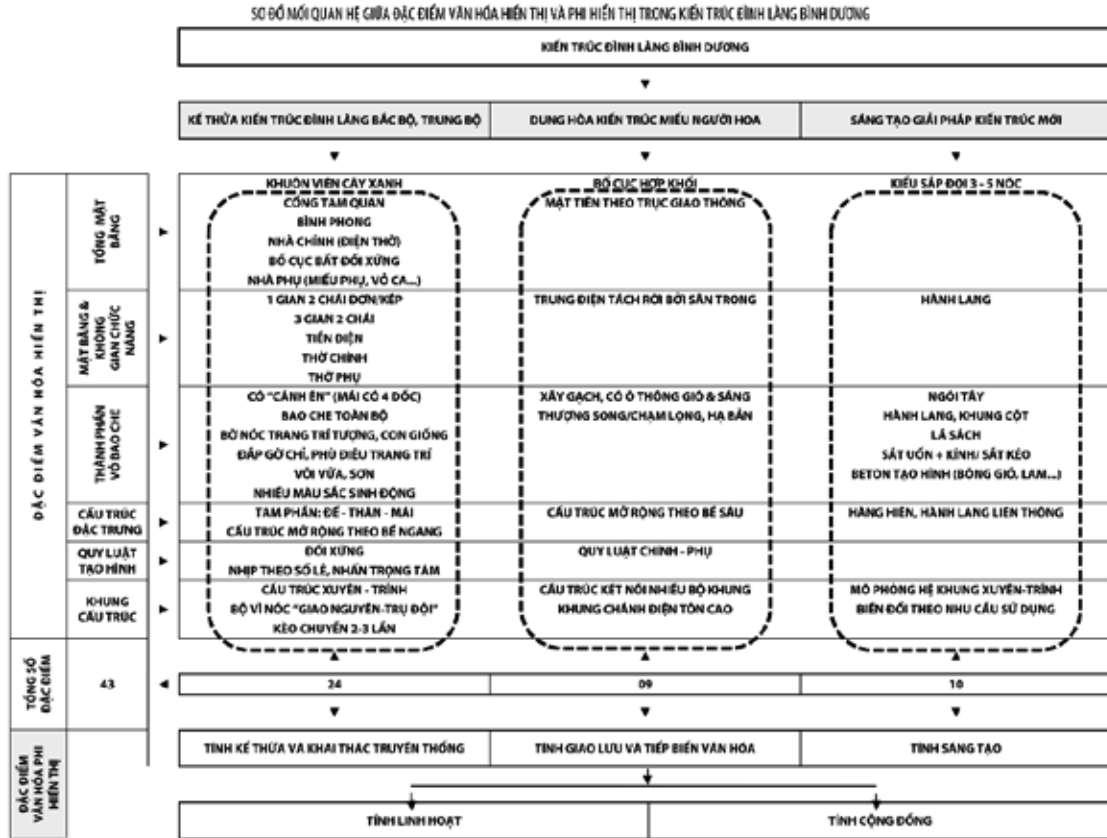
- Tính kế thừa và khai thác truyền thống: Duy trì mạch văn hóa gốc trên con đường di dân Nam tiến.

- Tính giao lưu và tiếp biến văn hóa: Chủ động dung nạp các yếu tố ngoại nhập (đặc biệt là văn hóa Hoa) để bù đắp sự thiếu hụt trong hành trình dịch chuyển.

- **Tính sáng tạo:** Đưa ra các giải pháp kiến trúc mới để phù hợp với từng thời kỳ phát triển.
- **Tính linh hoạt:** Giúp văn hóa du nhập thích ứng, tồn tại và phát triển bền vững trên vùng đất mới.

- **Tính cộng đồng:** Phản ánh tâm thức xã hội của cư dân Việt - Hoa trong việc cùng chung tay kiến tạo làng xã và đời sống tín ngưỡng tại phương Nam.

Bảng 2. Mối quan hệ giữa đặc điểm văn hóa hiển thị và phi hiển thị trong kiến trúc đình làng Bình Dương. *Nguồn: Tác giả*



3. KẾT LUẬN

Là vị trí của ngõ thu hút nhiều luồng di dân, Bình Dương ghi nhận sự hình thành hệ thống đình làng gắn liền với quá trình định cư ổn định của cư dân trên vùng đất mới.

Thông qua phân tích chuyên sâu mặt bằng, mặt đứng, mặt cắt của 15 ngôi đình khảo sát, nghiên cứu đã đúc kết hệ thống nhận diện chi tiết gồm 43 đặc điểm văn hóa kiến trúc điển hình (xét trên 5 phương diện: Tổng mặt bằng, Mặt bằng & Không gian chức năng, Thành phần vỏ bao che, Cấu trúc đặc trưng, Quy luật tạo hình), đồng thời xác định 4 dạng mặt bằng, 4 dạng mặt đứng và 4 dạng mặt cắt kết cấu điển hình.

Khi đối chiếu với 5 vùng văn hóa (Bắc Bộ, Trung Bộ, Đông Nam Bộ, Tây Nam Bộ và đền miếu người Hoa Nam Bộ), kiến trúc đình làng Bình Dương thể hiện mức độ tương đồng cao nhất với Đông Nam Bộ, kế thừa nét văn hóa Trung Bộ, đồng thời mang dấu ấn tiếp biến sâu sắc từ văn hóa người Hoa; sự dị biệt lớn nhất thuộc về nhóm đình làng Bắc Bộ.

Hệ thống đặc điểm hiển thị này được chi phối bởi tư duy và kỹ ức của cộng đồng cư dân xưa, phản ánh 5 đặc điểm văn hóa phi hiển thị cốt lõi: tính kế thừa và khai thác truyền thống, tính giao lưu và tiếp biến văn hóa, tính sáng tạo, tính linh hoạt, và tính cộng đồng. Sự kết hợp giữa các giá trị hiển thị và phi hiển thị đã phản ánh trọn vẹn đời sống văn hóa vật chất lẫn tinh thần của con người Bình Dương, qua đó khẳng định vị trí trung tâm của mái đình trong thiết chế văn hóa Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Ban Quản lý Di tích lịch sử văn hóa và Danh lam thắng cảnh. Di tích Lịch sử văn hóa TP.HCM - Một số cơ sở tín ngưỡng dân gian, Sở Văn hóa - Thông tin TP.HCM, 2001.
- [2] Ban Quản lý Di tích và danh thắng tỉnh Bình Dương. Di tích và Danh thắng tỉnh Bình Dương. NXB. Chính trị Quốc gia Sự thật, Hà Nội, 2019.
- [3] Bảo tàng tỉnh Bình Dương. Đình thần Bình Dương - Giá trị lịch sử và văn hóa. NXB. Lao động, Hà Nội, 2023.
- [4] Phạm Anh Dũng. Kiến trúc đình chùa Nam Bộ. NXB. Xây dựng, Hà Nội, 2014.
- [5] Trần Thị Quế Hà. Nguồn gốc và quá trình phát triển của kiến trúc nhà ở dân gian truyền thống Việt Nam. Kỷ yếu Hội thảo Quốc tế Việt Nam học lần thứ ba, tr. 43, 2008.
- [6] Đình Thị Hòa. Giao lưu liên đình trong bối cảnh đô thị hóa ở Bình Dương. Thông tin Khoa học Lịch sử số 58 (04-2020), Hội Khoa học Lịch sử tỉnh Bình Dương, tr. 57, 2020.
- [7] Nguyễn Hữu Lộc. Văn hóa Hoa trong các ngôi đình ở Bình Dương. Luận văn Thạc sĩ ngành Văn hóa học, Trường Đại học Khoa học Xã hội & Nhân văn TP.HCM, 2023.
- [8] Nguyễn Trần Trọng Nghĩa. Đặc điểm văn hóa trong kiến trúc đình làng Bình Dương. Luận văn Thạc sĩ ngành Kiến trúc, Trường Đại học Kiến trúc TP.HCM, 2024.
- [9] Huỳnh Ngọc Trảng, Trương Ngọc Tường. Đình Nam Bộ xưa và nay. NXB. Văn hóa - Văn nghệ, TP.HCM, 2018.
- [10] Nguyễn Thị Thúy Vi (chủ biên). Thuật ngữ kiến trúc truyền thống nhà rường Huế, NXB. Thế Giới, Hà Nội, 2020.
- [11] Yamada, Y. (Ed.). ベトナム伝統住居の体系的研究-所在調査と意匠技法の編年 [A systematic study of traditional Vietnamese housing: Field survey and chronology of design techniques]. 昭和女子大学国際文化研究所紀要 [Showa Women's University Institute of International Culture Bulletin], 7. Showa Women's University Institute of International Culture, 2001.

Đề xuất chỉ số suy giảm chất lượng tổng hợp (IPDI) phục vụ quản lý khai thác công trình đường bộ ven biển trong bối cảnh biến đổi khí hậu: Trường hợp nghiên cứu tỉnh An Giang

A proposed integrated pavement deterioration index (IPDI) for operation and maintenance management of coastal road infrastructure under climate change: A case study in An Giang province, Vietnam

> LÊ HOÀNG SƠN^{1,2}, NGÔ THỊ THANH HƯƠNG¹, TRẦN TUẤN HUY², ĐINH VĂN PHỤNG³

¹Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải, Việt Nam

²Trường Đại học Kiên Giang, Việt Nam

³Trường Cao đẳng Bình Minh Sài Gòn

*Email: lhson@vnkgu.edu.vn

TÓM TẮT

Biến đổi khí hậu (BĐKH) làm gia tăng tác động của các hiểm họa khí hậu (H) đến công trình đường bộ (CTĐB) ven biển, đặt ra yêu cầu bổ sung các công cụ hỗ trợ đánh giá trạng thái công trình phục vụ quản lý khai thác (QLKT). Nghiên cứu này đề xuất Chỉ số suy giảm chất lượng tổng hợp (IPDI) trên cơ sở tích hợp các thành phần gồm tuổi công trình, tải trọng khai thác, H, mức độ phơi bày (E), độ nhạy cảm (S), năng lực thích ứng (AC), mức độ áp dụng giải pháp kỹ thuật thích ứng (B) và hiệu quả quản trị QLKT (PM). Phương pháp được áp dụng cho 60 đoạn tuyến đường bộ ven biển thuộc tỉnh An Giang (trước đây là tỉnh Kiên Giang). Kết quả tính toán cho thấy giá trị IPDI dao động trong khoảng 0,18 - 0,39; phần lớn các đoạn tuyến thuộc nhóm suy giảm trung bình, một số đoạn tuyến được phân loại ở mức suy giảm cao và không ghi nhận trường hợp suy giảm rất cao trong phạm vi dữ liệu nghiên cứu. Kết quả nghiên cứu cho thấy IPDI có thể được sử dụng như một công cụ hỗ trợ đánh giá trạng thái suy giảm tổng hợp của công trình, phục vụ phân nhóm mức độ suy giảm, lập kế hoạch bảo trì và hỗ trợ ra quyết định trong QLKT CTĐB ven biển trong bối cảnh BĐKH.

Từ khóa: Công trình đường bộ ven biển; quản lý khai thác; suy giảm chất lượng công trình; chỉ số IPDI; biến đổi khí hậu; quản lý tài sản hạ tầng.

ABSTRACT

Climate change is increasing the impacts of climate-related hazards on coastal road infrastructure, creating a need for additional tools to support condition assessment for operation and maintenance management. This study proposes an Integrated Pavement Deterioration Index (IPDI) by integrating several components, including pavement age, traffic loading, climate hazards, exposure, sensitivity, adaptive capacity, the application of technical measures, and the effectiveness of operation and maintenance governance. The proposed method is applied to 60 coastal road segments in An Giang Province, formerly Kien Giang Province. The results show that IPDI values range from 0.18 to 0.39. Most road segments are classified as having a moderate level of deterioration, several segments are classified as having a high level of deterioration, and no segment is classified as having a very high level of deterioration within the study dataset. The findings indicate that IPDI can be used as a supporting tool for assessing the integrated deterioration condition of road infrastructure, classifying

deterioration levels, planning maintenance, and supporting decision-making in the operation and maintenance management of coastal road infrastructure under climate change.

Keywords: Coastal road infrastructure; operation and maintenance management; infrastructure deterioration; Integrated Pavement Deterioration Index (IPDI); climate change; infrastructure asset management.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Công trình đường bộ (CTĐB) ven biển giữ vai trò kết nối các trung tâm kinh tế, du lịch, nuôi trồng thủy sản và cảng biển với mạng lưới giao thông quốc gia. Duy trì trạng thái kỹ thuật và khả năng phục vụ của công trình trong suốt vòng đời khai thác có ý nghĩa đối với an toàn giao thông, phát triển kinh tế - xã hội và hiệu quả đầu tư hạ tầng [1, 2].

QLKT CTĐB bao gồm theo dõi hiện trạng, bảo đảm an toàn, lập kế hoạch bảo trì, sửa chữa và ứng phó sự cố. Xu hướng quản lý tài sản hiện đại gắn QLKT với dữ liệu công trình, dự báo suy giảm, tối ưu nguồn lực và ứng dụng GIS, BIM, hệ thống giao thông thông minh để hỗ trợ ra quyết định [2 - 4].

Trong bối cảnh BĐKH, QLKT CTĐB đang chuyển từ xử lý hư hỏng sang quản lý tài sản dựa trên rủi ro [5]. Ngoài tuổi công trình và tải trọng, suy giảm chất lượng còn chịu ảnh hưởng của khí hậu, môi trường, đặc

điểm kết cấu, năng lực thích ứng và hiệu quả quản lý [1 - 4], [6, 7].

IPCC và PIARC ghi nhận nhiệt độ cực trị, mưa cực đoan, ngập, xâm nhập mặn và sạt lở bờ biển làm gia tăng tác động đến hạ tầng giao thông ven biển [2, 3]. Nhiệt độ cao thúc đẩy hằn lún bê tông nhựa; mưa và ngập làm suy giảm nền, móng và thoát nước; môi trường mặn và sạt lở làm giảm độ bền và tăng nhu cầu bảo trì [1, 4].

Tại khu vực ven biển tỉnh An Giang (trước đây thuộc Kiên Giang), khảo sát 60 đoạn tuyến ghi nhận lượng mưa ngày lớn nhất khoảng 210-350 mm/24 giờ, mưa giờ 65-110 mm/giờ và thời gian ngập 6-12 giờ khi mưa lớn kết hợp triều cường [8, 9]. Nhiệt độ trung bình cao nhất trong bảy ngày liên tiếp đạt 36,4-37,0°C [8 - 10]; xói lở và xâm nhập mặn xuất hiện tại nhiều khu vực [11 - 13]. Hình 1 thể hiện phạm vi nghiên cứu và phân bố các đoạn tuyến CTĐB ven biển được khảo sát.



a). Khu vực ven biển tỉnh An Giang



b). Trích đoạn vị trí tuyến đường bộ ven biển Hà Tiên - Rạch Giá. Nguồn: [14]

Hình 1. Khu vực nghiên cứu và phân bố các đoạn tuyến công trình đường bộ ven biển tỉnh An Giang

Các đoạn tuyến phân bố trong những điều kiện địa hình, môi trường khai thác và mức tác động hiểm họa khí hậu khác nhau, tạo cơ sở đánh giá trạng thái suy giảm trong điều kiện ven biển và BĐKH.

Các chỉ số PCI, IRI, PSI và mô hình HDM-4 đã được sử dụng rộng rãi để đánh giá hiện trạng, mức phục vụ và dự báo xuống cấp mặt đường [15 - 17]. Tuy nhiên, chúng chủ yếu phản ánh hư hỏng, độ bằng phẳng hoặc diễn biến suy giảm theo thời gian.

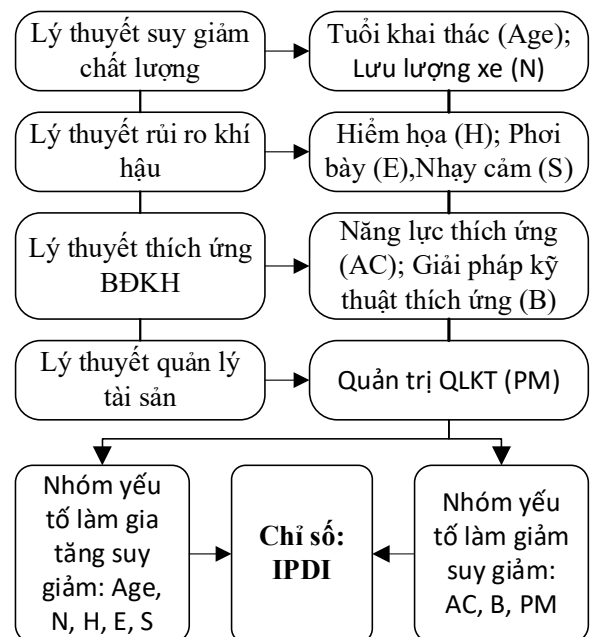
Trong điều kiện BĐKH, suy giảm CTĐB ven biển chịu tác động đồng thời của điều kiện khai thác, hiểm họa (H), phơi bày (E), nhạy cảm (S), năng lực thích ứng (AC), giải pháp kỹ thuật thích ứng (B) và hiệu quả QLKT (PM). Việc tích hợp các nhóm yếu tố này trong một chỉ số tổng hợp còn hạn chế [1 - 3].

Nghiên cứu vì vậy đề xuất Chỉ số suy giảm chất lượng tổng hợp (IPDI), tích hợp Age, N, H, E, S, AC, B và PM, và áp dụng cho 60 đoạn tuyến ven biển tỉnh An Giang nhằm hỗ trợ đánh giá, phân nhóm và ra quyết định QLKT.

2. CƠ SỞ KHOA HỌC VÀ PHƯƠNG PHÁP

2.1. Cơ sở xây dựng chỉ số IPDI

IPDI được xây dựng theo quan điểm suy giảm CTĐB là kết quả tương tác giữa yếu tố kỹ thuật, khai thác, BĐKH và năng lực quản lý trong vòng đời công trình. Vì vậy, chỉ số đồng thời xem xét các yếu tố làm tăng và các yếu tố hạn chế suy giảm [1, 2].



Hình 2. Khung lý thuyết xây dựng IPDI

Theo quản lý tài sản hạ tầng, Age và N đại diện cho lão hóa vật liệu và tích lũy tác động khai thác, là hai thành phần cơ bản chi phối trạng thái công trình và nhu cầu bảo trì [1, 3].

Các hiểm họa khí hậu như nhiệt độ cực trị, mưa cực đoan, ngập, xâm nhập mặn và sạt lở có thể thay đổi cơ chế hư hỏng, gia tăng tốc độ suy giảm và rút ngắn tuổi thọ công trình [2, 7, 13, 18, 19]. Do đó H được đưa vào IPDI.

Theo khung rủi ro khí hậu, mức tác động còn phụ thuộc E và S của đối tượng chịu tác động [2, 6, 20]. Với CTĐB ven biển, H, E và S được xem là các thành phần làm gia tăng suy giảm.

Ngược lại, AC, B và PM phản ánh khả năng phòng ngừa, ứng phó, phục hồi và duy trì khai thác; vì vậy được xem là các yếu tố góp phần hạn chế suy giảm [1-3], [6, 7, 13, 20].

Từ đó, IPDI tích hợp nhóm làm tăng suy giảm gồm Age, N, H, E, S và nhóm làm giảm suy giảm gồm AC, B, PM (Hình 2).

Hình 2 khái quát hai nhóm thành phần tác động ngược chiều, làm cơ sở xây dựng công thức IPDI và áp dụng cho các đoạn tuyến nghiên cứu.

2.2. Chỉ số suy giảm chất lượng tổng hợp (IPDI)

IPDI lượng hóa trạng thái suy giảm CTĐB ven biển bằng cách tích hợp các yếu tố kỹ thuật, khai thác, khí hậu và quản lý. Chỉ số được xác định theo biểu thức (1):

$$IPDI = \frac{Age + N + H + E + S - (AC + B + M)}{8} \quad (1)$$

Trong đó, Age là tuổi khai thác; N là tải trọng khai thác; H là hiểm họa khí hậu; E là mức phơi bày; S là độ nhạy cảm; AC là năng lực thích ứng; B là mức áp dụng giải pháp kỹ thuật và vật liệu thích ứng; PM là hiệu quả quản trị QLKT.

Các thành phần được chuẩn hóa về [0;1] bằng Min-Max để tích hợp các biến khác đơn vị và so sánh giữa các đoạn tuyến [3].

IPDI càng lớn biểu thị xu hướng suy giảm tổng hợp càng cao; IPDI thấp phản ánh trạng thái khai thác thuận lợi hơn trong phạm vi các thành phần được xem xét.

Bảng 1. Các thành phần, ý nghĩa và vai trò của chỉ số IPDI

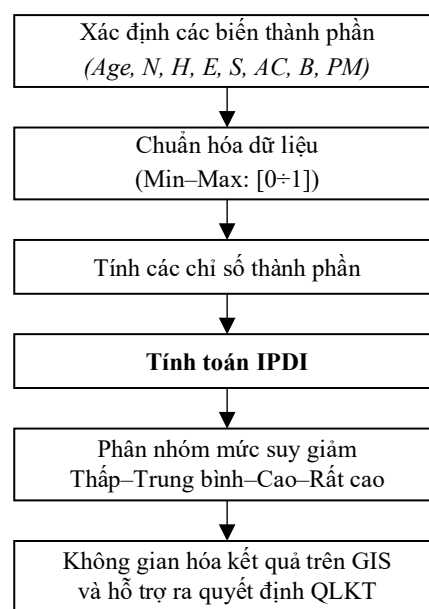
Thành phần	Ý nghĩa	Vai trò trong IPDI
Age	Tuổi khai thác công trình	Phản ánh mức độ lão hóa kết cấu công trình
N	Tải trọng khai thác	Phản ánh tác động tích lũy của tải trọng giao thông
H	Hiểm họa khí hậu	Phản ánh mức độ tác động của các hiểm họa khí hậu
E	Mức độ phơi bày	Phản ánh mức độ tiếp xúc của công trình với hiểm họa
S	Độ nhạy cảm	Phản ánh mức độ nhạy cảm của kết cấu trước tác động của H
AC	Năng lực thích ứng	Góp phần hạn chế tác động của H và làm chậm quá trình suy giảm
B	Giải pháp kỹ thuật và vật liệu thích ứng	Góp phần nâng cao khả năng chống chịu của công trình
PM	Hiệu quả quản trị quản lý khai thác	Góp phần giảm tốc độ suy giảm thông qua quản lý và bảo trì

Nguồn: Nhóm nghiên cứu xây dựng trên cơ sở lý thuyết [1 - 3], [6, 20].

Các chỉ tiêu thành phần Age, N, H, E, S, AC, B và PM được xác định phù hợp với điều kiện khai thác CTĐB ven biển.

2.3. Quy trình tính toán chỉ số IPDI

Quy trình tính IPDI gồm năm bước từ thu thập dữ liệu đến phân tích không gian (Hình 3).



Hình 3. Quy trình tính toán chỉ số IPDI

Hình 3 mô tả chuỗi thu thập, chuẩn hóa, xác định thành phần, tính IPDI, phân tầng và không gian hóa kết quả trên GIS.

Quy trình gồm:

Bước 1. Thu thập dữ liệu Age, N, H, E, S, AC, B và PM.

Bước 2. Chuẩn hóa các biến về [0;1] bằng Min-Max [21].

Bước 3. Xác định các thành phần: H, E, S, AC kế thừa từ đánh giá rủi ro; Age theo tỷ lệ tuổi khai thác/tuổi thiết kế; N từ dữ liệu tải trọng; B và PM từ hồ sơ quản lý, bảo trì và khảo sát hiện trường.

Bước 4. Tính IPDI theo biểu thức (1), với Age, N, H, E, S làm tăng và AC, B, PM làm giảm mức suy giảm.

Bước 5. Phân tầng IPDI và tích hợp GIS để so sánh, trực quan hóa và hỗ trợ QLKT.

IPDI được phân thành bốn cấp suy giảm để hỗ trợ so sánh và xác định ưu tiên QLKT (Bảng 2).

Bảng 2. Phân tầng chỉ số IPDI

Chỉ số IPDI	Mức độ suy giảm	Hàm ý ưu tiên QLKT
$IPDI < 0,2$	Thấp (Vùng Xanh)	Ưu tiên 4
$0,2 \leq IPDI < 0,35$	Trung bình (Vùng Vàng)	Ưu tiên 3
$0,35 \leq IPDI < 0,5$	Cao (Vùng Cam)	Ưu tiên 2
$IPDI \geq 0,5$	Rất cao (Vùng Đỏ)	Ưu tiên 1

IPDI lớn hơn phản ánh tác động bất lợi tổng hợp lớn hơn hoặc hạn chế hơn về AC, B và PM; IPDI nhỏ hơn phản ánh trạng thái thuận lợi hơn.

Bảng 3. Nguồn dữ liệu và phương pháp xác định các thành phần của IPDI

Thành phần	Nguồn dữ liệu	Phương pháp xác định
Age	Hồ sơ công trình	Tuổi khai thác/tuổi thiết kế
N	Đếm xe hoặc dữ liệu thay thế	Chuẩn hóa theo mức tải khai thác
H	Bộ chỉ số hiểm họa	Kế thừa từ kết quả đánh giá H
E	Bộ chỉ số phơi bày	Kế thừa từ kết quả đánh giá E
S	Bộ chỉ số nhạy cảm	Kế thừa từ kết quả đánh giá S

AC	Bộ chỉ số năng lực thích ứng	Kế thừa từ kết quả đánh giá AC
B	Hồ sơ bảo trì, giải pháp kỹ thuật	Đánh giá theo mức độ áp dụng. Tỷ lệ chiều dài: Áp dụng vật liệu chống hần lún, chịu nhiệt, chịu mặn; Có xử lý chống nước, chống thấm, duy tu kín nước, Mức độ gia cố nền - móng, thoát nước kết cấu tại điểm yếu
PM	Hồ sơ QLKT	Đánh giá theo mức độ thực hiện: Mức độ bảo đảm tài chính; Cơ chế hợp đồng theo hiệu suất; Chuyển đổi số & CSDL rủi ro

Bảng 3 tổng hợp nguồn dữ liệu và phương pháp xác định các thành phần IPDI.

2.4. Dữ liệu nghiên cứu

Bộ dữ liệu gồm 60 đoạn tuyến ven biển thuộc các khu vực Hà Tiên, Kiên Lương, Hòn Đất, Rạch Giá, An Biên và Vĩnh Thuận, đại diện cho các điều kiện khai thác, địa hình và mức tác động khí hậu khác nhau.

Dữ liệu được tổng hợp từ hồ sơ QLKT, bảo trì, khí tượng - thủy văn, khảo sát hiện trường và GIS để xác định các thành phần IPDI.

Bảng 4. Nguồn dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu

Nguồn dữ liệu	Giai đoạn dữ liệu	Thông tin chính
Hồ sơ QLKT công trình	2025	Tuổi công trình (Age), hiện trạng khai thác, hồ sơ tuyến
Hồ sơ bảo trì và sửa chữa	2015 - 2025	Giải pháp kỹ thuật thích ứng (B), công tác bảo trì, quản lý
Dữ liệu khí tượng - thủy văn	2015 - 2025	Nhiệt độ, lượng mưa, các thông số phục vụ xác định H
Khảo sát hiện trường	2025	Điều kiện khai thác, mức độ E, độ nhạy cảm (S), hiện trạng công trình
Dữ liệu GIS và bản đồ nền	2025	Phân bố không gian, đặc điểm địa hình, khoảng cách đến biển và các yếu tố phục vụ đánh giá H, E và S
Hồ sơ quản lý và tài liệu của đơn vị QLKT	2015 - 2025	Năng lực thích ứng (AC), hiệu quả quản trị quản lý khai thác (PM)

Bảng 4 trình bày các nguồn dữ liệu chính phục vụ chuẩn hóa, tính IPDI và phân tích kết quả.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả tính toán chỉ số IPDI

Phương pháp được áp dụng cho 60 đoạn tuyến, tính IPDI từ tám thành phần Age, N, H, E, S, AC, B và PM.

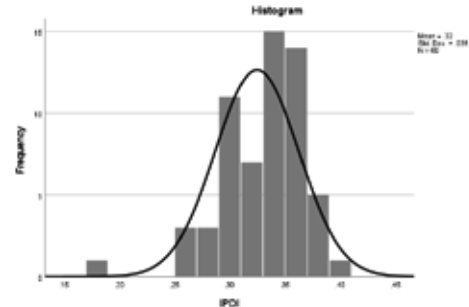
IPDI dao động 0,18-0,39, trung bình khoảng 0,32; không có đoạn tuyến IPDI $\geq 0,50$. Kết quả cho thấy trạng thái suy giảm chủ yếu từ thấp đến cao và phản ánh khác biệt về điều kiện khai thác, khí hậu giữa các đoạn tuyến.

Bảng 5. Thống kê mô tả chỉ số IPDI của 60 đoạn tuyến

Chỉ tiêu	Giá trị
Số mẫu	60
Nhỏ nhất (Min)	0,18
Lớn nhất (Max)	0,39
Trung bình (Mean)	0,32
Độ lệch chuẩn (Std.)	0,03
Hệ số biến thiên: CV=Std./Mean	9,38%

Bảng 5 cho thấy IPDI trung bình 0,32, độ lệch chuẩn 0,03 và hệ số biến thiên 9,38%, cho thấy mức phân tán tương đối nhỏ trong bộ dữ liệu nghiên cứu [22].

IPDI phân bố tương đối liên tục trên miền quan sát, phản ánh khác biệt giữa các đoạn tuyến.



Hình 4. Phân bố tần suất giá trị IPDI của 60 đoạn tuyến

Hình 4 cho thấy phần lớn IPDI tập trung trong khoảng 0,28-0,35; chỉ ít đoạn tuyến dưới 0,25 hoặc trên 0,36.

Phân bố tập trung quanh giá trị trung bình, đồng thời một số giá trị cao hơn cho thấy tồn tại các đoạn tuyến cần được xem xét ưu tiên QLKT.

Kết quả phù hợp với phân tầng: chủ yếu suy giảm trung bình, một số suy giảm cao và không có trường hợp rất cao.

Mức phân tán nhỏ cho thấy chỉ số ổn định trong bộ dữ liệu; khả năng phân biệt cần tiếp tục kiểm chứng ở các khu vực có điều kiện khai thác và khí hậu khác.

3.2. Phân tầng chỉ số IPDI

Các đoạn tuyến được phân thành bốn mức suy giảm theo ngưỡng tại Mục 2.

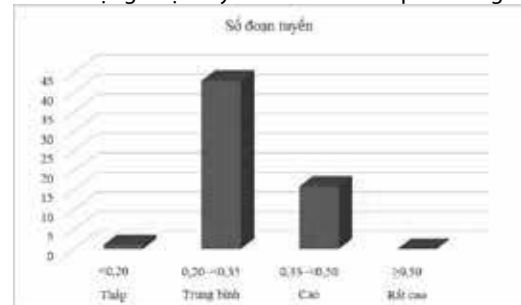
Bảng 6. Phân tầng chỉ số IPDI của 60 đoạn tuyến

Mức suy giảm	Khoảng IPDI	Số đoạn tuyến	Tỷ lệ (%)
Thấp	<0,20	1	1,7
Trung bình	0,20–0,35	43	71,6
Cao	0,35–0,50	16	26,7
Rất cao	$\geq 0,50$	0	0

Nhóm suy giảm trung bình chiếm 71,7%, nhóm cao 26,7%, nhóm thấp 1,7% và không có nhóm rất cao.

Kết quả cho thấy phần lớn đoạn tuyến còn ở mức có thể kiểm soát, nhưng nhóm suy giảm cao cần được quan tâm trong kế hoạch QLKT.

Hình 5. Số lượng đoạn tuyến theo các mức phân tầng IPDI



Hình 5 cho thấy nhóm suy giảm trung bình chiếm ưu thế; ưu tiên bảo trì cần xét đồng thời mức suy giảm và điều kiện khai thác từng khu vực.

3.3. Ý nghĩa của chỉ số IPDI đối với quản lý khai thác

IPDI phản ánh trạng thái suy giảm tổng hợp dựa trên các yếu tố kỹ thuật, khai thác, khí hậu và năng lực QLKT, qua đó bổ sung thông tin về các yếu tố có thể chi phối xu hướng xuống cấp.

IPDI hỗ trợ: (i) so sánh và theo dõi các đoạn tuyến trên cùng

thang đo; (ii) mở rộng đánh giá bằng H, E, S, AC, B và PM; và (iii) cung cấp thông tin tham khảo cho lập kế hoạch bảo trì, phân bổ nguồn lực và xác định ưu tiên.

Cấu trúc mở cho phép IPDI cập nhật khi dữ liệu khí hậu, giao thông hoặc quản lý thay đổi, phù hợp định hướng quản lý tài sản thích ứng BĐKH.

3.4. Thảo luận

PCI và IRI chủ yếu phản ánh hư hỏng bề mặt và độ bằng phẳng; HDM-4 mô phỏng suy giảm và hỗ trợ phân tích kinh tế bảo trì [23-25].

IPDI bổ sung cách tiếp cận đa chiều bằng cách tích hợp Age, N với H, E, S, AC, B và PM trong một chỉ số tổng hợp.

IPDI không thay thế PCI hoặc IRI mà là công cụ bổ sung để tổng hợp thông tin, hỗ trợ lập kế hoạch bảo trì, ưu tiên đầu tư và quản lý tài sản CTĐB ven biển trong điều kiện BĐKH.

Các thành phần được chuẩn hóa về [0;1] và giả định trọng số bằng nhau do chưa đủ dữ liệu dài hạn để xác định ảnh hưởng tương đối [26]. Nghiên cứu tiếp theo có thể hiệu chỉnh trọng số bằng AHP, Entropy hoặc học máy [26-28].

Age, N, H, E, S được cộng trực tiếp; AC, B, PM mang dấu âm; phép chia cho 8 chuẩn hóa giá trị tổng hợp để thuận lợi so sánh và phân tầng.

IPDI hiện đánh giá trạng thái tại thời điểm khảo sát nhưng có thể mở rộng cho các kịch bản BĐKH, tăng trưởng giao thông và thay đổi đầu tư bảo trì khi có dữ liệu quan trắc dài hạn.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đề xuất IPDI để hỗ trợ đánh giá suy giảm CTĐB ven biển trong bối cảnh BĐKH trên cơ sở quản lý tài sản, rủi ro và thích ứng.

IPDI tích hợp tám thành phần Age, N, H, E, S, AC, B và PM, cho phép xem xét đồng thời yếu tố kỹ thuật, khai thác, khí hậu và quản lý.

Áp dụng cho 60 đoạn tuyến cho kết quả IPDI 0,18-0,39; phần lớn thuộc nhóm suy giảm trung bình, một số ở mức cao và không có trường hợp rất cao.

IPDI có thể hỗ trợ phân nhóm suy giảm, theo dõi chất lượng, lập kế hoạch bảo trì và xác định ưu tiên QLKT. Nghiên cứu tiếp theo cần tích hợp dữ liệu dài hạn và các kịch bản khí hậu, giao thông để phân tích xu hướng theo thời gian.

Cấu trúc IPDI theo hướng mở; các thành phần và ngưỡng phân loại có thể hiệu chỉnh cho mạng lưới đường bộ khác.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] PIARC. International Climate Change Adaptation Framework: Technical Report - Case Studies and Methodological Guidance. World Road Association (PIARC), Paris, France, 2023.
- [2] IPCC. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland, 2023, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001.
- [3] ISO. ISO 55000: Asset management - Overview, principles and terminology. International Organization for Standardization, Geneva, 2024.
- [4] Austroads. Guide to Asset Management Part 8: Management of Road Assets. Austroads, Sydney, Australia, 2020.
- [5] Chang C. M. et al. A Climate Adaptation Asset Risk Management Approach for Resilient Roadway Infrastructure. Infrastructures, vol. 9, no. 12, 226, 2024, doi: 10.3390/infrastructures9120226.
- [6] Bộ Giao thông vận tải. Đánh giá tính dễ bị tổn thương, lập bản đồ rủi ro, xác định giải pháp thích ứng và phân tích chi phí lợi ích cho hệ thống đường bộ Việt Nam. 2020.
- [7] Bộ Giao thông vận tải. Quyết định 452/QĐ-BGTVT về Kế hoạch hành động chủ động ứng phó với biến đổi khí hậu, tăng cường quản lý tài nguyên và bảo vệ môi trường giai đoạn

2021 - 2025. 2021.

[8] Sở Giao thông vận tải Kiên Giang. Báo cáo tổng kết công tác quản lý, bảo trì và khắc phục thiệt hại giao thông đường bộ do thiên tai giai đoạn 2015 - 2023. 2023.

[9] Sở Giao thông vận tải Kiên Giang. Báo cáo hiện trạng và kế hoạch bảo trì hạ tầng giao thông giai đoạn 2021 - 2025. 2024.

[10] Định Thị Việt Hà. Đánh giá xu thế biến đổi mưa, nhiệt độ tỉnh Kiên Giang. Tạp chí Khí tượng Thủy văn, vol. 747, pp. 54-69, 2023.

[11] UBND tỉnh Kiên Giang. Báo cáo tình hình sạt lở bờ biển và giải pháp ứng phó trên địa bàn tỉnh. UBND tỉnh Kiên Giang, 2023.

[12] Thái Thành Lượm và các cộng sự. Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của rừng ngập mặn đến sự mất ổn định bờ biển và đề biển vùng ven biển Tây hai tỉnh Kiên Giang và Cà Mau trong điều kiện biến đổi khí hậu và nước biển dâng. Đề tài cấp Bộ, Trường Đại học Kiên Giang, 60, 2021.

[13] Bộ Tài nguyên và Môi trường. Báo cáo đánh giá tác động biến đổi khí hậu và nước biển dâng tại Việt Nam. 2023.

[14] UBND tỉnh Kiên Giang. Quy hoạch tỉnh Kiên Giang thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050. Phương án phòng chống thiên tai do biến đổi khí hậu, 2020.

[15] TCVN 14182. Bảo dưỡng thường xuyên đường bộ - Yêu cầu kỹ thuật. Tiêu chuẩn quốc gia, Hà Nội, 2024.

[16] TCCS 37:2022/TCĐBVN. Áo đường mềm - Yêu cầu và chỉ dẫn thiết kế theo chỉ số kết cấu. Tiêu chuẩn cơ sở, Hà Nội, 2022.

[17] Kerali H. R., Odoki J. B., Stannard D. C. Overview of HDM-4 (Volume 1). World Road Association (PIARC), The World Bank, Washington, DC, 2000.

[18] ASTM International. ASTM D6433-23: Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2023.

[19] Austroads. Guide to Asset Management Part 8: Management of Road Assets. Austroads, Sydney, Australia, 2021.

[20] Bộ Tài nguyên và Môi trường. Thông tư 01/2022/TT-BTNMT Quy định kỹ thuật về đánh giá tác động của biến đổi khí hậu và xác định giải pháp thích ứng với biến đổi khí hậu, 2022.

[21] Nguyễn Đình Thúc Hoàng Kiêm. Giáo trình Khai phá dữ liệu và ứng dụng. NXB. Đại học Quốc gia TP.HCM, 2019.

[22] Nguyễn Minh Tiến và cộng sự. Giáo trình Thống kê ứng dụng trong kinh tế và xã hội. NXB. Kinh tế TP.HCM, 2020.

[23] Thompson A., Desai J., Bullock D. M. A Comparison of Connected-Vehicle Roughness and Traditional Pavement Condition Index. Future Transportation, vol. 6, no. 1, 47, 2026, doi: 10.3390/futuretransp6010047.

[24] Harinder D., Anusha P., Ramesh A., Kamatalam K. M. P. Evaluation of flexible pavement performance based on HDM-4 and international roughness index. E3S Web of Conferences, vol. 391, 01202, 2023, doi: 10.1051/e3sconf/202339101202.

[25] Paplauskas P., Vaitkus A., Simanavičienė R. Road Pavement Condition Index Deterioration Model for Network-Level Analysis of National Road Network Based on Pavement Condition Scanning Data. The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering, vol. 18, no. 3, pp. 70-101, 2023, doi: 10.7250/bjrbe.2023-18.609.

[26] OECD, JRC. Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide. OECD Publishing, Paris, 2008.

[27] Mo W., Xiao S., Li Q. AHP-Entropy Method for Sustainable Development Potential Evaluation and Rural Revitalization: Evidence from 80 Traditional Villages in Cantonese Cultural Region, China. Sustainability, vol. 17, no. 21, 9582, 2025, doi: 10.3390/su17219582.

[28] Xavier A., Fragoso R., Freitas M. B. C. Building sustainability composite indicators using a multi-criteria approach. European Journal of Operational Research, vol. 326, no. 2, pp. 326-342, 2025, doi: 10.1016/j.ejor.2025.04.024

Giải pháp bổ cập oxy nhằm tăng cường khả năng tự làm sạch và tích hợp cảnh quan cho hồ đô thị

Oxygen supplementation solutions for enhancing self-purification and landscape integration in urban lakes

> TS TRẦN THÚY ANH^{1,*}, GS.TS TRẦN ĐỨC HẠ², THS ĐẬU KHẮC TIẾN²

¹Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

²Trường Đại học Công nghệ Đông Á

*Email: att2@huce.edu.vn

TÓM TẮT

Do tiếp nhận nước mưa và nước thải cũng như các yếu tố khí hậu thời tiết, các hồ đô thị ở Việt Nam thường bị ô nhiễm và phú dưỡng. Khả năng tự làm sạch của hồ không cao do thiếu oxy và chế độ dòng chảy không ổn định. Vì vậy bổ cập oxy và tạo chế độ động trong hồ là giải pháp căn cơ để cải thiện chất lượng nước và tạo cảnh quan cho hồ đô thị. Bài báo phân tích các yếu tố chi phối chế độ oxy, tổng hợp nguyên lý và điều kiện áp dụng của các giải pháp bổ cập oxy, sử dụng số liệu hồ Yên Sở để minh họa biến đổi DO theo chiều sâu và khả năng làm giàu oxy qua công trình thủy lực. Hai nhóm giải pháp được xem xét gồm: (i) bổ cập oxy trực tiếp trong hồ bằng tuần hoàn nước, làm thoáng bề mặt và phân phối khí; và (ii) làm thoáng dòng nước bổ sung vào hồ bằng đập tràn hoặc ejector. Khảo sát cho thấy DO giảm rõ theo chiều sâu. Thử nghiệm tại đập tràn từ sông Kim Ngưu vào hồ Yên Sở cho thấy độ tăng DO có quan hệ với độ chênh mực nước. Trên cơ sở đó, bài báo đề xuất lựa chọn giải pháp theo trạng thái oxy, hình thái hồ, phân tầng, tải ô nhiễm, hiệu quả truyền oxy, năng lượng, vận hành và yêu cầu cảnh quan.

Từ khóa: Hồ đô thị; ô nhiễm; phú dưỡng; tự làm sạch; bổ cập oxy.

ABSTRACT

Urban lakes in Vietnam are often subject to pollution and eutrophication due to the inflow of stormwater and wastewater, together with climatic and weather-related factors. Their self-

purification capacity is generally limited by oxygen deficiency and unstable hydrodynamic conditions. Therefore, oxygen supplementation combined with enhanced water circulation represents a fundamental approach to improving water quality while providing landscape benefits for urban lakes. This paper analyzes the factors governing oxygen dynamics, reviews the principles and applicability of oxygen supplementation technologies, and uses historical data from Yen So Lake to illustrate vertical variations in dissolved oxygen (DO) and oxygen enrichment through hydraulic structures. Two groups of measures are considered: (i) direct oxygen supplementation within the lake through water circulation, surface aeration, and diffused aeration; and (ii) aeration of inflows before they enter the lake using weirs or air-entraining ejectors. Field observations indicated a marked decrease in DO with increasing water depth. Tests conducted at the weir conveying water from the Kim Nguu River into Yen So Lake showed that the increase in DO was related to the difference in water level across the structure. Based on these findings, the paper proposes a framework for selecting appropriate measures according to the lake's oxygen status, morphology, thermal stratification, pollution load, oxygen-transfer performance, energy demand, operational requirements, and landscape objectives.

Keywords: Urban lake; pollution; eutrophication; self-purification; oxygen supplementation.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hồ đô thị (HĐT) đảm nhận đồng thời nhiều chức năng như điều tiết nước mưa, tiếp nhận và điều hòa dòng chảy, tạo không gian cảnh quan,

hỗ trợ điều hòa vi khí hậu và duy trì các chức năng sinh thái trong đô thị. Tuy nhiên, tại những khu vực mà nước thải chưa được kiểm soát triệt để hoặc hệ thống thoát nước còn tiếp nhận đồng thời nước mưa và nước

thải, hồ có thể chịu tải đáng kể chất hữu cơ, chất dinh dưỡng và chất rắn từ lưu vực. Sự tích tụ lâu dài của các nguồn tải này làm tăng nguy cơ suy giảm chất lượng nước, phú dưỡng và thiếu oxy, đặc biệt tại các vùng nước ít trao đổi và tầng đáy [1, 2].

Để phục hồi chất lượng nước hồ, yếu tố chính là đảm bảo khả năng tự làm sạch của hồ với yêu cầu duy trì lượng oxy đủ và ổn định. Oxy hòa tan (DO) là một trong những thông số quan trọng chi phối các quá trình chuyển hóa sinh hóa trong thủy vực. Sự suy giảm DO kéo dài có thể hạn chế các quá trình oxy hóa hiếu khí, làm thay đổi điều kiện oxy hóa-khử tại cột nước và bề mặt trầm tích, đồng thời ảnh hưởng đến cấu trúc hệ sinh thái hồ. Ngược lại, nồng độ DO của hồ cũng chịu tác động mạnh của quang hợp, phân hủy chất hữu cơ, nhu cầu oxy trầm tích, trao đổi khí với khí quyển, nhiệt độ và chế độ thủy động lực. Vì vậy, bổ cập oxy chỉ phát huy hiệu quả khi thiếu oxy thực sự là một yếu tố hạn chế của hệ thống [1, 9].

Như vậy, cung cấp, bổ sung thêm oxy là một giải pháp căn cơ để đảm bảo cân bằng sinh thái cũng như quá trình chuyển hóa các chất ô nhiễm trong nước hồ. Các giải pháp bổ sung oxy cho nước HDT có thể bằng các nhóm công trình khuếch tán oxy trong nước và hồ hoặc công trình bổ cập oxy trực tiếp cho nước hồ. Các giải pháp làm thoáng và bổ cập oxy cho hồ hiện nay khá đa dạng, từ vòi phun, tuần hoàn nước, khuấy bề mặt và phân phối khí đến các công nghệ bọt khí mịn hoặc các công trình tận dụng năng lượng thủy lực của dòng nước. Mỗi công nghệ tạo ra chế độ truyền oxy và xáo trộn khác nhau, do đó không thể lựa chọn chỉ dựa trên khả năng tăng DO. Đặc điểm hình thái hồ, độ sâu, trạng thái phân tầng, vị trí thiếu oxy, tải hữu cơ và dinh dưỡng, yêu cầu năng lượng, vận hành và cảnh quan đều cần được xem xét [1].

Hồ nước cũng là tài nguyên quý giá của một đô thị, bên cạnh vai trò điều hòa nước mưa là vai trò môi trường cảnh quan để bố trí công trình thẩm mỹ trên đó. Hồ tạo nên không gian mở và là nơi nghỉ ngơi vui chơi giải trí, giao tiếp, sinh hoạt công cộng của đô thị. Vòi phun, thác nước hoặc hệ thống tuần hoàn có thể đồng thời tạo điểm nhấn không gian, trong khi các hệ thống cấp khí chìm có ưu thế về hạn chế chiếm dụng mặt nước. Vì vậy, việc lựa chọn công trình bổ cập oxy cần tích hợp cả hiệu quả kỹ thuật và tạo yếu tố mỹ quan cho không gian hồ.

Do vậy, bài báo nhằm (i) phân tích các yếu tố chính chi phối chế độ oxy và khả năng tự làm sạch của hồ đô thị; (ii) hệ thống hóa nguyên lý, cơ sở tính toán và điều kiện áp dụng của các giải pháp bổ cập oxy; (iii) phân tích số liệu tại hồ Yên Sở như một thí dụ điển hình; và (iv) đề xuất khung lựa chọn giải pháp bổ cập oxy phù hợp với đặc điểm và yêu cầu cảnh quan HDT.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Tổng hợp và phân tích số liệu

Nghiên cứu tổng hợp các tài liệu liên quan đến cân bằng oxy trong hồ, quá trình tự làm sạch, truyền oxy khí-nước và các công nghệ làm thoáng áp dụng cho thủy vực. Các nhóm giải pháp được phân tích theo nguyên lý truyền oxy, khả năng tạo xáo trộn, vị trí tác động trong cột nước, nhu cầu năng lượng và điều kiện áp dụng.

Các công thức tính toán trình bày trong bài được tổng hợp từ các tài liệu kỹ thuật và nghiên cứu trước đây [1], [3 - 5]. Khi áp dụng cho HDT, các biểu thức kinh nghiệm cần được xem xét trong phạm vi điều kiện mà chúng được xây dựng và hiệu chỉnh theo đặc điểm cụ thể của thủy vực.

2.2. Số liệu khảo sát chế độ oxy hòa tan

Bài báo kế thừa số liệu khảo sát chế độ DO tại hồ Yên Sở (Hà Nội). Số liệu phân bố DO theo chiều sâu được kế thừa từ đề tài nghiên cứu về khả năng tự làm sạch và cải thiện chất lượng nước hồ Yên Sở [6]. DO được khảo sát tại vị trí giữa hồ Yên Sở số 2 và số 4 trong hai

đợt, gồm cuối mùa mưa tháng 9/2007 và mùa khô tháng 11/2007. Các phép đo được thực hiện vào khoảng 10 giờ sáng tại các độ sâu khác nhau trong cột nước.

Do số đợt quan trắc và thời điểm trong ngày còn hạn chế, bộ số liệu này được sử dụng nhằm minh họa gradient DO theo chiều sâu tại thời điểm khảo sát, không được sử dụng để mô tả đầy đủ biến động DO ngày-đêm, biến động mùa hoặc trạng thái hiện tại của hồ Yên Sở.

2.3. Số liệu thử nghiệm làm thoáng qua đập tràn

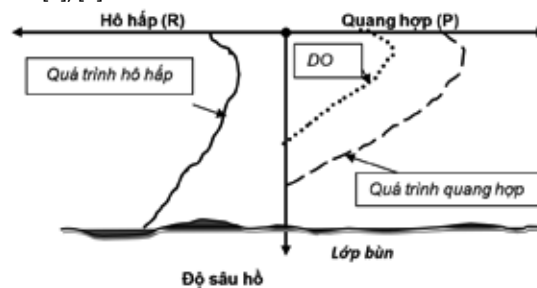
Khả năng làm giàu oxy qua đập tràn từ sông Kim Ngưu vào hồ Yên Sở được đánh giá từ số liệu nghiên cứu hiện trường của đề tài [6]. Trong thời gian khảo sát, nhiệt độ nước khoảng 25,6°C, DO dòng nước trước công trình khoảng 1,9 mg/L, mực nước hồ khoảng +2,90 m và mực nước sông thay đổi từ khoảng +3,35 m đến +3,00 m. Độ chênh mực nước qua công trình được sử dụng làm thông số thủy lực chính để phân tích sự thay đổi DO trước và sau đập.

3. CHẾ ĐỘ OXY VÀ CƠ SỞ XÁC ĐỊNH NHU CẦU BỔ CẬP OXY

3.1. Cân bằng oxy trong hồ đô thị

Chế độ oxy phản ánh trạng thái chất lượng nước (mức độ dinh dưỡng, chế độ phân hủy chất hữu cơ, ...) và quá trình thủy động học trong hồ. Nồng độ DO phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố như: quá trình khuếch tán ô xy qua bề mặt, quá trình hô hấp, quang hợp của thực vật bậc cao, thực vật nổi, thực vật đáy, quá trình phân hủy chất hữu cơ (đặc trưng là BOD) của vi sinh vật. Các quá trình này thường rất phức tạp, luôn có quan hệ hữu cơ và chịu tác động đồng thời của hàng loạt các yếu tố.

Cân bằng oxy trong hồ là kết quả của nhiều quá trình xảy ra đồng thời. Các nguồn oxy chính gồm quang hợp của thực vật thủy sinh và thực vật phù du (P), trao đổi oxy giữa khí quyển và mặt nước, dòng nước vào hồ và các hệ thống làm thoáng nhân tạo. Oxy đồng thời bị tiêu thụ bởi hô hấp của sinh vật (R), phân hủy chất hữu cơ, nitrat hóa và các phản ứng oxy hóa khác trong cột nước và trầm tích [7 - 9]. Cường độ các quá trình này phụ thuộc vào chiều sâu của hồ. Ở tầng mặt, ánh sáng thuận lợi có thể thúc đẩy quang hợp, làm DO tăng và trong một số thời điểm có thể đạt hoặc vượt trạng thái bão hòa. DO tầng mặt cũng chịu tác động của trao đổi khí với khí quyển và xáo trộn do gió. Theo chiều sâu, cường độ ánh sáng giảm trong khi các quá trình hô hấp và phân hủy hữu cơ vẫn tiếp tục. Ở tầng sâu có thể xuất hiện trạng thái thiếu oxy hoặc vô oxy. Biểu đồ phân bố chế độ oxy theo chiều sâu hồ được nêu trên Hình 1. Khi DO suy kiệt, vi sinh vật có thể chuyển sang sử dụng các chất nhận electron khác như nitrat và sulfat; các quá trình này không giải phóng oxy tự do vào nước [7], [9].



Hình 1. Biểu đồ về sự biến đổi của quang hợp, hô hấp và DO theo chiều sâu của hồ

Khi có các yếu tố làm xáo trộn khối nước tầng mặt như: gió thổi, sức nước bằng các tác động vật lý,... oxy không khí sẽ khuếch tán vào nước (nếu DO trong nước chưa đạt mức bão hòa), khí CO₂ trong nước sẽ tách vào không khí,... hoặc oxy cùng CO₂ thoát khỏi nước (khi DO quá mức bão hòa với các hồ phú dưỡng thời điểm quang hợp lớn nhất).

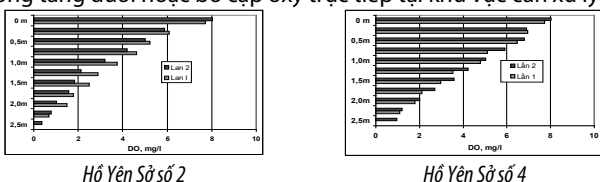
3.2. Quan hệ giữa quang hợp, hô hấp và trạng thái oxy

Tỷ lệ giữa sản xuất sơ cấp và hô hấp phản ánh trạng thái chuyển hóa tổng thể của hệ sinh thái trong khoảng thời gian khảo sát. Khi sản xuất sơ cấp vượt hô hấp, hệ thống có xu hướng tích lũy chất hữu cơ tự sinh. Ngược lại, khi hô hấp vượt sản xuất sơ cấp, hệ thống có xu hướng tiêu thụ chất hữu cơ đã tích lũy hoặc tiếp nhận từ bên ngoài. Tuy nhiên, tỷ lệ giữa hai quá trình này không nên được sử dụng độc lập để phân loại trạng thái phú dưỡng.

Nồng độ DO cao tại một thời điểm không đồng nghĩa với chất lượng nước tốt hoặc mật độ tảo cao. Trong hồ phú dưỡng, quang hợp mạnh có thể tạo DO cao hoặc quá bão hòa tại tầng mặt vào ban ngày, trong khi hô hấp ban đêm và phân hủy chất hữu cơ vẫn gây thiếu oxy ở thời điểm khác hoặc tại tầng đáy. Vì vậy, đánh giá trạng thái hồ cần kết hợp DO với chlorophyll-a, chất dinh dưỡng, độ trong, tải hữu cơ và biến động DO theo thời gian [8, 9]. Tỷ lệ P/R cung cấp thông tin về cân bằng chuyển hóa trong khoảng thời gian khảo sát, nhưng phụ thuộc vào phương pháp, thời gian đo, nguồn hữu cơ ngoại sinh và điều kiện thủy động lực. Do đó, P/R hoặc một giá trị DO đơn lẻ không nên sử dụng độc lập để phân loại trạng thái phú dưỡng.

3.3. Phân bố DO theo chiều sâu tại hồ Yên Sở

Kết quả khảo sát tại hồ Yên Sở số 2 và số 4 được trình bày tại Hình 2. Tại cả hai hồ, DO có xu hướng giảm rõ rệt theo chiều sâu trong các đợt khảo sát. Nồng độ DO tầng mặt cao hơn tầng sâu, trong khi tại vùng gần đáy DO giảm xuống mức thấp [6]. Sự suy giảm DO theo chiều sâu cho thấy quá trình cung cấp và tiêu thụ oxy không đồng đều trong cột nước. Kết quả này phù hợp về mặt cơ chế với khả năng hạn chế trao đổi oxy xuống tầng sâu và sự gia tăng nhu cầu oxy do hô hấp, phân hủy hữu cơ và trầm tích [2, 7, 9, 10]. Tuy nhiên, do khảo sát chỉ thực hiện trong hai đợt và tại một thời điểm trong ngày, kết quả không đủ để xác định đầy đủ mức độ phân tầng nhiệt, biến động ngày-đêm hoặc mùa của hệ thống. Từ góc độ kỹ thuật, gradient DO theo chiều sâu cho thấy việc lựa chọn thiết bị làm thoáng không nên chỉ dựa trên DO tầng mặt. Đối với hồ có vùng nước sâu thiếu oxy, giải pháp cần tạo khả năng vận chuyển oxy xuống tầng dưới hoặc bổ cấp oxy trực tiếp tại khu vực cần xử lý.



Hình 2. Phân bố nồng độ DO theo chiều sâu trong các hồ Yên Sở

3.4. Cơ sở xác định nhu cầu oxy

Đối với hồ đô thị, lượng oxy cần bổ sung không chỉ phụ thuộc vào BOD của dòng nước thải hoặc nước bổ sung. Tổng nhu cầu oxy có thể bao gồm nhu cầu oxy để phân hủy chất hữu cơ trong cột nước, nhu cầu oxy trầm tích, nitrat hóa và các phản ứng oxy hóa khác. Các nguồn oxy tự nhiên như quang hợp và tái làm thoáng qua mặt nước cũng tham gia vào cân bằng tổng thể [9, 10], [12 - 14]:

$$O_{req} = O_{water} + O_{sediment} + O_{nitrification} + O_{other} - O_{natural} \quad (1)$$

trong đó: $O_{natural}$ là phần oxy được cung cấp từ các quá trình tự nhiên và dòng nước vào.

Biểu thức trên xác định các thành phần cần xem xét, không phải một công thức thiết kế duy nhất. Tùy mục tiêu của dự án và mức độ số liệu hiện trường, việc xác định nhu cầu oxy có thể được đơn giản hóa hoặc phát triển thành mô hình cân bằng oxy chi tiết hơn [10], [12 - 14].

4. BỔ CẤP OXY TRỰC TIẾP TRONG NƯỚC HỒ ĐÔ THỊ

Oxy được bổ cấp trực tiếp cho nước hồ bằng các nhóm giải pháp: 1). sục khuấy trộn tạo điều kiện khuếch tán và hấp thụ oxy vào nước; và 2). cấp trực tiếp không khí nén vào nước.

4.1. Sục khuấy trộn tạo điều kiện khuếch tán và hấp thụ oxy vào nước

4.1.1. Làm thoáng bề mặt và tuần hoàn nước

Các thiết bị làm thoáng bề mặt như vòi phun, dàn mưa, thác nước hoặc guồng quay làm tăng diện tích tiếp xúc khí-nước và cường độ xáo trộn, từ đó tăng tốc độ truyền oxy từ khí quyển vào nước. Khi nước được bơm từ tầng dưới lên và phân tán thành tia, giọt hoặc màng mỏng, diện tích bề mặt tiếp xúc tăng và tạo điều kiện thuận lợi hơn cho trao đổi khí.

Trong HDT, vòi phun có ưu điểm đặc biệt là có thể kết hợp chức năng làm thoáng với tạo điểm nhấn cảnh quan. Tuy nhiên, hiệu quả tăng DO phụ thuộc vào lưu lượng tuần hoàn, chiều cao phun, hình dạng vòi, kích thước giọt nước, DO ban đầu và điều kiện khí tượng. Vì vậy, không nên đánh giá thiết bị chỉ từ công suất lắp đặt hoặc chiều cao cột nước. Các chỉ tiêu truyền oxy và hiệu quả năng lượng cần được xác định trong điều kiện thử nghiệm [11]. Các hệ thống sử dụng năng lượng mặt trời có thể giảm phụ thuộc vào điện lưới và thuận lợi đối với các hồ khó bố trí nguồn điện. Tuy nhiên, công suất và thời gian vận hành phụ thuộc vào bức xạ mặt trời, dung lượng lưu trữ và yêu cầu cung cấp oxy của hồ.



a. Hệ thống vòi phun nhờ máy bơm tại hồ Thành Công (Hà Nội)



b. Thiết bị thông khí tầng đáy tại một hồ ở Nhật Bản

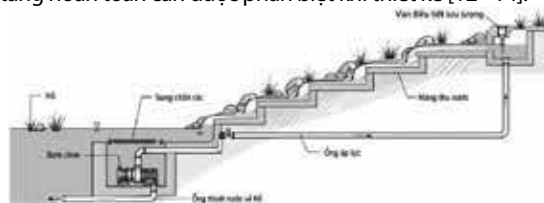
Hình 3. Vòi phun nước (a) và thiết bị thông khí tầng đáy (b) để làm giàu oxy cho HDT

Vòi phun hoặc thiết bị tuần hoàn cũng có thể kết hợp với bề thực vật nổi. Hệ thực vật cung cấp bề mặt cho màng sinh học và có khả năng tham gia hấp thụ một phần dinh dưỡng, trong khi công trình vẫn đảm bảo chức năng cảnh quan. Tuy nhiên, hiệu quả xử lý tổng thể cần được đánh giá riêng cho từng cấu hình.

4.1.2. Tuần hoàn và thông khí tầng đáy

Các hồ sâu hoặc có vùng nước tầng đáy thiếu oxy cần giải pháp tác động trực tiếp đến tầng nước này. Một số phương án là: hút nước tầng đáy lên bề mặt để làm thoáng rồi đưa trở lại hồ; sử dụng hệ thống phân phối khí hoặc tuần hoàn nước tại độ sâu thích hợp. Việc tăng DO tại tầng đáy có thể duy trì điều kiện oxy hóa tại bề mặt trầm tích và, trong những điều kiện phù hợp, góp phần hạn chế một phần quá trình giải phóng phospho nội tại. Tuy nhiên, đáp ứng của phospho không chỉ do DO chi phối mà còn phụ thuộc vào đặc điểm trầm tích, nhiệt độ, pH, trạng thái phân tầng, cường độ xáo trộn và tải dinh dưỡng [2, 12, 13].

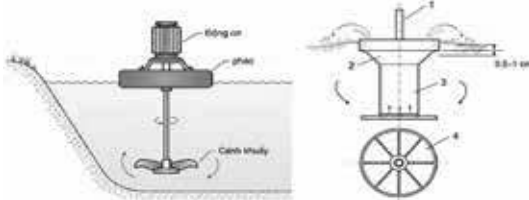
Thông khí hoặc tuần hoàn không phải luôn tạo tác động thuận lợi. Xáo trộn quá mạnh có thể gây tái huyền phù trầm tích, làm tăng nhu cầu oxy, vận chuyển dinh dưỡng từ tầng dưới lên vùng chiếu sáng hoặc làm thay đổi môi trường sống của thủy sinh vật. Mặt khác, tăng DO trung bình không bảo đảm loại bỏ hoàn toàn các vùng thiếu oxy hoặc tải phospho nội tại. Vì vậy, mục tiêu duy trì oxy tầng đáy và mục tiêu phá phân tầng hoàn toàn cần được phân biệt khi thiết kế [12 - 14].



Hình 4. Thông khí và trao đổi oxy với nước tầng đáy bằng suối bậc thang ven hồ

4.1.3. Khuấy làm thoáng bề mặt

Thiết bị khuấy cơ khí làm tăng sự trao đổi oxy bằng cách tạo dòng rối, phá vỡ bề mặt nước và tăng khả năng cuốn khí vào cột nước. Tùy cấu hình, thiết bị có thể đồng thời tạo dòng tuần hoàn theo phương đứng và phương ngang, góp phần phân bố DO trong vùng ảnh hưởng.



1. trục quay; 2. miệng ống trộn; 3. ống trộn; 4. đĩa tua bin

Hình 5. Sơ đồ cấu tạo máy khuấy làm thoáng bề mặt dạng tuabin đĩa

Khả năng truyền oxy của đĩa khuấy tuabin có thể được mô tả bằng biểu thức kinh nghiệm [1]:

$$O_s = K_C(1 + K_i h_i) d^2 v^3 \quad (2)$$

trong đó O_s là lượng oxy hòa tan; K_C và K_i là các hệ số kinh nghiệm; d là đường kính đĩa; v là vận tốc tiếp tuyến và h_i là độ ngập của đĩa.

Biểu thức (2) là quan hệ kinh nghiệm đối với cấu hình thiết bị cụ thể. Khi sử dụng để tính toán cho hồ đô thị, cần kiểm tra phạm vi áp dụng của các hệ số và hiệu chỉnh theo đặc tính nước, nhiệt độ, độ thiếu hụt oxy và điều kiện hình học của khu vực làm thoáng.

4.2. Cấp trực tiếp không khí vào nước

4.2.1. Cấp khí phân tán

Cấp khí nén cho nước HDT bao gồm hai 2 quá trình: thổi khí và phân phối khí. Do lấy oxy không khí để oxy hoá sinh hoá các chất hữu cơ trong hồ, lượng không khí cần thiết B, m³ khí/ m³ nước, để xử lý BOD trong 1m³ hỗn hợp nước thải và nước hồ xác định theo công thức sau đây:

$$B = \frac{Z(L_a - L_t)}{K_1 K_2 n_1 n_2 (C_p - C_0)} \quad (3)$$

trong đó: Z - lượng oxy đơn vị cần thiết mg để khử 1mg BOD trong nước thải, Z thường lấy từ 0,9 đến 2,2 phụ thuộc vào mức độ oxy hóa chất hữu cơ; L_a và L_t - BOD của nước trước và sau khi thổi khí, mg/L; K_1 - Hệ số phân tán bọt khí; n_1 - Hệ số phụ thuộc nhiệt độ trung bình nước thải T; n_2 - hệ số tính đến tốc độ vận chuyển oxy vào hỗn hợp bùn nước, đối với nước thải sinh hoạt n_2 bằng 0,85. Độ hoà tan oxy không khí vào nước C_p , phụ thuộc vào nồng độ ôxy bão hoà C_s và độ ngập của ống sục khí h_a , xác định theo công thức:

$$C_p = C_s \frac{10,3 + 0,5 h_a}{10,3} \quad (4)$$

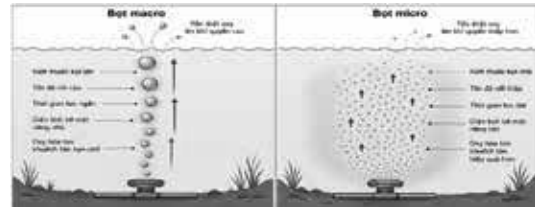
Hiệu quả làm giàu oxy được đảm bảo khi điều kiện tiếp xúc giữa hai pha nước - khí tăng lên.

Hiệu quả truyền oxy phụ thuộc vào kích thước bọt, độ sâu cấp khí, lưu lượng khí, thời gian tiếp xúc, nhiệt độ, thành phần nước và mức độ xáo trộn. Đối với phần nhu cầu oxy do phân hủy chất hữu cơ, lượng khí có thể được ước tính từ tải BOD và hiệu suất truyền oxy.

Các công thức (3) và (4) chỉ mô tả nhu cầu khí liên quan đến hợp phần oxy hóa tài hữu cơ và khả năng hòa tan oxy. Đối với HDT, chúng không đại diện cho toàn bộ nhu cầu oxy của hệ thống; cần xem xét bổ sung nhu cầu oxy trầm tích, nitrat hóa và các nguồn tiêu thụ oxy khác.

4.2.2. Công nghệ bọt khí kích thước nhỏ

Giảm kích thước bọt khí làm tăng diện tích bề mặt riêng của pha khí và có thể kéo dài thời gian tiếp xúc khí-nước, qua đó nâng cao khả năng truyền oxy so với bọt khí kích thước lớn trong những điều kiện thích hợp. Theo ISO 20480-1, bọt mịn kích thước nhỏ gồm microbubble và ultrafine bubble [15]. Độ ổn định và thời gian tồn tại của bọt kích thước rất nhỏ phụ thuộc vào loại khí, phương pháp tạo bọt và đặc tính pha nước [16, 17].



Hình 6. So sánh quá trình khuếch tán oxy vào hồ bằng bọt kích thước macro và micro

Theo ISO 20480-1, microbubble có đường kính tương đương từ 1 µm đến dưới 100 µm, còn ultrafine bubble có đường kính dưới 1 µm [15]. So với bọt khí kích thước lớn, microbubble thường có vận tốc nổi nhỏ hơn và diện tích tiếp xúc riêng lớn hơn, qua đó có thể tăng thời gian tiếp xúc và khả năng hòa tan khí. Tuy nhiên, microbubble không mặc nhiên chuyển thành ultrafine bubble; phân bố kích thước phụ thuộc vào cơ chế tạo bọt, co ngót, hòa tan và hợp nhất bọt. Hiệu quả truyền oxy còn phụ thuộc vào độ sâu cấp khí, lưu lượng khí, nhiệt độ, chất hòa tan và chế độ thủy động lực [16 - 18].

Ultrafine bubble có thể tồn tại lâu hơn bọt khí lớn trong một số điều kiện, nhưng không có một thời gian tồn tại cố định cho mọi loại nước. Độ ổn định quan sát được phụ thuộc vào loại khí, độ bão hòa khí, pH, độ cứng, lực ion, chất hữu cơ tự nhiên, nhiệt độ, phương pháp tạo bọt và phương pháp đo [16, 17]. Bề mặt bọt thường mang điện tích, song điện tích bề mặt không đủ để khẳng định hiệu quả loại bỏ chất bẩn hoặc độ bền dài hạn trong mọi hệ nước.

Bọt khí kích thước nhỏ có thể tương tác với hạt keo, dầu mỡ hoặc các chất kỵ nước. Tuy nhiên, khả năng tách chất bẩn phụ thuộc đồng thời vào hóa học bề mặt, xác suất va chạm-bám dính, tuyến nổi và cấu hình thiết bị; không thể suy ra trực tiếp hiệu quả làm sạch chỉ từ kích thước hoặc điện tích của bọt [16, 17]. Sự hình thành gốc hydroxyl đã được ghi nhận trong một số điều kiện đặc thù, trong khi nghiên cứu khác cho thấy mức tạo gốc trong điều kiện thường có thể rất thấp. Vì vậy, không nên coi sự phát sinh ROS là cơ chế mặc định của mọi hệ ultrafine bubble [17, 18].

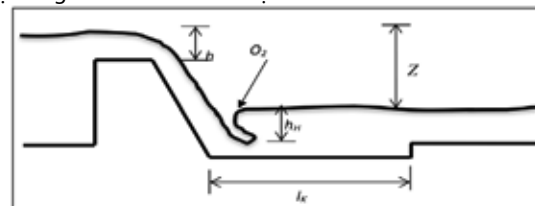
Công nghệ microbubble hoặc ultrafine bubble chủ yếu sử dụng năng lượng để tạo và phân tán pha khí trong nước. Thiết bị có thể bố trí cố định hoặc di động để hỗ trợ bổ cập oxy tại các khu vực thiếu oxy cục bộ. Tuy nhiên, hiệu quả thực địa và nhu cầu năng lượng phải được xác định theo cấu hình thiết bị, chất lượng nước và mục tiêu xử lý; công nghệ này không thay thế việc kiểm soát nguồn ô nhiễm và tái dinh dưỡng từ lưu vực [15 - 18].

5. LÀM GIÀU OXY CHO DÒNG NƯỚC BỔ SUNG VÀO HỒ

5.1. Đập tràn làm thoáng

Khi dòng nước đi qua đập tràn, thế năng được chuyển đổi thành động năng và dòng chảy rối. Sự phân tán dòng nước và tăng diện tích bề mặt nước tạo điều kiện cho oxy khí quyển khuếch tán vào nước. Hiệu quả làm thoáng phụ thuộc vào độ chênh mực nước, lưu lượng, hình dạng công trình, nhiệt độ, DO ban đầu và đặc điểm chất lượng nước [3, 4, 11, 19].

Các dạng đập tràn ngưỡng rộng, thành mỏng, tấm chắn răng cưa hoặc công trình bậc nước có thể được sử dụng để tăng khả năng làm thoáng. Trong điều kiện có sẵn chênh cao địa hình hoặc công trình điều tiết, đây là giải pháp có khả năng tận dụng năng lượng thủy lực và giảm nhu cầu thiết bị cơ khí.



Hình 7. Sơ đồ khuếch tán oxy qua đập tràn [3]

Các biểu thức (5)-(10) dưới đây là các quan hệ lý thuyết và thực nghiệm được sử dụng trong các tài liệu [3, 4] để mô tả độ thiếu hụt oxy, ảnh hưởng của nhiệt độ và chất lượng nước, cũng như điều kiện thủy lực của đập tràn. Các hệ số kinh nghiệm phải được sử dụng trong phạm vi điều kiện đã xây dựng hoặc được hiệu chỉnh bằng số liệu hiện trường.

Yếu tố cơ bản để xác định kích thước và cấu tạo của đập tràn là độ chênh mực nước phía trước và sau đập Z , được xác định theo biểu thức sau đây:

$$Z = 1,5(1 - \phi_{20}) \cdot m \quad (5)$$

trong đó: ϕ_{20} - đại lượng thiếu hụt oxy đối với nước sạch ở 20°C . ϕ_{20} xác định như sau:

$$\phi_{20} = \phi_T^n \quad (6)$$

ϕ_T là đại lượng thiếu hụt oxy đối với nước bẩn ở nhiệt độ $T^\circ\text{C}$, xác định như sau:

$$\phi_T = \frac{C_p - C_s}{C_p - C_0} \quad (7)$$

Nồng độ oxy bão hòa C_p trong nước ở nhiệt độ $T^\circ\text{C}$ phụ thuộc vào áp suất khí quyển và chiều dày lớp nước tiếp xúc h (chiều dày lớp nước qua đập tràn), mg/L:

$$C_p = 0,95C(1 + \frac{h}{2h_a}) \quad (8)$$

trong đó: C - nồng độ oxy bão hòa tra theo bảng ở nhiệt độ $T^\circ\text{C}$ và áp suất chuẩn của không khí h_a , m cột nước; h - chiều dày lớp nước tràn qua đập tràn, m; C_0 và C_s - nồng độ DO phía trước và phía sau đập tràn, mg/L.

Tổ hợp các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình khuếch tán oxy vào nước n :

$$n = n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \quad (9)$$

trong đó: n_1 - số bậc của công trình đập tràn; n_2 - hệ số kể đến ảnh hưởng của nhiệt độ đối với quá trình hòa tan oxy. Giá trị n_2 có thể xác định như sau:

$$n_2 = 1 + 0,02(T - 20) \quad (10)$$

n_3 - hệ số kể đến ảnh hưởng của chất lượng nước làm thoáng. Đối với nước thải chưa xử lý n_3 là 0,65, nước thải sau xử lý n_3 là 0,7, nước sông hồ hơi bẩn n_3 là 1,0, nước sông hồ hơi sạch n_3 là 1,6 và nước sông hồ sạch n_3 là 1,8.

5.2. Trường hợp đập tràn sông Kim Ngưu - hồ Yên Sở

Nghiên cứu thực địa tại đập tràn từ sông Kim Ngưu vào hồ Yên Sở được sử dụng để đánh giá ảnh hưởng của độ chênh mực nước tới khả năng làm giàu oxy [6]. Tại thời điểm khảo sát, nhiệt độ nước khoảng $25,6^\circ\text{C}$ và DO của dòng nước trước đập khoảng 1,9 mg/L. Mực nước hồ khoảng +2,90 m, trong khi mực nước phía sông thay đổi từ khoảng +3,35 m đến +3,00 m.

Trần Đức Hạ, 2007, đã triển khai tính toán và nghiên cứu thử nghiệm đánh giá khả năng khuếch tán oxy vào nước tại các đập tràn trên hồ Yên Sở với mô hình tính toán nêu trên Hình 8 [6]. Biểu thức thực nghiệm để tính toán khuếch tán oxy qua đập tràn trên hồ Yên Sở:

$$\frac{C_p - C_0}{C_p - C_s} = 1 + 0,1364Z(1 - 0,11Z)(1 + 0,046T) \quad (11)$$

Các điều kiện hiện trường tại thời điểm đo là: nhiệt độ nước thải trong sông là $25,6^\circ\text{C}$, DO là 1,9 mg/L, mực nước trong hồ là +2,90 m, mực nước trong sông hạ dần từ +3,35m xuống +3,0m.

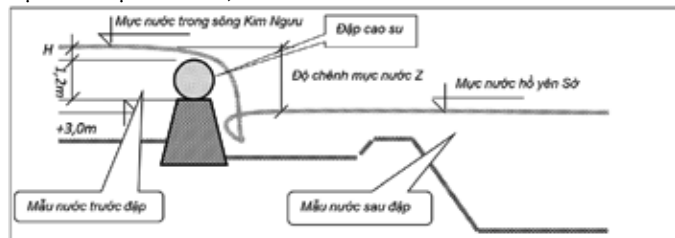
Kết quả thực nghiệm cho thấy DO phía sau đập tăng khi độ chênh mực nước tăng. Mối quan hệ giữa DO sau đập C_s và độ chênh mực nước Z được mô tả bởi:

$$C_s = 1.7429Z + 1.8157 \quad (12)$$

Độ tăng DO được biểu diễn:

$$\Delta C = 1.449Z + 0.037 \quad (13)$$

Trong đó C_s là DO sau đập, mg/L; ΔC là độ tăng DO, mg/L; và Z là độ chênh mực nước, m. Mô hình thực nghiệm được báo cáo với hệ số xác định $R^2 = 0,9144$.

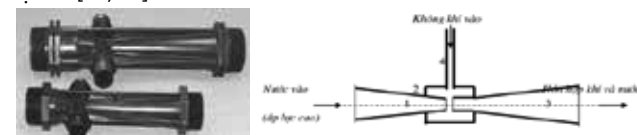


Hình 8. Sơ đồ khảo sát DO tại đập tràn từ sông Kim Ngưu vào hồ Yên Sở

Các quan hệ trên được xây dựng cho điều kiện khảo sát cụ thể tại hồ Yên Sở. Đối với các công trình khác, cần được kiểm chứng và hiệu chỉnh phù hợp với đối tượng.

Lắp đặt ejectơ thu khí trên đường ống áp lực để xả nước thải sau xử lý vào hồ

Ejectơ thu khí hoạt động theo nguyên lý Venturi: vận tốc nước tăng tại tiết diện thu hẹp làm giảm áp suất cục bộ và hút không khí vào ngấn trộn. Hỗn hợp khí-nước sau đó được phân tán vào dòng chảy hoặc nước hồ. Khả năng hút khí và truyền oxy phụ thuộc vào lưu lượng nước, hình học vòi, số lượng vòi, áp suất đầu vào, độ ngập, kích thước bọt và đặc tính nước; vì vậy cần đánh giá theo cấu hình cụ thể [20, 21].



1. Ống phun nước; 2. Ngăn trộn; 3. Ống khuếch tán hỗn hợp khí-nước; 4. Ống thu khí

Hình 9. Sơ đồ nguyên tắc hoạt động của ejectơ thu khí ứng dụng làm giàu oxy

Khí dùng ejectơ thu khí, khí và nước đi cùng chiều với nhau và lượng DO trong nước C được xác định theo công thức sau [5]:

$$C = C_0 + (C_s - C_0) \frac{1 - e^{-\left[\frac{K_2 t (1 + \frac{K_d}{R})\right]}}{1 + \frac{K_d}{R}}, \text{mg} / \text{l} \quad (14)$$

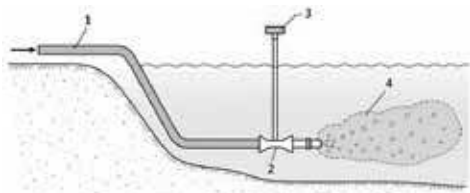
trong đó: C_0 - nồng độ DO có sẵn trong nước, mg/L; C_s - nồng độ oxy bão hòa trong nước, phụ thuộc vào nhiệt độ và tổng các chất hòa tan trong nước; K_2 - Hệ số phụ thuộc vào độ ngập của ejectơ trong nước h_a ; K_d - Hệ số truyền khí vào nước, phụ thuộc vào nhiệt độ; và t - thời gian làm thoáng, h.

Tỷ lệ giữa lượng không khí và nước qua ejectơ R , xác định theo biểu thức:

$$R = \frac{q_k}{q_n} \quad (15)$$

trong đó: q_k - lưu lượng không khí, m^3/s ; q_n - lưu lượng nước, m^3/s . Tỷ lệ khí/nước phải được xác định theo cấu tạo ejectơ, cột áp khả dụng, khả năng hút khí và yêu cầu truyền oxy. Giá trị $q_k/q_n = 0,10$, nếu được dùng ở giai đoạn tính sơ bộ, cần được kiểm chứng bằng đặc tính thiết bị hoặc thí nghiệm truyền oxy; không nên coi là hệ số chung cho mọi ejectơ [20, 21]. Để tạo áp lực phun, hút và trộn khí-nước, đầu phun của ejectơ có thể được nối với đường ống đẩy máy bơm. Sơ đồ lắp đặt trên đường ống nêu tại Hình 10.

Giải pháp này phù hợp khi hệ thống có sẵn cột áp hoặc tuyến ống bơm, nhưng cần tính đến tổn thất cột áp bổ sung, lưu lượng khí hút được và hiệu suất truyền oxy trong đánh giá năng lượng tổng thể [20, 21].



1. ống có áp (nhờ áp lực trạm bơm hoặc chênh cao địa hình) 2. ejector; 3. ống thu khí; 4. ống trộn kết hợp hướng dòng.
Hình 10. Sơ đồ ống đẩy có lắp đặt ejector thu khí để xả nước thải sau xử lý vào hồ

Bảng 1. Định hướng lựa chọn giải pháp bổ cấp oxy

Điều kiện và mục tiêu	Giải pháp ưu tiên	Ưu điểm chính	Hạn chế cần xem xét
Hồ nông, thiếu DO cục bộ, yêu cầu cảnh quan cao	Vòi phun, thác nước, tuần hoàn bề mặt	Kết hợp làm thoáng và cảnh quan	Tác động tầng sâu hạn chế
Hồ có vùng thiếu oxy tầng đáy	Tuần hoàn nước tầng sâu hoặc hệ cấp khí chìm	Tác động trực tiếp vùng thiếu oxy	Có thể làm thay đổi phân tầng và tái huyền phù
Hồ cần hạn chế phá phân tầng nhưng tăng DO đáy	Tạo oxy tầng sâu phù hợp	Bổ sung oxy mục tiêu	Thiết bị và điều khiển phức tạp hơn
Điểm ô nhiễm/thiếu oxy cục bộ	Sục khí bọt mịn	Truyền oxy tập trung	Năng lượng, bảo trì, hiệu quả thực địa cần kiểm chứng
Dòng nước vào có chênh cao	Đập tràn/bạc nước	Tận dụng thủy năng, ít thiết bị cơ khí	Phụ thuộc cao trình và lưu lượng
Dòng vào qua tuyến ống áp lực	Ejector	Tận dụng cột áp có sẵn	Tổn thất cột áp và hiệu suất hút khí
Hồ có yêu cầu cao về sử dụng mặt nước	Thiết bị chìm/tầng đáy	Ít ảnh hưởng cảnh quan bề mặt	Khó quan sát, bảo trì dưới nước

7. KẾT LUẬN

Chế độ oxy của hồ đô thị được kiểm soát bởi sự tương tác giữa quang hợp, hô hấp, phân hủy chất hữu cơ, nhu cầu oxy trầm tích, trao đổi khí và chế độ thủy động lực. Kết quả tại hồ Yên Sở minh họa sự suy giảm DO rõ rệt theo chiều sâu tại các thời điểm khảo sát, cho thấy việc đánh giá DO tầng mặt đơn lẻ có thể không phản ánh đầy đủ điều kiện oxy của toàn cột nước.

Các giải pháp bổ cấp oxy có thể chia thành hai nhóm chính: bổ cấp trực tiếp trong hồ bằng tuần hoàn nước, làm thoáng bề mặt và phân phối khí; và làm giàu oxy cho dòng nước bổ sung trước khi vào hồ bằng các công trình thủy lực hoặc ejector. Kết quả thực nghiệm tại đập tràn từ sông Kim Ngưu vào hồ Yên Sở cho thấy DO sau công trình có xu hướng tăng theo độ chênh mực nước, qua đó minh họa khả năng tận dụng năng lượng thủy lực để hỗ trợ làm thoáng.

Việc lựa chọn công nghệ cần căn cứ vào vị trí và mức độ thiếu oxy, hình thái và trạng thái phân tầng của hồ, tải ô nhiễm, nhu cầu oxy trầm tích, hiệu suất truyền oxy, mức tiêu thụ năng lượng, khả năng vận hành và yêu cầu cảnh quan. Các công thức kinh nghiệm chỉ nên được sử dụng trong phạm vi điều kiện phù hợp hoặc sau khi được hiệu chỉnh bằng số liệu thực địa.

Bổ cấp oxy nên được xem là một hợp phần của quản lý tổng hợp hồ đô thị. Giải pháp này có thể hỗ trợ các quá trình tự làm sạch khi thiếu oxy là yếu tố hạn chế, nhưng không thay thế việc kiểm soát nước thải, tài dinh dưỡng và các nguồn ô nhiễm từ lưu vực.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] T. Đ. Hạ. Hồ đô thị: Quản lý kỹ thuật và kiểm soát ô nhiễm. NXB. Xây dựng, Hà Nội, 2016.
[2] T. T. Anh, T. Đ. Hạ và B. T. Thủy. Nghiên cứu quá trình chuyển hóa photpho trong nước và trầm tích để đề xuất các giải pháp thích hợp xử lý ô nhiễm hồ đô thị Hà Nội. Tạp chí Xây dựng, số 5, tr. 60-64, 2023.
[3] T. Đ. Hạ. Nghiên cứu làm giàu oxy cho nước thải sau xử lý bằng đập tràn bản rộng dòng chảy rối. Tạp chí Xây dựng, số 7, tr. 86-89, 2019.
[4] A. K. Riabov và L. A. Sirenko. Sục khí nhân tạo cho nước tự nhiên (tiếng Nga). Kiev, Ukraine: Naukova Dumka, 1982.
[5] L. T. Dung và T. Đ. Hạ. Máy bơm và thiết bị cấp thoát nước. Hà Nội, Việt Nam. NXB. Xây dựng, 2002.
[6] Đánh giá khả năng tự làm sạch và đề xuất các phương án cải thiện chất lượng nước hồ Yên Sở nhằm đảm bảo yêu cầu xả nước thải ra sông Hồng. Báo cáo đề tài NCKH cấp TP Hà Nội, mã số 01C-09/04-2007-2, Hà Nội, 2008.

6. KHUNG LỰA CHỌN GIẢI PHÁP BỔ CẤP OXY CHO HỒ ĐÔ THỊ

Việc lựa chọn công nghệ bổ cấp oxy cần bắt đầu từ nguyên nhân và vị trí thiếu oxy thay vì lựa chọn thiết bị trước. Các tiêu chí chính gồm: độ sâu và hình thái hồ, mức độ phân tầng, phân bố DO theo chiều sâu, tải hữu cơ và dinh dưỡng, nhu cầu oxy trầm tích, nguồn năng lượng sẵn có, khả năng bảo trì và yêu cầu sử dụng mặt nước. Không có giải pháp đơn lẻ phù hợp với mọi hồ. Đối với hồ phú dưỡng, bổ cấp oxy cũng không thể thay thế kiểm soát nguồn thải và tải dinh dưỡng. Nếu tải ô nhiễm bên ngoài tiếp tục vượt khả năng tiếp nhận của hồ, tăng DO có thể chỉ cải thiện một số quá trình trong thời gian vận hành mà không giải quyết nguyên nhân gây suy thoái.

[7] R. G. Wetzel. Limnology: Lake and River Ecosystems, 3rd ed. San Diego, CA, USA: Academic Press, 2001.
[8] P. A. Staehr et al. Lake metabolism and the diel oxygen technique: State of the science. Limnology and Oceanography: Methods, vol. 8, no. 10, pp. 628-644, 2010, doi: 10.4319/lom.2010.8.0628.
[9] C. C. Carey. Causes and consequences of changing oxygen availability in lakes. Inland Waters, vol. 13, no. 3, pp. 316-326, 2023, doi: 10.1080/20442041.2023.2239110.
[10] B. Müller, L. D. Bryant, A. Matzinger, and A. Wüest. Hypolimnetic oxygen depletion in eutrophic lakes. Environmental Science & Technology, vol. 46, no. 18, pp. 9964-9971, 2012, doi: 10.1021/es301422r.
[11] D. Puri, P. Sihag and M. S. Thakur. A review: Aeration efficiency of hydraulic structures in diffusing DO in water. MethodsX, vol. 10, art. 102092, 2023, doi: 10.1016/j.mex.2023.102092.
[12] E. P. Preece, B. C. Moore, M. M. Skinner, A. Child and S. Dent. A review of the biological and chemical effects of hypolimnetic oxygenation. Lake and Reservoir Management, vol. 35, no. 3, pp. 229-246, 2019, doi: 10.1080/10402381.2019.1580325.
[13] A. P. Kirol et al. Linking sediment and water column phosphorus dynamics to oxygen, temperature, and aeration in shallow eutrophic lakes. Water Resources Research, vol. 60, no. 1, art. e2023WR034813, 2024, doi: 10.1029/2023WR034813.
[14] D. Bryant, P. A. Gantzer, and J. C. Little. Increased sediment oxygen uptake caused by oxygenation-induced hypolimnetic mixing. Water Research, vol. 45, no. 12, pp. 3692-3702, 2011, doi: 10.1016/j.watres.2011.04.018.
[15] Fine bubble technology. General principles for usage and measurement of fine bubbles. Part 1: Terminology, ISO Standard 20480-1:2017/Amd 1:2024, 2017/2024.
[16] N. L. H. Tran et al. Review on the significant interactions between ultrafine gas bubbles and biological systems. Langmuir, vol. 40, no. 1, pp. 984-996, 2024, doi: 10.1021/acs.langmuir.3c03223.
[17] M. Soyuluglu, D. Kim, Y. Zaker and T. Karanfil. Stability of oxygen nanobubbles under freshwater conditions. Water Research, vol. 206, art. 117749, 2021, doi: 10.1016/j.watres.2021.117749.
[18] S. H. Chae, M. S. Kim, J.-H. Kim and J. D. Fortner. Nanobubble reactivity: Evaluating hydroxyl radical generation (or lack thereof) under ambient conditions. ACS ES&T Engineering, vol. 3, no. 10, pp. 1504-1510, 2023, doi: 10.1021/acsestengg.3c00124.
[19] A. Baylar, M. Unsal, F. Ozkan and C. Kayadelen. Estimation of air entrainment and aeration efficiencies of weirs using genetic expression programming. KSCE Journal of Civil Engineering, vol. 18, no. 5, pp. 1632-1640, 2014, doi: 10.1007/s12205-014-1058-1.
[20] J.-D. Therrien, P. A. Vanrolleghem, and C. C. Dorea. Characterization of the performance of venturi-based aeration devices for use in wastewater treatment in low-resource settings. Water SA, vol. 45, no. 2, pp. 251-258, 2019, doi: 10.4314/wsa.v45i2.12.
[21] R. Mahmud, M. Erguvan, and D. W. MacPhee. Performance of closed loop Venturi aspirated aeration system: Experimental study and numerical analysis with discrete bubble model. Water, vol. 12, no. 6, art. 1637, 2020, doi: 10.3390/w12061637.

Từ nhận thức xanh đến hành vi chuyển đổi: Nghiên cứu việc thay thế xe máy xăng bằng xe máy điện của sinh viên Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

From green awareness to switching behavior: A study of the transition from gasoline motorcycles to electric motorcycles among HUNRE students

> PHẠM THỊ MAI THẢO, VŨ THỊ MAI*, HOÀNG THỊ NGÂN HÀ, NGUYỄN THANH TÂM

Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

*Tác giả liên hệ: Email: vtmai@hunre.edu.vn

TÓM TẮT

Trong bối cảnh Hà Nội thúc đẩy giao thông xanh và giảm sự phụ thuộc vào phương tiện sử dụng nhiên liệu hóa thạch, chuyển đổi từ xe máy xăng sang xe máy điện là một hướng đi quan trọng đối với giao thông đô thị bền vững. Nghiên cứu này nhằm đánh giá nhận thức, ý định và hành vi chuyển đổi của sinh viên Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội (HUNRE), đồng thời xác định các rào cản chủ yếu đối với quá trình chuyển đổi. Dữ liệu được thu thập từ 312 sinh viên và phân tích bằng thống kê mô tả kết hợp SWOT. Kết quả cho thấy nhận thức về lợi ích môi trường tương đối cao, với 79,49% sinh viên cho rằng xe máy điện góp phần giảm ô nhiễm và 77,88% đánh giá phù hợp với xu hướng giao thông xanh. Tuy nhiên, chỉ 68,59% có ý định chuyển đổi và 5% đã hoặc đang sử dụng xe máy điện, trong khi 65,8% vẫn sử dụng xe máy xăng, cho thấy khoảng cách đáng kể giữa nhận thức, ý định và hành vi. Các rào cản chủ yếu gồm chi phí đầu tư ban đầu (75,64%), chi phí thay pin (73,08%) và bảo trì, sửa chữa (55,77%). Đáng chú ý, 64,5% sinh viên sống tại nhà thuê hoặc phòng trọ, hạn chế khả năng tiếp cận hạ tầng sạc. Kết quả cho thấy nâng cao nhận thức cần được kết hợp với giảm rào cản tài chính, phát triển hạ tầng sạc an toàn và tăng cường trải nghiệm thực tế. Nghiên cứu đề xuất tăng cường phối hợp giữa nhà trường, doanh nghiệp, gia đình và sinh viên nhằm thúc đẩy chuyển đổi sang giao thông bền vững, nhằm thu hẹp khoảng cách giữa nhận thức xanh và hành vi giao thông bền vững.

Từ khóa: Xe máy điện; giao thông xanh; nhận thức xanh; hành vi chuyển đổi, sinh viên

ABSTRACT

Against the backdrop of Hanoi's efforts to promote green mobility and reduce reliance on fossil-fuel-powered vehicles, the transition from gasoline-powered to electric motorbikes represents an important pathway toward more sustainable urban transport. This study examines students' awareness, intentions, and actual behavior regarding the transition to electric motorbikes at Hanoi University of Natural Resources and Environment (HUNRE), while identifying the key barriers to adoption. Data were collected from 312 students and analyzed using descriptive statistics and SWOT analysis. The findings indicate a relatively high level of awareness of the environmental benefits of electric motorbikes, with 79.49% of students recognizing their potential to reduce pollution and 77.88% considering them consistent with the shift toward green mobility. However, only 68.59% expressed an intention to switch, while just 5% had used or were currently using an electric motorbike; 65.8% continued to rely on gasoline-powered motorbikes. This indicates a substantial gap between environmental awareness, intention, and actual adoption. The main barriers identified were the initial purchase cost (75.64%), battery replacement costs (73.08%), and maintenance and repair costs (55.77%). Notably, 64.5% of students lived in rented accommodation or boarding houses,

which may constrain their access to convenient charging infrastructure. These findings suggest that raising awareness alone is insufficient to drive behavioral change and should be complemented by measures to reduce financial barriers, expand safe and accessible charging infrastructure, and provide greater opportunities for practical experience with electric mobility. The study therefore recommends strengthening collaboration among universities, businesses, families, and students to facilitate the transition toward more sustainable urban mobility.

Keywords: Electric motorbikes; green mobility; green awareness; behavioral transition; students.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Quá trình đô thị hóa tại các quốc gia đang phát triển đang kéo theo sự bùng nổ của phương tiện giao thông cá nhân sử dụng nhiên liệu hóa thạch, trở thành nguồn phát thải khí nhà kính và bụi mịn chủ yếu. Tại Hà Nội, sự phụ thuộc mang tính cấu trúc vào xe máy xăng không chỉ làm suy giảm chất lượng không khí mà còn tạo ra những rào cản lớn đối với lộ trình giảm phát thải đô thị. Trong bối cảnh đó, việc chuyển dịch sang hệ sinh thái phương tiện giao thông điện hóa, điển hình là xe máy điện, được xác định là một chiến lược thiết yếu nhằm giải quyết nguồn ô nhiễm phát tán từ hoạt động giao thông [1].

Sự dịch chuyển hành vi sang phương tiện điện hóa hiện là chủ đề trọng tâm trong nghiên cứu về tiêu dùng bền vững. Các phân tích thực nghiệm quy mô lớn gần đây chỉ ra rằng, nền tảng nhận thức tích cực về môi trường, kỳ vọng tiết kiệm chi phí năng lượng và thái độ sẵn sàng chấp nhận công nghệ mới là những tiền đề cơ sở thúc đẩy ý định sử dụng xe điện của cá nhân [2]. Tuy nhiên, dữ liệu cũng khẳng định sự tồn tại của một độ trễ đáng kể giữa nhận thức, ý định và hành vi chuyển đổi thực tế trong cộng đồng. Người tiêu dùng hiếm khi từ bỏ phương tiện truyền thống chỉ dựa trên ý thức sinh thái; quyết định của họ thường bị chi phối bởi các lực cản cơ cấu như rào cản về chi phí đầu tư ban đầu, sự thiếu hụt của hạ tầng sạc, tính ổn định của công nghệ lưu trữ năng lượng và sự phụ thuộc vào thói quen di chuyển [3, 4].

Tại Việt Nam, nhóm thanh niên đô thị và sinh viên đại học đóng vai trò là một phân khúc khách hàng tiềm năng, nhạy bén với công nghệ và có mức độ tiếp nhận cao đối với các trào lưu tiêu dùng xanh. Cụ thể, tại Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội - nơi sinh viên được đào tạo trực tiếp về khoa học môi trường và phát triển bền vững, nền tảng nhận thức sinh thái được định hình tương đối rõ nét [5]. Dù vậy, hành vi chuyển đổi sang xe máy điện của nhóm đối tượng này vẫn diễn ra chậm. Sự mâu thuẫn này phản ánh một đặc thù sinh viên là nhóm có ý thức cao nhưng lại bị giới hạn nghiêm ngặt về quyền tự quyết tài chính [6], phải đối mặt với hệ thống hạ tầng phòng trọ không bảo đảm an toàn phòng cháy chữa cháy cho việc sạc điện, và chịu sự chi phối quyết định từ phía gia đình [7]. Do đó, hành vi lựa chọn phương tiện của sinh viên không thể được lý giải bằng các mô hình nhận thức cá nhân đơn thuần, mà buộc phải được đặt trong một hệ quy chiếu đa chiều bao gồm rào cản kinh tế, điều kiện cư trú và cấu trúc ra quyết định của hộ gia đình [8, 9].

Mặc dù đã có các đánh giá tổng quan về tiềm năng thị trường xe điện, nhưng các nghiên cứu định lượng phân tích sâu về khoảng cách giữa nhận thức xanh và hành vi chuyển đổi phương tiện của nhóm thanh niên đô thị tại Việt Nam vẫn còn rất hạn chế. Nhằm lấp đầy khoảng trống học thuật này, nghiên cứu được tiến hành để phân tích thực trạng nhận thức, ý định và mức độ hiện thực hóa hành vi thay thế xe máy xăng bằng xe máy điện của sinh viên. Thông qua việc lượng hóa và bóc tách các lực cản cốt lõi, bao gồm áp lực tài chính, bất cập về hạ tầng sạc, độ tin cậy của phương tiện và thói quen tiêu dùng nghiên cứu để xuất

các giải pháp khả thi nhằm thu hẹp độ trễ chuyển đổi, kiến tạo môi trường học đường xanh và đóng góp các cứ liệu thực chứng cho chiến lược phát triển giao thông bền vững.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Phương pháp kế thừa dữ liệu thứ cấp

Các tài liệu và số liệu thứ cấp được thu thập từ các nguồn chính thống bao gồm báo cáo hiện trạng môi trường quốc gia và đô thị, các niên giám thống kê giao thông vận tải, quy hoạch phát triển hạ tầng đô thị Hà Nội, chiến lược quốc gia về tăng trưởng xanh và lộ trình phát triển phương tiện giao thông điện hóa. Nguồn dữ liệu được kế thừa chủ yếu từ Bộ Nông nghiệp và Môi trường, Bộ Xây dựng, UBND TP Hà Nội và Cục Thống kê giai đoạn 2020 - 2026.

2.2. Phương pháp khảo sát xã hội học và phỏng vấn sâu

Đối tượng khảo sát là sinh viên đang theo học tại HUNRE, trong đó tập trung vào nhóm sinh viên thuộc Khoa Môi trường và Khoa Kinh tế. Cỡ mẫu được xác định theo công thức Cochran:

$$n = Z^2 \cdot p \cdot (1-p) / e^2$$

Trong đó, n là cỡ mẫu tối thiểu cần khảo sát; Z là giá trị tương ứng với mức tin cậy lựa chọn; p là tỷ lệ ước lượng của đặc điểm nghiên cứu trong tổng thể; e là sai số chọn mẫu chấp nhận được. Nghiên cứu lựa chọn mức tin cậy 95%, tương ứng với $Z = 1,96$; giá trị $p = 0,5$ sai số chọn mẫu chấp nhận ở mức khoảng 5,6%. Với các tham số trên, cỡ mẫu tối thiểu cần đạt khoảng 306. Sau quá trình phát phiếu, thu thập và sàng lọc dữ liệu, nghiên cứu thu được 312 phiếu trả lời hợp lệ, đáp ứng yêu cầu cỡ mẫu tối thiểu phục vụ phân tích mô tả trong nghiên cứu.

Bên cạnh khảo sát định lượng, nghiên cứu thực hiện phỏng vấn sâu bán cấu trúc với một số sinh viên nhằm bổ sung dữ liệu định tính. Nội dung phỏng vấn tập trung vào các vấn đề như thói quen sử dụng xe máy xăng, mức độ quan tâm đến xe máy điện, lo ngại về chi phí mua xe, chi phí thay pin, khả năng sạc điện tại nơi ở, phạm vi di chuyển...

2.3. Phương pháp phân tích ma trận SWOT

Phương pháp phân tích SWOT được thực hiện theo hai bước: (i) Tổng hợp bằng chứng thực nghiệm từ kết quả khảo sát xã hội học và dữ liệu thứ cấp; (ii) Phân loại và lập ma trận định vị bốn nhóm yếu tố, trong đó bám sát các khía cạnh kinh tế (giá mua, chi phí vận hành), xã hội (áp lực đồng đẳng, thói quen tiêu dùng) và môi trường (giảm phát thải trực tiếp, nguy cơ ô nhiễm pin thứ cấp)

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Đặc điểm và bối cảnh sử dụng phương tiện giao thông của sinh viên

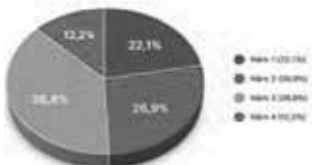
Kết quả khảo sát 312 sinh viên HUNRE cho thấy mẫu nghiên cứu gồm sinh viên thuộc hai khoa: Khoa Môi trường chiếm 68,59% và Khoa Kinh tế chiếm 31,41%. Sinh viên thuộc hai khoa này có mức độ tiếp cận nhất định với các nội dung liên quan đến phát triển bền vững, chuyển đổi xanh và tiêu dùng có trách nhiệm, phù hợp với mục tiêu nghiên cứu về hành vi chuyển đổi phương tiện.



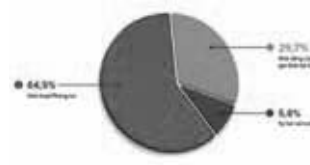
Hình 1. Tỷ lệ giới tính của sinh viên được phỏng vấn



Hình 2. Tỷ lệ sinh viên theo năm học được phỏng vấn



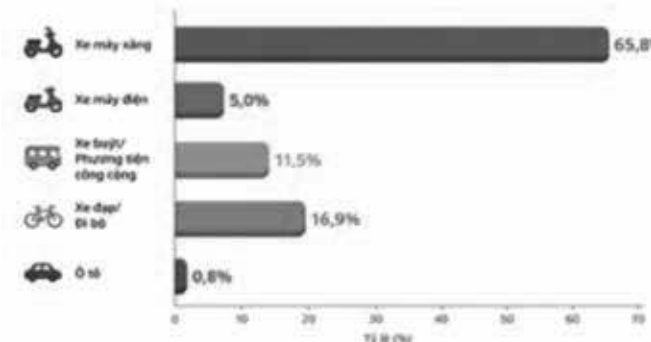
Hình 3. Cơ cấu khoa của sinh viên được phỏng vấn



Hình 4. Nơi ở hiện tại của sinh viên được phỏng vấn

Về đặc điểm cư trú, 64,5% sinh viên đang sống tại nhà thuê hoặc phòng trọ; 29,7% sống tại nhà riêng của gia đình tại Hà Nội và 5,8% ở ký túc xá. Cơ cấu này cho thấy phần lớn sinh viên chịu ảnh hưởng trực tiếp từ điều kiện cư trú thuê trọ, đặc biệt là khả năng bố trí điểm sạc, bảo quản xe và đảm bảo an toàn điện. Vì vậy, nơi ở được xem là một yếu tố nền quan trọng khi phân tích khả năng chuyển đổi sang xe máy điện.

Về phương tiện đi lại chính, xe máy xăng vẫn chiếm ưu thế với 65,8%, trong khi xe máy điện chỉ đạt 5,0%. Các hình thức di chuyển khác như xe đạp/đi bộ, xe buýt và phương tiện công cộng chiếm tỷ lệ thấp hơn. Kết quả này cho thấy mặc dù sinh viên có điều kiện tiếp cận nhận thức về giao thông xanh, hành vi sử dụng phương tiện vẫn bị chi phối mạnh bởi tính tiện lợi, thói quen di chuyển và điều kiện sử dụng thực tế.



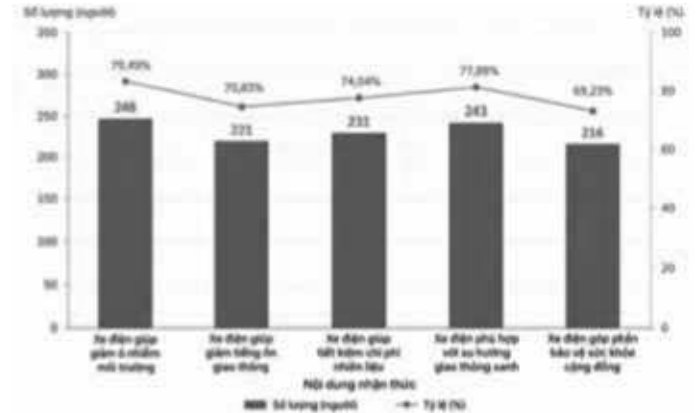
Hình 5. Phương tiện đi lại chính của sinh viên

3.2. Khoảng cách giữa nhận thức xanh, ý định và hành vi sử dụng xe máy điện

Kết quả khảo sát cho thấy sinh viên HUNRE có nhận thức tích cực về xe máy điện: 79,49% cho rằng xe máy điện góp phần giảm ô nhiễm môi trường và 77,88% đánh giá phương tiện này phù hợp với xu hướng giao thông xanh. Tuy nhiên, nhận thức chưa chuyển hóa tương xứng thành hành vi thực tế. Trong khi 68,59% sinh viên có ý định chuyển đổi, chỉ 23,72% đã hoặc đang sử dụng xe máy điện. Sự chênh lệch này cho thấy khoảng cách đáng kể giữa nhận thức, ý định và hành vi, trong đó rào cản chủ yếu không nằm ở mức độ nhận thức mà ở khả năng hiện thực hóa quyết định chuyển đổi.

Đối với sinh viên HUNRE, quá trình chuyển đổi chịu tác động đồng thời của chi phí đầu tư, khả năng tiếp cận hạ tầng sạc, độ tin cậy của pin, thói quen sử dụng xe máy xăng và khả năng hỗ trợ tài chính từ gia đình. Do đó, có thể xem đây là một dạng “độ trễ chuyển đổi xanh”, khi nhận thức và ý định thay đổi nhanh hơn điều kiện thực

tế để hình thành hành vi. Phát hiện này hàm ý rằng các chính sách thúc đẩy xe máy điện cần chuyển trọng tâm từ nâng cao nhận thức đơn thuần sang tháo gỡ các rào cản về khả năng tiếp cận, chi phí và điều kiện sử dụng, qua đó thu hẹp khoảng cách giữa ý định và hành vi.



Hình 6. Nhận thức của sinh viên về lợi ích của việc thay thế xe máy xăng bằng xe máy điện

3.3. Rào cản kinh tế, hạ tầng và rủi ro cảm nhận trong quá trình chuyển đổi

Kết quả khảo sát cho thấy rào cản kinh tế là yếu tố nổi bật trong quá trình chuyển đổi sang xe máy điện. Cụ thể, 75,64% sinh viên cho rằng giá mua xe cao là trở ngại, 73,08% lo ngại chi phí thay pin và 55,77% quan tâm đến chi phí bảo trì, sửa chữa. Mặc dù 70,19% ghi nhận lợi thể tiết kiệm nhiên liệu, chi phí đầu tư ban đầu và rủi ro liên quan đến pin vẫn tạo áp lực đáng kể, đặc biệt đối với sinh viên còn phụ thuộc tài chính gia đình.

Bên cạnh đó, khả năng tiếp cận hạ tầng sạc là một hạn chế thực tế, nhất là đối với sinh viên sống tại nhà thuê hoặc phòng trọ, nơi điều kiện bố trí điểm sạc, bảo quản phương tiện và bảo đảm an toàn điện còn hạn chế. Đồng thời, xe máy xăng vẫn có lợi thế về tính quen thuộc, khả năng tiếp nhiên liệu nhanh và thuận tiện sửa chữa, trong khi xe máy điện còn tạo ra những băn khoăn về độ bền pin, thời gian sạc và quãng đường di chuyển. Như vậy, rào cản chuyển đổi mang tính đa chiều, không chỉ liên quan đến khả năng chi trả mà còn đến hạ tầng, mức độ tin cậy công nghệ và sự thuận tiện trong sử dụng. Điều này cho thấy việc thúc đẩy chuyển đổi cần đồng thời giải quyết các rào cản về chi phí - hạ tầng - công nghệ - hành vi, thay vì chỉ tập trung vào nâng cao nhận thức môi trường.

3.4. Kết quả phân tích tích hợp ma trận SWOT về các lực cản và động lực

Kết quả phân tích ma trận SWOT (Bảng 1) cho thấy điểm mạnh và cơ hội đủ lớn để thúc đẩy chuyển đổi, nhưng điểm yếu và thách thức vẫn đang tạo ra những lực cản cơ cấu. Sinh viên HUNRE đã có nền tảng nhận thức tích cực và ý định chuyển đổi nhất định, tuy nhiên việc sử dụng xe máy điện trong thực tế vẫn bị giới hạn bởi chi phí, điều kiện sạc điện, độ tin cậy của pin và thói quen sử dụng xe máy xăng.

Bảng 1. Ma trận SWOT về quá trình chuyển đổi từ xe máy xăng sang xe máy điện

S - Điểm mạnh	W - Điểm yếu
S1. Sinh viên HUNRE có nhận thức môi trường tương đối tích cực. S2. Tỷ lệ đồng thuận với lợi ích giảm ô nhiễm môi trường của xe máy điện ở mức cao. S3. Xe máy điện được nhìn nhận là phương tiện phù	W1. Tỷ lệ sử dụng xe máy điện trong thực tế còn thấp. W2. Xe máy xăng vẫn là phương tiện đi lại chủ đạo của sinh viên. W3. Phần lớn sinh viên còn phụ thuộc tài chính vào gia đình.

hợp với xu hướng giao thông xanh. S4. Sinh viên là nhóm dễ tiếp nhận các xu hướng tiêu dùng mới và lối sống bền vững.	W4. Sinh viên ở trọ gặp khó khăn trong việc bố trí điểm sạc và bảo quản xe. W5. Tâm lý quen sử dụng xe máy xăng làm chậm quá trình chuyển đổi.
O - Cơ hội	T - Thách thức
O1. Hà Nội đang thúc đẩy giao thông xanh và hạn chế dần phương tiện sử dụng nhiên liệu hóa thạch. O2. Công nghệ pin và xe máy điện ngày càng được cải thiện. O3. Thị trường xe máy điện phát triển với nhiều phân khúc phù hợp hơn cho sinh viên. O4. Xu hướng tiêu dùng xanh trong giới trẻ ngày càng phổ biến.	T1. Giá mua xe máy điện còn cao so với khả năng chi trả của sinh viên. T2. Chi phí thay pin và lo ngại về tuổi thọ pin vẫn là rào cản lớn. T3. Hạ tầng sạc chưa đồng bộ, đặc biệt tại khu nhà trọ sinh viên. T4. Xe máy xăng vẫn có lợi thế về sự linh hoạt, tiếp nhiên liệu nhanh và dễ sửa chữa. T5. Nguy cơ “bất bình đẳng xanh” khi nhóm sinh viên có điều kiện tài chính thấp khó tiếp cận phương tiện điện.

Bốn hướng chiến lược từ ma trận trên làm nền tảng trực tiếp cho các giải pháp đề xuất bao gồm:

- (1) SO - phát huy nhận thức môi trường của sinh viên để tận dụng bối cảnh chính sách giao thông xanh;
- (2) WO - giải quyết rào cản tài chính và hạ tầng sạc nhằm thu hẹp khoảng cách giữa ý định và hành vi;
- (3) ST - xây dựng niềm tin của sinh viên đối với công nghệ pin, độ an toàn và tính ổn định của xe máy điện;
- (4) WT - hỗ trợ nhóm sinh viên ở trọ, chưa độc lập tài chính và hạn chế nguy cơ bất bình đẳng trong tiếp cận phương tiện giao thông xanh.

3.5. Đề xuất các giải pháp nhằm thúc đẩy chuyển đổi xe máy xăng sang xe máy điện

- Giải pháp giảm rào cản tài chính

Các doanh nghiệp, ngân hàng và tổ chức tín dụng có thể phối hợp cung cấp gói tín dụng và trả góp ưu đãi dành cho sinh viên, với lãi suất và thời hạn thanh toán phù hợp. Đồng thời, doanh nghiệp có thể áp dụng chính sách giá ưu đãi, hỗ trợ phí đăng ký, bảo dưỡng và dịch vụ sạc nhằm giảm chi phí gia nhập. Bên cạnh đó, cần khuyến khích mô hình thuê pin hoặc đổi pin, qua đó giảm giá mua xe, hạn chế rủi ro chi phí thay pin và nâng cao khả năng tiếp cận phương tiện điện của sinh viên, đặc biệt đối với nhóm có khả năng tài chính hạn chế.

- Giải pháp phát triển hạ tầng sạc an toàn và thuận tiện

Nhà trường có thể bố trí điểm sạc tại bãi gửi xe, ký túc xá và các khu vực có nhu cầu cao, đi kèm quy trình vận hành và kiểm soát an toàn điện. Tại các khu nhà trọ tập trung sinh viên, cần khuyến khích phối hợp giữa chính quyền địa phương, chủ nhà trọ và doanh nghiệp để phát triển các điểm sạc phù hợp, qua đó hạn chế tình trạng sạc tự phát và giảm rủi ro an toàn. Đồng thời, cần tăng cường hướng dẫn sinh viên về sạc, bảo quản pin, an toàn điện và xử lý sự cố, góp phần nâng cao mức độ tin cậy và giảm tâm lý e ngại khi sử dụng xe máy điện.

- Giải pháp tăng cường niềm tin và thúc đẩy trải nghiệm sử dụng

Nhà trường có thể phối hợp với doanh nghiệp tổ chức các chương trình trải nghiệm, lái thử và so sánh chi phí sử dụng giữa xe máy điện và xe máy xăng. Doanh nghiệp cần minh bạch thông tin về tuổi thọ và chi phí thay pin, chính sách bảo hành, phạm vi di chuyển và chi phí vận hành nhằm giảm rủi ro cảm nhận. Đồng thời,

cần tăng cường sự tham gia của phụ huynh trong quá trình tư vấn và ra quyết định, đặc biệt đối với sinh viên còn phụ thuộc tài chính gia đình. Việc xây dựng mô hình “Sinh viên giao thông xanh” thông qua các câu lạc bộ, Đoàn Thanh niên và mạng lưới sinh viên có thể góp phần chia sẻ kinh nghiệm, hình thành chuẩn mực xã hội tích cực và thúc đẩy chuyển đổi sang phương tiện giao thông bền vững.

Nhìn chung, thúc đẩy chuyển đổi từ xe máy xăng sang xe máy điện đối với sinh viên HUNRE cần được triển khai đồng bộ trên ba phương diện: giảm rào cản tài chính, phát triển hạ tầng sạc an toàn và củng cố niềm tin thông qua truyền thông và trải nghiệm thực tế. Chỉ khi các rào cản về chi phí, hạ tầng và mức độ tin cậy được giải quyết, nhận thức xanh mới có thể chuyển hóa thành ý định và hành vi lựa chọn phương tiện giao thông bền vững trong đời sống hằng ngày.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu cho thấy sinh viên có nhận thức tích cực về lợi ích môi trường của xe máy điện, nhưng nhận thức chưa chuyển hóa tương xứng thành ý định và hành vi thực tế. Trong khi 79,49% sinh viên nhận thấy xe máy điện góp phần giảm ô nhiễm, chỉ 5% đang sử dụng phương tiện này. Khoảng cách này chủ yếu liên quan đến chi phí đầu tư và thay pin, hạ tầng sạc, điều kiện cư trú. Kết quả cho thấy rằng thúc đẩy giao thông xanh không thể chỉ dựa vào truyền thông nâng cao nhận thức mà cần đồng thời giảm rào cản tiếp cận và tạo điều kiện thuận lợi cho hành vi chuyển đổi. Nghiên cứu kiến nghị ưu tiên các chương trình hỗ trợ tài chính, phát triển điểm sạc an toàn tại trường học và khu nhà trọ, tăng cường trải nghiệm xe điện và xây dựng cơ chế phối hợp giữa nhà trường, doanh nghiệp, gia đình và sinh viên.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Rezvani, Z., Jansson, J., & Bodin, J. Advances in consumer electric vehicle adoption research: A review and research agenda. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 34, pp. 122-136, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.10.011>.
- [2] Egbue, O., & Long, S. Barriers to widespread adoption of electric vehicles: An analysis of consumer attitudes and perceptions. *Energy Policy*, vol. 48, pp. 717-729, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.06.009>.
- [3] Guerra, E. Electric vehicles, air pollution and the motorcycle city: A stated preference survey of consumers' willingness to adopt electric motorcycles in Solo, Indonesia. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 68, pp. 52-64, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.01.018>.
- [4] Liao, F., Molin, E., & van Wee, B. Consumer preferences for electric vehicles: a literature review. *Transport Reviews*, vol. 37, no. 3, pp. 252-275, 2017, doi: <https://doi.org/10.1080/01441647.2016.1230794>.
- [5] Vicente-Molina, M. A., Fernández-Sáinz, A., & Izagirre-Olaizola, J. Does gender make a difference in pro-environmental behavior? The case of the Basque Country University students. *Journal of Cleaner Production*, vol. 176, pp. 89-98, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.179>.
- [6] Cialdini, R. B., & Trost, M. R. Social influence: Social norms, conformity and compliance, in *The Handbook of Social Psychology*, Boston: McGraw-Hill, pp. 151-192, 1998.
- [7] Kollmuss, A., & Agyeman, J. Mind the gap: why do people act environmentally and what are the barriers to pro-environmental behavior? *Environmental Education Research*, vol. 8, no. 3, pp. 239-260, 2002, doi: <https://doi.org/10.1080/13504620220145401>.
- [8] Weiss, M., Cloos, K. C., & Helmers, E. Energy efficiency trade-offs in small to large electric vehicles. *Environmental Sciences Europe*, vol. 32, 2020, doi: <https://doi.org/10.1186/s12302-020-00307-8>.
- [9] Đỗ Hạnh Trang, Nguyễn Thế Phúc, Bùi Lê Nhật Hà, Trần Thị Uyên, Lê Bảo Ngọc. Nghiên cứu những nhân tố tác động đến ý định sử dụng các phương tiện giao thông bền vững, *Tạp chí Công Thương*, tập 22, 2022.

Giải pháp nâng cao tiêu chí về giao thông trong xây dựng nông thôn mới tại tỉnh Cao Bằng

Solutions to improve rural transportation criteria in the new rural development program in Cao Bang province

> TS LÊ THÁI BÌNH*, TS CHU VIỆT THỨC, TS NGUYỄN VĂN CHÍNH

Trường Đại học Điện Lực

*Email: binhlt@epu.edu.vn

TÓM TẮT

Hạ tầng giao thông là tiêu chí nền tảng trong Chương trình mục tiêu Quốc gia xây dựng Nông thôn mới. Đối với tỉnh Cao Bằng - tỉnh miền núi biên giới có địa hình chia cắt, dân cư phân tán và suất đầu tư lớn, việc hoàn thành tiêu chí này đối mặt với nhiều thách thức đặc thù. Bài báo phân tích thực trạng tiêu chí giao thông tại Cao Bằng giai đoạn 2020 - 2025 dựa trên khung tiêu chí hiện hành và số liệu công khai, tập trung vào ba vấn đề: mức độ hoàn thành ở cấp xã; kết quả đầu tư, bảo trì; và các điểm nghẽn quản lý, kỹ thuật. Kết quả cho thấy tính đến giữa năm 2025, toàn tỉnh mới có 43/139 xã đạt tiêu chí giao thông; bình quân đạt 10,56 tiêu chí/xã. Giai đoạn 2021 - 2025, tỉnh đã huy động 1.332,2 tỷ đồng mở mới 468 tuyến (659 km) và 2.980,9 tỷ đồng để cải tạo 1.082 tuyến (1.705,5 km). Dù vậy, tỷ lệ cứng hóa đường xã đến cuối năm 2024 mới đạt khoảng 55%, thấp hơn nhiều so với mục tiêu kế hoạch là trên 85%. Khoảng cách này phản ánh rõ rào cản giữa yêu cầu chính sách và thực tế thực thi tại địa bàn miền núi. Từ đó, bài viết đề xuất nhóm giải pháp trọng tâm: ưu tiên hóa đầu tư theo mạng lưới, điều chỉnh chuẩn kỹ thuật thích ứng địa hình, đổi mới cơ chế bảo trì lồng ghép nguồn lực và số hóa quản lý tài sản đường địa phương.

Từ khóa: Giao thông nông thôn; nông thôn mới; tiêu chí giao thông; Cao Bằng; hạ tầng nông thôn.

ABSTRACT

Rural transport infrastructure is a fundamental criterion of Vietnam's National Target Program on New Rural Development. In Cao Bang Province, a mountainous border province characterized by highly fragmented terrain, dispersed settlements, and high infrastructure investment costs, fulfilling this criterion faces a number of specific challenges. This study analyzes the current status of the rural transportation criterion in Cao Bang during the 2020-2025 period based on the applicable criteria framework and publicly available data, focusing on three key aspects: the level of achievement at the commune level; investment and maintenance outcomes; and major management and technical bottlenecks. The results indicate that, as of mid-2025, only 43 out of 139 communes in the province had met the transportation criterion, with an average achievement of 10.56 criteria per commune. During 2021 - 2025, the province mobilized VND 1,332.2 billion to construct 468 new rural road routes with a total length of 659 km, and VND 2,980.9 billion to rehabilitate and repair 1,082 routes totaling 1,705.5 km. Nevertheless, the proportion of commune roads with upgraded paved surfaces reached only approximately 55% by the end of 2024, substantially below the planned target of over 85%. This gap clearly reflects the disparity between policy requirements and implementation conditions in mountainous areas. Accordingly, the paper proposes a set of key solutions, including network-based investment prioritization, adaptation of technical standards to local terrain conditions, integrated and community-based maintenance mechanisms, and digitalization of local road asset management.

Keywords: Rural transportation; New Rural Development; transportation criteria; Cao Bang Province; rural infrastructure.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong Chương trình mục tiêu quốc gia xây dựng nông thôn mới, giao thông là một trong những tiêu chí nền tảng, tạo động lực phát triển kinh tế - xã hội và nâng cao chất lượng đời sống người dân. Hệ

thống giao thông nông thôn được đầu tư đồng bộ và duy trì hiệu quả không chỉ đáp ứng nhu cầu đi lại mà còn góp phần giảm chi phí vận chuyển, thúc đẩy tiêu thụ nông sản, cải thiện khả năng tiếp cận các dịch vụ giáo dục, y tế và hành chính, đồng thời tăng cường kết

nối giữa khu vực nông thôn với các trung tâm kinh tế. Theo hướng dẫn thực hiện tiêu chí số 2, tiêu chí giao thông giai đoạn 2021 - 2025 gồm bốn nội dung: đường xã được bảo trì hằng năm; đường thôn, bản và liên thôn, bản đạt yêu cầu kỹ thuật; đường ngõ, xóm được cứng hóa, bảo đảm “sáng - xanh - sạch - đẹp”; và đường trục chính nội đồng đáp ứng yêu cầu sản xuất và vận chuyển hàng hóa [1].

Đối với tỉnh Cao Bằng, việc thực hiện tiêu chí giao thông gặp nhiều khó khăn do đặc điểm địa hình miền núi, dân cư phân tán và nguồn lực đầu tư còn hạn chế. Địa hình chia cắt, độ dốc lớn, thường xuyên chịu ảnh hưởng của mưa lũ và sạt lở làm tăng chi phí xây dựng, bảo trì cũng như ảnh hưởng đến tuổi thọ công trình. Trong khi đó, yêu cầu của Bộ tiêu chí quốc gia ngày càng cao, không chỉ đánh giá tỷ lệ cứng hóa mà còn chú trọng chất lượng khai thác, an toàn giao thông và công tác bảo trì. Đến giữa năm 2024, toàn tỉnh mới đạt bình quân 10,56 tiêu chí/xã, trong đó chỉ có 43/139 xã đạt tiêu chí giao thông [2].



Hình 1. Xây dựng nông thôn mới tại các xã, phường của tỉnh Cao Bằng [2]

Mặc dù tỉnh đã huy động nhiều nguồn lực để đầu tư và nâng cấp hệ thống giao thông nông thôn, kết quả thực hiện tiêu chí giao thông vẫn chưa tương xứng với yêu cầu đặt ra. Điều này cho thấy cần có cách tiếp cận toàn diện hơn, không chỉ tập trung vào đầu tư xây dựng mà còn chú trọng quản lý, bảo trì và khai thác hiệu quả hạ tầng giao thông. Trên cơ sở đó, nghiên cứu tập trung làm rõ cơ sở pháp lý và phương pháp đánh giá tiêu chí giao thông; phân tích thực trạng thực hiện tại tỉnh Cao Bằng; đồng thời đề xuất các giải pháp nhằm nâng cao hiệu quả đầu tư, quản lý và phát triển bền vững hệ thống giao thông nông thôn trong giai đoạn tiếp theo.

2. CƠ SỞ PHÁP LÝ, PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU VÀ KHUNG PHÂN TÍCH

2.1. Cơ sở pháp lý và khung phân tích

Khung pháp lý của tiêu chí giao thông trong xây dựng nông thôn mới hiện nay dựa chủ yếu trên Quyết định số 318/QĐ-TTg ngày 08/3/2022 của Thủ tướng Chính phủ ban hành Bộ tiêu chí quốc gia về xã nông thôn mới và xã nông thôn mới nâng cao giai đoạn 2021 - 2025; Hướng dẫn chuyên ngành của Bộ Giao thông vận tải tại Quyết định số 932/QĐ-BGTVT năm 2022; cùng hệ thống tiêu chuẩn thiết kế đường giao thông nông thôn theo TCVN 10380:2014 [3, 4].

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu sử dụng kết hợp các phương pháp nghiên cứu trong lĩnh vực xây dựng, quản lý hạ tầng và phát triển nông thôn nhằm bảo đảm tính khách quan và độ tin cậy của kết quả:

- Phương pháp thu thập và tổng hợp số liệu: Thu thập các báo cáo định kỳ, quyết định chính sách và số liệu công khai giai đoạn 2020–2024 từ UBND tỉnh Cao Bằng, các sở, ngành liên quan và các nguồn thông tin chính thức của địa phương [2], [5 - 8].

- Phương pháp thống kê mô tả và so sánh: Tổng hợp, phân tích các chỉ tiêu về tỷ lệ xã đạt chuẩn, chiều dài đường được cứng hóa, quy mô đầu tư và kết quả thực hiện tiêu chí giao thông; đồng thời so sánh giữa các giai đoạn và đối chiếu với yêu cầu của Bộ tiêu chí quốc gia nhằm đánh giá mức độ hoàn thành và những tồn tại.

- Phương pháp phân tích kỹ thuật, hạ tầng: Đánh giá mức độ phù hợp của các tiêu chuẩn thiết kế giao thông nông thôn với điều

kiện địa hình miền núi, địa chất và nguy cơ sạt lở của tỉnh Cao Bằng, làm cơ sở để xuất các giải pháp kỹ thuật và quản lý phù hợp.

Phạm vi dữ liệu và cách xử lý: Nghiên cứu sử dụng số liệu công khai gần nhất có thể kiểm chứng tại thời điểm tổng hợp, trong đó số liệu về mức độ đạt tiêu chí chủ yếu được sử dụng đến 6 tháng đầu năm 2024; các số liệu đầu tư, mở mới, cải tạo và sửa chữa được cập nhật đến hết năm 2024. Mục tiêu năm 2025 được sử dụng để đối chiếu, không coi là số liệu thực hiện thực tế của năm 2025.

3. ĐẶC ĐIỂM VÀ THỰC TRẠNG THỰC HIỆN TIÊU CHÍ GIAO THÔNG TRONG XÂY DỰNG NÔNG THÔN MỚI TẠI CAO BẰNG

3.1. Đặc điểm của tỉnh Cao Bằng tác động đến thực hiện tiêu chí giao thông

Cao Bằng là tỉnh miền núi biên giới có địa hình chia cắt mạnh, nhiều khu vực đồi núi dốc, nền địa chất phức tạp và thường xuyên chịu tác động của mưa lớn, lũ quét, sạt lở đất. Những điều kiện này làm tăng chi phí xây dựng, bảo trì và ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng khai thác hệ thống giao thông nông thôn. Nhiều tuyến đường phải đầu tư bổ sung các công trình thoát nước, tường chắn, gia cố taluy và xử lý nền đường nhằm bảo đảm ổn định lâu dài. Vì vậy, việc đánh giá tiêu chí giao thông không chỉ dựa trên tỷ lệ cứng hóa mà còn cần xem xét chất lượng công trình, khả năng thoát nước và công tác bảo trì sau đầu tư [5].



Hình 2. Địa hình đồi núi chia cắt ảnh hưởng đến giao thông tại Cao Bằng [5]

Bên cạnh yếu tố địa hình, dân cư phân bố phân tán cũng làm giảm hiệu quả đầu tư theo chiều dài tuyến đường. Nhiều công trình giao thông phục vụ số lượng dân cư không lớn nhưng có ý nghĩa quan trọng trong kết nối các khu dân cư biệt lập với trung tâm xã, trường học, cơ sở y tế và khu vực sản xuất. Do đó, việc đầu tư giao thông nông thôn cần ưu tiên các tuyến có vai trò kết nối vùng sản xuất, hỗ trợ phát triển kinh tế - xã hội và giảm nguy cơ chia cắt trong mùa mưa [5].

Ngoài ra, công tác quản lý và bảo trì đang là thách thức lớn đối với địa phương. Mạng lưới đường địa phương có quy mô lớn trong khi nguồn lực duy tu còn hạn chế, đặc biệt đối với hệ thống đường thôn, xóm và đường nội đồng. Sự chênh lệch giữa nhu cầu bảo trì và khả năng bố trí kinh phí làm gia tăng nguy cơ xuống cấp công trình sau đầu tư, ảnh hưởng đến tính bền vững của tiêu chí giao thông trong xây dựng nông thôn mới [7, 8].

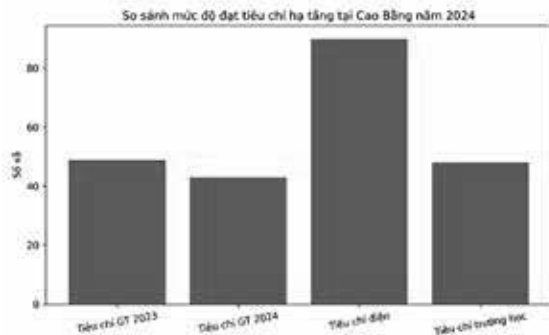
3.2. Mức độ hoàn thành tiêu chí giao thông trong tổng thể chương trình nông thôn mới

Kết quả thực hiện Chương trình xây dựng nông thôn mới tại tỉnh Cao Bằng giai đoạn 2021 - 2025 cho thấy tiến độ hoàn thành các tiêu chí còn chậm, đặc biệt là tiêu chí giao thông. Đến 6 tháng đầu năm 2024, bình quân toàn tỉnh đạt 10,56 tiêu chí/xã; trong 139 xã có 14 xã đạt 15 - 18 tiêu chí, 51 xã đạt 10 - 14 tiêu chí và 66 xã đạt 5 - 9 tiêu chí. Toàn tỉnh chưa có xã đạt chuẩn nông thôn mới nâng cao hoặc kiểu mẫu. Trong nhóm tiêu chí hạ tầng kinh tế - xã hội, chỉ 43/139 xã đạt tiêu chí giao thông, thấp hơn đáng kể so với tiêu chí thủy lợi và phòng chống thiên tai (129/139 xã) và tiêu chí điện (90/139 xã), cho thấy giao thông vẫn là một trong những hạn chế lớn đối với quá trình xây dựng nông thôn mới của tỉnh [6].

So sánh theo thời gian cho thấy, năm 2023 tỉnh có 17 xã đạt chuẩn nông thôn mới, 49 xã đạt tiêu chí giao thông và bình quân đạt 10,9 tiêu chí/xã. Tuy nhiên, khi áp dụng Bộ tiêu chí quốc gia giai đoạn 2021 - 2025, số xã đạt tiêu chí giao thông giảm còn 43 xã, đồng thời chỉ 8/17 xã được công nhận đạt chuẩn trong giai đoạn 2016 - 2020 tiếp tục đáp ứng yêu cầu của bộ tiêu chí mới [6]. Điều này phản ánh yêu cầu đánh giá hiện nay không chỉ tập trung vào khối lượng đầu tư mà còn chú trọng chất lượng công trình, công tác bảo trì và khả năng duy trì tiêu chí sau khi được công nhận. Có thể tóm lược một số chỉ dẫn chính trong Bảng 1 và Hình 3.

Bảng 1. Một số chỉ số về giao thông và nông thôn mới của Cao Bằng [2, 6]

Chỉ tiêu	Thời điểm	Giá trị
Số xã đạt chuẩn nông thôn mới	năm 2023	17 xã
Số xã đạt tiêu chí giao thông	năm 2023	49 xã
Bình quân tiêu chí nông thôn mới	hết năm 2023	10,9 tiêu chí/xã
Bình quân tiêu chí nông thôn mới	6 tháng đầu 2024	10,56 tiêu chí/xã
Số xã đạt tiêu chí giao thông	6 tháng đầu 2024	43/139 xã
Số xã đạt tiêu chí thủy lợi và PCTT	6 tháng đầu 2024	129/139 xã
Số xã đạt tiêu chí điện	6 tháng đầu 2024	90/139 xã
Số xã đạt tiêu chí trường học	6 tháng đầu 2024	48/139 xã



Hình 3. So sánh mức độ đạt tiêu chí hạ tầng chính tại Cao Bằng (Thời điểm 6 tháng đầu năm 2024) [6]. Nguồn: Tổng hợp từ dữ liệu công khai của Cổng TTĐT tỉnh Cao Bằng, 2024

Kết quả so sánh cho thấy tiêu chí giao thông có mức độ hoàn thành thấp hơn nhiều tiêu chí hạ tầng khác và có ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu quả thực hiện Chương trình xây dựng nông thôn mới. Hệ thống giao thông chưa đồng bộ làm gia tăng chi phí vận chuyển, hạn chế khả năng kết nối giữa các khu dân cư với trung tâm hành chính, vùng sản xuất và thị trường tiêu thụ, đồng thời ảnh hưởng đến việc tiếp cận các dịch vụ giáo dục, y tế và thu hút đầu tư. Vì vậy, nâng cao chất lượng và tính bền vững của hạ tầng giao thông không chỉ góp phần hoàn thành tiêu chí giao thông mà còn tạo động lực thúc đẩy việc thực hiện các tiêu chí nông thôn mới khác trên địa bàn tỉnh.

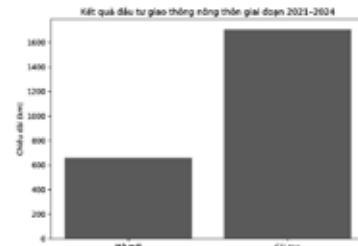
3.3. Kết quả đầu tư, mở mới và cải tạo mạng lưới giao thông nông thôn

Giai đoạn 2021 -2024, tỉnh Cao Bằng đã huy động nguồn lực đáng kể để đầu tư phát triển giao thông nông thôn. Theo số liệu công khai, tổng vốn đầu tư xây dựng mới đạt 1.332,2 tỷ đồng, thực hiện 468 tuyến với tổng chiều dài 659 km và xây dựng 64 cầu dân sinh (trong đó có 4 cầu treo) với tổng chiều dài 1.211,2 m. Các tuyến xây dựng mới gồm 19 tuyến đường huyện (40,28 km), 238 tuyến đường xã (329,5 km) và 211 tuyến đường thôn, xóm, nội đồng (289,3 km). Đồng thời, tỉnh đã đầu tư 2.980,9 tỷ đồng để cải tạo, sửa chữa 1.082 tuyến với tổng chiều dài 1.705,5 km; người dân đóng góp 128.953 ngày công và 17,5 tỷ đồng cho các hoạt động xây dựng và sửa chữa hạ tầng giao thông [7]. Kết quả khái quát quy mô đầu tư được thể hiện trong Bảng 2 và trên Hình 4.

Bảng 2. Kết quả đầu tư giao thông nông thôn giai đoạn 2021 - 2024 tại Cao Bằng [7]

Nội dung	Giá trị
Tổng vốn mở mới các tuyến GTNT	1.332,2 tỷ đồng
Số tuyến mở mới	468 tuyến
Tổng chiều dài mở mới	659 km
Cầu dân sinh xây mới	64 cầu
Tổng chiều dài cầu xây mới	1.211,2 m
Đường huyện mở mới	19 tuyến/40,28 km
Đường xã mở mới	238 tuyến/329,5 km
Đường thôn, xóm, nội đồng mở mới	211 tuyến/289,3 km
Tổng vốn cải tạo, sửa chữa	2.980,9 tỷ đồng
Số tuyến cải tạo, sửa chữa	1.082 tuyến
Tổng chiều dài cải tạo, sửa chữa	1.705,5 km
Đóng góp của người dân	128.953 ngày công + 17,5 tỷ đồng

Khối lượng đầu tư trên cho thấy tỉnh đã huy động hiệu quả nhiều nguồn lực từ ngân sách nhà nước và sự tham gia của cộng đồng theo phương châm “Nhà nước và Nhân dân cùng làm”. Đặc biệt, nguồn lực xã hội hóa đã góp phần quan trọng trong đầu tư các tuyến đường thôn, xóm và đường nội đồng, cải thiện điều kiện đi lại và phục vụ sản xuất tại khu vực nông thôn. Tuy nhiên, kết quả đạt được chưa phản ánh đầy đủ qua tỷ lệ xã đạt tiêu chí giao thông do việc đầu tư còn phân tán, trong khi nhu cầu bảo trì và nâng cấp mạng lưới ngày càng lớn.



Hình 4. Tương quan quy mô chiều dài đường mở mới và đường cải tạo giai đoạn 2021 - 2024 tại Cao Bằng [7]. Nguồn: Tổng hợp số liệu từ Báo Cao Bằng, 2024

Đến hết năm 2024, sau bốn năm triển khai Đề án phát triển giao thông nông thôn giai đoạn 2021 - 2025, tỉnh đạt 97,65% kế hoạch đối với đường huyện và vượt kế hoạch về chiều dài đầu tư đối với đường xã. Tuy nhiên, đường thôn, xóm và nội đồng mới đạt 72,7% kế hoạch [7, 8]. Đáng chú ý, mặc dù khối lượng đầu tư lớn, tỷ lệ cứng hóa mặt đường vẫn còn thấp, chỉ đạt khoảng 84% đối với đường huyện và 55% đối với đường xã. Theo kế hoạch, đến năm 2025 tỷ lệ cứng hóa đường xã dự kiến đạt khoảng 57,4%, thấp hơn đáng kể so với mục tiêu 85%. Điều này cho thấy thách thức của tỉnh không chỉ nằm ở huy động vốn đầu tư mà còn ở việc nâng cao chất lượng công trình, bảo trì thường xuyên và hoàn thiện đồng bộ hệ thống giao thông nông thôn.

3.4. Thực trạng từng nhóm đường theo tiêu chí số 2

Kết quả nghiên cứu cho thấy việc thực hiện tiêu chí giao thông tại tỉnh Cao Bằng còn có sự khác biệt giữa các nhóm đường, chủ yếu do điều kiện địa hình, nguồn lực đầu tư và công tác quản lý, bảo trì.

Đối với đường xã, mặc dù đến năm 2024 toàn tỉnh có khoảng 4.074,8 km, tỷ lệ cứng hóa mặt mới đạt khoảng 55%. Nguồn kinh phí bảo trì còn hạn chế trong khi tiêu chí yêu cầu đồng thời bảo đảm mặt đường, hệ thống thoát nước, biển báo và các hạng mục an toàn giao thông, dẫn đến nhiều tuyến chưa đáp ứng đầy đủ yêu cầu [7, 8].

Đối với đường thôn, bản và liên thôn, bản, nhiều tuyến đã được đầu tư từ các chương trình mục tiêu và nguồn lực cộng đồng, góp phần cải thiện khả năng kết nối. Tuy nhiên, địa hình phức tạp, dân cư phân tán và tác động của thiên tai làm tăng chi phí xây dựng, bảo trì và ảnh hưởng đến tính bền vững của công trình [2, 5].

Đối với đường ngõ, xóm, nhiều địa phương đã cơ bản khắc phục tình trạng lầy lội, nhưng việc đầu tư các hạng mục như thoát nước, chiếu sáng, cây xanh và vệ sinh môi trường còn thiếu đồng bộ, nên chưa đáp ứng đầy đủ yêu cầu của tiêu chí nông thôn mới [1].

Đối với đường trục chính nội đồng, hiệu quả đầu tư phụ thuộc vào mức độ gắn kết với quy hoạch vùng sản xuất. Một số tuyến đã hỗ trợ cơ giới hóa và vận chuyển nông sản, song việc đầu tư còn phân tán, chưa tập trung vào các vùng sản xuất hàng hóa, làm hạn chế hiệu quả khai thác.

Nhìn chung, hạn chế của hệ thống giao thông nông thôn tại Cao Bằng không chỉ nằm ở tỷ lệ cứng hóa mà còn ở chất lượng khai thác, công tác bảo trì và tính đồng bộ của mạng lưới. Đây là những vấn đề cần được ưu tiên giải quyết để nâng cao hiệu quả thực hiện tiêu chí giao thông trong giai đoạn tiếp theo.

4. NGUYÊN NHÂN CHỦ YẾU VÀ GIẢI PHÁP NÂNG CAO TIÊU CHÍ GIAO THÔNG TRONG XÂY DỰNG NÔNG THÔN MỚI TẠI CAO BẰNG

4.1. Những tồn tại và nguyên nhân chủ yếu

Kết quả nghiên cứu cho thấy việc thực hiện tiêu chí giao thông trong xây dựng nông thôn mới tại tỉnh Cao Bằng còn nhiều hạn chế do cả điều kiện tự nhiên và công tác quản lý.

Thứ nhất, nguồn lực bảo trì còn hạn chế, trong khi Bộ tiêu chí giai đoạn 2021 - 2025 yêu cầu không chỉ đầu tư xây dựng mà còn duy trì thường xuyên hệ thống giao thông. Kinh phí bảo dưỡng chưa đáp ứng nhu cầu thực tế, ảnh hưởng đến chất lượng khai thác và khả năng duy trì tiêu chí.

Thứ hai, điều kiện địa hình miền núi làm tăng chi phí đầu tư và bảo trì. Địa hình chia cắt, nền địa chất yếu và thiên tai thường xuyên đòi hỏi phải đầu tư đồng bộ hệ thống thoát nước, gia cố taluy và các công trình phòng hộ. Việc thiếu các hạng mục này làm giảm tuổi thọ và hiệu quả khai thác công trình.

Thứ ba, đầu tư chưa thực sự theo hướng ưu tiên mạng lưới kết nối. Một số công trình còn phân tán, chưa gắn với vùng sản xuất và khu dân cư trọng điểm, nên hiệu quả đầu tư và khả năng hoàn thành tiêu chí giao thông chưa tương xứng với nguồn lực đã bố trí.

Thứ tư, ứng dụng công nghệ số trong quản lý hạ tầng còn hạn chế. Việc thiếu cơ sở dữ liệu về hiện trạng và bảo trì công trình làm giảm hiệu quả trong lập kế hoạch đầu tư, quản lý và phân bổ nguồn lực.

Nhìn chung, những hạn chế trên cho thấy việc nâng cao tiêu chí giao thông tại Cao Bằng không chỉ phụ thuộc vào tăng vốn đầu tư mà cần đổi mới công tác quản lý, ưu tiên đầu tư theo mạng lưới kết nối và nâng cao hiệu quả bảo trì, khai thác hạ tầng giao thông nông thôn.

4.2. Giải pháp nâng cao tiêu chí giao thông trong xây dựng nông thôn mới tại Cao Bằng

Để nâng cao hiệu quả thực hiện tiêu chí giao thông, tỉnh Cao Bằng cần triển khai đồng bộ các nhóm giải pháp sau:

Thứ nhất, ưu tiên đầu tư theo mạng lưới kết nối, tập trung các tuyến đường kết nối trung tâm xã, vùng sản xuất, trường học, cơ sở y tế và chợ nông thôn, hạn chế đầu tư dàn trải.

Thứ hai, áp dụng giải pháp kỹ thuật phù hợp với điều kiện miền núi, vận dụng linh hoạt TCVN 10380:2014, tăng cường gia cố nền đường, hệ thống thoát nước và công trình phòng hộ nhằm nâng cao độ bền và giảm chi phí bảo trì [4].

Thứ ba, nâng cao hiệu quả quản lý và bảo trì, bố trí kinh phí bảo dưỡng thường xuyên đối với đường xã, đồng thời phát huy vai trò cộng đồng trong duy tu đường thôn, xóm theo phương châm “Nhà nước và Nhân dân cùng làm”.

Thứ tư, đa dạng hóa nguồn lực đầu tư, lồng ghép hiệu quả các chương trình mục tiêu quốc gia và nguồn lực xã hội hóa để ưu tiên đầu tư các tuyến giao thông có ý nghĩa kết nối và phục vụ phát triển kinh tế - xã hội.

Thứ năm, đẩy mạnh chuyển đổi số trong quản lý hạ tầng giao thông, xây dựng cơ sở dữ liệu số về hiện trạng, bảo trì và khai thác công trình, làm cơ sở lập kế hoạch đầu tư và phân bổ nguồn lực hiệu quả.

Thứ sáu, hoàn thiện tiêu chí giao thông gắn với cảnh quan nông thôn, từng bước xây dựng các tuyến đường “sáng - xanh - sạch - đẹp” phù hợp với điều kiện phát triển của từng địa phương.

Việc triển khai đồng bộ các giải pháp trên sẽ góp phần nâng cao chất lượng hạ tầng giao thông nông thôn, sử dụng hiệu quả nguồn lực đầu tư và thúc đẩy phát triển kinh tế - xã hội, qua đó nâng cao tính bền vững của Chương trình xây dựng nông thôn mới tại tỉnh Cao Bằng.

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã đánh giá thực trạng thực hiện tiêu chí giao thông trong Chương trình xây dựng nông thôn mới tại tỉnh Cao Bằng giai đoạn 2021 - 2025. Kết quả cho thấy giao thông vẫn là một trong những tiêu chí khó hoàn thành do điều kiện địa hình miền núi, dân cư phân tán, nguồn lực bảo trì hạn chế và yêu cầu ngày càng cao của Bộ tiêu chí quốc gia. Đến giữa năm 2024, toàn tỉnh có 43/139 xã đạt tiêu chí giao thông, bình quân đạt 10,56 tiêu chí/xã. Mặc dù vậy, tỉnh đã huy động nguồn lực đáng kể để đầu tư 468 tuyến giao thông nông thôn với tổng chiều dài 659 km, xây mới 64 cầu dân sinh và cải tạo, sửa chữa 1.082 tuyến với tổng chiều dài 1.705,5 km [7].

Trên cơ sở kết quả nghiên cứu, bài báo đề xuất các nhóm giải pháp trọng tâm gồm: ưu tiên đầu tư theo mạng lưới kết nối; áp dụng giải pháp kỹ thuật phù hợp với điều kiện miền núi; tăng cường công tác quản lý, bảo trì; đa dạng hóa nguồn lực đầu tư; đẩy mạnh chuyển đổi số trong quản lý hạ tầng và từng bước hoàn thiện tiêu chí giao thông gắn với cảnh quan nông thôn.

Việc triển khai đồng bộ các giải pháp này sẽ góp phần nâng cao chất lượng và hiệu quả khai thác hạ tầng giao thông nông thôn, tăng khả năng kết nối, thúc đẩy phát triển kinh tế - xã hội và nâng cao tính bền vững của Chương trình xây dựng nông thôn mới tại tỉnh Cao Bằng.

Hạn chế của nghiên cứu: Do đặc thù dữ liệu quản lý giao thông nông thôn được công bố không đồng đều giữa các năm và giữa các cấp quản lý, nghiên cứu chủ yếu sử dụng số liệu thứ cấp và thống kê mô tả. Vì vậy, các chỉ tiêu hiệu quả kinh tế như chi phí vận chuyển, thời gian tiếp cận dịch vụ hoặc lợi ích kinh tế trực tiếp chưa được định lượng đầy đủ. Đây là hướng nghiên cứu có thể tiếp tục triển khai khi có cơ sở dữ liệu tuyến đường và số liệu khai thác đồng bộ hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn. Tài liệu tập huấn “Tiêu chí 2: Giao thông” - Chương trình MTQG xây dựng nông thôn mới giai đoạn 2021 - 2025, 2022.
- [2] Thái Hà. Tập trung phát triển giao thông nông thôn gắn với xây dựng nông thôn mới. Báo Cao Bằng điện tử, ngày 22/03/2023. Internet: Tập trung phát triển giao thông nông thôn gắn với xây dựng nông thôn mới - Báo Cao Bằng điện tử (truy cập: tháng 6/2026).
- [3] Thủ tướng Chính phủ. Quyết định số 318/QĐ-TTg ngày 08/03/2022 ban hành Bộ tiêu chí quốc gia về xã nông thôn mới và Bộ tiêu chí quốc gia về xã nông thôn mới nâng cao giai đoạn 2021 - 2025, 2022.
- [4] Bộ Giao thông vận tải. Quyết định số 932/QĐ-BGTVT ngày 18/07/2022 về Hướng dẫn thực hiện tiêu chí về giao thông thuộc Bộ tiêu chí quốc gia về xã nông thôn mới giai đoạn 2021 - 2025, Hà Nội; TCVN 10380:2014 Đường giao thông nông thôn - Yêu cầu thiết kế, 2022.
- [5] DUY Thái/VOV-Đồng Bắc. Phát triển giao thông nông thôn xóa dần khoảng cách vùng miền ở Cao Bằng. Báo điện tử Đài Tiếng nói Việt Nam (VOV) ngày 17/11/2025. Internet: <https://vov.vn/kinh-te/phan-tien-giao-thong-nong-thon-xoa-dan-khoang-cach-vung-mien-o-cao-bang-post1246329.vov> (truy cập: tháng 6/2026).
- [6] UBND tỉnh Cao Bằng. Báo cáo số 1490/BC-UBND ngày 18/6/2024 về tình hình thực hiện kế hoạch phát triển kinh tế - xã hội 6 tháng đầu năm; phương hướng, nhiệm vụ 6 tháng cuối năm 2024, Cao Bằng. Internet: https://hdndcaobang.gov.vn/uploads/ky-yeu-sach-dien-tu/bc-3006-bao-cao-ket-qua-giai-quet-nhung-y-kien-kien-nghi-cua-cu-tri-va-y-kien-chat-van-cua-dai-bieu-hdnd-tinh-trong-va-sau-ky-hop-thu-20_1.pdf (truy cập: tháng 6/2026).
- [7] Thế Vinh. Tập trung nguồn lực xây dựng kết cấu hạ tầng giao thông. Báo Cao Bằng điện tử, ngày 12/5/2025. Internet: <https://baocaobang.vn/tap-trung-nguon-luc-xay-dung-ket-cau-ha-tang-giao-thong-3177080.html> (truy cập: tháng 6/2026).
- [8] H.C. Đẩy nhanh tiến độ thực hiện Chương trình MTQG xây dựng nông thôn mới. Báo Cao Bằng điện tử, ngày 14/01/2025. <https://baocaobang.vn/day-nhanh-tien-do-thuc-hien-chuong-trinh-mtqg-xay-dung-nong-thon-moi-3174862.html> (truy cập: tháng 6/2026).

Gia cường mặt đường bê tông nhựa bằng lưới địa kỹ thuật: Kinh nghiệm quốc tế và khuyến nghị nghiên cứu cho Việt Nam

Reinforcement of asphalt concrete pavements with geogrids: International experience and research recommendations for Vietnam

> PGS.TS NGUYỄN VĂN LONG¹, TS NGUYỄN ĐỨC SỸ², THS ĐỖ HOÀNG GIA^{3,*}

¹Trường Đại học Giao thông vận tải TP Hồ Chí Minh

²Trường Đại học Sư phạm kỹ thuật - Đại học Đà Nẵng

³Công ty Cổ phần Tư vấn Kiểm định Xây dựng Đông Tây

*Email: dohoanggia1706@gmail.com

TÓM TẮT

Bê tông nhựa (BTN) là loại vật liệu được sử dụng phổ biến trong kết cấu áo đường trên thế giới và tại Việt Nam. Dưới tác động của tải trọng xe chạy trùng phục và các yếu tố thời tiết - khí hậu, mặt đường BTN thường sớm xuất hiện các dạng hư hỏng như nứt môi, nứt phản ánh và hằn lún vệt bánh xe, làm giảm tuổi thọ khai thác và tăng chi phí bảo dưỡng, sửa chữa. Giải pháp gia cường mặt đường BTN bằng lưới địa kỹ thuật đã được nghiên cứu và ứng dụng rộng rãi trên thế giới. Trên cơ sở đó, bài báo tổng quan các nghiên cứu trong và ngoài nước về cơ chế và hiệu quả gia cường mặt đường BTN bằng lưới địa kỹ thuật, cho thấy lưới giúp hạn chế nứt phản ánh, nâng cao độ bền môi và khả năng kháng hằn lún vệt bánh xe, dù mức độ cải thiện phụ thuộc vào vật liệu, khí hậu, loại lưới và điều kiện dính bám. Đồng thời, bài báo đánh giá thực trạng nghiên cứu, ứng dụng tại Việt Nam, chỉ ra khoảng trống về dữ liệu và tiêu chuẩn, đồng thời đề xuất hướng nghiên cứu phù hợp với điều kiện trong nước.

Từ khóa: Lưới địa kỹ thuật; gia cường mặt đường; bê tông nhựa; nứt phản ánh; độ bền môi; hằn lún vệt bánh xe.

ABSTRACT

Asphalt concrete (AC) is a widely used material in pavement structures worldwide and in Vietnam. Under the effects of repeated traffic loading and weather-climate factors, AC pavements often develop early-stage distresses such as fatigue cracking, reflective cracking and rutting, which reduce service life and increase maintenance and repair costs. Reinforcing AC pavements with geogrids has been studied and widely applied worldwide since the 1980s. Building on this, the paper reviews domestic and international research on the working mechanism and reinforcement effectiveness of geogrids in AC pavements, showing that geogrids help limit reflective cracking, improve fatigue resistance and enhance rutting resistance, although the degree of improvement depends on material properties, climate, grid type, and interface bonding conditions. In addition, the paper assesses the current state of research and application of this technology in Vietnam, identifies gaps in experimental data and design-construction standards and proposes research directions suited to Vietnam's material, climate and traffic loading conditions.

Keywords: Geogrid; pavement reinforcement; asphalt concrete; reflective cracking; fatigue life; rutting.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

BTN là loại vật liệu được sử dụng phổ biến để làm các lớp mặt của kết cấu áo đường ô tô ở trên thế giới cũng như ở Việt Nam. Tuy nhiên, dưới tác động bất lợi của các yếu tố thời tiết - khí hậu và tải trọng xe chạy trùng phục, mặt đường BTN thường sớm xuất hiện các loại hư hỏng khác nhau như ổ gà, nứt môi, nứt phản ánh và hằn lún vệt bánh xe. Những hư hỏng này làm giảm đáng kể tuổi thọ khai

thác, tăng chi phí duy tu, sửa chữa mặt đường và ảnh hưởng trực tiếp đến an toàn giao thông. Một trong những giải pháp giúp giải quyết hiệu quả vấn đề này là sử dụng lưới địa kỹ thuật để gia cường kết cấu áo đường đã được nghiên cứu và triển khai ứng dụng rộng rãi trên thế giới từ những năm 1980 [1, 2]. Với khả năng chịu kéo cao, độ giãn dài khi kéo đứt thấp và cơ chế liên kết ma sát - chèn móc với cốt liệu, lưới địa kỹ thuật đóng vai trò như một lớp cốt gia cường,

giúp phân bố lại ứng suất kéo uốn trong lớp BTN, làm chậm quá trình lan truyền vết nứt và cải thiện khả năng chống biến dạng dư [3, 4, 5].

Tại Việt Nam, cùng với sự phát triển nhanh chóng của mạng lưới đường cao tốc, quốc lộ và các dự án cải tạo, nâng cấp mặt đường cũ, nhu cầu sử dụng lưới địa kỹ thuật để hạn chế nứt phản ánh, đảm bảo độ êm thuận chạy xe và kéo dài tuổi thọ mặt đường ngày càng trở nên cấp thiết. Đã có một số công trình thực tế sử dụng lưới địa kỹ thuật và các nghiên cứu bước đầu được công bố trên các tạp chí chuyên ngành trong nước. Tuy nhiên, số lượng nghiên cứu bài bản, có hệ thống về công nghệ này tại Việt Nam hiện vẫn còn khiêm tốn. Đặc biệt, Việt Nam vẫn còn thiếu tiêu chuẩn thiết kế, thi công và nghiệm thu phù hợp với điều kiện về vật liệu và khai thác. Xuất phát từ thực tế đó, bài báo này thực hiện tổng quan có hệ thống các công bố khoa học trong và ngoài nước về nghiên cứu, ứng dụng lưới địa kỹ thuật để gia cường mặt đường BTN. Trên cơ sở đó, tác giả đánh giá tình hình nghiên cứu, ứng dụng tại Việt Nam và đề xuất một số hướng nghiên cứu tiếp theo.

2. CƠ CHẾ GIA CƯỜNG CỦA LƯỚI ĐỊA KỸ THUẬT TRONG KẾT CẤU ÁO ĐƯỜNG

Về mặt cơ học, lưới địa kỹ thuật khi được bố trí hợp lý trong kết cấu áo đường mềm sẽ mang lại những lợi ích như sau:

- Hạn chế nứt phản ánh trên lớp mặt đường BTN: Nứt phản ánh trên lớp mặt BTN thường xuất phát từ vết nứt co ngót của lớp móng gia cố xi măng hoặc khe co giãn của mặt đường BTXM cũ bên dưới. Khi lưới địa kỹ thuật được đặt giữa hai lớp, nó có tác dụng hấp thụ và phân tán một phần năng lượng biến dạng tại vị trí vết nứt, làm chậm tốc độ mở rộng vết nứt và giảm cường độ tập trung ứng suất tại đầu vết nứt [6, 7].

Với khả năng chịu kéo và cơ chế liên kết ma sát - chèn móc với cốt liệu trong hỗn hợp BTN, lưới địa kỹ thuật giúp phân bố và truyền ứng suất trong kết cấu áo đường dưới tác dụng của tải trọng trùng phục, nhờ vậy làm giảm biến dạng kéo uốn tại đáy lớp BTN dưới tác dụng tải trọng trùng phục, làm tăng số lần tác dụng tải trọng đến khi xuất hiện nứt mới. Các nghiên cứu thực nghiệm cho thấy gia cường bằng địa kỹ thuật có thể làm tăng tuổi thọ mỏi của BTN, với mức cải thiện phụ thuộc vào loại vật liệu gia cường, nhiệt độ và điều kiện liên kết giữa hai lớp [7, 8].

- Cải thiện khả năng kháng hằn lún vệt bánh xe của mặt đường BTN: Cơ chế chèn móc giữa mặt lưới và cốt liệu làm hạn chế chuyển vị theo phương ngang của cốt liệu trong lớp BTN, nhờ đó làm giảm biến dạng dư tích lũy dưới tác dụng tải trọng trùng phục.

Tuy vậy, ngoài những tác động tích cực ở trên, nghiên cứu [9] đã chỉ ra rằng sự có mặt của lưới địa kỹ thuật giữa hai lớp BTN có thể làm giảm cường độ dính bám và mức độ suy giảm này phụ thuộc mạnh vào loại lưới.

3. TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU TRÊN THẾ GIỚI

3.1. Nghiên cứu thực nghiệm trong phòng thí nghiệm về khả năng kháng nứt và độ bền mỏi

Các nghiên cứu thực nghiệm trong phòng thí nghiệm về hiệu quả chống nứt phản ánh và độ bền mỏi của BTN gia cường lưới địa kỹ thuật đã được triển khai từ rất sớm. Kết quả nghiên cứu của Ling và Liu [10] cho thấy hiệu quả cải thiện độ bền mỏi của lưới địa kỹ thuật đối với mặt đường BTN. Một số nghiên cứu được tiến hành trong những năm gần đây tiếp tục làm rõ định lượng mức độ cải thiện độ bền mỏi của mặt đường BTN. Kumar và Saride sử dụng thí nghiệm kéo trực tiếp để đánh giá khả năng kháng nứt của lớp BTN gia cường bằng lưới địa kỹ thuật [11]. Kết quả nghiên cứu cho thấy các mẫu BTN có gia cường lưới địa kỹ thuật có sự cải thiện về khả

năng chịu tải, năng lượng phá hủy và độ cứng chịu kéo so với mẫu đối chứng, biến dạng kéo tập trung tại vết nứt cũng thấp hơn so với mẫu đối chứng. Điều đó cho thấy lưới có tác dụng hấp thụ năng lượng biến dạng và hạn chế lan truyền vết nứt. Sudarsanan và cộng sự đã thực hiện thí nghiệm mỏi trên dầm BTN gia cường lưới địa kỹ thuật và ghi nhận sự gia tăng đáng kể số chu kỳ tải trọng đến phá hoại mỏi, mặc dù cường độ dính bám tại mặt tiếp xúc lại giảm [7]. Tương tự, Jaskula và cộng sự đã thí nghiệm độ bền mỏi uốn dầm bốn điểm đối với BTN gia cường lưới địa kỹ thuật [8]. Kết quả nghiên cứu cho thấy gia cường bằng lưới địa kỹ thuật giúp cải thiện rõ rệt độ bền mỏi của mặt đường BTN. Các kết quả cho thấy, lưới ô lục giác hiệu quả nhất, làm tăng biến dạng tới hạn khoảng 40% và độ bền mỏi cao hơn 10 - 22 lần, còn lưới ô vuông giúp tăng độ bền mỏi khoảng 3 - 5 lần so với trường hợp không gia cường. Ngoài ra, các mẫu gia cường có khả năng tiêu tán năng lượng lớn hơn trước khi phá hủy, cho thấy độ bền và khả năng kháng mỏi của mặt đường được cải thiện. Nghiên cứu của Wang và cộng sự [3] đã tiến hành thí nghiệm uốn phá hủy để đánh giá khả năng kháng nứt của BTN gia cường lưới địa kỹ thuật sợi carbon ở điều kiện nhiệt độ thấp. Kết quả nghiên cứu cho thấy cường độ chịu kéo uốn được cải thiện và mức độ cải thiện phụ thuộc vào tỷ lệ giữa kích thước mắt lưới và cỡ hạt cốt liệu chủ đạo trong hỗn hợp BTN.

3.2. Nghiên cứu về khả năng kháng hằn lún vệt bánh xe

Bên cạnh nứt phản ánh và nứt mỏi, khả năng kháng hằn lún vệt bánh xe của mặt đường BTN gia cường lưới địa kỹ thuật cũng được nhiều nhóm tác giả quan tâm nghiên cứu. Kết quả nghiên cứu của Wasage và cộng sự cho thấy việc bố trí lưới địa kỹ thuật giữa lớp móng và lớp mặt có hiệu quả trong việc tăng khả năng kháng hằn lún vệt bánh xe của mặt đường BTN, qua đó kéo dài thời gian khai thác của mặt đường [12]. Wu và cộng sự đã tiến hành thí nghiệm đánh giá hiệu quả gia cường của lưới địa kỹ thuật đối với lớp móng cát sông và sỏi không gia cố. Kết quả nghiên cứu cho thấy tất cả các lớp móng được gia cường lưới địa kỹ thuật đều cải thiện đáng kể khả năng kháng hằn lún, trong đó hiệu quả phụ thuộc vào sự tương thích giữa kích thước ô lưới và cấp phối cốt liệu [13]. Nghiên cứu của Wang và cộng sự đã đề xuất sử dụng phương pháp thí nghiệm xuyên và phương pháp tính số chu kỳ chảy dẻo FN (Flow number) mới để định lượng ảnh hưởng của lưới địa kỹ thuật sợi thủy tinh đến khả năng kháng hằn lún vệt bánh xe của BTN. Kết quả nghiên cứu cho thấy lưới địa kỹ thuật giúp tăng khả năng chống hằn lún của BTN với FN trung bình tăng 26 - 29% so với mẫu đối chứng [5].

3.3. Nghiên cứu mô phỏng số và phân tích phần tử hữu hạn

Cùng với các nghiên cứu thực nghiệm, một hướng nghiên cứu khác là mô phỏng số ứng xử của kết cấu áo đường gia cường lưới địa kỹ thuật bằng phương pháp phần tử hữu hạn, nhằm làm rõ cơ chế phân bố ứng suất - biến dạng và đề xuất phương pháp tính toán, thiết kế. Correia và cộng sự đã xây dựng mô hình phần tử hữu hạn hai chiều để xác định các thông chỉ phối đến hiệu quả gia cường của lưới địa kỹ thuật đối với lớp BTN, cũng như ảnh hưởng của chúng đến ứng xử của kết cấu áo đường mềm [14]. Trong một nghiên cứu khác, Correia và Zornberg đã thực hiện thí nghiệm mô hình quy mô lớn để đánh giá ứng xử cơ học tổng thể của kết cấu. Kết quả nghiên cứu cho thấy lưới địa kỹ thuật không chỉ có tác dụng chống nứt phản ánh mà còn góp phần cải thiện khả năng chịu tải của kết cấu áo đường [15]. Ngoài ra, nhóm tác giả này cũng đã nghiên cứu sự phát sinh và phân bố biến dạng kéo dọc theo lưới địa kỹ thuật dưới tác dụng của tải trọng xe chạy. Kết quả nghiên cứu cho thấy, đối với mẫu gia cường thì biến dạng dư dọc lưới đạt đến một ngưỡng ổn định sau một số chu kỳ tải nhất định, trong khi mẫu không gia cường tiếp tục biến dạng tăng dần liên tục. Điều đó

chúng tỏ lưới địa kỹ thuật đã giúp hạn chế chuyển vị ngang trong kết cấu áo đường mềm [16].

3.4. Nghiên cứu hiện trường quy mô lớn và tổng hợp đánh giá

Một số nghiên cứu hiện trường quy mô lớn cũng đã được thực hiện nhằm kiểm chứng kết quả trong phòng thí nghiệm với điều kiện khai thác thực tế. Nghiên cứu của Pasquini và cộng sự cho thấy việc lựa chọn loại lưới geocomposite và biện pháp thi công, bao gồm cả lượng nhũ tương dính bám và công tác xử lý bề mặt, có ý nghĩa quyết định đến hiệu quả kháng nứt phản ánh của mặt đường BTN [6]. Ragni và cộng sự đã xây dựng đoạn thử nghiệm hiện trường với ba loại kết cấu (không gia cường, gia cường lưới sợi carbon, gia cường lưới sợi thủy tinh), sau đó khoan lấy mẫu để thí nghiệm mỏi cắt - xoắn. Kết quả nghiên cứu cho thấy các loại lưới địa kỹ thuật có sự khác biệt rõ rệt về đặc trưng kháng cắt tại bề mặt tiếp xúc giữa hai lớp, trong đó lưới sợi thủy tinh có xu hướng cho cường độ kháng cắt mỗi thấp hơn so với lưới sợi carbon và trường hợp không gia cường trong một số điều kiện nhiệt độ thí nghiệm [9].

Bài báo tổng quan của Alimohammadi và cộng sự, cho thấy hiệu quả gia cường của lưới địa kỹ thuật đối với kết cấu áo đường mềm phụ thuộc vào độ cứng và kích thước hình học của lưới, chiều dày lớp mặt BTN và lớp móng, cũng như độ cứng của nền đường [17]. Nhìn chung, các kết quả nghiên cứu trên thế giới đã khẳng định hiệu quả của việc gia cường mặt đường BTN bằng lưới địa kỹ thuật đối với ba dạng hư hỏng chủ yếu là hằn lún vệt bánh xe, nứt phản ánh và nứt mỏi. Tuy nhiên, mức độ cải thiện phụ thuộc vào loại lưới sử dụng, vị trí đặt lưới trong kết cấu, chiều dày lớp BTN phía trên, điều kiện dính bám tại bề mặt tiếp xúc giữa hai lớp và phương pháp thí nghiệm đánh giá. Điều đó cho thấy sự cần thiết phải có các nghiên cứu hiệu chỉnh riêng cho từng điều kiện vật liệu và khí hậu cụ thể, trong đó có điều kiện Việt Nam.

4. TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU VÀ ỨNG DỤNG TẠI VIỆT NAM

Về giải pháp sử dụng lưới địa kỹ thuật để gia cường mặt đường BTN, nghiên cứu [18] cho thấy gia cường mặt đường BTN bằng lưới địa kỹ thuật là khả thi tại Việt Nam, giúp tăng khả năng chống nứt, kháng hằn lún vệt bánh xe, kéo dài tuổi thọ mặt đường và giảm chiều dày kết cấu. Tuy nhiên, các tác giả cũng đã nhấn mạnh Việt Nam vẫn còn thiếu các tiêu chuẩn về thiết kế và thi công riêng, nên cần sớm triển khai các đoạn thử nghiệm thực địa để làm cơ sở ban hành tiêu chuẩn chính thức. Tác dụng tăng cường của lưới sợi thủy tinh được tác giả Trần Nam Hưng làm rõ qua phân tích trạng thái ứng suất của lớp BTN bằng mô phỏng số phần tử hữu hạn, cho thấy ứng suất tại khe nối giữa các tấm bê tông xi măng giảm đáng kể khi có lưới, qua đó ngăn ngừa vết nứt hình thành từ đáy lớp BTN và lan lên bề mặt đường [19]. Kết quả nghiên cứu của tác giả Lê Văn Bách cho thấy lưới sợi thủy tinh và lưới sợi carbon giúp cải thiện khả năng kháng lún vệt bánh xe của mặt đường BTN [20]. Tác giả Lê Văn Chung đã đề xuất phương pháp kiểm toán kết cấu mặt đường BTN phủ trên lớp bê tông xi măng hiện trạng có gia cố bằng lưới sợi thủy tinh, đồng thời thiết lập được mối quan hệ thực nghiệm tuyến tính giữa số vết nứt phản ánh và thời gian khai thác, làm cơ sở dự báo và lập kế hoạch sửa chữa, cải tạo mặt đường trong tương lai [21].

Mặc dù lưới địa kỹ thuật đã bước đầu được sử dụng cho một số công trình cải tạo, nâng cấp mặt đường tại Việt Nam, đặc biệt trong các dự án phủ lớp BTN lên mặt đường bê tông xi măng cũ nhằm hạn chế nứt phản ánh [21]. Trên thị trường vật liệu xây dựng trong nước hiện đã xuất hiện nhiều loại lưới địa kỹ thuật được các doanh nghiệp trong và ngoài nước cung cấp. Tuy nhiên, việc ứng dụng hiện nay tại Việt Nam vẫn mang tính chất đơn lẻ, phụ thuộc nhiều vào khuyến cáo kỹ thuật của nhà sản xuất, chưa dựa trên một quy trình

thiết kế thống nhất được kiểm chứng bằng thực nghiệm và theo dõi dài hạn trong điều kiện khí hậu, vật liệu Việt Nam [18].

Nhìn chung, các nghiên cứu trên thế giới đã phát triển từ giai đoạn thực nghiệm mô tả sang giai đoạn định lượng bằng thí nghiệm tiêu chuẩn hóa (thí nghiệm mỏi uốn dầm bốn điểm, thí nghiệm hằn lún vệt bánh xe, thí nghiệm mỏi cắt - xoắn) và mô phỏng số bằng phần tử hữu hạn. Trong khi đó, các nghiên cứu tại Việt Nam hiện vẫn chủ yếu dừng ở mức độ phân tích lý thuyết kết hợp một số thực nghiệm trong phòng thí nghiệm với quy mô nhỏ. Ngoài ra, phân tích các kết quả nghiên cứu quốc tế ở trên cũng cho thấy hiệu quả gia cường của lưới địa kỹ thuật phụ thuộc vào nhiều yếu tố khác nhau, trong đó có các điều kiện về vật liệu (cấp phối cốt liệu), nhiệt độ khai thác và tải trọng trục xe thực tế. Do đó, việc áp dụng trực tiếp các kết quả nghiên cứu, khuyến cáo thiết kế từ nước ngoài vào điều kiện thực tế của Việt Nam sẽ không phù hợp và tiềm ẩn rủi ro về sai lệch hiệu quả gia cường thực tế so với dự báo.

5. ĐỀ XUẤT HƯỚNG NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG TẠI VIỆT NAM

Trên cơ sở tổng quan và đánh giá ở trên, các tác giả đề xuất một số hướng nghiên cứu ứng dụng lưới địa kỹ thuật gia cường mặt đường BTN cần được ưu tiên triển khai tại Việt Nam trong thời gian tới như sau:

- Nghiên cứu thực nghiệm trong phòng thí nghiệm theo hướng định lượng, mô phỏng sát điều kiện khai thác thực tế: Triển khai các nghiên cứu thực nghiệm theo hướng định lượng bằng các phương pháp đã được kiểm chứng trên thế giới như thí nghiệm mỏi uốn dầm bốn điểm, thí nghiệm cắt theo mô hình Leutner, thí nghiệm hằn lún vệt bánh xe và thí nghiệm xuyên đánh giá biến dạng dư, sử dụng các loại vật liệu đặc trưng của Việt Nam, trong điều kiện nhiệt độ mô phỏng sát với điều kiện khai thác thực tế.

- Nghiên cứu khả năng dính bám tại mặt tiếp xúc giữa hai lớp BTN có bố trí lưới địa kỹ thuật: Do đặc thù nhiệt độ khai thác cao và tải trọng trục xe có xu hướng gia tăng ở Việt Nam, cần ưu tiên nghiên cứu sâu về ảnh hưởng của loại lưới, lượng nhũ dính bám, nhiệt độ thi công đến cường độ kháng cắt tại bề mặt tiếp xúc và nguy cơ trượt lớp giữa lưới địa kỹ thuật với các lớp BTN.

- Xây dựng, theo dõi và đánh giá các đoạn đường thử nghiệm hiện trường: Cần xây dựng một số đoạn đường thử nghiệm hiện trường có bố trí đối chứng (có và không có lưới gia cường, với các loại lưới khác nhau) trên các tuyến đại diện cho các vùng khí hậu và cấp tải trọng khác nhau. Đồng thời, tiến hành quan trắc dài hạn (tối thiểu 3 - 5 năm) về tình trạng nứt, hằn lún vệt bánh xe và độ võng đàn hồi, nhằm xây dựng cơ sở dữ liệu thực tế phục vụ hiệu chỉnh mô hình thiết kế.

- Phát triển mô hình tính toán và phương pháp thiết kế phù hợp điều kiện Việt Nam: Trên cơ sở dữ liệu thực nghiệm và số liệu quan trắc hiện trường, cần nghiên cứu phát triển hoặc hiệu chỉnh các mô hình phần tử hữu hạn mô phỏng ứng xử của kết cấu áo đường gia cường lưới địa kỹ thuật. Trên cơ sở đó, từng bước xây dựng phương pháp thiết kế và tiến tới xây dựng tiêu chuẩn hoặc chỉ dẫn kỹ thuật thiết kế, thi công, nghiệm thu kết cấu áo đường gia cường lưới địa kỹ thuật phù hợp với điều kiện vật liệu, khí hậu và tải trọng khai thác của Việt Nam.

- Đánh giá hiệu quả kinh tế - kỹ thuật của giải pháp gia cường lưới địa kỹ thuật so với các giải pháp truyền thống khác, làm cơ sở khoa học hỗ trợ ra quyết định đầu tư cho các chủ đầu tư, tư vấn thiết kế.

6. KẾT LUẬN

Bài báo đã tổng quan một cách có hệ thống các kết quả nghiên cứu trong và ngoài nước về gia cường mặt đường BTN bằng lưới địa kỹ thuật. Các nghiên cứu trên thế giới đã khẳng định khả năng

hiệu quả kỹ thuật của công nghệ này trong việc hạn chế nứt phản ánh, nâng cao độ bền môi và cải thiện khả năng kháng hằn lún vết bánh xe của mặt đường BTN. Tuy nhiên, mức độ cải thiện có sự khác biệt giữa các nghiên cứu, phụ thuộc vào điều kiện vật liệu, khí hậu, tải trọng, loại lưới sử dụng, vị trí đặt lưới trong kết cấu và điều kiện dính bám tại bề mặt tiếp xúc giữa các lớp.

Tại Việt Nam, mặc dù đã có một số nghiên cứu và ứng dụng thực tế bước đầu, các nghiên cứu này mới chủ yếu dừng ở phân tích lý thuyết kết hợp thực nghiệm quy mô nhỏ. Việt Nam hiện còn thiếu cơ sở dữ liệu thực nghiệm định lượng đối với các loại vật liệu và khí hậu trong nước, thiếu các đoạn thử nghiệm hiện trường được theo dõi dài hạn và chưa có tiêu chuẩn thiết kế, thi công và nghiệm thu riêng cho kết cấu áo đường gia cường lưới địa kỹ thuật. Việc triển khai đồng bộ các hướng nghiên cứu đã đề xuất ở trên sẽ là cơ sở quan trọng để tiến tới ứng dụng rộng rãi và hiệu quả công nghệ gia cường mặt đường BTN bằng lưới địa kỹ thuật vào thực tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] R. Haas. Structural behaviour of Tensar reinforced pavements and some field applications, in Polymer grid reinforcement, Emerald Publishing Limited, 1984, doi: 10.1680/pgpr.02425.0029.
- [2] G. J. A. Kennepohl and N. I. Kamel. Construction of Tensar reinforced asphalt pavements, in Polymer grid reinforcement, Emerald Publishing Limited, 1984, doi: 10.1680/pgpr.02425.0030.
- [3] Z. Wang, G. Yang, X. Wang, X. Liang, M. Liu and H. Zhang. Study on Low Temperature Cracking Resistance of Carbon Fiber Geogrid Reinforced Asphalt Pavement Surface Combined Body. Polymers (Basel), vol. 16, no. 15, p. 2168, Jul. 2024, doi: 10.3390/polym16152168.
- [4] A. Zofka, M. Maliszewski and D. Maliszewska. Glass and carbon geogrid reinforcement of asphalt mixtures. Road Materials and Pavement Design, vol. 18, no. sup1, pp. 471-490, Jan. 2017, doi: 10.1080/14680629.2016.1266775.
- [5] S.-L. Wang, D. Wang, S. Tighe, S. Bhat and S. Yin. Investigation of Rutting Performance in Geogrid-Reinforced Asphalt by Penetration Test. Materials, vol. 16, no. 22, p. 7221, Nov. 2023, doi: 10.3390/ma16227221.
- [6] E. Pasquini, M. Pasetto and F. Canestrari. Geocomposites against reflective cracking in asphalt pavements: laboratory simulation of a field application. Road Materials and Pavement Design, vol. 16, no. 4, pp. 815-835, Oct. 2015, doi: 10.1080/14680629.2015.1044558.
- [7] N. Sudarsanan, A. Arulrajah, R. Karpurapu and V. Amrithalingam. Fatigue Performance of Geosynthetic-Reinforced Asphalt Concrete Beams. Journal of Materials in Civil Engineering, vol. 32, no. 8, Aug. 2020, doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003267.
- [8] P. Jaskula, D. Rys, M. Stienss, C. Szydowski, M. Golos and J. Kawalec. Fatigue Performance of Double-Layered Asphalt Concrete Beams Reinforced with New Type of Geocomposites. Materials, vol. 14, no. 9, p. 2190, Apr. 2021, doi: 10.3390/ma14092190.
- [9] D. Ragni, F. Canestrari, F. Allou, C. Petit and A. Millien. Shear-Torque Fatigue Performance of Geogrid-Reinforced Asphalt Interlayers. Sustainability, vol. 12, no. 11, p. 4381, May 2020, doi: 10.3390/su12114381.
- [10] H. I. Ling and Z. Liu. Performance of Geosynthetic-Reinforced Asphalt Pavements. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, vol. 127, no. 2, pp. 177-184, Feb. 2001, doi: 10.1061/(ASCE)1090-0241(2001)127:2(177).
- [11] V. V. Kumar and S. Saride. Evaluation of cracking resistance potential of geosynthetic reinforced asphalt overlays using direct tensile strength test. Constr. Build. Mater., vol. 162, pp. 37-47, Feb. 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.11.158.
- [12] T. L. J. Wasage, G. P. Ong, T. F. Fwa and S. A. Tan. Laboratory evaluation of rutting resistance of geosynthetics reinforced asphalt pavement. Journal of The Institution of Engineers, Singapore, vol. 1, no. 2, pp. 29-44, 2004.
- [13] H. Wu, B. Huang, X. Shu and S. Zhao. Evaluation of geogrid reinforcement effects on unbound granular pavement base courses using loaded wheel tester. Geotextiles and Geomembranes, vol. 43, no. 5, pp. 462-469, Oct. 2015, doi: 10.1016/j.geotexmem.2015.04.014.
- [14] N. S. Correia, E. R. Esquivel and J. G. Zornberg. Finite-Element Evaluations of Geogrid-Reinforced Asphalt Overlays over Flexible Pavements. Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements, vol. 144, no. 2, p. 04018020, Jun. 2018, doi: 10.1061/JPEODX.0000043.
- [15] N. S. Correia and J. G. Zornberg. Mechanical response of flexible pavements enhanced with geogrid-reinforced asphalt overlays. Geosynth. Int., vol. 23, no. 3, pp. 183-193, Dec. 2015, doi: 10.1680/JGEIN.15.00041.
- [16] N. S. Correia and J. G. Zornberg. Strain distribution along geogrid-reinforced asphalt overlays under traffic loading. Geotextiles and Geomembranes, vol. 46, no. 1, pp. 111-120, Feb. 2018, doi: 10.1016/j.geotexmem.2017.10.002.
- [17] H. Alimohammadi, J. Zheng, V. R. Schaefer, J. Siekmeier and R. Velasquez. Evaluation of geogrid reinforcement of flexible pavement performance: A review of large-scale laboratory studies. Transportation Geotechnics, vol. 27, p. 100471, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.trgeo.2020.100471.
- [18] Nguyễn Văn Hùng và Nguyễn Văn Long. Đánh giá khả năng sử dụng lưới địa kỹ thuật để gia cường mặt đường BTN trong điều kiện Việt Nam. Tạp chí Giao thông vận tải, số tháng 09, tr. 43-46, 2019.
- [19] Trần Nam Hưng. Phân tích tác dụng tăng cường của lưới cốt sợi thủy tinh trong mặt đường hỗn hợp nhằm hạn chế nứt phản ánh. Tạp chí Giao thông vận tải, số tháng 6, tr. 56-59, 2024.
- [20] Lê Văn Bách. Nghiên cứu sử dụng vật liệu lưới sợi thủy tinh và lưới sợi cacbon để hạn chế vết hằn bánh xe cho mặt đường BTN. Kỷ yếu Hội thảo quốc tế tăng cường hợp tác trong nghiên cứu và đào tạo cho phát triển giao thông bền vững, TP.HCM, 2015.
- [21] Lê Văn Chung. Lưới cốt sợi thủy tinh gia cường mặt đường BTN khi cải tạo mặt đường bê tông xi măng tại huyện Ba Vì, TP Hà Nội. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Trường Đại học Xây dựng Miền Tây, số 13, tr. 13-19, 6/2025, doi: 10.66195/mtu.2025.13.093.

Phương pháp luận tính lượng giảm phát thải khí nhà kính của tuyến đường sắt đô thị Cát Linh - Hà Đông so với sử dụng phương tiện cá nhân tại Hà Nội

Methodology for quantifying greenhouse gas emission reductions of the Cat Linh - Ha Dong metro compared with the use of private vehicles in Hanoi

> TS VŨ HỒNG TRƯỜNG, TS THẠCH MINH QUÂN*, PGS.TS NGUYỄN HỒNG THÁI

Trường Đại học Giao thông vận tải

*Email: thachquan@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Trong bối cảnh Hà Nội đang phải đối mặt với sự gia tăng nhanh chóng của phương tiện giao thông cá nhân, ùn tắc giao thông và phát thải khí nhà kính (KNK) ngày càng lớn, phát triển hệ thống đường sắt đô thị được xem là giải pháp trọng tâm nhằm thúc đẩy chuyển đổi phương thức đi lại theo hướng phát thải thấp và bền vững. Nghiên cứu này ước tính mức giảm phát thải KNK của tuyến đường sắt đô thị Cát Linh - Hà Đông thông qua so sánh với kịch bản giả định hành khách tiếp tục sử dụng phương tiện cá nhân, chủ yếu là xe máy và ô tô con.

Kết quả nghiên cứu cung cấp bằng chứng định lượng quan trọng, khẳng định vai trò của đường sắt đô thị trong thực hiện Đóng góp do quốc gia tự quyết định (NDC) và mục tiêu phát thải ròng bằng "0" vào năm 2050 của Việt Nam.

Từ khóa: Đường sắt đô thị; phát thải khí nhà kính; chuyển đổi phương thức; Cát Linh - Hà Đông; Net Zero 2050.

ABSTRACT

As Hanoi faces a rapid increase in private vehicle ownership, worsening traffic congestion, and rising greenhouse gas (GHG) emissions, the development of an urban railway system has been recognized as a key solution for promoting a shift toward low-emission and sustainable transportation. This study estimates the greenhouse gas (GHG) emission reductions achieved by the Cat Linh - Ha Dong Urban Railway Line by comparing its operation with a hypothetical scenario in which passengers continue to use private vehicles, primarily motorcycles and passenger cars.

The findings provide important quantitative evidence confirming the role of urban railways in supporting the implementation of Vietnam's Nationally Determined Contributions (NDCs) and its commitment to achieving net-zero emissions by 2050.

Keywords: Urban railway; greenhouse gas (GHG) emissions; modal shift; Cat Linh - Ha Dong; Net Zero 2050.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Giao thông vận tải là một trong những lĩnh vực phát thải KNK lớn nhất tại Việt Nam, đặc biệt tại các đô thị lớn như Hà Nội. Theo kiểm kê KNK quốc gia, phát thải từ giao thông chiếm khoảng 18 - 20% tổng phát thải KNK của cả nước, trong đó giao thông đường bộ đóng góp trên 80%. Đặc trưng nổi bật của Hà Nội là tỷ lệ sử dụng xe máy rất cao, cùng với xu hướng gia tăng nhanh của ô tô cá nhân, dẫn đến tiêu thụ nhiên liệu hóa thạch lớn và phát thải CO₂ ngày càng tăng.

Trong bối cảnh đó, phát triển hệ thống đường sắt đô thị được Hà Nội xác định là trụ cột của chiến lược giao thông bền vững. Tuyến Cát Linh - Hà Đông là tuyến metro đầu tiên được đưa vào khai thác

thương mại, có ý nghĩa đặc biệt quan trọng cả về kỹ thuật, vận hành và tác động môi trường.

Tuy nhiên, các đánh giá định lượng về lợi ích giảm phát thải KNK của tuyến này còn hạn chế, đặc biệt là các nghiên cứu gắn với phương pháp luận chuẩn hóa theo yêu cầu MRV và liên hệ trực tiếp với mục tiêu NDC và Net Zero 2050. Nghiên cứu này được thực hiện nhằm lấp đầy khoảng trống đó.

2. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU VÀ CƠ SỞ PHƯƠNG PHÁP LUẬN

2.1. Tổng quan các nghiên cứu về giảm phát thải của đường sắt đô thị

Nhiều nghiên cứu quốc tế đã khẳng định vai trò then chốt của hệ thống đường sắt đô thị và vận tải khối lượng lớn sử dụng điện trong việc giảm phát thải KNK của lĩnh vực giao thông, đặc biệt tại các đô thị có mật độ dân cư cao và tỷ lệ sử dụng phương tiện cá nhân lớn. Kết quả tổng hợp từ các nghiên cứu tại châu Á, châu Âu và Bắc Mỹ cho thấy, phát thải CO₂ trên mỗi hành khách-km của đường sắt đô thị thường thấp hơn từ 40% đến trên 70% so với giao thông đường bộ cá nhân, bao gồm xe máy và ô tô con.

Sự khác biệt về mức độ giảm phát thải giữa các nghiên cứu chủ yếu xuất phát từ 3 nhóm yếu tố chính. Thứ nhất là cơ cấu phương tiện bị thay thế trong quá trình chuyển đổi phương thức đi lại. Trong các đô thị mà metro chủ yếu thay thế ô tô con cá nhân, mức giảm phát thải đạt giá trị cao do ô tô có cường độ phát thải lớn trên mỗi hành khách-km. Ngược lại, tại các đô thị có tỷ lệ xe máy cao, mức giảm phát thải tuyệt đối có thể thấp hơn, song vẫn đạt hiệu quả đáng kể nhờ hiệu suất năng lượng vượt trội của vận tải đường sắt.

Thứ hai là hệ số tải hành khách (load factor) của hệ thống đường sắt đô thị. Phát thải tính trên mỗi hành khách-km của metro giảm mạnh khi sản lượng vận chuyển tăng và tiệm cận công suất thiết kế. Do đó, nhiều nghiên cứu ghi nhận rằng hiệu quả giảm phát thải của metro thường gia tăng theo thời gian, khi hành vi đi lại của người dân dần ổn định và mạng lưới giao thông công cộng được hoàn thiện.

Thứ ba là cơ cấu nguồn điện cung cấp cho vận hành đường sắt đô thị. Tại các quốc gia có tỷ trọng điện tái tạo cao, phát thải gián tiếp từ metro ở mức rất thấp, giúp gia tăng đáng kể lợi ích giảm phát thải so với giao thông đường bộ sử dụng nhiên liệu hóa thạch. Ngay cả trong trường hợp lưới điện còn phụ thuộc vào nhiệt điện than, nhiều nghiên cứu vẫn cho thấy metro có lợi thế phát thải rõ rệt nhờ hiệu suất chuyển đổi năng lượng cao và khả năng vận chuyển khối lượng lớn hành khách.

Các kết quả này đặc biệt phù hợp với bối cảnh các đô thị châu Á đang phát triển, nơi giao thông đường bộ cá nhân chiếm ưu thế và phát thải CO₂ trên mỗi hành khách-km ở mức cao. Thực nghiệm tại Bangkok, Jakarta, Manila và Bắc Kinh cho thấy metro có thể giúp giảm từ 50 - 65% phát thải CO₂ trên mỗi hành khách-km ngay trong giai đoạn đầu vận hành, đồng thời tạo nền tảng cho giảm phát thải sâu hơn trong dài hạn.

Để tính toán lượng phát thải KNK phương pháp được sử dụng rộng rãi hiện nay là căn cứ vào Hướng dẫn của IPCC về Kiểm kê KNK

Quốc gia. Đây là bộ tiêu chuẩn phương pháp luận do Ủy ban Liên chính phủ về Biến đổi Khí hậu phát hành. Ý nghĩa cốt lõi của bộ tài liệu này là cung cấp hệ thống đo lường minh bạch, chuẩn hóa và thống nhất toàn cầu để các quốc gia định lượng phát thải; thực hiện cam kết quốc tế và lập chiến lược giảm phát thải [1].

2.2. Các khung phương pháp luận đánh giá phát thải trong lĩnh vực giao thông đô thị

Về phương pháp luận, các khung đánh giá phát thải KNK trong lĩnh vực giao thông đô thị được quốc tế công nhận đều dựa trên nguyên tắc so sánh giữa kịch bản cơ sở ("không có dự án") và kịch bản dự án ("có dự án"), trong đó trọng tâm là tác động của chuyển đổi phương thức đi lại (modal shift) trong giai đoạn vận hành.

Phương pháp CDM - ACM0016 do UNFCCC ban hành được thiết kế cho các dự án vận tải khối lượng lớn, trong đó phát thải giảm được xác định thông qua việc ước tính số hành khách-km chuyển dịch từ phương tiện đường bộ sang hệ thống vận tải công cộng. Phương pháp này yêu cầu dữ liệu chi tiết về hành vi hành khách, cơ cấu phương tiện bị thay thế và hệ số tải theo thời gian, nhằm đảm bảo tính chính xác và khả năng thẩm tra cao [2].

Phương pháp JCM/BOCM do Bộ Môi trường Nhật Bản phát triển hướng tới mục tiêu đơn giản hóa tính toán và tăng khả năng áp dụng thực tiễn, đặc biệt tại các nước đang phát triển. Khung phương pháp này cho phép sử dụng các hệ số phát thải mặc định và tập trung vào phát thải trực tiếp và gián tiếp trong giai đoạn vận hành, đồng thời giảm yêu cầu về dữ liệu khảo sát hành vi chi tiết [3].

Bên cạnh đó, sổ tay MRV của JICA và UNDP được xây dựng nhằm hỗ trợ các quốc gia đang phát triển thiết kế, đo đạc, báo cáo và thẩm tra các hành động giảm nhẹ trong lĩnh vực giao thông. Các tài liệu này nhấn mạnh tính khả thi trong thu thập dữ liệu, tính minh bạch của phương pháp và khả năng tích hợp kết quả vào hệ thống kiểm kê KNK và báo cáo NDC [4, 5].

Để lựa chọn phương pháp phù hợp cho việc ước tính giảm phát thải KNK của tuyến đường sắt đô thị Cát Linh - Hà Đông, nghiên cứu tiến hành so sánh các khung phương pháp luận quốc tế được áp dụng phổ biến trong lĩnh vực giao thông đô thị. Ba nhóm phương pháp tiêu biểu bao gồm phương pháp CDM (ACM0016), cơ chế JCM/BOCM của Nhật Bản và sổ tay MRV do JICA và UNDP xây dựng. Kết quả so sánh được tổng hợp trong Bảng 1.

Bảng 1. So sánh các khung phương pháp đánh giá phát thải KNK trong giao thông đô thị

TT	Tên phương pháp	Nội dung cốt lõi	Ưu điểm	Hạn chế	Điều kiện áp dụng phù hợp
1	CDM - ACM0016 (UNFCCC)	So sánh phát thải giữa kịch bản cơ sở và kịch bản dự án thông qua ước tính hành khách-km chuyển dịch từ giao thông đường bộ sang hệ thống vận tải khối lượng lớn	Phương pháp chuẩn hóa cao; được quốc tế công nhận; phù hợp cho đăng ký tín chỉ carbon	Yêu cầu dữ liệu rất chi tiết về hành vi hành khách, cơ cấu phương tiện bị thay thế và hệ số tải theo thời gian; chi phí triển khai cao	Các dự án lớn, có mục tiêu tạo tín chỉ carbon quốc tế, hệ thống dữ liệu hoàn chỉnh
2	JCM/BOCM (Nhật Bản)	Ước tính giảm phát thải dựa trên so sánh phát thải vận hành, sử dụng hệ số phát thải mặc định và giả định đơn giản hóa	Đơn giản hơn CDM; dễ áp dụng; giảm yêu cầu dữ liệu	Độ chi tiết và khả năng phản ánh hành vi chuyển đổi phương thức hạn chế; chủ yếu phục vụ hợp tác song phương	Các dự án hợp tác quốc tế, đặc biệt trong khuôn khổ hỗ trợ kỹ thuật - tài chính của Nhật Bản
3	MRV JICA	Đo đạc phát thải dựa trên hành khách-km, hệ số phát thải đại diện và so sánh hai kịch bản có/không có dự án	Phù hợp với điều kiện các nước đang phát triển; cân bằng giữa tính khoa học và tính khả thi	Không tính đầy đủ các tác động gián tiếp như giảm ùn tắc; độ chính xác phụ thuộc vào giả định	Hoạch định chính sách, đánh giá dự án giao thông đô thị, xây dựng NAMA/NDC

4	MRV UNDP	Khung MRV linh hoạt, tập trung vào tính minh bạch, khả năng báo cáo và tích hợp vào kiểm kê quốc gia	Dễ tích hợp vào hệ thống NDC; hỗ trợ lập báo cáo cấp quốc gia và đô thị	Ít chi tiết hơn CDM; không nhằm mục tiêu tạo tín chỉ carbon	Đánh giá đóng góp giảm phát thải của các hành động cấp ngành, cấp địa phương
---	----------	--	---	---	--

Trên cơ sở so sánh, có thể thấy các phương pháp CDM và JCM có ưu thế về tính chuẩn hóa và khả năng liên kết với cơ chế thị trường carbon, song đòi hỏi hệ thống dữ liệu chi tiết và chi phí triển khai cao. Trong khi đó, các khung MRV của JICA và UNDP hướng tới mục tiêu hỗ trợ hoạch định chính sách và đánh giá hành động giảm nhẹ, với yêu cầu dữ liệu phù hợp hơn đối với các đô thị đang phát triển như Hà Nội. Do đó, nghiên cứu này lựa chọn cách tiếp cận đơn giản hóa theo hướng dẫn của JICA/UNDP để ước tính giảm phát thải của tuyến Cát Linh - Hà Đông, bảo đảm tính khả thi, minh bạch và khả năng tích hợp vào hệ thống MRV và NDC của Việt Nam.

3. PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN PHÁT THẢI

3.1. Phạm vi và kịch bản phân tích

Nghiên cứu tập trung vào giai đoạn vận hành của tuyến Cát Linh - Hà Đông; không xem xét phát thải trong giai đoạn xây dựng. Hai kịch bản được phân tích gồm:

- Kịch bản cơ sở: Hành khách sử dụng phương tiện cá nhân (xe máy và ô tô con).
- Kịch bản dự án: Hành khách sử dụng tuyến đường sắt đô thị Cát Linh - Hà Đông.

3.2. Phương pháp tính toán phát thải

Phương pháp nghiên cứu được xây dựng trên cơ sở các khung đo đạc - báo cáo - thẩm tra (Measurement, Reporting and Verification - MRV) quốc tế như CDM (ACM0016), JCM/BOCM của Nhật Bản, số tay MRV của JICA và UNDP, đồng thời được điều chỉnh phù hợp với điều kiện giao thông đô thị và hệ số phát thải đặc thù của Hà Nội. Kết quả cho thấy phát thải CO₂ của đường sắt đô thị thấp hơn khoảng 60 - 65% trên mỗi hành khách-km so với phương tiện cá nhân. Với quy mô vận chuyển hiện tại, tuyến Cát Linh - Hà Đông giúp giảm khoảng 4.900 - 5.000 tấn CO₂ mỗi năm. Tiềm năng này sẽ tăng đáng kể khi sản lượng vận chuyển tiệm cận công suất thiết kế.

Lượng phát thải CO₂ được xác định theo công thức:

$$CO_2 = PKM \times EF$$

Trong đó:

Nguồn: Tổng hợp từ UNFCCC, JCM Secretariat, JICA và UNDP.

- PKM là tổng số hành khách-km;

- EF là hệ số phát thải (kgCO₂/hành khách-km).

Mức giảm phát thải được xác định bằng chênh lệch phát thải giữa hai kịch bản.

3.3. Dữ liệu đầu vào và kết quả tính toán

Dữ liệu đầu vào cho nghiên cứu được tổng hợp chủ yếu từ các báo cáo vận hành thực tế của tuyến đường sắt đô thị Cát Linh - Hà Đông trong giai đoạn khai thác thương mại gần đây, kết hợp với các hệ số phát thải được kế thừa từ các nghiên cứu của JICA, UNDP và các tài liệu chính sách quốc gia liên quan đến kiểm kê KNK trong lĩnh vực giao thông. Các tham số này được rà soát và điều chỉnh nhằm phản ánh sát điều kiện giao thông đô thị, cơ cấu phương tiện và mức độ sử dụng năng lượng tại Hà Nội.

Lưu lượng hành khách trung bình của tuyến hiện đạt khoảng 32.900 lượt/ngày, thấp hơn đáng kể so với công suất thiết kế, song được xem là đại diện cho trạng thái vận hành thực tế hiện nay. Cụ lý đi lại trung bình của hành khách được giả định là 7,5 km/chuyến, căn cứ vào chiều dài tuyến (13,05 km) và phân bố điểm lên - xuống của hành khách dọc tuyến. Trên cơ sở đó, tổng sản lượng vận chuyển được ước tính khoảng 90,1 triệu hành khách-km/năm.

Đối với kịch bản cơ sở, nghiên cứu giả định toàn bộ hành khách của tuyến metro trong kịch bản "có dự án" sẽ tiếp tục sử dụng phương tiện cá nhân trong trường hợp tuyến không tồn tại. Cơ cấu phương tiện cá nhân được đơn giản hóa thành hai nhóm chính là xe máy và ô tô con, phù hợp với đặc trưng giao thông đô thị Hà Nội. Hệ số phát thải bình quân cho phương tiện cá nhân được xác định là 0,085 kgCO₂/hành khách-km, phản ánh tỷ trọng chiếm ưu thế của xe máy cùng với sự gia tăng nhanh của ô tô cá nhân trong những năm gần đây. Đối với phương án đường sắt đô thị, hệ số phát thải được xác định là 0,030 kgCO₂/hành khách-km, dựa trên mức tiêu thụ điện năng thực tế của hệ thống metro và hệ số phát thải lưới điện quốc gia.

Trên cơ sở các giả định và dữ liệu đầu vào nêu trên, kết quả so sánh phát thải KNK giữa hai phương án đi lại được tổng hợp trong Bảng 2.

Bảng 2. So sánh phát thải KNK giữa hai phương án đi lại tại tuyến Cát Linh - Hà Đông

Chỉ tiêu	Đơn vị	Phương án cơ sở: Phương tiện cá nhân	Phương án: Đường sắt đô thị
Chiều dài tuyến	Km		13,05
Lượt hành khách trung bình	Lượt/ngày	32.900	32.900
Cụ lý đi lại trung bình	Km/chuyến	7,5	7,5
Tổng hành khách - Km	hk-Km/năm	90,1 triệu	90,1 triệu
Hệ số phát thải	kgCO ₂ /hk-km	0,085 (bình quân xe máy & ô tô)	0,030
Phát thải CO ₂	tCO ₂ /năm	≈ 7.660	≈ 2.700
Mức giảm phát thải	tCO ₂ /năm	-	≈ 4.960 (↓ 64,8%)

Nguồn: Tính toán của tác giả.

Kết quả ước tính cho thấy, trong điều kiện vận hành hiện nay, tuyến Cát Linh - Hà Đông giúp giảm khoảng 4.960 tCO₂ mỗi năm so với kịch bản hành khách tiếp tục sử dụng phương tiện cá nhân. Mặc dù tổng lượng giảm phát thải tuyệt đối còn khiêm tốn so với tiềm năng thiết kế của tuyến, song hiệu quả giảm phát thải trên đơn vị vận chuyển là rất rõ ràng. Cụ thể, phát thải CO₂ trên mỗi hành khách-km của đường sắt đô thị chỉ bằng khoảng 35% so với phương án sử dụng phương tiện cá nhân, tương đương mức giảm gần 65%.

Kết quả này phù hợp với các bằng chứng thực nghiệm tại nhiều đô thị lớn ở châu Á như Bắc Kinh, Seoul, Bangkok và Jakarta, nơi các tuyến metro trong giai đoạn đầu khai thác đều cho thấy hiệu quả môi trường cao trên mỗi hành khách-km nhưng mức giảm phát thải tuyệt đối còn hạn chế do lưu lượng chưa đạt công suất thiết kế và mạng lưới kết nối chưa hoàn chỉnh. Đối với tuyến Cát Linh - Hà Đông, các yếu tố như phạm vi phục vụ còn hẹp, mức độ tích hợp với hệ thống xe buýt và không gian đô thị định hướng giao thông công

cộng (TOD) còn hạn chế đã làm giảm khả năng thu hút hành khách tiềm năng từ phương tiện cá nhân.

Tuy nhiên, xét trong chu kỳ vận hành dài hạn, hiệu quả môi trường của tuyến đường sắt đô thị được kỳ vọng sẽ gia tăng đáng kể nhờ 3 yếu tố chính. Thứ nhất, sản lượng vận chuyển có xu hướng tăng dần theo thời gian khi hành vi đi lại của người dân thay đổi và mạng lưới metro Hà Nội từng bước được mở rộng. Thứ hai, cơ cấu nguồn điện quốc gia đang dịch chuyển theo hướng giảm cường độ carbon, với tỷ trọng năng lượng tái tạo ngày càng tăng, sẽ trực tiếp làm giảm hệ số phát thải của hệ thống metro điện. Thứ ba, sự phát triển các khu đô thị định hướng giao thông công cộng dọc tuyến sẽ tạo hiệu ứng cộng hưởng, thúc đẩy nhu cầu sử dụng vận tải khối lượng lớn và giảm sự phụ thuộc vào phương tiện cá nhân.

Do đó, kết quả nghiên cứu cho thấy việc đánh giá hiệu quả môi trường của đường sắt đô thị không nên chỉ dựa trên mức giảm phát thải tuyệt đối trong ngắn hạn, mà cần được đặt trong bối cảnh động học dài hạn của hệ thống giao thông đô thị và quá trình chuyển dịch năng lượng, trong đó metro đóng vai trò là hạ tầng nền tảng cho tăng trưởng phát thải thấp và phát triển bền vững.

4. HÀM Ý CHÍNH SÁCH ĐỐI VỚI NDC VÀ MỤC TIÊU NET ZERO 2050

Từ góc độ chính sách khí hậu, kết quả nghiên cứu khẳng định đường sắt đô thị, tiêu biểu là tuyến Cát Linh - Hà Đông, là một hành động giảm nhẹ phát thải có thể đo đạc, báo cáo và thẩm tra (MRV), phù hợp với yêu cầu kỹ thuật của các cam kết quốc gia về biến đổi khí hậu. Việc ước tính phát thải dựa trên chỉ tiêu hành khách-km và hệ số phát thải chuẩn hóa cho phép tích hợp trực tiếp các dự án metro vào hệ thống kiểm kê KNK ngành Giao thông vận tải.

Trong khuôn khổ Đóng góp do quốc gia tự quyết định (NDC) của Việt Nam, giao thông vận tải được xác định là một trong những lĩnh vực có tiềm năng giảm phát thải lớn nhưng gặp nhiều thách thức do nhu cầu đi lại tăng nhanh. Kết quả của nghiên cứu này cho thấy các tuyến đường sắt đô thị có thể được coi là đơn vị hành động giảm nhẹ cấp đô thị, đóng góp trực tiếp vào chỉ tiêu giảm phát thải của ngành Giao thông vận tải, đặc biệt tại các đô thị đặc biệt như Hà Nội và TP.HCM [6].

Đối với mục tiêu Net Zero vào năm 2050, vai trò của đường sắt đô thị không chỉ dừng lại ở việc giảm phát thải trực tiếp trong vận hành, mà còn tạo điều kiện cho chuyển dịch cấu trúc giao thông đô thị theo hướng ít carbon, giảm nhu cầu sử dụng nhiên liệu hóa thạch và hỗ trợ hình thành lối sống đô thị bền vững. Trong bối cảnh Việt Nam đang xây dựng và vận hành thị trường carbon trong nước, các dự án metro có thể được xem xét đưa vào danh mục các dự án đủ điều kiện tạo tín chỉ carbon hoặc phân bổ hạn ngạch phát thải trong tương lai.

Từ đó, nghiên cứu gợi ý một số hàm ý chính sách quan trọng: (i) Cần lồng ghép rõ ràng các dự án đường sắt đô thị vào kế hoạch thực hiện NDC của ngành Giao thông vận tải; (ii) xây dựng khung MRV riêng cho vận tải khối lượng lớn sử dụng điện; (iii) kết nối chính sách phát triển metro với chính sách năng lượng tái tạo nhằm tối đa hóa lợi ích giảm phát thải trong dài hạn.

5. KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN NGHIÊN CỨU

- Kết luận:

Nghiên cứu khẳng định tuyến đường sắt đô thị Cát Linh - Hà Đông mang lại lợi ích đáng kể về giảm phát thải KNK so với phương tiện cá nhân, ngay cả trong điều kiện khai thác hiện nay. Đây là cơ sở khoa học quan trọng để tiếp tục mở rộng mạng lưới metro tại Hà Nội và tăng cường vai trò của giao thông công cộng trong chiến lược tăng trưởng xanh và trung hòa carbon của Việt Nam.

- Hàm ý nghiên cứu và triển vọng phát triển:

Nghiên cứu này cung cấp bằng chứng định lượng ban đầu về hiệu quả giảm phát thải của tuyến Cát Linh - Hà Đông, song vẫn tồn tại một số hạn chế cần được xem xét trong các nghiên cứu tiếp theo. Thứ nhất, phân tích mới tập trung vào giai đoạn vận hành và chưa tính đến phát thải vòng đời (LCA) trong xây dựng, bảo trì và thay thế thiết bị. Thứ hai, giả định toàn bộ hành khách metro chuyển dịch từ phương tiện cá nhân có thể dẫn đến sai lệch nhất định so với hành vi đi lại thực tế.

Trong tương lai, các nghiên cứu có thể mở rộng theo hướng: (i) Đánh giá phát thải vòng đời đầy đủ của hệ thống đường sắt đô thị; (ii) xây dựng các kịch bản tăng trưởng hành khách gắn với phát triển TOD; (iii) phân tích tích hợp giữa giao thông - năng lượng - sử dụng đất để lượng hóa đầy đủ đóng góp của metro đối với mục tiêu Net Zero 2050 của Việt Nam.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Giao thông vận tải (ĐH GTVT) trong Đề tài mã số T2026-KT-001TD.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2006. Internet: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/support/Primer_2006GLs.pdf (truy cập: tháng 6/2026).
- [2] UNFCCC. ACM0016: Mass Rapid Transit Projects, 2012. Internet: <https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/843N43AMQABLW2JVKINQ91F50B9UNC> (truy cập: tháng 6/2026).
- [3] Ministry of the Environment Japan. JCM Methodology for Transport Sector, 05 May 2022. Internet: <https://www.jcm.go.jp/jc/methodologies/vn-pm027/> (truy cập: tháng 6/2026).
- [4] JICA. MRV Handbook for Urban Transport NAMAs, 2014. Internet: <https://changing-transport.org/publications/navigating-transport-namas/> (truy cập: tháng 6/2026).
- [5] UNDP Vietnam, measurement, reporting and verification (MRV), 2018. Internet: <https://www.undclearn.org/wp-content/uploads/library/undp-lecb-measurement-reporting-mrv-technical-paper-201x.pdf> (truy cập: tháng 06/2026).
- [6] NDC đóng góp do quốc gia tự quyết định, 2022. Internet: https://vepg.vn/wp-content/uploads/2025/05/NDC-2022_VIE_web.pdf (truy cập: tháng 6/2026).

Giải pháp kiểm soát vi khí hậu và hạ tầng không gian đệm cho di tích kiến trúc gỗ ven biển Nghệ An

Solutions for microclimate control and buffer-zone technical infrastructure for coastal timber architectural heritage in Nghe An

> CN LÊ THỊ TƯƠI¹, TS NGUYỄN THU HUYỀN^{2,*}, THS NGUYỄN THỊ HỒNG HƯƠNG²

¹Viện Bảo tồn di tích

²Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

*Email: nthuyen.mt@hunre.edu.vn

TÓM TẮT

Trên cơ sở dữ liệu khảo sát hiện trạng và các dạng suy thoái vật liệu gỗ, bài báo đề xuất hệ thống giải pháp bảo quản phòng ngừa ở hai cấp độ: (i) Kiểm soát vi khí hậu nội điện kết hợp củng cố bề mặt cấu kiện tại chỗ; (ii) cải thiện hạ tầng kỹ thuật, thoát nước và cảnh quan sinh thái không gian đệm. Giải pháp vi khí hậu ưu tiên hạn chế dao động nhiệt - ẩm, giảm thời gian lưu ẩm bề mặt, kiểm soát nguồn nước và mức độ phơi nhiễm bức xạ; các xử lý hóa bảo quản chỉ được xem xét sau khi thử nghiệm tính tương thích với vật liệu gốc. Ở khu vực bên ngoài, hệ thống thoát nước, vật liệu lát thấm nước, dải cây xanh bản địa và giải pháp bảo vệ bờ được lựa chọn theo điều kiện cụ thể nhằm giảm mưa hắt, ẩm nền, gió mạnh, cát bay và sự lắng đọng sol khí biển. Cách tiếp cận này hướng tới bảo lưu tối đa yếu tố gốc, can thiệp tối thiểu, tăng khả năng theo dõi - bảo trì và giảm nhu cầu hạ giải quy mô lớn, qua đó nâng cao tính bền vững của di tích kiến trúc gỗ trước tác động của khí hậu ven biển.

Từ khóa: Bảo quản phòng ngừa; vi khí hậu; cấu kiện gỗ; củng cố tại chỗ; hạ tầng kỹ thuật; Nghệ An.

ABSTRACT

Based on field data on deterioration of timber elements at selected coastal heritage sites, this paper proposes a two-level preventive conservation framework: (i) Indoor microclimate control combined with in-situ consolidation of deteriorated timber surfaces and (ii) improvement of drainage, technical infrastructure and ecological buffer-space measures. Microclimate management focuses on limiting rapid temperature-humidity fluctuations, reducing surface wetness duration, controlling moisture sources and moderating solar exposure; chemical conservation treatments should only be considered after compatibility testing with original materials. Outside the buildings, drainage systems, permeable paving, site-appropriate native vegetation and shoreline protection measures are selected according to local conditions to reduce wind-driven rain, ground moisture, strong winds, wind-blown sand and marine aerosol deposition. The proposed approach prioritizes maximum retention of original fabric, minimum intervention, long-term monitoring and maintenance, and reduced reliance on large-scale dismantling, thereby improving the resilience of coastal timber architectural heritage.

Keywords: Preventive conservation, microclimate; timber elements; in-situ consolidation; technical infrastructure; Nghe An.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Các di tích kiến trúc gỗ ven biển Nghệ An sử dụng hệ khung chịu lực liên kết bằng kỹ thuật mộng truyền thống, khả năng làm việc của cấu kiện phụ thuộc đồng thời vào trạng thái vật liệu và độ ổn định của các liên kết. Trong điều kiện ven biển, gió phơn Tây Nam khô nóng, bức xạ mặt trời, mưa hắt, độ ẩm cao và sol khí biển tạo nên các chu kỳ nhiệt - ẩm và ẩm - khô lặp lại. Gỗ là vật liệu hút ẩm và có tính dị hướng; quá trình hấp phụ - giải hấp hơi ẩm làm thay

đổi hàm lượng ẩm, gây trương nở - co ngót không đồng đều, từ đó hình thành ứng suất nội tại, cong vênh và nứt dọc thớ [1, 4]. Sol khí biển lắng đọng trên bề mặt và khe mộng có thể làm tăng khả năng hút ẩm cục bộ; trong điều kiện ẩm - khô luân phiên, muối hòa tan có thể hòa tan và tái kết tinh trong hệ lỗ rỗng, góp phần suy yếu lớp sơn màu và bề mặt gỗ [1, 4]. Môi trường ẩm kéo dài đồng thời tạo điều kiện cho nấm mốc, nấm gây mục và côn trùng hại gỗ phát triển. Khi suy thoái tập trung tại chân cột, đầu bẩy và các liên kết mộng,

tiết diện hữu hiệu và độ ổn định của hệ khung có thể bị suy giảm, làm tăng nguy cơ mất an toàn kết cấu [5].

Thực trạng trên cho thấy mô hình xử lý mang tính khắc phục sau khi hư hỏng đã phát triển không còn phù hợp với yêu cầu bảo tồn lâu dài. Tu bổ có hạ giải quy mô lớn thường làm tăng chi phí, kéo dài thời gian thi công và tiềm ẩn nguy cơ gây tổn thương móng, làm mất hoặc thay thế một phần vật liệu gốc, từ đó ảnh hưởng đến tính toàn vẹn của di tích. Vì vậy, cần ưu tiên các giải pháp bảo quản phòng ngừa, theo dõi trạng thái và can thiệp cục bộ trước khi hư hỏng tiến triển đến mức phải tháo dỡ hệ khung.

Trong bảo tồn di sản kiến trúc, xu hướng hiện nay nhấn mạnh bảo quản phòng ngừa và quản lý thay vì chỉ can thiệp khi xảy ra sự cố [6]. Cách tiếp cận này tập trung kiểm soát nguyên nhân gây hại, duy trì vệ sinh, bảo dưỡng định kỳ, quan trắc môi trường và phát hiện sớm biến đổi vật liệu. Hướng tiếp cận phù hợp với các nguyên tắc của Hiến chương Venice năm 1964 [7] và các văn kiện chuyên môn của ICOMOS [5], trong đó ưu tiên can thiệp tối thiểu, tôn trọng vật liệu gốc, bảo đảm tính tương thích và duy trì tính toàn vẹn của công trình. Trên cơ sở dữ liệu khảo sát về độ ẩm, muối hòa tan, biến đổi màu, suy thoái sinh học và hư hỏng kết cấu tại các di tích ven biển Nghệ An [1], nghiên cứu này đề xuất hệ thống giải pháp bảo quản, phòng ngừa theo hai cấp độ: (i) Kiểm soát vi khí hậu nội điện kết hợp củng cố vật liệu gỗ tại chỗ; (ii) cải thiện hạ tầng kỹ thuật, thoát nước và cảnh quan sinh thái ở không gian đệm. Mục tiêu là giảm tác động của môi trường, bảo lưu tối đa yếu tố gốc, hạn chế hạ giải không cần thiết và nâng cao khả năng thích ứng của di tích trước tác động của khí hậu ven biển.

2. CƠ SỞ LÝ LUẬN VÀ NGUYÊN TẮC BẢO QUẢN DI TÍCH GỖ

Bảo quản phòng ngừa là tập hợp các biện pháp gián tiếp, can thiệp tối thiểu nhằm kiểm soát môi trường và giảm thiểu tốc độ suy thoái vật liệu [5, 6]. Với các di tích kiến trúc gỗ truyền thống với hệ khung liên kết mộng phức tạp và nhạy cảm với biến động nhiệt - ẩm, việc áp dụng mô hình ứng phó sự cố (chỉ can thiệp khi cấu kiện đã mục nát hoặc suy giảm khả năng chịu lực) thường dẫn đến nhu cầu hạ giải quy mô lớn [1, 3]. Quá trình này tốn kém chi phí, tiềm ẩn rủi ro va đập kết cấu và nguy cơ làm tổn hại vật liệu gốc, ảnh hưởng trực tiếp đến tính toàn vẹn của di tích [5, 7]. Do đó, xu hướng bảo tồn hiện đại theo ICOMOS [5, 7] và các nghiên cứu chuyên ngành [2, 6] nhấn mạnh sự chuyển dịch sang bảo quản phòng ngừa dựa trên dữ liệu quan trắc [9, 11]. Cách tiếp cận này chủ động cách ly hoặc làm suy giảm tác động của độ ẩm, bức xạ UV, muối biển và nước ngầm [3, 4, 10] trước khi xuất hiện các tổn thương, đồng thời đảm bảo tính tuân thủ pháp lý về bảo trì công trình và bảo tồn di sản [8, 12].



Mùn, xơ hóa bề mặt



Sinh trưởng sinh học



Dấu vết côn trùng hại gỗ

Hình 1. Một số dạng suy thoái điển hình của cấu kiện gỗ tại khu vực nghiên cứu

Bên cạnh tác động của ẩm, kết quả phân tích dung dịch chiết bề mặt ghi nhận giá trị độ mặn trong khoảng 0,01 - 0,13% [1], cho thấy sự hiện diện của muối hòa tan trên một số cấu kiện (đền Vạn Lộc đạt 0,13%). Trong điều kiện độ ẩm tương đối cao, muối lắng đọng là chất hút ẩm thụ động, hấp thụ hơi nước từ khí quyển để tạo ra màng nước mỏng trên bề mặt gỗ, kéo dài thời gian ẩm đọng bề mặt ngay cả trong điều kiện thời tiết hanh khô. Khi môi trường chuyển sang khô nóng do tác động của gió phơn Tây Nam, dung dịch muối bị cô đặc nhanh và tái kết tinh trong hệ lỗ rỗng mao quản gỗ. Áp suất kết tinh chu kỳ lớn vượt quá giới hạn bền kéo của thớ gỗ, tạo ứng suất cục bộ, làm suy yếu lớp sơn màu, tăng độ nhám và thúc đẩy mất liên kết bề mặt dưới dạng lớp bột mùn xốp mùn [1, 4].

Để ứng phó hiệu quả với tác động môi trường khắc nghiệt vùng ven biển [1, 4] với yêu cầu mọi giải pháp kỹ thuật đề xuất đều phải tuân thủ nghiêm ngặt các nguyên tắc bảo tồn, nhóm nghiên cứu xác lập khung giải pháp can thiệp đồng bộ theo hai cấp độ không gian: Cấp độ 1 - Môi trường vi mô nội điện: Tập trung ổn định dải nhiệt - ẩm nội thất, giảm ngưng tụ và hạn chế phơi nhiễm bức xạ, mưa hắt [9, 10]; đồng thời, áp dụng kỹ thuật củng cố bề mặt tại chỗ bằng các chế phẩm phù hợp [13] đối với vùng cấu kiện bị suy thoái bề mặt trong giới hạn cho phép, nhằm bảo lưu các chi tiết chạm khắc mà không cần tháo dỡ, hạ giải hệ khung kết cấu [5, 6]. Cấp độ 2 - Môi trường không gian đệm: Kiểm soát con đường truyền dẫn và lan truyền tác nhân gây hại từ môi trường tự nhiên bên ngoài vào công trình di tích [1, 9] thông qua hạ tầng kỹ thuật (rãnh thoát nước cắt mao dẫn ẩm, vật liệu lát sàn thấm thẩm nước) và dải đệm sinh thái (thiết lập đai cây xanh bản địa chắn gió, chắn cát và giảm sol khí muối biển, kè bảo vệ bờ) [8, 12].

Nhằm đảm bảo cơ sở khoa học cho việc thiết lập các ngưỡng khống chế vi khí hậu nội điện (cấp độ 1) và cấu hình quy hoạch hạ tầng không gian đệm (cấp độ 2), nghiên cứu này kế thừa và phân tích hệ thống cơ sở dữ liệu thực nghiệm lý - hóa học (độ ẩm gỗ MC, độ lệch màu bề mặt ΔE , nồng độ muối bậm NaCl, biến thiên vi khí hậu T/RH) đã được Viện Bảo tồn di tích nghiên cứu và đánh giá [1]. Sự tích hợp giữa dữ liệu thực nghiệm hiện trạng và khung lý thuyết này là nền tảng chủ yếu để đề xuất hệ thống các giải pháp kỹ thuật.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Hiện trạng suy thoái vật liệu và nguy cơ kết cấu

Kết quả khảo sát thực địa tại các di tích kiến trúc gỗ ven biển Nghệ An thuộc đề tài của Viện Bảo tồn Di tích [1] cho thấy hư hỏng tập trung ở các cấu kiện phơi lộ ngoài trời, chân cột, ngách cửa, đầu bẩy và các vị trí thông gió - thoát ẩm hạn chế. Hàm lượng ẩm bề mặt gỗ tại các vị trí đo dao động từ 13,5% đến 20,9%. Đối chiếu với các tiêu chuẩn bảo tồn vật lý kiến trúc, độ ẩm này phần lớn đã vượt ngưỡng an toàn vật liệu (<15%) [9]. Việc độ ẩm gỗ duy trì liên tục ở mức cao (Đền thờ Nguyễn Xí đạt 20,9% và Đền Cờn Trong đạt 17,0%) tạo môi trường ẩm sinh học tối ưu, kích hoạt sự phát triển của các sợi nấm tiết enzyme ngoại bào để phân hủy cấu trúc xenluloza và lignin, làm mềm hóa vách tế bào gỗ [1, 9]. Các vị trí có hàm lượng ẩm cao hoặc duy trì ẩm kéo dài có nguy cơ gia tăng nấm mốc, nấm gây mục và suy giảm liên kết giữa các thớ gỗ, đặc biệt tại chân cột tiếp giáp chân tảng và các cấu kiện gắn nền [1, 2, 3]. Tình trạng tích ẩm kết hợp với chu kỳ ẩm - khô lặp lại có thể thúc đẩy mủn, xơ hóa bề mặt, nứt dọc thớ và làm giảm dần khả năng làm việc của cấu kiện chịu lực [1, 4]. Hình 1 minh họa một số dạng hư hỏng điển hình ghi nhận tại khu vực nghiên cứu.

Bức xạ mặt trời, đặc biệt là tia tử ngoại (UV) là tác nhân quan trọng gây quang suy thoái lớp gỗ phơi lộ. Kết quả đo màu ghi nhận độ lệch màu ΔE từ 3,99 đến 6,99 [1], phản ánh sự biến đổi màu rõ rệt giữa vùng ít suy thoái và vùng bạc màu (Đến Thượng ghi nhận đạt 6,99). Chỉ số $\Delta E > 3,0$ cho thấy sự biến đổi màu sắc đã đạt ngưỡng mắt người nhận biết rõ. Cơ chế chủ yếu liên quan đến biến đổi quang hóa: Photon năng lượng cao từ tia UV phá vỡ cấu trúc vòng thơm của lignin, tạo ra các gốc tự do phản ứng với oxy để biến đổi lignin thành các hợp chất hòa tan dễ bị nước mưa rửa trôi. Khi kết hợp với nước mưa và chu kỳ ẩm - khô, bề mặt gỗ bị bạc màu, xơ hóa và giảm độ ổn định bám dính của các lớp sơn màu truyền thống [2, 4].

Suy thoái sinh học và biến dạng cơ học có thể làm gia tăng nguy cơ mất an toàn kết cấu. Mối và các côn trùng hại gỗ hoạt động bên trong cột, tạo ra hiện tượng tiêu tâm (rỗng ruột), làm giảm đáng kể tiết diện chịu lực của cột gỗ. Cấu kiện cột từ trạng thái khối đặc chịu nén dọc trục bị chuyển đổi thành dạng hình trụ vỏ mỏng, làm suy giảm đột ngột cường độ cơ lý [1, 2]. Đồng thời, gió bão và biến động nền đất cát dễ sụt lún có thể gây chuyển vị cục bộ, làm hở hoặc xô lệch liên kết mộng vốn hoạt động dựa trên cơ chế ma sát và chốt gỗ [1, 2]. Khi các dạng hư hỏng này xuất hiện đồng thời, độ ổn định của hệ khung giảm và nguy cơ sự cố tăng lên [1, 5]. Vì vậy, dữ liệu hiện trạng định lượng cần được sử dụng làm đầu vào bắt buộc cho chương trình bảo quản phòng ngừa dựa trên quan trắc trạng thái liên tục, thay vì chỉ xử lý ứng phó khi hư hỏng đã phát triển nặng phải hạ giải toàn phần [6, 11].

3.2. Giải pháp kiểm soát vi khí hậu nội điện và củng cố cấu kiện gỗ tại chỗ

Đối với di tích kiến trúc gỗ ven biển Nghệ An, mục tiêu ưu tiên là bảo lưu yếu tố gốc, can thiệp tối thiểu và hạn chế tháo dỡ, hạ giải

Bảng 1. Định hướng kiểm soát vi khí hậu và củng cố bề mặt cấu kiện gỗ tại chỗ

Tác nhân/biểu hiện	Mục tiêu kiểm soát	Biện pháp kỹ thuật	Kết quả mong muốn
Độ ẩm tương đối không khí	- Hạn chế dao động nhanh và tránh duy trì ẩm cao kéo dài - Duy trì RH < 65%	- Thông gió có kiểm soát - Che nắng, giảm mưa hắt bằng rèm tháo lắp - Hút ẩm/điều hòa khí cần và có theo dõi	- Giảm chu kỳ hấp phụ - giải hấp hơi ẩm - Hạn chế môi trường phát sinh nấm mốc và biến dạng ẩm
Hàm lượng ẩm bề mặt gỗ	- Duy trì độ ẩm gỗ cân bằng ổn định ở dải an toàn EMC 11% - 13%	- Quan trắc độ ẩm gỗ định kỳ - Xử lý thấm đột - Cải thiện thoát nước quanh móng	- Hạn chế trương nở - co ngót cơ học - Chống nứt dọc thớ và hở mộng kết cấu
Mất liên kết/xơ hóa bề mặt	- Ổn định phần vật liệu còn lại, khôi phục độ cứng liên kết thớ xơ xốp	- Xem xét phun/quét chế phẩm củng cố VMC07 sau thử nghiệm tương thích hóa học trên vùng mẫu đại diện	- Tăng độ ổn định bề mặt, khôi phục cường độ cơ lý bề mặt, bảo lưu chi tiết chạm khắc gốc
Bức xạ UV/mưa hắt bề mặt	- Giảm phơi nhiễm trực tiếp, chống ngấm nước mưa xâm nhập	- Thiết lập tấm chắn vật lý - Xem xét phủ màng bảo vệ BQG16 (silicone vi xốp) sau khi kiểm tra khả năng thoát ẩm	- Tạo màng kỵ nước ngăn mưa ẩm nhưng vẫn đảm bảo thoáng khí của gỗ - Hạn chế quang phân hủy lignin

Song song với kiểm soát môi trường, các giải pháp xử lý hóa bảo quản chỉ nên thực hiện cục bộ tại các vùng vật liệu gỗ đã bị suy thoái và sau khi xác định rõ mục tiêu. Theo tài liệu của Viện Bảo tồn Di tích [13], chế phẩm VMC07 và BQG16 là các chế phẩm đã được nghiên cứu và ứng dụng thực tiễn cho bảo quản bề mặt gỗ. Tuy nhiên, trước khi áp dụng cần thực hiện thử nghiệm trên các vùng mẫu để đánh giá độ thấm thấu, mức độ thay đổi màu, độ bóng bề mặt, khả năng tương thích với lớp sơn hiện hữu và khả năng trao đổi ẩm tự nhiên.

Đối với bề mặt mụn, xơ hóa, mục tiêu của chất củng cố VMC07 là tăng độ liên kết và ổn định phần vật liệu còn lại, không phải tái tạo hoàn toàn tính chất cơ học ban đầu. Đối với giải pháp chống thấm nước mưa và sol khí muối, chế phẩm BQG16 được ứng dụng nhờ cơ chế hình thành lớp màng vi xốp đặc biệt có tính kỵ nước cực cao ở thể lỏng nhưng lại có tính thấm thấu hơi nước cao, đảm bảo gỗ vẫn có khả năng trao đổi ẩm tự nhiên với môi trường, ngăn ngừa hiện tượng ẩm ngưng tụ gây mục nát ruột cột.

Các chế phẩm (gốc polyme củng cố và silicone vi xốp) cần được hiệu chỉnh nồng độ theo từng chủng loại gỗ (lim, mít, kiền kiền...), bảo đảm độ sâu thấm thấu để tránh ranh giới phân lớp ứng suất nhiệt - ẩm và duy trì khả năng tái can thiệp bảo tồn trong tương lai. Với cấu kiện rỗng ruột do côn trùng tiêu tâm, kết hợp xử lý diệt trừ sinh học với giải pháp chèn lõi gỗ cùng loại hoặc gia cường kín cục bộ mà không hạ giải. Khảo sát định kỳ và quan trắc môi trường là điều kiện bắt buộc để đánh giá hiệu quả của các biện pháp trên. Các thông số nên theo dõi gồm nhiệt độ, độ ẩm tương đối không khí (RH), hàm lượng ẩm bề mặt gỗ (MC) tại vị trí đại diện, dấu hiệu thấm đột, mức độ phát triển sinh học, biến đổi màu và tình trạng liên kết mộng. Kết quả theo dõi được sử dụng để điều chỉnh tần suất vệ sinh, thông gió, hút ẩm và thời điểm tái xử lý bảo quản, qua đó hạn chế can thiệp không cần thiết và hỗ trợ bảo lưu lâu dài vật liệu gốc [9, 10, 11].

hệ khung chịu lực. Do vật liệu chịu tác động đồng thời của độ ẩm cao, mưa hắt, sol khí biển, bức xạ mặt trời và tác nhân sinh học, kiểm soát vi khí hậu nội điện cần được kết hợp đồng bộ với các biện pháp xử lý nguồn ẩm xâm nhập, vệ sinh bảo quản định kỳ và củng cố cục bộ các vùng bề mặt đã mất liên kết. Đây là hướng can thiệp ít xâm lấn nhất, phù hợp với nguyên tắc bảo quản phòng ngừa. Tuy nhiên, mọi hoạt động xử lý hóa-lý trực tiếp lên bề mặt vật liệu gốc phải được trải qua quy trình thử nghiệm nghiêm ngặt về tính tương thích, mức độ biến đổi màu sắc, khả năng trao đổi ẩm tự nhiên và khả năng giám sát dài hạn sau can thiệp [5, 7, 13].

Ở cấp độ kiểm soát môi trường, cần ưu tiên giảm nguồn xâm nhập ẩm và khống chế biên độ dao động nhanh của dải nhiệt - ẩm nội thất, thay vì áp dụng một ngưỡng độ ẩm tương đối cố định cho tất cả các di tích. Dải vận hành vi khí hậu an toàn cho từng công trình nên được xác lập cụ thể dựa trên số liệu quan trắc dài hạn tại chỗ, đặc tính vật liệu gỗ di sản, hiện trạng lớp sơn truyền thống và chế độ sử dụng công trình [9, 10]. Các biện pháp kỹ thuật bao gồm:

- Vệ sinh bề mặt bằng dụng cụ mềm và máy hút bụi phù hợp;
- Kiểm tra mái ngói, máng xối để triệt tiêu các điểm thấm đột cục bộ;
- Che nắng, giảm mưa hắt bằng giải pháp có khả năng tháo lắp;
- Tăng thông gió tự nhiên khi điều kiện ngoài trời phù hợp;
- Chỉ sử dụng thiết bị hút ẩm hoặc điều hòa khi có theo dõi để tránh thay đổi độ ẩm (RH) đột ngột.

Việc kiểm soát này giúp giảm thời gian lưu ẩm bề mặt, hạn chế các chu kỳ hấp phụ - giải hấp hơi ẩm dị hướng của gỗ và khống chế độ ẩm tương đối trong nội điện luôn đạt RH < 65% (giới hạn sinh học triệt tiêu hoàn toàn sự nảy mầm và phát triển của các bào tử nấm mốc, nấm gây mục).

3.3. Giải pháp hạ tầng kỹ thuật và cảnh quan sinh thái khu vực đệm

Bên cạnh các biện pháp tác động trực tiếp lên công trình, việc cải thiện hạ tầng kỹ thuật và cảnh quan sinh thái vùng đệm có vai trò giảm nguồn ẩm, cản gió bão, cát bay và sol khí muối trước khi các tác nhân này tiếp cận cấu kiện gỗ. Các giải pháp được thiết kế linh hoạt theo đặc điểm địa lý từng di tích và được tổng hợp tại Bảng 2.

Bảng 2. Định hướng hạ tầng kỹ thuật và cảnh quan sinh thái khu vực đệm

Nhóm giải pháp	Biện pháp cụ thể	Tác động kỹ thuật / Yêu cầu bảo tồn
Cảnh quan sinh thái	- Thiết lập vành đai cây xanh bản địa đa tầng chịu hạn, chắn mặn (phi lao, mù u, cúc tần biển...)	- Cản 30% - 50% gió bão, lọc cát bay và sol khí muối - Bố trí cách công trình 5 - 10 m tránh rễ xâm lấn móng và tàn gây đọng ẩm
Thoát nước và bề mặt	- Tổ chức rãnh thoát nước mặt kết hợp rãnh sỏi cuội rỗng chân tầng; - Lát gạch lỗ trống cỏ	- Tiêu thoát nước mưa nhanh, dẫn nước ra xa móng, triệt dòng thấm ngầm mao dẫn - Giảm phản xạ nhiệt và rung nền
Bảo vệ bờ/kè	- Kè cứng bê tông, kè rọ đá hoặc kè sinh thái tại khu vực xói lở	- Triệt tiêu năng lượng sóng, ổn định địa chất nền móng; yêu cầu đánh giá cảnh quan trước khi thi công
Giải pháp phụ trợ	- Lắp dựng tấm chắn gió cục bộ, hàng rào mềm thảo lập hướng chính	- Giảm vận tốc gió xoáy, hạn chế mài mòn vật lý hoa văn gỗ; không gây bí tắc thông gió tự nhiên

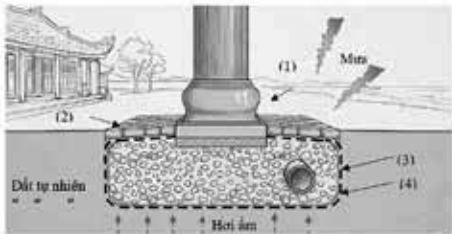
Để cắt đứt triệt để mao mạch ẩm từ nền đất lên chân tầng và cột gỗ thông qua hệ thống thu nước chân cột (Hình 2), quá trình thi công phải tuân thủ 3 nguyên tắc kỹ thuật chính sau đây để đảm bảo tính can thiệp tối thiểu và khả năng đảo ngược:

(1) Can thiệp tối thiểu vào nền đất: Chỉ đào rãnh trong phạm vi lớp đất mặt xung quanh chân tầng, tuyệt đối không đào sâu dưới cao độ đáy chân tầng để bảo toàn ổn định chịu lực cho hệ kết cấu.

(2) Sử dụng vật liệu thoát hơi: Tuyệt đối không đổ bê tông bịt kín chân tầng. Toàn bộ lớp đệm bao quanh phải sử dụng vật liệu rời có độ rỗng lớn (sỏi cuội, cát lọc) kết hợp vải địa kỹ thuật để tối ưu hóa khả năng bốc thoát ẩm tự nhiên của thớ gỗ.

(3) Đảm bảo thoát nước cưỡng bức: Nước thu được từ rãnh sỏi phải được dẫn trực tiếp ra mạng lưới thoát nước chung của khu vực di tích thông qua đường ống đục lỗ ngầm có độ dốc tự chảy và van ngăn dòng chảy ngược, tuyệt đối không để nước tích tụ hoặc dâng ngược vào chân cột khi mực nước ngầm/mưa lũ dâng cao.

Hệ thống giải pháp này cần được tích hợp chặt chẽ vào chương trình theo dõi biến động môi trường và trạng thái kết cấu dài hạn nhằm chủ động điều chỉnh kịch bản thích ứng trước các diễn biến cực đoan của biến đổi khí hậu ven biển [9, 10, 11].



1 - Chân cột; 2 - Bề mặt hoàn thiện bằng vật liệu thấm nước; 3 - Vải địa kỹ thuật ngăn bùn, nước mao dẫn; 4 - Đường ống thoát nước
Hình 2. Sơ đồ nguyên tắc bố trí hệ thu nước quanh chân cột

Để các giải pháp hạ tầng và cảnh quan phát huy hiệu quả lâu dài, cần tích hợp chúng vào kế hoạch quản lý khu vực bảo vệ di tích, kiểm soát xây dựng và bảo trì định kỳ. Hệ thống quan trắc nền bố trí nhằm theo dõi nhiệt độ - độ ẩm, hàm lượng ẩm bề mặt gỗ, tình trạng thoát nước, điểm ngập, xói lở, sinh trưởng cây xanh và các chuyển vị bất thường của hệ kết cấu. Dữ liệu theo dõi giúp xác định sớm xu thế suy thoái, ưu tiên nguồn lực đúng vị trí và điều chỉnh giải pháp theo diễn biến thực tế, phù hợp với cách tiếp cận bảo quản phòng ngừa dựa trên bằng chứng [9, 10, 11].

4. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu cho thấy bảo tồn di tích kiến trúc gỗ ven biển Nghệ An cần chuyển trọng tâm từ xử lý hư hỏng sau sự cố sang bảo

quản phòng ngừa dựa trên quan trắc trạng thái. Cơ sở dữ liệu hiện trạng ghi nhận hàm lượng ẩm bề mặt gỗ 13,5 - 20,9%, nồng độ muối bề mặt 0,01 - 0,13% và độ lệch màu ΔE 3,99 - 6,99, phản ánh sự tác động đồng thời của ẩm, muối hòa tan, bức xạ và tác nhân sinh học lên vật liệu. Trên cơ sở đó, hai nhóm giải pháp được đề xuất gồm: Kiểm soát vi khí hậu nội điện kết hợp củng cố cục bộ cấu kiện; cải thiện thoát nước, hạ tầng kỹ thuật, cảnh quan sinh thái ở không gian đệm. Việc áp dụng cần tuân thủ nguyên tắc can thiệp tối thiểu, bảo lưu tối đa yếu tố gốc, thử nghiệm tính tương thích trước xử lý trực tiếp và duy trì quan trắc sau can thiệp. Cách tiếp cận này có thể giảm nhu cầu hạ giải quy mô lớn, kéo dài thời gian sử dụng an toàn của cấu kiện gỗ và nâng cao khả năng thích ứng của di tích trước điều kiện khí hậu ven biển.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Lê Thị Tươi. Khảo sát, đánh giá sự hư hại vật liệu gỗ di tích dưới tác động của môi trường tự nhiên vùng ven biển tại các di tích khu vực Nghệ An và Hà Tĩnh. Đề tài thường xuyên, Viện Bảo tồn di tích, 2024.

[2] L. Zhang, Y. Guo and C. Yang. Degradation and Protection of Wooden Cultural Relics: A Mini Review. Coatings, vol. 15, no. 12, p. 1454, 2025, doi: 10.3390/coatings15121454.

[3] J. Geffertová, A. Geffert and M. Dudík. The importance of critical in-situ conditions for in-service performance and durability of timber structures. E3S Web of Conferences, vol. 172, p. 20006, 2020.

[4] S. Xiang, Y. Wang and J. Zhao. Microscopic damage mechanism of Chinese fir subjected to environmental aging consisting of ultraviolet irradiation, thermal-humidity cycling and salt fog. Wood Research, vol. 69, 2026, doi: 10.53502/wood-213884.

[5] ICOMOS. Principles for the Analysis, Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage, 14th General Assembly, Victoria Falls, Zimbabwe, 2003.

[6] J. Preston et al. The Effects of Conservation Treatment on Structural Timber Degradation and Microbial Communities. Journal of Cultural Heritage, vol. 48, pp. 112-120, 2021.

[7] ICOMOS. International Charter for the Conservation and Restoration of Monuments and Sites (The Venice Charter). Venice, 1964.

[8] Chính phủ Nước CHXHCN Việt Nam. Nghị định số 06/2021/NĐ-CP: Quy định chi tiết một số nội dung về quản lý chất lượng, thi công xây dựng và bảo trì công trình xây dựng, Hà Nội, 2021.

[9] J. Richards and P. Brimblecombe. Moisture as a Driver of Long-Term Threats to Timber Heritage - Part I: Changing Heritage Climatology. Heritage, vol. 5, no. 3, pp. 1929-1946, 2022.

[10] G. Grottesi, G. B. A. Coelho and D. Kranjčević. Heat and Moisture Induced Stress and Strain in Wooden Artefacts and Elements in Heritage Buildings: A Review. Applied Sciences, vol. 13, no. 12, p. 7251, 2023.

[11] F. Casarin et al. Structural Health Monitoring (SHM) and preventive conservation of historic timber structures. Construction and Building Materials, vol. 122, pp. 810-825, 2016.

[12] Quốc hội Nước CHXHCN Việt Nam. Luật Di sản Văn hóa số 28/2001/QH10 (sửa đổi, bổ sung số 32/2009/QH12), Hà Nội, 2009.

[13] Viện Bảo tồn Di tích. Nghiên cứu loại trừ và phòng chống tác nhân gây hại bề mặt gỗ di tích bằng công nghệ hóa bảo quản (chế phẩm VMCO7 và BQG16). Báo cáo đề tài KHCN cấp Bộ, Hà Nội, 2014.

Đề xuất mô hình dự báo lưu lượng giao thông cho dự án có đường chính và đường song hành ở Việt Nam

A proposed traffic forecasting model for projects with main carriageways and parallel minor roads in Vietnam

> TS VŨ MINH TÂM

Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

Email: tamvm@huce.edu.vn

TÓM TẮT

Nhiều tuyến đường đô thị và trục kết nối khu vực ở Việt Nam được quy hoạch với mặt cắt gồm đường chính và đường song hành. Tuy nhiên, trong công tác quy hoạch và tư vấn thiết kế, dự báo lưu lượng thường mới dừng ở toàn tuyến hoặc đường chính, chưa tách rõ nhu cầu sử dụng đường song hành, nơi thành phần dòng xe và tốc độ khác với đường chính. Điều này gây khó khăn khi xác định số làn xe, phân kỳ đầu tư và tổ chức giao thông. Bài báo đề xuất mô hình dự báo cấp hành lang kết hợp ma trận O-D tổng hợp, tạo tập lựa chọn tuyến, chi phí tổng quát và phân bổ riêng cho đường chính - đường song hành. Mô hình phù hợp với các tuyến qua khu đô thị mật độ cao, nơi đường song hành chủ yếu phục vụ xe máy, ô tô cá nhân, xe buýt và chuyển đi tiếp cận, còn đường chính phục vụ dòng liên vùng, xe tải và phương tiện tốc độ cao. Các khu vực có quy hoạch khu đô thị mới và các tuyến đường có đặc điểm này có thể tham khảo ứng dụng mô hình này để đối sánh với mô hình dự báo 4 bước truyền thống.

Từ khóa: Dự báo nhu cầu giao thông; đường chính; đường song hành; chi phí tổng quát; lựa chọn tuyến.

ABSTRACT

Many urban roads and regional corridors in Vietnam are planned

with cross-sections consisting of a main carriageway and parallel minor roads. However, in planning and design consultancy practice, traffic forecasting often remains limited to the whole corridor or the main carriageway, without clearly separating the demand for minor roads, where traffic composition and operating speeds differ from those on the main carriageway. This creates difficulties in determining the required number of lanes, investment phasing and traffic organisation. This paper proposes a corridor-level traffic forecasting model that integrates a synthetic O-D matrix, route choice set generation, generalized cost and separate traffic assignment for the main carriageway and parallel minor roads. The model is suitable for corridors passing through high-density urban development areas, where minor roads mainly serve motorcycles, private cars, buses and access trips, while the main carriageway accommodates regional traffic, freight vehicles and higher-speed traffic. Areas with planned new urban developments and roads with similar characteristics may apply this model as a reference for comparison with the traditional four-step travel demand forecasting model.

Keywords: Traffic demand forecasting; main carriageway; parallel minor road; generalized cost; route choice.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong quá trình lập quy hoạch và chuẩn bị đầu tư các tuyến đường ở Việt Nam, đặc biệt là đường đô thị, mặt cắt ngang quy hoạch thường được thiết kế khá lớn để đáp ứng nhu cầu dài hạn. Nhiều tuyến có đường chính ở giữa, dải phân cách, đường song hành hoặc đường gom hai bên, kết nối trực tiếp với các khu dân cư, khu thương mại, trường học, công trình công cộng và các đường nhánh. Cấu trúc mặt cắt này tạo ra hai chức năng giao

thông khác nhau: Đường chính phục vụ dòng đi xa, tốc độ cao và có xe tải; đường song hành/gom phục vụ tiếp cận, xe máy, xe buýt, ô tô cá nhân và các chuyển đi ngắn trong đô thị [1, 2].

Trong giai đoạn tư vấn dự án, bài toán quan trọng không chỉ là dự báo tổng lưu lượng trên hành lang mà còn phải trả lời lưu lượng nào đi trên đường chính, lưu lượng nào đi trên đường song hành, giai đoạn đầu cần xây dựng bao nhiêu làn, thời điểm nào phải mở rộng và khi có thu phí thì dòng xe thay đổi ra sao. Nếu

lấy quy mô mặt cắt quy hoạch làm căn cứ đầu tư ngay từ đầu, dự án có thể phát sinh chi phí lớn và khó tối ưu nguồn lực. Ngược lại, nếu dự báo thấp hoặc không xét dòng phát triển đô thị hai bên tuyến, số lần đầu tư ban đầu có thể không đáp ứng được nhu cầu [1, 3].

Mô hình bốn bước và các phần mềm như JICA STRADA vẫn là nền tảng phổ biến trong tư vấn dự báo. Chúng phù hợp với phân tích mạng lưới và ma trận O-D ở quy mô vùng. Tuy nhiên, ở cấp dự án có cả đường chính và đường song hành, kết quả phân bổ mạng thường chưa đủ để mô tả hành vi lựa chọn giữa các phần đường trên cùng hành lang [4].

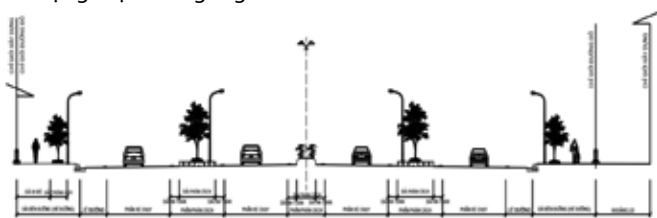
Bài báo này đề xuất một khung phương pháp mang tính định hướng nghiên cứu và hướng dẫn thực hành. Mục tiêu là bổ sung một lớp mô hình lựa chọn tuyến theo chi phí tổng quát ở cấp hành lang, kết hợp cơ chế phân bổ riêng cho đường chính và đường song hành. Bài báo trình bày quy trình tổng quát để tư vấn quy hoạch và thiết kế có thể vận dụng trong các dự án đầu tư xây dựng tuyến đường ở Việt Nam.

2. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU

Mô hình dự báo giao thông bốn bước gồm phát sinh chuyển đi, phân bổ chuyển đi, lựa chọn phương thức và phân bổ giao thông lên mạng lưới. Đây là phương pháp truyền thống trong quy hoạch giao thông đô thị và liên vùng, cho phép liên kết nhu cầu đi lại với dân số, việc làm, sử dụng đất, thu nhập, thời gian và chi phí đi lại. Trong bước phân bổ, các chuyển đi giữa các vùng được gán lên mạng theo nguyên tắc đường ngắn nhất, thời gian nhỏ nhất, cân bằng người sử dụng hoặc các biến thể ngẫu nhiên và động [4].

Ưu điểm của mô hình bốn bước là xử lý được mạng lưới lớn, kế thừa số liệu quy hoạch, đếm xe, O-D và dự báo từ dự án lân cận. Hạn chế là mô hình thường làm việc ở cấp liên kết mạng lưới, nên nếu mặt cắt gồm nhiều phần đường nhưng chỉ được biểu diễn tổng hợp thì không thể tách đúng lưu lượng theo chức năng [4].

Đối với tuyến qua khu đô thị mới, đường song hành không chỉ là phần phụ của đường chính. Đường song hành phục vụ xe máy, ô tô con tiếp cận công trình, xe buýt dừng đỗ, xe dịch vụ và các chuyển đi ngắn. Đường chính lại phục vụ xe tải, xe khách và dòng liên vùng với tốc độ cao hơn. Ví dụ được thể hiện ở Hình 1 với dạng mặt cắt ngang bốn khối.



Hình 1. Mặt cắt ngang đường đô thị được tổ chức dạng bốn khối phần xe chạy

Nguồn: [1].

Lý thuyết lựa chọn tuyến chỉ ra rằng người tham gia giao thông không chỉ chọn tuyến theo chiều dài ngắn nhất mà còn cân nhắc thời gian, chi phí vận hành, phí đường, chậm trễ, độ tin cậy, tính quen thuộc và khả năng tiếp cận. Vì vậy, chi phí tổng quát là chỉ tiêu phù hợp để so sánh các hành lang cạnh tranh. Với dự án có thu phí, chi phí tổng quát còn cho phép đánh giá tỷ lệ chuyển hướng giữa tuyến thu phí, tuyến không thu phí và các tuyến thay thế [4].

Khoảng trống cần bổ sung là một quy trình dự báo cấp dự án có thể: Kế thừa kết quả mô hình bốn bước; xác định tập hành

lang cạnh tranh theo nguyên lý tạo tập lựa chọn tuyến; tính chi phí tổng quát cho từng loại phương tiện; xét kịch bản có thu phí và không thu phí; tách dòng đường chính và đường song hành và chuyển kết quả lưu lượng thành số lần xe cần thiết theo từng giai đoạn đầu tư.

3. MÔ HÌNH ĐỀ XUẤT

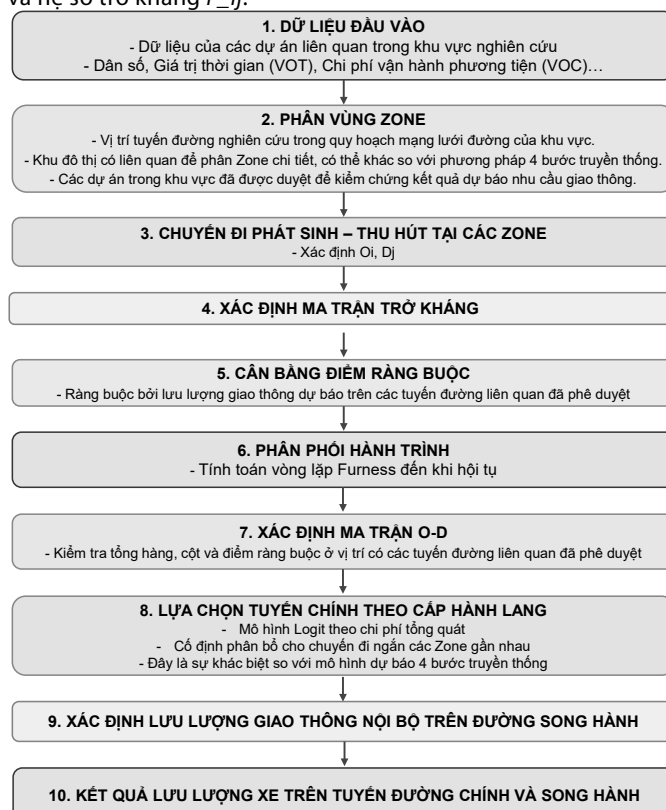
Mô hình đề xuất có thể gọi là mô hình dự báo lưu lượng tuyến đường có đường chính và đường song hành dựa trên lựa chọn tuyến theo chi phí tổng quát ở cấp hành lang. Khung mô hình được thể hiện ở Hình 2. Mô hình này không thay thế mô hình bốn bước truyền thống mà bổ sung bước phân tích cấp hành lang để phục vụ thiết kế mặt cắt và phân kỳ đầu tư. Các bước chính bao gồm:

(i) Bước 1: Thu thập các số liệu thứ cấp từ các nguồn mở và các dự án liên quan.

(ii) Bước 2: Xác định các vùng giao thông (Zones) đảm bảo phù hợp với mô hình kết hợp và số liệu sẵn có. Khu đô thị mới tại khu vực gần tuyến đường nghiên cứu cần tối thiểu là một Zone. Các Zones này thông thường chi tiết hơn các Zones trong mô hình dự báo 4 bước bằng các phần mềm STRADA hoặc VISUM.

(iii) Bước 3: Chuyển đi phát sinh và thu hút tại các Zones ở Bước 2 tương tự như trong mô hình dự báo 4 bước truyền thống. Phương pháp phân tích phân loại chéo được sử dụng thông qua dữ liệu về dân số của các Zones, số chuyển đi bình quân của một người trong một ngày... Tuy nhiên, các chuyển đi nội bộ trong các Zones có bao phủ trực tiếp tuyến đường nghiên cứu cần được tính toán riêng.

(iv) Bước 4: Xác định ma trận trở kháng được trình bày trong mô hình dự báo 4 bước truyền thống. Lập ma trận thời gian t_{ij} và hệ số trở kháng F_{ij} .



Hình 2. Khung phương pháp dự báo lưu lượng cho tuyến đường có đường chính và đường song hành

(v) Bước 5: Điều kiện cân bằng ràng buộc được thiết lập tại vị trí của các dự án tuyến đường gần tuyến đường nghiên cứu. Các vị trí dự án đã phê duyệt được sử dụng như các điểm kiểm soát/ràng buộc, nhằm bảo đảm lưu lượng mô hình tại các mặt cắt này phù hợp với số liệu dự báo hoặc quy mô khai thác đã được xác định trong hồ sơ dự án liên quan.

(vi) Bước 6: Phân phối hành trình. Các vòng lặp Furness được thực hiện cho đến khi giá trị hấp thụ A_j có sai số nhỏ hơn 1% so với giá trị hấp thụ A_j trước.

(vii) Bước 7: Sau khi các vòng lặp Furness ở Bước 6 hội tụ, lập ma trận O-D năm tương lai, kiểm tra tổng hàng, tổng cột và hai điểm đảm bảo kiểm soát các điều kiện ràng buộc đã xác định ở Bước 5.

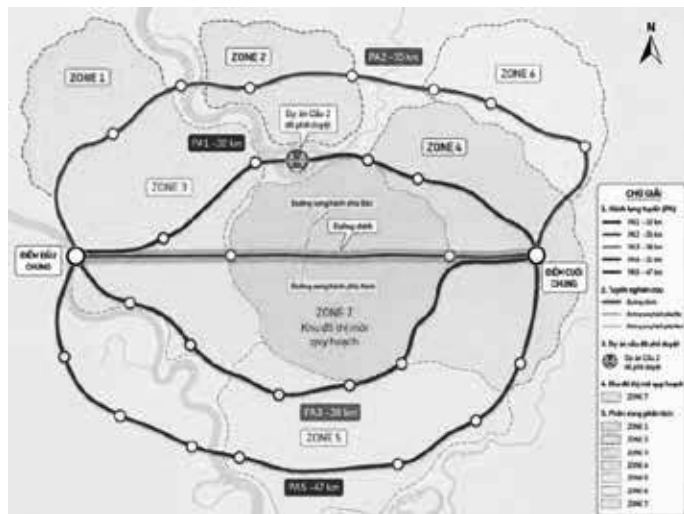
(viii) Bước 8: Bước lựa chọn tuyến theo cấp hành lang. Lập các phương án tuyến hành lang cạnh tranh để từ đó lựa chọn tuyến theo chi phí tổng quát cho từng loại xe. Ví dụ, 5 phương án hành lang chính so sánh được thể hiện trong Hình 3 bởi các màu khác nhau và có chiều dài khác nhau. Trong đó phương án 1 và 3 có trùng một phần với tuyến đường đang nghiên cứu (phương án 4).

Ngoài ra, các chuyển đi nội bộ trong các Zone 3, 4, 7 bao phủ trực tiếp lên tuyến đường nghiên cứu cần được phân bổ phù hợp và sẽ được dự báo cho tuyến đường song hành. Đối với chuyển đi nội bộ giữa các Zones này cần xác định các tuyến cạnh tranh và so sánh chi phí tổng quát cho các chuyển đi ngắn này.

Đối với khu đô thị mới (ví dụ Zone 7), cần xây dựng ba kịch bản phát triển: Thấp, cơ sở và cao. Mỗi kịch bản phản ánh mức độ lấp đầy dân cư, thương mại và dịch vụ khác nhau. Khi kết hợp với hai trường hợp không thu phí và có thu phí, tư vấn có 6 kịch bản để phân tích độ nhạy về lưu lượng giao thông dự báo, số làn xe và hiệu quả tài chính nếu dự án đầu tư theo phương thức đối tác công tư.

(ix) Bước 9: Xác định lưu lượng giao thông nội bộ của đường song hành.

(x) Bước 10: Xác định lưu lượng giao thông đường chính.



Hình 3. Ví dụ phân Zones và các tuyến đường hành lang cạnh tranh

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Mô hình đề xuất tích hợp mô hình bốn bước với nhu cầu thiết kế chi tiết của tuyến đường và phân tích lựa chọn cấp hành lang để giải thích vì sao cần tách đường chính - đường song hành, vì sao kịch bản thu phí làm thay đổi lưu lượng và vì sao số làn xe nên được xác định theo từng giai đoạn. Bài báo đã đề xuất mô

hình dự báo lưu lượng cho tuyến đường có đường chính và đường song hành trong điều kiện Việt Nam. Mô hình kết hợp ma trận O-D tổng hợp, tạo tập lựa chọn tuyến, chi phí tổng quát, mô hình lựa chọn tuyến và cơ chế tách lưu lượng theo chức năng mặt cắt. Cách tiếp cận này hỗ trợ trực tiếp bài toán phân kỳ đầu tư và xác định số làn xe.

Kết quả mô hình phụ thuộc vào chất lượng dữ liệu và hệ số giả định. Giá trị thời gian, chi phí vận hành, hệ số nhạy cảm chi phí, tỷ lệ chuyển nội bộ và tỷ lệ vào đường song hành cần được hiệu chỉnh bằng số liệu địa phương khi có điều kiện. Khi dữ liệu còn hạn chế, nên trình bày kết quả theo dải thấp - cơ sở - cao và có phân tích độ nhạy.

Khung phương pháp có thể dùng cho các tuyến qua khu đô thị mật độ cao, khu công nghiệp, khu logistics hoặc hành lang có thu phí. Nghiên cứu tiếp theo cần kiểm chứng bằng dự án thực tế, khảo sát hành vi lựa chọn tuyến, hiệu chỉnh hệ số chi phí tổng quát và tích hợp mô phỏng giao thông, từ đó làm cơ sở để ứng dụng vào các dự án tuyến đường có đường chính và đường song hành trong thực tế tại Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bộ Khoa học và Công nghệ. TCVN 13592:2022 - Đường đô thị - Yêu cầu thiết kế, Hà Nội, 2022.
- [2] Bộ Xây dựng. QCVN 07:2023/BXD - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về hệ thống công trình hạ tầng kỹ thuật, Hà Nội, 2023.
- [3] Transportation Research Board. Highway Capacity Manual 7th Edition: A Guide for Multimodal Mobility Analysis. Washington, DC: The National Academies Press, 2022.
- [4] Ortúzar, J. de D. and Willumsen, L. G. Modelling Transport. 5th Edition. Chichester: John Wiley & Sons, 2024.

Một số giải pháp về quản lý chất thải rắn xây dựng thực hiện theo mô hình kinh tế tuần hoàn

Some solutions for construction solid waste management implemented according to the circular economy model

> NGUYỄN LÂM QUẢNG^{1,*}, NGHIÊM VÂN KHANH², TRẦN ĐỨC DŨNG³

¹Khoa Kỹ thuật Công nghệ, Trường Đại học Quang Trung

²Khoa KTHT và MT Đô thị, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội

³Phòng Kinh tế, Hạ tầng và Đô thị, UBND phường Hồng Châu, tỉnh Hưng Yên

*Email: qnguyennlam@gmail.com

TÓM TẮT

Hiện nay ở Việt Nam, công tác quản lý chất thải rắn xây dựng (CTRXD) vẫn còn nhiều bất cập như: thiếu cơ sở dữ liệu thống nhất, chưa được phân loại tại nguồn, chủ yếu xử lý bằng chôn lấp, tỷ lệ tái chế rất thấp, hạ tầng xử lý chưa được đầu tư bài bản và chưa có quy chuẩn kỹ thuật đối với CTRXD cũng như đối với vật liệu tái chế. Điều này gây sức ép lên môi trường, đồng thời gây lãng phí nguồn tài nguyên quý giá có thể tái chế thành nguồn vật liệu thứ cấp. Với cách tiếp cận thay đổi từ truyền thống sang quản lý theo "dòng vật liệu và kinh tế tuần hoàn", bài báo trình bày các giải pháp nâng cao hiệu quả quản lý CTRXD với 7 định hướng và những trọng tâm trong cơ chế chính sách đầu tư tái chế, tạo lập thị trường cho sản phẩm tái chế từ CTRXD. Kết quả nghiên cứu nhằm làm rõ thực trạng phát sinh, thu gom và xử lý CTRXD, đồng thời phân tích tiềm năng tái chế, tái sử dụng CTRXD thực hiện mô hình kinh tế tuần hoàn, góp phần giảm áp lực môi trường và thúc đẩy phát triển bền vững.

Từ khóa: Quản lý; chất thải rắn xây dựng; kinh tế tuần hoàn.

ABSTRACT

Currently, the management of construction and demolition waste (CDW) in Vietnam faces numerous shortcomings, such as the lack of a unified database, the absence of source segregation, a reliance on landfilling, very low recycling rates, inadequate investment in processing infrastructure, and a lack of technical standards for both CDW and recycled materials. This situation places pressure on the environment and results in the waste of valuable resources that could otherwise be converted into secondary materials. Shifting from traditional methods to a management approach based on "material flows and the circular economy," this paper proposes solutions to enhance CDW management efficiency. It outlines seven strategic directions and key policy priorities regarding investment in recycling and the creation of markets for recycled CDW products. The study clarifies the current status of CDW generation, collection, and treatment, while analyzing the potential for recycling and reuse within a circular economy framework, thereby contributing to reduced environmental pressure and the promotion of sustainable development.

Keywords: Management; construction solid waste; circular economy.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

CTRXD được phát sinh từ hoạt động xây mới, cải tạo, sửa chữa, phá dỡ công trình, hạ tầng và các hoạt động xây dựng khác có thành phần thường gồm đất, đá, bê tông, gạch, vữa, vật liệu xây dựng dư thừa, kim loại, gỗ, nhựa, bao bì và một phần chất thải nguy hại. Cùng với tốc độ đô thị hóa nhanh, hoạt động xây dựng, cải tạo và phá dỡ công trình trên cả nước năm 2025 đã làm phát sinh khối lượng rất lớn CTRXD tới 9,6 triệu tấn [6]. Mặc dù hệ thống pháp luật về quản lý CTRXD ngày càng được hoàn thiện, song vẫn còn nhiều bất cập trong quản lý như thống kê nguồn phát sinh, giám sát vận

chuyển, điểm đổ thải, tái chế, tái sử dụng và xác định trách nhiệm của các bên liên quan. Với quan điểm đây là dòng chất thải khối lượng lớn, có tiềm năng tái sử dụng, tái chế cao, cách tiếp cận phù hợp không nên chỉ là "thu gom - vận chuyển - đổ bỏ", mà cần chuyển sang "quản lý theo dòng vật liệu và kinh tế tuần hoàn". Để hiện thực hóa tiềm năng đó, điều kiện tiên quyết là phải kiểm soát được dòng chảy của chất thải ngay từ nơi phát sinh. Thông qua khảo sát, tổng hợp kế thừa các nghiên cứu liên quan, bài báo tiến hành phân tích đánh giá hiện trạng, phân tích những khoảng trống pháp lý, những khó khăn trong thực thi, bất cập trong cơ chế quản

lý đồng thời tìm kiếm các mô hình quản lý, tái chế hiệu quả đang được áp dụng trong và ngoài nước. Bên cạnh đó, khi Việt Nam đang hướng tới mục tiêu phát triển kinh tế tuần hoàn, tăng trưởng xanh và sử dụng hiệu quả tài nguyên, việc quản lý CTRXD cần thiết là một hệ thống quản lý đồng bộ, minh bạch và có khả năng kiểm soát toàn bộ vòng đời của chất thải.

2. THỰC TRẠNG CÔNG TÁC QUẢN LÝ CTRXD

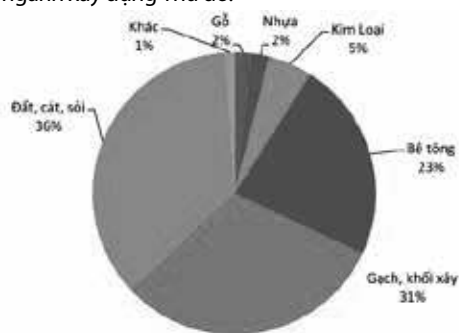
2.1. Hiện trạng khối lượng, thành phần, tính chất CTRXD phát sinh

2.1.1. Khối lượng CTRXD phát sinh

Thực trạng về khối lượng CTRXD phát sinh tùy thuộc vào từng đô thị và tùy thuộc vào thời điểm thống kê, nhưng thường lấy theo giá trị trung bình. Chẳng hạn tại Hà Nội khối lượng CTRXD phát sinh năm 2024 trung bình khoảng 2.098 tấn/ngày, chiếm 25% tổng chất thải rắn sinh hoạt [6]. Tại thời điểm hiện tại năm 2026, tổng lượng CTRXD phát sinh trung bình là hơn 6.000 tấn/ngày, chiếm 1/3 tổng chất thải rắn sinh hoạt, trong đó vào những thời điểm đang triển khai các dự án trọng điểm từ công trình chống úng ngập, công trình giao thông đến các công trình tái thiết đô thị, lượng CTRXD tại Hà Nội phát sinh tăng đột biến, ước tính lên tới 10.000 tấn/ngày. Tại TP.HCM sau sáp nhập, tổng lượng CTR phát sinh lên tới 15.000 tấn/ngày và CTRXD cũng chiếm tỷ lệ cao [1].

2.1.2. Đặc điểm, thành phần của CTRXD

CTRXD có thành phần, tính chất phức tạp và đặc điểm này phụ thuộc vào loại công trình phá dỡ, nhưng về cơ bản có thể tổng hợp như biểu đồ Hình 1. So với Hà Nội, thành phần CTRXD như sau: 25 - 35% là đất, sỏi, cát; 20 - 30% là gạch xây dựng; 20 - 25% là bê tông, còn lại 8 - 10% là nhựa, kim loại và các vật liệu khác [7]. Với đặc điểm này, nếu xử lý tốt thì đây là nguồn tài nguyên vô cùng lớn và cần thiết cho ngành xây dựng Thủ đô.



Hình 1. Biểu đồ thành phần CTRXD [4]

2.2. Thực trạng công tác quản lý CTRXD thực hiện kinh tế tuần hoàn tại Việt Nam

2.2.1. Thực trạng về công tác quản lý CTRXD

a. Công tác thu gom, vận chuyển CTRXD

Hiện nay, CTRXD sau khi phá dỡ thu gom không được phân loại, đa số chưa qua xử lý đã được các đơn vị đem đi san lấp dẫn đến không bảo đảm vệ sinh môi trường, cảnh quan đô thị. Việc san lấp không phải lúc nào cũng tuân thủ đúng quy định của pháp luật như nơi san lấp, yêu cầu về môi trường trong quá trình san lấp... Các điểm trung chuyển CTRXD thông thường luôn trong tình trạng quá tải và không có các biện pháp xử lý cơ bản, dẫn đến tình trạng đổ trộm ở mọi lúc, mọi nơi, khó kiểm soát. Mặt khác, cách thức xử lý CTRXD hiện nay chủ yếu là chôn lấp. Điều này đòi hỏi phải có diện

tích đủ lớn và đảm bảo các điều kiện an toàn và không gây ô nhiễm môi trường.



Hình 2. Trạm trung chuyển CTRXD Võ Thị Sáu, TP.HCM [10]



Hình 3. Hoạt động thu gom, vận chuyển CTRXD [11]

Công tác vận chuyển CTRXD luôn gặp khó khăn do các công trình phá dỡ thường ở những nơi chật hẹp, giao thông đi lại đông đúc. Bởi vậy, thời gian vận chuyển quy định cho xe chở CTRXD phụ thuộc vào vị trí của công trình cần phá dỡ và chỉ được hoạt động từ 22h00 đến 5h00 nên thường xảy ra các vi phạm đổ trộm CTRXD, che chắn không tốt làm rơi vãi vật liệu, chất thải trên đường gây bụi, tiếng ồn lớn ảnh hưởng nghiêm trọng đến môi trường và sức khỏe của người dân,... Ngoài ra, do lượng CTRXD lớn nên công tác thu gom và vận chuyển tại nhiều địa phương còn hạn chế như thiếu phương tiện bốc dỡ, chuyên chở chuyên dụng, thiếu các bãi tập kết đạt chuẩn, dẫn đến tình trạng các bãi xử lý hiện có bị quá tải. Nhiều trường hợp, chủ đầu tư chỉ ký hợp đồng với đơn vị vận chuyển và đơn vị xử lý nên khi xe rời công trường, việc giám sát hành trình phụ thuộc vào hồ sơ, chứng từ hoặc cam kết của đơn vị vận chuyển. Nếu không có hệ thống giám sát đồng bộ, việc xác định xe đã đưa chất thải đến đúng địa điểm được cấp phép hay không là điều khó khăn, đặc biệt đối với các công trình xây dựng nhà ở riêng lẻ, việc quản lý còn khó khăn hơn.

b. Công tác xử lý CTRXD

Thực trạng quản lý và xử lý CTRXD đang là vấn đề nóng, nhức nhối trong đời sống kinh tế, xã hội. Chỉ riêng Hà Nội, theo thống kê sơ bộ mỗi ngày thành phố phát sinh khoảng trên 2.098 tấn CTRXD [5]. Trong khi đó 4 điểm xử lý ở xã Nguyên Khê, phường Yên Sở, phường Phúc Lợi và xã Thụ Lâm chỉ có thể chôn lấp, nghiền tái chế khoảng 1.670 tấn/ngày [8]. Bãi nghiền CTRXD gần nút giao Pháp Vân - Cầu Giẽ, phường Yên Sở, rộng 6,5 ha đã quá tải nên toàn bộ diện tích hiện được lấp đầy phế thải và cốt liệu sau nghiền. Hàng chục xe và máy xúc đang được huy động để di dời cốt liệu tồn đọng để tiếp nhận phế thải về xử lý. Bãi chôn lấp CTRXD Nguyên Khê (thuộc huyện Đông Anh cũ, cách bãi Yên Sở khoảng 20 km) cũng đang dẫn đầy. Các loại CTRXD phổ biến gồm gạch vỡ, bê tông vụn, vôi vữa, sắt thép, gỗ, nhựa, đất đá và một số vật liệu nguy hại như sơn, dung môi hay amiăng có khi còn trộn lẫn với chất thải rắn sinh hoạt, không được phân loại để xử lý mà chủ yếu đổ bỏ làm vật liệu san lấp. Tỷ lệ tái chế CTRXD rất thấp, chủ yếu một lượng nhỏ chất thải được nghiền nhỏ làm vật liệu cấp phối xây dựng nền đường, nền công trình... Công tác giám sát, kiểm tra khó khăn, công nghệ xử lý lạc hậu gây ô nhiễm thứ cấp như bụi, bụi mịn, tiếng ồn...

2.2.2. Đánh giá các khó khăn, thách thức trong công tác quản lý CTRXD thực hiện kinh tế tuần hoàn

a. Công tác quản lý nhà nước

- Kiểm tra, giám sát chưa thường xuyên và khó bao quát hết nguồn thải, nhất là các công trình nhỏ lẻ (sửa nhà, cải tạo), phân tán trên địa bàn rộng với các điểm đổ thải trái phép phát sinh thường xuyên nên khó kiểm đếm, đòi hỏi cần nhiều lực lượng kiểm tra phải

giám sát liên tục, kịp thời xử lý bất quả tang hoặc có chứng cứ rõ ràng (hình ảnh xe, biển số, thời điểm).

- Thiếu công cụ theo dõi dòng CTRXD (từ nguồn phát sinh đến nơi xử lý): khó khăn cốt lõi là chưa theo dõi được “hành trình” CTRXD: Chủ nguồn thải là ai, nơi phát sinh (công trình nào, khối lượng bao nhiêu)? Ai vận chuyển (đơn vị nào, phương tiện nào)? Đổ/tiếp nhận ở đâu (đúng điểm hay không)?... Do thiếu cơ chế chứng từ/biên nhận đồng bộ hoặc dữ liệu số hóa, việc truy xuất nguồn gốc nên khi phát hiện bãi đổ trộm thường mất thời gian và khó quy trách nhiệm.

- Phân công – phối hợp giữa các cấp, các đơn vị đôi khi chưa đồng bộ: CTRXD phát sinh từ hàng chục nghìn công trình lớn nhỏ, phân tán trên phạm vi rộng, do nhiều chủ thể tham gia từ chủ đầu tư, nhà thầu thi công, đơn vị phá dỡ đến doanh nghiệp vận chuyển. Quản lý CTRXD liên quan nhiều bên: chính quyền địa phương, đơn vị vệ sinh môi trường đô thị (các công ty môi trường đô thị -URENCO), thanh tra xây dựng, giao thông, công an khu vực... Nếu thiếu sự phối hợp nhịp nhàng sẽ dẫn tới chồng chéo hoặc bỏ trống trách nhiệm, xử lý theo vụ việc, thiếu tính phòng ngừa. Điểm nóng tái diễn do không duy trì giám sát liên tục.

- Văn bản, quy định pháp luật liên quan đến quản lý CTRXD được ban hành nhiều nhưng tính thực thi còn hạn chế. Chẳng hạn, theo quy định, chủ nguồn thải phải ký hợp đồng với đơn vị có chức năng thu gom, vận chuyển và xử lý nhưng thực tế việc kiểm tra sau khi chất thải rời công trường vẫn còn chưa đồng bộ.

b. Hạ tầng và công nghệ quản lý

- Quản lý CTRXD hiệu quả cần hệ thống đồng bộ từ điểm tập kết đến trung chuyển, phân loại, nghiền sàng tái chế và nơi tiêu thụ sản phẩm tái chế. Ở hầu hết các địa phương, mạng lưới tiếp nhận chưa đủ bao phủ, thiếu trạm trung chuyển và ít trạm trung chuyển đủ điều kiện quy định (diện tích, che chắn, chống bụi, thoát nước...). Cơ sở tái chế chưa phân bố hợp lý, gần khu phát sinh lớn, nơi tiếp nhận ở xa trung tâm, làm tăng chi phí và thời gian vận chuyển.

- Khoảng cách vận chuyển xa, chi phí cao: khi điểm tiếp nhận/xử lý hợp pháp nằm xa nơi phát sinh CTRXD sẽ dẫn đến chi phí nhiên liệu, nhân công, phí vào bến, bãi tăng, thời gian quay đầu xe lâu làm giảm số chuyến/ngày, dễ phát sinh “đổ giữa đường” để tiết kiệm (đất trống, ven đê, khu đang san lấp...). Chi phí cao trở thành động cơ lớn khiến một bộ phận chọn phương án không hợp pháp.

- Công nghệ xử lý còn hạn chế bởi đầu vào chưa được phân loại và thiếu chuẩn đầu ra. Tái chế CTRXD (nghiên bê tông/gạch làm cốt liệu tái chế) phụ thuộc nhiều vào chất lượng phân loại. Khi CTRXD lẫn rác sinh hoạt, gỗ, nhựa, thạch cao... thì máy nghiền/sàng khó hoạt động ổn định, tăng hỏng hóc, sản phẩm tái chế chất lượng không đồng đều và khó đáp ứng tiêu chuẩn kỹ thuật cho công trình (nhất là kết cấu chịu lực). Bên cạnh đó, thị trường tiêu thụ cốt liệu tái chế chưa mạnh do tâm lý lo ngại chất lượng.

- Thiếu cơ chế khuyến khích sử dụng vật liệu tái chế trong một số hạng mục phù hợp (gạch block, nền đường, san lấp...).

- Thiếu hạ tầng logistics và tiêu chuẩn vận chuyển đối với từng loại đường, từng khu vực trong đô thị [6]. Chẳng hạn khu vực nội đô cần phương tiện nhỏ gọn, che chắn tốt, kiểm soát rơi vãi, nhưng thực tế xảy ra nhiều xe tự chế, xe thùng không kín, che phủ bạt sơ sài, thiếu điểm rửa lốp xe trước khi ra đường nên đã kéo bùn đất, cát

đá ra mặt đường gây bụi và trơn trượt.

c. Cơ chế chính sách quản lý

Điểm khó khăn lớn nhất hiện nay là việc kiểm soát toàn bộ “vòng đời” của CTRXD, thiếu cơ chế vận hành thị trường tái chế đồng bộ:

- Trong khi doanh nghiệp đầu tư thiết bị, nhà xưởng và nhân lực để tái chế thì vẫn tồn tại tình trạng CTRXD bị đổ trộm hoặc vận chuyển đến các bãi tập kết không được cấp phép. Điều đó khiến nguồn nguyên liệu cho các nhà máy tái chế bị phân tán, tạo ra sự cạnh tranh không lành mạnh giữa hoạt động xử lý đúng quy định và hành vi vi phạm.

- Đối với chủ đầu tư, cần thực hiện nghiêm trách nhiệm trong việc lựa chọn đơn vị thu gom, vận chuyển và xử lý đủ điều kiện, đồng thời theo dõi quá trình bàn giao chất thải. Đối với doanh nghiệp vận chuyển cần tuân thủ đúng tuyến đường, địa điểm tiếp nhận và các yêu cầu về bảo vệ môi trường. Đối với các cơ sở xử lý, cần đầu tư công nghệ tái chế, nâng cao chất lượng sản phẩm để mở rộng thị trường tiêu thụ vật liệu tái chế.

- Về phía cơ quan quản lý nhà nước, cần tiếp tục hoàn thiện cơ chế quản lý CTRXD theo hướng số hóa toàn bộ quy trình, từ khâu đăng ký nguồn phát sinh, cấp mã quản lý cho từng lô chất thải, theo dõi hành trình phương tiện vận chuyển đến xác nhận tại cơ sở tiếp nhận được tích hợp trên nền tảng dữ liệu điện tử. Khi đó, việc truy xuất nguồn gốc và kiểm tra sẽ thuận lợi hơn, đồng thời giảm nguy cơ đổ thải trái phép. Hiện nay tại Hà Nội đã bước đầu có chính sách như cho phép cấp phường, xã được chỉ định trạm trung chuyển tạm trong 5 năm, là tiền đề để các đơn vị tiến hành thu gom, tái chế và tại TP.HCM cũng đã làm việc với Hiệp hội Xây dựng và Vật liệu Xây dựng TP.HCM (SACA) để thúc đẩy hoạt động này.

3. CƠ SỞ KHOA HỌC VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU QUẢN LÝ CTRXD THỰC HIỆN KINH TẾ TUẦN HOÀN

3.1. Cơ sở pháp lý trong quản lý CTRXD thực hiện kinh tế tuần hoàn

Hiện nay, công tác quản lý CTRXD được quy định rải rác trong nhiều văn bản luật khác nhau, trong khi trách nhiệm quản lý đang được giao cho UBND các tỉnh, thành phố. Cơ chế phân cấp giúp địa phương chủ động và linh hoạt hơn, nhưng cũng dẫn đến tình trạng thiếu thống nhất trên phạm vi cả nước. Ở cấp quốc gia vẫn chưa có quy định bắt buộc về tỷ lệ tái chế CTRXD. Hà Nội là một trong những địa phương tiên phong khi đề án năm 2025 đặt mục tiêu đến năm 2030 thu hồi 90% vật liệu có khả năng tái chế và tái sinh được 60% CTRXD phát sinh sinh học [9]. Những văn bản liên quan gồm: Luật Bảo vệ môi trường năm 2020 được sửa đổi bổ sung theo văn bản hợp nhất Số: 98/VBHN-VPQH ngày 10/4/2026; Nghị định số 08/2022/NĐ-CP hướng dẫn thi hành một số điều của Luật Bảo vệ môi trường năm 2020, tại khoản 3 Điều 140 quy định về cơ chế khuyến khích thực hiện kinh tế tuần hoàn; Nghị định 05/2025/NĐ-CP của Chính phủ sửa đổi một số điều của Nghị định 08/2022/NĐ-CP; Nghị định số 48/2026/NĐ-CP sửa đổi, bổ sung nhiều nội dung của Nghị định số 08/2022/NĐ-CP; Nghị định số 207/2026/NĐ-CP của Chính phủ quy định chi tiết một số điều của Luật Xây dựng về quản lý chất lượng, thi công xây dựng và bảo trì công trình xây dựng; Thông tư 02/2022/TT-BTNMT của Bộ Tài nguyên và Môi trường quy định chi tiết một số điều của Luật BVMT

2020; Thông tư 09/2026/TT-BNNMT của Bộ Nông nghiệp và Môi trường sửa đổi bổ sung một số điều của Thông tư 02/2022/BTNMT; Thông tư số 02/2022/TT-BXD quy định về phân loại, lưu trữ và xử lý CTRXD tại các đô thị; Quyết định số 687/2022/QĐ-TTg ngày 07/6/2022 của Thủ tướng Chính phủ Quyết định phê duyệt Đề án phát triển kinh tế tuần hoàn ở Việt Nam; Quyết định số 1266/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ phê duyệt Chiến lược phát triển vật liệu xây dựng Việt Nam thời kỳ 2021 - 2030, định hướng đến năm 2050; Quyết định số 403/QĐ-TTg (2016) Chiến lược phát triển VLXD Việt Nam, khuyến khích tái chế CTRXD làm gạch không nung, vật liệu nền đường; TCVN 13694-2023 cho cấp phối tái chế làm móng đường đô thị; TCVN 13150-1:2020 cho tái chế bê tông nhựa nguội tại chỗ; TCVN 1369:2025/BXD Tiêu chuẩn quốc gia về Cấp phối tái chế từ chất thải rắn xây dựng làm lớp móng đường giao thông đô thị - Yêu cầu kỹ thuật và phương pháp thử.

3.2. Đặc điểm của mô hình kinh tế tuần hoàn trong xử lý, tái chế CTRXD

Kinh tế tuần hoàn không chỉ tái chế, tái sử dụng chất thải, coi chất thải là tài nguyên mà còn là sự kết nối giữa các hoạt động kinh tế một cách có tính toán từ trước, tạo thành các vòng tuần hoàn trong nền kinh tế. [3]

Công nghệ xử lý, tái chế CTRXD theo mô hình kinh tế tuần hoàn là biến chất thải đầu ra của ngành này thành nguồn tài nguyên đầu vào của ngành khác, nghĩa là giữ cho dòng vật chất được sử dụng lâu nhất có thể, khôi phục và tái tạo các sản phẩm, vật liệu ở cuối mỗi vòng sản xuất hay tiêu dùng. Chu trình tuần hoàn có thể được thực hiện trong nội tại bản thân của một doanh nghiệp. Kinh tế tuần hoàn sẽ góp phần gia tăng giá trị cho doanh nghiệp, giảm khai thác tài nguyên, giảm chi phí xử lý chất thải, giảm thiểu ô nhiễm môi trường.

3.3. Các phương thức quản lý CTRXD

Các phương thức hay mô hình xử lý CTRXD được chia thành 3 loại thể hiện như trên Hình 4.



Hình 4. Các phương thức hay mô hình xử lý CTRXD

4. ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP QUẢN LÝ CTRXD THỰC HIỆN KINH TẾ TUẦN HOÀN

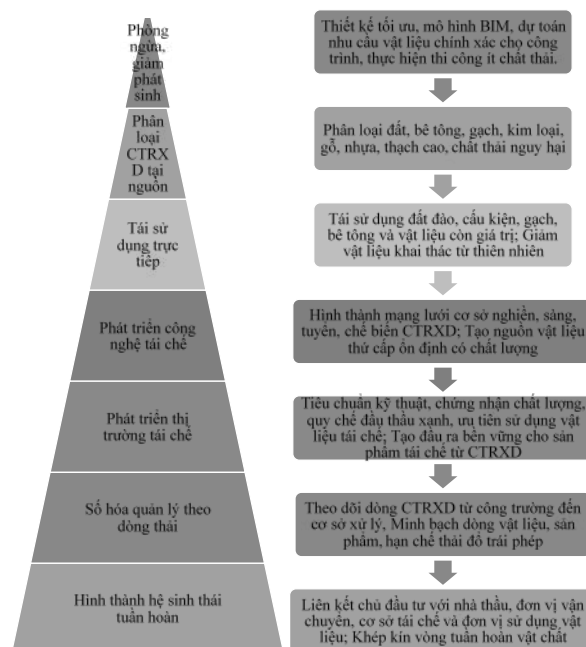
4.1. Đề xuất một số định hướng quản lý CTRXD thực hiện kinh tế tuần hoàn

Định hướng quản lý CTRXD được xây dựng dựa trên quan điểm hướng tới kinh tế tuần hoàn chuyển từ mô hình “Thu gom - Vận chuyển - Xử lý/Thải bỏ” sang mô hình “Phòng ngừa - Phân loại - Tái sử dụng - Tái chế - Thu hồi tài nguyên - Xử lý phần còn lại”. Cụ thể:

- Coi CTRXD là nguồn tài nguyên thứ cấp, không chỉ là chất thải cần xử lý.

- Ưu tiên theo thứ tự: giảm phát sinh → tái sử dụng → tái chế → thu hồi vật liệu/năng lượng → xử lý → chôn lấp.
- Quản lý theo vòng đời công trình, từ thiết kế, lựa chọn vật liệu, thi công, vận hành, cải tạo đến phá dỡ.
- Chuyển từ quản lý theo địa giới hành chính sang quản lý theo dòng vật liệu và chất thải.
- Nhà nước kiến tạo thể chế, tiêu chuẩn và thị trường, doanh nghiệp giữ vai trò trung tâm trong đầu tư, tái chế và tiêu thụ vật liệu tái chế.

Nội dung các định hướng quản lý CTRXD được trình bày tại Hình 5:



Hình 5. Thứ tự ưu tiên trong định hướng quản lý CTRXD

Như vậy, định hướng quản lý CTRXD không chỉ giảm chôn lấp mà còn là tối ưu hóa giá trị tài nguyên được thu hồi từ mỗi đơn vị CTRXD. Ngoài ra, định hướng còn được thể hiện thông qua việc thiết lập thị trường vật liệu tái chế ổn định bền vững, một trong những điểm nghẽn lớn nhất của thực hiện kinh tế tuần hoàn CTRXD với đề xuất việc hoàn thiện các văn bản pháp lý liên quan gồm:

- Xây dựng hệ thống chứng nhận chất lượng và truy xuất nguồn gốc.
- Quy định tỷ lệ hoặc tiêu chí ưu tiên sử dụng vật liệu tái chế trong các dự án đầu tư công, phù hợp yêu cầu kỹ thuật.
- Đưa tiêu chí sử dụng vật liệu tái chế vào đầu thầu xanh.
- Xây dựng cơ sở dữ liệu/sản giao dịch vật liệu tái chế từ CTRXD.
- Có chính sách ưu đãi về đất đai, tín dụng, thuế và đầu tư cho cơ sở tái chế.
- Khuyến khích các chủ đầu tư ký hợp đồng dài hạn với doanh nghiệp cung cấp vật liệu tái chế.

4.2. Giải pháp về cơ chế chính sách đầu tư tái chế và tạo lập thị trường cho sản phẩm tái chế từ CTRXD

Quan điểm chung là chính sách không chỉ hỗ trợ doanh nghiệp đầu tư công nghệ tái chế CTRXD mà phải đồng thời tạo đầu ra ổn định cho sản phẩm tái chế, nghĩa là hỗ trợ doanh nghiệp sử dụng

sản phẩm tái chế từ CTRXD. Thực chất của cơ chế chính sách là từ hỗ trợ doanh nghiệp đầu tư xử lý CTRXD, thiết lập thị trường cho sản phẩm tái chế ổn định, phát triển bền vững sẽ tạo tác dụng ngược lại là khuyến khích doanh nghiệp đầu tư vào công nghệ tái chế CTRXD. Đây là logic của phát triển kinh tế tuần hoàn trong lĩnh vực xây dựng. Điểm quan trọng là thiết kế chính sách theo hướng hiệu quả và phải giải quyết đồng thời 3 mục tiêu: giảm chi phí đầu vào cho nhà tái chế, tạo thị trường đầu ra cho sản phẩm tái chế, giảm sử dụng vật liệu nguyên sinh. Đây là cơ chế hình thành thị trường vật liệu thứ cấp và chuỗi giá trị CTRXD theo kinh tế tuần hoàn. Vì vậy, danh mục các cơ chế chính sách được đề xuất trong giai đoạn 5 năm thực hiện phát triển kinh tế - xã hội (2026 - 2030) gồm:

(1) Chính sách hỗ trợ nguồn cung CTRXD: hỗ trợ cơ sở thu gom, phân loại, tái chế, hỗ trợ đầu tư công nghệ mới, nghiên cứu sản phẩm mới.

(2) Chính sách hỗ trợ thị trường sản phẩm tái chế từ CTRXD: khuyến khích và có cơ chế từng bước bắt buộc sử dụng vật liệu tái chế, đặc biệt đối với công trình, dự án đầu tư công, công trình, dự án sử dụng vốn từ ngân sách nhà nước.

(3) Chính sách hỗ trợ xây dựng quy chuẩn, tiêu chuẩn trong quản lý, xử lý CTRXD, trong sử dụng vật liệu tái chế từ CTRXD, chính sách hỗ trợ kiểm soát, kiểm định, chứng nhận, công bố chất lượng sản phẩm, chứng nhận và tiêu chuẩn hóa vật liệu tái chế. Đây là nút thắt chính của thị trường vật liệu tái chế bởi các doanh nghiệp xây dựng thường lo ngại vật liệu tái chế có chất lượng không ổn định, không có tiêu chuẩn rõ ràng khiến trách nhiệm khi công trình xảy ra sự cố, khó nghiệm thu, chủ đầu tư không chấp nhận.

(4) Chính sách về tài chính: thiết lập quỹ tín dụng xanh, ưu đãi đầu tư, hỗ trợ công nghệ, hỗ trợ tài chính cho doanh nghiệp sử dụng vật liệu tái chế từ CTRXD. Trong giai đoạn đầu, nếu vật liệu tái chế có giá cao hơn vật liệu nguyên sinh, Nhà nước có thể hỗ trợ một phần chênh lệch đối với công trình ưu tiên. Doanh nghiệp sử dụng vật liệu tái chế để đầu tư công trình được ưu tiên tiếp cận tín dụng xanh.

(5) Chính sách đầu tư công trình công: xây dựng tiêu chí vật liệu tái chế vào đầu tư công và ban hành quy chế đấu thầu đối với công trình, dự án đầu tư từ ngân sách nhà nước. Trong đó sẽ có chính sách hỗ trợ đối với doanh nghiệp sử dụng vật liệu tái chế.... Điểm cộng cho đấu thầu nếu doanh nghiệp cam kết sử dụng vật liệu tái chế. Đối với công trình sử dụng vốn ngân sách nhà nước, đề xuất bổ sung tiêu chí ưu tiên vật liệu tái chế đạt chuẩn trong hồ sơ mời thầu và lựa chọn nhà thầu. Có thể cho điểm ưu tiên đối với nhà thầu sử dụng vật liệu tái chế, công trình có tỷ lệ vật liệu tái chế cao, giảm sử dụng vật liệu nguyên khai, có phương án thu hồi vật liệu sau khi công trình hết vòng đời.

(6) Chính sách số hóa: xây dựng sàn giao dịch CTRXD và vật liệu tái chế, kết nối mạng lưới thu gom, vận chuyển, tái chế CTRXD tạo tương tác giữa chủ nguồn thải ↔ đơn vị vận chuyển ↔ cơ sở tái chế ↔ nhà sản xuất vật liệu ↔ nhà thầu ↔ chủ đầu tư.

5. KẾT LUẬN

CTRXD ngày càng gia tăng với khối lượng rất lớn, song hành với tốc độ phát triển kinh tế - xã hội của đất nước. Trong bối cảnh đó, công tác quản lý CTRXD còn tồn tại nhiều khó khăn, bất cập, tác động gây tiêu cực đến môi trường cũng như sức khỏe cộng đồng.

Bài viết đã đề xuất một số giải pháp về cơ chế chính sách hỗ trợ doanh nghiệp xử lý, tái chế CTRXD, cơ chế chính sách tạo lập thị trường ổn định, bền vững cho sản phẩm tái chế từ CTRXD. Những đề xuất này xuất phát từ việc tận dụng tiềm năng to lớn của việc tái chế CTRXD đáp ứng nhu cầu về vật liệu xây dựng, giảm thiểu việc khai thác từ nguồn tự nhiên, góp phần bảo vệ môi trường. Nghiên cứu hoàn toàn dựa trên những quy định, pháp luật của nhà nước, phù hợp với điều kiện thực tế của Việt Nam và định hướng chiến lược quản lý chất thải coi chất thải là tài nguyên, nghĩa là chuyển đổi từ “Quản lý chất thải” sang “Quản lý tài nguyên” và thực hiện phát triển kinh tế tuần hoàn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Lê Anh. TP Hồ Chí Minh hướng tới đô thị kiểu mẫu về quản lý, tái chế và tái sử dụng chất thải xây dựng. Báo điện tử Chính phủ, chuyên trang TP Hồ Chí Minh. Internet: <https://tphcm.chinhphu.vn/tphcm-huong-toi-do-thi-kieu-mau-ve-quan-ly-tai-che-va-tai-su-dung-chat-thai-xay-dung-101260605165042369.html> (truy cập: tháng 8/2026).
- [2] Nguyễn Thế Chinh và nnk. Các mô hình kinh tế tuần hoàn Việt Nam: Cơ hội định hướng phát triển. Viện Chiến lược, Chính sách nông nghiệp và môi trường. Internet: https://ispae.vn/vn/tid12675_cac-mo-hinh-kinh-te-tuan-hoan-viet-nam-co-hoi-dinh-huong-phat-trien.html (truy cập: tháng 7/2026).
- [3] Phan Huyền Châu. Xây dựng nền kinh tế tuần hoàn để phát triển bền vững. Tạp chí Kinh tế và Dự báo. Internet: <https://scholar.dlu.edu.vn/thuviensol/bitstream/DLU123456789/152592/1/CVv139572021019.pdf> (truy cập: tháng 7/2026).
- [4] Nguyễn Hoàng Giang. Quản lý và tái chế chất thải rắn xây dựng: Quy hoạch mạng lưới công nghệ cho các đô thị lớn tại Việt Nam. Kinh nghiệm và đề xuất cho TP.HCM Tài liệu Hội thảo: Triển khai đề án tái chế chất thải rắn xây dựng tại TP Hồ Chí Minh, tháng 6/2026.
- [5] Mai Hương. Giải pháp nào biến chất thải xây dựng thành nguồn tài nguyên cho nền kinh tế tuần hoàn. Tạp chí điện tử Môi trường và Cuộc sống. Internet: <https://moitruong.net.vn/khoang-trong-trong-quan-ly-chat-thai-xay-dung-bai-5-giai-phap-nao-bien-chat-thai-xay-dung-thanh-nguon-tai-nguyen-cho-nen-kinh-te-tuan-hoan-101178.html> (truy cập: tháng 7/2026).
- [6] Kien Ton Tong et al. Management Assessment and Future Projections of Construction and Demolition Waste Generation in Hai Phong City, Vietnam. Sustainability, 2022, 14, 9628. Internet: <https://doi.org/10.3390/su14159628>.
- [7] Nguyễn Văn Quý. Quản lý chất thải rắn xây dựng theo mô hình kinh tế tuần hoàn. Sở Nông nghiệp và Môi trường Hà Nội, 2026.
- [8] Bạch Huy Thanh. Hà Nội tái chế phế thải xây dựng ngay tại công trường. Dân trí, 2026. Internet: <https://dantri.com.vn/thoi-su/ha-noi-tai-che-phe-thai-xay-dung-ngay-tai-cong-truong-20260728065914694.htm> (truy cập: tháng 7/2026).
- [9] UBND TP Hà Nội. Quyết định số 2831/QĐ-UBND ngày 06/6/2025 về việc phê duyệt Đề án "Tổng thể công tác quản lý chất thải rắn xây dựng trên địa bàn TP Hà Nội giai đoạn đến năm 2030".
- [10] Công ty TNHH MTV Môi trường đô thị TP Hồ Chí Minh. Trung chuyển chất thải. Internet: <https://www.citenco.com.vn/cong-nghe/thu-gom-van-chuyen-trung-chuyen-chat-thai/trung-g-chuyen-chat-thai> (truy cập: tháng 7/2026).
- [11] Nguyễn Hà. Quy định giá tối đa thu gom, vận chuyển, xử lý chất thải tại Hà Nội. Báo Nông nghiệp và Môi trường, 2025. Internet: <https://nongnghiepmoitruong.vn/quy-dinh-gia-toi-da-thu-gom-van-chuyen-xu-ly-chat-thai-tai-ha-noi-d786539.html> (truy cập: tháng 7/2026).

Quản lý môi trường dựa trên chỉ số KPI đối với máy xây dựng trong thi công công trình giao thông ở Việt Nam

Environmental management based on KPI indicators for construction equipment in transport infrastructure projects in Vietnam

> TS NGUYỄN ĐÌNH TỬ, PGS.TS NGUYỄN HỒNG THÁI*

Trường Đại học Giao thông vận tải; *Email: nhthai@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo tập trung phân tích và lượng hóa các tác động môi trường chủ yếu phát sinh từ máy xây dựng trong thi công công trình giao thông ở Việt Nam, dựa trên dữ liệu tổng hợp từ các dự án điển hình, đặc biệt là dự án cao tốc Bắc - Nam. Bài báo đề xuất hệ thống chỉ số KPI môi trường như một công cụ quản lý theo hiệu quả, cho phép đo lường, giám sát và so sánh tác động môi trường của máy thi công trong suốt quá trình thi công. Kết quả phân tích cho thấy việc tích hợp KPI môi trường vào hợp đồng hợp tác công - tư (PPP) và cơ chế thanh toán theo kết quả có tiềm năng giảm phát thải khí và bụi, kiểm soát tiếng ồn, đồng thời nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng. Nghiên cứu góp phần cung cấp cơ sở khoa học cho việc đổi mới công cụ quản lý môi trường trong xây dựng giao thông, hướng tới phát triển hạ tầng giao thông bền vững tại Việt Nam.

Từ khóa: Máy xây dựng; KPI môi trường; quản lý môi trường; PPP.

ABSTRACT

This paper focuses on analyzing and quantifying the major environmental impacts generated by construction equipment during the implementation of transport infrastructure projects in Vietnam, using synthesized data from representative projects, with particular emphasis on the North-South Expressway project. The paper proposes an environmental Key Performance Indicator (KPI) system as a performance-based management tool that enables the measurement, monitoring, and comparison of environmental impacts from construction equipment throughout the construction lifecycle. The results indicate that integrating environmental KPIs into PPP contracts and result-based payment mechanisms has strong potential to reduce gaseous and particulate emissions, control noise pollution, and improve energy efficiency. This study provides scientific evidence to support the modernization of environmental management instruments in transport construction, contributing to the sustainable development of transport infrastructure in Vietnam.

Keywords: Construction equipment; environmental KPI; environmental management; PPP.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Phát triển kết cấu hạ tầng giao thông đóng vai trò then chốt trong quá trình thúc đẩy tăng trưởng kinh tế - xã hội và nâng cao năng lực cạnh tranh quốc gia của Việt Nam. Trong giai đoạn 2026 - 2030, nhiều dự án giao thông quy mô lớn, đặc biệt là các tuyến đường cao tốc, được triển khai đồng loạt trên phạm vi cả nước. Quá trình này kéo theo nhu cầu sử dụng với cường độ cao các loại máy xây dựng hạng nặng trong thời gian dài, làm gia tăng đáng kể các tác động môi trường trong giai đoạn thi công. Các nghiên cứu về hiệu quả môi trường trong ngành xây dựng cho thấy hoạt động xây dựng cần được đánh giá thông qua hệ thống các chỉ số hiệu suất môi trường nhằm nhận diện và kiểm soát các nguồn tác động chính [6, 9]. Thực tiễn cho thấy máy xây dựng sử dụng nhiên liệu diesel là

nguồn phát sinh chủ yếu các chất ô nhiễm không khí như oxit nitơ (NOx), bụi mịn (PM), tiếng ồn và tiêu hao năng lượng. Các tác động môi trường từ hoạt động thi công, trong đó có phát thải từ thiết bị và phương tiện xây dựng, là một trong những nội dung cần được quan tâm trong quản lý môi trường công trường [2, 3, 4].

Mặc dù khung pháp lý về bảo vệ môi trường trong xây dựng ở Việt Nam đã từng bước được hoàn thiện, công tác quản lý tác động môi trường của máy thi công hiện nay vẫn chủ yếu dựa trên cơ chế tuân thủ hành chính và các thủ tục tiền kiểm, điển hình là đánh giá tác động môi trường. Cách tiếp cận này còn bộc lộ những hạn chế nhất định, do thiếu các công cụ định lượng để theo dõi, giám sát và đánh giá hiệu quả môi trường trong suốt quá trình thi công, đặc biệt trong các dự án triển khai theo mô hình đối tác công - tư (PPP), nơi

mục tiêu tối ưu chi phí và tiến độ thường được ưu tiên. Trong các dự án hạ tầng phức tạp, việc lựa chọn và theo dõi các chỉ số hiệu suất môi trường được xem là cần thiết để chuyển từ quản lý dựa trên tuân thủ sang quản lý dựa trên kết quả [10].

Trong bối cảnh đó, việc áp dụng các công cụ quản lý môi trường dựa trên hiệu quả, tiêu biểu là hệ thống chỉ số KPI môi trường, được xem là hướng tiếp cận phù hợp nhằm khắc phục những hạn chế của mô hình quản lý truyền thống. Tổng quan gần đây về các chỉ số hiệu suất môi trường trong ngành xây dựng cho thấy KPI có thể được sử dụng để đo lường, theo dõi và so sánh hiệu quả môi trường của hoạt động xây dựng [6]. KPI môi trường cho phép lượng hóa các tác động môi trường của máy xây dựng, tạo cơ sở để so sánh hiệu suất giữa các dự án và giữa các nhà thầu, đồng thời hỗ trợ việc gắn trách nhiệm môi trường với cơ chế kinh tế trong quản lý dự án. Bên cạnh đó, các nghiên cứu về công nghệ số cho thấy việc số hóa quá trình thu thập và quản lý dữ liệu có thể hỗ trợ giảm phát thải carbon và nâng cao hiệu quả môi trường trong xây dựng [8]. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất khung quản lý dựa trên chỉ số KPI môi trường như một công cụ hỗ trợ quản lý nhà nước và quản lý dự án, góp phần nâng cao hiệu quả bảo vệ môi trường và thúc đẩy phát triển bền vững hạ tầng giao thông tại Việt Nam.

2. THỰC TRẠNG TÁC ĐỘNG MÔI TRƯỜNG VÀ THẢO LUẬN KẾT QUẢ
2.1. Phát thải ô nhiễm không khí từ máy xây dựng trong thi công công trình giao thông

Hoạt động thi công các công trình giao thông quy mô lớn tại Việt Nam, đặc biệt là các dự án cao tốc, sử dụng mật độ cao máy xây dựng chạy bằng nhiên liệu diesel trong thời gian dài. Đây là nguồn phát sinh chủ yếu các chất ô nhiễm không khí như oxit nitơ (NOx) và bụi mịn (PM), gây tác động tiêu cực đến chất lượng môi trường không khí khu vực thi công cũng như các khu dân cư lân cận. Các nghiên cứu về phát thải tại công trường xây dựng cũng nhấn mạnh nhu cầu kiểm soát các nguồn phát thải trực tiếp từ hoạt động thi công và thiết bị xây dựng [7].

Bảng 1. Các loại máy xây dựng điển hình và hệ số phát thải môi trường trong các dự án hạ tầng giao thông tại Việt Nam

Loại thiết bị	Loại nhiên liệu	Mức tiêu thụ nhiên liệu trung bình (L/giờ)	Hệ số phát thải NOx (g/L)	Hệ số phát thải PM (g/L)
Máy đào	Diesel	18-22	35-45	1,8-2,4
Máy ủi	Diesel	20-25	40-50	2,0-2,8
Xe ben (15 -20 tấn)	Diesel	25-30	30-40	1,5-2,2
Lư rung	Diesel	12-15	28-35	1,2-1,8
Máy san	Diesel	14-18	32-40	1,4-2,0

Nguồn: Tác giả tổng hợp

Kết quả tổng hợp trong Bảng 1 cho thấy các thiết bị như xe ben và máy ủi có mức tiêu thụ nhiên liệu và hệ số phát thải NOx, PM cao hơn so với các loại máy khác. Kết quả này phù hợp với nhận định chung của các nghiên cứu về phát thải tại công trường, theo đó các hoạt động và thiết bị sử dụng nhiên liệu hóa thạch là những nguồn cần được ưu tiên kiểm soát trong chiến lược giảm phát thải xây dựng [7, 9].

Từ góc độ quản lý môi trường, kết quả ở Bảng 1 cho thấy nếu chỉ tập trung kiểm soát chung toàn bộ máy thi công thì hiệu quả giảm phát thải sẽ không cao. Thay vào đó, các biện pháp quản lý cần ưu tiên vào nhóm thiết bị có cường độ phát thải lớn, đặc biệt trong các giai đoạn thi công nền móng - nơi phát sinh tác động môi trường lớn nhất.

Để tăng khả năng so sánh và ứng dụng trong quản lý dự án, nghiên cứu tiếp tục chuẩn hóa mức phát thải theo đơn vị chiều dài công trình. Bảng 2 trình bày mức tiêu thụ nhiên liệu và phát thải không khí ước tính trên mỗi km thi công dự án cao tốc Bắc - Nam tại ba khu vực địa lý khác nhau.

Bảng 2. Ước tính mức tiêu thụ nhiên liệu và phát thải không khí trên mỗi km thi công cao tốc

Đoạn dự án	Tiêu thụ nhiên liệu (L/km)	Phát thải NOx (kg/km)	Phát thải PM (kg/km)
Cao tốc Bắc - Nam (đoạn phía Bắc)	2.700-2.900	95-110	4,8-5,5
Cao tốc Bắc - Nam (đoạn miền Trung)	2.900-3.200	110-140	5,5-6,8
Cao tốc Bắc - Nam (đoạn phía Nam)	2.800-3.000	100-120	5,0-6,0

Nguồn: Báo cáo quan trắc hiện trường và hồ sơ của nhà thầu

Kết quả cho thấy đoạn cao tốc khu vực miền Trung có mức tiêu thụ nhiên liệu (2.900-3.200 L/km) và phát thải NOx (110-140 kg/km) cao nhất. Nguyên nhân chủ yếu là do điều kiện địa hình phức tạp, khối lượng đào đắp lớn và thời gian thi công kéo dài hơn so với các đoạn phía Bắc và phía Nam.

2.2. Thảo luận so sánh phát thải thi công cao tốc Việt Nam với kinh nghiệm quốc tế

Trên cơ sở các kết quả định lượng về phát thải theo đơn vị km tại Bảng 2, nghiên cứu tiếp tục đặt các dự án cao tốc tại Việt Nam trong bối cảnh so sánh quốc tế nhằm đánh giá mức độ hiệu quả môi trường của hoạt động thi công. Bảng 3 trình bày so sánh phát thải NOx giữa Việt Nam, Trung Quốc và Hàn Quốc.

Bảng 3. So sánh phát thải NOx trong thi công cao tốc giữa Việt Nam và một số quốc gia

Quốc gia/Loại dự án	Giai đoạn thi công	Phát thải NOx (tấn/km/năm)
Việt Nam - Cao tốc Bắc - Nam	2018 - 2023	1,1 - 1,4
Trung Quốc - Dự án cao tốc	2010 - 2015	1,0 - 1,3
Trung Quốc - Dự án cao tốc	2018 - 2025	0,8 - 1,0
Hàn Quốc - Dự án đường cao tốc	2015 - 2025	0,7 - 0,9

Nguồn: Tổng hợp từ các nghiên cứu giao thông và môi trường cấp quốc gia

Kết quả cho thấy phát thải NOx trong thi công cao tốc Bắc - Nam của Việt Nam (1,1-1,4 tấn/km/năm) cao hơn so với các dự án cao tốc tại Trung Quốc sau năm 2018 và Hàn Quốc sau năm 2015. Khoảng cách này phản ánh sự khác biệt về trình độ công nghệ thiết bị, tiêu chuẩn khí thải áp dụng cho máy xây dựng cũng như mức độ hiệu quả của các công cụ quản lý môi trường trong giai đoạn thi công. Sự khác biệt về hiệu quả môi trường không chỉ phụ thuộc vào đặc tính kỹ thuật của thiết bị mà còn liên quan đến cách thức lựa chọn, theo dõi và đánh giá các chỉ số hiệu suất môi trường trong dự án. Các nghiên cứu quốc tế gần đây cho thấy hệ thống chỉ số môi trường ngày càng được sử dụng như một công cụ để đánh giá và cải thiện hiệu quả môi trường của hoạt động xây dựng [6, 10].

Trong khi Trung Quốc và Hàn Quốc đã từng dựng siết chặt tiêu chuẩn khí thải đối với máy xây dựng và gắn các chỉ tiêu môi trường với đánh giá hiệu suất nhà thầu, thì tại Việt Nam công tác quản lý môi trường vẫn chủ yếu dựa trên yêu cầu tuân thủ báo cáo ĐTM. Điều này dẫn đến khoảng trống giữa mục tiêu kiểm soát phát thải và kết quả thực tế tại công trường. Theo hướng tiếp cận quản lý hiện đại, khoảng trống này có thể được thu hẹp thông qua việc xác lập các chỉ số hiệu suất có thể đo lường, theo dõi và đánh giá trong suốt vòng đời dự án [6, 10].

2.3. Liên kết kết quả thực nghiệm với hệ thống KPI môi trường và hàm ý quản lý

Từ các kết quả định lượng về phát thải hiện tại (Bảng 2) và khoảng cách so với chuẩn mực quốc tế (Bảng 3), nghiên cứu đề xuất hệ thống chỉ số KPI môi trường nhằm quản lý hiệu quả máy xây dựng trong thi công giao thông tại Việt Nam, như trình bày trong Bảng 4. Cách tiếp cận này phù hợp với xu hướng nghiên cứu hiện nay về lựa chọn các chỉ số hiệu suất môi trường trong xây dựng, trong đó các chỉ số cần có khả năng đo lường, giám sát và hỗ trợ ra quyết định quản lý [6], [10].

Bảng 4. Đề xuất hệ thống chỉ số KPI môi trường đối với máy xây dựng trong các dự án giao thông

Nhóm KPI	Chỉ số	Đơn vị	Giá trị mục tiêu
Hiệu quả năng lượng	Tiêu thụ nhiên liệu	L/km	≤ 2.700
Phát thải khí	Phát thải NO _x	kg/km	≤ 95
Chất lượng không khí	Nồng độ PM ₁₀	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	≤ 150
Tiếng ồn	Mức ồn tương đương (Leq)	dBA	≤ 70
Chất lượng thiết bị	Tỷ lệ máy đạt chuẩn	%	≥ 80

Nguồn: Tác giả tổng hợp và đề xuất

Các ngưỡng KPI được xây dựng theo nguyên tắc “giảm dần có kiểm soát”, tức là thấp hơn mức phát thải trung bình hiện nay nhưng vẫn nằm trong phạm vi khả thi về mặt kỹ thuật và kinh tế. Chẳng hạn, KPI về tiêu thụ nhiên liệu (≤ 2.700 L/km) và phát thải NO_x (≤ 95 kg/km) được xác định dựa trên giá trị thấp của các đoạn thi công hiện tại và tiệm cận mức phát thải của các dự án cao tốc tại Trung Quốc và Hàn Quốc trong giai đoạn gần đây. Việc sử dụng KPI thay vì chỉ dựa trên các yêu cầu tuân thủ giúp chuyển các mục tiêu môi trường thành các chỉ tiêu định lượng có thể theo dõi và đánh giá. Đây cũng là hướng tiếp cận phù hợp với các nghiên cứu về quản lý hiệu suất môi trường trong các dự án hạ tầng phức tạp [10].

Việc liên kết chặt chẽ giữa Bảng 2 (phát thải thực tế), Bảng 3 (chuẩn so sánh quốc tế) và Bảng 4 (KPI đề xuất) tạo nên một chuỗi logic quản lý rõ ràng: (i) đo lường hiện trạng, (ii) xác định khoảng cách hiệu suất môi trường, và (iii) đề xuất công cụ chính sách cụ thể để thu hẹp khoảng cách đó. Đây là điểm then chốt giúp hệ thống KPI không mang tính hình thức mà trở thành công cụ quản lý dựa trên bằng chứng.

Trong bối cảnh các dự án giao thông lớn tại Việt Nam ngày càng triển khai theo mô hình PPP, hệ thống KPI môi trường có thể được tích hợp trực tiếp vào hợp đồng dự án và cơ chế thanh toán theo kết quả. Cách tiếp cận này không chỉ góp phần giảm phát thải và tiếng ồn mà còn tạo động lực kinh tế để nhà thầu đầu tư vào máy móc đạt chuẩn khí thải cao hơn, từ đó ưu hóa tổ chức thi công và nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng.

3. KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ QUẢN LÝ - CHÍNH SÁCH

3.1. Kết luận

Nghiên cứu đã phân tích một cách có hệ thống các tác động môi trường chủ yếu phát sinh từ máy xây dựng trong thi công công trình giao thông tại Việt Nam, bao gồm phát thải khí, bụi, tiếng ồn và tiêu hao năng lượng. Kết quả phân tích cho thấy phát thải môi trường tập trung chủ yếu vào một số nhóm thiết bị sử dụng nhiên liệu diesel với cường độ cao, như máy ủi, xe ben và máy đào, đặc biệt trong các giai đoạn thi công nền móng và mặt đường. So sánh quốc tế cho thấy mức phát thải NO_x trong thi công cao tốc tại Việt Nam vẫn cao hơn so với các quốc gia đã áp dụng tiêu chuẩn khí thải nghiêm ngặt và cơ chế quản lý dựa trên hiệu suất, phản ánh khoảng cách đáng kể về công nghệ thiết bị và công cụ quản lý môi trường.

Một đóng góp quan trọng của nghiên cứu là đề xuất hệ thống chỉ số KPI môi trường cho máy xây dựng trong thi công công trình giao thông, được xây dựng dựa trên dữ liệu thực tế trong nước và tham chiếu kinh nghiệm quốc tế. Hệ thống KPI này cho phép chuyển đổi cách tiếp cận quản lý môi trường từ mô hình tuân thủ hành chính sang mô hình quản lý dựa trên hiệu quả, trong đó các tác động môi trường được đo lường, giám sát và so sánh một cách định lượng trong suốt quá trình thi công. Cách tiếp cận này phù hợp với xu hướng xây dựng hệ thống chỉ số hiệu suất môi trường trong ngành Xây dựng, trong đó việc lựa chọn các chỉ số định lượng là cơ sở để theo dõi và cải thiện hiệu quả môi trường của dự án [6, 10].

Nhìn chung, kết quả nghiên cứu khẳng định rằng việc áp dụng KPI môi trường không chỉ góp phần giảm phát thải khí, bụi và tiếng ồn, mà còn nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng của máy thi

công, qua đó tạo nền tảng khoa học cho quản lý môi trường hiệu quả hơn trong các dự án giao thông quy mô lớn tại Việt Nam.

3.2. Khuyến nghị

Trên cơ sở các kết quả nghiên cứu, bài báo đề xuất một số khuyến nghị quản lý và chính sách nhằm thúc đẩy áp dụng hiệu quả hệ thống KPI môi trường đối với máy xây dựng trong thi công công trình giao thông tại Việt Nam.

Thứ nhất, đối với cơ quan quản lý nhà nước, cần từng bước ban hành hướng dẫn kỹ thuật về xây dựng và áp dụng KPI môi trường cho máy thi công trong các dự án giao thông trọng điểm. Các chỉ số như tiêu thụ nhiên liệu, phát thải NO_x, nồng độ bụi và mức ồn nên được chuẩn hóa theo đơn vị chiều dài công trình hoặc khối lượng thi công, nhằm bảo đảm tính so sánh giữa các dự án và giữa các nhà thầu.

Thứ hai, trong bối cảnh các dự án giao thông ngày càng được triển khai theo mô hình PPP, KPI môi trường cần được tích hợp trực tiếp vào hợp đồng dự án như một phần của cơ chế quản lý rủi ro và phân chia trách nhiệm. Việc gắn KPI môi trường với cơ chế thanh toán theo kết quả hoặc thưởng - phạt tài chính sẽ tạo động lực kinh tế rõ ràng để nhà thầu đầu tư vào máy móc đạt chuẩn khí thải cao hơn, tối ưu hóa tổ chức thi công và giảm thiểu tác động môi trường.

Thứ ba, cần tăng cường hệ thống giám sát và công khai thông tin môi trường trong giai đoạn thi công. Việc ứng dụng các công nghệ giám sát số, như thiết bị đo tiêu thụ nhiên liệu, cảm biến khí thải và tiếng ồn, sẽ hỗ trợ thu thập dữ liệu KPI một cách liên tục và khách quan, qua đó nâng cao tính minh bạch và trách nhiệm giải trình của các chủ thể tham gia dự án. Việc tăng cường ứng dụng công nghệ số trong thu thập và quản lý dữ liệu môi trường cũng phù hợp với xu hướng chuyển đổi số trong xây dựng và tiềm năng giám phát thải thông qua các công nghệ số [8].

Cuối cùng, về dài hạn, Nhà nước cần kết hợp công cụ KPI môi trường với các chính sách khuyến khích đổi mới công nghệ, như ưu đãi thuế, tín dụng xanh hoặc hỗ trợ kỹ thuật cho việc thay thế máy thi công cũ bằng các thiết bị tiết kiệm năng lượng và phát thải thấp. Cách tiếp cận tổng hợp này không chỉ góp phần cải thiện hiệu quả quản lý môi trường trong xây dựng giao thông, mà còn phù hợp với định hướng phát triển hạ tầng bền vững và tăng trưởng xanh tại Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bộ Tài nguyên và Môi trường. Báo cáo hiện trạng môi trường quốc gia năm 2023, Hà Nội, 2023.
- [2] H. A. Đỗ. Báo cáo ô nhiễm môi trường do thi công xây dựng công trình tại Việt Nam. Nhóm nghiên cứu, Trường Đại học Giao thông vận tải, 2025.
- [3] Nguyễn Hoàng Đức. Thực trạng ô nhiễm không khí tại Việt Nam: Nguyên nhân, giải pháp và đề xuất kiến nghị. Tạp chí Môi trường, tr. 73-88, tháng 7/2025.
- [4] Đinh Văn Châu (chủ biên), Phạm Văn Quân. Ô nhiễm môi trường Việt Nam, NXB. Xây dựng, Hà Nội, 2018.
- [5] Bộ Tài nguyên và Môi trường. Công tác quản lý môi trường - tổng kết năm 2024. Báo cáo tham luận, Hà Nội, 2024.
- [6] I. Mrak, L. Zupančič, M. Tomič, G. Rupnik, and M. Keber. An overview of environmental performance indicators in construction and building industry. Applied Sciences, vol. 15, no. 22, Art. no. 12135, Nov. 2025.
- [7] M. Tetik, E. PİKas, L. Koskela, and K.-R. Vendel. Construction site emissions: Exploring sustainable practices, in Proc. 33rd Annual Conf. International Group for Lean Construction (IGLC33), pp. 1208-1218, 2025.
- [8] L. Geng, S. Li, E. Noroozinejad Farsangi, X. Xu, and V. W. Y. Tam. How do digital technologies reduce carbon emissions in the construction industry? A systematic review. Energy and Buildings, vol. 279, 2025.
- [9] I. Mosly, M. K. Kaur and S. Thakker. Carbon footprint of global construction industries: Construction Carbon Sustainability Index. Sustainability, vol. 17, no. 20, 2025.
- [10] J. M. Salamé. Enhancing and monitoring the environmental performance in complex infrastructure projects: Selection of performance indicators. Engineering Reports, 2025.

■Ngày nhận bài: 24/7/2026 ■Ngày sửa bài: 10/8/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 18/8/2026

Thực trạng hạ tầng giao thông đường bộ tại Đồng bằng sông Cửu Long và định hướng tái cấu trúc thích ứng mạng lưới giao thông đường thủy

Road transport infrastructure vulnerability in the mekong delta and strategic orientations for adaptive restructuring of the inland waterway network

> PGS.TS TRINH TÚ ANH¹, THS.KTS ĐẶNG THẾ HIỂN^{1,*}, THS.KTS THÁI ANH VŨ¹, TS PHẠM NGUYỄN HOÀI¹

¹Viện Đô thị Thông minh và Quản lý (ISCM), Đại học Kinh tế TP. Hồ Chí Minh

*Corresponding author, Email: hiendt@ueh.edu.vn

TÓM TẮT

Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) đang đối mặt với tình trạng quá tải hạ tầng đường bộ, trong khi biến đổi khí hậu và sụt lún địa chất diện rộng làm suy giảm tính khả thi của mô hình đầu tư lấy đường bộ làm trọng tâm. Nghiên cứu áp dụng phân tích chồng lớp GIS kết hợp mô hình hóa ngập tĩnh theo ba kịch bản mực nước dâng tương đối (0,7 m; 1,1 m và 1,5 m) để định lượng tác động lên 66.307 km đường bộ tại sáu tỉnh/thành, đồng thời tích hợp dữ liệu cơ lý đất (7 nhóm) để phân vùng rủi ro hạ tầng. Kết quả cho thấy kịch bản cơ sở (sụt lún tích lũy + nước biển dâng) ảnh hưởng tới 79,77% mạng lưới, trong khi triều cường Biển Đông đe dọa thêm 48,82%. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất định hướng chiến lược tái cơ cấu theo hướng lấy giao thông thủy nội địa làm trục xương sống thích ứng, kết nối với cảng biển cửa ngõ quốc tế và hệ thống cảng cạn.

Từ khóa: Giao thông thủy nội địa; quá tải hạ tầng; biến đổi khí hậu; sụt lún đất; GIS; phân tích kịch bản; Đồng bằng sông Cửu Long.

ABSTRACT

The Mekong Delta faces severe road-infrastructure overload, while climate change and widespread land subsidence undermine road-centric investment strategies. Using GIS overlay analysis with static inundation modelling across three relative sea-level rise scenarios (0.7 m; 1.1 m; 1.5 m) and integrating soil mechanics data, the study finds that the baseline scenario (accumulated subsidence + sea-level rise) affects 79.77% of the 66,307 km road network, while Eastern Sea tidal surges threaten an additional 48.82%. Restructuring toward inland waterway transport as the adaptive backbone, connected to international gateway seaports and dry ports, is proposed as a strategic orientation warranting further investigation.

Keywords: Inland waterway transport; infrastructure overload; climate change; land subsidence; GIS; scenario analysis; Mekong Delta.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

ĐBSCL giữ vai trò then chốt trong an ninh lương thực và kinh tế Việt Nam, song hạ tầng giao thông đang quá tải trước sức ép công nghiệp hóa [6]. Đường bộ chiếm 70 - 80% vốn đầu tư hạ tầng vùng nhưng chi phí logistics vẫn ở mức 20 - 25% giá thành nông sản [10], mô hình lấy đường bộ làm trọng tâm chưa phù hợp với đặc thù nền đất yếu của vùng.

Nghiên cứu LiDAR cho thấy cao độ nền thực tế của ĐBSCL chỉ khoảng 0,82 m so với mực nước biển trung bình [15, 29] thấp

hơn nhiều so với ước tính SRTM 2,6 m trước đây. Kết hợp với tốc độ sụt lún trung bình khoảng 2 cm/năm [5] và nước biển dâng, rủi ro kép này đòi hỏi phân tích tác động hạ tầng theo nhiều kịch bản ngập.

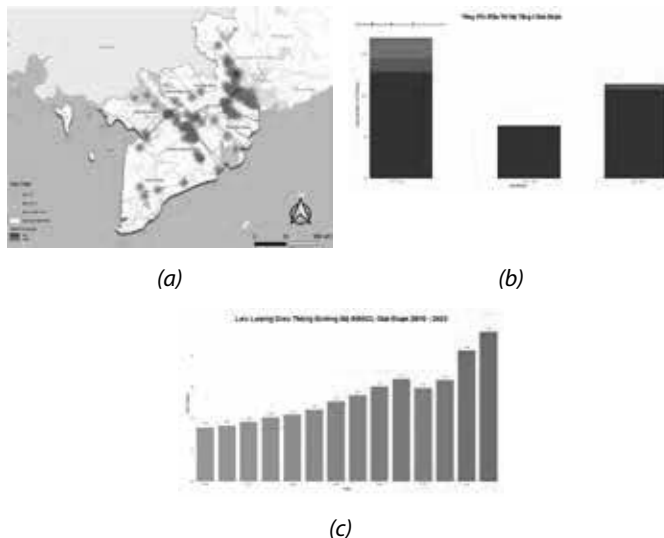
ĐBSCL sở hữu trên 28.000 km kênh rạch, mạng lưới đường thủy dày đặc nhất Đông Nam Á nhưng chỉ khai thác 20 - 30% tiềm năng do hạn chế tính không cầu và độ sâu luồng lạch [19]. Bài báo phân tích tác động ngập lụt đến 66.307 km đường bộ của sáu tỉnh/thành phố theo ba kịch bản mực nước dâng, từ đó

để xuất định hướng tái cơ cấu hạ tầng lấy đường thủy làm trục chiến lược.



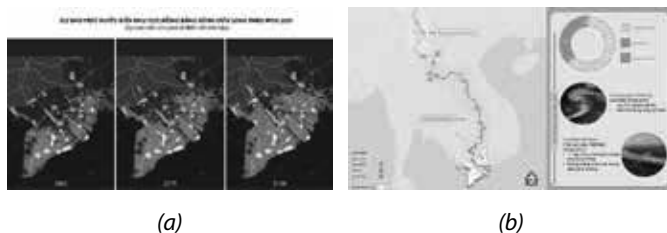
Hình 1. Bản đồ mạng lưới giao thông và các hành lang kinh tế trọng điểm vùng ĐBSCL. Nguồn: Nhóm tác giả biên tập trên nền dữ liệu OpenStreetMap

2. HIỆN TRẠNG QUÁ TẢI, TÁC ĐỘNG KHÍ HẬU VÀ SỤT LÚN



Hình 2. (a) Bản đồ mạng lưới khu công nghiệp vùng ĐBSCL; (b) Tổng vốn đầu tư hạ tầng ĐBSCL qua ba giai đoạn 2010-2025; (c) Lưu lượng giao thông đường bộ ĐBSCL giai đoạn 2010 - 2023. Nguồn: Nhóm tác giả tổng hợp; số liệu GSO.

Sự bùng nổ khu công nghiệp tại Tây Ninh, An Giang và Cần Thơ đã đẩy lưu lượng xe tải trên Quốc lộ 1A vượt ngưỡng thiết kế [10]. Giai đoạn 2010 - 2025, đầu tư hạ tầng vùng tăng liên tục nhưng lệch pha: đường bộ chiếm 70 - 80% trong khi đường thủy nhận dưới 10% [18]. Tầng bùn sét dày và sức chịu tải thấp khiến đường bộ nhạy cảm với tải trọng động, đẩy chi phí duy tu lên cao [9, 30].



Hình 3. (a) Dự báo mực nước biển khu vực ĐBSCL theo IPCC 2021; (b) Tổng hợp các dự án thủy điện trên sông Mê Công; (c) Chiều dài các kênh ĐBSCL phân theo cấp. Nguồn: Nhóm tác giả biên tập từ IPCC [8] và tổng hợp, số liệu năm 2022; nhóm tác giả tổng hợp theo Quyết định số 1829/QĐ-TTg [26]

Sụt lún do khai thác nước ngầm quá mức diễn ra nhanh hơn nhiều lần so với nước biển dâng tự nhiên [13], làm giảm tuổi thọ công trình và đe dọa tính liên tục của mạng lưới giao thông cùng chuỗi cung ứng từ khu công nghiệp đến cảng biển [22]. Tốc độ sụt lún không đồng nhất trên toàn vùng: chênh lệch nhiều lần giữa thượng châu thổ và các khu vực đô thị hóa nhanh cùng dải ven biển phía Nam, nơi khai thác nước ngầm tập trung nhất [2, 3, 14].

Thách thức vật liệu san lấp trầm trọng hơn khi các đập thủy điện thượng nguồn giữ lại trầm tích, đẩy giá cát lên cao và gây xói lở hạ du [7, 21]. Các nghiên cứu LiDAR xác nhận ĐBSCL thấp hơn nhiều so với giả định quy hoạch cũ [15], với phần lớn hành lang kinh tế và KCN trọng điểm nằm trong vùng sụt lún nhanh nhất [2], khiến đầu tư đường bộ truyền thống trở nên tốn kém [27].

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

3.1. Dữ liệu đầu vào và phạm vi nghiên cứu

Nghiên cứu áp dụng phân tích không gian địa lý trên phần mềm QGIS với năm nhóm dữ liệu đầu vào: (1) mô hình số độ cao SRTM Global 1 arc-second phiên bản 3 (SRTMGL1 v003) của NASA/USGS, độ phân giải khoảng 30 m, thu nhận năm 2000, hệ tọa độ WGS 84 (EPSG:4326), mốc cao độ EGM96 [4, 16]; (2) mạng lưới đường bộ trích xuất từ OpenStreetMap [20], gồm cao tốc, Quốc lộ 1A, quốc lộ, tỉnh lộ liên tỉnh và đường cấp phường/xã của sáu tỉnh, TP An Giang, Cà Mau, Đồng Tháp, Tây Ninh, Vĩnh Long và Cần Thơ (tổng 66.307 km) theo ranh giới hành chính sau sắp xếp năm 2025; (3) bản đồ thổ nhưỡng phân loại thành bảy nhóm cơ lý; (4) ranh giới vùng lan truyền triều từ Biển Đông và Biển Tây [11]; và (5) dự báo nước biển dâng theo kịch bản SSP2-4.5 [8].

Do SRTM là mô hình bề mặt thu nhận năm 2000, cao độ nền có xu hướng bị đánh giá cao hơn thực tế và phần sụt lún giai đoạn 2000 - 2025 chưa được phản ánh [15, 29].

3.2. Quy trình phân tích chống lóp không gian

Nghiên cứu áp dụng mô hình hóa ngập tĩnh dựa trên kịch bản mực nước biển dâng tương đối (RSLR) đến năm 2050, tích hợp hai thành phần chính:

(1) Nước biển dâng toàn cầu $\Delta SLR = 0,2$ m theo kịch bản SSP2-4.5 [8];

(2) Sụt lún địa chất tích lũy $\Delta LS = 0,5$ m, sử dụng như tham số trung bình cho toàn vùng, dựa trên tốc độ quan trắc thực địa trung bình 2 cm/năm trong vòng 25 năm tới [5, 15, 17].

Kịch bản cơ sở KB1 = $\Delta SLR + \Delta LS = 0,7$ m. Bổ sung biên độ triều cường Biển Tây (1,1 m tổng) và Biển Đông (1,5 m tổng) lần lượt cho KB2 và KB3. Hai kịch bản này chỉ áp dụng trong vùng lan truyền triều tương ứng, nên kết quả phản ánh phần tác động bổ sung theo từng hướng biển, không cộng dồn với KB1.

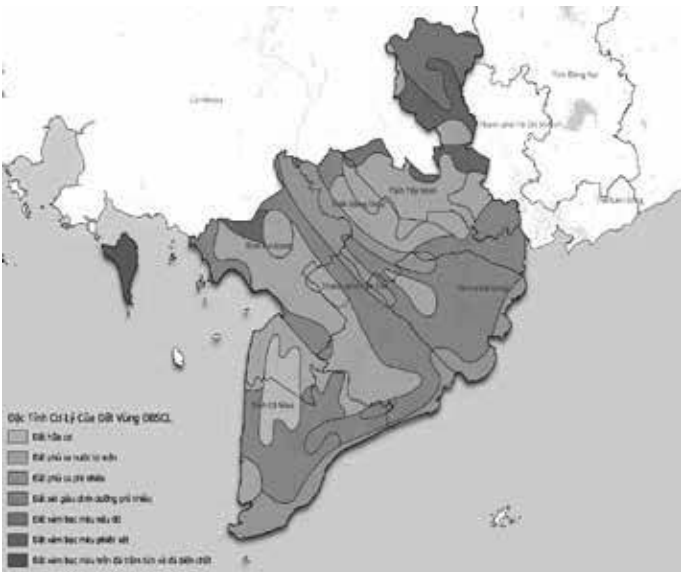
Do tốc độ sụt lún phân hóa mạnh theo tiểu vùng, $\Delta LS = 0,5$ m chỉ đại diện cho mức trung bình vùng: giá trị 25 năm có thể chỉ khoảng 0,25 - 0,35 m ở thượng châu thổ nhưng đạt 0,60 - 0,90 m tại

bán đảo Cà Mau và các đô thị sụt lún nhanh [2, 3, 13, 14]. Các tỷ lệ tại Bảng 3 vì vậy là ước lượng trung bình vùng.

Bảng 1. Tóm tắt ba kịch bản ngập tương đối đến năm 2050

Kịch bản	Ngưỡng ngập	Mô tả
KB1	0,7 m	Sụt lún tích lũy (0,5 m) + nước biển dâng (0,2 m) đến 2050.
KB2	1,1 m	KB1 kết hợp biên độ triều cường Biển Tây (+0,4 m), áp dụng trong vùng lan truyền triều Biển Tây.
KB3	1,5 m	KB1 kết hợp biên độ triều cường Biển Đông (+0,8 m), áp dụng trong vùng lan truyền triều Biển Đông.

Quy trình trong QGIS gồm ba bước: (1) chồng lớp DEM với mạng lưới đường bộ để xác định các đoạn có cao độ thấp hơn ngưỡng ngập; (2) tổng hợp chiều dài bị ảnh hưởng theo tỉnh và kịch bản; (3) chồng lớp 7 nhóm đất với kết quả ngập để xây dựng bản đồ phân vùng rủi ro đa tiêu chí.



Hình 4. Phân bố không gian các nhóm đất và đặc tính cơ lý vùng ĐBSCL. Nguồn: Nhóm tác giả, từ bản đồ thổ nhưỡng vùng ĐBSCL

Bảng 2. Đặc tính cơ lý và mức độ rủi ro hạ tầng của bảy nhóm đất vùng ĐBSCL

Nhóm đất	Phân loại	Đặc điểm cơ lý	Hạn chế và rủi ro hạ tầng	Chi phí xử lý nền
1. Đất hữu cơ	Rất Yếu	Than bùn, mùn, độ rỗng lớn, hàm lượng nước cao.	Sức chịu tải cực thấp, không ổn định dưới tải trọng động.	Rất Cao
2. Đất phù sa nước lợ mặn	Yếu	Sét mịn, bùn, tính dẻo cao, chứa muối và phèn lớn.	Ăn mòn, phá hủy kết cấu bê tông cốt thép.	Cao
3. Đất phù sa phì nhiêu	Yếu/TB	Sét mềm bão hòa nước, dễ biến dạng khi chịu tải trọng đắp.	Đắp nền gây lún sâu do ép thoát nước lỗ rỗng.	TB - Cao
4. Đất sét giàu dinh dưỡng	Yếu/TB	Hàm lượng sét cao, trương nở và co ngót mạnh theo độ ẩm.	Nứt toác, trượt sụt khi chuyển mùa.	TB - Cao
5. Đất xám bạc màu phiến sét	Khá	Thành phần cơ giới thô hơn, kết cấu khá ổn định.	Cần gia cố mái dốc trên địa hình dốc.	Thấp - TB
6. Đất xám bạc màu nâu đỏ	Tốt	Độ chặt tự nhiên cao, thoát nước tốt, sức chịu tải ổn định.	Ưu tiên phát triển trục giao thông trọng điểm.	Thấp
7. Đất xám trên đá trầm tích/biến chất	Rất Tốt	Hạt thô (cát pha, sạn sỏi), chịu tải trọng xe nặng cực tốt.	Chi phí duy tu thấp, ít biến dạng.	Rất Thấp

Nguồn: Nhóm tác giả tổng hợp từ bản đồ thổ nhưỡng vùng ĐBSCL

4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

4.1. Định lượng đứt gãy hạ tầng theo kịch bản ngập lụt

Kết quả phân tích chồng lớp GIS trên tổng 66.307 km đường bộ của sáu tỉnh/thành phố được tổng hợp theo tỉnh và kịch bản tại Bảng 3.

Bảng 3. Đánh giá tác động của các kịch bản biến đổi khí hậu đến mạng lưới đường bộ vùng ĐBSCL

Tỉnh/Thành phố	Hiện trạng (km)	KB1: Sụt lún + NBD (ngưỡng 0,7 m)		KB2: Phần bổ sung do triều cường Biển Tây (ngưỡng 1,1 m)		KB3: Phần bổ sung do triều cường Biển Đông (ngưỡng 1,5 m)	
		Chiều dài (km)	Tỷ lệ (%)	Chiều dài (km)	Tỷ lệ (%)	Chiều dài (km)	Tỷ lệ (%)
An Giang	8.718	6.914	79,31%	2.178	24,99%	2.031	23,30%
Cà Mau	5.223	4.338	83,06%	1.199	22,96%	3.079	58,95%
Đồng Tháp	13.516	12.041	89,09%	14	0,10%	7.824	57,88%
Tây Ninh	19.582	15.345	78,36%	0	0,00%	8.025	40,98%

Vinh Long	10.941	7.904	72,24%	0	0,00%	6.395	58,45%
Cần Thơ	8.328	6.353	76,28%	635	7,63%	5.020	60,27%
Tổng / Trung bình	66.307	52.894	79,77%	4.026	6,07%	32.373	48,82%

Ghi chú: Tỷ lệ (%) = Chiều dài đường bộ bị ảnh hưởng / Tổng chiều dài mạng lưới hiện trạng $\times 100$.

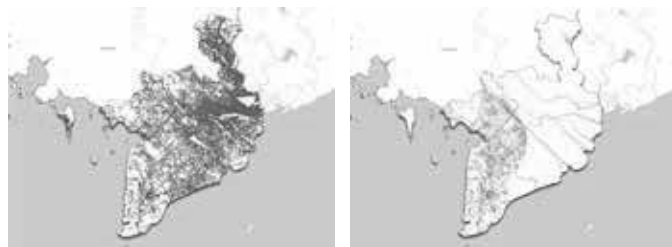
KB1: sụt lún tích lũy + nước biển dâng đến 2050; ngưỡng ngập 0,7 m.

KB2: KB1 kết hợp triều cường Biển Tây (Vịnh Thái Lan), ngưỡng tổng 1,1 m; cột KB2 là phần bổ sung trong vùng lan truyền triều, không cộng dồn với KB1.

KB3: KB1 kết hợp triều cường Biển Đông, ngưỡng ngập tổng 1,5 m. Cột KB3 được hiểu tương tự cột KB2.

Tất cả chiều dài được tính bằng kilômét (km). Tỷ lệ đứt gãy phản ánh tỷ trọng mạng lưới đường bộ mất khả năng kết nối.

KB1 (0,7 m) là mối đe dọa nghiêm trọng nhất: 79,77% (52.894 km) mạng lưới bị đứt gãy kết nối. Đồng Tháp chịu tỷ lệ cao nhất (89,09%) dù không giáp biển, cho thấy sụt lún chi phối toàn vùng; cả sáu tỉnh/thành đều vượt ngưỡng 72% [13].



(a)

(b)

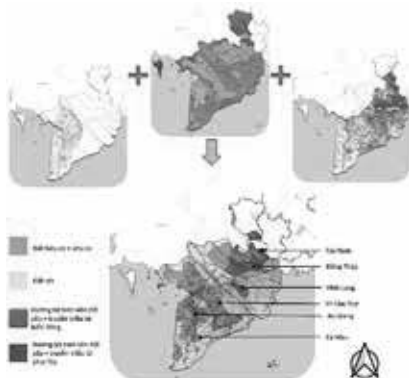


(c)

Hình 5. (a) Hạ tầng đường bộ bị ảnh hưởng theo KB1 - Sụt lún tích lũy đến 2050 (0,7 m); (b) Hạ tầng đường bộ bị ảnh hưởng theo KB2 - Triều cường Biển Tây (1,1 m); (c) Hạ tầng đường bộ bị ảnh hưởng theo KB3 - Triều cường Biển Đông (1,5 m). Nguồn: Kết quả phân tích của nhóm tác giả

KB2 (triều cường Biển Tây) có tác động thấp nhất (6,07%; 4.026 km) nhưng cục bộ tại An Giang (24,99%) và Cà Mau (22,96%). KB3 (triều cường Biển Đông) ảnh hưởng thêm 48,82% (32.373 km) - gấp 8 lần KB2 - với Cần Thơ, Cà Mau, Vinh Long và Đồng Tháp đều vượt 57%; An Giang chỉ bị 23,30% nhờ địa hình cao hơn.

4.2. Phân vùng thích nghi hạ tầng dựa trên tổ hợp ngập lụt - địa chất



Hình 6. Chồng lớp nhóm đất yếu với các đoạn đường bộ chịu lan truyền triều từ Biển Đông và Biển Tây. Nguồn: Kết quả phân tích của nhóm tác giả

Hình 6 thể hiện phân bố các nhóm đất yếu, trên đó tách riêng những đoạn đường bộ chịu lan truyền triều từ Biển Đông và Biển Tây (màu đỏ và xanh lá phân biệt hướng triều, không biểu thị mức rủi ro). Tổ hợp ba kịch bản ngập với bảy nhóm đất xác định ba vùng rủi ro: Vùng Đỏ (cao) - dưới ngưỡng KB3 trên đất nhóm 1-3, không khả thi duy trì đường bộ đắp nền dài hạn; Vùng Cam (trung bình) - chịu tác động KB2/KB3 trên đất nhóm 3-5, chi phí bảo trì cao; Vùng Xanh (thấp) - chỉ chịu KB1 trên đất nhóm 5 trở lên, ưu tiên phát triển đường bộ.

5. GIẢI PHÁP VÀ KIẾN NGHỊ CHIẾN LƯỢC

5.1. Ưu thế của hạ tầng đường thủy và đề xuất tái cơ cấu



(a)

(b)

Hình 7. (a) Mạng lưới cảng biển theo cấp vùng ĐBSCL; (b) Mạng lưới cảng sông theo công suất vùng ĐBSCL. Nguồn: (a) QĐ 1579/QĐ-TTg [25]; (b) Nhóm tác giả biên tập theo Quyết định số 1829/QĐ-TTg [26]

Khác với đường bộ nhạy cảm với tải trọng động trên đất yếu [18], đường thủy tận dụng dòng chảy tự nhiên, không tiêu hao cát san lấp và có năng lực vận chuyển vượt trội - một xà lan 500 tấn thay thế 25 xe tải 20 tấn, chi phí thấp hơn 30 - 40% [1]. Tại các vùng Đỏ và Cam, nghiên cứu kiến nghị ưu tiên tái cơ cấu sang vận tải thủy. Tuy nhiên, chưa đến 30% luồng tuyến hiện đáp ứng sà lan trên 300 tấn [12, 19].

5.2. Kiến toàn hành lang thủy nội địa và kết nối đa phương thức

Kiến toàn các hành lang vận tải thủy huyết mạch theo Quyết định số 287/QĐ-TTg [23] là yêu cầu cấp bách, tập trung nâng cấp tỉnh không cầu và độ sâu luồng lạch trên tuyến TP.HCM - Cà Mau, Đồng Tháp Mười và Tứ giác Long Xuyên [19]. Do các sông lớn chảy theo hướng tây bắc - đông nam, khôi phục các kênh đào vuông góc với dòng chảy sẽ tạo mạng lưới ô bàn cờ, tăng liên thông giữa các tiểu vùng. Dù vùng chiếm khoảng 90% lượng gạo, 70% trái cây và 65% thủy sản xuất khẩu của cả nước, chỉ 20-30% hàng hóa được thông quan qua cảng trong vùng [28]. Cảng biển quốc tế Trần Đề tiếp nhận tàu container đến 100.000 DWT theo Quyết định số 1579/QĐ-TTg [25] sẽ giữ vai trò cửa ngõ hạt nhân, kết hợp cảng cạn và cảng sông vệ tinh (Quyết định số 979/QĐ-TTg [24]) để giảm tải 30 - 40% cho đường bộ [1].

5.3. Kiến nghị về cơ cấu đầu tư và tiêu chuẩn thiết kế thích ứng

Nghiên cứu kiến nghị bốn nhóm giải pháp đồng bộ: (1) tái phân bổ vốn đầu tư công tăng tỷ trọng cho đường thủy, ưu tiên khơi thông

tính không cầu và nạo vét luồng lạch trên các tuyến kênh trục quốc gia; (2) đẩy nhanh xây dựng cảng cửa ngõ quốc tế cùng cảng cạn, cảng sông vệ tinh; (3) cập nhật tiêu chuẩn thiết kế theo dữ liệu sụt lún, khuyến khích cầu cạn và vật liệu nhẹ thay thế cát san lấp; và (4) đặt các giải pháp trên trong khung quy hoạch tích hợp giao thông với thủy lợi, biến kênh rạch thành hành lang đa chức năng [18].

5.4. Hạn chế của nghiên cứu

Nghiên cứu có ba hạn chế chính. Thứ nhất, dữ liệu cao độ là DEM bề mặt độ phân giải 30 m thu nhận năm 2000, còn Δ SLR và Δ LS được ngoại suy tuyến tính theo giá trị trung bình vùng. Thứ hai, mô hình ngập tĩnh chưa mô phỏng động lực học dòng chảy và hệ thống đê bao – cống ngăn triều, nên kết quả phản ánh mức độ phơi nhiễm theo cao độ chứ không phải xác suất ngập thực tế. Thứ ba, đề xuất chuyển dịch sang vận tải thủy mới dừng ở mức định hướng chiến lược; năng lực đáp ứng thực tế của hạ tầng đường thủy cần được nghiên cứu sâu hơn bằng chồng lớp GIS cho chính mạng lưới đường thủy và phân tích chi phí lợi ích toàn vòng đời.

6. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đóng góp hai kết quả: (1) định lượng tác động của biến đổi khí hậu và sụt lún theo ba kịch bản RSLR bằng chồng lớp GIS; và (2) xây dựng bản đồ phân vùng rủi ro hạ tầng tích hợp dữ liệu địa chất phục vụ quy hoạch. Dưới kịch bản KB1, 79,77% (52.894 km) trong tổng 66.307 km đường bộ bị đứt gãy kết nối; cộng thêm triều cường Biển Đông (KB3), thêm 48,82% mạng lưới đối mặt nguy cơ ngập, cho thấy đầu tư đường bộ đắp nền truyền thống là không bền vững.

Điều này đòi hỏi thay đổi tư duy căn bản: từ chống ngập cho đường bộ sang tái cấu trúc mạng lưới đa phương thức lấy đường thủy làm trục xương sống, bắt đầu từ tái phân bổ ngân sách đầu tư công. Tiêu chuẩn thiết kế cần cập nhật theo dữ liệu sụt lún, đặt trong khung quy hoạch tích hợp giao thông với quản lý tài nguyên nước, một hướng đi cần được ưu tiên trong lộ trình phát triển bền vững của ĐBSCL đến năm 2050. Các nghiên cứu tiếp theo cần sử dụng mô hình số độ cao chính xác hơn, bổ sung mô hình ngập động và lớp sụt lún biến thiên theo không gian, và mở rộng chồng lớp GIS sang mạng lưới đường thủy.

Lời cảm ơn: Bài viết là sản phẩm của Đề tài cấp Quốc gia “Đổi mới phương thức vận động và sử dụng hiệu quả các nguồn lực để phát triển kết cấu hạ tầng giao thông tại vùng Đồng bằng sông Cửu Long, thích ứng với biến đổi khí hậu”, mã số KX.01.04/21-30.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Blancas, L. C. and El-Hifmawi, M. B. Facilitating trade through competitive, low-carbon transport: The case for Vietnam's inland and coastal waterways. World Bank Publications, 2014, doi: 10.1596/978-1-4648-0105-1.

[2] de Wit, K., Lexmond, B. R., Stouthamer, E., Neussner, O., Dörr, N., Schenk, A. and Minderhoud, P. S. J. Identifying causes of urban differential subsidence in the Vietnamese Mekong Delta by combining InSAR and field observations. Remote Sensing, vol. 13, no. 2, art. no. 189, 2021, doi: 10.3390/rs13020189.

[3] Erban, L. E., Gorelick, S. M. and Zebker, H. A. Groundwater extraction, land subsidence, and sea-level rise in the Mekong Delta, Vietnam. Environmental Research Letters, vol. 9, no. 8, art. no. 084010, 2014, doi: 10.1088/1748-9326/9/8/084010.

[4] Farr, T. G., Rosen, P. A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodriguez, E., Roth, L., Seal, D., Shaffer, S., Shimada, J., Umland, J., Werner, M., Oskin, M., Burbank, D. and Alsdorf, D. The Shuttle Radar Topography Mission. Reviews of Geophysics, vol. 45, no. 2, art. no. RG2004, 2007, doi: 10.1029/2005RG000183.

[5] Ha, Q. K., Phung, T. H., Phan, N. L., Pham, V. T., Pham, V. H., Minderhoud, P. S. J., Le Vo, P. and Oude Essink, G. Groundwater resource challenges and abstraction-induced land subsidence in the Vietnamese Mekong Delta, in The Mekong River Basin: Ecological Complexity from Catchment to Coast, H. Q. Nguyen, H. Apel, Q. B. Le, M. T. Nguyễn and V. Sridhar, Eds. Elsevier, 2024, pp. 421-451, doi: 10.1016/B978-0-323-90814-6.00006-1.

[6] Hoang, L. V., Ngo, G. H. and Nguyen, D. T. N. The assessment model of logistical performance for the road transport network: An Importance-Performance Analysis based on Fuzzy AHP. European Transport / Trasporti Europei, no. 104, art. 3, 2025.

[7] Intralawan, A., Wood, D. and Frankel, R. Tradeoff analysis between electricity generation and ecosystem services in the Lower Mekong Basin. Ecosystem Services, vol. 30, pp. 27-35, 2018, doi: 10.1016/j.ecoser.2018.01.007.

[8] IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2021.

[9] Jia, M., Xu, J., Gao, C., Mu, M. and E, G. Long-term cross-slope variation in highways built on soft soil under coupling action of traffic load and consolidation. Sustainability, vol. 15, no. 1, art. no. 33, 2022, doi: 10.3390/su15010033.

[10] JICA. FY2023 ex-post evaluation report of Japanese ODA loan: North-South expressway construction project (Ho Chi Minh City - Dau Giay section). Japan International Cooperation Agency, 2023.

[11] Lê Anh Tuấn. Đặc điểm chế độ khí tượng - thủy văn vùng Đồng bằng sông Cửu Long. Đại học Cần Thơ, 2004.

[12] Mekong River Commission (MRC). Flood and drought management in the Mekong Basin. Mekong River Commission, 2022.

[13] Minderhoud, P. S. J., Erkers, G., Pham, V. H., Bui, V. T., Erban, L. E., Kooi, H. and Stouthamer, E. Impacts of 25 years of groundwater extraction on subsidence in the Mekong delta, Vietnam. Environmental Research Letters, vol. 12, no. 6, art. no. 064006, 2017, doi: 10.1088/1748-9326/aa7146.

[14] Minderhoud, P. S. J., Coumou, L., Erban, L. E., Middelkoop, H., Stouthamer, E. and Addink, E. A. The relation between land use and subsidence in the Vietnamese Mekong delta. Science of the Total Environment, vol. 634, pp. 715-726, 2018, doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.03.372.

[15] Minderhoud, P. S. J., Coumou, L., Erkers, G., Middelkoop, H. and Stouthamer, E. Mekong delta much lower than previously assumed in sea-level rise impact assessments. Nature Communications, vol. 10, no. 1, art. no. 3847, 2019, doi: 10.1038/s41467-019-11602-1.

[16] NASA JPL. NASA Shuttle Radar Topography Mission Global 1 arc second V003 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center, 2013, doi: 10.5067/MEASURES/SRTM/SRTMGL1.003.

[17] Neussner, O. Trouble underground: Land subsidence in the Mekong Delta. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, 2019.

[18] Nguyen, T. V. and Nguyen, H. P. Legal, institutional and financial solutions for the sustainable development strategy of inland waterway transport in Vietnam. Research in World Economy, vol. 11, no. 3, pp. 151-170, 2020, doi: 10.5430/rwe.v11n3p151.

[19] Nguyen, X. P., Le, V. V. and Dong, V. H. How to develop the inland waterway transportation in Mekong Delta, Vietnam. World Wide Journal of Multidisciplinary Research and Development, vol. 3, no. 7, pp. 232-236, 2017.

[20] OpenStreetMap contributors. Planet dump [Data set]. OpenStreetMap Foundation, 2025. Internet: <https://planet.openstreetmap.org>.

[21] Park, E. Sand mining in the Mekong Delta: Extent and compounded impacts. Science of the Total Environment, vol. 924, art. no. 171620, 2024, doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.171620.

[22] Phi, H. L., Storch, H. and Downes, N. K. Increasing vulnerability to floods in new development areas: Evidence from Ho Chi Minh City. International Journal of Climate Change Strategies and Management, vol. 10, no. 1, pp. 197-212, 2018, doi: 10.1108/IJCCSM-12-2016-0169.

[23] Quyết định số 287/QĐ-TTg Phê duyệt Quy hoạch vùng đồng bằng sông Cửu Long thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050, 2022.

[24] Quyết định số 979/QĐ-TTg Phê duyệt quy hoạch phát triển hệ thống cảng cạn thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050, 2023.

[25] Quyết định số 1579/QĐ-TTg Phê duyệt Quy hoạch tổng thể phát triển hệ thống cảng biển Việt Nam thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050, 2021.

[26] Quyết định số 1829/QĐ-TTg Phê duyệt Quy hoạch kết cấu hạ tầng đường thủy nội địa thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050, 2021.

[27] Schmitt, R. J. P., Giuliani, M., Bizzi, S., Kondolf, G. M., Daily, G. C. and Castelletti, A. Strategic basin and delta planning increases the resilience of the Mekong Delta under future uncertainty. Proceedings of the National Academy of Sciences, vol. 118, no. 36, art. no. e2026127118, 2021, doi: 10.1073/pnas.2026127118.

[28] VCCI and FSPPM. Báo cáo kinh tế thường niên Đồng bằng sông Cửu Long 2022: Chuyển đổi mô hình phát triển và quy hoạch tích hợp. NXB. Đại học Cần Thơ, 2022.

[29] Verminnen, R., Hooijer, A. and Pronk, M. New ICESat-2 Satellite LiDAR Data Allow First Global Lowland DTM Suitable for Accurate Coastal Flood Risk Assessment. Remote Sensing, vol. 12, no. 17, art. no. 2827, 2020, doi: 10.3390/rs12172827.

[30] World Bank. Integrating climate change into road asset management. World Bank, 2017, doi: 10.1596/26505.

Nghiên cứu tương quan giữa chiều cao dầm và chiều dài nhịp trong cầu dây văng liên hợp bằng mô hình hồi quy phân đoạn

Studying the girder depth-to-span correlation in composite cable-stayed bridges using a piecewise regression model

> THS HỒ THÁI HÙNG¹, GS.TS NGUYỄN TRUNG VIỆT², PGS.TS NGÔ TRÍ THƯỜNG^{2,*}

¹Công ty TNHH Chodai & Kiso-Jiban Việt Nam

²Trường Đại học Thủy lợi

*Email: trithuong@tlu.edu.vn

TÓM TẮT

Chiều cao dầm chủ (Hg) của cầu dây văng dầm thép - bê tông liên hợp (Composite Cable-Stayed Bridge - CCSB) quyết định độ cứng, tính kinh tế và thẩm mỹ công trình. Các nghiên cứu hiện hành hiện đang giả định quan hệ giữa Hg và nhịp chính (L) là tuyến tính đồng nhất. Nghiên cứu xây dựng công thức tương quan Hg/L phân vùng theo cơ chế chịu lực chi phối bằng hồi quy tuyến tính phân đoạn, kiểm chứng bằng mô hình cộng tính tổng quát (GAM), trên 88 cầu CCSB đã khai thác (nhịp chính 93-853 m). Mô hình đạt $R^2 = 0,767$ và nhận diện ba vùng ứng xử theo tỷ số không thứ nguyên $y = Hg/(1000 \cdot L)$: dầm chi phối ($L \leq 214$ m, $y \approx 1/89$), chuyển tiếp dầm - cáp ($214 < L \leq 406$ m, $y \approx 1/130$) và hệ cáp chi phối ($L > 406$ m, $y \approx 1/192$), trong đó chiều cao dầm ở nhịp lớn gần như không đổi (2,2-2,7 m). Bộ công thức kèm khoảng tin cậy và khoảng dự báo 90% là công cụ thiết kế sơ bộ cho CCSB trong dải nhịp 93-540 m.

Từ khóa: Cầu dây văng dầm liên hợp (CCSB); độ mảnh dầm cầu; hồi quy phân đoạn; phân vùng ứng xử kết cấu; GAM.

ABSTRACT

The girder depth (Hg) of composite cable-stayed bridges (CCSB) governs the stiffness, the economy and the aesthetics of the structure, yet current researches still assume a uniform linear relationship between Hg and the main span (L). This study establishes an Hg/L correlation zoned by the governing structural mechanism through piecewise linear regression, cross-checked by a generalized additive model (GAM), on 88 in-service CCSB (main spans 93-853 m). The model reaches $R^2 = 0.767$ and identifies three behavioural zones of the dimensionless ratio $y = Hg/(1000 \cdot L)$: girder-dominated ($L \leq 214$ m, $y \approx 1/89$), girder-cable transition ($214 < L \leq 406$ m, $y \approx 1/130$) and cable-dominated ($L > 406$ m, $y \approx 1/192$), where the girder depth becomes nearly span-independent (mean 2.2-2.7 m). The proposed piecewise formulae, with 90% confidence and prediction intervals, provide a preliminary design tool for CCSB over the 93-540 m span range.

Keywords: Composite cable-stayed bridge (CCSB); girder slenderness; piecewise regression; structural behaviour zoning; GAM.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cầu dây văng dầm liên hợp (Composite Cable-Stayed Bridge - CCSB) sử dụng dầm chủ thép hộp hoặc thép bản chữ I liên hợp với bản mặt cầu bê tông làm kết cấu mặt cầu chính. Taylor (1987) [1] hệ thống hóa ưu thế của CCSB so với cầu dây văng bê tông toàn khối: nhờ hệ cáp bố trí dày liên tục, dầm chủ làm việc như "dầm trên nền đàn hồi", cho phép giảm tỷ số chiều cao dầm (Hg) trên nhịp (L) từ 1/64 xuống 1/211 khi chuyển từ dầm hộp thép cứng với cáp thưa sang hệ nhiều cáp với dầm bản thép mỏng liên hợp [1]. CCSB phổ biến nhất trong dải nhịp 400-600 m nhờ ưu thế kinh tế - kỹ thuật, tốc độ thi công và thẩm mỹ [2].

Hg chi phối đồng thời ba đặc trưng kết cấu: độ cứng uốn của dầm tỷ lệ với Hg^3 (thiếu chiều cao gây võng quá mức dưới hoạt tải); độ cứng xoắn - Taylor (1987) [1] chỉ ra tỷ lệ tần số xoắn trên tần số uốn lớn hơn 1,6 là điều kiện đủ để bảo đảm ổn định khí động; và hiệu quả kinh tế - dầm thấp thì khối lượng thép nhỏ nhưng hệ cáp phải gánh thêm tải. Martins et al. (2022) [3] ghi nhận các CCSB hiện đại có L/Hg khoảng 250 cho mọi nhịp, còn Oliveira Pedro và Reis (2013) [2] quan sát tỷ số độ mảnh thực tế tăng từ khoảng 75 đến 225 khi nhịp tăng rồi gần như không đổi khi nhịp vượt 500 m - ứng xử phi tuyến chưa được phản ánh trong thiết kế sơ bộ.

Các nghiên cứu về chiều cao dầm hiện đi theo ba hướng. Quy tắc kinh nghiệm xem Hg/L là tuyến tính: Gimsing và Georgakis

(2012) [4] ghi nhận Hg/L khoảng 1/60-1/80 cho cầu ít cáp và 1/200-1/300 cho hệ nhiều cáp; Troitsky (1988) [5] đề xuất $Hg = L/100$ chỉ hiệu lực trong dải 270-400 m, theo đó các quy tắc này xây dựng từ dải nhịp nhỏ, áp dụng tỷ lệ đồng nhất, không phân biệt cơ chế chịu lực theo vùng nhịp. Tối ưu hóa kết hợp phần tử hữu hạn: Hassan et al. (2015) [6] cho Hg tối ưu tăng từ khoảng 1,0 m ($L = 250$ m) đến 4,0 m ($L = 700$ m), Ma et al. (2024) [7] cố định $Hg = 3,6$ m; cả hai dựa trên dữ liệu tổng hợp, không phản ánh cầu đã xây dựng. Caprani và De Maria (2019) [8] lập cơ sở dữ liệu 751 cầu nhịp lớn nhưng không chứa trường chiều cao dầm.

Chưa nghiên cứu nào dùng tỷ số không thứ nguyên Hg/L làm biến phân tích thống kê chính trên tập cầu CCSB thực tế. Nghiên cứu này tập trung vào tương quan giữa chiều cao dầm và chiều dài nhịp, với ba mục tiêu: (i) xác định biến mục tiêu phản ánh đúng nhất tương quan hình học Hg - L; (ii) phân vùng và định lượng ranh giới ứng xử kết cấu từ số liệu thực tế; (iii) xây dựng mô hình dự báo và công thức thiết kế sơ bộ kèm khoảng tin cậy theo từng vùng nhịp, đồng thời kiểm chứng tính đầy đủ của phân vùng.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Thu thập dữ liệu và biến nghiên cứu

Nghiên cứu sử dụng cơ sở dữ liệu 88 cầu CCSB tổng hợp từ tài liệu khoa học, báo cáo kỹ thuật và hồ sơ công trình đã công bố; chỉ gồm cầu đã thiết kế và đưa vào khai thác, không dùng dữ liệu mô phỏng hay tối ưu hóa. Ví dụ, dữ liệu cầu Vàm Cống từ Lee et al. (2013) [9] và Chinh (2021) [10], cầu Nhật Tân từ Maina (2014) [11].

Biến độc lập là nhịp chính (L , m). Ba dạng biến phụ thuộc được khảo sát gồm chiều cao dầm cực đại Hg, max, logarit $\ln(Hg)$ và tỷ số độ mảnh không thứ nguyên y :

$$y = \frac{H_g}{1000L} \quad (1)$$

trong đó Hg tính bằng mm, L tính bằng m; hệ số 1000 quy đổi hai đại lượng về cùng thứ nguyên nên y không thứ nguyên. Ba biến được đánh giá theo mức độ giải thích phương sai (R^2), ý nghĩa cơ học và phân bố phần dư nhằm chọn biến mục tiêu.

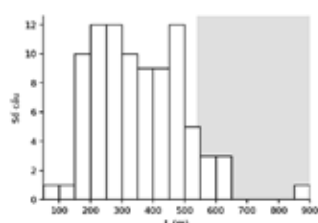
2.2. Phân tích hồi quy phân đoạn

Hồi quy tuyến tính phân đoạn theo Muggeo (2003) [12] được dùng để xác định các điểm gãy trong quan hệ độ mảnh - nhịp. Số lượng và vị trí điểm gãy được xác định tự động bằng thuật toán lặp kết hợp kiểm định F và tiêu chí BIC (tránh chọn thừa điểm gãy); khoảng tin cậy 95% của điểm gãy xác định bằng bootstrap. Đường xu hướng trung tâm được xây dựng theo cả trung bình và trung vị trên cùng cấu trúc phân đoạn, rồi chọn theo kiểm tra phần dư (Mục 3.3).

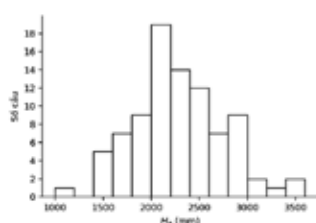
2.3. Mô hình cộng tính tổng quát

Bảng 1. Thống kê mô tả ba biến nghiên cứu trên bộ dữ liệu $n = 88$ cầu

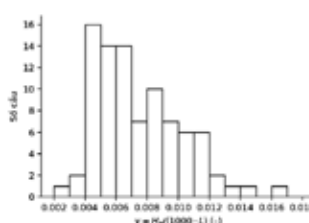
Biến số	Ký hiệu	Nhỏ nhất (Min)	Lớn nhất (Max)	Trung bình (Mean)	Trung vị (Median)	Std
Nhịp chính (m)	L	93,0	853,0	345,8	331,5	139,6
Chiều cao dầm (mm)	Hg	1.080	3.550	2.245,2	2.200	464,8
Độ mảnh	$y = Hg/(1000L)$	0,00293	0,01652	0,00741	0,00663	0,00281



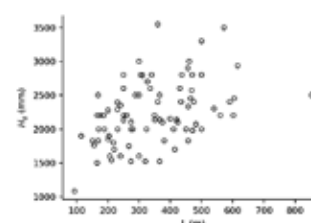
(a) Phân bố số cầu theo dài nhịp



(b) Phân bố số cầu theo chiều cao dầm



(c) Phân bố độ mảnh y



(d) Quan hệ chiều cao dầm - nhịp

Hình 1. Phân bố dữ liệu 88 cầu CCSB

Để kiểm chứng cấu trúc phân vùng, nghiên cứu dùng mô hình cộng tính tổng quát (GAM) của Hastie và Tibshirani [13] làm mô hình đối chứng không tham số: GAM mô tả quan hệ độ mảnh - nhịp bằng hàm spline trơn, mức trơn điều khiển bởi tham số phạt λ (chọn tự động bằng GCV) và biểu diễn qua số bậc tự do hiệu dụng (edf), đánh giá qua R^2 , RSS và AIC. Do GAM không giả định trước số lượng hay vị trí điểm gãy, sự tương đồng giữa hai phương pháp là bằng chứng độc lập về tính ổn định của phân vùng.

Hai mô hình được so sánh bằng kiểm định F lồng nhau dựa trên RSS (khi $edf > p$) và đối chiếu độ dốc cục bộ dy/dL của đường GAM với hệ số góc từng đoạn hồi quy. Riêng khoảng dự báo cho một cầu riêng lẻ được dựng theo mô hình sai số tỷ lệ (multiplicative error), cơ sở trình bày ở Mục 3.6.

Khoảng tin cậy được ước lượng bằng bootstrap lấy mẫu có hoàn lại theo từng cầu: với vị trí điểm gãy, tải ước lượng đồng thời điểm gãy và hệ số (300 lần lặp, mức 95%); với đường dự báo, giữ cố định hai điểm gãy và ước lượng lại bốn hệ số (1.000 lần lặp, mức 90%). Khoảng tin cậy phản ánh độ bất định của ước lượng, còn độ phân tán giữa các cầu là biến thiên thực tế do khác biệt tiêu chuẩn, thi công và khai thác.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Cơ sở dữ liệu và thống kê mô tả

Cơ sở dữ liệu ban đầu thu thập 99 cầu CCSB từ bài báo khoa học, báo cáo kỹ thuật, hồ sơ thiết kế và bản vẽ hoàn công đã công bố; sau khi chuẩn hóa và sàng lọc chất lượng, 11 công trình không có thông tin tin cậy về chiều cao dầm lớn nhất (Hg) được loại, còn lại 88 cầu. Theo hiểu biết của nhóm tác giả, đây là cơ sở dữ liệu thực nghiệm lớn nhất hiện có dành riêng cho CCSB có đầy đủ thông tin chiều cao dầm.

Bảng 1 và Hình 1 tóm tắt thống kê ba biến trên 88 cầu. Phân bố nhịp (Hình 1a) lệch phải (trung bình 345,8 m > trung vị 331,5 m), dày nhất trong dải 150-500 m; vùng $L > 540$ m (tô xám) chỉ có 7 cầu. Chiều cao dầm (Hình 1b) trải 1.080-3.550 mm, tập trung quanh 2.000-2.600 mm. Độ mảnh y (Hình 1c) lệch phải, trung vị 0,00663 ($\approx 1/151$). Hình 1d cho thấy Hg tăng theo nhịp nhưng phân tán rất lớn: cùng dải nhịp, Hg giữa các cầu chênh nhau hơn 1.000 mm.

3.2. Lựa chọn biến mục tiêu

Ba dạng biến mục tiêu được chọn trước khi phân tích, dựa trên hai căn cứ. Về thứ nguyên: Hg và $\ln(Hg)$ gắn với đơn vị đo nên hệ số hồi quy đổi theo đơn vị, chỉ y theo công thức (1) là không thứ nguyên. Về thực hành thiết kế: tài liệu ngành mô tả chiều cao dầm qua độ mảnh - tỷ số giữa chiều cao dầm và nhịp (Oliveira Pedro và Reis, 2016 [14]) - và y chính là đại lượng đó. Do vậy biến mục tiêu là y , khi trình bày được quy đổi về dạng tỷ lệ $1/n$.

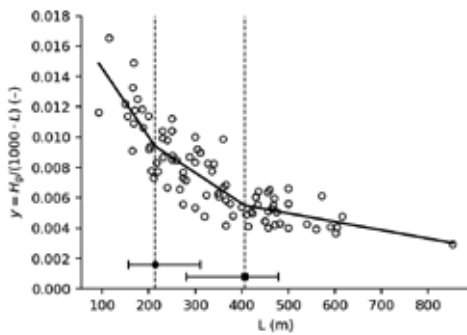
3.3. Xác định vùng ứng xử của kết cấu nhịp

Hồi quy tuyến tính phân đoạn liên tục được áp dụng trên 88 cầu (giá trị y liên tục tại điểm gãy); số vùng xác định bằng cách tăng dần số điểm gãy và kiểm định mức cải thiện (Bảng 2).

Điểm gãy thứ nhất (M1) cải thiện rất rõ so với đường thẳng đơn (M0): $F = 30,44$; $p < 0,001$. Điểm gãy thứ hai (M2) vẫn có ý nghĩa ($F = 5,60$; $p = 0,020$), điểm gãy thứ ba (M3) thì không ($F = 3,36$; $p = 0,070$);

Bảng 2. Kiểm định lựa chọn số điểm gãy

Mô hình	Điểm gãy	RSS	Giảm RSS	F	p	AIC	BIC	Kết luận
M0: 1 đoạn	—	0,000230	—	—	—	-1127	-1122	—
M1: 2 đoạn	381 m	0,000170	-26,4%	30,44	< 0,001	-1152	-1145	Cần thiết
M2: 3 đoạn	214 / 406 m	0,000159	-6,3%	5,60	0,020	-1156	-1146	Tối ưu
M3: 4 đoạn	170 / 211 / 410 m	0,000153	-3,9%	3,36	0,070	-1157	-1145	Không cần



Hình 2. Mô hình hồi quy phân đoạn 3 vùng ứng xử

Khoảng tin cậy 95% của hai điểm gãy (bootstrap 300 lần) là 156-310 m cho L_{12} và 280-478 m cho L_{23} . Khoảng của L_{12} rộng vì góc chuyển hướng tại đó thoải; do đó hai ranh giới nên hiểu là tâm của các dải chuyển tiếp, không phải ngưỡng cứng.

Bảng 3 tổng hợp đặc trưng ba vùng: độ mảnh trung bình giảm theo bậc 1/89 (Vùng 1, $n = 17$), 1/130 (Vùng 2, $n = 39$), 1/192 (Vùng 3, tính trên 25 cầu dài 406-540 m). Vì $H_g = 1000 L y$, giá trị trung

Bảng 3. Đặc trưng 3 vùng ứng xử của kết cấu theo chiều dài nhịp

Phân vùng	Phạm vi L (m)	N	1/y _{tb}	Hệ số góc (10 ⁻⁵ /m)	Đặc điểm
Vùng 1	$L \leq 214$	17	1/89	-4,5	Uốn dầm chiếm ưu thế
Vùng 2	$214 < L \leq 406$	39	1/130	-2,0	Chuyển tiếp dầm - cáp
Vùng 3	$L > 406$	25 (+7 thừa)*	1/192	-0,6	Hệ cáp chi phối, độ dốc gần phẳng

(*) Vùng 3 chỉ có 7 cầu ở $L > 540$ m; 1/y_{tb} tính trên 25 cầu dài 406-540 m. Công thức (4) chỉ khuyến cáo áp dụng trong dải $406 \text{ m} < L \leq 540 \text{ m}$, không ngoại suy cho cầu nhịp siêu lớn ($L > 600 \text{ m}$).

Đường cong GCV có dạng chữ U theo λ (Hình 3); λ nhỏ thì mô hình quá dẻo (học theo nhiều), λ lớn thì bỏ sót quy luật thật, đáy chữ U rơi đúng mức trơn tối ưu. Khi ép GAM dẻo hơn hẳn ($\lambda = 0,01$ -1, tương ứng 7,7-13,2 bậc tự do), R^2 chỉ tăng tối đa lên 0,787 và mức cải thiện không có ý nghĩa thống kê ($F = 0,15$ -0,67; $p \geq 0,73$).

Hình 4 đối chiếu hai mô hình: hai đường gần trùng nhau trên toàn dải nhịp; độ dốc cục bộ của GAM tại tâm Vùng 2 và Vùng 3 (-2,1 và -0,6 $\times 10^{-5}$ mỗi mét) khớp hệ số góc hai đoạn thẳng tương ứng, riêng Vùng 1 thoải hơn do vùng ngắn (17 cầu). Hai phương pháp từ giả thuyết khác nhau cùng hội tụ về cấu trúc ba vùng; mô hình phân đoạn được chọn làm cơ sở thiết kế nhờ dạng hiển dễ dùng.

3.5. Công thức ước lượng sơ bộ chiều cao dầm

Từ mô hình phân đoạn đã kiểm định ở Mục 3.4, độ mảnh trung bình dự báo (ký hiệu y_{tb}) được viết tường minh theo chiều dài nhịp (L, tính bằng m):

$$y_{tb} = 0,019047 - 4,512 \times 10^{-5} L \quad (2)$$

BIC cũng đạt cực tiểu tại M2. Do đó chọn cấu trúc ba vùng với hai điểm gãy $L_{12} = 214 \text{ m}$ và $L_{23} = 406 \text{ m}$; mô hình ba đoạn đạt $R^2 = 0,767$.

Hình 2 thể hiện đường hồi quy ba đoạn trên nền dữ liệu 88 cầu cùng hai điểm gãy và khoảng tin cậy 95% của chúng. Độ dốc giảm dần qua từng đoạn: $-4,5 \cdot 10^{-5}$ (Vùng 1), $-2,0 \cdot 10^{-5}$ (Vùng 2), $-0,6 \cdot 10^{-5}$ (Vùng 3) trên mỗi mét nhịp - độ mảnh giảm chậm dần và gần như nằm ngang ở nhịp lớn.

binh của độ mảnh tương ứng đúng giá trị trung bình chiều cao dầm; cơ chế cơ học được phân tích ở Mục 4.

Khớp thêm mô hình theo trung vị ($\tau = 0,5$) trên cùng cấu trúc cho hai điểm gãy gần như không đổi (210 m và 382 m); phần dư của hai mô hình đều gần đối xứng (Shapiro-Wilk không bác giả thiết chuẩn) và hai đường dự báo lệch nhau không quá 4,7%. Do đó mô hình theo đường trung bình được chọn cho phân tích tiếp theo.

3.4. Kiểm định mức độ phù hợp của mô hình hồi quy phân đoạn

Để kiểm tra mô hình ba đoạn thẳng có bỏ sót quy luật phi tuyến không, một mô hình GAM không ràng buộc được khớp trên cùng bộ dữ liệu.

Tại mức trơn tối ưu theo GCV ($\lambda = 53,4$), GAM hội tụ về 3,91 bậc tự do hiệu dụng - gần đúng 4 tham số của mô hình phân đoạn - với tổng bình phương phần dư (RSS) cao hơn ($1,670 \times 10^{-4}$ so với $1,590 \times 10^{-4}$), hệ số xác định tương đương ($R^2 = 0,757$ so với 0,767) và tiêu chí AIC nghiêng về mô hình phân đoạn ($\Delta AIC = +4,2$). Khi được tự do chọn độ phức tạp, GAM tự quay về đúng mức phức tạp của ba đoạn thẳng; kiểm định F lỏng lẻo tại đây không xác định (edf < 4) nên so sánh dựa trên AIC.

khi $L \leq 214 \text{ m}$

$$y_{tb} = 0,009390 - 2,026 \times 10^{-5} (L - 214) \quad (3)$$

khi $214 \text{ m} < L \leq 406 \text{ m}$

$$y_{tb} = 0,005501 - 5,551 \times 10^{-6} (L - 406) \quad (4)$$

khi $406 \text{ m} < L \leq 540 \text{ m}$

Chiều cao dầm ước lượng (H_g , mm) suy ra từ quan hệ nghịch của (1): $H_g = 1000 L y_{tb}$. Ba biểu thức (2)-(4) nối liên tục tại hai ranh giới; theo công thức, tỷ số H_g/L giảm từ khoảng 1/70 ở nhịp 100 m xuống khoảng 1/210 ở nhịp 540 m.

3.6. Khoảng dự báo chiều cao dầm

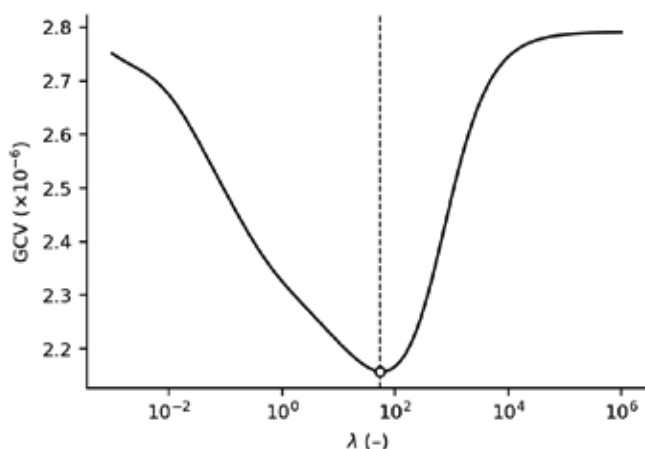
Với thiết kế sơ bộ, ngoài giá trị trung bình cần biết biên độ mà một phương án vẫn nằm trong thực tiễn đã kiểm chứng. Độ phân tán của độ mảnh giữa các cầu do khác biệt tiêu chuẩn, cấp tải, cấu tạo, làm Hg thay đổi theo tỷ lệ phần trăm chứ không theo lượng cố định; do đó sai số được mô hình hóa ở dạng nhân $\sigma(L) = c y_{tb}(L)$, đồng thời bảo đảm cận dưới của khoảng dự báo luôn dương. Giả

thiết này được kiểm chứng bằng kiểm định Levene ba vùng: trên phần dư tuyệt đối, bác giả thiết phương sai không đổi ($p = 0,003$); trên phần dư tương đối, không bác ($p = 0,515$). Hệ số biến thiên ước lượng được $c = 18,0\%$. Khoảng dự báo được dựng trên biến mục tiêu rồi quy đổi sang chiều cao dầm: tính y_{tb} tại nhịp đang xét từ các công thức (2)-(4), rồi tính biên độ trực tiếp từ độ mảnh bằng công thức giải tích của mô hình tuyến tính [15]:

$$y = y_{tb} (1 \pm t c k_L) \quad (5)$$

với $c = 18\%$, $t(0,95; 84) = 1,663$ và thừa số đòn bẩy (leverage factor) k_L phản ánh mức độ ngoại suy tại nhịp đang xét; (5) trở thành:

$$y = y_{tb} (1 \pm 29,9\% k_L) \quad (6)$$

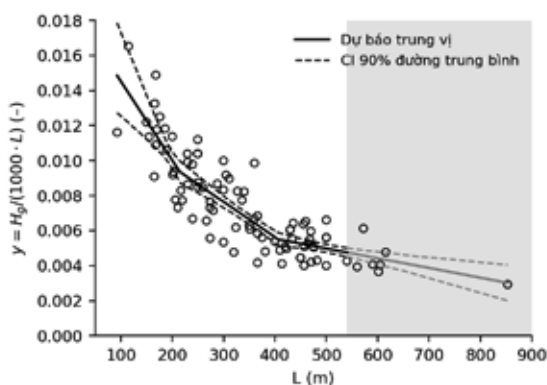


Hình 3. Đường cong GCV theo λ

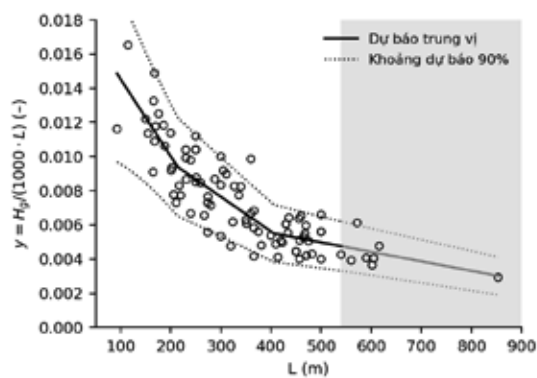
Chiều cao dầm cùng hai cận suy ra từ $H_g = 1000 L y$. Vì phép quy đổi tại mỗi nhịp là phép nhân với một hằng số dương, cận dưới và cận trên của độ mảnh cho đúng cận dưới và cận trên của chiều cao dầm:

Bảng 4. Chiều cao dầm ước lượng theo chiều dài nhịp từ mô hình phân đoạn

Nhịp giữa L (m)	Giá trị y_{tb}	Hg trung bình (mm)	Khoảng tin cậy 90% (mm)	Khoảng dự báo 90% (mm)
100	0,01453	1.453	1.255-1.733	956-1.951
150	0,01228	1.842	1.686-2.061	1.268-2.416
200	0,01002	2.004	1.913-2.105	1.395-2.614
214	0,00939	2.010	1.874-2.140	1.394-2.625
300	0,00765	2.294	2.190-2.395	1.603-2.986
406	0,00550	2.233	2.090-2.390	1.552-2.915
500	0,00498	2.489	2.375-2.609	1.736-3.243



(a) Khoảng tin cậy 90% của đường trung bình



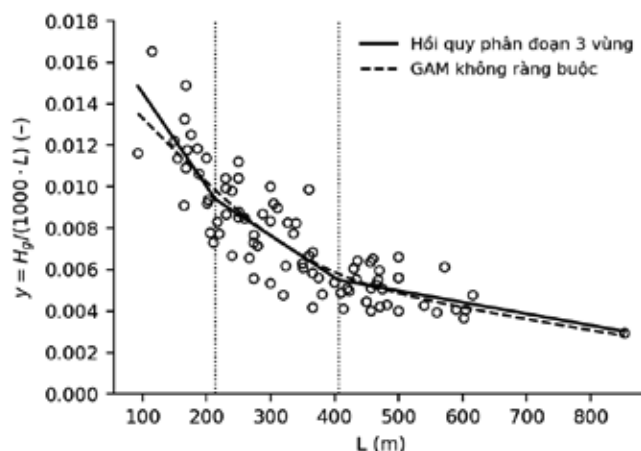
(b) Khoảng dự báo 90% cho một cầu riêng lẻ

Hình 5. Đường dự báo trung bình, khoảng tin cậy 90% và khoảng dự báo 90%

$$H_{g,PI} = H_{g,tb}(L) (1 \pm 29,9\% k_L) \quad (7)$$

Khoảng này ước lượng miền giá trị dự báo của một cầu riêng lẻ, khác với khoảng tin cậy của đường trung bình của bản thân đường đó [16].

Mức tin cậy chọn là 90% vì với 88 quan sát, biên 90% được neo bởi 8 quan sát nằm ngoài dải (kỳ vọng 8,8) còn biên 95% chỉ có 1 (kỳ vọng 4,4) - mẫu chưa đủ để định lượng đuôi phân phối ở mức 95%. Độ phủ thực tế của dải 90% đạt 90,9%. Bảng 4 cho giá trị tra nhanh tại các nhịp đại diện.



Hình 4. So sánh trực quan hai mô hình

Trong bảng 4, chiều cao dầm trung bình không tăng đơn điệu theo nhịp - cuối Vùng 2 (300-406 m) độ mảnh giảm nhanh hơn mức tăng của nhịp nên H_g chững quanh 2,2-2,3 m rồi tăng trở lại trong Vùng 3; và với $L > 540$ m khoảng tin cậy của đường trung bình mở rộng hơn bảy lần so với tại nhịp 500 m nên không đề xuất giá trị thiết kế.

Hình 5a thể hiện đường dự báo trung bình cùng khoảng tin cậy 90%, bám sát đường trung bình trong miền tập trung dữ liệu (150-500 m) và chỉ mở rộng ở hai biên. Hình 5b thể hiện khoảng dự báo 90% cho một cầu riêng lẻ, bao 80/88 cầu (90,9%). Khoảng tin cậy sẽ thu hẹp khi bổ sung dữ liệu, còn khoảng dự báo phản ánh phân tán thực giữa các cầu; công thức không thay thế tính toán thiết kế chi tiết.

4. THẢO LUẬN

Ba vùng phản ánh ba cơ chế chịu lực. Ở Vùng 1 ($L \leq 214$ m), lực căng dây văng nhỏ, kết cấu làm việc như dầm liên tục nên cần chiều cao dầm lớn để kiểm soát độ võng ($Hg/L \approx 1/89$). Ở Vùng 2 ($214 < L \leq 406$ m), cơ chế cân bằng dầm - cáp đưa độ mảnh xuống $1/130$. Ở Vùng 3 ($L > 406$ m), hệ cáp chi phối gần như hoàn toàn: tải trọng khi nhịp tăng được cân bằng bằng lực căng và tiết diện cáp thay vì tăng Hg , nên Hg gần như không phụ thuộc nhịp - đường trung bình chỉ dao động 2,2-2,7 m dù giá trị thực giữa các cầu từ 1,7 đến 3,5 m.

Kết quả hiệu chỉnh các quy tắc kinh nghiệm: dải tỷ số $1/89$ - $1/192$ nằm trong biên $1/60$ - $1/300$ của Gimsing và Georgakis [4] cùng Troitsky [5] nhưng chuyển bậc theo nhịp qua hai ranh giới xác định bằng thống kê. Ranh giới $L_{12} = 214$ m trùng ngưỡng khoảng 200 m mà Oliveira Pedro và Reis [2] xem là biên dưới của dải nhịp CCSB cạnh tranh kinh tế. Việc Hg không tăng ở Vùng 3 khác với các mô hình tối ưu hóa dùng dữ liệu tổng hợp (Hassan et al. [6]: Hg tới 4,0 m ở nhịp 700 m; Ma et al. [7]: cố định 3,6 m).

Công thức phân đoạn và Bảng 4 cho ước lượng trực tiếp chiều cao dầm sơ bộ: trung bình làm điểm khởi tạo, khoảng dự báo 90% cho biên độ chấp nhận, cận trên cho phương án thiên về an toàn độ cứng. Ba giới hạn: (i) không đề xuất giá trị cho $L > 540$ m (chỉ 7 cầu); (ii) chỉ xét chiều cao dầm lớn nhất; (iii) mô hình một biến - nhịp L - trong khi Hg còn phụ thuộc mật độ neo cáp trên dầm, yêu cầu chống xoắn và ổn định khí động, và tiêu chuẩn áp dụng.

5. KẾT LUẬN

Từ việc tổng hợp dữ liệu thực nghiệm và áp dụng phương pháp hồi quy phân đoạn, ta thấy như sau:

- Tỷ số độ mảnh không thứ nguyên y là biến mục tiêu phù hợp nhất cho bài toán tương quan chiều cao dầm - nhịp: mô hình phân đoạn áp dụng trên biến này đạt $R^2 = 0,767$.

- Quan hệ y - L có dạng phi tuyến ba vùng, hai điểm gãy tại $L_{12} = 214$ m (CI 95%: 156-310 m) và $L_{23} = 406$ m (CI 95%: 280-478 m); tỷ số độ mảnh trung bình từng vùng là $1/89$, $1/130$ và $1/192$. Ở Vùng 3, chiều cao dầm gần như không phụ thuộc nhịp (trung bình dự báo 2,2-2,7 m), trái với giả định tăng tuyến tính của các quy tắc đồng nhất.

- Bộ công thức phân đoạn kèm bảng tra, với khoảng tin cậy 90% của đường trung bình và khoảng dự báo 90% cho cầu riêng lẻ dựng theo mô hình sai số tỷ lệ, là công cụ trực tiếp cho thiết kế sơ bộ CCSB trong dải nhịp 93-540 m, thay thế hiệu quả cho quy tắc tỷ lệ tuyến tính đồng nhất truyền thống.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] P. R. Taylor. Composite cable-stayed bridges: The concept with the competitive edge. Eng. J. AISC, vol. 24, no. 4, pp. 157-163, 1987.
- [2] J. J. O. Pedro and A. J. Reis. Composite steel-concrete cable-stayed bridges: Developments and future trends. Proc. 5th Int. Conf. Structural Engineering, Mechanics and Computation (SEMC 2013), Cape Town, South Africa, Sep. 2013.
- [3] A. M. B. Martins, L. M. C. Simões, J. H. J. O. Negrão, and F. L. S. Ferreira. 30 years' experience on the optimization of cable-stayed bridges. WIT Trans. Built Environ., vol. 209, 2022, doi: 10.2495/HPSU220061.
- [4] N. J. Gimsing and C. T. Georgakis. Cable Supported Bridges: Concept and Design, 3rd ed. Chichester, UK: Wiley, 2012.

- [5] M. S. Troitsky. Cable-Stayed Bridges: Theory and Design, 2nd ed. Oxford, UK: BSP Professional Books, 1988.

- [6] M. M. Hassan, A. A. El Damatty and A. O. Nassef. Database for the optimum design of semi-fan composite cable-stayed bridges based on genetic algorithms. Struct. Infrastruct. Eng., vol. 11, no. 8, pp. 1054-1068, 2015, doi: 10.1080/15732479.2013.874520.

- [7] Y. Ma, C. Song, Z. Wang, Z. Jiang, B. Sun and R. Xiao. Efficient design optimization of cable-stayed bridges: A two-layer framework with surrogate-model-assisted PSO. Appl. Sci., vol. 14, no. 5, art. 2007, Mar. 2024, doi: 10.3390/app14052007.

- [8] C. C. Caprani and J. De Maria. Long-span bridges: analysis of trends using a global database. Struct. Infrastruct. Eng., vol. 16, no. 1, pp. 1-16, 2019, doi: 10.1080/15732479.2019.1639773.

- [9] Y.-J. Lee, J.-W. Kang, S.-W. Bae, Y.-S. Yun, and B.-C. Lho. Design of Vam Cong Cable Stayed Bridge in Vietnam. J. Korean Recycled Constr. Resour. Inst., vol. 1, no. 2, pp. 120-127, Sep. 2013, doi: 10.14190/JRCR.2013.1.2.120.

- [10] L. M. Chinh. Cracking of steel girder of the Vam Cong Bridge - the incident can be avoided during the construction stage. Int. J. GEOMATE, vol. 21, no. 85, Sep. 2021, doi: 10.21660/2021.85.j2206.

- [11] V. Maina. Construction stage analysis for the Nhat Tan Bridge. 2014 International Conference, Aug. 11-13, 2014.

- [12] V. M. R. Muggeo. Estimating regression models with unknown break-points. Stat. Med., vol. 22, no. 19, pp. 3055-3071, Oct. 2003, doi: 10.1002/sim.1545.

- [13] T. Hastie and R. Tibshirani. Generalized Additive Models. London, UK: Chapman and Hall, 1990.

- [14] J. J. Oliveira Pedro and A. J. Reis. Composite cable-stayed bridges: state of the art. Proc. Inst. Civ. Eng. - Bridge Eng., vol. 169, no. BE1, pp. 13-38, Mar. 2016, doi: 10.1680/jbrn.14.00005.

- [15] N. R. Draper and H. Smith. Applied Regression Analysis, 3rd ed. New York: Wiley, 1998, doi: 10.1002/9781118625590.

- [16] W. Q. Meeker, G. J. Hahn and L. A. Escobar. Statistical Intervals: A Guide for Practitioners and Researchers, 2nd ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2017, doi: 10.1002/9781118594841.

Xây dựng và so sánh các mô hình học máy dự báo cường độ bám dính giữa thanh cốt FRP và bê tông siêu tính năng

Development and comparison of machine learning models for predicting the bond strength between FRP reinforcing bars and ultra-high performance concrete

> **KS NGUYỄN CHÍ THIÊN¹, PGS.TS TRƯƠNG ĐÌNH NHẬT^{2,*}, PGS.TS NGUYỄN HỮU ANH TUẤN², TS TRƯƠNG GIA TOẠI³, THS LÊ THỊ THÙY LINH⁴**

¹HVCH ngành Kỹ thuật xây dựng, Trường Đại học Kiến trúc TP.HCM

²GV Khoa Xây dựng, Trường Đại học Kiến trúc TP.HCM

³GV Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Đông Á

⁴GV Khoa Cơ khí, Đại học Sư phạm Kỹ thuật, Đại học Đà Nẵng

*Tác giả liên hệ, Email: nhat.truongdinh@uah.edu.vn

TÓM TẮT

Cường độ bám dính giữa thanh polymer cốt sợi (FRP) và bê tông siêu tính năng (UHPC) đóng vai trò quan trọng trong khả năng truyền lực của kết cấu. Nghiên cứu này sử dụng dữ liệu gồm 542 mẫu từ 15 nghiên cứu đã công bố để phát triển và đánh giá các mô hình học máy dự báo cường độ bám dính. Bốn mô hình đơn (ANN, SVR, CART và LR) và ba chiến lược tổ hợp (voting, bagging và stacking) được đánh giá bằng các chỉ số R, MAE, RMSE, MAPE và SI. Kết quả cho thấy CART là mô hình đơn tốt nhất, trong khi Bagging-CART đạt $R = 0,9208$; $RMSE = 4,1162$ MPa; $MAE = 2,8954$ MPa và $MAPE = 13,19\%$ trên tập kiểm tra. Nghiên cứu tiếp tục đề xuất mô hình SAPSO-WFLSSVR, kết hợp thuật toán SAPSO với WFLSSVR để tối ưu trọng số biến và các tham số mô hình. Kết quả cho thấy tổ hợp 11 biến tối ưu đạt $R^2 = 0,960$; $RMSE = 2,064$ MPa; $MAE = 1,624$ MPa và $MAPE = 8,060\%$; với $SI = 0,000$ và hạng nhất. Kết quả khẳng định tiềm năng của SAPSO-WFLSSVR trong dự báo cường độ bám dính FRP-UHPC.

Từ khóa: Thanh polymer cốt sợi (FRP); bê tông siêu tính năng (UHPC); dự đoán cường độ bám dính; học máy; SAPSO; LSSVR.

ABSTRACT

The bond strength between fiber-reinforced polymer (FRP) bars and ultra-high-performance concrete (UHPC) plays a critical role in the load-transfer capacity of structural members. This study uses a database comprising 542 experimental samples collected from 15 published studies to develop and evaluate machine learning models for predicting bond strength. Four single models (ANN, SVR, CART, and LR) and three ensemble strategies (voting, bagging, and stacking) were evaluated using the performance metrics R, MAE, RMSE, MAPE, and SI. The results indicate that CART was the best-performing single model, while Bagging-CART achieved $R = 0.9208$; $RMSE = 4.1162$ MPa; $MAE = 2.8954$ MPa; and $MAPE = 13.19\%$ on the testing set. The study further proposes the SAPSO-WFLSSVR model, which integrates the SAPSO algorithm with WFLSSVR to optimize variable weights and model parameters. The results show that the optimal combination of 11 variables achieved $R^2 = 0.960$; $RMSE = 2.064$ MPa; $MAE = 1.624$ MPa; and $MAPE = 8.060\%$; with an $SI = 0.000$ and Rank 1. These findings demonstrate the potential of SAPSO-WFLSSVR for predicting the bond strength of FRP-UHPC systems.

Keywords: Fiber-reinforced polymer (FRP) bars; ultra-high-performance concrete (UHPC); bond strength prediction; machine learning; SAPSO; LSSVR.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Độ bền và tuổi thọ khai thác của kết cấu bê tông cốt thép (RC) chịu ảnh hưởng đáng kể bởi hiện tượng ăn mòn cốt thép và sự suy giảm chất lượng bê tông trong quá trình sử dụng. Để hạn chế các

tác động này, nhiều giải pháp đã được nghiên cứu và phát triển, bao gồm cốt thép không gỉ, cốt thép phủ epoxy, hệ thống bảo vệ catốt, chất ức chế ăn mòn và thanh polymer cốt sợi (FRP) [1]. Trong số đó, FRP được xem là một trong những giải pháp tiềm năng nhờ các ưu

điểm nổi bật như khối lượng nhẹ, cường độ kéo cao, khả năng chống ăn mòn tốt và độ bền lâu dài trong môi trường xâm thực [2]. Ngoài ra, bản chất phi kim loại của FRP còn giúp vật liệu này phù hợp với các công trình yêu cầu khả năng kháng điện từ hoặc làm việc trong điều kiện môi trường khắc nghiệt, Hình 1 mô tả cấu tạo thanh FRP.

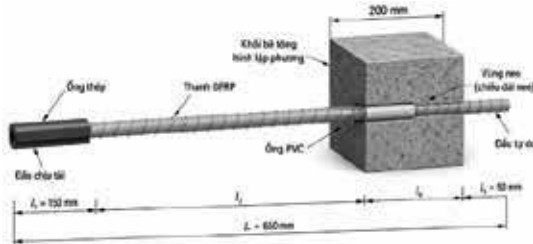


Hình 1. Các bề mặt của thanh FRP: (a) dạng gân, (b) phủ cát

Nhiều nghiên cứu về đặc tính bám dính giữa FRP và UHPC, ảnh hưởng riêng lẻ cũng như sự tương tác giữa các tham số quan trọng như cường độ UHPC, chiều dày lớp bảo vệ, đường kính thanh, mô đun đàn hồi và dạng bề mặt thanh FRP vẫn chưa được xác định đầy đủ và thống nhất. Hơn nữa, với sự phát triển phương pháp học máy cho phép xây dựng các mô hình dự báo có độ chính xác cao hơn so với các phương pháp phân tích truyền thống. Do đó, việc tiếp tục nghiên cứu xây dựng mô hình học máy để dự báo cơ chế bám dính của hệ FRP-UHPC là cần thiết nhằm bổ sung cơ sở khoa học cho việc thiết kế và ứng dụng hiệu quả loại kết cấu tiên tiến này trong thực tiễn công trình.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Ứng suất dính bám (τ_u) là cường độ bám dính trung bình giữa thanh FRP và bê tông, được mô tả trong Hình 2, xác định theo công thức sau [3].



Hình 2. Sơ đồ mẫu thử nhỏ cốt thép

$$\tau_u = \frac{P}{\pi \times d \times l_a} \quad (1)$$

Trong đó: τ_u : Cường độ bám dính trung bình (MPa); P: Lực kéo tác dụng (N); d: Đường kính thanh cốt thép (mm); l_a : Chiều dài đoạn neo (mm).

Bảng 1. Thống kê số liệu phục vụ xây dựng mô hình

STT	Diễn giải nội dung	Biến số	Đơn vị	Giá trị trung bình	Giá trị nhỏ nhất	Giá trị lớn nhất	Độ lệch chuẩn
1	Tỷ lệ thể tích của sợi thép	X_1	(%)	1,51	0,00	3,00	0,89
2	Tỷ lệ thể tích của sợi PP/PE	X_2	(%)	0,14	0,00	1,00	0,31
3	Loại bê tông	X_3	-	-	-	-	-
4	Cường độ chịu nén của bê tông	X_4	Mpa	147,86	90,10	201,80	31,43
5	Tỷ lệ nước/ chất kết dính	X_5	(%)	0,18	0,12	0,24	0,03
6	Tỷ lệ cát/ chất kết dính	X_6	(%)	1,02	0,69	1,31	0,21
7	Đường kính cốt sợi FRP	X_7	mm	15,22	6,00	22,00	4,07
8	Tỷ lệ lớp bảo vệ/đường kính	X_8	(%)	5,09	0,50	16,67	3,58
9	Chiều dày lớp bê tông bảo vệ	X_8	mm	27,16	10,00	100,00	65,55
10	Tỷ lệ chiều dài bám dính/đường kính	X_9	(%)	3,98	1,00	10,00	2,20
11	Tỷ lệ khoảng cách gân/đường kính	X_{10}	(%)	0,58	0,00	2,50	0,59
12	Tỷ lệ chiều cao gân/đường kính	X_{11}	(%)	3,19	0,00	13,26	3,83
13	Loại bề mặt thanh FRP	X_{12}	-	-	-	-	-
14	Loại thanh FRP	X_{13}	-	-	-	-	-
15	Mô đun đàn hồi thanh FRP	X_{14}	GPa	56,94	41,00	127,00	15,89
16	Cường độ bám dính	Y	MPa	23,91	6,30	56,24	10,55

Đã có nhiều nghiên cứu về xây dựng mô hình dự báo cường độ bám dính τ_u , được phân thành 03 nhóm: Tiêu chuẩn tính toán, mô hình thực nghiệm, và mô hình học máy (ML).

2.1. Tiêu chuẩn tính toán

Một số tiêu chuẩn tính toán đã được phát triển, như công thức quy định trong tiêu chuẩn của Viện Bê tông Hoa Kỳ (ACI 440.1R-15) [3], tiêu chuẩn của Hiệp hội Tiêu chuẩn Canada (CSA S806-12) [3], tiêu chuẩn thiết kế cầu đường bộ Canada (CSA-S6-14) [3], Hiệp hội Kỹ sư Xây dựng Nhật Bản (JSCE 1997) [3].

2.2. Các mô hình thực nghiệm

Ngoài các quy định về cường độ bám dính trong các tiêu chuẩn thiết kế nêu trên, các nhà nghiên cứu cũng đã tiến hành nghiên cứu về cường độ bám dính giữa thanh FRP và UHPC và đưa ra các phương pháp tính toán, một số nghiên cứu tiêu biểu là: Okelo R và cộng sự (2005), Yang và cộng sự (2021), Pan R S và cộng sự (2023), Zhu H T và cộng sự (2023) [3, 4].

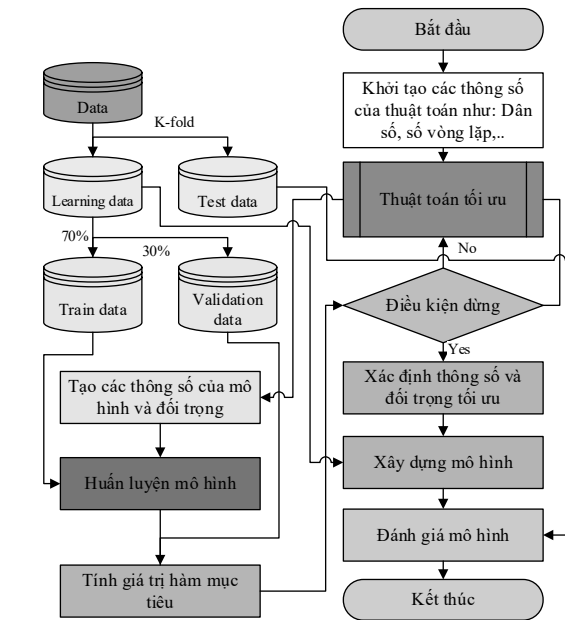
2.3. Mô hình học máy

Bên cạnh các mô hình thực nghiệm, các kỹ thuật học máy (Machine Learning - ML) đã cho thấy hiệu quả trong dự báo cường độ bám dính giữa UHPC và cốt thép cũng như giữa thanh FRP và UHPC [5]. Tiêu biểu là Wu và Chen [4], đã xây dựng 12 mô hình ML trên 475 mẫu, trong đó TabPFN đạt kết quả tốt nhất ($R^2 = 0,895$), với các yếu tố chi phối chính gồm l_a/d , hàm lượng sợi thép, tỷ lệ lớp bảo vệ, đường kính thanh và cường độ nén UHPC. Tuy nhiên, nhằm tiếp tục nâng cao độ chính xác và khả năng khái quát của mô hình, nghiên cứu này sử dụng cơ sở dữ liệu gồm 542 mẫu thí nghiệm từ Zhang và cộng sự [6] để phát triển và đánh giá các mô hình ML dự báo cường độ bám dính FRP-UHPC, đồng thời so sánh với các công thức bán thực nghiệm hiện có nhằm xác định mô hình có hiệu quả dự báo tối ưu.

3. XÂY DỰNG MÔ HÌNH HỌC MÁY

3.1. Thu thập và xử lý số liệu

Dữ liệu được tổng hợp từ 15 nghiên cứu đã công bố do Zhang và cộng sự thu thập, gồm 542 mẫu về cường độ bám dính và dạng phá hoại giữa thanh cốt FRP với bê tông UHPC [6]. Các biến đầu vào được trình bày trong Bảng 1. Trong đó, biến X_8 (tỷ lệ lớp bê tông bảo vệ/đường kính thanh) và X_8 (chiều dày lớp bê tông bảo vệ) đều phản ánh đặc trưng của lớp bê tông bảo vệ. Để tránh trùng lặp thông tin, X_8 được loại bỏ, chỉ sử dụng X_8 trong quá trình xây dựng mô hình.



Hình 3. Nguyên lý mô hình SAPSO-WFLSSVR

3.2. Các mô hình học máy

3.2.1. Mô hình học máy phổ biến

Nghiên cứu này sử dụng 4 mô hình học máy, bao gồm: Mô hình mạng thần kinh nhân tạo ANN (Artificial Neural Network), mô hình cây phân loại và hồi quy CART (Classification and Regression Tree), mô hình véc-tơ hỗ trợ hồi quy SVR (Support Vector Regression), mô hình hồi quy tuyến tính LR (Linear Regression). Sau đó là các mô hình học máy hỗn hợp, bao gồm: Mô hình hỗn hợp bỏ phiếu (Voting), mô hình hỗn hợp đóng gói (Bagging), và mô hình hỗn hợp xếp chồng (Stacking) [7]. Các mô hình này được xây dựng dựa trên dữ liệu cho cường độ bám dính tại tiết diện giữa thanh FRP và UHPC, và trên phần mềm mã nguồn mở WEKA với các thông số mặc định.

3.2.2. Mô hình học máy gần trọng số

Để tìm mức độ ảnh hưởng của các biến đến độ chính xác của mô hình dự báo, trong nghiên cứu này để xuất trọng số được gán vào các biến, với mô hình cơ sở là hồi quy véc-tơ hỗ trợ bình phương tối thiểu (LSSVR), thành mô hình hồi quy véc-tơ hỗ trợ bình phương tối thiểu gần trọng số (WFLSSVR), nguyên lý như sau:

Với dữ liệu $\{x_k, y_k\}_{k=1}^n$, nay được chuyển thành $\{x'_k, y_k\}_{k=1}^n$, và x'_k được xác định bằng:

$$x'_k = w_i \odot x_k \quad (2)$$

trong đó w_i là trọng số của biến thứ i th. Do đó, công thức huấn luyện mô hình LSSVR được hiệu chỉnh lại như sau (3).

$$\min_{\omega, b, e} J(\omega, e) = \frac{1}{2} \|\omega\|^2 + \frac{1}{2} C \sum_{k=1}^n e_{k'}^2; \quad \text{subject to } y_k = \langle \omega, \varphi(x'_k) \rangle, k = 1, \dots, n \quad (3)$$

Bảng 3. Chỉ số đánh giá hiệu suất mô hình hỗn hợp

STT	MÔ HÌNH	R	MAE (MPa)	RMSE (MPa)	MAPE (%)	SI (Rank)
Mô hình Voting						
1	ANN - SVR	0,8752	3,8503	5,1498	17,56	0,55 (14)
2	ANN - CART	0,9144	3,1282	4,2958	14,62	0,37 (6)
3	ANN - LR	0,8774	3,8355	5,0964	18,14	0,56 (15)
4	SVR - CART	0,8841	3,7236	5,2334	17,16	0,53 (13)
5	SVR - LR	0,7743	4,9784	6,7629	23,10	0,91 (19)
6	CART - LR	0,8825	3,6277	4,9945	17,10	0,51 (12)
7	ANN - SVR - CART	0,9069	3,3795	4,6432	15,71	0,43 (9)
8	ANN - SVR - LR	0,8617	4,0871	5,5202	19,08	0,63 (17)

Phương trình số (4) mô tả kết quả dự báo bằng mô hình WFLSSVR như sau.

$$f(x) = \sum_{k=1}^n \alpha_k K(w \odot x, x'_k) + b \quad (4)$$

và bán kính hàm nhân (σ) được mô tả như sau.

$$K(x, x_k) = \exp(-\|w \odot x - x'_k\|^2 / 2\sigma^2) \quad (5)$$

3.2.3. Tối ưu hóa mô hình học máy gần trọng số

Để tối ưu các trọng số w , hằng số phạt C và bán kính hàm nhân (σ), thuật toán SAPSO được phát triển bởi Truong và Chou (2025) được sử dụng [8]. SAPSO là thuật toán metaheuristic dựa trên quần thể, mô phỏng tư duy khoa học trong giải quyết bài toán tối ưu. Mô hình kết hợp được gọi là SAPSO-WFLSSVR, với hàm mục tiêu và nguyên lý được trình bày phương trình (6) và Hình 3.

$$f_{obj} = RMSE_{validation} \quad (6)$$

3.3. Đánh giá mô hình

3.3.1. Xác thực chéo k-fold

Trong xác thực chéo k-fold, tập dữ liệu ban đầu được chia ngẫu nhiên thành k phần (gọi là các fold) có kích thước gần bằng nhau. Quá trình huấn luyện và đánh giá mô hình được lặp lại k lần, trong đó ở mỗi lần lặp, một fold được sử dụng làm tập kiểm tra, còn $k - 1$ fold còn lại được sử dụng làm tập huấn luyện. Cuối cùng, hiệu suất của mô hình được tính bằng cách lấy trung bình các kết quả đánh giá từ k lần thử nghiệm, trong nghiên cứu này $k=10$ [7].

3.3.2. Các chỉ số hiệu suất đánh giá mô hình.

Các chỉ số phổ biến bao gồm hệ số tương quan tuyến tính (R), sai số bình phương trung bình (RMSE), sai số trung bình tuyệt đối (MAE), phần trăm sai số trung bình tuyệt đối (MAPE) và hệ số tổng hợp (SI) [7].

4. PHÂN TÍCH VÀ SO SÁNH

4.1. So sánh và đánh giá mô hình các mô hình đơn

Kết quả tại Bảng 2 cho thấy CART là mô hình đơn có hiệu suất dự báo tốt nhất, với $R = 0,9011$; $MAE = 3,1511$ MPa; $RMSE = 4,5856$ MPa và $MAPE = 14,46\%$ trên tập kiểm tra. Với $SI = 0,00$ (Rank 1), CART vượt trội so với ANN và SVR, thể hiện năng lực dự báo cường độ bám dính FRP-UHPC tốt nhất.

Bảng 2. Chỉ số đánh giá hiệu suất các mô hình đơn.

STT	MÔ HÌNH	R	MAE (MPa)	RMSE (MPa)	MAPE (%)	SI (Rank)
1	ANN	0,8809	3,8855	5,1291	18,35	0,28 (2)
2	SVR	0,7580	5,1307	7,2706	23,35	1,00 (4)
3	CART	0,9011	3,1511	4,5856	14,46	0,00 (1)
4	LR	0,7756	5,1295	6,6548	24,53	0,94 (3)

4.2. So sánh và đánh giá các mô hình hỗn hợp

Kết quả Bảng 3 cho thấy các mô hình lai SAPSO-LSSVR và SAPSO-WFLSSVR vượt trội so với các mô hình voting, bagging và stacking. Đặc biệt, SAPSO-WFLSSVR đạt hiệu quả tốt nhất với $R = 0,9772$; $RMSE = 2,1775$ MPa; $MAE = 1,7027$ MPa; $MAPE = 8,5194\%$ và $SI = 0,00$ (Rank 1), khẳng định khả năng dự báo cường độ bám dính FRP-UHPC cao.

9	ANN - CART - LR	0,9046	3,3238	4,5444	15,61	0,42 (8)
10	SVR - CART - LR	0,8627	3,9933	5,5187	18,57	0,61 (16)
11	ANN - SVR - CART - LR	0,8918	3,6110	4,9491	16,87	0,50 (11)
Mô hình Bagging						
1	ANN	0,9162	3,0800	4,2498	13,82	0,35 (4)
2	SVR	0,7486	5,1208	7,2873	23,13	0,98 (21)
3	CART	0,9208	2,8954	4,1162	13,19	0,32 (3)
4	LR	0,7752	5,1540	6,6594	24,57	0,94 (20)
Mô hình Stacking						
1	ANN	0,8313	4,8262	6,2263	23,71	0,82 (18)
2	SVR	0,9039	3,3185	4,5712	15,19	0,42 (7)
3	CART	0,8916	3,5005	4,8030	15,74	0,46 (10)
4	LR	0,9133	3,1203	4,2954	14,20	0,36 (5)
Mô hình lai						
1	SAPSO-LSSVR	0,9748	1,8183	2,3108	9,0882	0,03 (2)
2	SAPSO-WFLSSVR	0,9772	1,7027	2,1775	8,5194	0,00 (1)

4.3. So sánh với các yêu tiêu chuẩn và nghiên cứu trước đây

Kết quả Bảng 4 cho thấy SAPSO-WFLSSVR (11 biến) đạt hiệu suất dự báo tốt nhất trong số các mô hình được so sánh, với RMSE = 2,064 MPa; MAE = 1,624 MPa; $R^2 = 0,960$ và SI = 0,000 (Rank 1). Kết quả này vượt trội so với các công thức thực nghiệm và tương đương hoặc tốt

hơn các mô hình học máy trước đây. Đáng chú ý, các phiên bản SAPSO-WFLSSVR với 12 và 14 biến cũng đạt kết quả tốt, lần lượt xếp hạng 3 và 4. Kết quả khẳng định hiệu quả và tính ổn định của SAPSO-WFLSSVR trong dự báo cường độ bám dính FRP-UHPC.

Bảng 4. Đánh giá mô hình SAPSO-WFLSSVR với các nghiên cứu trước đây

TT	Mô hình	RMSE (MPa)	MAE (MPa)	R^2	SI (Rank)
Các công thức thực nghiệm					
1	EN 1992 [3]	19,950	17,400	0,010	1,000 (14)
2	FIB 2010 [3]	22,330	15,310	0,010	0,995 (13)
3	ACI 440.1 R-15 [3]	19,150	11,530	0,020	0,854 (11)
4	AFGC [3]	17,530	12,970	0,010	0,861 (12)
5	J.-Y. Lee [9]	13,780	11,150	0,269	0,662 (10)
Mô hình học máy					
6	Stacking model [3]	3,730	2,530	0,960	0,048 (7)
7	Tabular prior-data fitted network [4]	3,467	2,145	0,895	0,059 (9)
8	Stacked Ensemble [10]	2,156	1,751	0,956	0,006 (5)
9	CatBoost [11]	4,012	2,461	0,941	0,059 (8)
10	XGBoost-BS [6]	2,257	1,762	0,956	0,008 (6)
11	SAPSO-WFLSSVR (11 biến)	2,064	1,624	0,960	0,000 (1)
12	SAPSO-WFLSSVR (12 biến)	2,205	1,649	0,953	0,006 (4)
13	SAPSO-WFLSSVR (13 biến)	2,082	1,620	0,960	0,000 (1)
14	SAPSO-WFLSSVR (14 biến)	2,178	1,703	0,955	0,006 (3)

4.4. Phân tích ảnh hưởng của các biến

Các trọng số của mô hình SAPSO-WFLSSVR được xác định trên 10 fold s và tổng hợp theo giá trị trung bình, đồng thời được sử dụng để xếp hạng mức độ ảnh hưởng của các biến đầu vào (Bảng 5). Kết quả cho thấy X_{12} có mức độ ảnh hưởng cao nhất (Rank 1), tiếp theo là X_9 (Rank 2), X_3 (Rank 3), X_2 (Rank 4), X_7 (Rank 5), X_{10} (Rank 6), X_8 (Rank 7), X_{14} (Rank 8), X_6 (Rank 9), X_4 (Rank 10), X_5 (Rank 11), X_{13} (Rank 12), X_1 (Rank 13) và X_{11} (Rank 14).

Bảng 5. Danh sách 14 tổ hợp khởi tạo từ phân tích trọng số

Biến	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}
Rank	13	4	3	10	11	9	5	7	2	6	14	1	12	8
TH1-1 biến	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	v	-	-
TH2-2 biến	-	-	-	-	-	-	-	-	v	-	-	v	-	-
TH3-3 biến	-	-	v	-	-	-	-	-	v	-	-	v	-	-
TH4-4 biến	-	v	v	-	-	-	-	-	v	-	-	v	-	-
TH5-5 biến	-	v	v	-	-	-	v	-	v	-	-	v	-	-
TH6-6 biến	-	v	v	-	-	-	v	-	v	v	-	v	-	-
TH7-7 biến	-	v	v	-	-	-	v	v	v	v	-	v	-	-

Dựa trên thứ tự xếp hạng này, 14 tổ hợp biến đầu vào được xây dựng theo nguyên tắc bổ sung dần các biến có mức độ ảnh hưởng thấp hơn. Các tổ hợp được đánh giá thông qua các chỉ số R^2 , MAE, RMSE, MAPE và SI nhằm xác định số lượng biến tối ưu cho mô hình SAPSO-WFLSSVR. Kết quả cho thấy hiệu suất dự báo được cải thiện đáng kể khi số lượng biến tăng từ 1 lên 11 biến. Đặc biệt, tổ hợp 11 biến đạt kết quả tốt nhất với $R^2 = 0,960$ trên tập kiểm tra, RMSE = 2,064 MPa; MAE = 1,624 MPa và MAPE = 8,060%, đồng thời đạt SI = 0,000 và xếp hạng 1 (Bảng 6).

TH8-8 biến	-	v	v	-	-	-	v	v	v	v	-	v	-	v
TH9-9 biến	-	v	v	-	-	v	v	v	v	v	-	v	-	v
TH10-10 biến	-	v	v	v	-	v	v	v	v	v	-	v	-	v
TH11-11 biến	-	v	v	v	v	v	v	v	v	v	-	v	-	v
TH12-12 biến	-	v	v	v	v	v	v	v	v	v	-	v	v	v
TH13-13 biến	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	-	v	v	v
TH14-14 biến	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v

Lưu ý: “v” là giải pháp chọn
Bảng 6. Phân tích độ chính xác của các mô hình

TT	Mô hình	R ²	MAE (MPa)	RMSE (MPa)	MAPE (%)	SI (Rank)
1	TH1-1 biến	0,218	6,915	9,312	34,437	1,000 (14)
2	TH2-2 biến	0,649	4,490	6,135	20,680	0,585 (12)
3	TH3-3 biến	0,647	4,580	6,243	21,156	0,587 (13)
4	TH4-4 biến	0,680	4,339	5,941	19,608	0,522 (11)
5	TH5-5 biến	0,734	3,955	5,436	18,003	0,459 (10)
6	TH6-6 biến	0,745	3,894	5,345	17,665	0,402 (9)
7	TH7-7 biến	0,860	2,769	3,891	13,382	0,230 (7)
8	TH8-8 biến	0,870	2,723	3,709	12,994	0,211 (6)
9	TH9-9 biến	0,881	2,481	3,622	11,862	0,154 (5)
10	TH10-10 biến	0,951	1,736	2,233	8,870	0,019 (4)
11	TH11-11 biến	0,960	1,624	2,064	8,060	0,000 (1)
12	TH12-12 biến	0,953	1,649	2,205	8,040	0,004 (3)
13	TH13-13 biến	0,960	1,620	2,082	8,066	0,000 (1)
14	TH14-14 biến	0,955	1,703	2,178	8,519	0,375 (8)

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã xây dựng mô hình ML trên cơ sở dữ liệu gồm 542 mẫu thí nghiệm được tổng hợp từ 15 nghiên cứu đã công bố nhằm phát triển và đánh giá các mô hình học máy dự báo cường độ bám dính giữa thanh cốt FRP và bê tông siêu tính năng. Bốn mô hình học máy đơn gồm ANN, SVR, CART và LR, cùng với ba chiến lược học máy tổ hợp gồm voting, bagging và stacking, đã được xây dựng và đánh giá thông qua các chỉ số R, MAE, RMSE, MAPE và SI.

Kết quả phân tích cho thấy, trong nhóm các mô hình học máy đơn, CART đạt hiệu suất dự báo tốt nhất trên tập kiểm tra, với R = 0,9011; RMSE = 4,5856 MPa và SI = 0,000. Khi áp dụng các chiến lược học máy tổ hợp, bagging-CART tiếp tục cho hiệu suất cao nhất trong nhóm mô hình tổ hợp, với R = 0,9208; MAE = 2,8954 MPa; RMSE = 4,1162 MPa và MAPE = 13,19%. Kết quả này cho thấy chiến lược bagging có khả năng cải thiện khả năng tổng quát hóa và độ chính xác dự báo của mô hình CART.

Bên cạnh các mô hình học máy phổ biến, nghiên cứu đã phát triển mô hình SAPSO-WFLSSVR bằng cách kết hợp thuật toán tối ưu SAPSO với mô hình hồi quy véc-tơ hỗ trợ bình phương tối thiểu gần trọng số. Cách tiếp cận này cho phép đồng thời tối ưu các trọng số của biến đầu vào và các tham số của mô hình, qua đó xác định mức độ ảnh hưởng tương đối của các biến đến hiệu suất dự báo. Kết quả phân tích trọng số cho thấy X₁₂ có mức độ ảnh hưởng cao nhất, tiếp theo lần lượt là X₉, X₃, X₂, X₇, X₁₀, X₈, X₁₄, X₆, X₄, X₅, X₁₃, X₁ và X₁₁.

So sánh cho thấy mô hình SAPSO-WFLSSVR với 11 biến có khả năng dự báo tốt hơn so với các mô hình SAPSO-WFLSSVR sử dụng số lượng biến khác trong nghiên cứu. Việc loại các biến X₁, X₁₁ và X₁₃ không làm suy giảm độ chính xác mà còn giúp xác định một tập biến đầu vào gọn hơn và có hiệu quả dự báo cao hơn. Kết quả này cho thấy việc kết hợp phân tích trọng số với thuật toán metaheuristic là một hướng tiếp cận có tiềm năng trong lựa chọn biến và xây dựng mô hình dự báo cường độ bám dính FRP-UHPC.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển khoa học và công nghệ Quốc gia (NAFOSTED) theo đề tài có mã số 107.01-2025.01

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] M. F. Hurley and J. R. Scully. Threshold Chloride Concentrations of Selected Corrosion-Resistant Rebar Materials Compared to Carbon Steel. *Corrosion*, vol. 62, no. 10, pp. 892-904, 2006, doi: <https://doi.org/10.5006/1.3279899>.

[2] S. Reichenbach, P. Preinstorfer, M. Hammerl and B. Kromoser. A review on embedded fibre-reinforced polymer reinforcement in structural concrete in Europe. *Construction and Building Materials*, vol. 307, p. 124946, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124946>.

[3] J. Li, Z. Liu and Y. Wang. Employing machine learning model to predict bond strength between FRP bars and UHPC: Database analysis and code applicability. *Structures*, vol. 79, p. 109570, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2025.109570>.

[4] J. Wu and L. Chen. Prediction of bond strength between FRP bars and UHPC using explainable machine learning algorithms. *Journal of Building Engineering*, vol. 119, p. 115174, 2026, doi: <https://doi.org/10.1016/j.job.2025.115174>.

[5] Z. Li, J. Qi, Y. Hu and J. Wang. Estimation of bond strength between UHPC and reinforcing bars using machine learning approaches. *Engineering Structures*, vol. 262, p. 114311, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.114311>.

[6] P.-F. Zhang et al. Prediction of bond strength and failure mode of FRP bars embedded in UHPC or UHPSSC utilising extreme gradient boosting technique. *Composite Structures*, vol. 346, p. 118437, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2024.118437>.

[7] J.-S. Chou, D.-N. Truong and C.-F. Tsai. Solving Regression Problems with Intelligent Machine Learner for Engineering Informatics. *Mathematics*, vol. 9, no. 6, p. 686, 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/math9060686>.

[8] D.-N. Truong and J.-S. Chou. Scientific approach to problem solving-inspired optimization of stacking ensemble learning for enhanced civil engineering informatics. *Artificial Intelligence Review*, vol. 58, no. 12, p. 404, 2025, doi: [10.1007/s10462-025-11356-x](https://doi.org/10.1007/s10462-025-11356-x).

[9] Y. Yu, S. Li, L. Wang and G. Xian. Prediction and interpretation of bond strength between FRP bars and fiber reinforced concrete using machine learning and Shapley Additive exPlanations Analysis. *Construction and Building Materials*, vol. 496, p. 143797, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.143797>.

[10] Y. M. Abbas. Physics-informed fusion-based machine learning and gene-expression modeling for predicting the bond strength of GFRP bars in UHPC. *Journal of Building Engineering*, vol. 128, p. 116608, 2026, doi: <https://doi.org/10.1016/j.job.2026.116608>.

[11] L. Lv, Y. Huang, L. Lei and B. Han. Machine learning models with monotonic constraints for predicting bond strength between reinforcing bars and UHPC. *Structures*, vol. 87, p. 111552, 2026, doi: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2026.111552>.

Ứng xử theo các trạng thái giới hạn của hệ móng khối đệm Top-base chịu hoạt tải sàn nhà xưởng trên nền đất yếu

Limit state behavior of the Top-base foundation system subjected to factory floor live loads on soft soil

> **THS HOÀNG LONG HẢI**

Khoa Xây dựng, Trường Đại học Công nghệ Kỹ thuật TP Hồ Chí Minh

Email: haihl@hcmute.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu đánh giá hiệu quả và giới hạn ứng dụng của giải pháp gia cố nền bằng hệ khối đệm con quay (Top-base foundation - TBF) tại dự án Khu nhà xưởng Đức Hòa, tỉnh Tây Ninh (trước đây là tỉnh Long An). Trên cơ sở phân tích lý thuyết truyền lực kết hợp mô phỏng số phần tử hữu hạn ba chiều (3D FEA) bằng mô hình Soft Soil và phân tích ngược được đối chiếu với số liệu thực nghiệm nền tĩnh hiện trường để hiệu chuẩn thông số đất nền, cơ chế làm việc của khối TBF theo hai trạng thái giới hạn (TTGH) đã được làm rõ một cách định lượng. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, đối với TTGH I (sức chịu tải), khối TBF giúp phân tán ứng suất tối ưu nhờ lực ma sát biên huy động tại các mặt vát nghiêng hình phễu của topblock kết hợp lớp đá dăm chèn chặt K95. Cơ chế phân tán ứng suất kép này giúp mở rộng góc lan truyền ứng suất đứng, làm giảm mật độ áp lực đứng truyền xuống và giảm nội lực dọc khoảng 54% so với sơ đồ truyền tải thông thường. Tuy nhiên, đối với TTGH II (độ lún) giải pháp TBF có hạn chế nghiêm trọng khi chịu tác dụng của diện truyền tải sàn phân bố đều trên nền đất bùn sét yếu dày bão hòa nước. Mặc dù giải pháp này giúp giảm độ lún từ 2 - 7% nhưng dưới tiến trình nén cố kết tích lũy theo thời gian chi phối bởi lý thuyết Biot, độ lún cố kết dự báo lên tới 24,89 cm (tại $U = 95\%$), vượt xa giới hạn biến dạng cho phép 12 cm của tiêu chuẩn TCVN 9362:2012.

Từ khóa: Khối đệm con quay; Top-base; sức chịu tải; độ lún cố kết; phần tử hữu hạn ba chiều.

ABSTRACT

This paper presents the results of a study evaluating the effectiveness and application limits of the ground improvement method using the Top-Base Foundation (TBF) system at the Duc Hoa workshop project (Long An). Based on load transfer theory analysis combined with three-dimensional finite element analysis (3D FEA) using the Soft Soil model, and back-analysis validated against field static load test data to calibrate soil parameters, the working mechanism of the TBF system under two limit states has been quantitatively elucidated. The results of this study indicate that, with respect to the Ultimate Limit State (bearing capacity), the TBF system facilitates optimal stress dispersion due to the mobilized skin friction at the funnel-shaped inclined faces of the topblocks combined with a tightly compacted crushed stone layer achieving a compaction degree of K95. This dual stress dispersion mechanism helps to expand the vertical stress propagation angle, reducing the transmitted vertical pressure density and decreasing the internal axial force within the blocks by approximately 54% compared to the conventional load transfer scheme. However, regarding the Serviceability Limit State (settlement), the TBF solution exhibits serious limitations when subjected to a uniformly distributed floor load over a thick, water-saturated soft clay layer. Under the time-dependent cumulative consolidation process governed by Biot's theory, the predicted consolidation settlement reaches up to 24.89 cm (at $U = 95\%$), far exceeding the allowable deformation limit of 12 cm specified by the TCVN 9362:2012 standard.

Keywords: Top-base foundation; bearing capacity; consolidation settlement; three-dimensional finite element.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Gia cường và xử lý nền đất yếu có bề dày lớn luôn là thách thức phức tạp khi xây dựng nhà xưởng công nghiệp. Trong nhóm giải pháp móng đệm trung gian, công nghệ móng khối đệm con quay (Top-base foundation - TBF, Hình 1) được áp dụng rộng rãi nhờ khả năng nâng cao sức chịu tải nền [1, 2]. Trên thế giới, các nghiên cứu thực nghiệm hiện trường đã chỉ ra tính ưu việt của khối TBF trong việc giảm ứng suất đứng truyền xuống đất nền nhờ lực ma sát hông giữa khối block với lớp đá dăm chèn gia cường xung quanh. Công thức xác định sức chịu tải giới hạn dựa trên hình dạng phá hoại của đất nền dưới mũi khối đệm trên nền cát rời đến chặt vừa đã được thiết lập dựa trên các mô hình thực nghiệm và lý thuyết [3, 4, 5, 6]. Song song đó, lực ma sát biên giữa khối block bê tông với lớp đá dăm chèn gia cường xung quanh được chứng minh là thành phần chi phối chủ đạo trong cơ chế truyền tải của khối đệm, giúp mở rộng góc phân tán ứng suất đứng thực tế từ $41,8^\circ$ đến $44,5^\circ$, từ đó đồng đều hóa áp lực truyền xuống nền [6, 7, 8]. Tiến trình thử tải hiện trường quy mô lớn cũng đã làm rõ sức chịu tải thực tế của phương pháp khối đệm đổ bê tông tại chỗ trên nền đất yếu [9]. Ngoài ra, giải pháp kết hợp TBF với hệ thống giếng bao cát thoát nước cũng được nghiên cứu nhằm gia tăng tốc độ tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng thẳng dư của đất dính yếu [10].



Hình 1. Móng khối đệm con quay (Top-base foundation, TBF)

Tại Việt Nam, giải pháp địa kỹ thuật này bước đầu được tiếp cận thông qua các công cụ mô phỏng số. Phương pháp phần tử hữu hạn 3D đã được ứng dụng để phản ánh tương tác tiếp xúc cơ học giữa khối block con quay và đất nền dưới tải trọng công trình, làm cơ sở dự báo ứng suất và biến dạng của hệ móng đệm [11].

Mặc dù các nghiên cứu hiện hành đã làm sáng tỏ bài toán sức chịu tải đứng của TBF theo trạng thái giới hạn thứ nhất (TTGH I), nhưng chưa có các đánh giá toàn diện về ứng xử biến dạng dài hạn theo trạng thái giới hạn thứ hai (TTGH II) dưới tác dụng của tải trọng. Trong thực tế kỹ thuật, sàn nền nhà xưởng và kho bãi thường được mô hình hóa đơn giản dưới dạng nền đàn hồi Winkler tuyến tính (lò xo đàn hồi) thông qua phần mềm SAFE để tính toán. Sơ đồ hệ số nền này chỉ phản ánh được một thành phần của độ lún đó là biến dạng tức thời. Tuy nhiên, đất nền là vật liệu có quan hệ ứng suất - biến dạng phi tuyến, độ cứng phụ thuộc vào trạng thái ứng suất hữu hiệu [12, 13]. Với đất dính, tốc độ lún cố kết được chi phối bởi lý thuyết của Biot diễn ra liên tục theo thời gian, dẫn đến độ lún tích lũy rất lớn [14, 15] mà các sơ đồ lò xo tuyến tính đơn giản không thể tính toán được. Vì chưa có nhiều nghiên cứu để đánh giá độ lún cố kết của TBF trên nền sét yếu dày nên dẫn đến những bất cập trong lựa chọn phương án kỹ thuật. Do đó, việc xác định ranh giới áp dụng an toàn của giải pháp TBF trên nền bùn sét yếu có bề dày lớn là luận cứ khoa học bắt buộc, giúp kỹ sư thiết kế dự báo chính xác diễn biến lún cố kết theo thời gian.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Cơ sở lý thuyết biến dạng - dòng thấm

Tiến trình nén cố kết của tầng đất dính bão hòa nước dưới tác dụng của tải trọng được mô phỏng thông qua lời giải đồng thời giữa trường

biến dạng của khung hạt đất và trường áp lực nước lỗ rỗng thẳng dư theo thời gian dựa trên nền tảng lý thuyết cổ kết ba chiều [15]. Trong môi trường đất bão hòa, cột nước thủy lực (ϕ) được định nghĩa bằng tổng của cột nước địa hình (z) và cột nước áp lực (ϕ_p) thông qua phương trình (2.1) nhằm thiết lập trường thế năng của dòng thấm.

$$\phi = z + \phi_p = z + \frac{p_w}{\rho_w g} \quad (2.1)$$

Trạng thái ứng suất hữu hiệu của khung hạt đất trong điều kiện chưa bão hòa hoặc bão hòa được xác định theo nguyên lý ứng suất hữu hiệu Bishop thông qua phương trình (2.2), đóng vai trò làm cơ sở thiết lập các phương trình biến dạng của nền hỗn hợp thông qua quan hệ ứng suất - biến dạng.

$$\sigma' = \sigma + m(\chi p_w + (1 + \chi)p_a) \quad (2.2)$$

Trong đó:

- σ' : Vectơ ứng suất hữu hiệu.
- σ : Vectơ ứng suất tổng.
- m : Vectơ chứa các giá trị 1 cho thành phần ứng suất pháp và 0 cho thành phần ứng suất cắt.
- χ : Hệ số lực hút matric (matric suction coefficient)
- p_w, p_a : Lần lượt là áp lực nước và áp lực không khí trong lỗ rỗng

Trong trường hợp đặc biệt là đất bão hòa hoàn toàn khi hệ số $\chi = 1$, phương trình Bishop thu gọn về dạng phương trình ứng suất hữu hiệu cổ điển Terzaghi: $\sigma' = \sigma - mp_w$.

Vận tốc dòng chảy của nước lỗ rỗng chảy qua các khe rỗng của khung hạt đất tuân thủ định luật thấm Darcy. Tiến trình tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng thẳng dư liên quan trực tiếp đến sự thay đổi thể tích của không gian lỗ rỗng, được khống chế đồng thời bởi phương trình liên tục của dòng thấm và phương trình cân bằng cơ học của môi trường liên tục [16].

Hệ phương trình vi phân chi phối đồng thời dòng thấm và biến dạng được chuyển đổi sang hệ phương trình đại số ma trận dạng cấu trúc phần tử hữu hạn để xác định tiến trình lún tích lũy theo thời gian. Bao gồm phương trình cân bằng lực (2.3) và phương trình liên tục dòng thấm (2.4):

$$K \frac{du}{dt} + Q \frac{dp}{dt} = \frac{df}{dt} \quad (2.3)$$

$$C \frac{du}{dt} - S \frac{dp}{dt} + Hp = G - q_w \quad (2.4)$$

Trong đó:

- K : Ma trận độ cứng của khung hạt đất.
- Q, C : Các ma trận tương tác cặp đôi giữa biến dạng và dòng thấm.

- S : Ma trận nén lún/thể tích.
- H : Ma trận độ thấm.
- u : Vectơ chuyển vị của nút phần tử.
- p : Vectơ áp lực nước lỗ rỗng tại nút.
- f : Vectơ lực tác dụng bên ngoài.
- G : Vectơ xét đến ảnh hưởng của trọng lực lên dòng chảy.
- q_w : Thông lượng dòng chảy biên

2.2. Mô hình ứng xử vật liệu đất yếu Soft Soil

Để mô tả đặc tính nén lún của tầng bùn sét yếu bão hòa nước, mô hình đất yếu (Soft Soil model) được áp dụng nhằm thay thế các mô hình đàn hồi - dẻo thông thường. Mô hình này thiết lập mối quan hệ tuyến tính giữa biến dạng thể tích (ε_v) với ứng suất hữu hiệu trung bình (p') trên thang logarit tự nhiên theo phương trình (2.5), phù hợp cho đất dính có trạng thái cố kết thường hoặc quá cố kết nhẹ.

$$\varepsilon_v - \varepsilon_v^0 = -\lambda^* \ln \left(\frac{p' + c \cot(\varphi)}{p^0 + c \cot(\varphi)} \right) \quad (2.5)$$

Các thông số chính trong mô hình gồm chỉ số nén sửa đổi (λ^*) và chỉ số nở sửa đổi (κ^*) được xác định từ các chỉ số đặc trưng oedometer là chỉ số nén nguyên thủy (C_c) và chỉ số nén lại (C_r) thông qua hệ thức toán học chuyển đổi:

$$\lambda^* = \frac{C_c}{2,3(1 + e_0)} \quad (2.6)$$

$$\kappa^* = \frac{2C_r}{2,3(1 + e_0)} \quad (2.7)$$

2.3. Mô phỏng số 3D và quy trình phân tích ngược

Ứng xử của hệ móng khối đệm con quay Top-base (TBF) chịu ảnh hưởng lớn bởi tương tác cơ học tiếp xúc giữa khối block bê tông và lớp đá dăm chèn bao quanh [4, 7]. Kích thước hình học thực tế của hệ móng khối đệm được dựng chi tiết trong không gian ba chiều với đường kính đỉnh khối block 1000 mm, tổng chiều cao 1,56 m đặt trong lớp cấp phối đá dăm loại 1 chèn gia cường xung quanh dày 300 mm nhằm phản ánh chính xác diện tích tiếp xúc biên. Lưới phần tử hữu hạn tại vùng giao diện tiếp xúc giữa khối block và đá chèn được làm mịn cục bộ bằng các phần tử bậc cao nhằm hạn chế tối đa sai số gradient ứng suất.

Quy trình mô phỏng số được thực hiện bằng phần mềm PLAXIS 3D triển khai qua hai giai đoạn độc lập nhằm kiểm chứng độ tin cậy của bộ thông số đầu vào:

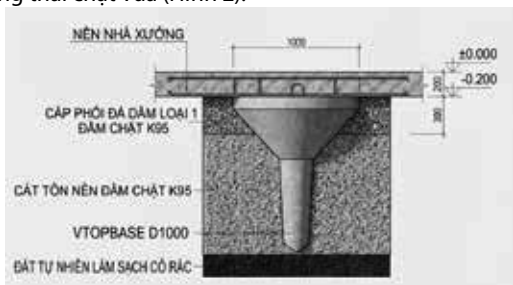
- Giai đoạn 1 - Phân tích ngược và hiệu chuẩn thông số (Back-analysis): Mô hình số 3D tái hiện bài toán thí nghiệm nén tĩnh hiện trường của khối TBF đặt trên nền cát đôn nền đầm chặt K95. Dựa trên biểu đồ quan hệ tải trọng - độ lún thực tế từ hiện trường của thí nghiệm, các thông số độ cứng của mô hình vật liệu đất nền được phân tích ngược và hiệu chỉnh cho đến khi đường cong tính toán số khớp tốt với dữ liệu đo đạc thực tế nhằm xác định bộ thông số địa kỹ thuật của nền.

- Giai đoạn 2 - Dự báo biến dạng dài hạn: Bộ thông số sau khi hiệu chuẩn được áp dụng vào mô hình tổng thể của nền nhà xưởng (bao gồm kết cấu sàn bê tông cốt thép dày 200 mm đặt trên lớp đệm đá dăm dày 300 mm đầm chặt K95). Diện tải rộng phân bố đều tương ứng với hoạt tải nền dài hạn là 3 tấn/m² được kích hoạt đồng thời với tiến trình phân tích biến dạng - dòng thấm theo thời gian.

3. PHÂN TÍCH KHỐI TBF THEO CÁC TTGH

3.1 Tổng quan thiết kế khối TBF

Dự án Khu nhà xưởng Đức Hòa, tỉnh Tây Ninh (trước đây là tỉnh Long An). Loại khối TBF được thiết kế với bê tông M300, đường kính 1000 mm được thi công đổ tại chỗ, chôn sâu 1,5 m nằm trong lớp cát được đầm chặt K95. Phần còn xoay được nện chặt với lớp đá dăm. Bố trí theo lưới 2,67 m x 3 m phân bố đều dưới nền nhà xưởng dày 200 mm. Bên dưới lớp cát đôn nền là lớp bùn sét yếu lẫn hữu cơ, trạng thái chảy, có bề dày trung bình 21,4 m. Tiếp đến là lớp cát lẫn bụi, trạng thái chặt vừa (Hình 2).



Hình 2. Cấu tạo khối TBF [17]

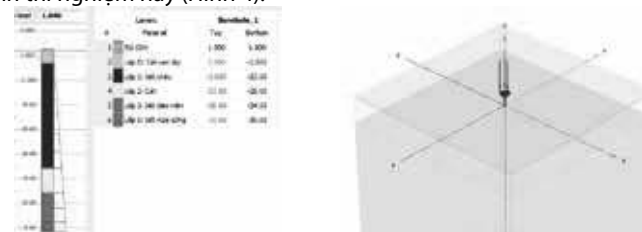
Thí nghiệm nén tĩnh cho loại TBF-569 với tải trọng thực tế 82,5 tấn. Công tác thí nghiệm nhằm cung cấp mối quan hệ tải trọng - độ lún của TBF qua đó xác định sức chịu tải của móng (Hình 3). Thí nghiệm được thực hiện bằng tác dụng tải trọng dọc trục sao cho TBF lún thêm vào đất nền. Theo phương pháp này, tải trọng tác dụng lên đầu TBF được thực hiện bằng hệ thống kích, bơm thủy lực và đối trọng là những cục tải bê tông. Móng TBF-569 có tổng độ lún tại cấp tải lớn nhất $P_{\max} = 82,5$ tấn là $S_{\max} = 39,68$ mm. Sau khi giảm tải về 0 tấn, độ lún dư tổng cộng còn lại là $S_{\text{dư}} = 16,31$ mm. Kết quả cho thấy độ lún dư của khối TBF-569 nhỏ hơn độ lún cho phép tối đa là 100 mm (tương đương 10% đường kính còn), đáp ứng yêu cầu của thí nghiệm khi tăng tải đến cấp tải 82,5 tấn. Như vậy, TBF đạt sức chịu tải thiết kế là 30 tấn với hệ số an toàn lớn hơn 2,75.



Hình 3. Thí nghiệm nén tĩnh hiện trường khối TBF

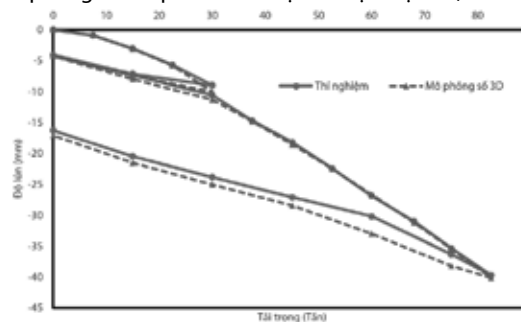
3.2 Phân tích ngược và hiệu chuẩn thông số

Căn cứ vào Báo cáo kết quả thí nghiệm nén tĩnh TBF-569 do Công ty Cổ phần Tổng hợp xây dựng Tuấn Phát thực hiện tháng 4/2025 để tái lập quá trình thí nghiệm tại hiện trường. Quy trình gia tải thực hiện qua 02 chu kỳ, thời gian bắt đầu thí nghiệm từ 10h50 ngày 18/4/2025 đến 16h00 ngày 19/4/2025. Sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn bằng phần mềm PLAXIS 3D để mô phỏng số quá trình thí nghiệm này (Hình 4).



Hình 4. Mô phỏng số 3D quá trình nén tĩnh TBF

Căn cứ vào kết quả khảo sát địa chất, kết hợp với quy trình hiệu chuẩn thông số dựa vào biểu đồ từ thí nghiệm nén tĩnh. Các thông số độ cứng và độ bền của mô hình vật liệu đất nền (chủ yếu là lớp bùn sét chảy và lớp cát) được phân tích ngược và hiệu chỉnh cho đến khi đường cong mô phỏng số khớp tốt với dữ liệu đo đạc thực tế (Hình 5).



Hình 5. So sánh kết quả nén tĩnh hiện trường với mô phỏng số

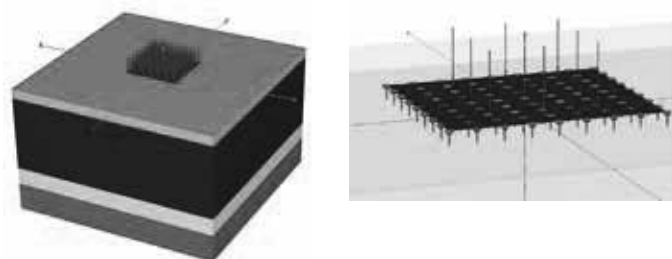
Từ đó, xác lập được bộ thông số đáng tin cậy trong mô phỏng số làm cơ sở cho các phân tích và nghiên cứu tiếp theo (Bảng 1)

Bảng 1. Thông số địa chất sử dụng trong mô phỏng số PLAXIS 3D

Lớp đất	LI	k_H	k_V	γ	C_c	C_s	λ^*	κ^*	E_{50}	c'	ϕ'	ψ
		m/day	m/day	kN/m^3					kPa	kPa	deg	deg
Cát san lấp đôn nền	-	7,128	7,128	18,0	-	-	-	-	30E3	1	30	0
Bùn sét chảy	1,85	0,055E-3	0,027E-3	14,7	0,940	0,185	0,1201	0,04726	-	5	20	0
Cát	-	3,499	3,499	18,9	-	-	-	-	22,5E3	13	19	0

3.3. TTGH I - sức chịu tải

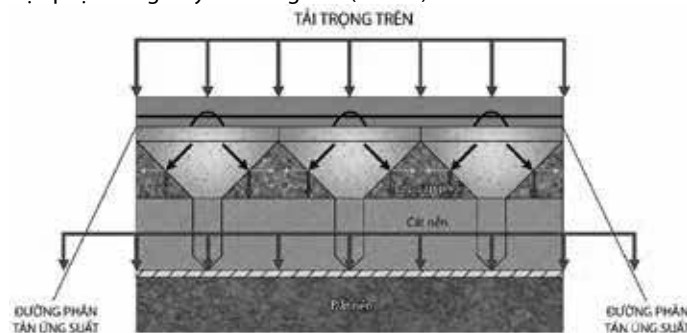
Việc đánh giá giải pháp gia cố nền bằng khối đệm con quay (Top-base foundation - TBF) được thực hiện một cách độc lập dựa trên hai TTGH theo quy định tiêu chuẩn kỹ thuật hiện hành. Đối với TTGH I, sức chịu tải của hệ móng được kiểm soát bởi hai thành phần cơ học là sức chịu tải theo vật liệu làm TBF và sức chịu tải theo đất nền. Sức chịu tải vật liệu phụ thuộc vào cường độ chịu nén cục bộ của bê tông cốt thép. Trong khi đó, sức chịu tải theo đất nền và cơ chế phân phối ứng suất đứng được tối ưu hóa đáng kể nhờ cấu trúc hình học hình phễu đặc trưng của topblock kết hợp với lớp đá dăm nệm chèn gia cường. Dưới tác dụng của ngoại lực, xu hướng dịch chuyển tương đối của khối block bê tông so với lớp đá dăm chèn bao quanh làm huy động áp lực chủ động và lực ma sát biên rất lớn tại bề mặt tiếp xúc. Cơ chế này không chỉ truyền tải trọng theo phương đứng mà còn đẩy lệch các thành phần ứng suất sang phương ngang hướng vào lớp cấp phối đá dăm nệm chèn, khống chế biến dạng nở hông của đất nền [18]. Hiệu ứng phân tán ứng suất này giúp mở rộng góc lan truyền ứng suất đứng, làm tăng diện tích chịu tải hiệu dụng và giảm mật độ áp lực đứng thẳng dư truyền xuống các tầng đất yếu sâu hơn, đồng thời đẩy cung trượt phá hủy cắt xuống sâu dưới chân. Tuy nhiên, rủi ro kỹ thuật lớn nhất đối với TTGH I là sự nhạy cảm của sức kháng cắt với độ ẩm chặt K95 của đá dăm chèn và sự biến động mực nước ngầm làm mềm hóa nền đất tại hiện trường.



Hình 6. Mô phỏng số nền xương trên các khối TBF

Cơ chế truyền tải trọng từ sàn bê tông cốt thép chịu tải trọng phân bố đều (3 tấn/m²) vào hệ thống TBF thông qua tiến trình phân phối ứng suất. Trong lớp đá dăm, hoạt tải phân bố đều từ mặt sàn và trọng lượng bản thân của bản sàn bê tông dày 200 mm được truyền trực tiếp xuống lớp cấp phối đá dăm dày 300 mm (tổng tải đứng $F_z \approx 280,4$ kN cho tính tải kết cấu và hoạt tải sàn phân bố đều). Dưới tác dụng của diện truyền tải này, áp lực đứng được phân phối đều trên mặt bằng, nơi các khối block bê tông có đường kính đỉnh 1000 mm được bố trí theo lưới 2,67 m × 3 m. Lực từ lớp đệm đá dăm sẽ truyền vào các khối block thông qua hai thành phần: áp lực trực tiếp lên bề mặt đỉnh của TBF và lực ma sát biên phát sinh tại mặt tiếp xúc giữa lớp đá dăm chèn chặt với các mặt vát nghiêng hình phễu của topblock. Khi ứng suất đi vào topblock, cấu trúc hình nón cụt giúp khuếch tán ứng suất. Thay vì truyền thẳng đứng theo hướng tập trung ứng suất như các dạng móng nông thông thường, các mặt vát nghiêng làm chuyển hướng một phần lực đứng thành các vectơ áp lực ngang đẩy ra xung quanh. Do các khối block được bố trí liên tục theo khoảng cách đều trên diện rộng, các thành phần áp lực ngang đối nghịch phát sinh từ các khối block cạnh nhau tự triệt tiêu lẫn

nhau bên trong lớp đá dăm. Tiến trình tự cân bằng lực ngang này thiết lập trạng thái ứng suất nén hông, giữ chặt cấu trúc đệm và khống chế hiệu quả biến dạng nở hông của đất nền yếu bao quanh. Sự kết hợp giữa góc vát và lực ma sát biên tạo ra cơ chế phân tán ứng suất kép, làm mở rộng góc lan truyền ứng suất đứng. Nhờ đó, diện tích chịu tải hiệu dụng tại cao độ đáy móng được mở rộng đáng kể và đan xen vào nhau, giúp phân tán các đỉnh áp lực và giảm mật độ áp lực đứng truyền xuống nền (Hình 7).



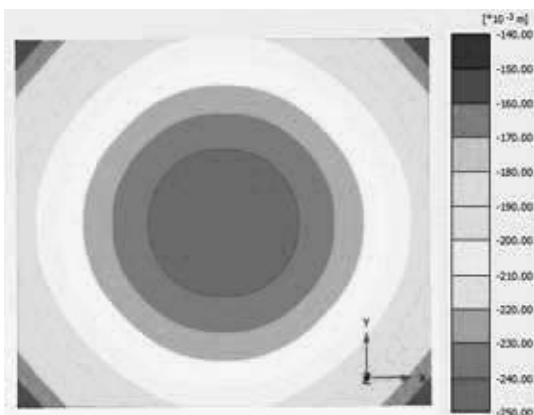
Hình 7. Cơ chế truyền tải trọng và hiệu ứng phân tán ứng suất đứng của TBF (phỏng theo: [19])

Do đó, lực dọc thu được trong cọc (phần kéo dài trong đất của TBF tiếp theo dưới phần côn) sẽ giảm đi khoảng 54% so với cơ chế truyền lực thông thường, từ 280,4 kN về 129,0kN (Hình 8).

Hình 8. Lực dọc trong các cọc của khối TBF D1000 (giá trị lớn nhất $N = 129$ kN)

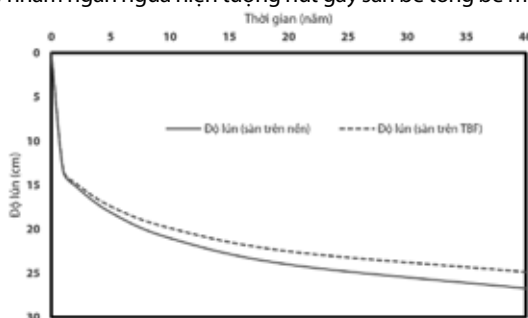
3.4. TTGH II - độ lún

Toàn bộ hệ thống lưới thép mũ kết nối bản sàn và TBF lại với nhau, biến hệ kết cấu này thành một phần tử tương đương tấm có độ cứng chống uốn cao. Tấm này đẩy cung trượt phá hoại xuống sâu dưới chân khối chêm, triệt tiêu các thành phần lún lệch cục bộ. Mặc dù áp lực đứng hữu hiệu truyền xuống tầng bùn sét yếu đã được giảm nhờ góc mở phân tán như đã đề cập ở trên, nhưng dưới tác dụng của diện truyền tải rộng và dài hạn từ sàn, áp lực đứng trong khu vực giữa sàn không bị thoát ra biên mà vẫn tác động đến tiến trình nén cổ kết theo thời gian của tầng sét yếu bên dưới cho đến khi áp lực nước lỗ rỗng thẳng dư tiêu tán hoàn toàn. Xét mức độ hoàn thành của quá trình cố kết sơ cấp (primary consolidation) trong lớp đất dính bão hòa khi áp lực nước lỗ rỗng thẳng dư đã bị tiêu tán hoàn toàn, theo đó mức độ cố kết trung bình sử dụng trong phân tích, $U = 95\%$. Tiến trình này kích hoạt quá trình tăng ứng suất hữu hiệu theo thời gian và tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng thẳng dư theo lý thuyết cố kết Biot. Kết quả mô phỏng số 3D sử dụng mô hình đất yếu (Soft Soil Model) chỉ ra rằng độ lún cố kết của sàn nền xương đạt 24,89 cm (Hình 9).



Hình 9. Độ lún cố kết của sàn trên khối TBF

Khi so sánh độ lún của sàn trên nền tự nhiên (không sử dụng khối TBF) với sàn trên khối TBF cho thấy tác dụng của khối TBF làm giảm độ lún từ 2% đến 7% theo thời gian (Hình 10). Tuy nhiên, độ lún này vẫn vượt quá giới hạn cho phép là 12 cm quy định tại tiêu chuẩn TCVN 9362:2012, đặt ra yêu cầu bắt buộc phải tính toán bù cao độ nền xuống ban đầu khi đắp cát và thiết kế chi tiết cấu tạo các khe co giãn linh hoạt (joints) nhằm ngăn ngừa hiện tượng nứt gãy sàn bê tông bề mặt.



Hình 10. So sánh độ lún giữa sàn trên nền tự nhiên và trên khối TBF (độ lún lớn nhất tại trung tâm sàn)

4. KẾT LUẬN

Từ các kết quả nghiên cứu lý thuyết kết hợp phân tích ngược và mô phỏng số phần tử hữu hạn 3D, công trình nghiên cứu rút ra những kết luận sau:

Giải pháp gia cố nền bằng TBF cho thấy hiệu quả cơ học vượt trội về TTGH I (sức chịu tải). Nhờ hình học hình phễu đặc trưng và lực ma sát biên huy động tại mặt tiếp xúc đá dăm, TBF giúp dịch chuyển một phần ứng suất đứng thành ứng suất nén hông tự cân bằng, khống chế biến dạng nở hông và mở rộng góc lan truyền ứng suất đứng. Cơ chế phân tán ứng suất này giúp giảm lực dọc xuống cọc khoảng 54% so với sơ đồ truyền lực đứng thông thường.

Mặc dù tối ưu về sức chịu tải và triệt tiêu tốt các thành phần lún lệch cục bộ giữa các ô lưới, giải pháp TBF vẫn còn hạn chế về TTGH II (độ lún cố kết) khi chịu tác dụng của diện truyền tải rộng trên nền bùn sét yếu dày. Đối với tải trọng sàn phân bố đều trên diện rộng, áp lực đứng trong khu vực giữa sàn không bị khuếch tán ra biên móng mà truyền sâu xuống địa tầng dưới. Dưới tiến trình tăng ứng suất hữu hiệu và tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng thẳng dư dài hạn chỉ phối bởi lý thuyết cố kết Biot, độ lún cố kết tích lũy dài hạn của nền đạt trị số 24,89 cm ở mức độ cố kết $U = 95\%$. Giải pháp TBF giúp giảm độ lún từ 2 - 7 % so với sàn trên nền tự nhiên. Tuy nhiên, độ lún tuyệt đối vẫn vượt quá giới hạn cho phép theo TCVN 9362:2012.

Đối với công tác triển khai ứng dụng thực tiễn, khi áp dụng công nghệ đệm khối TBF chịu tải phân bố đều trên nền đất sét yếu bão hòa nước có bề dày lớn, các kỹ sư thiết kế không được áp dụng các

mô hình tuyến tính đàn hồi đơn giản để dự báo lún. Đồng thời, giải pháp kỹ thuật bắt buộc phải thiết lập quy trình tính toán bù cao độ nền xuống dự phòng ban đầu khi đắp cát đồn nền và cấu tạo chi tiết các hệ thống khe co giãn linh hoạt (joints) tại vùng giáp ranh chênh lệch độ cứng kết cấu nhằm khống chế triệt để rủi ro nứt gãy sàn bê tông bề mặt công trình.

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả trân trọng cảm ơn Trường Đại học Công nghệ Kỹ thuật TP Hồ Chí Minh đã hỗ trợ thực hiện nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] K. Arai, H. Machihara, M. Horita and I. Yasukawa. Laboratory tests and analysis on settlement and bearing capacity of foundation with top-shaped concrete blocks, in The proceedings of 32nd Symposium of JSSMFE on Foundation Procedures without Piles, Japan: Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering (JSSMFE), pp. 55-60, 1987.
- [2] K. Yamada, I. Yasukawa, and M. Saitoh. In-Situ plate Loading Test of Concrete Top Block on soft ground, in Proceedings of the Annual Conference of the Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Japan: Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering (JSSMFE), pp. 1281-1284, 1986.
- [3] H.-K. Kang, C.-K. Kim, B. Y. Lee, and H. M. Kim. Model Test on the Effect of Bearing Capacity for In-situ Top Base Method in sand, in Proceedings of the Korean Geotechnical Society Conference, South Korea: Korean Geotechnical Society, pp. 597-602, 2005.
- [4] C.-K. Kim and H.-M. Kim. The Bearing Capacity Characteristics of Top Base Foundations in Cohesionless Soils, Journal of the Korean Geotechnical Society, vol. 26, no. 7, pp. 135-145, 2010.
- [5] K. Arai, Y. Ohnishi, M. Horita and I. Yasukawa. Measurement and interpretation of loading tests of concrete top blocks on soft ground, in Proceedings of the 2nd International Symposium on Field Measurements in Geomechanics, Japan: A. A. Balkema, pp. 919-926, 1987.
- [6] C.-K. Kim and H.-M. Kim. The Behavior of In-situ Top Base foundation in Granular Soil. Journal of the Korean Geotechnical Society, vol. 24, no. 10, pp. 121-129, 2008.
- [7] J. H. Chung, H. K. Jung and S. Lee. Behavior of Floating Base Plate by Stress Delivery Mechanism. Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, vol. 14, no. 2, pp. 137-144, 2010.
- [8] J.-H. Chung, H.-K. Chung and S. Lee. Behavior of Floating Top-Base Foundation on Soft Soils by Laboratory Model Tests. Journal of the Korean Geotechnical Society, vol. 27, pp. 5-15, 2011, doi: 10.7843/kgs.2011.27.2.005.
- [9] E.-C. Shin and M.-H. Ahn. Estimation of Bearing Capacity for In-Situ Top-Base Method by Field Experimental Plate Load Test. Journal of the Korean Geosynthetic Society, vol. 10, no. 1, pp. 1-8, 2011, doi: 10.12814/JKGSS.2011.10.1.001.
- [10] G. Li, Y. Yu, L. Xiong, J. Wu, and X. Cao. Field tests on top-shaped concrete block cushion-reinforced soft soil foundation drained with sand bag well. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, vol. 43, no. 3, pp. 425-431, 2021, doi: 10.11779/CJGE202103004.
- [11] M. Pham and K. T. Le. Investigated behavior of the top-base foundation using finite element analysis, UD-JST, pp. 12-18, 2022, doi: 10.31130/ud-jst.2022.229E.
- [12] J. Bonet and R. D. Wood. Nonlinear Continuum Mechanics for Finite Element Analysis, 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2008. doi: 10.1017/CBO9780511755446.
- [13] R. De Borst, Crisfield and Mike. Non-linear Finite Element Analysis, in Non-Linear Finite Element Analysis of Solids and Structures, John Wiley & Sons, Ltd, 2012, pp. 31-62. doi: 10.1002/9781118375938.ch2.
- [14] Barneveld and A. Sarris. FEM based soil stress and strain analyses aimed at plant growth factors, Jan. 2000.
- [15] M. A. Biot. General theory of three dimensional consolidation. Journal of Applied Physics, vol. 23, no. 1, pp. 91-96, 1941, doi: 10.1115/1.4011213.
- [16] R. E. Collins. Flow of fluids through porous materials. New York, Reinhold Pub. Corp, 1961. Internet: <http://archive.org/details/flowoffluidsthr0000coll> (Accessed: Jul. 17, 2026. (accessed: Jul. 17, 2026).
- [17] Hồ sơ thiết kế bản vẽ thi công Dự án Khu nhà xưởng Đức Hoà tọa lạc tại KCN Hựu Thạnh, tỉnh Tây Ninh, 2025.
- [18] S. Yasuda, M. Hakuno, H. Nagase, S. Kobayashi and T. Yoshida. Effectiveness of Top-Shaped Concrete Blocks in Preventing Settlement of Foundations in Liquefied Ground. Soils and Foundations, vol. 34, no. 1, pp. 65-76, Mar. 1994, doi: 10.3208/sandf1972.34.65.
- [19] 팽이기초공법(Topbase method), Topbase. Internet: <https://www.topbase.co.kr/sub/method02.php>.

Phân tích đặc tính tĩnh và dao động riêng của hệ thống treo MacPherson bằng phương pháp phần tử hữu hạn

Finite element analysis of the static and modal characteristics of a MacPherson suspension system

> **TS PHÍ HOÀNG TRÌNH**

Trường Đại học Công nghệ Đông Á

Email: trinh.phihoang@eaut.edu.vn

TÓM TẮT

Hệ thống treo MacPherson là kết cấu treo độc lập được sử dụng rộng rãi trên các dòng xe du lịch nhờ ưu điểm gọn nhẹ, khả năng dẫn hướng tốt và hiệu quả giảm chấn cao. Nghiên cứu này xây dựng mô hình ba chiều của cụm treo MacPherson và thực hiện phân tích phần tử hữu hạn trên môi trường ANSYS Mechanical nhằm đánh giá đặc tính tĩnh và dao động riêng của hệ thống.

Kết quả phân tích tĩnh cho thấy biến dạng tổng thể cực đại đạt 0,063821 m, tập trung chủ yếu tại cụm đĩa đệm phía trên và các vòng lò xo trên cùng. Ứng suất tương đương Von-Mises lớn nhất đạt 671,67 MPa, xuất hiện cục bộ tại các vị trí liên kết chịu tải, trong khi biến dạng đàn hồi chính cực đại đạt 0,0032611 m/m. Phân tích dao động xác định 5 tần số riêng đầu tiên của hệ thống lần lượt là 0,81344 Hz, 0,83697 Hz, 1,9947 Hz, 7,7386 Hz và 7,931 Hz. Các mode dao động bậc thấp có chuyển vị lớn tại cụm đĩa đệm phía trên, trong khi các mode bậc cao tập trung chủ yếu tại trục piston của giảm chấn.

Kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở dữ liệu phục vụ xây dựng mô hình động lực học, phân tích dao động ô tô và hỗ trợ đánh giá, tối ưu hóa kết cấu hệ thống treo MacPherson trong các nghiên cứu tiếp theo.

Từ khóa: Hệ thống treo MacPherson; phương pháp phần tử hữu hạn; phân tích tĩnh; dao động riêng; ANSYS.

ABSTRACT

The MacPherson suspension is an independent suspension system widely utilized in passenger cars due to its compact design, excellent guiding capability and efficient damping performance. Evaluating its load-bearing behavior and natural frequencies plays a pivotal role in structural design, optimization and vehicle dynamics modeling. This study develops a three-dimensional model of the suspension assembly to perform numerical simulations using the finite element method (FEM) within the ANSYS Mechanical environment.

Structural static analysis (Static Structural) at the steady-state loading condition (Time = 1s) reveals that the maximum total deformation reaches 0.063821 m, primarily concentrated at the upper mount and top spring coils. The peak equivalent von-Mises stress is recorded at 671.67 MPa (6.7167×10^8 Pa), occurring locally around the mounting pins and load-bearing edges. Concurrently, the maximum principal elastic strain reaches 0.0032611 m/m at the spring seat interface.

Regarding modal analysis, the first 5 natural frequency modes are extracted. The frequencies of the first 3 low-order modes are relatively low, measured at 0.81344 Hz (Mode 1), 0.83697 Hz (Mode 2) and 1.9947 Hz (Mode 3), with the largest displacement localized at the upper mount plate. In the higher-order spectra, the natural frequencies escalate sharply to 7.7386 Hz (Mode 4) and 7.931 Hz (Mode 5); at this stage, the maximum deformation zone shifts entirely toward the internal shock absorber piston rod, yielding a peak displacement of 0.89967 m.

The acquired dataset serves as an essential foundation for identifying equivalent dynamic parameters tailored for vehicle vibration problems. The numerical results demonstrate that the finite element model accurately captures the comprehensive mechanical and dynamic characteristics of the MacPherson suspension, providing a solid scientific groundwork for ride comfort evaluation and structural enhancements in subsequent research.

Keywords: MacPherson suspension; finite element method; static analysis; modal analysis; equivalent dynamic parameters; ANSYS.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hệ thống treo là một trong những cụm cơ cấu quan trọng, quyết định trực tiếp đến độ êm dịu, khả năng ổn định và an toàn chuyển động của ô tô. Trong các kết cấu treo độc lập, hệ thống treo MacPherson được sử dụng phổ biến trên xe du lịch nhờ kết cấu gọn nhẹ, khối lượng phần không được treo nhỏ và khả năng bố trí không gian hợp lý [3, 5]. Trong quá trình vận hành, cụm treo phải chịu tải trọng động phức tạp từ mặt đường, do đó việc đánh giá đặc tính chịu lực và dao động của hệ thống có ý nghĩa quan trọng đối với thiết kế và tối ưu hóa kết cấu.

Phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) hiện là công cụ hiệu quả để phân tích ứng xử cơ học của các kết cấu có hình dạng phức tạp, cho phép mô phỏng chính xác điều kiện biên, đặc tính vật liệu và tải trọng làm việc [9]. Tuy nhiên, phần lớn các nghiên cứu hiện nay chủ yếu tập trung vào từng chi tiết riêng lẻ như lò xo hoặc tay đòn dưới, trong khi các nghiên cứu đánh giá đồng thời đặc tính tĩnh và dao động riêng của toàn bộ cụm treo MacPherson vẫn còn hạn chế [11].

Trong nghiên cứu này, mô hình ba chiều của hệ thống treo MacPherson được xây dựng và phân tích trên ANSYS Mechanical. Hai bài toán gồm phân tích tĩnh học cấu trúc và phân tích dao động riêng được thực hiện nhằm xác định phân bố ứng suất, biến dạng và các tần số tự nhiên của hệ thống. Kết quả nghiên cứu là cơ sở phục vụ đánh giá đặc tính động lực học và hỗ trợ tối ưu hóa kết cấu hệ thống treo trong các nghiên cứu tiếp theo [14].

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Mô hình hình học của hệ thống treo MacPherson

Mô hình ba chiều của hệ thống treo MacPherson được xây dựng dựa trên cụm treo trước của xe Toyota Vios. Mô hình bao gồm các chi tiết chính như bộ giảm chấn, lò xo xoắn trụ, moay-ơ bánh xe, tay đòn dưới, khớp cầu và thanh ổn định. Để giảm chi phí tính toán, các chi tiết hình học nhỏ như ren, mép vát và bán kính bo không ảnh hưởng đáng kể đến khả năng chịu lực được lược bỏ. Sau khi hoàn thiện mô hình và tiền xử lý, mô hình được nhập vào ANSYS Mechanical để thiết lập các bài toán phân tích tĩnh học và dao động riêng [5, 9].

2.2. Thuộc tính vật liệu

Các chi tiết của hệ thống treo được giả thiết chế tạo từ vật liệu thép lò xo đồng nhất, đẳng hướng và làm việc trong miền đàn hồi tuyến tính. Thuộc tính vật liệu được khai báo thông qua mô-đun đàn hồi Young, hệ số Poisson, khối lượng riêng và giới hạn bền chảy. Các thông số vật liệu sử dụng trong mô phỏng được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Thuộc tính vật liệu của hệ thống treo

Thuộc tính vật liệu	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Mô-đun đàn hồi (Young's modulus)	E	200	GPa
Hệ số Poisson (Poisson's ratio)	ν	0,30	-
Khối lượng riêng (Density)	ρ	7.850	kg/m ³
Giới hạn bền chảy (Yield strength)	σ_y	1.000	MPa

2.3. Thiết lập mô hình phần tử hữu hạn

Mô hình hệ thống treo được chia lưới bằng phần tử SOLID187, là phần tử khối tứ diện bậc hai gồm 10 nút, phù hợp để mô phỏng các kết cấu có hình học phức tạp như lò xo và bộ giảm chấn. Sau khi chia lưới, bài toán phần tử hữu hạn được thiết lập trong ANSYS Mechanical để thực hiện các phân tích tĩnh học và dao động riêng.

Phương trình cân bằng tổng thể của hệ thống được biểu diễn dưới dạng:

$$Ku = F \quad (1)$$

Trong đó: (K) là ma trận độ cứng tổng thể, (u) là vector chuyển vị nút và (F) là vector tải trọng tác dụng.

Ma trận độ cứng của mỗi phần tử được xác định theo:

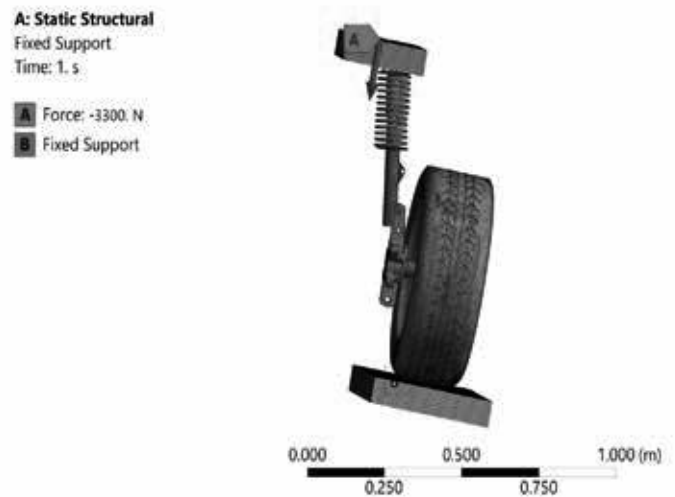
$$K_e = \int V B^T DB, dV \quad (2)$$

Trong đó: (B) là ma trận biến dạng-chuyển vị, (D) là ma trận đàn hồi của vật liệu và (V) là miến thể tích của phần tử.

Quan hệ giữa chuyển vị, biến dạng và ứng suất được xác định theo:

$$\varepsilon = Bu \quad \sigma = D\varepsilon = DBu \quad (3)$$

với (ε) là vector biến dạng và (σ) là vector ứng suất của phần tử.



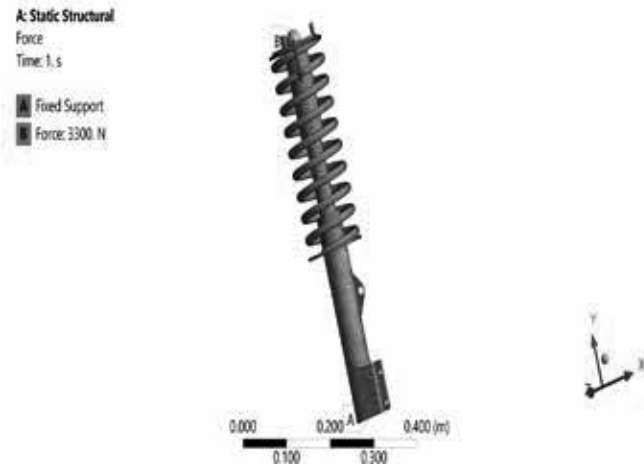
Hình 1. Mô hình toàn bộ hệ thống treo MacPherson

2.4. Điều kiện biên và tải trọng

Mô hình hình học tổng thể của hệ thống treo MacPherson được trình bày ở Hình 1. Từ mô hình này, cụm giảm chấn - lò xo được lựa chọn để thiết lập điều kiện biên và thực hiện mô phỏng phần tử hữu hạn nhằm đánh giá đặc tính tĩnh và dao động riêng. Sơ đồ điều kiện biên và tải trọng của mô hình phân tích được thể hiện trong Hình 2.

Trong nghiên cứu, hai bài toán gồm phân tích tĩnh học cấu trúc (Static Structural) và phân tích dao động riêng (Modal Analysis) được thực hiện trên cụm giảm chấn - lò xo của hệ thống treo MacPherson xe Toyota Vios. Xe được giả thiết có khối lượng 1.350 kg, trong đó tải trọng phân bố lên cầu trước chiếm 60%.

Đối với bài toán tĩnh, vị trí Upper Mount được cố định hoàn toàn để mô phỏng liên kết với thân xe. Phản lực từ mặt đường được quy đổi thành lực dọc trục 3.300 N tác dụng theo phương thẳng đứng tại chân giảm chấn và kết hợp với gia tốc trọng trường để xác định trường ứng suất và biến dạng của kết cấu.



Hình 2. Cụm giảm chấn - lò xo được tách ra để mô phỏng

2.5. Phân tích tĩnh học cấu trúc

Phân tích tĩnh được thực hiện nhằm đánh giá phân bố ứng suất và biến dạng của hệ thống treo dưới tải trọng làm việc. Ứng suất tương đương Von-Mises được xác định theo [11, 12]:

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2}{2} + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \quad (4)$$

Độ cứng tương đương của hệ thống treo được tính theo:

$$k = \frac{F}{\delta} \quad (5)$$

Trong đó: (F) là lực tác dụng và (δ) là chuyển vị theo phương tải.

2.6. Phân tích dao động riêng

Sau khi hoàn thành phân tích tĩnh, trạng thái tiền ứng suất (Pre-stress) được sử dụng làm điều kiện ban đầu cho bài toán dao động riêng nhằm xác định các tần số tự nhiên và dạng dao động của hệ thống.

Phương trình dao động tự do của hệ phần tử hữu hạn được biểu diễn như sau:

$$M\ddot{u} + Ku = 0 \quad (6)$$

Giả thiết chuyển vị có dạng điều hòa:

$$u = \phi e^{i\omega t} \quad (7)$$

Khi đó bài toán trị riêng được viết dưới dạng:

$$(K - \omega^2 M)\phi = 0 \quad (8)$$

Trong đó: (M) là ma trận khối lượng, (ϕ) là vector dạng dao động và (ω) là tần số góc tự nhiên. Tần số dao động riêng được xác định theo:

$$f_n = \frac{\omega_n}{2\pi} \quad (9)$$

Các tần số và dạng dao động thu được được sử dụng để đánh giá đặc tính động lực học của hệ thống treo và khả năng tránh hiện tượng cộng hưởng trong quá trình làm việc.

3. ĐẶC TÍNH TÍNH CỦA HỆ THỐNG TREO MACPHERSON

Phân tích tĩnh học cấu trúc được thực hiện để đánh giá khả năng chịu tải của hệ thống treo MacPherson dưới các điều kiện biên đã thiết lập. Các kết quả thu được bao gồm trường phân bố biến dạng tổng thể, ứng suất tương đương Von-Mises và biến dạng đàn hồi chính cực đại, làm cơ sở đánh giá đặc tính cơ học của kết cấu.

3.1. Phân bố biến dạng tổng thể

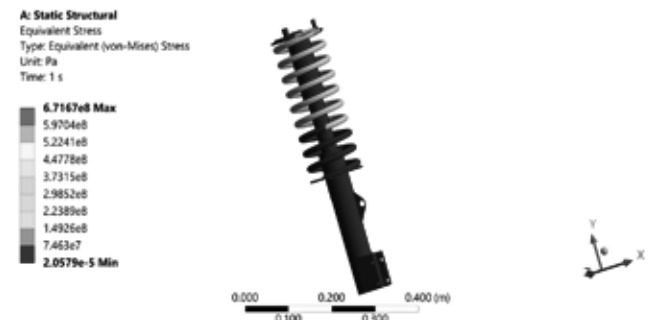
Kết quả phân tích biến dạng tổng thể (Total Deformation) tại thời điểm Time = 1 s được thể hiện trên Hình 3. Giá trị biến dạng lớn nhất đạt 0,063821 m (63,821 mm), tập trung chủ yếu tại cụm đĩa đệm (Upper Mount) và các vòng lò xo phía trên. Trong khi đó, giá trị nhỏ nhất bằng 0 m xuất hiện tại vị trí ngàm cố định ở chân cụm treo. Trường biến dạng thay đổi liên tục từ vùng cố định đến vùng chịu tải, phản ánh đặc trưng làm việc của kết cấu dưới tác dụng của lực nén 3.300 N.



Hình 3. Biến dạng tổng thể của cụm treo

3.2. Phân bố ứng suất tương đương Von-Mises

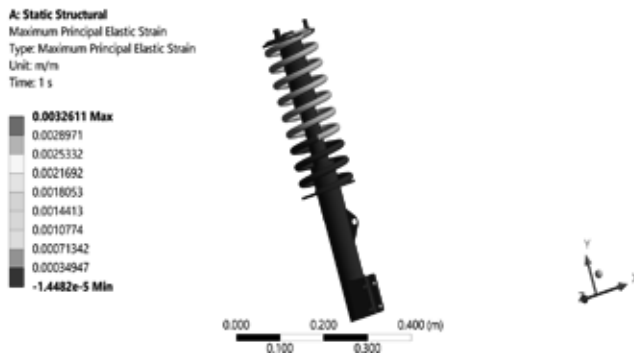
Trường phân bố ứng suất tương đương Von-Mises được sử dụng để đánh giá trạng thái ứng suất của hệ thống treo dưới tải trọng làm việc. Kết quả mô phỏng (Hình 4) cho thấy ứng suất Von-Mises lớn nhất đạt 671,67 MPa ($6,7167 \times 10^8$ Pa), tập trung cục bộ tại các vị trí liên kết và mép chịu tải của cụm đĩa đệm phía trên. Trong khi đó, ứng suất tại thân lò xo và vỏ giảm chấn phân bố tương đối đồng đều và thấp hơn so với vùng tập trung ứng suất. Kết quả này cho thấy tải trọng chủ yếu tập trung tại các vị trí liên kết chịu lực, là những khu vực cần được quan tâm trong quá trình thiết kế và đánh giá độ bền của hệ thống treo.



Hình 4. Trường phân bố ứng suất Von-Mises của cụm treo

3.3. Biến dạng đàn hồi chính cực đại

Trường biến dạng đàn hồi chính cực đại (Maximum Principal Elastic Strain) được sử dụng để đánh giá mức độ biến dạng của vật liệu dưới tải trọng tác dụng. Kết quả mô phỏng (Hình 5) cho thấy giá trị biến dạng lớn nhất đạt 0,0032611 m/m, tập trung tại vùng tiếp xúc giữa lò xo và đĩa đệm, đồng thời trùng với khu vực có ứng suất Von-Mises lớn. Ngược lại, giá trị biến dạng nhỏ nhất xuất hiện tại vùng chân cụm giảm chấn gần vị trí ngàm cố định. Sự phân bố biến dạng liên tục trên toàn bộ kết cấu phản ánh đặc trưng làm việc của hệ thống treo dưới điều kiện tải trọng đã thiết lập và phù hợp với giả thiết vật liệu đàn hồi tuyến tính của mô hình [7, 13].



Hình 5. Trường biến dạng đàn hồi chính cực đại của cụm treo

3.4. Đặc tính dao động riêng của hệ thống treo macpherson

Sau khi hoàn thành phân tích tĩnh, trạng thái tiền ứng suất (Pre-stress) được sử dụng làm điều kiện ban đầu cho bài toán phân tích dao động riêng nhằm xác định các tần số tự nhiên và dạng dao động của hệ thống treo MacPherson.

3.4.1. Phổ tần số dao động tự nhiên

Kết quả phân tích trị riêng cho thấy tần số tự nhiên tăng theo bậc dao động, phản ánh đặc tính động lực học của hệ thống. Năm tần số dao động riêng đầu tiên cùng vị trí tập trung biến dạng lớn nhất được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Các tần số dao động riêng của hệ thống treo MacPherson

Bậc dao động (Mode)	Tần số tự nhiên (Hz)	Biến dạng cực đại (m)	Vùng tập trung biến dạng lớn nhất
1	0,81344	0,095093	Đĩa đệm Upper Mount
2	0,83697	0,099230	Đĩa đệm Upper Mount
3	1,99470	0,065003	Toàn bộ bề mặt Upper Mount
4	7,73860	0,899670	Trục xi-lanh và piston giảm chấn
5	7,93100	0,899500	Trục xi-lanh và piston giảm chấn

3.4.2. Phân tích hình thái các dạng dao động (Mode Shapes)

Các dạng dao động đầu tiên phản ánh quy luật chuyển vị đặc trưng của hệ thống treo MacPherson dưới điều kiện tiền ứng suất. Ở Mode 1, với tần số tự nhiên 0,81344 Hz, chuyển vị lớn nhất đạt 0,095093 m, tập trung tại cụm đĩa đệm Upper Mount (Hình 6), trong khi thân giảm chấn và các chi tiết phía dưới có chuyển vị nhỏ hơn. Kết quả cho thấy dạng dao động đầu tiên chủ yếu xảy ra tại cụm liên kết phía trên của hệ thống treo.



Hình 6. Hình thái dạng dao động tự nhiên bậc 1 của cụm treo

Dạng dao động bậc 2: Ở tần số tự nhiên 0,83697 Hz, chuyển vị lớn nhất đạt 0,09923 m, tiếp tục tập trung tại cụm đĩa đệm Upper Mount (Hình 7). So với Mode 1, dạng dao động này có hướng chuyển vị khác nhưng vẫn chủ yếu xảy ra tại cụm liên kết phía trên của hệ thống treo



Hình 7. Hình thái dạng dao động tự nhiên bậc 2 của cụm treo

Dạng dao động bậc 3: Ở tần số tự nhiên 1,9947 Hz, chuyển vị lớn nhất đạt 0,065003 m, phân bố trên phần lớn bề mặt cụm đĩa đệm Upper Mount (Hình 8). So với hai mode đầu, vùng chuyển vị lớn có xu hướng mở rộng trên cụm liên kết phía trên, phản ánh sự thay đổi của dạng dao động khi tần số tăng.



Hình 8. Hình thái dạng dao động tự nhiên bậc 3 của cụm treo

Dạng dao động bậc 4: Ở tần số tự nhiên 7,7386 Hz, chuyển vị lớn nhất đạt 0,89967 m, tập trung chủ yếu tại trục piston của bộ giảm chấn (Hình 9), trong khi các chi tiết bên ngoài như lò xo và cụm đĩa đệm có chuyển vị nhỏ hơn. Kết quả cho thấy khi tần số tăng, vùng chuyển vị lớn dịch chuyển từ cụm liên kết phía trên sang cụm giảm chấn bên trong.



Hình 9. Hình thái dạng dao động tự nhiên bậc 4 của cụm treo

Dạng dao động bậc 5: Ở tần số tự nhiên 7,931 Hz, dạng dao động có đặc điểm tương tự Mode 4, với chuyển vị lớn nhất đạt 0,8995 m, tập trung chủ yếu tại trục piston của bộ giảm chấn (Hình 10). So với các mode bậc thấp, vùng chuyển vị lớn tiếp tục duy trì ở cụm giảm chấn bên trong, cho thấy sự thay đổi vị trí tập trung chuyển vị khi tần số dao động tăng.



Hình 10. Hình thái dạng dao động tự nhiên bậc 5 của cụm treo

3.4.3. Đánh giá đặc tính động lực học cấu trúc

Kết quả phân tích cho thấy các mode dao động bậc thấp (Mode 1-3) có chuyển vị lớn chủ yếu tại cụm Upper Mount, trong khi các mode bậc cao (Mode 4-5) tập trung tại trục piston của bộ giảm chấn. Sự thay đổi vị trí tập trung chuyển vị theo tần số phản ánh đặc điểm dao động của từng bộ phận trong hệ thống treo. Các thông số tần số tự nhiên và dạng dao động thu được là cơ sở để đánh giá đặc tính động lực học và phục vụ các nghiên cứu tối ưu hóa kết cấu trong tương lai.

3.5. Ý nghĩa kỹ thuật

Kết quả phân tích cho thấy các mode dao động bậc thấp chủ yếu ảnh hưởng đến cụm liên kết phía trên của hệ thống treo, trong khi các mode bậc cao tập trung tại cụm giảm chấn. Việc xác định các tần số tự nhiên và dạng dao động đặc trưng giúp nhận diện những vị trí có chuyển vị lớn, hỗ trợ đánh giá khả năng làm việc của kết cấu và hạn chế nguy cơ cộng hưởng khi tần số kích thích tiến gần các tần số tự nhiên. Đây cũng là cơ sở cho việc lựa chọn thông số thiết kế, cải thiện đặc tính NVH và tối ưu hóa hệ thống treo trong các nghiên cứu tiếp theo.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã xây dựng mô hình phần tử hữu hạn của hệ thống treo MacPherson trên ANSYS Mechanical và thực hiện phân tích tĩnh học kết hợp phân tích dao động riêng. Kết quả phân tích tĩnh cho thấy biến dạng tổng thể lớn nhất đạt 63,821 mm, ứng suất Von-Mises cực đại đạt 671,67 MPa, trong khi độ cứng tương đương của hệ thống treo đạt 51,71 kN/m. Phân tích dao động xác định 5 tần số tự nhiên đầu tiên trong khoảng từ 0,81344 Hz đến 7,931 Hz. Các mode dao động bậc thấp có chuyển vị lớn tại cụm Upper Mount, còn các mode bậc cao tập trung chủ yếu tại trục piston của bộ giảm chấn.

Các kết quả thu được cung cấp cơ sở dữ liệu phục vụ xây dựng mô hình động lực học, đánh giá đặc tính dao động và hỗ trợ tối ưu hóa kết cấu hệ thống treo MacPherson trong các nghiên cứu tiếp theo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Gillespie, T.D. Fundamentals of Vehicle Dynamics. SAE International, Warrendale, PA, USA, 1992.
- [2] Wong, J.Y. Theory of Ground Vehicles. 5th Edition, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA, 2021.
- [3] Reimpell, J., Stoll, H., Betzler, J. The Automotive Chassis: Engineering Principles. Butterworth-Heinemann, Oxford, UK, 2001.
- [4] Dixon, J.C. Suspension Geometry and Computation. John Wiley & Sons, Chichester, UK, 2009.
- [5] Madenci, E., Guven, I. The Finite Element Method and Applications in Engineering Using ANSYS. Springer, New York, NY, USA, 2015.

[6] ANSYS, Inc. ANSYS Mechanical User's Guide. Release 2024 R2, Canonsburg, PA, USA, 2024.

[7] Rao, S.S. Mechanical Vibrations. 6th Edition, Pearson, New York, NY, USA, 2017.

[8] Bathe, K.J. Finite Element Procedures. 2nd Edition, Klaus-Jürgen Bathe, Watertown, MA, USA, 2014.

[9] Zienkiewicz, O.C., Taylor, R.L., Zhu, J.Z. The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals. 7th Edition, Butterworth-Heinemann, Oxford, UK, 2013.

[10] Clough, R.W., Penzien, J. Dynamics of Structures, 3rd Edition. Computers and Structures, Inc., Berkeley, CA, USA, 2003.

[11] Beer, F.P., Johnston, E.R., DeWolf, J.T., Mazurek, D.F. Mechanics of Materials. 8th Edition, McGraw-Hill Education, New York, NY, USA, 2020.

[12] Shigley, J.E., Mischke, C.R., Budynas, R.G. Shigley's Mechanical Engineering Design. 11th Edition, McGraw-Hill Education, New York, NY, USA, 2020.

[13] Norton, R.L. Machine Design: An Integrated Approach. 6th Edition, Pearson, Hoboken, NJ, USA, 2020.

[14] Milliken, W.F., Milliken, D.L. Race Car Vehicle Dynamics. SAE International, Warrendale, PA, USA, 1995.

Nghiên cứu chế tạo vữa Geopolymer thân thiện môi trường từ tro bay và xỉ lò cao nghiền mịn

Study on the fabrication of eco-friendly Geopolymer mortar from fly ash and ground granulated blast-furnace slag

> THS NGUYỄN QUỐC TRÚC, TS TRẦN HỮU BẰNG*

Trường Đại học Thủ Dầu Một

*Email: bangth@tdmu.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu trình bày kết quả thực nghiệm về tính công tác và tính chất cơ lý của vữa geopolymer thân thiện môi trường trên nền tro bay (TB) Vĩnh Tân và xỉ hạt lò cao nghiền mịn (GGBFS) Hòa Phát. Chất hoạt hóa sử dụng là sodium metasilicate pentahydrate dạng bột khô với hàm lượng cố định 15% theo khối lượng chất kết dính. Năm cấp phối vữa với tỷ lệ TB/GGBFS thay đổi từ 25/75 đến 75/25 được chế tạo ở nhiệt độ phòng và so sánh trực tiếp với vữa xi măng đối chứng PCB40. Kết quả cho thấy vữa geopolymer có độ chảy xê vượt trội (185 - 245 mm) so với PCB40 (142 mm). Ở tuổi sớm (3 và 7 ngày), các cấp phối giàu xỉ (25/75 và 35/65) phát triển cường độ nhanh, đạt cường độ nén 7 ngày từ 36,29 đến 36,78 MPa (vượt PCB40 từ 16,3% đến 17,9%) và cường độ uốn 28 ngày đạt cực đại (7,68 - 7,85 MPa). Tuy nhiên, khi hàm lượng TB vượt quá 50%, cường độ chịu lực sụt giảm mạnh do tốc độ phản ứng của TB chậm ở nhiệt độ phòng. Vùng tỷ lệ TB/GGBFS từ 25/75 đến 35/65 được xác định là giải pháp công nghệ tối ưu cho hệ vật liệu này.

Từ khóa: Geopolymer; tro bay Vĩnh Tân; xỉ lò cao Hòa Phát; cường độ chịu nén; vật liệu xanh.

ABSTRACT

This study presents experimental results on the workability and mechanical properties of eco-friendly geopolymer mortar based on Vinh Tan fly ash (FA) and Hoa Phat ground granulated blast-furnace slag (GGBFS). Dry powder sodium metasilicate pentahydrate was used as the alkaline activator with a fixed content of 15% by weight of the binder. Five mortar mixtures with FA/GGBFS ratios varying from 25/75 to 75/25 were fabricated at room temperature and directly compared with a control PCB40 cement mortar. The results indicated that the geopolymer mortars exhibited superior flowability, with flow diameters ranging from 185 to 245 mm compared to 142 mm for the PCB40 control. At early ages (3 and 7 days), the slag-rich mixtures (25/75 and 35/65) developed strength rapidly, achieving 7-day compressive strengths of 36.29 - 36.78 MPa (outperforming PCB40 by 16.3% to 17.9%), while their 28-day flexural strengths reached peak values of 7.68 - 7.85 MPa. However, when the FA content exceeded 50%, the mechanical strength significantly degraded due to the slow reaction rate of FA at ambient temperature. The FA/GGBFS ratio range of 25/75 to 35/65 was determined as the optimal technological solution for this material system.

Keywords: Geopolymer; Vinh Tan fly ash; Hoa Phat GGBFS; compressive strength; green materials.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngành công nghiệp xây dựng toàn cầu hiện đang đối mặt với những áp lực cấp bách trong việc thực hiện lộ trình dịch chuyển carbon thấp nhằm đạt mục tiêu "Net Zero" vào năm 2050. Trong đó, quá trình sản xuất xi măng Poóc-lăng truyền thống (OPC) - chất kết dính chủ đạo trong bê tông - được xác định là nguồn phát thải khí nhà kính lớn, chiếm khoảng 7% tổng lượng CO₂ toàn cầu. Theo báo cáo tiến độ mới nhất của Hiệp hội Xi măng và Bê tông Toàn cầu (GCCA), hai phần ba (2/3) lượng CO₂ giải phóng từ quá trình này bắt nguồn từ phản ứng phân hủy nhiệt của đá vôi (quá trình nung vôi - calcination), khiến việc cắt giảm phát thải bằng các phương pháp tối ưu hóa năng lượng thông thường đạt tới giới hạn. Mặc dù các

giải pháp như thu hồi và lưu trữ carbon (CCUS) đang bước đầu được triển khai ở quy mô công nghiệp tại một số quốc gia phát triển từ năm 2025, chi phí đầu tư và hạ tầng kỹ thuật của công nghệ này vẫn là rào cản lớn đối với các nền kinh tế đang phát triển [1].

Mặc dù vậy, khối lượng khai thác liên tục ở quy mô lớn này vẫn đang thúc đẩy sự cạn kiệt nhanh chóng các nguồn tài nguyên khoáng sản thô không tái tạo, đặt ra bài toán cấp bách về việc giảm tỷ lệ clinker trong chất kết dính. Trước thực trạng đó, vật liệu geopolymer (hay chất kết dính kiềm hoạt hóa) nổi lên như một giải pháp công nghệ cốt lõi định hướng phát triển bền vững. Khác với hệ nền bê tông truyền thống, geopolymer loại bỏ hoàn toàn sự phụ thuộc vào xi măng Poóc-lăng. Thay vào đó, cường độ liên kết được

kiến tạo thông qua phản ứng hóa học giữa các tiền chất giàu aluminosilicate và dung dịch kích hoạt kiềm mạnh. Cơ chế của quá trình geopolymer hóa (geopolymerization) diễn ra theo chuỗi chuyển hóa từ sự hòa tan cấu trúc vô định hình của oxit silic (SiO_2) và nhôm (Al_2O_3), tiếp nối bằng sự khuếch tán oligomer và kết thúc bằng pha trùng ngưng tạo dựng cấu trúc mạng lưới không gian ba chiều bền vững [2, 3].

Việc tái sử dụng các phụ phẩm công nghiệp như TB và xỉ lò cao nghiền mịn (GGBFS) không chỉ tối ưu hóa chi phí xử lý chất thải mà còn mang lại cho vật liệu mới những đặc tính cơ lý vượt trội. TB, nhờ cấu trúc hình học dạng hạt cầu mịn, đóng vai trò gia tăng độ linh động và tính công tác của hỗn hợp tươi. Tuy nhiên, hệ geopolymer nền 100% TB thường bộc lộ hạn chế về tốc độ đóng rắn chậm và sự chậm phát triển cường độ trong điều kiện bảo dưỡng ở nhiệt độ phòng. Ngược lại, xỉ lò cao sở hữu hàm lượng oxit canxi (CaO) cao, tạo khả năng phản ứng thủy lực nội tại mạnh mẽ, giúp rút ngắn thời gian ninh kết và thúc đẩy sự phát triển cường độ sớm tại nhiệt độ thường. Sự kết hợp tương hỗ giữa TB và GGBFS dẫn đến sự hình thành đồng thời của hệ gel phức hợp C - (A) - S - H và N - A - S - H [3]. Sự tương tác này giúp hoàn thiện cấu trúc vi mô, giảm độ rỗng xốp và tăng cường đáng kể độ bền nén của vật liệu. Các kết quả thực nghiệm gần đây chỉ ra rằng bê tông geopolymer sử dụng hệ nền phối trộn TB + GGBFS có thể đạt cường độ nén cao, dao động từ 50 MPa đến trên 90 MPa [1], đồng thời thể hiện khả năng kháng xâm thực và chống thấm vượt trội so với bê tông sử dụng xi măng truyền thống.

Tại Việt Nam, dù nguồn tro xỉ từ các nhà máy nhiệt điện và luyện kim nội địa vô cùng dồi dào, việc nghiên cứu và ứng dụng geopolymer cường độ cao vẫn đang ở giai đoạn sơ khởi. Tiến trình triển khai thực tế hiện đang đối mặt với nhiều rào cản kỹ thuật lớn do thiếu hệ thống tiêu chuẩn thiết kế cấp phối chính thức cũng như sự khan hiếm dữ liệu thực nghiệm về độ bền lâu dài (durability). Bên cạnh đó, vai trò của các tác nhân tinh chỉnh cấu trúc như silica fume hay phụ gia siêu dẻo thế hệ mới cũng vô cùng quan trọng nhằm kiểm soát tính công tác và kiến trúc lỗ rỗng của hệ chất kết dính kiềm hoạt hóa này [1, 4].

Xuất phát từ khoảng trống nghiên cứu đó, bài báo khảo sát định lượng ảnh hưởng của chất kích hoạt Natri metasilicate (Na_2SiO_3) và tỷ lệ phối trộn TB/GGBFS đến các đặc tính công tác và cơ lý của hệ chất kết dính geopolymer trong sự đối sánh với xi măng PBC40. Nghiên cứu tập trung tối ưu hóa cấp phối nhằm đạt cường độ cao dưới điều kiện bảo dưỡng thủy hóa tự nhiên, cung cấp cơ sở dữ liệu thực nghiệm tin cậy cho lộ trình thương mại hóa vật liệu xanh tại Việt Nam.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu thí nghiệm

2.1.1. Xi măng (PCB40)

Đến từ thương hiệu Fico và được sản xuất nội địa, dòng xi măng Poóc-lăng hỗn hợp này hoàn toàn đáp ứng tiêu chuẩn TCVN 6260:2020, đồng thời sở hữu các chứng nhận quản lý quốc tế bao gồm ISO 9001:2015 và ISO 14001:2015. Việc đạt dấu chứng nhận CE (CE Marking) cũng mở đường cho sản phẩm xuất khẩu sang thị trường châu Âu, minh chứng cho sự đáp ứng khắt khe các quy định về chất lượng và an toàn của EU. Được gọi là dòng vật liệu thân thiện với môi trường (Eco cement), PCB40 Fico hỗ trợ cắt giảm phát thải và thúc đẩy xu hướng kiến trúc xanh bền vững hiện nay. Về đặc tính vật lý, loại xi măng này có khối lượng riêng đạt 3,15 g/cm³.

2.1.2. Tro bay

Được triển khai thí nghiệm tại Phân viện Vật liệu Xây dựng Miền Nam dưới mã số 2671/SVIBM/PTH (cấp ngày 07/02/2025). Nguồn TB

(TB) sử dụng trong nghiên cứu được thu thập từ Nhà máy Nhiệt điện Vĩnh Tân 1. Loại phụ gia này có thành phần hóa học tương tự như TB Vũng Áng, nổi bật với tổng hàm lượng $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ đạt tới 87,48%, vượt trội so với nhiều nguồn cung khác. Mặt khác, các chỉ số SO_3 (0,26%), CaO (1,5%) và mất khi nung - MKN (2,36%) đều duy trì ở mức thấp, giúp hạn chế rủi ro ăn mòn và tối ưu hóa cường độ cơ học của vật liệu. Theo tiêu chuẩn TCVN 10302:2014, đây là TB loại F đủ điều kiện phối trộn trực tiếp vào vữa và bê tông mà không cần qua công đoạn xử lý sơ bộ. Đặc tính ưu việt này mở ra triển vọng ứng dụng lớn trong chế tạo vữa xi măng thân thiện môi trường.

2.1.3. Xỉ lò cao nghiền mịn (GGBFS)

Nghiên cứu này sử dụng xỉ hạt lò cao nghiền mịn dòng S95 do Công ty Cổ phần Thép Hòa Phát cung cấp. Đây là nguồn phế thải công nghiệp từ quá trình luyện kim, được nghiền mịn đạt độ mịn cao với diện tích bề mặt riêng (Blaine) đạt giá trị lớn hơn 5.000 cm²/g và khối lượng riêng đạt 2,8 g/cm³. Sản phẩm hoàn toàn đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật theo tiêu chuẩn TCVN 11586:2016 đối với phụ gia khoáng hoạt tính cho bê tông và vữa. Với hàm lượng oxit canxi (CaO) và dioxit silic (SiO_2) tối ưu, GGBFS Hòa Phát đóng vai trò là nguồn cung cấp hạt mịn giàu hoạt tính, kích thích phản ứng thủy hóa tạo gel C-A-S-H đặc chắc, từ đó cải thiện đáng kể cấu trúc vi mô và cường độ tuổi sớm cho hệ chất kết dính geopolymer.

2.1.4. Chất hoạt hóa (CHH)

Các thông số lý - hóa định danh của chất hoạt hóa Sodium Metasilicate Pentahydrate ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) sử dụng trong nghiên cứu được tổng hợp tại Bảng 1. Kết quả phân tích cho thấy các chỉ tiêu kỹ thuật hoàn toàn đáp ứng yêu cầu đối với hóa chất công nghiệp loại I theo tiêu chuẩn tham chiếu HG/T 2568 (theo nhà cung cấp). Trong đó, độ tinh khiết của hợp chất đạt tới 99,93% (vượt mức quy định $\geq 99,50\%$) và hàm lượng tạp chất sắt (Fe) duy trì ở mức thấp (39 ppm), đảm bảo tính ổn định và không gây ảnh hưởng tiêu cực đến quá trình hình thành cấu trúc geopolymer.

Bảng 1. Thông số của CHH Sodium Metasilicate Pentahydrate

Thông số	Yêu cầu kỹ thuật	Kết quả thử nghiệm
Ngoại quan	—	Dạng hạt màu trắng
$\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, %	$\geq 99,50$	99,93
Hàm lượng Fe, ppm	≤ 60	39
Khối lượng thể tích xốp, g/cm ³	0,85 - 0,95	0,87
Kích thước hạt, % 1.400 - 425 μm (14 - 40 mesh)	$\geq 90,00$	99,16
Độ trắng	$\geq 90,00$	95

2.1.5. Cát

Để chế tạo các mẫu vữa geopolymer, nghiên cứu đã lựa chọn nguồn cát tiêu chuẩn từ Phân viện Vật liệu Xây dựng Miền Nam, đáp ứng các chỉ tiêu kỹ thuật quy định trong TCVN 6227:1996 và bảo đảm tính đồng nhất cho các thí nghiệm cơ lý.

2.1.6. Nước

Để đảm bảo tính đồng nhất cho hỗn hợp vữa geopolymer, nghiên cứu sử dụng nước cấp sinh hoạt từ Nhà máy nước Thủ Dầu Một, TP.HCM. Các đặc tính lý - hóa của nguồn nước này đáp ứng nghiêm ngặt yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 4506:2012 và bảo đảm không chứa các tạp chất ảnh hưởng đến quá trình đông kết của vật liệu.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Thành phần cấp phối vữa geopolymer

Vữa geopolymer được thiết kế dựa trên quy định xác định cường độ xi măng trong TCVN 6016:2011. Cụ thể, tổng khối lượng CKD geopolymer sử dụng là 450g, tuân thủ nghiêm ngặt tỷ lệ trộn CKD/Cát tiêu chuẩn = 1/3 và N/CKD = 1/2. Chi tiết về các thành phần

phối trộn của cả vữa geopolimer và vữa xi măng đối chứng được tổng hợp cụ thể trong Bảng 2.

Bảng 2. Thành phần cấp phối vữa Geopolymer và vữa PCB40

Cấp phối vữa	CHH (g)	TB (g)	GGBFS (g)	PCB40 (g)	Cát (g)	Nước (g)
25TB/75GGBFS	67,5	95,63	286,87	0	1.350	225
35TB/65GGBFS	67,5	133,88	248,62	0	1.350	225
50TB/50GGBFS	67,5	191,25	191,25	0	1.350	225
65TB/35GGBFS	67,5	248,62	133,88	0	1.350	225
75TB/25GGBFS	67,5	286,87	95,63	0	1.350	225
PCB40	0	0	0	450	1.350	225

2.2.2. Phương pháp nghiên cứu

Để đánh giá cơ lý tính (độ chảy xòe, cường độ uốn và nén) theo TCVN 6016:2011 tại các mốc 3, 7, 28 ngày, quy trình chế tạo mẫu vữa được thực hiện nghiêm ngặt qua hai giai đoạn trộn và đúc. Giai đoạn trộn bắt đầu bằng việc hòa tan hoàn toàn CKH hạt vào nước ở tốc độ thấp. Sau đó, các thành phần rắn gồm TB và GGBFS được đưa vào cối trộn trong 30 giây (tốc độ thấp), tiếp tục thêm cát tiêu chuẩn ở 30 giây tiếp theo, rồi chuyển sang tốc độ cao trong 30 giây. Hỗn hợp có 90 giây nghỉ (vết thành cối ở 30 giây đầu) và kết thúc bằng việc đảo đều 60 giây ở tốc độ cao.

Vữa đạt độ đồng nhất sẽ được tạo hình trong khuôn đầm tiêu chuẩn. Công tác đầm chặt được thực hiện qua hai lớp bằng máy đầm tự động với 60 lần đầm mỗi lớp (Hình 1). Sau khi làm phẳng bề mặt và ghi nhãn, các mẫu thử được dưỡng hộ tự nhiên trong 48 giờ. Do đặc tính đông kết chậm của geopolimer ở giai đoạn đầu (cần 48 giờ để tháo khuôn) và sự thiếu hụt tiêu chuẩn riêng biệt cho loại chất kết dính này, hệ mẫu đối chứng xi măng PCB40 cũng được áp dụng quy trình đúc và bảo dưỡng nước tương tự để phục vụ công tác đối sánh dữ liệu.



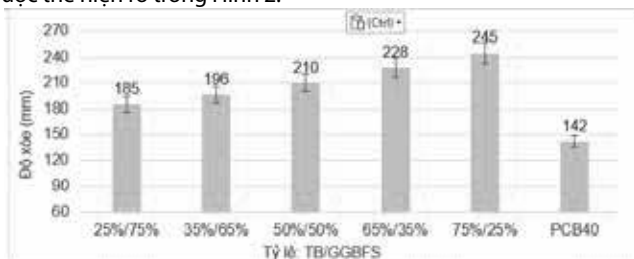
Hình 1. Máy trộn vữa và khuôn đúc mẫu vữa geopolimer



3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Độ xòe của hỗn hợp vữa geopolimer

Độ chảy xòe đo bằng bàn dãn theo TCVN 3121-3:2003 được sử dụng làm chỉ số đánh giá tính công tác của vữa geopolimer. Hỗn hợp thử nghiệm được thiết lập với hàm lượng nước và chất kết dính lần lượt là 225 ml và 450 g (tỷ lệ Nước/CKD = 0,5), kết hợp cùng 1.350 g cát tiêu chuẩn (tỷ lệ CKD/Cát = 1/3). Dữ liệu thực nghiệm về độ xòe của dòng vữa geopolimer này so với mẫu xi măng PCB40 đối chứng được thể hiện rõ trong Hình 2.



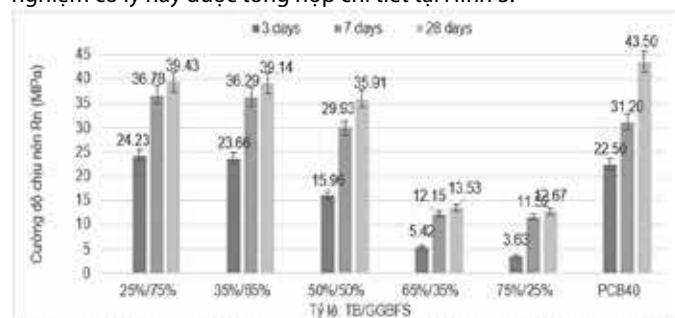
Hình 2. Độ xòe của hỗn hợp vữa geopolimer và PCB40

Số liệu tại Hình 2 cho thấy tất cả các cấp phối vữa geopolimer đều sở hữu độ chảy xòe vượt trội (185 mm - 245 mm) so với mẫu đối chứng xi măng PCB40 (142 mm) ở cùng tỷ số N/CKD = 0,5. Sự gia tăng mạnh mẽ này do Sodium Metasilicate Pentahydrate khi thủy phân giải phóng lượng lớn ion kiềm và silicat hòa tan, đóng vai trò như chất siêu hóa dẻo tự nhiên làm giảm đáng kể sức căng bề mặt pha lỏng và bôi trơn hệ thống hạt hiệu quả hơn clinker xi măng.

Khi hàm lượng TB tăng từ 25% (25TB/75GGBFS) lên 75% (75TB/25GGBFS), độ xòe tăng tuyến tính từ 185 mm chạm mức 245 mm (hướng tới đặc tính tự chảy). Diễn biến này do cấu trúc hạt hình cầu nhẵn của TB tạo "hiệu ứng bi lăn" làm giảm ma sát nội tối đa. Ngược lại, việc tăng tỷ lệ xi hạt lò cao (65% và 75%) khiến độ xòe giảm nhẹ do hạt xi Hòa Phát góc cạnh, nhám và hấp phụ nước cao hơn. Dù vậy, các cấp phối giàu xi vẫn duy trì độ dẻo cao, liên kết tốt và không bị tách nước, rất thuận lợi cho công tác bơm hoặc rót khuôn.

3.2. Cường độ nén của vữa geopolimer

Cường độ chịu nén của vữa đã đóng rắn được xác định tuân thủ tiêu chuẩn TCVN 3121-11:2022. Sau khi kết thúc thử nghiệm uốn, hai nửa mẫu dầm bị phá hoại tiếp tục được tận dụng để đo cường độ nén thông qua hệ thống đồ gá chuyên dụng. Kết quả thực nghiệm cơ lý này được tổng hợp chi tiết tại Hình 3.



Hình 3. Cường độ nén vữa geopolimer và PCB40

* **Nhận xét:** Số liệu từ biểu đồ cho thấy tỷ lệ tổ hợp TB/GGBFS quyết định trực tiếp đến tiến trình phát triển cường độ chịu nén (R_n) của vữa:

- Vượt trội ở tuổi sớm (3 và 7 ngày tuổi): Các cấp phối giàu xi (25%/75% và 35%/65%) có tốc độ đóng rắn rất nhanh. Ở 7 ngày tuổi, mẫu 25%/75% đạt 36,78 MPa và mẫu 35%/65% đạt 36,29 MPa, cao hơn đối chứng PCB40 (31,20 MPa) từ 16,3% đến 17,9%. Sự tăng trưởng sớm này do hàm lượng CaO dồi dào trong xi tạo ra hệ gel C-A-S-H đan xen mạng lưới geopolimer, giúp vi cấu trúc đặc chắc nhanh ngay ở nhiệt độ phòng thí nghiệm.

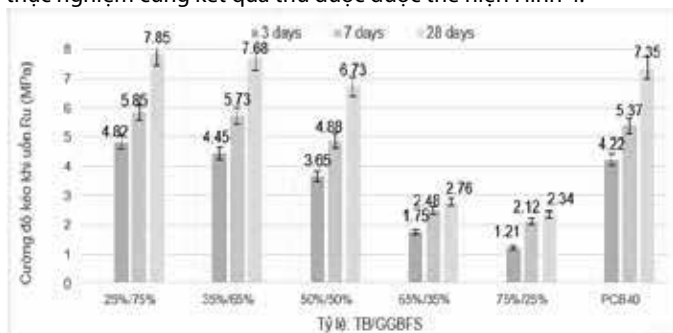
- Chững lại ở tuổi muộn (28 ngày): Ở mốc 28 ngày tuổi, mẫu PCB40 đạt cường độ cao nhất (43,50 MPa), cao hơn hai mẫu giàu xi trên (khoảng 39,43 MPa) khoảng 10,30%. Điều này cho thấy hệ xi măng truyền thống có đà phát triển cường độ muộn bền bỉ hơn do tiến trình thủy hóa chậm của clinker.

- Sụt giảm mạnh khi tăng TB: Khi lượng TB vượt quá 50% (cấp phối 65/35 và 75/25), cường độ chịu nén sụt giảm nghiêm trọng. Ở tuổi 28 ngày, mẫu 75%/25% chỉ đạt 12,67 MPa, giảm đến 67,9% so với mẫu 25%/75%. Nguyên nhân do các liên kết trong hạt TB Vĩnh Tân rất bền, phản ứng chậm ở nhiệt độ phòng. Khi cắt giảm lượng xi, hệ thống bị thiếu hụt Ca^{2+} và nguồn sinh nhiệt, khiến lượng gel liên kết hình thành nghèo nàn, làm cấu trúc vữa bị xốp và giảm khả năng chịu lực.

- Tỷ lệ tổ hợp vùng 25%/75% đến 35%/65% là lựa chọn tối ưu nhất cho hệ vữa này, vừa đảm bảo tính công tác tốt vừa cho cường độ sớm vượt trội xi măng PCB40 đối chứng.

3.3. Cường độ chịu kéo khi uốn của vữa geopolimer

Cường độ chịu uốn của vữa được xác định tuân thủ tiêu chuẩn TCVN 3121-11:2022. Các tổ mẫu đầm kích thước (40x40x160)mm sau khi bảo dưỡng đến các ngày tuổi 3, 7 và 28 sẽ được đưa vào máy thử nghiệm nhằm đánh giá khả năng chịu lực. Quy trình triển khai thực nghiệm cùng kết quả thu được được thể hiện Hình 4.



Hình 4. Cường độ chịu kéo khi uốn vữa geopolimer và PCB40

* **Nhận xét:** Biểu đồ ở Hình 4 cho thấy tỷ lệ TB/GGBFS ảnh hưởng rõ rệt đến cường độ chịu uốn (R_u) của vữa ở các ngày tuổi:

- Các cấp phối giàu xỉ (25%/75% và 35%/65%): Cho khả năng chịu uốn vượt trội so với mẫu đối chứng PCB40 ở mọi mốc kiểm tra. Tại mốc 28 ngày, mẫu 25%/75% đạt giá trị cực đại là 7,85 MPa (cao hơn PCB40 khoảng 6,8%). Sự gia tăng này do lượng CaO dồi dào từ xỉ thúc đẩy hình thành đồng thời hệ gel liên hợp C-A-S-H và N-A-S-H, giúp nâng cao độ đặc chắc và lực liên kết dính bám với cát tiêu chuẩn.

- Các cấp phối giàu TB (hàm lượng TB > 50%): Cường độ chịu uốn sụt giảm nghiêm trọng. Ở mốc 28 ngày, khi tăng TB từ 50% lên 65%, cường độ uốn giảm đột ngột đến 59% (từ 6,73 MPa xuống 2,76 MPa); mẫu 75%/25% đạt mức thấp nhất là 2,34 MPa. Nguyên nhân do TB Vĩnh Tân phản ứng kém ở nhiệt độ phòng thí nghiệm. Khi lượng xỉ giảm sâu, hệ thống bị thiếu hụt canxi và nguồn sinh nhiệt, khiến TB tồn tại như cốt liệu trơ xốp, tạo ra nhiều vết nứt vi mô và làm giảm khả năng truyền ứng suất kéo của ma trận vữa.

- Vùng tỷ lệ từ 25%/75% đến 35%/65% là giải pháp công nghệ tối ưu, giúp vữa geopolimer đạt độ dai cơ học và khả năng chống nứt vượt trội hơn hẳn xi măng thương mại PCB40.

4. KẾT LUẬN

Từ các kết quả nghiên cứu thực nghiệm, một số kết luận chính được rút ra như sau:

- Về tính công tác: Vữa geopolimer đạt độ linh động cao với độ chảy xòe dao động từ 185 mm đến 245 mm, vượt trội so với vữa xi măng PCB40 (142 mm). Độ xòe tăng tuyến tính theo hàm lượng TB nhờ hình thái hạt hình cầu nhẵn tạo hiệu ứng bôi trơn hệ thống.

- Về tính chất cơ lý: Tỷ lệ tổ hợp TB/GGBFS quyết định tiến trình phát triển cường độ của vữa. Nhóm cấp phối giàu xỉ (25/75 và 35/65) thể hiện ưu thế vượt trội ở tuổi sớm nhờ lượng CaO dồi dào tạo hệ gel đặc chắc C-A-S-H đan xen mạng geopolimer. Tại mốc 7 ngày, cường độ nén nhóm này vượt PCB40 từ 16,3% đến 17,9%; cường độ uốn ở 28 ngày đạt giá trị cực đại (7,68 - 7,85 MPa), cao hơn mẫu đối chứng từ 4,5% đến 6,8%.

- Về ảnh hưởng của TB: Khi hàm lượng TB vượt quá 50%, chất lượng vữa bị suy giảm nghiêm trọng ở điều kiện dưỡng hộ tự nhiên. Cụ thể ở mốc 28 ngày, mẫu 75/25 chỉ đạt cường độ nén 12,67 MPa và cường độ uốn 2,34 MPa do TB phản ứng kém ở nhiệt độ phòng, khiến ma trận cấu trúc bị xốp rỗng.

- Khuyến nghị ứng dụng: Vùng tỷ lệ phối trộn TB/GGBFS từ 25/75 đến 35/65 là giải pháp công nghệ tối ưu, dung hòa tốt giữa tính công tác và khả năng chịu lực, đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật để ứng dụng làm vật liệu xanh thay thế xi măng truyền thống.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] T.-H. Le, T.-C. Dang and T.-T. T. Nguyen. High-performance geopolimer concrete: a review of recent developments. *Journal of Science and Transport Technology*, vol. 6, no. 1, pp. 243-281, 2026. Internet: <https://www.jstt.vn/index.php/en/article/view/445>.
- [2] T. Wang, X. Fan and C. Gao. Development of high-strength geopolimer mortar based on fly ash-slag: Correlational analysis of microstructural and mechanical properties and environmental assessment. *Construction and Building Materials*, vol. 441, no. 30, pp. 137515, 2024, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.137515>.
- [3] M. Dong, M. Elchalakani and A. Karrech. Development of high strength one-part geopolimer mortar using sodium metasilicate. *Construction and Building Materials*, vol. 236, no. 10, p. 117611, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117611>.
- [4] L. Hà, Đ. Chi và N. Thủy. Nghiên cứu ảnh hưởng của phụ gia siêu dẻo đến tính chất của vữa Geopolyme sử dụng tro bay và xỉ lò cao. *Tạp chí Vật liệu và Xây dựng*, Bộ Xây dựng, tập 15, số 02, tr. 89-95, 2025. Internet: <https://ojs.jomc.vn/index.php/vn/article/view/837/634>.

Ảnh hưởng của cát nghiền từ đá vôi đến tổn thất độ sụt và cường độ chịu nén của bê tông xi măng chịu lực

Influence of crushed limestone sand on slump loss and compressive strength of cement concrete

> ĐỖ TRỌNG THÀNH^{1,2}, TỐNG TÔN KIÊN^{2,*}, LÊ VIỆT DŨNG²

¹Văn phòng UBND thành phố Hải Phòng, Hải Phòng

²Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (HUCE)

*Email: kientt@huce.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu này đánh giá ảnh hưởng của cát nghiền (CN) từ đá vôi khi thay thế một phần và toàn bộ cát tự nhiên (CTN) đến tổn thất độ sụt theo thời gian và sự phát triển cường độ nén của bê tông. Hai cấp bền B20 và B30, đại diện cho các cấp phối có hàm lượng xi măng thấp và cao, được thiết kế với các tỷ lệ CN thay thế CTN là 0%, 50% và 100%. Tổn thất độ sụt được xác định tại các thời điểm 0, 30, 60, 90 và 120 phút sau khi trộn. Cường độ nén được thí nghiệm trên mẫu lập phương (150×150×150 mm) và mẫu lăng trụ (150×150×600 mm) ở tuổi 7, 14 và 28 ngày, đồng thời trên mẫu trụ (D×H=150×300 mm) ở tuổi 28 ngày. Kết quả cho thấy việc tăng hàm lượng CN làm gia tăng đáng kể tốc độ tổn thất độ sụt, đặc biệt đối với bê tông có hàm lượng xi măng thấp (B20), do đặc trưng hình dạng góc cạnh và diện tích bề mặt riêng lớn của hạt CN. Ngược lại, bê tông có hàm lượng xi măng cao (B30) thể hiện khả năng duy trì tính công tác tốt hơn. Việc sử dụng CN góp phần nâng cao cường độ nén, đặc biệt ở tuổi dài ngày, với hiệu quả rõ rệt hơn ở bê tông cấp bền cao, nhờ hiệu ứng lấp đầy và cải thiện cấu trúc lèn chặt của vật liệu. Đồng thời, tốc độ phát triển cường độ của bê tông sử dụng CN cũng được cải thiện. Trên cơ sở kết quả thực nghiệm, nghiên cứu đề xuất các hệ số chuyển đổi cường độ nén giữa mẫu lập phương, mẫu lăng trụ và mẫu trụ đối với bê tông sử dụng các tỷ lệ CN khác nhau. Các hệ số này phụ thuộc theo hàm lượng CN, phản ánh ảnh hưởng của đặc tính cốt liệu đến phân bố ứng suất và hiệu ứng hình dạng mẫu thử. Kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học cho việc hiểu rõ ứng xử của tính công tác theo thời gian và tính chất cơ học của bê tông sử dụng CN từ đá vôi, góp phần định hướng thiết kế cấp phối bê tông bền vững và hiệu chỉnh các hệ số chuyển đổi cường độ trong thực tiễn.

Từ khóa: Bột đá vôi; cát nhân tạo; tổn thất độ sụt; cường độ nén; hệ số chuyển đổi cường độ; bê tông bền vững.

ABSTRACT

This study investigates the effects of limestone crushed sand (CS) as a partial and total replacement of natural sand (NS) on slump loss and compressive strength development of concrete. Two strength grades, B20 and B30, representing low and high cement content mixtures, were designed with 0%, 50%, and 100% CS replacement ratios. Slump loss was evaluated at 0, 30, 60, 90, and 120 minutes after mixing. Compressive strength was measured on cube specimens (150×150×150 mm) and prism specimens (150×150×600 mm) at 7, 14, and 28 days, as well as cylinder specimens (D×H=150×300 mm) at 28 days. The results indicate that increasing the CS content significantly accelerates slump loss, particularly in low-cement-content concrete (B20), due to the higher surface area and angularity of crushed particles. In contrast, mixtures with higher cement content (B30) exhibit improved workability retention. The incorporation of CS enhances compressive strength, especially at later ages, with more pronounced effects observed in high-strength mixtures, attributed to the filler effect and improved particle packing. Additionally, the rate of strength development is accelerated in concretes containing crushed sand. Based on the experimental results, conversion factors between cube, prism, and cylinder compressive strengths are proposed for

concretes with different crushed sand contents. These factors depend on the replacement ratio, highlighting the influence of aggregate characteristics on stress distribution and specimen geometry effects. The findings provide a comprehensive understanding of the time-dependent workability and mechanical performance of concrete incorporating limestone CS, contributing to the optimization of sustainable concrete mixtures and the refinement of strength conversion coefficients for practical applications.

Keywords: Limestone fines; manufactured sand; slump loss; compressive strength; strength conversion factors; sustainable concrete.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong những năm gần đây, nhu cầu sử dụng cát làm vật liệu xây dựng tại Việt Nam gia tăng nhanh chóng cùng với tốc độ đô thị hóa và phát triển hạ tầng. Theo báo cáo của Bộ Xây dựng [1], tổng nhu cầu cát xây dựng tại Việt Nam ước tính dao động khoảng 120 - 130 triệu m³/năm, trong khi tổng trữ lượng cát sông có thể khai thác hợp pháp chỉ đáp ứng khoảng 60 - 70% nhu cầu thực tế. Sự mất cân đối cung - cầu này đã dẫn đến tình trạng khan hiếm cát quá mức, nguồn cung bị gián đoạn, giá cả vật liệu này tăng cao đã đẩy nhanh chi phí xây dựng và ảnh hưởng đến tiến độ công trình. Việc khai thác CTN với quy mô lớn cũng đã gây ra nhiều hệ lụy nghiêm trọng như suy giảm tài nguyên, sạt lở bờ sông và tác động tiêu cực đến hệ sinh thái. Hơn nữa, các quy định về quản lý, khai thác tài nguyên ngày càng chặt chẽ khiến nguồn cung CTN tiếp tục bị hạn chế. Trong bối cảnh đó, việc nghiên cứu và sử dụng các vật liệu thay thế, đặc biệt là CN từ đá vôi, được xem là giải pháp cấp thiết nhằm đảm bảo nguồn cung ổn định và hướng tới phát triển vật liệu xây dựng bền vững [2, 3].

CN có đặc tính rất khác so với CTN do đó ảnh hưởng lớn đến các tính chất của hỗn hợp vữa và bê tông khi sử dụng loại vật liệu này. Khác với CTN có dạng hạt hình tròn và bề mặt trơn nhẵn, CN có đặc điểm hình học hạt góc cạnh, bề mặt nhám ráp, diện tích bề mặt riêng lớn và chứa nhiều hạt mịn, dẫn đến làm thay đổi đáng kể về tính công tác và tính chất cơ học của bê tông [4]. Một trong những vấn đề kỹ thuật quan trọng nhưng chưa được làm rõ đầy đủ là sự tổn thất độ sụt theo thời gian và mối quan hệ giữa hàm lượng CN với sự phát triển cường độ của bê tông. Do đó, việc thay thế này không chỉ đơn thuần là bài toán đảm bảo nguồn vật liệu mà còn đặt ra các thách thức kỹ thuật cần tiếp tục nghiên cứu phân tích chuyên sâu liên quan đến tính công tác, tính ổn định theo thời gian và tính chất cơ học của bê tông, đặc biệt trong điều kiện thi công thực tế tại Việt Nam.

Trên thế giới, nhiều nghiên cứu đã được thực hiện nhằm đánh giá ảnh hưởng của CN và cốt liệu đá vôi đến tính chất của bê tông. Menadi và cộng sự [5] chỉ ra rằng việc sử dụng CN từ đá vôi có thể cải thiện cường độ và độ bền lâu của bê tông nhờ hiệu ứng lấp đầy và tăng độ đặc chắc của cấu trúc vi mô. Donza và cộng sự [6] cũng ghi nhận rằng CN làm tăng cường độ nén do cải thiện cấu trúc hạt và tăng khả năng liên kết giữa hồ xi măng và bề mặt hạt cốt liệu. Xin Xin Ding và cộng sự [7] đã chứng minh rằng bê tông sử dụng cát nhân tạo có khả năng phát triển cường độ tuổi dài ngày tốt hơn so với bê tông sử dụng CTN, đặc biệt khi tối ưu cấp phối hạt. Bên cạnh đó, các nghiên cứu tổng quan gần đây như Ziyang Li và cộng sự [4] đã khẳng định tiềm năng của cốt liệu mịn (từ đá granite, đá vôi) trong việc nâng cao tính chất cơ học và giảm phát thải carbon trong bê tông. Nghiên cứu cũng chỉ ra rằng CN làm giảm tính công tác của hỗn hợp bê tông do đặc điểm hình học góc cạnh và diện tích bề mặt lớn, dẫn đến nhu cầu nước cao hơn và tốc độ mất độ sụt nhanh hơn [4, 5]. Nhưng Celik và Marar và cộng sự [8] đã cho rằng CN từ đá vôi và bột đá có thể được sử dụng hiệu quả trong bê tông ngay cả khi không sử dụng phụ gia siêu dẻo, mặc dù tính công tác bị suy giảm đáng kể [4]. Một số nghiên cứu gần đây tập trung vào cấu trúc vi mô cũng cho thấy rằng sự phân bố kích thước hạt và hàm lượng hạt mịn đóng vai trò quyết định đến cả tính công tác và cường độ của bê tông sử dụng CN [5, 9]. Có thể nói rằng CN đã được nhiều nghiên

cứu sử dụng trong sản xuất bê tông trên thế giới, tuy nhiên quy luật ảnh hưởng của vật liệu này đến các tính chất của hỗn hợp bê tông và bê tông vẫn còn nhiều điểm chưa thống nhất, tùy thuộc vào thành phần vật liệu, cấu trúc hạt và loại bê tông nghiên cứu.

Tại Việt Nam, nghiên cứu về CN đã được quan tâm từ khá sớm và có nhiều đóng góp quan trọng cả về lý thuyết và thực tiễn. Tuyển tập hội thảo khoa học toàn quốc “Cát nghiền thay thế cát tự nhiên- Vật liệu thân thiện môi trường” đã tổng hợp nhiều kết quả nghiên cứu cho thấy CN có thể thay thế một phần hoặc hoàn toàn CTN trong bê tông nếu được kiểm soát hợp lý về thành phần hạt và hàm lượng hạt mịn [2]. Tiêu chuẩn TCVN 9205:2012 cũng đã được ban hành [10], tạo cơ sở pháp lý cho việc sử dụng CN trong xây dựng. Các nghiên cứu trong nước như “Kết hợp cát nghiền và cát mịn trong chế tạo bê tông” cho thấy việc phối trộn hợp lý có thể cải thiện tính công tác mà vẫn đảm bảo cường độ [11]. Nghiên cứu Nguyễn Văn Đoàn và cộng sự [12] đã chỉ ra rằng CN làm tăng cường độ nén nhưng làm giảm độ sụt ban đầu của hỗn hợp bê tông. Ngoài ra, nghiên cứu thực nghiệm về sử dụng CN đá vôi cho kết cấu cột bê tông cốt thép chịu nén cho thấy khả năng ứng dụng thực tế là khả thi, với cường độ đạt yêu cầu thiết kế [13]. Đặc biệt, các nghiên cứu về bê tông cường độ siêu cao (đạt tới 120 MPa) sử dụng CN đã chứng minh tiềm năng vượt trội của vật liệu này trong các ứng dụng đặc biệt [14]. Tuy nhiên, phần lớn các nghiên cứu trong nước tập trung vào cường độ nén tại một số tuổi tiêu chuẩn hoặc tính công tác ban đầu, trong khi các vấn đề về tổn thất độ sụt theo thời gian và sự phát triển cường độ chưa được nghiên cứu một cách hệ thống.

Từ các phân tích trên cho thấy, vẫn tồn tại một số khoảng trống khoa học quan trọng. Thứ nhất, các nghiên cứu về tính công tác chủ yếu dừng lại ở giá trị độ sụt ban đầu, trong khi tổn thất độ sụt theo thời gian - yếu tố có ý nghĩa thực tiễn quan trọng trong thi công bê tông vẫn chưa được đánh giá một cách hệ thống và định lượng. Thứ hai, phần lớn các nghiên cứu tập trung vào cường độ chịu nén tại một số tuổi tiêu chuẩn mà chưa phân tích đầy đủ tốc độ phát triển cường độ theo thời gian, đặc biệt trong mối liên hệ với hàm lượng xi măng và tỷ lệ CN. Thứ ba, sự khác biệt về cường độ nén giữa các dạng mẫu thử (lập phương, trụ, lăng trụ) đối với bê tông sử dụng CN chưa được nghiên cứu đầy đủ, dẫn đến thiếu cơ sở để hiệu chỉnh các hệ số chuyển đổi trong thiết kế và kiểm định. Xuất phát từ các khoảng trống này, nghiên cứu này tập trung làm rõ ảnh hưởng của hàm lượng CN đến tổn thất độ sụt theo thời gian và sự phát triển cường độ nén của bê tông ở các cấp bền khác nhau, đồng thời đề xuất các hệ số chuyển đổi cường độ nén giữa các loại mẫu thử. Kết quả nghiên cứu không chỉ đóng góp về mặt học thuật trong việc hiểu rõ cơ chế ảnh hưởng của CN, mà còn có ý nghĩa thực tiễn trong thiết kế cấp phối và kiểm soát chất lượng bê tông sử dụng vật liệu thay thế này, góp phần thúc đẩy ứng dụng vật liệu bền vững trong xây dựng tại Việt Nam.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu sử dụng

Trong nghiên cứu này, 2 loại cát gồm cát vàng tự nhiên (CTN) và cát nhân tạo nghiền từ đá vôi Hà Nam (CN) được sử dụng để đánh giá ảnh hưởng của tỷ lệ CN thay thế CTN đến tổn thất độ sụt và cường độ chịu nén của bê tông xi măng chịu lực. Các vật liệu được đánh giá kiểm tra tính chất cơ bản theo TCVN 7570:2006 và TCVN

9205:2012 (Hình 1). Cốt liệu lớn sử dụng trong nghiên cứu là đá dăm tự nhiên (ĐD) có $D_{max} = 20$ mm. Bảng 1 thể hiện các tính chất cơ bản của ĐD, CTN và CN. Đường kính trung bình và tổng diện tích bề mặt hạt cát được tính toán theo công thức (1) và (2) [15]. Có thể thấy rằng, các loại cốt liệu có tính chất cơ bản đảm bảo yêu cầu theo TCVN 7570:2006 và TCVN 9205:2012. Từ Hình 1 cho thấy CN có hình dạng hạt sắc cạnh, mô-đun độ lớn cao và cỡ hạt đồng đều. Cả hai loại CTN và CN đều là loại cát thô, CN có thành phần hạt cát thô hơn CTN và có thành phần cấp phối hạt đạt yêu cầu kỹ thuật của TCVN 7570:2006 và TCVN 9205: 2012 (Hình 2). Nhưng CN chứa nhiều bụi mịn hơn và hút nước cao hơn so với CTN (Bảng 1). Đường kính trung bình (D_{tb}) của CTN đạt 0,394 mm cao hơn của CN đạt 0,303 mm nhưng tỷ diện tích (S) và độ góc cạnh của CTN thấp hơn nhiều (28,4% và 5,92%) so với các giá trị này của CN. Do đó, loại cát này có thể giúp bê tông tăng cường độ bám dính nhưng làm giảm độ sụt hay tính công tác của hỗn hợp bê tông đòi hỏi phải điều chỉnh lượng nước và phụ gia hợp lý [12, 13].

$$D_{tb} = 0,5 \times \sqrt{\frac{a_{2,5} + a_{1,25} + a_{0,63} + a_{0,315} + a_{0,14}}{11a_{2,5} + 1,37a_{1,25} + 1,171a_{0,63} + 0,02a_{0,315} + 0,0024a_{0,14}}} \quad (1)$$

$$S = \frac{6}{\rho \times D_{tb}} \quad (2)$$

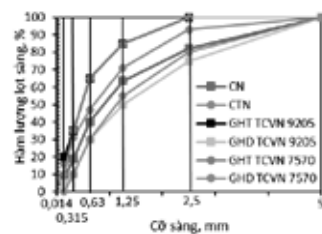
trong đó: $a_{2,5}$, $a_{1,25}$, $a_{0,63}$, $a_{0,315}$, $a_{0,14}$, là hàm lượng sót riêng trên sàng 2,5; 1,25; 0,63; 0,315; 0,14 mm

ρ : là khối lượng riêng của cát

Xi măng sử dụng là loại PCB40 Vicem Bút Sơn có cường độ nén ở 3 ngày và 28 ngày đạt lần lượt là 26,7 MPa và 47,5 MPa, các tính chất cơ bản thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật của TCVN 6260: 2020. Nước sử dụng trong nghiên cứu là nước sinh hoạt.



Hình 1. Ảnh chụp CN (trái) và CTN (phải) sử dụng trong nghiên cứu



Hình 2. Biểu đồ thành phần hạt của CN, CTN so với yêu cầu của TCVN 9205:2012 và TCVN 7570:2006

Bảng 1. Các tính chất cơ bản của cốt liệu sử dụng

STT	Tính chất	Đơn vị	CTN	CN	ĐD	Phương pháp thí nghiệm
1	Khối lượng riêng	g/cm ³	2,68	2,71	2,7	TCVN 7572-4:2006 TCVN 7572-5:2006
2	Khối lượng thể tích	g/cm ³	2,58	2,61	2,62	TCVN 7572-4:2006 TCVN 7572-5:2006
3	Độ hút nước bão hòa	%	1,2	3,4	2,8	TCVN 7572-4:2006 TCVN 7572-5:2006
4	Khối lượng thể tích xốp	kg/m ³	1430	1405	1510	TCVN 7572-6:2006
5	Mô đun độ lớn		2,42	2,87	-	TCVN 7572-2:2006
6	Hàm lượng bụi bùn sét	%	1,6	2,0	0,12	TCVN 7572-8:2006
7	Đường kính trung bình, D_{tb}	mm	0,394	0,303	-	Tính toán theo (1)
8	Tỷ diện tích, S	cm ² /g	56,890	73,048	-	Tính toán theo (2)
9	Độ góc cạnh của cát	%	45,6	48,3	-	TCVN 8860-7:2011
10	Độ hao mòn Los Angeles	%	-	-	23,2	TCVN 7572-12:2006

2.2. Cấp phối thử nghiệm

Bê tông đối chứng sử dụng CTN được nghiên cứu đạt cấp độ bền B20 và B30. Hỗn hợp bê tông sử dụng cho thí công các kết cấu chịu lực thông thường và yêu cầu độ sụt bằng 8 ± 2 cm. Hỗn hợp bê tông có tỷ lệ CN thay thế CTN lần lượt là 0%, 50% và 100% được ký hiệu là B20, B20-50CN, B20-100CN, B30, B30-50CN, B30-100CN. Thành phần vật liệu của các hỗn hợp bê tông sử dụng trong nghiên cứu được nêu ở Bảng 2. Tỷ lệ thể tích hồ xi măng/ thể tích cốt liệu (V_{hx}/V_{CL}) trong các hỗn hợp bê tông được tính theo công thức (3). Từ Bảng 2 cho thấy tỷ lệ V_{hx}/V_{CL} trong các hỗn hợp bê tông B30 tăng lên rõ rệt, cao hơn 11,5% so với tỷ lệ này của hỗn hợp bê tông B20 (0,453). Điều này dẫn đến lượng hồ xi măng tăng thêm có thể bao bọc toàn bộ bề mặt hạt cốt liệu, tăng chiều dày lớp hồ xi măng và/ hoặc lấp đầy lỗ rỗng giữa các hạt cốt liệu, tăng độ đặc trong cấu trúc bê tông B30.

$$\frac{V_{hx}}{V_{CL}} = \frac{\frac{X}{\rho_X} + \frac{N}{\rho_N}}{\frac{CTN}{\rho_{CTN}} + \frac{CN}{\rho_{CN}} + \frac{DD}{\rho_{DD}}} \quad (3)$$

Trong đó: ρ_{CTN} , ρ_{CN} , ρ_{DD} , ρ_N , ρ_X : lần lượt là khối lượng riêng của CTN, CN, ĐD, nước và xi măng (kg/l)

Bảng 2. Thành phần bê tông sử dụng cát nghiền ở các tỷ lệ khác nhau

No.	Ký hiệu cấp phối	XM, kg	CTN, kg	CN, kg	ĐD, kg	N, kg	V_{hx}/V_{CL}
1	B20	350	750	0	1020	185	0,453
2	B20-50CN	350	375	375	1020	185	0,454
3	B20-100CN	350	0	750	1020	185	0,455
4	B30	430	680	0	1020	180	0,505
5	B30-50CN	430	340	340	1020	180	0,506
6	B30-100CN	430	0	680	1020	180	0,507

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Để đánh giá sự ảnh hưởng của hàm lượng CN thay thế CTN đến tính chất hỗn hợp bê tông. Nghiên cứu này tập trung đánh giá tính công tác của hỗn hợp bê tông thông qua độ sụt. Độ sụt được xác định theo tiêu chuẩn hiện hành TCVN 3106:2022 và tổn thất độ sụt được đo tại các thời điểm 0, 30, 60, 90, 120 phút sau khi trộn. Cường độ nén và sự phát triển cường độ nén được xác định trên các tổ mẫu lập phương $150 \times 150 \times 150$ mm và tổ mẫu lăng trụ $150 \times 150 \times 600$ mm ở các tuổi bảo dưỡng 7, 14, 28 ngày. Mẫu trụ có $D \times h = 150 \times 300$ mm cũng được chuẩn bị để xác định cường độ nén ở tuổi 28 ngày và so sánh ảnh hưởng của hình dạng mẫu. Quy trình thí nghiệm được thực hiện theo TCVN 3118:2022. Một số hình ảnh thí nghiệm được thể hiện như Hình 3.



Hình 3. Thử nghiệm độ sụt của hỗn hợp bê tông, đúc mẫu và thí nghiệm cường độ nén mẫu bê tông

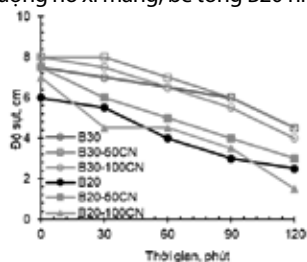
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Độ sụt và tổn thất độ sụt theo thời gian

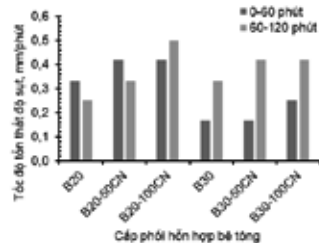
Kết quả phân tích ảnh hưởng của hàm lượng CN thay thế CTN đến độ sụt và tổn thất độ sụt của hỗn hợp bê tông B20, B30 được thể hiện ở Hình 4 và Hình 5. Các giá trị thể hiện là giá trị trung bình của 2 lần thí nghiệm. Kết quả cho thấy độ sụt ban đầu của hỗn hợp bê tông sử dụng CN cao

hơn so với bê tông sử dụng CTN. Hỗn hợp bê tông B20 và B30 có độ sụt đạt 6,0 cm và 7,5 cm còn các hỗn hợp bê tông B20 và B30 sử dụng 50 - 100% CN lần lượt đạt 7 - 7,5 cm và 8,0 cm. Điều này có thể do khi trộn hỗn hợp bê tông, các loại cát và đá dầm đều trộn với lượng nước tự do và nước hấp phụ bão hòa khô bề mặt của hạt cốt liệu. Theo Bảng 1, độ hút nước bão hòa khô bề mặt của CN là 3,4% cao hơn giá trị này của CTN (1,2%) nhưng ở thời điểm ngay sau khi trộn, lượng nước này chưa được hút hết bởi các hạt CN nên nằm ở trạng thái tự do, từ đó làm giảm độ nhớt của hồ xi măng và tăng nhẹ độ sụt ban đầu của hỗn hợp bê tông. Nhưng khi ở thời điểm sau trộn tăng lên, độ sụt của các hỗn hợp bê tông đều giảm vì xi măng liên tục hút nước để thực hiện phản ứng thủy hóa; một phần nước trong hỗn hợp tiếp tục bị cốt liệu (cát, đá) khô hút và có thể bị bay hơi ra ngoài không khí. Do đó quá trình này làm hỗn hợp bê tông bị khô đi, giảm dần tính dẻo và trở nên đặc cứng hơn.

Hình 5 cho thấy tốc độ tổn thất độ sụt của hỗn hợp bê tông sử dụng CN tăng mạnh khi tăng hàm lượng cát nghiền. Trong 60 phút đầu sau khi trộn tốc độ tổn thất độ sụt của hỗn hợp bê tông khá cao đạt $0,17 \div 0,33$ mm/ph đối với hỗn hợp bê tông sử dụng CTN, và $0,17 \div 0,42$ mm/ph đối với hỗn hợp bê tông sử dụng CN. Trong 60÷120 phút sau khi trộn tốc độ tổn thất độ sụt của hỗn hợp bê tông sử dụng CN tiếp tục tăng mạnh hơn đạt $0,33 \div 0,50$ mm/ph so với $0,25 \div 0,33$ mm/ph của hỗn hợp bê tông đối chứng. Sau 120 phút, độ sụt của B20-100CN giảm mạnh nhất chỉ còn 1,5 cm; B30-100CN giảm ít hơn (còn 4,0 cm) do hàm lượng hồ xi măng cao hơn. Cát nghiền có đặc tính bề mặt nhám ráp, hình dạng góc cạnh lớn nên tăng nội ma sát trong hỗn hợp; hàm lượng hạt mịn trong cát nghiền cao sẽ hấp phụ nhiều nước [4]. Điều này dẫn đến tốc độ tổn thất độ sụt của hỗn hợp bê tông sử dụng cát nghiền luôn cao hơn so với hỗn hợp sử dụng cát tự nhiên. Khi so sánh giữa các loại hỗn hợp bê tông B20 và B30 cho thấy tốc độ tổn thất độ sụt của hỗn hợp bê tông B20 luôn cao hơn tốc độ tổn thất độ sụt của hỗn hợp bê tông B30 ở tất cả các khoảng thời gian 0÷60 phút hay 60÷120 phút. Điều này là do tổng thể tích hồ xi măng/thể tích cốt liệu ($V_{h\text{xi}}/V_{cl}$) trong hỗn hợp bê tông B30 đạt khoảng 0,506 cao hơn 11,7% so với tỷ lệ này trong hỗn hợp bê tông B20 (chỉ đạt 0,453), nên lượng hồ xi măng ngoài việc bao bọc bôi trơn bề mặt hạt cốt liệu, lượng hồ xi măng còn dư sẽ đẩy xa các hạt cốt liệu giảm nội ma sát trong hỗn hợp bê tông. Điều này chứng tỏ ảnh hưởng của CN đến tốc độ tổn thất độ sụt rõ ràng hơn đối với hỗn hợp bê tông có tỷ lệ $V_{h\text{xi}}/V_{cl}$ thấp. Từ đây có thể đưa ra kết luận là ảnh hưởng của CN đến tổn thất độ sụt phụ thuộc nhiều vào hàm lượng hồ xi măng; bê tông B20 nhạy cảm hơn so với bê tông B30.



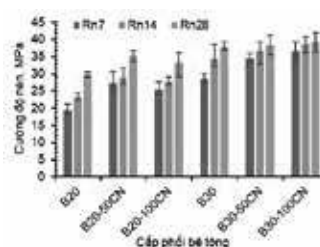
Hình 4. Ảnh hưởng của CN thay thế CTN đến độ sụt của hỗn hợp bê tông B20 và B30



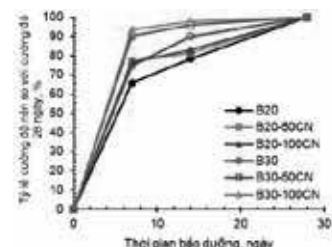
Hình 5. Ảnh hưởng của CN thay thế CTN đến tốc độ tổn thất độ sụt của hỗn hợp bê tông B20 và B30

3.2. Cường độ nén và sự phát triển cường độ nén theo thời gian

Kết quả ảnh hưởng của hàm lượng CN thay thế CTN đến cường độ nén của bê tông trên các mẫu lập phương 15x15x15 cm (Hình 6, Hình 7) và mẫu lăng trụ 15x15x60 cm (Hình 8) ở tuổi 7, 14 và 28 ngày, mẫu trụ $d_{xh} = 15 \times 60$ cm ở tuổi 28 ngày (Hình 9). Các giá trị biểu diễn trong hình là giá trị trung bình của 3 mẫu thí nghiệm. Kết quả thực nghiệm cho thấy ảnh hưởng của cát nghiền từ đá vôi đến cường độ nén phụ thuộc đáng kể vào cấp nền bê tông, hàm lượng CN, hình dạng mẫu thử và tuổi bảo dưỡng mẫu.



Hình 6. Ảnh hưởng của CN đến cường độ nén bê tông B20 và B30 trên mẫu lập phương 15 cm



Hình 7. Ảnh hưởng của CN đến tốc độ phát triển cường độ nén trên mẫu lập phương 15 cm của bê tông B20 và B30

Đối với mẫu lập phương 150x150x150 mm (Hình 6), cường độ nén trung bình ở tuổi 28 ngày của B20, B20-50CN và B20-100CN lần lượt đạt 29,6; 35,4 và 33,4 MPa. So với cấp phối đối chứng sử dụng 100% CTN, việc thay thế 50% và 100% cát tự nhiên bằng CN làm cường độ tăng tương ứng 19,6% và 12,8%. Đáng chú ý, hiệu quả tăng cường độ đạt giá trị lớn hơn ở tuổi sớm tại 7 ngày, cường độ của B20-50CN và B20-100CN cao hơn B20 lần lượt 40,0% và 30,8%; đến 14 ngày, các mức tăng tương ứng giảm xuống 24,1% và 19,4%. Xu hướng này cho thấy ảnh hưởng của CN đến cường độ không chỉ liên quan đến cường độ cuối cùng mà còn liên quan đến động học quá trình rắn chắc và phát triển cường độ của bê tông. Đối với B30, mức độ ảnh hưởng ở tuổi 28 ngày nhỏ hơn đáng kể. Cường độ của B30, B30-50CN và B30-100CN lần lượt đạt 38,0; 38,3 và 39,4 MPa, tương ứng với mức tăng chỉ 0,8% và 3,9% khi sử dụng CN. Như vậy, lợi ích về cường độ của cát nghiền thể hiện rõ hơn đối với cấp phối bê tông B20 có hàm lượng xi măng thấp hơn, trong khi đối với bê tông B30, sự khác biệt cường độ ở tuổi 28 ngày trở nên không đáng kể.

Sự gia tăng cường độ của bê tông sử dụng CN (Hình 7), đặc biệt ở cấp phối B20, có thể được giải thích bởi sự kết hợp giữa hiệu ứng lấp đầy, cải thiện cấp phối hạt và tăng khả năng chèn móc cơ học giữa các hạt cốt liệu [16]. Cát nghiền từ đá vôi có các hạt tương đối góc cạnh, bề mặt nhám và thường chứa tỷ lệ hạt mịn cao hơn cát tự nhiên. Các đặc điểm này làm tăng diện tích tiếp xúc giữa hạt cốt liệu và hồ xi măng, đồng thời các hạt mịn có khả năng lấp đầy một phần khoảng trống giữa các hạt lớn, từ đó làm tăng độ đặc chắc của cấu trúc bê tông [5]. Hiệu ứng này đặc biệt có ý nghĩa đối với cấp phối B20 do hàm lượng xi măng chỉ 350 kg/m³, thấp hơn đáng kể so với 430 kg/m³ của B30. Khi hỗn hợp bê tông có hàm lượng hồ xi măng thấp, việc tối ưu cấu trúc hạt thông qua CN có thể tạo ra sự thay đổi tương đối lớn hơn về độ rỗng và khả năng truyền ứng suất. Ngược lại, đối với B30, lượng hồ xi măng lớn hơn đã tạo điều kiện bao phủ và lấp đầy tốt hơn khoảng trống giữa các hạt cốt liệu. Vì vậy, phần lợi ích bổ sung từ hiệu ứng điển đầy của CN trở nên hạn chế. Kết quả thực nghiệm cho thấy giả thuyết này phù hợp với xu hướng phát triển cường độ. Tỷ số cường độ nén ở tuổi 7 ngày/28 ngày của mẫu lập phương lần lượt là 65,7%, 77,2% và 76,5% đối với B20, B20-50CN và B20-100CN; đối với B30, các tỷ số này tương ứng là 74,8%, 90,2% và 93,6%. Như vậy, CN làm tăng đáng kể tốc độ phát triển cường độ ở tuổi sớm, đặc biệt đối với B30, mặc dù mức tăng cường độ cuối cùng ở 28 ngày lại khá nhỏ. Hiện tượng này cho thấy cơ chế tác động của CN có thể liên quan đến việc cải thiện cấu trúc hạt và thúc đẩy quá trình hình thành cấu trúc chịu lực ở giai đoạn đầu, thay vì đơn thuần làm tăng cường độ cuối cùng.

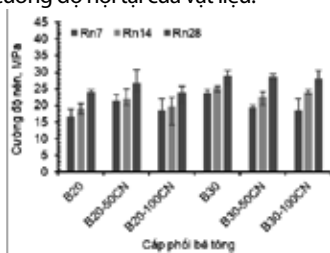
Một kết quả đáng chú ý khác là việc thay thế 100% CTN không tiếp tục làm tăng cường độ so với tỷ lệ thay thế 50%. Đối với B20, cường độ 28 ngày của B20-50CN đạt 35,4 MPa, cao hơn B20-100CN khoảng 6,0%. Điều này cho thấy ảnh hưởng của CN không có quan hệ tuyến tính với tỷ lệ thay thế. Khi tăng hàm lượng CN từ 50% lên 100%, lợi ích do cải thiện khả năng lấp đầy và lực chèn móc có thể bị bù trừ bởi sự gia tăng diện tích bề mặt riêng, nội ma sát và lượng hồ xi măng yêu cầu để bao phủ hạt cốt liệu. Với cùng hàm lượng hồ xi măng và nước trong nhóm B20, việc sử dụng 100% CN có thể làm giảm khả năng duy trì cấu trúc

đồng nhất của hỗn hợp, đặc biệt khi hàm lượng hạt góc cạnh và hạt mịn tăng. Sự gia tăng độ phân tán của kết quả cũng ủng hộ nhận định này. Hệ số biến thiên CV của cường độ mẫu lập phương 28 ngày tăng từ 2,62% đối với B20 lên 4,7% đối với B20-50CN và 11,5% đối với B20-100CN. Do đó, trong phạm vi cấp phối nghiên cứu, tỷ lệ thay thế khoảng 50% có thể được xem là vùng có hiệu quả thuận lợi hơn so với thay thế toàn phần, mặc dù cần có thêm thí nghiệm với các tỷ lệ trung gian để xác định chính xác tỷ lệ tối ưu.

Bảng 3. Tỷ lệ tăng/giảm cường độ do cát nghiền so với mẫu đối chứng sử dụng CTN

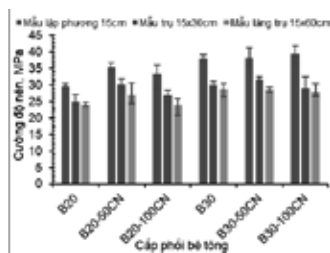
Loại mẫu/ ngày tuổi	Tỷ lệ tăng/giảm cường độ so với mẫu đối chứng, %			
	B20-50CN	B20-100CN	B30-50CN	B30-100CN
Lập phương/ 7 ngày	40,2	31,2	21,2	29,4
Lập phương/ 14 ngày	24,0	19,1	7,1	12,5
Lập phương/ 28 ngày	19,3	12,6	0,6	3,5
Lăng trụ/ 7 ngày	28,5	11,6	-18,7	-21,9
Lăng trụ/ 14 ngày	15,1	2,9	-9,8	-5,1
Lăng trụ/ 28 ngày	11,6	-0,4	-0,7	-2,8
Trụ/ 28 ngày	20,7	7,5	5,6	-3,9

Sự ảnh hưởng của CN đến cường độ nén bê tông cũng phụ thuộc vào hình dạng mẫu thí nghiệm ở Bảng 3 và Hình 8. Sự ảnh hưởng cường độ nén do được thể hiện rõ hơn khi so sánh mẫu lập phương, mẫu trụ và mẫu lăng trụ ở các tuổi 28 ngày được thể hiện ở Hình 9. Đối với B20-50CN, cường độ 28 ngày của mẫu lập phương đạt 35,4 MPa, trong khi mẫu trụ và mẫu lăng trụ chỉ đạt lần lượt 30,3 và 26,9 MPa. Như vậy, mức tăng so với B20 giảm từ 19,6% trên mẫu lập phương xuống 20,7% trên mẫu trụ và 11,6% trên mẫu lăng trụ. Đối với mẫu bê tông B20-100CN, các mức tăng tương ứng là 12,6%, 7,5% và -0,4%. Đối với bê tông B30, sự khác biệt còn rõ hơn. Mẫu bê tông B30-50CN tăng 0,6% trên mẫu lập phương và 5,6% trên mẫu trụ nhưng giảm 0,7% trên mẫu lăng trụ. Mẫu B30-100CN tăng 3,5% trên mẫu lập phương nhưng giảm 3,9% và 2,8% lần lượt trên mẫu trụ và mẫu lăng trụ. Kết quả này cho thấy mức tăng cường độ quan sát được trên mẫu lập phương không thể được quy hoàn toàn cho sự cải thiện nội tại của vật liệu do cát nghiền mà còn chịu ảnh hưởng đáng kể của điều kiện biên và hình dạng mẫu. Về cơ chế, mẫu lập phương 15x15x15cm có tỷ số chiều cao/kích thước ngang bằng 1,0, do đó ma sát giữa hai đầu mẫu và bàn ép làm hạn chế đáng kể biến dạng nở ngang của bê tông. Trạng thái ứng suất trong các vùng gần hai đầu mẫu vì vậy có mức độ kiểm chế (hiệu ứng bó) ngang cao hơn so với phần giữa của mẫu trụ hoặc mẫu lăng trụ [17]. Hiệu ứng bó này làm tăng cường độ nén biểu kiến của mẫu lập phương. Khi sử dụng CN, khả năng liên kết chèn móc cơ học giữa các hạt cốt liệu và sự tương tác trên bề mặt hạt cốt liệu-hỗ xi măng được cải thiện rõ rệt. Do đó, cấu trúc bê tông có khả năng tăng cường hiệu quả hơn trạng thái kiểm chế ngang. Kết quả là hiệu ứng tăng cường độ nén do CN và hiệu ứng bó chặt của mẫu lập phương có thể cộng hưởng, dẫn đến mức tăng cường độ nén quan sát được lớn hơn mức tăng cường độ nội tại của vật liệu.



Hình 8. Ảnh hưởng của CN đến cường độ nén bê tông B20 và B30 trên mẫu lăng trụ 15x15x60 cm

Đối với mẫu trụ $d \times h = 150 \times 300$ mm có tỷ số chiều cao/đường kính bằng 2,0, ảnh hưởng của ma sát và hiệu ứng bó ở hai đầu giảm so với



Hình 9. So sánh mức độ ảnh hưởng của CN đến cường độ nén ở 28 ngày trên mẫu bê tông có hình dáng khác nhau

mẫu lập phương, do đó cường độ đo được phản ánh gần hơn trạng thái chịu nén một trục của vật liệu [18]. Điều này giải thích tại sao lợi thế của CN giảm đối với mẫu trụ. Đặc biệt, đối với B20, mức tăng của B20-50CN và B20-100CN lần lượt là 20,7% và 7,5%, thấp hơn đáng kể hoặc tương đương với mức tăng đạt được trên mẫu lập phương. Đối với B30, hiệu ứng này gần như biến mất ở tỷ lệ thay thế 100%, khi cường độ của B30-100CN thấp hơn B30 là 3,9%. Tương tự, với mẫu lăng trụ 150x150x600 mm có tỷ số chiều cao/kích thước tiết diện bằng 4,0 và do đó chịu ảnh hưởng nhỏ hơn của hiệu ứng bó tại hai đầu [19]. Cường độ đo được trên mẫu này vì vậy có xu hướng phản ánh rõ hơn ứng xử chịu nén của phần vật liệu bê tông nằm giữa mẫu. Kết quả cho thấy lợi thế của CN hầu như biến mất ở tuổi 28 ngày. Đối với B20, mức tăng của B20-50CN chỉ còn 11,6%, trong khi B20-100CN thấp hơn đối chứng 0,4%. Đối với B30, cả hai cấp phối sử dụng cát nghiền đều cho cường độ thấp hơn mẫu đối chứng, lần lượt 0,7% và 2,8%. Bên cạnh đó, do bản thân trong hạt CN có thể tồn tại các khuyết tật nứt trong hạt khi gia công nghiền đập nên cường độ nén của hạt yếu cũng dẫn đến cường độ bê tông thu được thấp và độ phân tán của kết quả mẫu lăng trụ có xu hướng tăng cao hơn khi sử dụng CN, đặc biệt đối với B20-100CN, với CV ở 14 ngày đạt 24,26%. Do đó, sự suy giảm cường độ lăng trụ không nên được quy hoàn toàn cho ảnh hưởng bất lợi của CN mà cần xem xét đồng thời ảnh hưởng của hình dạng mẫu, sự giảm hiệu ứng bó, tính không đồng nhất của cấu trúc bê tông và độ phân tán kết quả thực nghiệm.

3.3. Đề xuất hệ số chuyển đổi cường độ nén giữa các loại mẫu

Kết quả cụ thể so sánh cường độ nén ở tuổi 28 ngày giữa các loại mẫu bê tông được thể hiện ở Hình 9 và Bảng 4. Rõ ràng ở tất cả các loại bê tông thì cường độ nén trên mẫu lăng trụ và mẫu trụ đều nhỏ hơn so với cường độ nén của bê tông tương ứng trên mẫu lập phương. Các kết quả trên cũng được phản ánh qua hệ số chuyển đổi cường độ nén giữa các dạng mẫu (Bảng 4). Tại 28 ngày, hệ số giữa cường độ nén mẫu trụ và mẫu lập phương ($K_{Tr}=R_{Tr}/R_{Lp}$) lần lượt đạt 0,846; 0,856 và 0,807 đối với B20, B20-50CN và B20-100CN; đối với B30, các giá trị tương ứng là 0,792; 0,831 và 0,735. Hệ số giữa cường độ nén mẫu lăng trụ và mẫu lập phương ($K_{Lt}=R_{Lt}/R_{Lp}$) lần lượt đạt 0,812; 0,759 và 0,718 đối với B20 và 0,757; 0,747 và 0,711 đối với B30. Như vậy, hệ số chuyển đổi cường độ nén không phải là một giá trị cố định mà phụ thuộc vào cả cấp bền và tỷ lệ cát nghiền. Đáng chú ý, K_{Lt} có xu hướng giảm khi tăng tỷ lệ CN, đặc biệt rõ đối với B20, từ 0,812 ở cấp phối đối chứng xuống 0,718 khi sử dụng 100% CN. Kết quả này cho thấy ảnh hưởng của CN đến cường độ biểu kiến của mẫu lập phương lớn hơn so với mẫu có tỷ lệ hình học lớn, qua đó cung cấp cơ sở thực nghiệm cho việc xây dựng hệ số chuyển đổi riêng đối với bê tông sử dụng CN.

Kiểm tra độ phân tán của kết quả cường độ nén mẫu lập phương ở 28 ngày (CV) cho thấy khi tăng hàm lượng cát nghiền từ 50% lên 100%, độ phân tán của cường độ có xu hướng tăng (Bảng 4). Đặc biệt B20-100CN có CV=11,45% so với chỉ CV=2,62% của B20. Điều này củng cố giả thuyết rằng 100% CN làm cấu trúc bê tông nhạy cảm hơn với sự phân bố vật liệu và điều kiện đúc mẫu. CV của mẫu lăng trụ còn thể hiện rõ hơn ở bê tông B20, CV của mẫu B20 là 2,53%; B20-50CN là 12,72% và B20-100CN là 11,19%. Đặc biệt ở 14 ngày các giá trị lần lượt đạt 8,48%; 11,66% và 24,26%. Điều đó cho thấy kết quả mẫu lăng trụ 150x150x600 mm nhạy hơn rất nhiều với sự không đồng nhất của cấu trúc bê tông, đặc biệt khi sử dụng 100% CN. Phân tích thống kê ở tuổi 28 ngày cho thấy mức tăng cường độ của B20-50CN so với B20 là có ý nghĩa thống kê đối với mẫu lập phương và mẫu trụ, với giá trị p lần lượt bằng 0,014 và 0,023. Tuy nhiên, sự khác biệt giữa B20-100CN và B20 không đạt mức ý nghĩa 5% đối với cả ba dạng mẫu. Đối với B30, các khác biệt giữa cấp phối bê tông sử dụng CN và cấp phối bê tông đối chứng đều không đạt ý nghĩa thống kê ở mức 5%. Kết quả này cho thấy cần thận trọng khi khái quát hóa ảnh hưởng của CN. Tác động tích cực rõ ràng nhất trong phạm vi nghiên cứu là đối với

B20 sử dụng 50% CN, trong khi đối với B30, sự thay đổi cường độ chủ yếu nằm trong phạm vi phân tán thực nghiệm.

Bảng 4. Hệ số thực nghiệm điều chỉnh cường độ K_{Tr} , K_{Lr} và độ dao động kết quả CV

Hệ số	B20	B20-50CN	B20-100CN	B30	B30-50CN	B30-100CN
$K_{Tr}=R_{Tr}/R_{lp}$	0,846	0,856	0,807	0,792	0,831	0,735
$K_{Lr}=R_{Lr}/R_{lp}$	0,812	0,759	0,718	0,757	0,747	0,711
CV mẫu lập phương ở tuổi 28 ngày, %	2,62	4,71	11,45	3,07	7,34	7,15

Từ các kết quả thực nghiệm có thể đề xuất mô hình cơ chế ảnh hưởng của CN đến cường độ nén của bê tông gồm bốn yếu tố tương tác chính: (i) hiệu ứng vật liệu của CN thông qua hình dạng góc cạnh, bề mặt nhám và khả năng chèn móc cơ học; (ii) hiệu ứng lấp đầy và lên chặt do thành phần hạt mịn; (iii) ảnh hưởng của hàm lượng hồ xi măng và khả năng đáp ứng yêu cầu bao bọc bề mặt hạt cốt liệu; và (iv) hiệu ứng hình dạng mẫu và hiệu ứng bó trong phép thí nghiệm nén. Khi tăng tỷ lệ CN từ 0 lên 50%, ba yếu tố đầu tiên có xu hướng làm tăng khả năng truyền ứng suất và cường độ nén, đặc biệt trong bê tông B20. Khi tăng tiếp lên 100%, sự gia tăng diện tích bề mặt và nội ma sát có thể làm giảm hoặc triệt tiêu lợi ích của sự lên chặt. Đồng thời, khi tỷ số hình học của mẫu tăng từ 1,0 lên 2,0 và 4,0, ảnh hưởng của hiệu ứng bó giảm, làm cho mức tăng cường độ biểu kiến do CN giảm dần. Ngoài ra thực tế mẫu lập phương và mẫu lăng trụ được thí nghiệm nén vuông góc với phương chế tạo mẫu, còn mẫu trụ lại được đúc theo phương đứng và sau đó nén theo phương song song/trùng với chiều cao đúc, cho nên sự phân bố của cốt liệu và hướng đúc trong mẫu cũng có thể ảnh hưởng đến cường độ nén đo được của mẫu bê tông [20]. Do đó, cường độ nén đo được của bê tông sử dụng CN cần được xem là kết quả tổng hợp của đặc tính vật liệu và điều kiện biên của phép thử, thay vì chỉ phản ánh cường độ nội tại của bê tông.

4. KẾT LUẬN

Dựa trên các kết quả nghiên cứu có thể đưa ra một số kết luận như sau:

- ✓ Cát nghiền có bề mặt nhám ráp và hình dạng hạt góc cạnh nên đã làm tăng đáng kể tổn thất độ sụt theo thời gian, đặc biệt cần kiểm soát tính công tác đối với bê tông có hàm lượng hồ xi măng thấp (B20);
- ✓ Khả năng liên kết bám dính của bề mặt hạt cát nghiền và đá xi măng tăng đã làm tăng cường độ nén của bê tông sử dụng cát nghiền, mức độ tăng rõ rệt hơn ở bê tông có hàm lượng hồ xi măng thấp (B20) khi khả năng liên kết này được hỗ trợ bởi sự tăng độ đặc vi cấu trúc trong bê tông.
- ✓ Cát nghiền có khả năng thúc đẩy sự phát triển cường độ nén của bê tông ở tuổi sớm cao hơn so với tuổi tiêu chuẩn nhờ khả năng hút nước của cát nghiền.
- ✓ Việc đánh giá ảnh hưởng của cát nghiền chỉ dựa trên mẫu lập phương có thể dẫn đến đánh giá cao hơn mức cải thiện cường độ thực của vật liệu. Việc đồng thời sử dụng mẫu lập phương, mẫu trụ và mẫu lăng trụ cho phép phân tách tương đối ảnh hưởng của vật liệu và ảnh hưởng của hình dạng mẫu.
- ✓ Hệ số chuyển đổi cường độ giữa các loại mẫu (lập phương, lăng trụ, trụ) phụ thuộc nhiều vào hàm lượng cát nghiền và các hệ số này cần được tiếp tục nghiên cứu với số lượng mẫu nhiều hơn nhằm hiệu chỉnh để đảm bảo độ chính xác trong đánh giá cường độ nén của bê tông. Đây là cơ sở quan trọng để đề xuất các hệ số chuyển đổi cường độ phù hợp cho bê tông sử dụng cát nghiền từ đá vôi và tránh áp dụng máy móc một hệ số chuyển đổi chung cho tất cả các loại cấp phối và hình dạng mẫu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Phạm Văn Bắc. Cát nghiền và khoáng sản thay thế cát tự nhiên: Tình hình đầu tư sản xuất - sử dụng cát nghiền, cơ chế chính sách phát triển và khuyến khích sử dụng cát nghiền và tro xỉ nhiệt điện trong sản xuất vật liệu xây dựng. Tuyến tập báo cáo hội thảo KHCN toàn quốc "Cát nghiền thay thế cát tự nhiên: Vật liệu thân thiện môi trường", NXB. Xây dựng, tr. 13-20, 2018.
- [2] Bạch Đình Thiên, Tống Tôn Kiên và Cao Thị Hương. Vật liệu thay thế cát tự nhiên và sử dụng tro xỉ nhà máy nhiệt điện trong sản xuất vật liệu xây dựng. Tuyến tập báo cáo hội thảo KHCN toàn quốc "Cát nghiền thay thế cát tự nhiên: Vật liệu thân thiện môi trường". NXB. Xây dựng, tr. 36-55, 2018.
- [3] Thủ tướng Chính phủ. Quyết định số 1266/QĐ-TTg ngày 18/8/2020: Phê duyệt Chiến lược phát triển vật liệu xây dựng Việt Nam thời kỳ 2021 - 2030, định hướng đến năm 2050.
- [4] Ziyang Li, Junying Lao, Lijie Wang, Namyo Salim Lim, Kang Hai Tan, Shunzhi Qian. A review on substitution of natural sand with granite fines in sustainable concrete. Construction and Building Materials, volume 346, 5 September 2022, 128417, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128417>.
- [5] Menadi, B., Kenai, S., Khatib, J., Ait-Mokhtar, A. Strength and durability of concrete incorporating crushed limestone sand. Construction and Building Materials, vol. 23, no. 2, pp. 625-633. 2009, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.02.005>.
- [6] Donza, H., Cabrera, O., Irassar, E.F. High-strength concrete with different fine aggregate. Cement and Concrete Research, vol. 32, no. 11, pp. 1755-1761, 2002, [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)00860-8](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)00860-8).
- [7] Xinxin Ding, Changyong Li, Yangyang Xu, Fenglan Li, Shunbo Zhao. Experimental study on long-term compressive strength of concrete with manufactured sand. Construction and Building Materials, vol. 108, pp. 67-73, 2016, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.01.028>.
- [8] Celik, T., Marar, K. Effects of crushed stone dust on some properties of concrete. Cement and Concrete Research, vol. 26, no. 7, pp. 1121-1130, 1996, [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(96\)00078-6](https://doi.org/10.1016/0008-8846(96)00078-6).
- [9] Quiroga, P.N., Fowler, D.W. The effects of aggregates characteristics on the performance of Portland cement concrete. ICAR 104-1F Report. International Center for Aggregates Research The University of Texas at Austin, 2004.
- [10] Nguyễn Duy Hiếu, Trương Thị Kim Xuân và Đỗ Trọng Toàn. Kết hợp cát nghiền và cát mịn trong chế tạo bê tông. Tuyến tập báo cáo hội thảo KHCN toàn quốc "Cát nghiền thay thế cát tự nhiên: Vật liệu thân thiện môi trường", NXB. Xây dựng, tr. 130-139, 2018.
- [11] TCVN 9205: 2012. Cát nghiền cho bê tông và vữa, 2012.
- [12] Nguyễn Văn Đoàn, Phan Văn Quỳnh, & Dương Thanh Qui. Ảnh hưởng của cát nghiền đến một số tính chất của bê tông. Tạp chí Vật liệu Và Xây dựng - Bộ Xây dựng, tập 15, số 6, tr. 7-12, 2025, <https://doi.org/10.54772/jomc.06.2025.1130>.
- [13] Dũng, L. V., Kiên, T. T., Thành, Đỗ T., & Lâm, N. B. Nghiên cứu thực nghiệm đánh giá khả năng sử dụng cát nghiền nguồn gốc đá vôi cho cột BTCT chịu nén. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (TCKHCNXD) - ĐHXDHN, tập 15, số 3V, tr. 93-103, 2021. [https://doi.org/10.31814/stce.nuce2021-15\(3V\)-08](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2021-15(3V)-08).
- [14] Trần Quốc Hoàn. Nghiên cứu sử dụng cát nghiền chế tạo bê tông cường độ chịu nén đạt 120 MPa. Viện Khoa học công nghệ xây dựng, 2025.
- [15] Phùng Văn Lự, Nguyễn Anh Đức, Phạm Hữu Hanh, Trịnh Hồng Tùng. Bài tập Vật liệu xây dựng. NXB. Giáo dục Việt Nam, 1994.
- [16] Japhet Tiegoum Wembe, Luc Leroy Mambou Nguenep, Emmanuel Elat Assoua Moukete, Javad Eslami, Prosper Pliya, Jean-Marie Bienvenu Ndjaka, Albert Noumowe. Physical, mechanical properties and microstructure of concretes made with natural and crushed aggregates: Application in building construction. Cleaner Materials, vol. 7, 2023, article 100173, <https://doi.org/10.1016/j.clema.2023.100173>.
- [17] Ali Abasi, Reza Hassanli, Thomas Vincent. Allan Manalo Influence of prism geometry on the compressive strength of concrete masonry. Construction and Building Materials, vol. 264, 20 December 2020, article 120182, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120182>.
- [18] C.T. Tam, Daneti S. Babu, W. Li. EN 206 Conformity Testing for Concrete Strength in Compression. Procedia Engineering, vol. 171, pp. 227-237, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.330>.
- [19] Matthews Vargas Vaucher Bandeira, Kevin Rebolledo La Torre, Luis Eduardo Kostascki, Ederli Marangon, Jorge Daniel Rieral. Influence of contact friction in compression tests of concrete samples. Construction and Building Materials, vol. 317, 2022, article 125811, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125811>.
- [20] Seong-Tae Yi, Eun-Ik Yang, Joong-Cheol Choi. Effect of specimen sizes, specimen shapes and placement directions on compressive strength of concrete. Nuclear Engineering and Design, vol. 236, no. 2, pp. 115-127, 2006, <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2005.08.004>.

So sánh sự phát triển cường độ của cấp phối phosphogypsum - trầm tích nạo vét - xi măng dưới hai điều kiện bảo dưỡng

Comparison of strength development of a phosphogypsum - dredged sediment - cement mixture under two curing conditions for road subgrade and base applications

> PGS.TS TRẦN VĂN QUÂN*, TS VŨ TRUNG HIẾU, TS TRỊNH HOÀNG SƠN, THS.NCS LÊ VĂN HIỆP

Nhóm nghiên cứu “Vật liệu bền vững cho hạ tầng thông minh”, Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải

*Email: quantv@utt.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu so sánh sự phát triển cường độ của hỗn hợp sử dụng phosphogypsum (PG), trầm tích nạo vét và xi măng dưới hai điều kiện bảo dưỡng, định hướng làm vật liệu nền, móng đường. Cấp phối được lựa chọn bằng thiết kế bề mặt đáp ứng, gồm 19% PG, 71% trầm tích nạo vét và 10% xi măng theo khối lượng khô; độ ẩm tối ưu và khối lượng thể tích khô lớn nhất tương ứng là 18,45% và 1,674 g/cm³. Mẫu được bảo dưỡng theo hai chế độ: Bọc kín giữ ẩm và không bọc trong phòng thí nghiệm. Cường độ nén nở hông (UCS) được xác định tại 7, 14, 28 và 60 ngày; cường độ ép chẻ được xác định tại 7, 28 và 60 ngày. UCS của mẫu không bọc cao hơn mẫu bọc kín tại tất cả các tuổi, đạt 4,165 MPa so với 2,855 MPa ở 60 ngày. Cường độ ép chẻ tăng từ 0,210 - 0,313 MPa ở 7 ngày lên 0,707 - 0,719 MPa ở 60 ngày; chênh lệch giữa hai chế độ giảm rõ ở tuổi 60 ngày. Cả hai chỉ tiêu có xu hướng tăng theo tuổi và tương quan dương với nhau. Kết quả cho thấy cấp phối đáp ứng các ngưỡng cường độ nêu trong TCVN 14326:2024 đối với vật liệu móng đường. Tuy nhiên, cần tiếp tục kiểm chứng độ bền nước, biến đổi thể tích và đặc tính môi trường trước khi áp dụng rộng rãi.

Từ khóa: Phosphogypsum; trầm tích nạo vét; xi măng; điều kiện bảo dưỡng; cường độ nén nở hông; cường độ ép chẻ.

ABSTRACT

This study compares the strength development of a phosphogypsum (PG)-dredged sediment-cement mixture under two curing conditions for potential road subgrade and base application. A response-surface design was used to select a mixture containing 19% PG, 71% dredged sediment, and 10% cement by dry mass, with an optimum moisture content of 18.45% and a maximum dry density of 1.674 g/cm³. Specimens were cured under two conditions: sealed moisture retention and unsealed laboratory exposure. Unconfined compressive strength (UCS) was measured at 7, 14, 28 and 60 days, whereas splitting tensile strength was measured at 7, 28 and 60 days. The unsealed specimens exhibited higher UCS at all ages, reaching 4.165 MPa at 60 days compared with 2.855 MPa for the sealed specimens. Splitting tensile strength increased from 0.210 - 0.313 MPa at 7 days to 0.707 - 0.719 MPa at 60 days and the difference between curing conditions became small at 60 days. Both strength indices increased with age and showed positive empirical correlations. The selected mixture met the strength thresholds specified in TCVN 14326:2024 for road-base materials. Further evaluation of water durability, volume stability, and environmental performance is required before broad field application.

Keywords: Phosphogypsum; dredged sediment; cement stabilization; curing condition; unconfined compressive strength; splitting tensile strength.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Phosphogypsum (PG) là phụ phẩm phát sinh với khối lượng lớn trong quá trình sản xuất axit phosphoric bằng phương pháp ướt. Thành phần chính của PG là canxi sunfat ngậm nước, nhưng vật liệu còn có thể chứa axit dư, fluoride, phosphate, nguyên tố vết và các

nhân phóng xạ tự nhiên tùy nguồn quặng và công nghệ sản xuất. Việc lưu chứa kéo dài chiếm dụng đất và làm tăng yêu cầu kiểm soát nước rỉ, bụi và ổn định bãi chứa [1]. Vì vậy, tái sử dụng PG trong vật liệu xây dựng chỉ có ý nghĩa khi đồng thời thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật và kiểm soát được rủi ro môi trường.

Trong xây dựng đường, PG đã được nghiên cứu cùng với, tro bay, xi, đất và xi măng. Các hệ vôi-tro bay-PG có thể tạo chất kết dính và phát triển cường độ [2], trong khi hỗn hợp PG-đất-xi măng cho thấy tính năng cơ học phụ thuộc đáng kể vào hàm lượng chất kết dính và điều kiện ẩm [3]. Một số nghiên cứu về vật liệu móng đường sử dụng chất thải rắn chứa PG cũng ghi nhận sự cải thiện cường độ và cấu trúc khi lựa chọn thành phần phù hợp [4, 5]. Tuy nhiên, sự hiện diện của sulfate và tạp chất khiến ứng xử của PG không thể suy rộng trực tiếp từ đất gia cố xi măng thông thường.

Trầm tích nạo vét là một nguồn vật liệu thứ cấp khác phát sinh thường xuyên tại các khu vực cảng biển. Vật liệu hạt mịn thường có độ ẩm và tính dẻo cao, sức chịu tải thấp, nên cần ổn định trước khi sử dụng trong kết cấu đường. Xi măng có thể cải thiện cường độ của trầm tích thông qua thủy hóa và liên kết hạt; PG có thể tham gia vào hệ phản ứng giàu sulfate, nhưng hiệu quả phụ thuộc thành phần, tỷ lệ nước/chất rắn và chế độ bảo dưỡng [6]. Đặc biệt, bảo dưỡng quyết định trạng thái ẩm, mức độ phản ứng và quá trình khô của vật liệu, do đó có thể làm thay đổi cả cường độ nén và khả năng chịu kéo gián tiếp.

Tại Hải Phòng, lượng PG tồn chứa tại Nhà máy DAP Đình Vũ và trầm tích phát sinh từ hoạt động nạo vét tạo ra nhu cầu nghiên cứu giải pháp sử dụng đồng thời hai nguồn vật liệu. Các nghiên cứu trong nước chủ yếu tập trung vào đặc trưng riêng của PG hoặc khả năng dùng PG cho san lấp; dữ liệu về cấp phối PG-trầm tích nạo vét-xi măng và ảnh hưởng của chế độ bảo dưỡng còn hạn chế. Nghiên cứu này nhằm: (i) Lựa chọn một cấp phối đạt mức cường độ mục tiêu trong miền thiết kế; (ii) đánh giá sự phát triển UCS và cường độ ép chèn dưới hai chế độ bảo dưỡng; (iii) xác lập quan hệ thực nghiệm giữa các chỉ tiêu cường độ; (iv) đối chiếu sơ bộ với yêu cầu kỹ thuật của vật liệu nền, móng đường. Phạm vi bài báo tập trung vào cường độ trong phòng thí nghiệm; các cơ chế vi cấu trúc và an toàn môi trường không được suy diễn khi chưa có bằng chứng tương ứng.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu

PG được lấy tại Công ty Cổ phần DAP-VINACHEM, Đình Vũ, Hải Phòng. Ba mẫu đại diện được lấy tại các vị trí khác nhau, trộn thành mẫu hợp nhất và rút gọn theo phương pháp chia tư. PG có thành phần hạt mịn, khoảng 90% lọt sàng 0,075 mm; khối lượng riêng nằm trong khoảng 2,50 - 3,05 g/cm³. Các đặc trưng này được dùng để nhận diện nguồn vật liệu, không đại diện cho mọi lô PG của nhà máy.

Trầm tích nạo vét được lấy tại khu vực Hải Phòng, phơi và chuẩn bị trước thí nghiệm. Kết quả cho thấy vật liệu có giới hạn chảy 50,4%, giới hạn dẻo 25,3% và chỉ số dẻo 25,1%, thuộc nhóm A-7-6 theo AASHTO M 145. CBR ban đầu đạt 5,89%, UCS khoảng 90 kPa và độ trương nở 6,02%, phản ánh khả năng chịu tải thấp và nhu cầu gia cố. Xi măng sử dụng là PCB40 Hoàng Thạch, phù hợp TCVN 6260:2020.

Bảng 1. Một số đặc trưng cơ lý của trầm tích nạo vét

Chỉ tiêu	Đơn vị	Giá trị
Khối lượng thể tích tự nhiên	g/cm ³	1,893
Độ ẩm tự nhiên	%	19,54
Giới hạn chảy, LL	%	50,4
Giới hạn dẻo, PL	%	25,3
Chỉ số dẻo, PI	%	25,1
Tỷ trọng hạt	—	2,69
Lực dính	kPa	46,8
Góc ma sát trong	độ	17,2
Hệ số thấm	cm/s	0,49 × 10 ⁻⁷
CBR ban đầu	%	5,89
UCS ban đầu	kPa	90
Độ trương nở	%	6,02

2.2. Thiết kế thí nghiệm và lựa chọn cấp phối

Thiết kế bề mặt đáp ứng tâm xoay-mặt với hai biến được sử dụng để khảo sát ảnh hưởng của hàm lượng PG ($X_1=0 - 50\%$) và xi măng ($X_2=0 - 10\%$) đến UCS 7 ngày của mẫu bảo dưỡng bọc kín. Thiết kế gồm 9 điểm, mỗi điểm 6 mẫu lặp, tương ứng 54 mẫu. Số liệu được kiểm tra giá trị bất thường theo ASTM E178 trước khi xây dựng mô hình hồi quy bậc hai. Mô hình có $R^2 = 72,01\%$ và R^2 dự báo = 64,56%, cho thấy khả năng mô tả và dự báo ở mức trung bình. Mức độ phân tán này có thể liên quan đến tính không đồng nhất vốn có của trầm tích nạo vét và phosphogypsum, cũng như độ nhạy của hỗn hợp hạt mịn đối với độ ẩm, mức độ trộn và độ chặt khi chế tạo mẫu. Bên cạnh đó, mô hình chỉ xem xét hàm lượng PG và xi măng, trong khi UCS còn có thể chịu ảnh hưởng của các biến vật liệu và công nghệ khác chưa được đưa vào mô hình. Vì vậy, mô hình được sử dụng chủ yếu để nhận diện xu hướng và lựa chọn vùng cấp phối trong miền khảo sát, thay vì dự báo tổng quát.

Trong bước tối ưu hóa, UCS 7 ngày bằng 1,0 MPa được lựa chọn làm giá trị mục tiêu nhằm bảo đảm cấp phối có mức cường độ ban đầu tương đối cao trong miền khảo sát. Giá trị này cao hơn ngưỡng cường độ nén 7 ngày 0,5 MPa quy định cho mẫu bảo hòa của vật liệu móng đường theo TCVN 14326:2024. Với mục tiêu này, nghiệm của mô hình là 19,38% PG và 10% xi măng; thành phần được làm tròn thành 19% PG, 10% xi măng và 71% trầm tích nạo vét theo khối lượng khô.

Bảng 2. Miền khảo sát trong thiết kế bề mặt đáp ứng

Yếu tố	Ký hiệu	Mức -1	Mức 0	Mức +1
Hàm lượng PG (%)	X_1	0	25	50
Hàm lượng xi măng (%)	X_2	0	5	10

Bảng 3. Thành phần và thông số đầm nén của cấp phối được lựa chọn

PG (%)*	Trầm tích (%)*	Xi măng (%)*	γ_{dmax} (g/cm ³)	W_{opt} (%)
19	71	10	1,674	18,45

Ghi chú: * là tỷ lệ theo khối lượng khô của hỗn hợp.

2.3. Chế tạo và bảo dưỡng mẫu

Các vật liệu khô được định lượng theo Bảng 3, trộn đến đồng nhất rồi bổ sung nước để đạt độ ẩm tối ưu. Mẫu UCS hình trụ đường kính 50 mm, chiều cao 100 mm ($H/D = 2$) được chế bị theo ASTM D1632 ở khối lượng thể tích khô mục tiêu. Sau tháo khuôn, mẫu được chia thành hai nhóm: (i) Bọc kín để hạn chế mất ẩm và đặt trong môi trường giữ ẩm; (ii) không bọc và lưu trong điều kiện phòng thí nghiệm. Các mẫu được thí nghiệm tại tuổi quy định. Nhiệt độ và độ ẩm tương đối của phòng không được ghi liên tục; đây là hạn chế cần lưu ý khi giải thích tác động của chế độ không bọc.

2.4. Phương pháp thí nghiệm và xử lý số liệu

UCS được xác định theo ASTM D1633 bằng tải trọng nén dọc trục. Giá trị cường độ UCS được tính theo $q_u = P_u/A$, trong đó P_u là tải trọng phá hoại lớn nhất và A là diện tích tiết diện ngang của mẫu. Thí nghiệm được thực hiện tại 7, 14, 28 và 60 ngày. Kết quả được tổng hợp bằng trung bình, độ lệch chuẩn (S_D) và hệ số biến thiên (C_v).

Cường độ ép chèn được xác định theo TCVN 8862:2011 trên tổ tối thiểu ba mẫu hình trụ. Tải nén được truyền dọc theo hai đường sinh đối diện đến khi mẫu phá hoại. Cường độ ép chèn được tính theo $R_k = 2P/(\pi HD)$, trong đó P là tải trọng phá hoại, H là chiều dài đường sinh và D là đường kính mẫu. Thí nghiệm được thực hiện tại 7, 28 và 60 ngày. Các quan hệ tuyến tính chỉ được dùng để mô tả xu hướng trong phạm vi dữ liệu. Do số tuổi khảo sát ít, chúng không được xem là mô hình dự báo độc lập.



Hình 1. Bảo dưỡng mẫu thí nghiệm và thí nghiệm xác định cường độ mẫu

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Sự phát triển cường độ nén nở hông

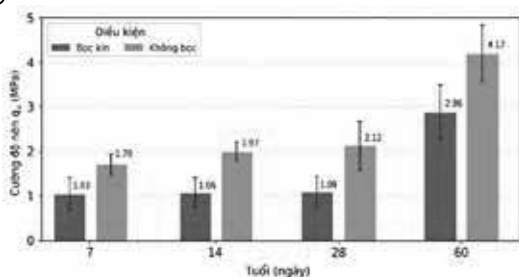
Bảng 3. UCS theo tuổi và điều kiện bảo dưỡng

Điều kiện	Tuổi (ngày)	Trung bình (MPa)	SD (MPa)	CV (%)
Bọc kín	7	1,026	0,330	32,12
Không bọc	7	1,700	0,265	15,56
Bọc kín	14	1,063	0,293	27,54
Không bọc	14	1,973	0,142	7,19
Bọc kín	28	1,086	0,270	24,85
Không bọc	28	2,125	0,590	27,76
Bọc kín	60	2,855	0,563	19,71
Không bọc	60	4,165	0,711	17,06

UCS tăng theo tuổi ở cả hai điều kiện (Bảng 3). Với mẫu bọc kín, giá trị trung bình chỉ tăng nhẹ từ 1,026 MPa ở 7 ngày lên 1,086 MPa ở 28 ngày, sau đó tăng đến 2,855 MPa ở 60 ngày. Với mẫu không bọc, UCS tăng đều hơn, từ 1,700 MPa ở 7 ngày lên 2,125 MPa ở 28 ngày và 4,165 MPa ở 60 ngày. Như vậy, mẫu không bọc cao hơn lần lượt khoảng 66%, 86%, 96% và 46% tại 7, 14, 28 và 60 ngày.

CV dao động từ 7,19% đến 32,12%, cho thấy độ phân tán không nhỏ, đặc biệt ở mẫu bọc kín 7 ngày và mẫu không bọc 28 ngày. Do các khoảng sai số có thể chồng lấn ở một số tuổi và nghiên cứu chưa thực hiện kiểm định giữa hai nhóm, kết quả chỉ cho phép kết luận rằng giá trị trung bình của nhóm không bọc cao hơn; chưa đủ cơ sở dùng thuật ngữ khác biệt có ý nghĩa thống kê.

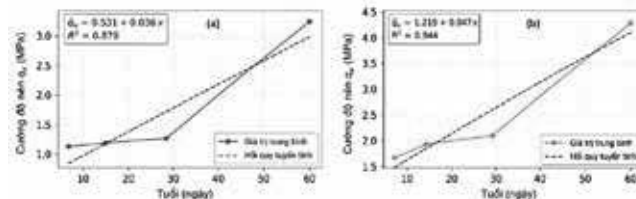
Quan hệ tuyến tính theo tuổi được xác lập lần lượt là $q_u = 0,531 + 0,036t$ ($R^2 = 0,879$) đối với mẫu bọc kín và $q_u = 1,219 + 0,047t$ ($R^2 = 0,944$) đối với mẫu không bọc, với t tính bằng ngày (Hình 3). Tuy nhiên, xu hướng gần như ổn định của mẫu bọc kín trong khoảng 7 - 28 ngày rồi tăng mạnh ở 60 ngày cho thấy đường thẳng chỉ là xấp xỉ mô tả. Không nên dùng các phương trình để ngoại suy ngoài 7 - 60 ngày.



Hình 2. Sự phát triển UCS theo tuổi dưới hai điều kiện bảo dưỡng

UCS cao hơn ở nhóm không bọc có thể liên quan đến sự kết hợp giữa phản ứng chất kết dính và sự giảm ẩm làm tăng ứng suất phá hoại biểu kiến. Ngoài ra, trao đổi CO_2 với môi trường có thể góp phần thay đổi sản phẩm liên kết. Đây chỉ là các giả thuyết vì nghiên cứu chưa theo dõi khối lượng, độ ẩm tại thời điểm nén hoặc đặc trưng vi cấu trúc. Trong thực tế, vật liệu nền móng có thể chịu bảo

hòa, do đó không thể suy từ kết quả khô hơn trong phòng sang khả năng chịu nước ngoài hiện trường.



Hình 3. Tương quan giữa cường độ nén nở hông theo thời gian trong điều kiện bảo dưỡng: a) - bọc kín, b) - không bọc

3.2. Sự phát triển cường độ ép chèn

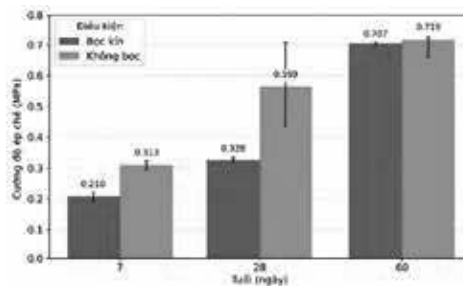
Bảng 4. Cường độ ép chèn trung bình theo tuổi và điều kiện bảo dưỡng

Điều kiện	Tuổi (ngày)	Trung bình (MPa)	SD (MPa)	CV (%)
Bọc kín	7	0,210	0,020	9,52
Không bọc	7	0,313	0,016	5,11
Bọc kín	28	0,328	0,009	2,74
Không bọc	28	0,569	0,132	23,20
Bọc kín	60	0,707	0,007	0,99
Không bọc	60	0,719	0,053	7,37

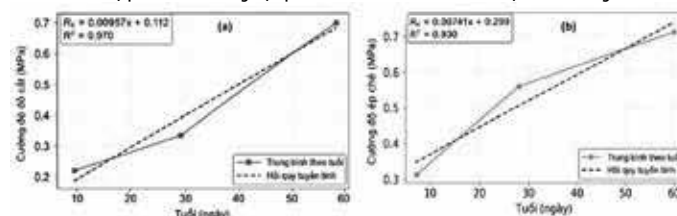
Cường độ ép chèn tăng theo tuổi ở cả hai chế độ (Bảng 4). Mẫu bọc kín tăng từ 0,210 MPa ở 7 ngày lên 0,328 MPa ở 28 ngày và 0,707 MPa ở 60 ngày. Mẫu không bọc đạt 0,313; 0,569 và 0,719 MPa tại các tuổi tương ứng. Mức tăng từ 7 đến 60 ngày đạt khoảng 237% đối với mẫu bọc kín và 130% đối với mẫu không bọc.

Tại 7 và 28 ngày, giá trị trung bình của mẫu không bọc cao hơn lần lượt 0,103 và 0,241 MPa. Đến 60 ngày, chênh lệch chỉ còn 0,012 MPa, tương ứng khoảng 1,7% so với mẫu bọc kín. Sự hội tụ này khác với xu hướng UCS, trong đó mẫu không bọc vẫn cao hơn 45,9% ở 60 ngày. Kết quả cho thấy hai chế độ bảo dưỡng tạo ra các xu hướng phát triển khác nhau giữa cường độ nén và cường độ ép chèn. Tuy nhiên, cần dữ liệu độ ẩm và dạng phá hoại để giải thích cơ chế.

Quan hệ với tuổi được biểu diễn bởi $R_k = 0,00957t + 0,112$ ($R^2 = 0,970$) cho mẫu bọc kín và $R_k = 0,00741t + 0,299$ ($R^2 = 0,930$) cho mẫu không bọc (Hình 5). Các hệ số xác định cao chủ yếu phản ánh ba giá trị trung bình tại ba tuổi. Vì vậy, phương trình chỉ dùng để mô tả trong khoảng 7 - 60 ngày, không chứng minh quy luật tuyến tính tổng quát.



Hình 4. Sự phát triển cường độ ép chèn theo tuổi dưới hai điều kiện bảo dưỡng



Hình 5. Tương quan giữa cường độ ép chèn theo thời gian trong điều kiện bảo dưỡng: a) - bọc kín, b) - không bọc

3.3. Quan hệ giữa cường độ ép chẻ và UCS

Từ kết quả các Hình 3, Hình 5 và Hình 6, tổng hợp một số kết quả hồi quy thực nghiệm được thể hiện trên Bảng 5.

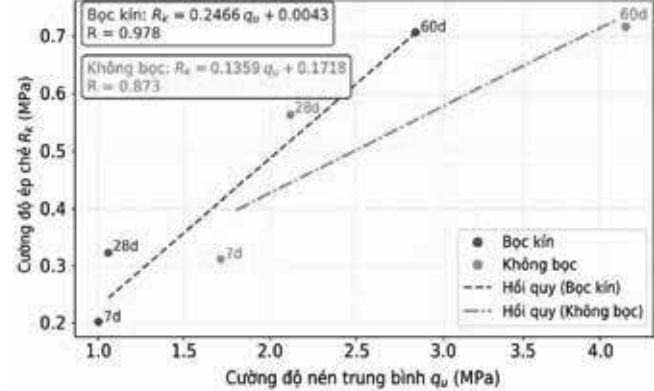
Cường độ ép chẻ có tương quan dương với UCS. Ở nhóm bọc kín, hệ số gốc 0,2466 lớn hơn nhóm không bọc (0,1359), nghĩa là trong miền dữ liệu khảo sát, R_k tăng nhanh hơn theo q_u . Đồng thời, tỷ số R_k/q_u ở 60 ngày đạt khoảng 0,248 đối với mẫu bọc kín và 0,173 đối với mẫu không bọc. Điều này cho thấy sự gia tăng UCS của mẫu không bọc không đi kèm mức tăng tương ứng của khả năng chịu kéo gián tiếp, có thể do tác động của khô mẫu đến hai dạng phá hoại không giống nhau.

Bảng 5. Các quan hệ hồi quy thực nghiệm

Quan hệ	Điều kiện	Phương trình	R ²
UCS-tuổi	Bọc kín	$q_u = 0,531 + 0,036t$	0,879
UCS-tuổi	Không bọc	$q_u = 1,219 + 0,047t$	0,944
Ép chẻ-tuổi	Bọc kín	$R_k = 0,112 + 0,00957t$	0,970
Ép chẻ-tuổi	Không bọc	$R_k = 0,299 + 0,00741t$	0,930
Ép chẻ-UCS	Bọc kín	$R_k = 0,0043 + 0,2466q_u$	0,956*
Ép chẻ-UCS	Không bọc	$R_k = 0,1718 + 0,1359q_u$	0,762*

Ghi chú: t là tuổi (ngày); q_u và R_k tính bằng MPa; * R^2 được tính từ hệ số tương quan R ($R = 0,978$ và $0,873$).

Các hồi quy R_k-q_u được xây dựng từ ba cặp giá trị trung bình chung tuổi, nên chưa đủ để dự báo cường độ ép chẻ cho các cấp phối khác. Giá trị sử dụng chính của chúng là mô tả sự đồng biến của hai chỉ tiêu và cho thấy cần xem xét đồng thời khả năng chịu nén và chịu kéo khi đánh giá vật liệu giàn gia cố xi măng.



Hình 6. Quan hệ giữa cường độ ép chẻ và UCS của cấp phối được lựa chọn

3.4. Đánh giá khả năng sử dụng và giới hạn nghiên cứu

Theo TCVN 14326:2024, hỗn hợp thạch cao phospho sử dụng làm vật liệu móng đường phải đạt cường độ nén tối thiểu 0,5 MPa ở 7 ngày và 1,0 MPa ở 28 ngày trong trạng thái mẫu bão hòa. Trong nghiên cứu này, UCS thấp nhất của cấp phối lựa chọn đạt 1,026 MPa ở 7 ngày và 1,086 MPa ở 28 ngày, tức đều cao hơn về trị số so với các ngưỡng tương ứng.

Tuy nhiên, đạt ngưỡng UCS không đồng nghĩa với đủ điều kiện áp dụng. Nghiên cứu chưa đánh giá độ bền sau ngâm nước, chu kỳ khô-ướt, mài mòn, co ngót, nứt, biến đổi sulfate dài hạn và khả năng rửa trôi fluoride, phosphate, kim loại hoặc nhân phóng xạ từ cấp phối đã gia cố. Chế độ không bọc cũng chưa được đặc trưng bằng nhiệt độ, độ ẩm tương đối và độ ẩm mẫu. Vì vậy, kết quả hiện tại là bằng chứng sàng lọc về cơ học, không phải xác nhận đầy đủ về độ bền và an toàn môi trường. Giai đoạn tiếp theo cần thí nghiệm độ bền nước, trương nở, mô-đun và đoạn thử hiện trường có quan trắc.

4. KẾT LUẬN

Từ kết quả nghiên cứu cấp phối PG-trầm tích nạo vét-xi măng dưới hai điều kiện bảo dưỡng, có thể rút ra các kết luận sau:

Cấp phối được lựa chọn gồm 19% PG, 71% trầm tích nạo vét và 10% xi măng theo khối lượng khô, với độ ẩm tối ưu 18,45% và khối lượng thể tích khô lớn nhất 1,674 g/cm³.

UCS tăng theo tuổi ở cả hai điều kiện. Mẫu không bọc có giá trị trung bình cao hơn tại mọi tuổi, đạt 4,165 MPa ở 60 ngày so với 2,855 MPa của mẫu bọc kín. Tuy nhiên, độ phân tán tương đối còn lớn ở một số tổ mẫu, với CV tối đa 32,12%.

Cường độ ép chẻ tăng từ 0,210 - 0,313 MPa ở 7 ngày lên 0,707 - 0,719 MPa ở 60 ngày. Chênh lệch giữa hai điều kiện giảm từ 0,103 - 0,241 MPa ở 7 - 28 ngày xuống 0,012 MPa ở 60 ngày.

UCS và cường độ ép chẻ có tương quan dương, nhưng các phương trình hồi quy được xây dựng từ số tuổi khảo sát hạn chế và chỉ nên dùng để mô tả trong miền dữ liệu hiện có.

Cấp phối đáp ứng ngưỡng UCS của TCVN 14326:2024 đối với vật liệu móng đường. Trước khi áp dụng rộng rãi, cần đánh giá độ bền nước, ổn định thể tích, độ bền lâu, đặc tính rửa trôi và thử nghiệm hiện trường.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Sở Khoa học và Công nghệ thành phố Hải Phòng trong khuôn khổ nhiệm vụ KH&CN cấp Thành phố mã số ĐT.CN.2023.959, theo Hợp đồng số 959/HĐ-ĐT.CN.2023.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Tayibi, H., Choura, M., López, F.A., Alguacil, F.J., López-Delgado, A. Environmental impact and management of phosphogypsum. Journal of Environmental Management, 90(8), 2377-2386, 2009.

[2] Shen, W., Zhou, M., Zhao, Q. Study on lime-fly ash-phosphogypsum binder. Construction and Building Materials, 21(7), 1480-1485, 2007.

[3] Silva, M.V., de Rezende, L.R., dos Anjos Mascarenha, M.M., de Oliveira, R.B. Phosphogypsum, tropical soil and cement mixtures for asphalt pavements under wet and dry environmental conditions. Resources, Conservation and Recycling, 144, 123-136, 2019.

[4] Shen, W., Zhou, M., Ma, W., Hu, J., Cai, Z. Investigation on the application of steel slag-fly ash-phosphogypsum solidified material as road base material. Journal of Hazardous Materials, 164(1), 99-104, 2009.

[5] Zmemia, R., Benjidia, M., Naifar, I., Sadik, C., Elleuch, B., Sdiri, A. A phosphogypsum-based road material with enhanced mechanical properties for sustainable environmental remediation. Environmental Progress & Sustainable Energy, 41(1), e13732, 2022.

[6] Wan, X., Ding, J., Jiao, N., Mou, C., Gao, M. Mechanical and microstructural properties of cement-treated marine dredged clay with red mud and phosphogypsum. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 81, 266, 2022.

[7] ASTM D1632. Standard Practice for Making and Curing Soil-Cement Compression and Flexure Test Specimens in the Laboratory. ASTM International.

[8] ASTM D1633-17. Standard Test Methods for Compressive Strength of Molded Soil-Cement Cylinders. ASTM International.

[9] ASTM E178. Standard Practice for Dealing With Outlying Observations. ASTM International.

[10] TCVN 6260:2020. Xi măng poóc lăng hỗn hợp - Yêu cầu kỹ thuật.

[11] TCVN 8862:2011. Quy trình thí nghiệm xác định cường độ kéo khi ép chẻ của vật liệu hạt liên kết bằng các chất kết dính.

[12] TCVN 14326:2024. Hỗn hợp thạch cao phospho làm vật liệu cho nền, móng đường giao thông - Yêu cầu chung.

Nghiên cứu thiết kế thực nghiệm tối ưu hóa thành phần bê tông ít xi măng có độ bền cao cho kết cấu bê tông cốt thép trong môi trường ven biển Việt Nam bằng phương pháp Plackett-Burman

Design of experiment based optimization of low-cement concrete mixtures using the Plackett-Burman method for reinforced concrete structures in Vietnam's coastal environment

> THS.NCS NGUYỄN TUẤN CƯỜNG, TS VŨ VIỆT HƯNG*, PGS.TS NGUYỄN THANH SANG

Trường Đại học Giao thông vận tải

*Email: hungvv_ph@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm Plackett-Burman để tối ưu hóa thành phần bê tông ít xi măng có độ bền cao cho kết cấu bê tông cốt thép trong môi trường ven biển Việt Nam. Tro bay nhiệt điện Duyên Hải và xỉ hạt lò cao nghiền mịn Formosa được sử dụng làm vật liệu thay thế một phần xi măng poóc-lăng. Ba yếu tố gồm tổng lượng chất kết dính, hàm lượng tro bay và hàm lượng xỉ lò cao nghiền mịn được đánh giá thông qua 12 cấp phối thực nghiệm. Kết quả cho thấy hàm lượng xỉ lò cao nghiền mịn có ảnh hưởng lớn nhất đến khả năng kháng xâm nhập ion clorua, hàm lượng tro bay quyết định cường độ chịu nén của bê tông, trong khi tổng lượng chất kết dính ảnh hưởng nhiều nhất đến cường độ chịu kéo khi bẻ. Cấp phối bê tông tối ưu được xác định với 450 kg/m³ chất kết dính, 40% xỉ lò cao nghiền mịn và 13% tro bay, đạt cường độ chịu nén đặc trưng 28 ngày là 45 MPa, cường độ chịu kéo khi bẻ 28 ngày là 3,2 MPa và điện lượng thấm ion clorua 387 cu-lông. Nghiên cứu chứng minh phương pháp Plackett-Burman là công cụ hiệu quả để thiết kế và tối ưu hóa bê tông ít xi măng bền vững cho các công trình ven biển.

Từ khóa: Bê tông ít xi măng; phương pháp Plackett-Burman; thiết kế thực nghiệm (DOE); xỉ hạt lò cao nghiền mịn; tro bay nhiệt điện; kháng xâm nhập ion clorua.

ABSTRACT

This study employed the Plackett-Burman experimental design method to optimize the mix proportions of high-durability low-cement concrete for reinforced concrete structures in Vietnam's coastal environment. Duyen Hai fly ash and Formosa ground granulated blast-furnace slag (GGBFS) were utilized as partial replacements for Portland cement. Three factors, comprising the total binder, fly ash and GGBFS contents, were evaluated through 12 experimental mix designs. The results indicate that GGBFS content exerts the most significant effect on the chloride ion penetration resistance, the fly ash content governs the compressive strength of the concrete, while the total binder content has the greatest influence on the splitting tensile strength. The optimal concrete mix proportion was determined to comprise 450 kg/m³ of total binder, 40% GGBFS and 13% fly ash, achieving a 28-day specified compressive strength of 45 MPa, a 28-day splitting

tensile strength of 3.2 MPa and a chloride ion penetrability of 387 Coulombs. The study demonstrates that the Plackett-Burman method is an effective tool for designing and optimizing sustainable low-cement concrete for coastal structures.

Keywords: Low-cement concrete; Plackett-Burman experimental design; design of experiments (DOE); ground granulated blast-furnace slag; fly ash; chloride penetration resistance.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Công trình xây dựng bê tông cốt thép ven biển và hải đảo ở Việt Nam phải làm việc trong môi trường biển có tính xâm thực cao. Trong đó, sự xâm nhập của ion clorua từ nước biển và khí quyển biển được xem là một trong những nguyên nhân chính gây ăn mòn cốt thép, dẫn đến suy giảm độ bền và tuổi thọ công trình [1]. Nghiên cứu đối với các công trình bê tông cốt thép ven biển Việt Nam cho thấy quá trình ăn mòn cốt thép do ion clorua có thể xuất hiện sau 10 - 30 năm khai thác tùy thuộc vào chất lượng bê tông, điều kiện môi trường và chế độ bảo trì công trình [2]. Vì vậy, nghiên cứu các giải pháp nâng cao khả năng kháng xâm nhập ion clorua và kéo dài tuổi thọ kết cấu bê tông cốt thép trong môi trường biển Việt Nam từ việc tối ưu hóa thành phần bê tông độ bền cao sử dụng chất kết dính phụ thêm (SCMs) như tro bay (FA) và xỉ lò cao nghiền mịn (GGBFS) cho công trình ven biển Việt Nam có ý nghĩa khoa học và thực tiễn quan trọng. Việc sử dụng hàm lượng lớn FA và GGBFS để thay thế xi măng poóc-lăng được xem là một giải pháp hiệu quả để giảm lượng dùng xi măng trong bê tông, từ đó giảm phát thải CO₂ và giá thành sản xuất bê tông [3, 4].

Chất kết dính phụ thêm như FA và GGBFS đã được nghiên cứu và ứng dụng rộng rãi trên thế giới nhằm cải thiện cấu trúc vi mô, giảm độ thấm ion clorua và nâng cao độ bền lâu của bê tông [5, 6, 7, 8]. Phản ứng pozzolanic của FA với Ca(OH)₂ sinh ra từ quá trình thủy hóa xi măng, cùng với phản ứng thủy hóa (hydraulic) của GGBFS trong môi trường kiềm, tạo ra thêm C-S-H lấp đầy lỗ rỗng mao quản, giảm đáng kể hệ số khuếch tán ion clorua [9, 10].

Tại Việt Nam, nguồn FA và GGBFS là rất lớn và đang ngày càng tăng. Theo báo cáo của Bộ Xây dựng năm 2025, sản lượng tro xỉ thải ra từ các nhà máy nhiệt điện than trong cả nước vượt 25 triệu tấn/năm và nếu không được tận dụng hiệu quả, tổng lượng tồn trữ có thể đạt 422 triệu tấn vào năm 2030 [11]. Bên cạnh đó, Việt Nam là một trong những nước sản xuất thép hàng đầu khu vực, dẫn đến lượng xỉ lò cao nghiền mịn từ các khu liên hợp gang thép như Formosa Hà Tĩnh ngày càng lớn. Việc sử dụng hai loại chất thải công nghiệp này vừa giải quyết vấn đề môi trường, vừa mang lại giá trị kinh tế cho ngành Xây dựng. Tuy nhiên, hầu hết các nghiên cứu trong nước về bê tông có SCMs thường tập trung vào đánh giá tính chất của từng cấp phối riêng lẻ mà chưa có nhiều ứng dụng hệ thống các công cụ quy hoạch thực nghiệm (DOE) để xác định tối ưu đồng thời nhiều chỉ tiêu kỹ thuật và kinh tế. Phương pháp DOE cho phép với số lượng thí nghiệm ít nhất có thể thu được lượng thông tin tối đa về hệ thống, từ đó xây dựng mô hình hồi quy đáng tin cậy và thực hiện tối ưu hóa đa mục tiêu [12, 13].

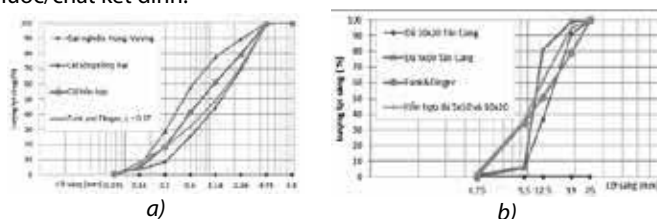
Trong nghiên cứu này, phương pháp quy hoạch thực nghiệm Plackett-Burman Design (PBD) được áp dụng để sàng lọc và đánh giá mức độ ảnh hưởng của các thành phần cấp phối đến các chỉ tiêu cường độ và độ bền của bê tông ít xi măng. Thiết kế PBD cho phép xác định các yếu tố quan trọng với số lượng thí nghiệm hạn chế, qua đó nâng cao hiệu quả nghiên cứu và giảm chi phí thực nghiệm [14]. Với 3 biến số đầu vào (lượng chất kết dính, tỷ lệ GGBFS, tỷ lệ FA) và 3 hàm mục tiêu đầu ra (cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo khi bẻ, điện lượng thấm ion clorua) để lựa chọn cấp phối tối ưu cho bê tông ít xi măng có độ bền cao ứng dụng công trình ven biển tại Việt Nam.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu chế tạo bê tông

Xi măng poóc-lăng PC40 INSEE (XM) được sử dụng, đáp ứng TCVN 2682:2020. Tro bay nhiệt điện loại F (FA) lấy từ Nhà máy nhiệt điện Duyên Hải, đáp ứng TCVN 10302:2014 và ASTM C618. Xỉ lò cao nghiền mịn S95 (GGBFS) được cung cấp bởi Công ty CHC (nghiên từ xỉ Formosa), đáp ứng TCVN 11586:2016.

Cốt liệu nhỏ sử dụng hỗn hợp 50% cát nghiền từ Hùng Vương (đá Andesit) và 50% cát sông Đồng Nai, cốt liệu lớn là đá dăm D_{max} = 20 mm từ hỗn hợp 60% đá cỡ (10×20)mm và 40% đá cỡ (5×10)mm có nguồn gốc từ mỏ Tân Cang - Đồng Nai, có phân bố cỡ hạt được tối ưu trên cơ sở lý thuyết độ đặc của Funk & Dinger [15] với q = 0,37 (Hình 1). Phụ gia siêu dẻo Polycarboxylate thế hệ mới của SilkRoad VINA được sử dụng để duy trì tính công tác trong khi giảm tỷ lệ nước/chất kết dính.



Hình 1. Thành phần cấp phối hạt của: a) - Cốt liệu nhỏ; b) - Cốt liệu lớn

2.2. Thiết kế thí nghiệm theo phương pháp DOE

Nghiên cứu sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm DOE dạng thí nghiệm hai mức. Các biến thí nghiệm và khoảng giá trị được thiết lập:

- Tổng lượng chất kết dính (CKD): 420 kg/m³ và 465 kg/m³;
- Tỷ lệ GGBFS trong tổng CKD: 30% và 40%;
- Tỷ lệ FA trong tổng CKD: 10% và 30%.

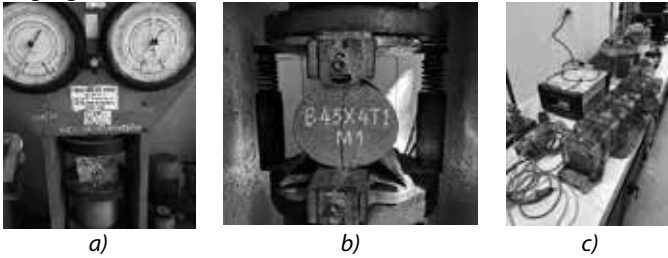
Ma trận thí nghiệm gồm 12 thí nghiệm được ngẫu nhiên hóa thứ tự thực hiện để hạn chế ảnh hưởng của các yếu tố gây nhiễu. Mỗi cấp phối được chế tạo và thử nghiệm theo nguyên tắc lập. Thành phần cấp phối chi tiết được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Thành phần cấp phối bê tông ít xi măng có độ bền cao

Ký hiệu cấp phối	CKD = XM + GGBFS + FA (kg)	GGBFS (kg)	FA (kg)	Nước (lít)	Cát nghiền (kg)	Cát sông (kg)	Đá 5x10 (kg)	Đá 10x20 (kg)	PG (lít)
B45X3T1	465	140	47	150	344	344	420	630	7,0
B35X3T3	420	126	126	158	307	307	420	630	6,3
B45X4T1	465	186	47	150	344	344	420	630	7,0
B45X3T1	465	140	47	150	340	340	420	630	7,0
B35X4T1	420	168	42	150	307	307	420	630	6,3
B45X4T1	465	186	47	150	344	344	420	630	7,0
B35X3T1	420	126	42	150	307	307	420	630	6,3
B35X4T3	420	168	126	150	302	302	420	630	6,3
B45X3T3	465	140	140	155	340	340	420	630	7,0
B45X4T3	465	186	140	155	349	349	420	630	7,0
B35X4T3	420	168	126	150	307	307	420	630	6,3
B35X3T1	420	126	42	150	315	315	420	630	6,3
B45XM100 (đối chứng)	465	-	-	148	360	360	420	630	7,0

2.3. Các phương pháp thí nghiệm

Cường độ chịu nén (R_n) được xác định trên mẫu lập phương ($150 \times 150 \times 150$) mm tại các tuổi 3, 7, 28 và 90 ngày theo TCVN 3118:2022. Cường độ chịu kéo khi bừa (R_{ech}) được xác định trên mẫu trụ (150×300) mm tại các tuổi 3, 7, 28 và 90 ngày theo TCVN 3119:2022. Điện lượng thẩm ion clorua (Q_{s28}) được xác định tại 28 ngày tuổi theo phương pháp TCVN 9337:2012/ASTM C1202 trên mẫu trụ đường kính 100 mm, chiều dày 50 mm, với điện áp một chiều 60V trong 6 giờ.



Hình 2. Các thí nghiệm: a) - Cường độ chịu nén; b) - Cường độ chịu kéo khi bừa; c) - Đo điện lượng thẩm ion clorua

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

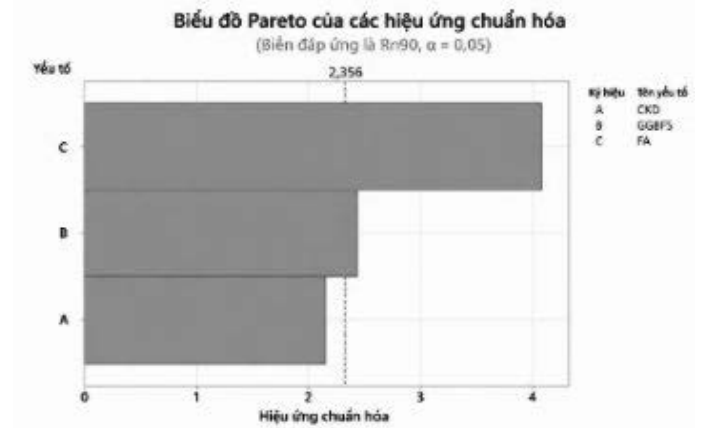
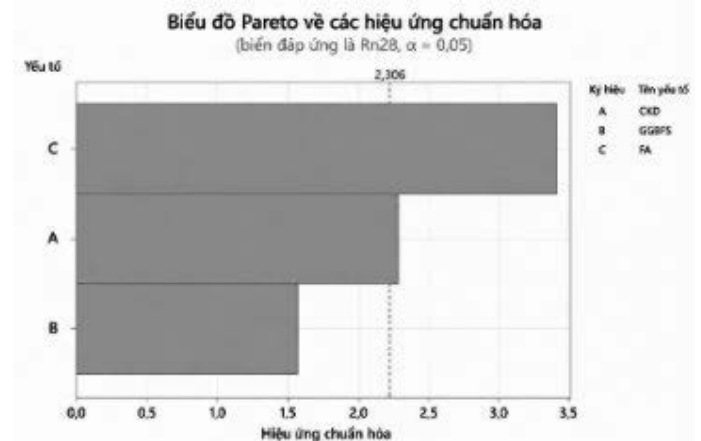
3.1. Cường độ chịu nén

Kết quả cường độ chịu nén của các cấp phối bê tông được trình bày trong Bảng 2. Nhìn chung, tất cả các cấp phối có SCMs đều đạt cường độ nén 28 ngày trong khoảng 39,1 - 47,9 MPa. Cấp phối B45X4T1 đạt cường độ nén 28 ngày cao nhất trong nhóm có phụ gia khoảng với 47,9 MPa, vượt trội so với một số cấp phối khác.

Tốc độ phát triển cường độ ở tuổi sớm (R_{n3}/R_{n28}) của các cấp phối có SCMs dao động từ 0,41 đến 0,55, thấp hơn đáng kể so với mẫu đối chứng B45XM100 (0,64). Điều này phản ánh đặc tính phát triển chậm nhưng bền vững của FA và GGBFS thông qua phản ứng pozzolanic thứ cấp. Tỷ lệ R_{n7}/R_{n28} của các cấp phối đều duy trì ở mức 0,64 - 0,78, cho thấy tốc độ phát triển cường độ khá nhanh; R_{n90}/R_{n28} duy trì ở mức 1,12 - 1,19, cho thấy cường độ ở 90 ngày tăng đáng kể so với bê tông đối chứng (1,09).

Bảng 2. Kết quả thí nghiệm cường độ chịu nén và điện lượng thẩm ion clorua

Ký hiệu hỗn hợp	R_{n3} (MPa)	R_{n7} (MPa)	R_{n28} (MPa)	R_{n90} (MPa)	R_{n3}/R_{n28}	R_{n7}/R_{n28}	R_{n90}/R_{n28}	Q_{s28} (C)
B45X3T1	18,1	29,2	42,5	49,8	0,43	0,69	1,17	644
B35X3T3	19,1	24,9	39,1	46,6	0,49	0,64	1,19	781
B45X4T1	23,3	36,6	47,9	57,0	0,49	0,76	1,19	341
B45X3T1	18,1	29,2	42,5	49,8	0,43	0,69	1,17	486
B35X4T1	22,8	33,6	46,1	53,9	0,49	0,73	1,17	980
B45X4T1	23,3	36,6	47,9	57,0	0,49	0,76	1,19	356
B35X3T1	22,8	28,8	41,2	47,8	0,55	0,70	1,16	360
B35X4T3	21,8	30,7	39,6	46,3	0,55	0,78	1,17	631
B45X3T3	17,9	31,2	42,6	47,8	0,42	0,73	1,12	322
B45X4T3	16,3	30,6	39,9	44,7	0,41	0,77	1,12	967
B35X4T3	21,8	30,7	39,6	46,3	0,55	0,78	1,17	278
B35X3T1	22,8	28,8	41,2	47,8	0,55	0,70	1,16	389
B45XM100 (đối chứng)	36,9	49,9	57,8	63,2	0,64	0,86	1,09	2741



Hình 3. Ảnh hưởng của các yếu tố đầu vào đến R_n theo biểu đồ Pareto

Phân tích Pareto (Hình 3) và phương trình hồi quy (1) cho cường độ chịu nén 28 ngày cho thấy FA ảnh hưởng mạnh đến cường độ, sau đó đến tổng chất kết dính (CKD), cuối cùng là hàm lượng GGBFS. Tương tự như vậy, phương trình (2) cho thấy mô hình có ý nghĩa thống kê và FA là yếu tố ảnh hưởng quan trọng đến phát triển cường độ dài ngày.

$$R_{n28} = 9,4 + 0,0734 \text{ CKD} + 13,8 \text{ GGBFS} - 22,2 \text{ FA} \quad (1)$$

$$R_{n90} = 16,5 + 0,0685 \text{ CKD} + 24,2 \text{ GGBFS} - 30,7 \text{ FA} \quad (2)$$

Trong đó: CKD là tổng lượng chất kết dính (kg/m^3); GGBFS là tỷ lệ xỉ lò cao nghiền mịn (%); FA là tỷ lệ tro bay (%).

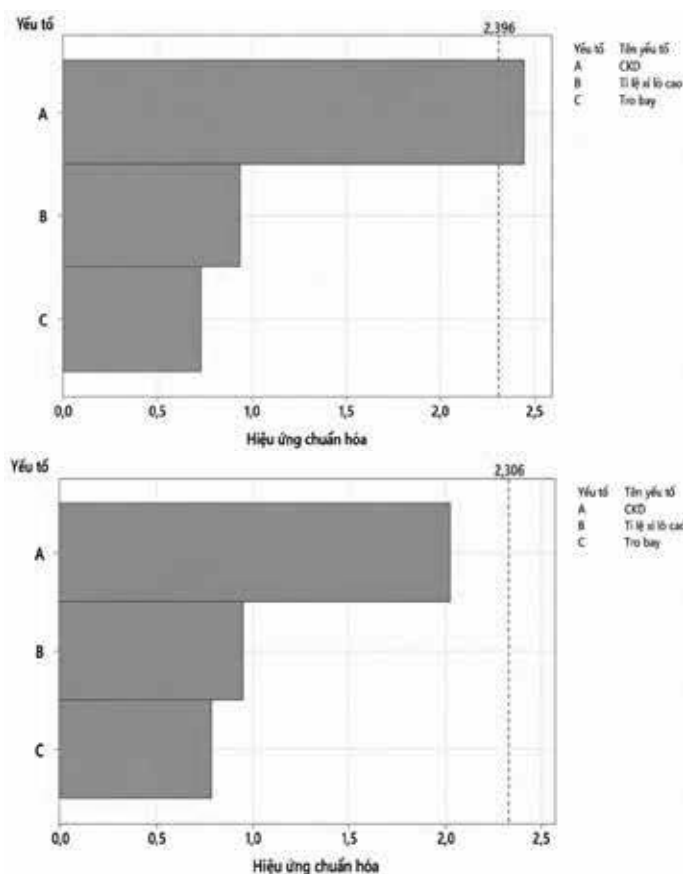
3.2. Cường độ chịu kéo khi bừa

Kết quả cường độ chịu kéo khi bừa trình bày ở Bảng 3 cho thấy xu hướng tương tự như cường độ chịu nén nhưng với sự khác biệt rõ ràng hơn theo tỷ lệ GGBFS. Cấp phối B45X4T1 đạt R_{ech} cao nhất ở 28 ngày là 3,5 MPa, ở tuổi 90 ngày đạt 4,2 MPa vượt cả mẫu đối chứng B45XM100 (4,0 MPa), trong khi đó cấp phối B35X3T1 cho R_{ech28} thấp nhất là 2,6 MPa.

Bảng 3. Kết quả thí nghiệm cường độ chịu kéo khi bừa

Ký hiệu hỗn hợp	R_{ech3} (MPa)	R_{ech7} (MPa)	R_{ech28} (MPa)	R_{ech90} (MPa)
B45X3T1	1,3	2,2	3,1	3,6
B35X3T3	1,3	2,0	3,2	3,8
B45X4T1	1,5	2,5	3,5	4,2
B45X3T1	1,5	2,2	3,1	3,6
B35X4T1	1,7	2,9	3,2	3,7
B45X4T1	1,5	2,5	3,5	4,2

B35X3T1	1,4	1,7	2,6	3,0
B35X4T3	1,7	2,2	2,7	3,2
B45X3T3	1,3	2,2	3,1	3,6
B45X4T3	1,7	2,2	2,7	3,2
B35X4T3	1,7	2,2	2,7	3,2
B35X3T1	1,4	1,7	2,6	3,0
B45XM100 (đối chứng)	2,4	3,0	3,7	4,0



Hình 4. Ảnh hưởng của yếu tố đầu vào đến cường độ chịu kéo khi bừa theo biểu đồ Pareto: R_{ech28} (trái), R_{ech90} (phải)

Phân tích Pareto (Hình 4) và hồi quy cho cường độ chịu kéo khi bừa tuổi 28 ngày (công thức 3) cho thấy CKD là yếu tố ảnh hưởng duy nhất có ý nghĩa thống kê ($P = 0,040$), trong khi GGBFS và FA ở giai đoạn 28 ngày chưa thể hiện ảnh hưởng rõ ràng ($P > 0,05$). Điều này hàm ý rằng cường độ kéo của bê tông tuổi 28 ngày chủ yếu được quyết định bởi chất lượng của pha nền CKD, trong khi đóng góp của SCMs trở nên rõ nét hơn ở tuổi dài hơn.

$$R_{ech28} = -0,94 + 0,00808 \text{ CKD} + 1,39 \text{ GGBFS} - 0,547 \text{ FA} \quad (3)$$

$$R_{ech90} = -1,26 + 0,00963 \text{ CKD} + 2,00 \text{ GGBFS} - 0,830 \text{ FA} \quad (4)$$

Trong đó: CKD là tổng lượng chất kết dính (kg/m^3); GGBFS là tỷ lệ xỉ lò cao nghiền mịn (%); FA là tỷ lệ tro bay (%).

3.3. Điện lượng thẩm ion clorua

Điện lượng thẩm ion clorua (Q_{s28}) là chỉ tiêu quan trọng nhất để đánh giá độ bền lâu của bê tông trong môi trường biển. Theo TCVN 9337:2012/ASTM C1202, bê tông được phân loại theo mức thấm: Không đáng kể ($<100 \text{ C}$), rất thấp ($100 - 1.000 \text{ C}$), thấp ($1.000 - 2.000 \text{ C}$),

vừa phải ($2.000 - 4.000 \text{ C}$) và cao ($>4.000 \text{ C}$). Mẫu đối chứng B45XM100 (100% xỉ măng) sử dụng làm cơ sở so sánh.

Kết quả thực nghiệm cho thấy tất cả các cấp phối có SCMs đều có Q_{s28} thấp hơn đáng kể so với mẫu đối chứng (Bảng 2), và GGBFS là yếu tố có ảnh hưởng mạnh nhất và có ý nghĩa thống kê ($P = 0,045$) đến Q_{s28} . Lượng CKD gần như không ảnh hưởng đến Q_{s28} ($P = 0,883$), phản ánh tầm quan trọng của SCMs trong việc cải thiện khả năng kháng thấm.

$$Q_{s28} = 1272 - 0,33 \text{ CKD} - 2322 \text{ GGBFS} - 796 \text{ FA} \quad (5)$$

Từ phương trình (5), GGBFS có hệ số ảnh hưởng âm lớn nhất (-2322), nghĩa là cứ tăng tỷ lệ GGBFS thêm 10% thì điện lượng thấm giảm khoảng 232,2 cu-lông. Cơ chế chính là GGBFS phản ứng với $\text{Ca}(\text{OH})_2$ tạo thêm C-S-H thứ cấp lấp đầy và làm mịn lỗ rỗng mao quản, đồng thời hình thành $\text{C}_3\text{A} \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (muối Friedel) có khả năng liên kết hóa học ion clorua [9, 16].

3.4. Tối ưu hóa đa mục tiêu và lựa chọn cấp phối tối ưu

Tối ưu hóa đa mục tiêu được thực hiện bằng hàm tổng hợp mong muốn (Composite Desirability Function-hệ số d), kết hợp đồng thời 09 hàm mục tiêu: R_{n3} , R_{n7} , R_{n28} , R_{n90} , R_{ech3} , R_{ech7} , R_{ech28} , R_{ech90} , và Q_{s28} . Các ràng buộc kỹ thuật được thiết lập dựa trên yêu cầu của bê tông độ bền cao theo tiêu chuẩn và yêu cầu dự án sao cho:

$$D = (dQ \cdot dR_{ech3} \cdot dR_{ech7} \cdot dR_{ech28} \cdot dR_{ech90} \cdot dR_{n3} \cdot dR_{n7} \cdot dR_{n28} \cdot dR_{n90})^{1/9} \rightarrow \max \quad (6)$$

Trong đó: d là các hệ số mong muốn của các yếu tố ($0 \leq d \leq 1$); D là hệ số mong muốn đa mục tiêu;

Các mục tiêu thiết kế là R_{n28} đạt là 45MPa, còn Q_{s28} nhỏ nhất có thể, và các mục tiêu khác là đạt cao nhất có thể, với R_n là yếu tố quan trọng nhất ở hàm mục tiêu này.

Kết quả tối ưu hóa đa mục tiêu xác định điểm tối ưu tại: CKD = 450 kg/m^3 , GGBFS = 40%, FA = 13%, với hệ số mong muốn tổng hợp đạt 0,700 và đây là hệ số mong muốn ở mức tốt. Kết quả dự báo chi tiết cho cấp phối tối ưu này được trình bày trong Bảng 4.

Bảng 4. Kết quả dự báo và khoảng tin cậy 95% cho cấp phối tối ưu đa mục tiêu (CKD=450 kg/m^3)

Chỉ tiêu	R_{n3} (MPa)	R_{n7} (MPa)	R_{n28} (MPa)	R_{n90} (MPa)	R_{ech28} (MPa)	Q_{s28} (C)	Điểm tối ưu
Giá trị dự báo (Fit)	21,8	33,9	45,0	53,0	3,2	387	0,700
Khoảng tin cậy 95% CI	20,0~ 23,7	30,9~ 36,8	42,6~ 47,4	50,0~ 56,0	2,9~3, 5	206~5 68	

Điện lượng thẩm dự báo $Q_{s28} = 387$ cu-lông nằm trong mức thấp theo ASTM C1202, thấp hơn đáng kể so với ngưỡng 1.000 cu-lông được quy định cho bê tông kết cấu BTCT bền biển. Cường độ chịu nén 28 ngày dự báo là 45,0 MPa, đáp ứng cường độ đặc trưng và cường độ chịu kéo khi bừa 28 ngày dự báo là 3,2 MPa.

Tuy nhiên, cần lưu ý rằng cấp phối B35X4T1 mặc dù không phải là điểm tối ưu theo hàm đa mục tiêu, lại có cường độ nén 28 ngày cao thứ 2 (46,1 MPa) trong nhóm có SCMs. Tùy theo yêu cầu cụ thể của từng công trình (ưu tiên cường độ hay độ bền lâu), kỹ sư có thể lựa chọn cấp phối phù hợp dựa trên các đường cong hồi quy đã xây dựng.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã ứng dụng thành công phương pháp Plackett-Burman để tối ưu hóa thành phần bê tông ít xỉ măng độ bền cao sử dụng kết hợp tro bay nhiệt điện Duyên Hải và xỉ lò cao nghiền mịn Formosa, tận dụng nguồn chất thải công nghiệp sẵn có cho công trình ven biển tại Việt Nam. Các kết luận chính bao gồm:

(1) Về cường độ cơ học ưu tiên cường độ nén: Cấp phối B45X4T1 có 40% xỉ lò cao nghiền mịn kết hợp với 10% tro bay (CKD = 465 kg) cho cường độ nén 28 ngày cao nhất trong nhóm có sử dụng SCMs, đạt 47,9 MPa và 57,0 MPa ở tuổi 90 ngày, đồng thời có cường độ chịu kéo khi bừa ở 28 ngày tuổi đạt 3,5 MPa. Ngoài ra, kết quả cho thấy hàm lượng FA quyết định cường độ chịu nén, trong khi tổng lượng chất kết dính CKD ảnh hưởng nhiều nhất đến cường độ chịu kéo khi bừa của bê tông.

(2) Về khả năng kháng xâm nhập ion clorua: GGBFS là yếu tố quyết định nhất trong việc cải thiện Q_{s28} . Tất cả các cấp phối có SCMs đều đạt $Q_{s28} < 1000$ cu-lông, đáp ứng tiêu chí bê tông bền biển. Hàm hồi quy $Q_{s28} = 1272 - 0,33 \text{ CKD} - 2322 \text{ GGBFS} - 796 \text{ FA}$ cho phép dự báo điện lượng thẩm theo thành phần cấp phối bê tông.

(3) Về tối ưu hóa đa mục tiêu: Cấp phối tối ưu được xác định là CKD = 450 kg/m³, GGBFS = 40%, FA = 13% với điểm tổng hợp mong muốn là 0,700, cho $R_{n28} = 45$ MPa, $Q_{s28} = 387$ cu-lông (mức thẩm rất thấp). Cấp phối này để xuất để thực hiện mẻ trộn thử nghiệm tại trạm trộn bê tông thương phẩm trước khi đưa vào sản xuất đại trà.

(4) Về ứng dụng phương pháp Plackett-Burman: Phương pháp này tỏ ra rất hiệu quả trong bài toán thiết kế thành phần bê tông có sử dụng SCMs, cho phép đánh giá đồng thời nhiều biến và nhiều hàm mục tiêu với số lượng thí nghiệm tối thiểu. Khuyến nghị phổ biến phương pháp này rộng rãi trong nghiên cứu và phát triển vật liệu xây dựng tại Việt Nam.

Trong các nghiên cứu tiếp theo, cần đánh giá cường độ và độ bền lâu tại tuổi 180 ngày và 360 ngày, đồng thời thực hiện các thử nghiệm dài hạn như chu kỳ khô-ướt, co ngót, kháng sun phát... để đánh giá độ bền thực tế của các cấp phối đã tối ưu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Q. C. Truong, C. Van Nguyen, C.-P. E. Soueidy and E. Bastidas-Arteaga. Service Life Prediction of Reinforced Concrete Coastal Structures in Vietnam Subjected to Chloride Ingress. in ICSCEA 2021, vol. 268, J. N. Reddy, C. M. Wang, V. H. Luong and A. T. Le, Eds., in Lecture Notes in Civil Engineering, vol. 268, Singapore: Springer Nature Singapore, pp. 467-475, 2023, doi: 10.1007/978-981-19-3303-5_40.
- [2] Lê Văn Tuấn và Y. Zheng. Xâm thực ion clo vào bê tông: cơ chế, yếu tố ảnh hưởng và một số phương pháp xác định. Tạp chí KH và CN ĐH Đà Nẵng, tập 3, số 76, tr. 64-67, 2014.
- [3] I. H. Shah, S. A. Miller, D. Jiang and R. J. Myers. Cement substitution with secondary materials can reduce annual global CO₂ emissions by up to 1.3 gigatons, Nat. Commun, vol. 13, no. 1, p. 5758, 2022, doi: 10.1038/s41467-022-33289-7.
- [4] Nguyễn Thanh Sang, Nguyễn Tuấn Anh, Nguyễn Thanh Vũ, Nguyễn Tuấn Khoa và Huỳnh Thị Mỹ Dung. Giảm thiểu phát thải và chỉ số tiêu thụ năng lượng của bê tông nhiều tro bay ở Việt Nam. Tạp chí Xây dựng, số 07, tr. 94-97, 2025.
- [5] R. Luo, Y. Cai, C. Wang and X. Huang. Study of chloride binding and diffusion in GGBS concrete, Cem. Concr. Res., vol. 33, no. 1, pp. 1-7, 2003, doi: 10.1016/S0008-8846(02)00962-2.
- [6] F. Leng, N. Feng and X. Lu. An Experimental Study on the Properties of Resistance to Diffusion of Chloride Ions of Fly Ash and Blast Furnace Slag Concrete. Cem. Concr. Res., vol. 30, no. 6, pp. 989-992, 2000, doi: 10.1016/S0008-8846(00)00250-7.
- [7] A. R. Boğa and İ. B. Topçu. Influence of Fly Ash on Corrosion Resistance and Chloride Ion Permeability of Concrete. Constr. Build. Mater., vol. 31, pp. 258-264, 2012, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2011.12.106.
- [8] Y. Kawabata, T. Sagawa and R. Sato. The Long-Term Suppression Effects of Fly Ash and Slag on the Expansion of Heat-Cured Mortar Due to Delayed Ettringite Formation. Constr. Build. Mater., vol. 310, p. 125263, 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.125263.
- [9] G. De Schutter. Hydration and Temperature Development of Concrete Made with Blast-Furnace Slag Cement. Cem. Concr. Res., vol. 29, no. 1, pp. 143-149, 1999, doi: 10.1016/S0008-8846(98)00171-8.
- [10] T.-P. Huynh, L. S. Ho and Q. V. Ho. Experimental Investigation on the Performance of Concrete Incorporating Fine Dune Sand and Ground Granulated Blast-Furnace Slag. Constr. Build. Mater., vol. 347, p. 128512, 2022, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2022.128512.

[11] Bộ Xây dựng. Báo cáo số 27/BC-BXD ngày 18/02/2025 về kết quả triển khai thực hiện Chỉ thị số 08/CT-TTg ngày 26/3/2021 của Thủ tướng Chính phủ về đẩy mạnh xử lý, sử dụng tro, xỉ, thạch cao của các nhà máy nhiệt điện, hóa chất, phân bón làm nguyên liệu sản xuất vật liệu xây dựng và trong công trình xây dựng, Bộ Xây dựng, Hà Nội, Việt Nam, Báo cáo, 2025.

[12] D. C. Montgomery. Design and Analysis of Experiments. 9th ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2017.

[13] P. Klieger and S. H. Gebler. Fly Ash and Concrete Durability. In Concrete Durability: Proceedings of the Katharine and Bryant Mather International Conference, J. M. Scanlon, Ed., in ACI Special Publication, vol. 100, American Concrete Institute, pp. 1043-1069, 1987, doi: 10.14359/9941.

[14] R. L. Plackett and J. P. Burman. The Design of Optimum Multifactorial Experiments. Biometrika, vol. 33, no. 4, pp. 305-325, 1946, doi: 10.1093/biomet/33.4.305.

[15] J. E. Funk and D. R. Dinger. Predictive Process Control of Crowded Particulate Suspensions: Applied to Ceramic Manufacturing. Boston, MA: Kluwer Academic Publishers, 1994.

[16] Nguyễn Công Thắng và cộng sự. Nghiên cứu chế tạo bê tông chất lượng siêu cao sử dụng hỗn hợp phụ gia khoáng Silica Fume và Tro bay sẵn có ở Việt Nam. Tạp chí KH CNXD, số 2, tr. 24-31, 2013.

Một số đề xuất về định hướng xây dựng, phát triển hệ thống tiêu chuẩn, quy chuẩn kỹ thuật cho đường sắt tốc độ cao tại Việt Nam

Some proposals regarding the direction for developing a system of standards and technical regulations for high-speed rail in Vietnam

> **TS TRẦN THÁI MINH**

Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải
Email: minhht@utt.edu.vn

TÓM TẮT

Phát triển mạng lưới đường sắt tốc độ cao (ĐSTĐC) là một bước đột phá chiến lược nhằm hoàn thiện hạ tầng giao thông quốc gia tại Việt Nam. Để triển khai thành công các dự án quy mô lớn này, việc thiết lập một hệ thống tiêu chuẩn, quy chuẩn kỹ thuật (hệ thống TCQCKT) đồng bộ, tiên tiến là điều kiện tiên quyết. Trên cơ sở kế thừa các kết quả nghiên cứu đã được thực hiện trước đây [4], bài báo tập trung phân tích thực trạng hệ thống TCQCKT ĐSTĐC tại Việt Nam, đồng thời rà soát chi tiết danh mục các TCQCKT dự kiến đề xuất áp dụng cho dự án ĐSTĐC trên trục Bắc - Nam cũng như danh mục tiêu chuẩn đã được chấp thuận áp dụng cho Dự án tuyến ĐSTĐC Hà Nội - Quảng Ninh, qua đó chỉ ra rằng hệ thống quy chuẩn kỹ thuật quốc gia (QCVN), tiêu chuẩn quốc gia (TCVN) chuyên ngành hiện tại mới chỉ đáp ứng được một phần rất nhỏ nhu cầu thực tế. Từ kết quả rà soát các danh mục tiêu chuẩn của các dự án, trên cơ sở đánh giá, so sánh ưu, nhược điểm của các hệ thống tiêu chuẩn lớn trên thế giới về ĐSTĐC và tổng kết kinh nghiệm trong quá trình triển khai các dự án đường sắt đô thị (ĐSĐT), bài báo đề xuất định hướng trong việc áp dụng tiêu chuẩn cho các dự án và lựa chọn căn cứ chính cho việc biên soạn, xây dựng hệ thống TCQCKT ĐSTĐC tại Việt Nam. Bên cạnh đó, nghiên cứu cũng đề xuất lộ trình phát triển phù hợp theo hai giai đoạn nhằm hướng tới mục tiêu làm chủ và phát triển hệ thống TCQCKT ĐSTĐC phù hợp với điều kiện và đặc thù của Việt Nam.

Từ khóa: Đường sắt tốc độ cao; hệ thống tiêu chuẩn; quy chuẩn kỹ thuật; xây dựng tiêu chuẩn.

ABSTRACT

The development of a high-speed railway (HSR) network represents a strategic breakthrough in enhancing Vietnam's national transport infrastructure. To successfully implement these large-scale projects, establishing a comprehensive and advanced system of technical standards and regulations (TSR system) is a prerequisite. Building upon previous research findings [4], this paper analyzes the current state of Vietnam's HSR TSR system and provides a detailed review of the standards and regulations proposed for the North - South HSR project, as well as those approved for the Hanoi - Quang Ninh HSR Line Project. Findings indicate that current national technical regulations (QCVNs) and national standards (TCVNs) meet only a small fraction of practical requirements. By reviewing project standard inventories, comparing major international HSR standard systems and synthesizing lessons from urban railway implementations, the paper proposes strategic orientations for standard selection and identifies the principal basis for developing Vietnam's HSR TSR system. Furthermore, a two-stage development roadmap is recommended to enable Vietnam to master and further develop an HSR TSR system tailored to the country's specific conditions and characteristics.

Keywords: High-speed rail; standard system; technical regulations; standard development.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Mạng lưới giao thông đường sắt hiện hữu của Việt Nam có lịch sử khai thác hơn một thế kỷ, đóng vai trò quan trọng trong việc vận chuyển hành khách và hàng hóa quốc gia. Tuy nhiên, với cấu trúc phần lớn là đường sắt đơn, khổ đường 1.000 mm truyền thống, năng lực vận tải và vận tốc khai thác của hệ thống này đã đạt tới ngưỡng giới hạn, khó đáp ứng được tốc độ phát triển kinh tế - xã hội nhanh chóng của đất nước trong kỷ nguyên mới. Trước yêu cầu cấp bách về việc tối ưu hóa hành lang vận tải huyết mạch Bắc - Nam cũng như việc kết nối các trục đô thị lớn, việc đầu tư xây dựng các tuyến ĐSTĐC trực đôi, khổ đường tiêu chuẩn 1.435 mm, sử dụng công nghệ điện khí hóa hiện đại với vận tốc thiết kế lên đến 350 km/h đã trở thành một quyết sách chiến lược mang tính đột phá của Đảng và Nhà nước Việt Nam.

Trong hoạt động đầu tư xây dựng, hệ thống TCQCKT đóng vai trò hết sức quan trọng, định hình và quyết định toàn bộ quy trình dự án từ khâu lập quy hoạch, khảo sát, thiết kế, thi công xây dựng, nghiệm thu bàn giao cho đến giai đoạn quản lý, vận hành, khai thác và bảo trì hệ thống. Tuy nhiên, do lịch sử ngành Đường sắt Việt Nam lâu nay chỉ gắn liền với dải vận tốc thấp và khổ đường hẹp, hệ thống TCQCKT quốc gia hiện tại đang tồn tại một khoảng trống kỹ thuật rất lớn đối với ĐSTĐC (vận tốc trên 200 km/h). Thêm vào đó, bài học thực tiễn từ các dự án ĐSTĐT được triển khai độc lập bằng nhiều nguồn vốn ODA trong thời gian qua đã bộc lộ nguy cơ phân mảnh công nghệ sâu sắc, đặt ra yêu cầu cấp bách phải sớm có định hướng trong việc xây dựng đồng bộ, thống nhất khung kỹ thuật cho ĐSTĐC. Bài báo này thực hiện một nghiên cứu tổng quan mang tính hệ thống nhằm làm rõ thực trạng pháp lý, đánh giá cơ cấu danh mục tiêu chuẩn ĐSTĐC dự kiến áp dụng tại Việt Nam, phân tích so sánh triết lý kỹ thuật của các trường phái tiêu

Bảng 1. Tổng hợp số lượng các tiêu chuẩn theo nhóm hạng mục kỹ thuật [5]

STT	Tiêu chuẩn	TCVN		Quốc tế/châu Âu		Trung Quốc		Tổng
		TC chính	TC chung có thể áp dụng	TC chính	TC chung có thể áp dụng	TC chính	TC chung có thể áp dụng	
1	Xây dựng kết cấu hạ tầng	25	79	34	0	115	0	253
2	Hệ thống thông tin - tín hiệu và điều khiển	6	5	16	16	13	2	58
3	Hệ thống phương tiện giao thông đường sắt	20	0	50	2	44	0	116
4	Hệ thống, thiết bị cung cấp điện	8	12	14	6	16	0	56
5	Hệ thống bán vé, kiểm soát vé tự động, thẻ vé (AFC)	0	10	1	7	1	0	19
6	Khai thác, vận hành, tích hợp	8	49	17	2	23	1	100
	Cộng	67	155	132	33	212	3	602

Theo cách phân loại của danh mục, 411 tiêu chuẩn được xác định là các tiêu chuẩn chính, chuyên ngành sâu phục vụ trực tiếp cho công nghệ ĐSTĐC gồm 67 TCVN, 132 tiêu chuẩn quốc tế/châu Âu và 212 tiêu chuẩn Trung Quốc. Như vậy, số lượng TCVN mới chỉ chiếm khoảng 16,3%, tỷ lệ này cho thấy mức độ phụ thuộc đáng kể vào các nguồn tiêu chuẩn ngoài nước trong giai đoạn chuẩn bị dự án. Tuy nhiên, tỷ lệ về số lượng không được sử dụng như chỉ số duy nhất để đánh giá mức độ bao phủ về mặt kỹ thuật.

Bên cạnh danh mục 602 tiêu chuẩn đề xuất cho trục Bắc - Nam, Bộ Xây dựng cũng đã có văn bản chấp thuận danh mục các tiêu chuẩn chính áp dụng đối với dự án Tuyến ĐSTĐC Hà Nội - Quảng Ninh trên cơ sở đề xuất của Nhà đầu tư [1]. Danh mục này bao gồm 325 tiêu chuẩn, được phân chia cụ thể theo từng nhóm hạng mục kỹ thuật chi tiết tại Bảng 2

Bảng 2. Số lượng tiêu chuẩn chủ yếu áp dụng cho tuyến ĐSTĐC Hà Nội - Quảng Ninh

STT	Tiêu chuẩn	TCVN, TCCS	Quốc tế/châu Âu (EN, IEC, ISO, TSI, EIA...)	Tổng
A	Tiêu chuẩn thiết kế, thi công và nghiệm thu	137	130	267

chuẩn lớn trên thế giới, tích hợp bài học quản lý từ các dự án đã triển khai, từ đó đề xuất định hướng phát triển và lộ trình xây dựng hệ thống TCQCKT ĐSTĐC khoa học, góp phần nâng cao hiệu quả đầu tư.

2. PHÂN TÍCH THỰC TRẠNG HỆ THỐNG TCQCKT ÁP DỤNG CHO ĐSTĐC TẠI VIỆT NAM

Hệ thống đường sắt Việt Nam được hình thành và phát triển từ năm 1881 với 3 loại khổ đường chính: Khổ hẹp 1.000 mm, khổ tiêu chuẩn 1.435 mm và khổ lồng (kết hợp giữa 1.000 mm và 1.435 mm), trong đó, khổ đường 1.000 mm hiện vẫn chiếm tỷ trọng hơn 80% toàn mạng lưới. Trong giai đoạn trước đây, đa phần các tiêu chuẩn đường sắt được biên soạn dưới dạng tiêu chuẩn ngành, tiêu chuẩn cơ sở (TCCS) để phục vụ khai thác, quản lý và bảo trì hệ thống đường sắt khổ 1.000 mm.

Những năm gần đây, với sự phát triển của hệ thống ĐSTĐT cũng như định hướng đầu tư xây dựng các tuyến ĐSTĐC, Bộ Xây dựng đã chỉ đạo các cơ quan chuyên môn tổ chức biên soạn và trình ban hành nhiều TCVN cho đường sắt khổ 1.435 mm điện khí hóa. Mặc dù vậy, số lượng TCVN đã công bố hiện vẫn chưa thể đáp ứng kịp nhu cầu phát triển nhanh chóng của ngành Đường sắt trong nước, đặc biệt là khi hàng loạt dự án ĐSTĐT và ĐSTĐC đã được phê duyệt chủ trương đầu tư bằng nguồn vốn trong nước.

Để phục vụ công tác chuẩn bị đầu tư và thiết kế kỹ thuật tổng thể cho dự án ĐSTĐC Bắc - Nam [3], Bộ Xây dựng và các cơ quan chuyên môn đã tổ chức rà soát và lập danh mục tiêu chuẩn đề xuất áp dụng cho dự án gồm 602 tiêu chuẩn [5]. Danh mục này được phân chia một cách khoa học thành 6 nhóm hạng mục kỹ thuật cốt lõi bao quát toàn bộ vòng đời của dự án (chi tiết tại Bảng 1).

1	Công trình đường sắt	62	18	80
2	Hệ thống phương tiện	21	50	71
3	Hệ thống thông tin - tín hiệu và điều khiển	8	17	25
4	Hệ thống cơ điện (E&M) và tích hợp giám sát điều hành tập trung	20	18	38
5	Hệ thống cấp điện, điện sức kéo	19	24	43
6	Hệ thống bán vé, kiểm soát vé tự động, thẻ vé (AFC)	7	3	10
B	Tiêu chuẩn vận hành và bảo trì	3	1	4
1	Đánh giá an toàn hệ thống và cảnh báo	0	1	1
2	Vận hành & Bảo trì (O&M)	1	0	1
3	Quy hoạch, kiến trúc	2	0	2
C	Tiêu chuẩn khảo sát, đo đạc	54	0	54
	Cộng	194	131	325

Tuyến ĐSTĐC Hà Nội - Quảng Ninh do Công ty Cổ phần Đầu tư và Phát triển Đường sắt cao tốc Vinspeed làm nhà đầu tư, lựa chọn áp dụng công nghệ đoàn tàu động lực phân tán (EMU) do hãng Siemens (Cộng hòa Liên bang Đức) phát triển - công nghệ tiên tiến tương tự như đang vận hành tại Nhật Bản, Đài Loan và một số quốc gia châu Âu. Chính vì vậy, danh mục tiêu chuẩn được chấp thuận áp dụng cho dự án này chỉ bao gồm TCVN, TCCS và các tiêu chuẩn quốc tế, tiêu chuẩn khu vực châu Âu.

Tổng hợp từ việc rà soát danh mục tiêu chuẩn dự kiến áp dụng cho hai dự án ĐSTĐC nêu trên cho thấy: (i) Việt Nam hiện chưa hình thành một khung tiêu chuẩn ĐSTĐC thống nhất, thay vào đó, khung tiêu chuẩn đang được hình thành theo từng dự án và phụ thuộc đáng kể vào cấu hình công nghệ, mô hình đầu tư; (ii) số lượng tiêu chuẩn cần tiếp tục nghiên cứu, biên soạn thành TCVN là rất lớn; (iii) phân tích kỹ phạm vi và đối tượng áp dụng cụ thể của từng tiêu chuẩn nước ngoài dự kiến áp dụng cho các dự án cho thấy khoảng trống kỹ thuật lớn hiện đang tập trung vào các phân khúc chứa đựng hàm lượng công nghệ cao, các kỹ thuật có yêu cầu phức tạp; (iv) Việt Nam chưa có các QCVN chuyên ngành dành riêng cho ĐSTĐC để thiết lập hành lang pháp lý bắt buộc tuân thủ về mặt kỹ thuật và an toàn.

Trước mắt, việc hệ thống TCVN và QCVN chuyên ngành ĐSTĐC chưa được hoàn thiện đầy đủ không phải là rào cản pháp lý làm chậm tiến độ triển khai các dự án tại Việt Nam. Điều 9 Nghị định số 217/2026/NĐ-CP ngày 19/6/2026 của Chính phủ [2] đã có quy định cho việc áp dụng tiêu chuẩn quốc tế, tiêu chuẩn khu vực, tiêu chuẩn nước ngoài (gọi chung là tiêu chuẩn nước ngoài) đối với dự án. Tuy nhiên, về mặt chiến lược lâu dài, nhằm từng bước nâng cao tỷ lệ nội địa hóa, thúc đẩy ngành công nghiệp phụ trợ và làm chủ công nghệ ĐSTĐC, việc nghiên cứu xây dựng, hoàn thiện hệ thống tiêu chuẩn

quốc gia phù hợp với điều kiện tự nhiên, kinh tế - xã hội đặc thù của Việt Nam là một yêu cầu tất yếu và mang tính chiến lược.

3. SO SÁNH ĐÁNH GIÁ VÀ ĐỊNH HƯỚNG LỰA CHỌN NGUỒN TIÊU CHUẨN THAM CHIẾU

Theo kinh nghiệm xây dựng tiêu chuẩn từ trước đến nay, hệ thống TCQCKT có thể được nghiên cứu, xây dựng dựa trên các nguồn căn cứ chính bao gồm: (1) Tiêu chuẩn quốc tế, tiêu chuẩn khu vực, tiêu chuẩn nước ngoài; (2) kết quả nghiên cứu khoa học và công nghệ, tiến bộ kỹ thuật; (3) kinh nghiệm thực tiễn khai thác, quản lý; (4) kết quả đánh giá, khảo nghiệm, thử nghiệm và kiểm định kỹ thuật. Tuy nhiên, Việt Nam hiện nay chưa có kinh nghiệm thực tiễn trong triển khai xây dựng và vận hành các dự án ĐSTĐC, bên cạnh đó tiềm lực nghiên cứu khoa học - công nghệ chuyên sâu trong nước về lĩnh vực này vẫn còn những hạn chế nhất định và việc triển khai các nghiên cứu hiện trường cần rất nhiều thời gian. Do đó, việc lựa chọn nguồn "Tiêu chuẩn quốc tế, tiêu chuẩn khu vực và tiêu chuẩn nước ngoài" làm nền tảng cốt lõi để biên soạn, hoàn thiện hệ thống TCQCKT ĐSTĐC là giải pháp mang tính khả thi, an toàn và tối ưu nhất.

Trên thế giới hiện nay có thể nhận diện ba cách tiếp cận tiêu biểu đối với phát triển và tiêu chuẩn hóa ĐSTĐC, đại diện bởi Nhật Bản, châu Âu và Trung Quốc. Mỗi trường phái có triết lý thiết kế, mô hình quản lý mang những đặc trưng rất khác biệt [8]. Việc phân tích so sánh các hệ thống tiêu chuẩn này là cơ sở khoa học để Việt Nam lựa chọn hướng đi tối ưu, kết quả phân tích theo các tiêu chí chủ yếu gồm tính phổ biến, tính cạnh tranh và khả năng tiếp cận, tính kết nối và liên thông, mức độ tương thích với hệ thống TCVN hiện hành, thể mạnh công nghệ cốt lõi và mức độ phù hợp với điều kiện triển khai tại Việt Nam được thể hiện chi tiết ở Bảng 3.

Bảng 3. So sánh các hệ thống tiêu chuẩn để lựa chọn làm căn cứ xây dựng TCVN

Nhóm tiêu chí so sánh	Tiêu chuẩn châu Âu	Tiêu chuẩn Trung Quốc	Tiêu chuẩn Nhật Bản
Tính phổ biến	Rất cao (toàn cầu): Áp dụng bắt buộc tại 27 quốc gia EU và nhiều dự án quốc tế đã sử dụng các tiêu chuẩn, yêu cầu kỹ thuật có nguồn gốc châu Âu; là nền tảng của một số bộ tiêu chuẩn ĐSTĐC trên thế giới.	Cao (mạng lưới lớn nhất): Áp dụng trên hơn 47.000 km ĐSTĐC Trung Quốc [6] và xuất khẩu sang một số quốc gia châu Á, châu Phi, Đông Âu.	Trung bình/hạn chế: Áp dụng chủ yếu tại nội địa Nhật Bản; xuất khẩu hạn chế theo các dự án ODA riêng biệt (Đài Loan (Trung Quốc), Ấn Độ...).
Tính cạnh tranh	Rất cao (hệ thống mở): Phân tách rõ ràng giữa các phân hệ (INF, ENE, CCS, LOC&PAS); chống độc	Khá cao: Cạnh tranh tốt trong chuỗi cung ứng Trung Quốc. Tuy nhiên, tiêu chuẩn thiết bị quy định quá chi	Thấp: Mức độ tích hợp cao giữa hạ tầng, phương tiện và hệ thống điều khiển, vận hành có thể dẫn đến phụ thuộc cao vào

	quyền công nghệ, tối ưu hóa đấu thầu quốc tế.	tiết dễ tạo rào cản kỹ thuật với nhà thầu ngoài.	chuỗi cung ứng Nhật Bản; chi phí đầu tư cao, khó đấu thầu mở.
Tính kết nối	Tối ưu: Quy định TSI thiết kế riêng cho khả năng tương thích kỹ thuật và kết nối liên thông xuyên biên giới.	Cao: Kết nối liên thông tốt trên cùng mạng lưới công nghệ chuẩn hóa khổ 1.435 mm.	Hạn chế: Khó kết nối liên thông với các hệ thống khác do tính đồng bộ khép kín đặc thù giữa công trình, điện và tàu Shinkansen.
Khả năng tiếp cận	Rất thuận lợi: Các tài liệu gốc công khai, minh bạch bằng tiếng Anh; hệ thống văn bản đồng bộ, dễ mua bản quyền, dễ tra cứu và biên dịch thành TCVN.	Thuận lợi: Sẵn có bằng tiếng Trung (một số có bản tiếng Anh); dễ tiếp cận với tư vấn Việt Nam. Tuy nhiên, một số chuẩn doanh nghiệp (Q/CR) khó kiểm chứng.	Khó khăn: Bảo hộ bản quyền nghiêm ngặt; nhiều quy định nằm dưới dạng bí quyết công nghệ.
Sự phù hợp, tương thích với hệ thống TCVN	- Tương thích cao: Sử dụng hệ đơn vị SI; cấu trúc tương thích với TCVN; đã có một số TCVN ĐSTĐC biên soạn từ tiêu chuẩn châu Âu. - EN/Eurocodes đã được sử dụng trong hoạt động thiết kế kết cấu tại Việt Nam; tương thích với các phần mềm tính toán hiện đại (Midas, RM, Sofistik...).	- Tương thích cao: Sử dụng hệ đơn vị SI; phân loại tiêu chuẩn phù hợp mô hình quản lý hiện nay ở Việt Nam. - Rất phù hợp ở khâu khảo sát, thi công, xử lý nền đất yếu do một số điều kiện tự nhiên và bài toán kỹ thuật của Trung Quốc có tính tương đồng nhất định với Việt Nam, đặc biệt đối với xử lý nền đất yếu, mưa lớn, lũ, sạt lở và xây dựng hạ tầng trên địa hình phức tạp.	Tương thích trung bình/thấp: Sử dụng hệ đơn vị SI kết hợp ký hiệu công nghiệp JIS riêng; cấu trúc có nhiều điểm khác biệt so với hệ thống TCVN.
Thế mạnh công nghệ cốt lõi	Cơ điện thông minh, tương thích hệ thống và an toàn vòng đời [7]: - Phương pháp luận Quản lý an toàn vòng đời RAMS; - Tương thích điện từ EMC; - Thông tin tín hiệu điều khiển tàu tự động (ETCS); - Phương tiện đầu máy toa xe mở (LOC&PAS); - Hệ thống cấp điện sức kéo (ENE).	Kết cấu hạ tầng công trình và quy trình thi công hiện trường: - Khảo sát địa chất, thủy văn, trắc địa; - Thiết kế, thi công và xử lý nền đường ĐSTĐC trên đất yếu; - Thi công hầm xuyên núi dài, cầu cạn nhịp lớn trong điều kiện nhiệt đới ẩm; - Quy trình định lượng, chi tiết cho thi công và nghiệm thu, bàn giao.	An toàn chủ động và tự động ứng phó thiên tai: - Hệ thống tự động cảnh báo sớm dừng tàu khẩn cấp khi có động đất/thiên tai; - Kiểm soát rung động và đáp ứng động lực học ở mức độ cao; - Độ tin cậy vận hành mật độ cao.
Định hướng ứng dụng trong xây dựng TCQCKT ĐSTĐC ở Việt Nam	Làm căn cứ chính để xây dựng TCVN các nhóm: Cơ điện (E&M), thông tin tín hiệu, phương tiện, cấp điện sức kéo, tương thích điện từ (EMC) và quản lý an toàn hệ thống (RAMS).	Làm căn cứ chính để xây dựng TCVN cho các nhóm: Khảo sát địa chất/thủy văn, thiết kế, thi công và nghiệm thu kết cấu hạ tầng (nền đất yếu, cầu, hầm...).	Tham khảo để bổ sung một số chỉ tiêu kỹ thuật về tự động cảnh báo thiên tai và kiểm soát chấn động đặc thù (nếu phù hợp).

Từ kết quả phân tích so sánh trên, đối với Việt Nam hiện nay, việc lựa chọn tiêu chuẩn châu Âu và quốc tế làm căn cứ chính cho quá trình biên soạn TCQCKT hệ thống cơ điện, thông tin tín hiệu, phương tiện, cấp điện sức kéo và quản lý an toàn vòng đời là lựa chọn phù hợp. Tuy nhiên, đối với các hạng mục công việc mang tính thực địa như khảo sát địa chất, thủy văn, thiết kế và thi công nghiệm thu kết cấu hạ tầng, Việt Nam nên lựa chọn hướng tiếp cận bổ sung và tham chiếu sâu vào hệ thống tiêu chuẩn Trung Quốc để khắc phục nhược điểm thiếu tính chi tiết thực hành của hệ EN và xử lý tốt bài toán lún nền đất yếu trong các điều kiện khí hậu, địa chất tương đồng.

4. ĐỀ XUẤT LỘ TRÌNH PHÁT TRIỂN VÀ LÀM CHỦ HỆ THỐNG TIÊU CHUẨN

Thực tiễn triển khai các dự án ĐSTĐT tại Việt Nam trong hơn một thập kỷ qua cho thấy, việc phụ thuộc vào các nguồn vốn ODA từ nhiều quốc gia tài trợ khác nhau đã dẫn đến tình trạng phân mảnh công nghệ tương đối rõ rệt. Điển hình như tuyến ĐSTĐT số 2A (Cát Linh - Hà Đông) áp dụng hệ thống tiêu chuẩn Trung Quốc; tuyến số 3 (Nhổn - Ga Hà Nội) áp dụng tiêu chuẩn châu Âu; trong khi tuyến

số 1 (Bến Thành - Suối Tiên) lại vận hành theo hệ thống tiêu chuẩn Nhật Bản. Sự khác biệt về nền tảng công nghệ và tiêu chuẩn giữa các dự án làm gia tăng yêu cầu quản lý giao diện, đào tạo, quản lý phụ tùng và năng lực bảo trì, đồng thời đặt ra thách thức đối với khả năng chuẩn hóa và tích hợp hệ thống ở cấp mạng lưới.

Do đó, đối với dự án ĐSTĐC, việc khẩn trương xây dựng hệ thống TCQCKT chủ yếu và thiết lập bộ thông số kỹ thuật cơ bản dùng chung là yêu cầu cấp thiết nhằm bảo đảm tính tương thích, đồng bộ kỹ thuật và khả năng kết nối liên thông giữa các tuyến. Bên cạnh đó, khi Việt Nam chuẩn hóa được các bộ tiêu chuẩn dùng chung ở các cấu phần hạ tầng (như ray, tà vẹt tấm bản, phụ kiện liên kết), tổng nhu cầu vật tư của cả hệ thống ĐSTĐC và ĐSTĐT, đường sắt quốc gia sẽ đạt tới một quy mô đủ lớn. Đây là điều kiện tiên quyết để các doanh nghiệp cơ khí, luyện kim và điện tử trong nước mạnh dạn đầu tư dây chuyền sản xuất, nhận chuyển giao kỹ thuật nhằm từng bước làm chủ công nghệ chế tạo vật tư phụ trợ, hiện thực hóa lộ trình nội địa hóa theo từng giai đoạn của Chính phủ.

Tuy nhiên, quá trình xây dựng một hệ thống TCQCKT ĐSTĐC độc lập, hoàn chỉnh và phù hợp với điều kiện đặc thù của Việt Nam đòi

hồi phải có thời gian dài cùng sự tích lũy kinh nghiệm thực tiễn. Nghiên cứu đề xuất lộ trình phát triển gồm hai giai đoạn mang tính chiến lược như sau:

** Giai đoạn 1: Xây dựng bộ tiêu chuẩn nền tảng phục vụ cho các dự án ĐSTĐC (2026 - 2030):*

- *Mục tiêu:* Giải quyết bài toán tiến độ, kịp thời cung cấp hành lang kỹ thuật đầy đủ cho công tác triển khai các dự án ĐSTĐC tại Việt Nam.

- *Giải pháp thực hiện:*

- Xây dựng khung kiến trúc tổng thể hệ thống QCVN, TCVN lĩnh vực ĐSTĐC của Việt Nam; xác định rõ tài liệu chính làm căn cứ biên soạn của mỗi QCVN, TCVN và đánh giá tính tương thích, đồng bộ; trên cơ sở nguồn lực hiện có, lập kế hoạch xây dựng theo thứ tự ưu tiên.

- Khẩn trương ban hành các QCVN đưa ra các yêu cầu kỹ thuật bắt buộc chung cho ĐSTĐC;

- Tập trung nguồn lực xây dựng các TCVN theo kế hoạch (ưu tiên việc chấp nhận tương đương hoặc tương đương có sửa đổi các tiêu chuẩn nước ngoài); trước mắt tập trung vào các tiêu chuẩn cốt lõi từ hệ thống tiêu chuẩn châu Âu và tiêu chuẩn Trung Quốc sẽ áp dụng cho dự án ĐSTĐC trong thời gian tới. Một số tài liệu có thể xem xét công bố dưới dạng TCCS của chủ thể có thẩm quyền theo quy định để áp dụng cho dự án.

** Giai đoạn 2: Từng bước làm chủ và nội địa hoá hệ thống TCQCKT ĐSTĐC (sau 2030):*

- *Mục tiêu:* Cập nhật, chỉnh sửa và hoàn thiện hệ thống TCVN về ĐSTĐC có tính độc lập cao, mang tính đặc thù của Việt Nam; phát triển các tiêu chuẩn cho các sản phẩm, vật tư nội địa hóa.

- *Giải pháp thực hiện:*

- Tổ chức các chương trình rà soát và sửa đổi, bổ sung các tiêu chuẩn đã ban hành ở giai đoạn 1 dựa trên các dữ liệu thực nghiệm, số liệu quan trắc thu thập được từ quá trình thi công và quản lý, vận hành ĐSTĐC. Hệ thống tiêu chuẩn sẽ được bổ sung các điều kiện biên đặc thù của Việt Nam.

- Thiết lập cơ chế khuyến khích các viện nghiên cứu, trường đại học, các doanh nghiệp phụ trợ trong nước chủ động nghiên cứu và tự công bố TCCS hoặc xây dựng TCVN riêng cho các sản phẩm, vật tư, linh kiện do Việt Nam sản xuất; từng bước nâng cao tỷ lệ nội địa hóa, tự chủ công nghệ cho ngành công nghiệp đường sắt nước nhà theo chiến lược phát triển công nghệ được Thủ tướng Chính phủ phê duyệt.

5. KẾT LUẬN

Xây dựng hệ thống TCQCKT ĐSTĐC tại Việt Nam là một công việc mang tính đa ngành, có độ phức tạp kỹ thuật cực kỳ cao và đòi hỏi tầm nhìn chiến lược dài hạn. Qua kết quả phân tích và thống kê danh mục tiêu chuẩn, bài báo chỉ ra rằng hệ thống TCVN hiện tại chưa đáp ứng được nhu cầu chuyên ngành cốt lõi, việc kết hợp áp dụng trực tiếp các tiêu chuẩn quốc tế và nước ngoài trong giai đoạn đầu của dự án là giải pháp có tính khả thi và phù hợp với quy định của pháp luật hiện hành.

Định hướng lấy hệ tiêu chuẩn châu Âu làm nền tảng kỹ thuật công nghệ cốt lõi kết hợp với tiêu chuẩn Trung Quốc trong công tác khảo sát, thi công nghiệm thu là một định hướng phù hợp, bảo đảm tính mở, tối ưu hóa về mặt công nghệ và quản lý tốt chi phí đầu tư. Lộ trình hai giai đoạn với trọng tâm chuyển dịch nhanh ở giai đoạn đầu và từng bước nội địa hóa, tích hợp các yếu tố đặc thù về khí hậu, địa chất Việt Nam ở giai đoạn sau sẽ giúp nước ta từng bước nâng cao năng lực tự chủ, làm chủ công nghệ và xây dựng thành công mạng lưới ĐSTĐC an toàn, hiện đại, bền vững.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bộ Xây dựng. Văn bản số 4614/BXD-KHCNMT&VLXD ngày 26/3/2026 về việc chấp thuận Danh mục tiêu chuẩn chủ yếu áp dụng cho dự án tuyến đường sắt tốc độ cao Hà Nội - Quảng Ninh. 2026.
- [2] Chính phủ. Nghị định số 217/2026/NĐ-CP ngày 19/6/2026 Quy định chi tiết một số điều của Luật Xây dựng về quản lý hoạt động xây dựng, 2026.
- [3] Quốc hội. Nghị quyết số 172/2024/QH15 về chủ trương đầu tư Dự án đường sắt tốc độ cao trên trục Bắc - Nam, 2024.
- [4] Viện Khoa học và Công nghệ Giao thông vận tải. Báo cáo tổng kết đề tài cấp Bộ GTVT năm 2022 "Nghiên cứu tổng quan tình hình phát triển và hệ thống tiêu chuẩn của đường sắt tốc độ cao trên thế giới, đề xuất định hướng xây dựng hệ thống tiêu chuẩn đường sắt tốc độ cao phù hợp với điều kiện Việt Nam", mã số DT214046, chủ nhiệm: TS Lê Công Thành, 2022.
- [5] Vụ Khoa học công nghệ, Bộ Xây dựng. Môi trường và Vật liệu xây dựng. Báo cáo rà soát hiện trạng Danh mục tiêu chuẩn, quy chuẩn áp dụng cho dự án đường sắt tốc độ cao trên trục Bắc - Nam, ngày 26/01/2026.
- [6] International Union of Railways (UIC). High-Speed Rail Atlas 2025, 7th ed. Paris, France: UIC, 2026, ISBN 978-2-7461-3610-6.
- [7] J. King, G. Nicholson and F. Schmid. State-of-the-art in managing reliability in mega railway projects: A systematic literature review. Safety and Reliability, vol. 42, nos. 2-3, pp. 60-100, 2024, doi: 10.1080/09617353.2023.2284019.
- [8] M. Witte, N. Wilson, R. Fries and H. Wu. Comparison of FRA Regulations to International High-Speed Rail Standards. US Department of Transportation DOT/FRA/ORD-13/30, 2013.

Tối ưu hóa thiết kế dạy học bằng mô hình TPACK và SAMR trong giáo dục nghề nghiệp gắn chuyển đổi số thực chất và hiệu quả

Optimizing instructional design through TPACK and SAMR models in vocational education and training for substantive and effective digital transformation

> THS.NCS NGUYỄN VĂN HUY^{1,*}, TS ĐÌNH QUANG TOÀN²

¹Trường Cao đẳng nghề Công nghiệp Hà Nội

²Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải

*Email: huynv@hnivc.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu giải pháp tối ưu hóa quy trình thiết kế và tổ chức dạy học trong giáo dục nghề nghiệp (GDNN) thông qua việc tích hợp khung năng lực Sư phạm công nghệ nền tảng (TPACK) và mô hình Mức độ tích hợp công nghệ (SAMR). Nhằm cụ thể hóa Quyết định số 2222/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ về chuyển đổi số (CĐS) trong GDNN, nghiên cứu được triển khai thực nghiệm sư phạm đối với mô-đun chuyên ngành Tự động hóa tại Trường Cao đẳng nghề Công nghiệp Hà Nội (HNIVC). Kết quả thực nghiệm cho thấy, việc kết hợp đồng bộ TPACK-SAMR nâng cao năng lực sư phạm số cho đội ngũ nhà giáo và cải thiện rõ rệt năng lực thực hành chuyên môn của sinh viên (tỷ lệ đạt loại giỏi tăng 22%), phát triển tư duy giải quyết sự cố kỹ thuật, đáp ứng nhu cầu tuyển dụng của doanh nghiệp trong thời đại Cách mạng công nghiệp 4.0.

Từ khóa: TPACK; SAMR; giáo dục nghề nghiệp; chuyển đổi số; tự động hóa; đào tạo theo nhu cầu doanh nghiệp.

ABSTRACT

This paper investigates solutions to optimize instructional design and implementation in Vocational Education and Training (VET) by integrating the Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) framework and the Substitution - Augmentation - Modification - Redefinition (SAMR) model. Aligning with Decision No. 2222/QĐ-TTg of the Prime Minister on digital transformation in vocational education and training, a quasi-experimental research was conducted on specialized Automation modules at Hanoi Industrial Vocational College. The empirical findings indicate that the unified TPACK-SAMR approach enhances educators' digital pedagogical competencies and significantly improves students' practical skills (a 22% increase in the rate of excellent performance), fosters troubleshooting mindsets and meets enterprise recruitment standards in the Industry 4.0 era.

Keywords: TPACK; SAMR; vocational education and training; digital transformation; automation; enterprise-oriented training.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

CĐS đang tạo ra những thay đổi mang tính cách mạng đối với hệ thống GDNN tại Việt Nam. Quyết định số 2222/QĐ-TTg ngày 30/12/2021 của Thủ tướng Chính phủ phê duyệt "Chương trình CĐS trong GDNN đến năm 2025, định hướng đến năm 2030" đã khẳng định mục tiêu triển khai các hoạt động GDNN trên môi trường số, đổi mới phương pháp dạy học, kiểm tra, đánh giá nhằm tạo đột phá về chất lượng đào tạo nguồn nhân lực có kỹ năng nghề. Chương trình đặt ra các chỉ tiêu cụ thể: Phấn đấu 100% nhà giáo và cán bộ quản lý được đào tạo bổ sung nâng cao năng lực số vào năm 2030; 100% chuẩn đầu ra chương trình đào tạo tích hợp năng lực số và 100% các trường chất lượng cao trở thành trường học số [2, 3].

Tuy nhiên, thực tiễn ứng dụng công nghệ tại nhiều cơ sở GDNN hiện nay cho thấy việc CĐS còn mang tính tự phát, rời rạc và thiên về hình thức. Nhiều bài giảng kỹ thuật mới dừng lại ở mức sử dụng công nghệ để trình chiếu slide hoặc video minh họa đơn thuần, chưa làm thay đổi bản chất phương pháp sư phạm hay gia tăng chiều sâu năng lực thực hành nghề nghiệp cho người học [7]. Đứng trước yêu cầu của cuộc Cách mạng công nghiệp 4.0, đặc biệt đối với các ngành kỹ thuật mũi nhọn như Tự động hóa, Cơ điện tử, Ô tô..., sinh viên không chỉ cần nắm vững kiến thức lý thuyết mà phải làm chủ các công nghệ số, phần mềm mô phỏng công nghiệp và hệ thống điều khiển thực tế.

Để giải quyết bài toán CĐS thực chất và hiệu quả, hai mô hình lý thuyết đang được quan tâm là Khung năng lực Kiến thức sư phạm

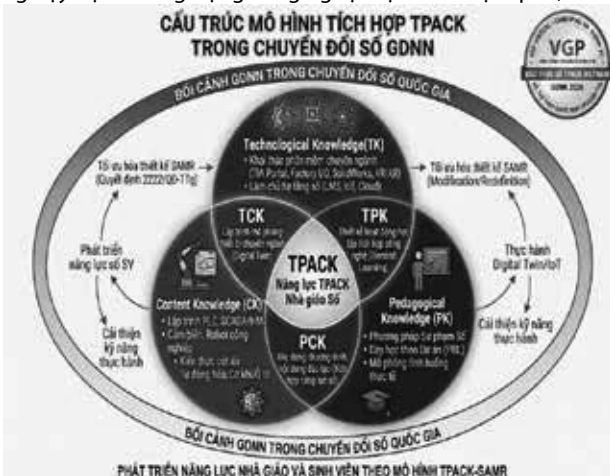
Công nghệ nền tảng (TPACK) [9] và Mô hình Mức độ tích hợp công nghệ (SAMR) [10]. TPACK mô tả năng lực tổng hợp cần có của nhà giáo, trong khi SAMR là thang đo đánh giá mức độ tác động của công nghệ đến hoạt động dạy và học. Sự kết hợp hai mô hình này cung cấp một cơ sở khoa học sự phạm vững chắc để thiết kế dạy học hiệu quả trong bối cảnh số hóa.

Bài báo này tập trung nghiên cứu giải pháp tối ưu hóa thiết kế dạy học thông qua mô hình tích hợp TPACK-SAMR, áp dụng thực nghiệm tại Trường Cao đẳng nghề Công nghiệp Hà Nội (HNIVC) nhằm nâng cao chất lượng đào tạo đáp ứng nhu cầu doanh nghiệp.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VỀ MÔ HÌNH TPACK VÀ SAMR TRONG ĐÀO TẠO KỸ THUẬT

2.1. Khung năng lực TPACK trong dạy học nghề kỹ thuật

Mô hình TPACK (Technological Pedagogical Content Knowledge) do Mishra và Koehler đề xuất (2006) [9], mô tả mối quan hệ tương tác phức hợp giữa 3 thành tố kiến thức cơ bản: Kiến thức chuyên môn (Content Knowledge - CK), Kiến thức sư phạm (Pedagogical Knowledge - PK) và Kiến thức công nghệ (Technological Knowledge - TK). Sự giao thoa của 3 vùng kiến thức này tạo nên năng lực tổng hợp TPACK - khả năng thiết kế các hoạt động dạy học có ứng dụng công nghệ một cách hiệu quả (Hình 1).



Hình 1. Cấu trúc mô hình tích hợp TPACK

Nguồn: Tác giả đề xuất.

* Trong đào tạo nghề kỹ thuật, khung TPACK đòi hỏi giảng viên:

- **Kiến thức chuyên môn (CK):** Nắm vững kiến thức cốt lõi về lập trình điều khiển PLC, hệ thống giám sát SCADA/HMI, cảm biến, robot công nghiệp và truyền động điện.

- **Kiến thức sư phạm (PK):** Vận dụng linh hoạt các phương pháp sư phạm tích cực, định hướng hành động như dạy học theo dự án (PBL), dạy học giải quyết vấn đề và mô phỏng sự cố.

- **Kiến thức công nghệ (TK):** Làm chủ các phần mềm lập trình công nghiệp, phần mềm mô phỏng 3D (TIA Portal, Factory I/O, FluidSIM), nền tảng IoT và các hệ thống học tập trực tuyến (LMS).

2.2. Mô hình SAMR và các mức độ tích hợp công nghệ

Mô hình SAMR do Ruben Puentedura (2010) [10] phát triển, cung cấp một thang đo 4 mức độ nhằm đánh giá tác động của công nghệ đối với việc đổi mới hoạt động dạy và học:

- **Thay thế (Substitution):** Công nghệ thay thế trực tiếp công cụ truyền thống mà không làm thay đổi chức năng hay phương pháp sư phạm.

- **Tăng cường (Augmentation):** Công nghệ thay thế và cải tiến trực tiếp chức năng, gia tăng tính tương tác và hiệu quả học tập.

- **Sửa đổi (Modification):** Công nghệ cho phép tái thiết kế đáng kể các nhiệm vụ học tập.

- **Thay đổi hoàn toàn (Redefinition):** Công nghệ tạo ra các nhiệm vụ học tập mới hoàn toàn mà trước đó nếu không có công nghệ thì không thể thực hiện được [8].

2.3. Nguyên lý tích hợp mô hình TPACK-SAMR trong GDNN

Nếu TPACK đại diện cho năng lực tổng hợp của nhà giáo (điều kiện cần) thì SAMR đóng vai trò là công cụ định hướng và đo lường mức độ CDS của hoạt động dạy học (điều kiện đủ). Việc tích hợp hai mô hình tạo nên cấu trúc 3 lớp chặt chẽ (Hình 2).



Hình 2. Nguyên lý tích hợp mô hình TPACK-SAMR trong GDNN

Nguồn: Tác giả đề xuất.

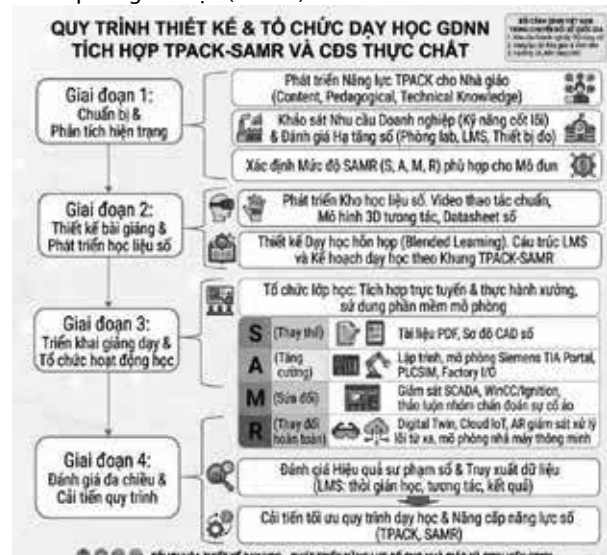
- **Lớp 1 - Năng lực nhà giáo (TPACK):** Nhà giáo làm chủ tri thức chuyên ngành, phương pháp sư phạm và công cụ số.

- **Lớp 2 - Thiết kế hoạt động học tập (SAMR):** Chuyển dịch mức độ ứng dụng công nghệ từ Substitution/Augmentation (hỗ trợ lý thuyết) lên Modification/Redefinition (biến đổi bản chất thực hành).

- **Lớp 3 - Đầu ra năng lực:** Người học phát triển tư duy kỹ thuật, kỹ năng thực hành và năng lực thích ứng với môi trường nhà máy thông minh [11].

3. QUY TRÌNH THIẾT KẾ VÀ TỔ CHỨC DẠY HỌC MÔ-ĐUN CHUYÊN NGÀNH TỰ ĐỘNG HÓA TẠI HNIVC THEO MÔ HÌNH TPACK-SAMR

Quy trình thiết kế và tổ chức dạy học mô-đun chuyên ngành Tự động hóa tại Trường Cao đẳng nghề Công nghiệp Hà Nội được chuẩn hóa qua 4 giai đoạn (Hình 3).



Hình 3. Sơ đồ quy trình thiết kế và tổ chức dạy học tích hợp TPACK-SAMR

Nguồn: Tác giả đề xuất.

3.1. Giai đoạn 1: Chuẩn bị và phân tích hiện trạng

- **Bồi dưỡng năng lực TPACK:** Tổ chức tập huấn cho giảng viên về kỹ năng sử dụng phần mềm chuyên ngành kết hợp phương pháp sư phạm số.

- **Khảo sát nhu cầu doanh nghiệp (CK):** Xác định các công nghệ cốt lõi doanh nghiệp đang vận hành (Siemens, Mitsubishi, Schneider...) và các chuẩn năng lực thực tế cần đáp ứng [5].

- **Đánh giá hạ tầng:** Kiểm tra hệ thống phòng lab, LMS Canvas/Moodle và kết nối mạng.

3.2. Giai đoạn 2: Thiết kế bài giảng và phát triển học liệu số

Xây dựng kế hoạch bài giảng theo mô hình học tập hỗn hợp (Blended Learning). Phát triển hệ thống học liệu số gồm video thao tác chuẩn, bản vẽ CAD/CAM, mô hình 3D và bài tập tình huống thực tế. Áp dụng chu trình trải nghiệm số 4 bước (Hình 4).



Hình 4. Chu trình trải nghiệm số 4 bước thiết kế bài giảng và phát triển học liệu số
Nguồn: Tác giả tổng hợp.

3.3. Giai đoạn 3: Triển khai giảng dạy và tích hợp công nghệ theo thang SAMR

Công nghệ được tích hợp vào các hoạt động dạy học mô-đun "Lập trình và giám sát hệ thống Tự động hóa" tại HNIVC được thể hiện cụ thể tại Bảng 1.

Bảng 1. Khung tích hợp công nghệ theo mô hình SAMR trong mô-đun môn học Tự động hóa tại HNIVC

TT	Mức độ SAMR	Hoạt động dạy học môn Tự động hóa tại HNIVC	Công cụ công nghệ ứng dụng
1	Thay thế (Substitution)	Sinh viên truy cập và nghiên cứu giáo trình số, sơ đồ mạch CAD, tài liệu kỹ thuật thiết bị (Datasheet) định dạng PDF trên LMS thay cho tài liệu giấy.	LMS Canvas/Moodle, Google Drive, PDF Readers.
2	Tăng cường (Augmentation)	Sinh viên trực tiếp lập trình, mô phỏng kiểm tra thuật toán điều khiển và chạy thử nghiệm các kịch bản tự động hóa trên máy tính trước khi đấu nối phần cứng thật.	Siemens TIA Portal, Factory I/O, FluidSIM, PLCSIM.
3	Sửa đổi (Modification)	Thiết kế tích hợp giao diện HMI/SCADA thực tế kết nối trực tiếp vào mô hình nhà xưởng ảo 3D; thảo luận nhóm trực tuyến để tối ưu hóa chu kỳ sản xuất và chẩn đoán sự cố phức tạp.	SCADA Ignition, WinCC, Modbus TCP/IP, Ethernet.
4	Thay đổi hoàn toàn (Redefinition)	Xây dựng hệ thống "Bản sao số" (Digital Twin) mô phỏng chính xác hoạt động của dây chuyền nhà máy thông minh, kết nối dữ liệu Cloud IoT để giám sát và xử lý lỗi từ xa.	Node-RED, AWS IoT, Cloud Dashboard, kính AR.

Nguồn: Tác giả đề xuất.

3.4. Giai đoạn 4: Đánh giá và cải tiến quy trình

Thực hiện đánh giá đa chiều kết hợp 3 bên: Giảng viên (đánh giá chuyên môn, kỹ năng), Sinh viên (tự đánh giá qua nhật ký học tập điện tử) và Chuyên gia doanh nghiệp (đánh giá tính thực tiễn). Dữ liệu học tập trên LMS được truy xuất tự động để phân tích mức độ đạt chuẩn đầu ra, làm cơ sở điều chỉnh bài giảng.

4. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM SƯ PHẠM VÀ THẢO LUẬN

4.1. Thiết kế thực nghiệm

Nghiên cứu tiến hành thực nghiệm đối chứng trên hai lớp sinh viên cao đẳng ngành công nghệ Tự động hóa tại HNIVC:

- **Lớp thực nghiệm (TN):** Giảng dạy theo mô hình tích hợp TPACK-SAMR kết hợp Blended Learning và PBL (28 sinh viên).

- **Lớp đối chứng (ĐC):** Giảng dạy theo phương pháp tích hợp truyền thống (27 sinh viên).

4.2. Kết quả định lượng về năng lực thực hành chuyên môn

Sau thời gian thực nghiệm, dữ liệu đánh giá bài kiểm tra kỹ năng thực hành nghề được thu thập và xử lý thống kê. Kết quả so sánh giữa hai lớp được trình bày tại Bảng 2.

Bảng 2. Thống kê kết quả đánh giá kỹ năng thực hành của sinh viên

TT	Tiêu chí đánh giá	Lớp đối chứng (ĐC)	Lớp thực nghiệm (TN)	Mức độ chênh lệch
1	Tỷ lệ đạt loại Giỏi/Xuất sắc (%)	38,5	60,5	+ 22,0%
2	Tỷ lệ đạt loại Khá (%)	42,0	31,5	- 10,5%
3	Tỷ lệ Trung bình/Yếu (%)	19,5	8,0	- 11,5%
4	Điểm trung bình bài kiểm tra kỹ năng (thang điểm 10)	7,12	8,35	+ 1,23 điểm
5	Thời gian chẩn đoán và xử lý sự cố trung bình (phút)	28,5	16,2	- 12,3 phút

Nguồn: Phòng Đào tạo HNIVC.

** Kết quả Bảng 2 chỉ ra rằng:*

- Năng lực thực hành nghề: Tỷ lệ sinh viên đạt loại Giỏi/Xuất sắc ở lớp thực nghiệm tăng 22% so với lớp đối chứng.

- Tư duy xử lý sự cố: Việc được rèn luyện trên các mô hình mô phỏng ở mức Sửa đổi (Modification) và Thay đổi hoàn toàn (Redefinition) giúp sinh viên lớp thực nghiệm giảm bớt 12,3 phút trong việc phát hiện và khắc phục lỗi kỹ thuật.

4.3. Kết quả định tính

- *Về phía sinh viên:* Sinh viên chủ động, tự tin trong việc thao tác trên thiết bị thực tế, không còn tâm lý e ngại hư hỏng phần cứng nhờ đã làm chủ các kịch bản lập trình trên mô hình mô phỏng 3D và Digital Twin.

- *Về phía nhà giáo:* Mô hình giúp nhà giáo định hình rõ con đường chuyển đổi phương pháp sư phạm, từ bỏ thói quen ứng dụng công nghệ mang tính hình thức, nâng cao năng lực sư phạm số một cách bền vững.

4.4. Thảo luận về điều kiện triển khai

Thực tiễn triển khai cho thấy CDS theo mô hình TPACK-SAMR đòi hỏi:

- Nhà trường phải bố trí nguồn lực đầu tư hạ tầng mạng, bản quyền phần mềm mô phỏng công nghiệp và hệ thống LMS đồng bộ.

- Giảng viên cần được đào tạo liên tục để cập nhật các công nghệ mới (IoT, AI, Digital Twin).

- Đẩy mạnh đối tác công - tư (PPP) với doanh nghiệp để cập nhật chuẩn kiến thức và bài toán thực tế vào nội dung giảng dạy.

5. KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ

5.1. Kết luận

Mô hình tích hợp TPACK và SAMR cung cấp khung giải pháp sư phạm hoàn chỉnh, giúp tối ưu hóa thiết kế dạy học trong GDNN theo hướng CDS thực chất và hiệu quả. Thực nghiệm tại Trường Cao đẳng nghề Công nghiệp Hà Nội chứng minh mô hình này không chỉ giúp hoàn thiện năng lực sư phạm số của nhà giáo mà còn nâng cao rõ rệt chất lượng kỹ năng nghề, tư duy giải quyết sự cố và khả năng thích ứng của người học đối với yêu cầu của doanh nghiệp. Kết quả này đóng góp một minh chứng thực tiễn quan trọng nhằm cụ thể hóa các mục tiêu của Quyết định 2222/QĐ-TTg trong hệ thống GDNN.

** Hạn chế của nghiên cứu:*

- Quy mô thực nghiệm: Mẫu nghiên cứu mới dừng lại ở 55 sinh viên thuộc mô-đun Tự động hóa tại HNIVC, chưa mang tính đại diện cho toàn bộ các ngành nghề GDNN.

- Hạ tầng công nghệ: Nghiên cứu phụ thuộc vào điều kiện hạ tầng kỹ thuật và phần mềm bản quyền sẵn có của nhà trường, chưa đánh giá hết rào cản tại các cơ sở GDNN thiếu hụt tài nguyên.

- Thời gian theo dõi: Chưa đánh giá được tác động dài hạn của mô hình đối với năng lực làm việc thực tế của sinh viên sau khi tốt nghiệp tại doanh nghiệp.

** Hướng phát triển tiếp theo:*

- Mở rộng phạm vi: Mở rộng thực nghiệm trên các nhóm ngành kỹ thuật khác (Công nghệ ô tô, Cơ điện tử, Điện - Điện tử) và nhân rộng mô hình tới nhiều cơ sở GDNN đa dạng về hạ tầng.

- Tích hợp công nghệ mới: Đưa các công nghệ 4.0 tiên tiến như Trí tuệ nhân tạo (AI), Bản sao số (Digital Twin) và Thực tế ảo tăng cường (AR/VR) vào các mức độ SAMR nâng cao.

- Khảo sát vết vết làm việc: Triển khai nghiên cứu dọc (longitudinal study) theo dõi, đánh giá mức độ đáp ứng công việc và sự thăng tiến của sinh viên tại doanh nghiệp sau 1 - 3 năm ra trường.

5.2. Khuyến nghị

- *Đối với cơ quan quản lý:* Đặc biệt là Bộ Giáo dục và Đào tạo cần ban hành các bộ tiêu chí chuẩn hóa về trường học số, học liệu số và khung năng lực số cho nhà giáo GDNN.

- *Đối với các cơ sở GDNN:* Tăng cường đầu tư hạ tầng phần mềm mô phỏng chuyên ngành; tổ chức bồi dưỡng năng lực TPACK định kỳ cho đội ngũ nhà giáo, đồng thời có thể nhân rộng mô hình ra các cơ sở GDNN khác, đặc biệt là ở các vùng khó khăn về hạ tầng công nghệ.

- *Đối với doanh nghiệp:* Tích cực hợp tác với nhà trường trong việc chia sẻ dữ liệu thực tế, hỗ trợ hạ tầng thực tế ảo và tham gia đánh giá đầu ra của người học.

Lời cảm ơn: Tác giả xin chân thành cảm ơn Ban Giám hiệu và các đồng nghiệp tại Trường Cao đẳng nghề Công nghiệp Hà Nội (HNIVC) đã hỗ trợ, tạo điều kiện thuận lợi về hạ tầng và lớp thực nghiệm để hoàn thành nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bộ Chính trị. Nghị quyết số 57-NQ/TW ngày 22/12/2024 về đột phá phát triển khoa học, công nghệ, đổi mới sáng tạo và chuyển đổi số quốc gia, 2024.
- [2] Chính phủ. Quyết định số 2222/QĐ-TTg ngày 30/12/2021 Phê duyệt Chương trình chuyển đổi số trong giáo dục nghề nghiệp đến năm 2025, định hướng đến năm 2030, Hà Nội, Cổng Thông tin điện tử Chính phủ, 2021. Internet: <https://chinhphu.vn> (truy cập: tháng 4/2026).
- [3] Bộ Giáo dục và Đào tạo. Thông tư số 02/2025/TT-BGDĐT ngày 24/01/2025 Quy định Khung năng lực số cho người học, Hà Nội, 2025.
- [4] Tổng cục Giáo dục nghề nghiệp. Cẩm nang hướng dẫn tổ chức đào tạo trực tuyến trong GDNN, Hà Nội, 2020.
- [5] Trường Cao đẳng nghề Công nghiệp Hà Nội. Chương trình đào tạo ngành Công nghệ tự động hóa, Hà Nội, 2025.
- [6] Nguyễn Văn Huy HNIVC. Tổng quan vấn đề nghiên cứu về chuyển đổi số ở các cơ sở GDNN tại Việt Nam trong giảng dạy - học tập. Tạp chí thiết bị Giáo dục, số 331(6), tr. 303-304, 2025.
- [7] Nguyễn Văn Huy HNIVC. Ứng dụng mô hình tích hợp TPACK và SAMR trong dạy học nhằm phát triển năng lực cho sinh viên GDNN. Tạp chí thiết bị Giáo dục, số 343(12), tr. 14-17, 2025.
- [8] Hamilton, E. R., Rosenberg, J. M., & Akcaoglu, M. The Substitution Augmentation Modification Redefinition (SAMR) Model: A critical review and suggestions for its use. TechTrends, 60(5), 433-441, 2016, <https://doi.org/10.1007/s11528-016-0091-y>.
- [9] P. Mishra and M. J. Koehler. Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. Teachers College Record, vol. 108, no. 6, pp. 1017-1054, 2006, doi: 10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x.
- [10] R. R. Puentedura. SAMR: A brief introduction. Hippasus, 2010. Internet: <http://hippasus.com/rrpweblog/> (accessed: 3/2026).
- [11] M. Schmid, E. Brianza and D. Petko. Developing a short questionnaire to measure Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) and assess pre-service teachers' readiness. Journal of Computer Assisted Learning, vol. 37, no. 6, pp. 1658-1672, 2021, doi: 10.1111/jcal.12572.

Ứng dụng WebGIS xây dựng cơ sở dữ liệu đất thủy lợi phục vụ công tác quản lý đất đai của chính quyền trên địa bàn tỉnh Đồng Tháp

WebGIS application is used to build a database of irrigated land to serve land management work of the government in Dong Thap province

> THS NGUYỄN THỊ HẢI YẾN^{1,*}, THS LÊ HOÀNG BẢO NGÔN²

¹Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP Hồ Chí Minh

²Chi cục Thủy lợi tỉnh Đồng Tháp

*Email: nthyen@hcmunre.edu.vn

TÓM TẮT

Công tác quản lý đất thủy lợi và công trình thủy lợi đóng vai trò quan trọng trong phát triển nông nghiệp và quản lý tài nguyên tại địa phương trên địa bàn tỉnh Đồng Tháp. Tuy nhiên, việc lưu trữ, cập nhật và khai thác thông tin đất thủy lợi hiện nay còn nhiều hạn chế do phụ thuộc vào phương pháp truyền thống. Hệ thống WebGIS được phát triển với mục tiêu cung cấp công cụ tra cứu thông tin về hệ thống công trình thủy lợi trên nền tảng Internet, tạo điều kiện cho người dân và cơ quan quản lý tiếp cận dữ liệu một cách thuận tiện. Hệ thống này không chỉ hỗ trợ công tác quản lý mà còn hướng đến đa dạng đối tượng người dùng, góp phần nâng cao hiệu quả khai thác tài nguyên nước và phát triển kinh tế nông nghiệp bền vững. Các chức năng chính bao gồm: Hiển thị bản đồ chuyên đề, tìm kiếm thông tin công trình thủy lợi (kênh mương, cống, đập...), truy vấn dữ liệu không gian và hỗ trợ phân tích phục vụ công tác quản lý.

Từ khóa: Đất thủy lợi; WebGIS; Đồng Tháp; chuyển đổi số trong quản lý đất đai.

ABSTRACT

The management of irrigation land and irrigation works plays a crucial role in agricultural development and local resource management in Dong Thap province (new). However, the current storage, updating and exploitation of irrigation land information are limited due to reliance on traditional methods. The WebGIS system was developed with the goal of providing a tool for searching information about irrigation systems on the Internet, facilitating convenient access to data for both citizens and management agencies. This system not only supports management but also targets a diverse range of users, contributing to improved water resource exploitation and sustainable agricultural economic development. Its main functions include: Displaying thematic maps, searching for information on irrigation works (canals, culverts, dams, etc.), querying spatial data and supporting analysis for management purposes.

Keywords: Irrigated land; WebGIS; Dong Thap province (new); digital transformation in land management.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, trên địa bàn tỉnh Đồng Tháp, việc lưu trữ và quản lý thông tin công trình thủy lợi, trạng thái vận hành cũng như dữ liệu thủy văn do nhiều cấp quản lý khác nhau. Bên cạnh đó, việc quản lý lưu trữ này vẫn chủ yếu thực hiện bằng hồ sơ giấy hoặc các tệp dữ liệu rời rạc, gây khó khăn trong tra cứu, cập nhật và tổng hợp thông tin. Điều này làm hạn chế hiệu quả trong công tác quản lý, vận hành và duy tu hệ thống công trình thủy lợi [5].

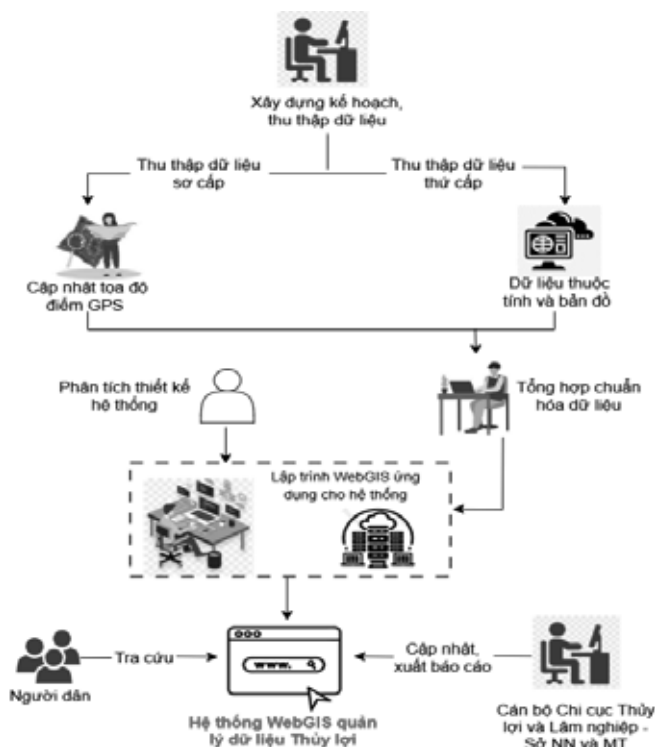
Cùng với sự phát triển của hệ thống thông tin địa lý (GIS) như hiện nay, đặc biệt là WebGIS - một hệ thống GIS triển khai trên nền tảng web cho phép truy cập, chia sẻ, cập nhật và quản lý dữ liệu không gian một cách linh hoạt, hiệu quả, góp phần nâng cao hiệu

quả quản lý và hỗ trợ ra quyết định trong lĩnh vực quản lý đất thủy lợi và công trình thủy lợi.

Vi vậy, tác giả đã dựa trên các quy định hiện hành để xây dựng một hệ thống WebGIS hiển thị các lớp dữ liệu và cung cấp thông tin về đất thủy lợi, hỗ trợ quản lý, lưu trữ và tra cứu hiệu quả. Hệ thống cung cấp thông tin thuộc tính về đất thủy lợi và hệ thống công trình thủy lợi do Nhà nước quản lý, đồng thời cho phép cơ quan chức năng cập nhật, chỉnh sửa dữ liệu. Hệ thống WebGIS được nghiên cứu xây dựng thử nghiệm bằng các phần mềm mã nguồn mở [1, 2].

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Quy trình thực hiện



Hình 1. Quy trình xây dựng WebGIS quản lý cơ sở dữ liệu đất thủy lợi [4]

2.1.1. Xây dựng kế hoạch và thu thập dữ liệu

Quá trình xây dựng hệ thống WebGIS bắt đầu với việc lập kế hoạch và thu thập dữ liệu. Đây là bước quan trọng nhằm đảm bảo hệ thống có đầy đủ thông tin chính xác và đáng tin cậy để phục vụ công tác quản lý và tra cứu. Dữ liệu được thu thập từ hai nguồn:

- Dữ liệu sơ cấp: Nhóm tác giả tiến hành thu thập trực tiếp ngoài thực địa thông qua khảo sát, đo đạc thực tế, ghi nhận các thông tin quan trọng như tọa độ GNSS của các đối tượng.



a) - Lớp cống



b) - Lớp đất thủy lợi



c) - Lớp kênh mương

Hình 2. Các lớp dữ liệu sau khi thu thập và chuẩn hóa

- Dữ liệu thứ cấp: Thu thập từ các nguồn tài liệu có sẵn như bản đồ nền (bản đồ HTSDĐ, bản đồ hiện trạng thủy lợi...), dữ liệu về hệ thống công trình thủy lợi từ cơ quan nhà nước, các tài liệu báo cáo, số liệu thống kê từ Sở Nông nghiệp và Môi trường tỉnh Tiền Giang, Chi cục Thủy lợi và Lâm nghiệp, các đơn vị liên quan. Các thông tin về đặc điểm kỹ thuật, tình trạng vận hành của từng công trình thủy lợi [3].

2.1.2. Xử lý và phân tích dữ liệu

Sau khi thu thập từ các nguồn sơ cấp và thứ cấp, dữ liệu cần được xử lý và phân tích nhằm đảm bảo tính chính xác, nhất quán và phù hợp để đưa vào hệ thống WebGIS.

Dữ liệu không gian được chuyển đổi sang hệ tọa độ thống nhất, loại bỏ dữ liệu sai lệch, trùng lặp định dạng dữ liệu được chuyển sang các định dạng phù hợp với hệ thống WebGIS như Shapefile, GeoJSON hoặc cơ sở dữ liệu không gian (PostGIS). Dữ liệu thuộc tính được chuẩn hóa về định dạng *.JSON để nhập vào hệ quản trị PostgreSQL.

Tiếp theo, cần xác định yêu cầu của hệ thống, bao gồm các chức năng chính như hiển thị bản đồ, tra cứu thông tin thủy lợi, cập nhật

dữ liệu. Kiến trúc hệ thống cũng được xây dựng, bao gồm cơ sở dữ liệu, máy chủ xử lý và giao diện WebGIS. Giao diện người dùng được thiết kế trực quan, dễ sử dụng, giúp người dân và cán bộ quản lý có thể thao tác trực tiếp và hiệu quả trên hệ thống.

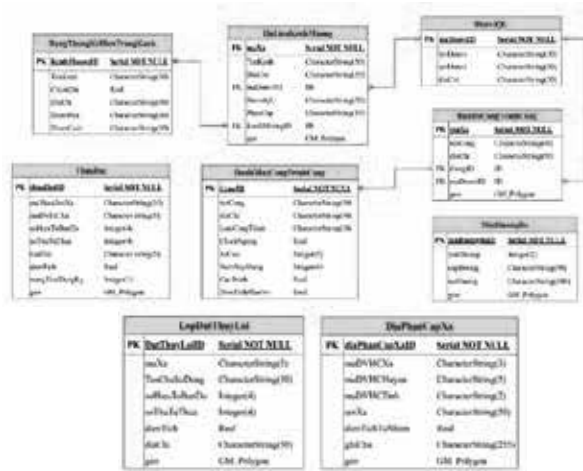
2.1.3. Triển khai, sử dụng và vận hành hệ thống

Hệ thống WebGIS được lập trình, tích hợp bản đồ số, kết nối cơ sở dữ liệu và tối ưu hiệu suất. Sau khi kiểm thử, hệ thống sẵn sàng đưa vào sử dụng. Khi hệ thống WebGIS đi vào hoạt động, nó sẽ phục vụ hai nhóm đối tượng chính là người dùng và cán bộ quản lý. Hệ thống hỗ trợ quản lý, tra cứu thông tin về công trình thủy lợi, kênh mương, trạng thái hoạt động, cập nhật dữ liệu khi cần thiết.

2.2. Phân tích thiết kế cơ sở dữ liệu

* Thiết kế mô hình cơ sở dữ liệu:

Do giới hạn về thời gian và không gian nên bài báo thực hiện thiết kế gồm 7 lớp dữ liệu cho 1 cụm 6 xã trên địa bàn tỉnh Đồng Tháp (Mỹ Thành, Thạnh Phú, Bình Phú, Hiệp Đức, Long Tiên, Ngũ Hiệp), trong đó:



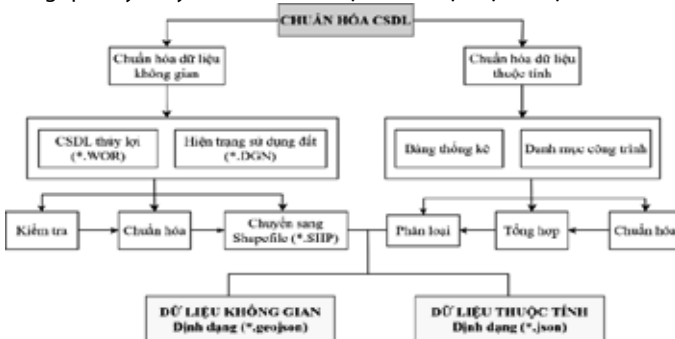
Hình 3. Mô hình logic và mô hình lý luận

- Dữ liệu không gian gồm 4 lớp dữ liệu: BanDoKenhMuong; LopDatThuyloi; BanDoCongTrinhCong; DiaGioiCapXa.
- Dữ liệu thuộc tính gồm 3 bảng: BangThongKeHienTrangKenh; DonviQL; DanhMucCongTrinhCong.

Căn cứ Thông tư số 09/2024/TT-BTNMT tiến hành thiết kế mô hình logic và mô hình lý luận, sản phẩm của mô hình logic và mô hình lý luận được trình bày tích hợp tại Hình 3.

2.3. Chuẩn hóa cơ sở dữ liệu

Việc chuẩn hóa cơ sở dữ liệu bao gồm cả dữ liệu không gian và dữ liệu thuộc tính nhằm đảm bảo tính nhất quán, chính xác và dễ dàng quản lý. Quy trình chi tiết được minh họa cụ thể tại Hình 3.



Hình 4. Quy trình chuẩn hóa CƠ SỞ DỮ LIỆU

2.4. Thiết kế WebGIS quản lý đất thủy lợi

Giao diện Website được thiết kế như hình 4 với 16 thành phần được đánh số thứ tự. Chức năng từng thành phần được mô tả như sau:

- (1) Là nơi chứa tiêu đề của Website. Thành phần này mang tính chất trang trí cho Website.
- (2) Chức năng quay lại vị trí ban đầu của trang chủ.
- (3) Cung cấp thông tin về cơ quan, đơn vị quản lý hệ thống, giới thiệu tổng quan về khu vực nghiên cứu (vị trí địa lý, tài nguyên khoáng sản, khí hậu...).
- (4) Chi tiết thông liên hệ của cơ quan, đơn vị chuyên môn (địa chỉ, số điện thoại, email, vị trí trên google map...).
- (5) Chức năng quản lý tài khoản người dùng (đăng nhập, thông tin tài khoản, quyền truy cập...)
- (6) Chức năng quản lý cơ sở dữ liệu cống thủy lợi.
- (7) Chức năng quản lý cơ sở dữ liệu kênh mương.
- (8) Chức năng quản lý cơ sở dữ liệu đất thủy lợi.
- (9) Hiển thị Chú giải bản đồ.
- (10) Chức năng tìm kiếm và thể hiện kết quả tra cứu thông tin thủy lợi theo nhu cầu của người dùng.

(11) Là bảng thông tin dưới dạng popup. Bảng thông tin này chỉ xuất hiện khi người dùng muốn cập nhật hoặc xóa thông tin đối tượng.

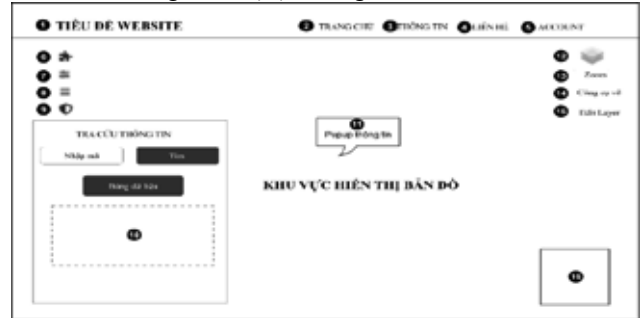
(12) Là công cụ chuyển đổi loại bản đồ nền Earth/Map cũng có thể được tích hợp chức năng bật, tắt các lớp bản đồ không gian như bản đồ HTSDĐ, giao thông...

(13) Là công cụ chức năng để tương tác với bản đồ; cho phép người dùng phóng to bản đồ đến nơi cần quan sát.

(14) Là các công cụ phục vụ quá trình vẽ, thêm mới trên nền không gian của Website.

(15) Là chức năng tương tác lớp dữ liệu không gian trên Website.

(16) Chức năng hiển thị vị trí đang xem trên bản đồ nền.



Hình 5. Sơ đồ thiết kế giao diện Website

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Hệ thống WebGIS quản lý đất thủy lợi

3.1.1. Chức năng quản trị hệ thống

Đối với chức năng đăng nhập trong hệ thống WebGIS được thiết kế để phục vụ hai nhóm đối tượng chính: Người dùng tra cứu thông tin thủy lợi và cán bộ quản lý. Trong khi người dùng thông thường chỉ có quyền tra cứu dữ liệu, cán bộ quản lý có thể chỉnh sửa và cập nhật thông tin, góp phần nâng cao hiệu quả quản lý. Để truy cập hệ thống, người dùng phải nhập thông tin tài khoản đã đăng ký. Quá trình đăng nhập không chỉ xác thực danh tính mà còn đảm bảo quyền truy cập phù hợp với từng đối tượng, giúp hệ thống vận hành an toàn và hiệu quả.



Hình 6. Giao diện của WebGIS khi đăng nhập thành công

Trang quản trị hệ thống là giao diện trung tâm của một nền tảng quản lý đất đai, nơi phân định rõ ràng vai trò và quyền hạn của từng nhóm người dùng, đảm bảo sự vận hành hiệu quả và bảo mật của hệ thống. Hệ thống phân chia người dùng thành các nhóm như Hình 6.

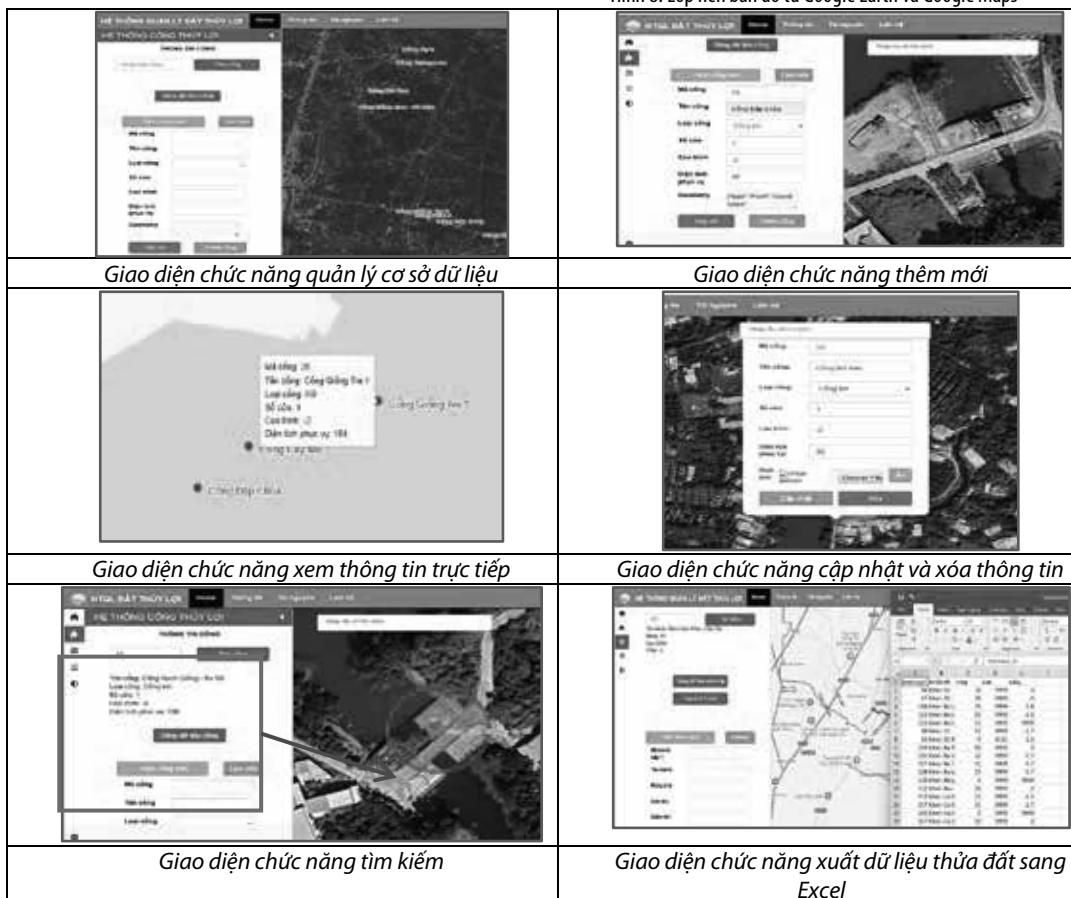


Hình 7. Giao diện trang quản trị hệ thống WebGIS

3.1.2. Chức năng quản lý thông tin, dữ liệu



Hình 8. Lớp nền bản đồ từ Google Earth và Google Maps



Hình 9. Các chức năng quản lý thông tin, dữ liệu

4. THẢO LUẬN

Dựa trên kết quả thực hiện, dữ liệu đầu vào chủ yếu được thu thập từ các nguồn có sẵn, chưa được cập nhật thường xuyên, do đó độ chính xác và tính thời sự của thông tin còn hạn chế. Các chức năng tương tác giữa người dân và hệ thống vẫn ở mức cơ bản, chưa khai thác hết tiềm năng phản hồi và đóng góp ý kiến từ cộng đồng. Ngoài ra, hệ thống chỉ mới được xây dựng và triển khai ở quy mô cụm xã của tỉnh Đồng Tháp, trong tương lai nếu được mở rộng xây dựng cơ sở dữ liệu và tích hợp với các cơ sở dữ liệu liên quan trong lĩnh vực đất đai và thủy lợi ở cấp tỉnh thì khả năng ứng dụng và mở rộng sẽ phục vụ đắc lực cho quản lý theo chính quyền 2 cấp.

5. KẾT LUẬN

Dữ liệu đất thủy lợi đã được lưu trữ trên cơ sở dữ liệu, từ đó xây dựng thành công hệ thống WebGIS phục vụ tra cứu và quản lý dữ liệu thủy lợi tại cụm xã của tỉnh Đồng Tháp. Hệ thống cung cấp các chức năng cơ bản như đăng ký, đăng nhập, tìm kiếm thông tin, cập nhật

thông tin với quản trị tài khoản đặc biệt là tính năng xuất dữ liệu thuộc tính sang Excel. Đây là một công cụ quan trọng, hỗ trợ cán bộ quản lý trong công tác lưu trữ và chia sẻ thông tin.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Quốc hội. Luật Thủy lợi 2017, 2017.
- [2] Quốc hội. Luật Đất đai 2024, 2024.
- [3] Bộ Tài nguyên và Môi trường. Thông tư số 09/2024/TT-BTNMT Quy định về nội dung, cấu trúc, kiểu thông tin của cơ sở dữ liệu quốc gia về đất đai và yêu cầu kỹ thuật đối với phần mềm ứng dụng của Hệ thống thông tin quốc gia về đất đai, 2024.
- [4] Bộ Tài nguyên và Môi trường. Thông tư số 25/2024/TT-BTNMT Quy định về quy trình xây dựng cơ sở dữ liệu quốc gia về đất đai, 2024.
- [5] Ủy ban nhân dân huyện Cai Lậy. Báo cáo thuyết minh tổng hợp Kế hoạch sử dụng đất năm 2024 huyện Cai Lậy, tỉnh Tiền Giang, 2023.
- [6] Nguyễn Lê Dũng, Bùi Duy Chí, Đặng Tuấn Phong. Nghiên cứu ứng dụng WebGIS trong nâng cao năng lực quản lý khai thác công trình thủy lợi và phòng chống thiên tai tại Thái Bình. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi, số 63, tr. 27-35, 12/2020.

Ứng dụng công nghệ số trong nâng cao trải nghiệm hành khách sử dụng đường sắt đô thị tại Hà Nội

Applying digital technology to enhance passenger experience on Hanoi's urban railway

> THS.NCS NGUYỄN THỊ TRANG^{1,*}, PGS.TS NGUYỄN THANH CHƯƠNG²

¹Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải

²Trường Đại học Giao thông vận tải

*Email: nguyenthitrang@utt.edu.vn

TÓM TẮT

Trong bối cảnh mạng lưới đường sắt đô thị (ĐSĐT) Hà Nội mở rộng nhanh và bước vào giai đoạn chuyển đổi số mạnh mẽ từ cuối năm 2025, bài báo phân tích thực trạng ứng dụng công nghệ số nhằm nâng cao trải nghiệm hành khách tại hai tuyến đang khai thác thương mại. Bằng phương pháp phân tích tài liệu, từ báo cáo vận hành, văn bản pháp lý, công trình học thuật và báo chí chính thống, nghiên cứu vận dụng khung lý thuyết TAM và UTAUT để lý giải mối quan hệ giữa công nghệ số và trải nghiệm hành khách. Kết quả cho thấy tỷ lệ hành khách sử dụng hệ thống định danh - xác thực - sinh trắc học đạt 85% chỉ sau thời gian ngắn triển khai, đi kèm doanh thu tăng 48% và sản lượng hành khách tăng 15%; đồng thời nhận diện một số hạn chế như lỗi kỹ thuật giai đoạn đầu, rào cản với người cao tuổi và mất cân đối đầu tư hạ tầng. Trên cơ sở đó, bài báo đề xuất các hàm ý chính sách nhằm hoàn thiện chuyển đổi số, hướng tới hệ sinh thái công nghệ toàn diện và bao trùm hơn cho ĐSĐT Hà Nội.

Từ khóa: Công nghệ số; trải nghiệm hành khách; đường sắt đô thị; chuyển đổi số giao thông; Hà Nội.

ABSTRACT

Amid the rapid expansion of Hanoi's urban railway network and its strong digital transformation since late 2025, this paper analyzes the current application of digital technologies to enhance passenger experience on the two commercially operating lines. Using desk research on secondary data from operational reports, legal documents, academic studies and mainstream media, the study applies the TAM and UTAUT frameworks to explain the relationship between digital technology and passenger experience. Results show that the adoption rate of the electronic identification-authentication-biometric system reached 85% shortly after deployment, accompanied by a 48% revenue increase and a 15% ridership increase, while also revealing limitations such as early-stage technical errors, accessibility barriers for elderly passengers and imbalanced infrastructure investment. Accordingly, the paper proposes policy implications to improve the digital transformation process toward a more comprehensive and inclusive technology ecosystem for Hanoi's urban railway.

Keywords: Digital technology; passenger experience; urban railway; transport digital transformation; Hanoi.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hệ thống ĐSĐT đang trở thành trục xương sống trong chiến lược phát triển giao thông công cộng của Hà Nội. Tính đến tháng 8/2026, thành phố vận hành thương mại hai tuyến: 2A Cát Linh - Hà Đông (từ ngày 06/11/2021) và 3.1 Nhổn - Ga Hà Nội, đoạn trên cao (từ ngày 08/8/2024). Sau hai năm khai thác, tuyến 3.1 đã phục vụ gần 14,2 triệu lượt khách, sản lượng bình quân khoảng 30.000 khách/ngày; riêng 8 tháng đầu năm 2026 đạt hơn 4,26 triệu lượt, tăng 20,87% so với cùng kỳ [1]. Theo quy hoạch đã phê duyệt, Hà Nội sẽ phát triển 18 tuyến ĐSĐT dài khoảng 979 km, trong đó đến năm 2035 hoàn thành khoảng 500 km [2, 3]. Với tốc độ mở rộng mạng lưới như vậy, việc nâng cao trải

nghiệm phục vụ hành khách bằng công nghệ số đang đặt ra yêu cầu ngày càng lớn.

Trên thế giới cũng như tại Việt Nam, chuyển đổi số đang làm thay đổi rõ rệt cách thức vận hành các hệ thống ĐSĐT. Từ ngày 05/12/2025, Công ty TNHH MTV Đường sắt Hà Nội (Hanoi Metro) áp dụng hệ thống soát vé tự động, sinh trắc học và thanh toán không tiền mặt trên tuyến 2A, mở rộng sang tuyến 3.1 từ ngày 01/01/2026 [4, 5], cụ thể hóa Đề án 06 và Nghị quyết 57-NQ/TW về chuyển đổi số quốc gia [6]. Đến ngày 21/3/2026, hơn 5,7 triệu lượt khách đã dùng hệ thống cổng soát vé mới, tỷ lệ định danh - sinh trắc học đạt 85%, doanh thu tăng 48%, sản

lượng tăng 15% so với cùng kỳ năm 2025, trước khi triển khai hệ thống mới [4].

Tuy vậy, số hóa cũng bộc lộ hạn chế: Giai đoạn đầu ghi nhận công mở chậm, nhận diện khuôn mặt bị ảnh hưởng bởi góc đứng hoặc mật độ khách; người cao tuổi gặp khó khi dùng căn cước công dân gắn chip, phản ánh khoảng cách số; hạ tầng vật lý tuyến vận hành lâu năm cũng xuống cấp [7]. Vì vậy, việc đánh giá công nghệ số ở đây cần đặt trọng tâm vào trải nghiệm hành khách, thay vì chỉ nhìn nhận đơn thuần như một vấn đề kỹ thuật.

Mặc dù chuyển đổi số trong giao thông công cộng đã được quan tâm rộng rãi trên thế giới, các nghiên cứu về ĐSDT Hà Nội giai đoạn 2025 - 2026 vẫn còn hạn chế. Nghiên cứu của Nguyễn và cộng sự [8] đề cập sự hài lòng hành khách dựa trên yếu tố vật lý - môi trường, song chưa phân tích sâu vai trò của công nghệ số cụ thể đối với trải nghiệm hành khách. Trên cơ sở đó, bài báo hướng đến ba mục tiêu: Phân tích thực trạng ứng dụng công nghệ số tại các tuyến ĐSDT đang vận hành ở Hà Nội; nhận diện hạn chế, thách thức trong triển khai và đề xuất hàm ý chính sách để phát huy tối đa hiệu quả chuyển đổi số.

2. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU VÀ CƠ SỞ LÝ LUẬN

2.1. Tổng quan nghiên cứu trong và ngoài nước

Nghiên cứu về chất lượng dịch vụ và sự hài lòng hành khách đường sắt đã trở thành dòng nghiên cứu trưởng thành trên thế giới, với xu hướng gần đây dịch chuyển sang các phương pháp dữ liệu lớn và học máy để mô hình hóa sự hài lòng [9]. Vai trò của các kênh thông tin số ngày càng được nhấn mạnh: nghiên cứu trên tuyến đường sắt ngoại ô Madrid cho thấy các nhóm hành khách sử dụng nguồn thông tin trực tuyến (website, ứng dụng di động) có mức đánh giá chất lượng dịch vụ khác biệt so với nhóm dùng nguồn thông tin truyền thống, trong khi thông tin luôn là thuộc tính quan trọng đối với mọi phân khúc hành khách bất kể kênh tiếp cận [10]. Theo hướng tiếp cận dữ liệu lớn, một nghiên cứu tại Thượng Hải đã phân tích hơn 52.000 lượt đánh giá trực tuyến bằng mô hình chủ đề cấu trúc (STM) và nhận diện được 11 khía cạnh chất lượng dịch vụ cảm nhận, cho thấy dữ liệu mạng xã hội có thể bổ sung hiệu quả cho khảo sát truyền thống khi đánh giá trải nghiệm hành khách tại các đô thị châu Á [11]. Tuy nhiên, các nghiên cứu này cũng cảnh báo mặt trái của số hóa chưa hoàn thiện, khi gián đoạn kỹ thuật lặp lại vào giờ cao điểm có thể ảnh hưởng đến độ tin cậy cảm nhận dù người dùng thừa nhận tính hữu ích.

Một số nghiên cứu khác tập trung vào khoảng cách tiếp cận công nghệ giữa các nhóm hành khách. Khảo sát hơn 4.200 hành khách giao thông công cộng tại Thụy Điển cho thấy nhóm cao tuổi gặp nhiều khó khăn hơn khi lập kế hoạch chuyến đi và thanh toán qua kênh số so với nhóm trẻ tuổi, từ đó khuyến nghị đơn vị vận hành duy trì song song các kênh phi số hóa (như bảng giờ tàu in giấy) trong giai đoạn chuyển đổi [12]. Phát hiện này củng cố quan sát về rào cản với người cao tuổi tại ĐSDT Hà Nội từ góc độ lý thuyết, cho thấy đây là thách thức phổ biến trong quá trình số hóa giao thông công cộng chứ không riêng bởi cảnh Việt Nam.

Tại Việt Nam, các nghiên cứu về ĐSDT Hà Nội còn hạn chế và phần lớn tập trung vào khía cạnh vật lý - hạ tầng. Nghiên cứu của Nguyễn Phước Quý Duy và cộng sự đã sử dụng mô hình phương trình cấu trúc từng phần (PLS-SEM) với dữ liệu từ 450 hành khách đã xác định các yếu tố vật lý và môi trường tác động đến sự hài lòng hành khách tại nhà ga ĐSDT Hà Nội [8], khẳng định tính khả thi của cách tiếp cận định lượng, tuy nhiên vai trò của các thành phần công nghệ số cụ thể (vé điện tử, ứng dụng di động, thông tin thời gian thực) vẫn chưa được làm rõ - đây chính là khoảng trống mà bài báo này bổ khuyết.

2.2. Cơ sở lý luận về mối quan hệ giữa công nghệ số và trải nghiệm hành khách

Để lý giải mối quan hệ giữa ứng dụng công nghệ số và trải nghiệm/sự chấp nhận của hành khách, bài báo kết hợp Mô hình chấp nhận công nghệ (TAM) và Lý thuyết hợp nhất về chấp nhận và sử dụng công nghệ (UTAUT). TAM lý giải hành vi chấp nhận công nghệ mới qua hai cấu trúc cốt lõi: Nhận thức hữu ích và nhận thức dễ sử dụng; UTAUT mở rộng bằng cách hợp nhất nhiều mô hình chấp nhận công nghệ thành một khung mạch lạc. Một nghiên cứu tích hợp UTAUT với mô hình hài lòng - trung thành trong giao thông công cộng tự động xác định kỳ vọng hiệu suất, ảnh hưởng xã hội và nhận thức an toàn là các yếu tố dự báo mạnh nhất đối với ý định hành vi [13, 14] - phù hợp khi phân tích việc hành khách ĐSDT Hà Nội chấp nhận hệ thống định danh - sinh trắc học và ứng dụng di động.

Trong bối cảnh Việt Nam, việc vận dụng TAM/UTAUT đã được ghi nhận ở một số lĩnh vực số hóa liên quan. Nghiên cứu về mô hình Trust-TAM-TPB cho thanh toán số tại Việt Nam khẳng định niềm tin là yếu tố quyết định quan trọng đối với việc chấp nhận thanh toán số [15], gợi ý rằng niềm tin - đặc biệt liên quan bảo mật dữ liệu cá nhân và độ chính xác giao dịch - có thể là biến điều tiết quan trọng bên cạnh các cấu trúc gốc của TAM/UTAUT. Một nghiên cứu khác tích hợp TOE-TAM-UTAUT trong đấu thầu điện tử tại Việt Nam định nghĩa lại thái độ đối với công nghệ như năng lực thích ứng của tổ chức, phản ánh đặc thù chuyển đổi số tại Việt Nam [16] - đặc điểm có thể quan sát tương tự khi vé giấy truyền thống dần bị thay thế bắt buộc bởi vé điện tử. Trên cơ sở đó, bài báo đề xuất khung phân tích gồm 3 nhóm công nghệ số (vé điện tử/thanh toán số, ứng dụng di động, hệ thống thông tin - an ninh thời gian thực) tác động đến trải nghiệm hành khách thông qua các cấu trúc trung gian nhận thức hữu ích, nhận thức dễ sử dụng và niềm tin, từ đó ảnh hưởng đến mức độ hài lòng và ý định tiếp tục sử dụng.

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Bài báo sử dụng cách tiếp cận định tính, dựa trên phương pháp phân tích tài liệu đối với các nguồn dữ liệu thứ cấp đã công bố, phù hợp với mục tiêu hệ thống hóa thực trạng và đánh giá xu hướng ứng dụng công nghệ số tại ĐSDT Hà Nội trong bối cảnh chưa có điều kiện khảo sát thực địa trên diện rộng.

Dữ liệu được thu thập từ 4 nhóm nguồn: Báo cáo vận hành, thông báo chính thức của Hanoi Metro [1, 4, 17]; văn bản pháp lý, quy hoạch của cơ quan quản lý nhà nước [2, 18]; công trình nghiên cứu trong và ngoài nước về chất lượng dịch vụ, TAM/UTAUT [8 - 19] và báo chí chính thống phản ánh thực trạng vận hành, sự cố kỹ thuật [4, 5, 20, 21, 22, 23].

Dữ liệu thu thập được xử lý theo các bước: Sàng lọc, phân loại tài liệu theo 4 nhóm nguồn, ưu tiên các nguồn công bố gần nhất (2025 - 2026); tổng hợp, tổng kê mô tả các số liệu định lượng về sản lượng hành khách, tỷ lệ sử dụng công nghệ số và hiệu quả kinh doanh; phân tích so sánh giữa thực trạng Hà Nội với kinh nghiệm quốc tế và phân tích theo khung SWOT nhằm đánh giá toàn diện các nhóm công nghệ số, đối chiếu với khung lý thuyết TAM/UTAUT đã đề xuất.

4. THỰC TRẠNG ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ SỐ TẠI ĐSDT HÀ NỘI

4.1. Tổng quan hệ thống ĐSDT Hà Nội hiện nay

Tính đến tháng 8/2026, ĐSDT Hà Nội vận hành 20 nhà ga trên hai tuyến, dài khoảng 21,6 km. Năm 2024, tuyến 2A (Cát Linh - Hà Đông) đạt bình quân hơn 35.000 khách/ngày, trong đó 47% đi làm, 45% học sinh - sinh viên, 70% dùng vé tháng [24]. Tuyến 3.1 sau hai năm đã phục vụ gần 14,2 triệu lượt khách; riêng 8 tháng đầu 2026 đạt hơn 4,26 triệu lượt, tăng 20,87% [1]. Năm 2026, Hanoi Metro được giao mục tiêu gần 21,6 triệu lượt khách, doanh thu dự kiến gần 1.280 tỷ đồng - cao nhất trong lịch sử nếu đạt được [17]. Tăng trưởng này diễn ra song song với chuyển đổi số mạnh mẽ từ cuối 2025, tạo cơ sở đánh giá mối liên hệ giữa hai yếu tố.

4.2. Thực trạng ứng dụng công nghệ số theo từng nhóm

4.2.1. Hệ thống vé điện tử và định danh - xác thực sinh trắc học

Đây là nhóm công nghệ có bước tiến rõ rệt nhất. Từ ngày 05/12/2025, Hanoi Metro áp dụng hệ thống soát vé tự động ứng dụng định danh điện tử, xác thực và sinh trắc học kết hợp thanh toán không tiền mặt trên tuyến 2A. Đến ngày 01/02/2026, 100% cổng soát vé tuyến 3.1 (Nhổn - Ga Hà Nội) chuyển đổi hoàn toàn [5, 23]. Hệ thống do kỹ sư trong nước phát triển trong 4 tháng, cho phép qua cổng dưới 300 mili giây, xử lý cục bộ (offline) để tránh ùn ứ khi mất mạng, chấp nhận đa dạng phương thức thanh toán: Căn cước công dân gắn chip kết hợp nhận diện khuôn mặt, thẻ ngân hàng Tap & Go, vé QR qua ứng dụng di động [5, 22]. Tính đến ngày 21/3/2026, hơn 5,7 triệu lượt khách đã dùng hệ thống cổng soát vé mới, tỷ lệ định danh - sinh trắc học đạt 85%; doanh thu tăng 48%, sản lượng tăng 15% so với cùng kỳ năm 2025, trước khi triển khai hệ thống mới (Bảng 1) [4]. Người dùng cần thao tác chạm thẻ đúng cách để tránh ghi nhận sai giao dịch, nhất là với thanh toán không tiếp xúc [25].

4.2.2. Ứng dụng di động và kết nối đa phương thức

Ứng dụng di động Hà Nội Metro cho phép định danh tài khoản bằng căn cước công dân, mua vé trực tuyến, nhận vé QR/NFC trên điện thoại và theo dõi lịch sử giao dịch [20]. Tính năng đáng chú ý nhất là đặt hành trình liên mạch kết hợp metro với dịch vụ gọi xe công nghệ Be trong một lần thanh toán; từ cuối tháng 6/2026 mở rộng kết nối với xe đạp, xe máy điện Trí Nam - bước đi ban đầu hướng tới mô hình MaaS. Xu hướng tích hợp đa phương thức này phản ánh nỗ lực giải quyết bài toán kết nối chặng đầu - chặng cuối, vốn là một trong những rào cản lớn đối với việc sử dụng vận tải công cộng tại các đô thị đang phát triển.

4.2.3. Hệ thống thông tin và an ninh thời gian thực

Bên cạnh vé điện tử, Hanoi Metro thí điểm ứng dụng công nghệ số trong an ninh trật tự: Mô hình Kiosk "Trạm Cảnh sát thông minh" triển khai tại Ga Cát Linh từ ngày 17/12/2025 đến hết tháng 02/2026 [6], nằm trong nỗ lực xây dựng đô thị thông minh. Camera tại cổng soát vé cũng được tích hợp chức năng so khớp sinh trắc học khuôn mặt với dữ liệu căn cước công dân nhằm đảm bảo an toàn, bảo mật và chính xác giao dịch.

4.3. Đánh giá tác động của công nghệ số đến trải nghiệm và hiệu quả vận hành

Phân tích trên cho thấy tương quan tích cực giữa mức độ số hóa và hiệu quả vận hành (Bảng 1). Trước khi triển khai vé điện tử, trong 5

Bảng 2. Phân tích SWOT ứng dụng công nghệ số tại ĐSDT Hà Nội

Điểm mạnh (Strengths) - Tỷ lệ chấp nhận công nghệ định danh điện tử cao (85%) chỉ sau thời gian ngắn triển khai - Làm chủ công nghệ trong nước, giảm phụ thuộc nhà thầu nước ngoài - Tốc độ xử lý nhanh (dưới 300 mili giây), tăng doanh thu và sản lượng rõ rệt - Hệ sinh thái kết nối đa phương thức đang hình thành (metro + xe công nghệ)	Điểm yếu (Weaknesses) - Lỗi kỹ thuật giai đoạn đầu: Cổng mở chậm, nhận diện khuôn mặt bị ảnh hưởng bởi góc đứng, khó xác định khi hành khách đứng sát nhau - Lỗi giao dịch qua thẻ contactless (Apple Pay/Samsung Pay) gây trừ tiền hoặc ghi nhận thiếu lượt - Rào cản với người cao tuổi/ít tiếp cận công nghệ khi dùng căn cước công dân gắn chip - Hạ tầng vật lý một số nhà ga xuống cấp sau thời gian dài vận hành, ảnh hưởng cảm nhận chung
Cơ hội (Opportunities) - Mạng lưới ĐSDT mở rộng mạnh (500 km đến 2035), tạo dư địa nhân rộng công nghệ - Chính sách hỗ trợ mạnh từ Nghị quyết 57-NQ/TW, Đề án 06 - Tích hợp VNeID, mở rộng MaaS với xe đạp/xe máy điện - Kinh nghiệm quốc tế (Seoul, Singapore) làm mô hình tham chiếu để nâng cấp toàn diện	Thách thức (Threats) - Tốc độ mở rộng hạ tầng có thể vượt năng lực quản trị số nếu không đầu tư đồng bộ - Phụ thuộc vào số ít đơn vị công nghệ trong nước, rủi ro về tính bền vững/mở rộng - Khoảng cách số giữa các nhóm hành khách có thể gây bất bình đẳng tiếp cận dịch vụ - Thiếu cơ chế khảo sát/đo lường hài lòng hành khách một cách hệ thống, chính thức

Cách tiếp cận số hóa của Hà Nội hiện vẫn tập trung chủ yếu vào khâu soát vé và thanh toán, trong khi mô hình "Smart Station" của Seoul đã tích hợp digital twin cho toàn bộ công tác quản lý ga và hệ sinh thái Smart Metro của Singapore bao phủ đồng thời vận hành, bảo trì lẫn trải nghiệm hành khách [19, 26]. Điều này cho thấy dư địa để Hà Nội mở rộng phạm vi ứng dụng công nghệ số

tháng đầu năm 2025, hai tuyến đã phục vụ gần 10 triệu lượt khách, khoảng 60% dùng vé tháng [21], cho thấy nền tảng nhu cầu vốn đã tăng trưởng ổn định. Sau khi số hóa đồng bộ, 6 tháng đầu năm 2026, Hanoi Metro đạt lợi nhuận sau thuế hơn 33,3 tỷ đồng - gấp hơn 3 lần cùng kỳ, cao nhất từng ghi nhận, vượt tổng lợi nhuận cả giai đoạn 2015 - 2024 [17]. Điều này phản ánh thêm sự cải thiện hiệu quả vận hành sau chuyển đổi số bên cạnh đà tăng trưởng nhu cầu sẵn có. Dù chưa thể khẳng định quan hệ nhân quả tuyệt đối do nhiều yếu tố đồng thời tác động, mức tăng trưởng này ủng hộ giả thuyết về vai trò tích cực của công nghệ số.

Bảng 1. Một số chỉ số phản ánh tác động của chuyển đổi số tại ĐSDT Hà Nội

Chỉ số	Giá trị	Thời điểm
Tỷ lệ hành khách dùng định danh điện tử/sinh trắc học	85%	21/3/2026
Lượt khách qua cổng soát vé mới	> 5,7 triệu	Tính đến 21/3/2026
Tăng trưởng doanh thu 2 tuyến metro	+48%	So với cùng kỳ năm 2025, trước triển khai vé điện tử [4]
Tăng trưởng sản lượng hành khách	+15%	So với cùng kỳ năm 2025, trước triển khai vé điện tử [4]
Thời gian xử lý qua cổng soát vé	< 300 mili giây	-
Lợi nhuận sau thuế 6 tháng đầu 2026	33,3 tỷ đồng	Gấp 3 lần cùng kỳ 2025

4.4. Phân tích SWOT đối với ứng dụng công nghệ số tại ĐSDT Hà Nội

Tổng hợp SWOT ứng dụng công nghệ số tại ĐSDT Hà Nội cho thấy điểm mạnh nổi bật là tỷ lệ chấp nhận công nghệ cao và tốc độ xử lý nhanh; điểm yếu tập trung ở lỗi kỹ thuật giai đoạn đầu và rào cản với người cao tuổi. Cơ hội đến từ mạng lưới ĐSDT mở rộng mạnh cùng chính sách hỗ trợ quốc gia; thách thức là phụ thuộc số ít đơn vị công nghệ trong nước và khoảng cách số giữa các nhóm hành khách.

sang các khâu khác của hành trình hành khách trong giai đoạn tiếp theo.

5. KẾT LUẬN VÀ HÀM Ý CHÍNH SÁCH

Kết quả phân tích dữ liệu thứ cấp cho thấy quá trình ứng dụng công nghệ số tại ĐSDT Hà Nội, đặc biệt hệ thống vé điện tử tích hợp định

đanh - xác thực - sinh trắc học từ cuối 2025, đã mang lại chuyển biến tích cực về cả mức độ chấp nhận công nghệ lẫn hiệu quả vận hành. Đối chiếu khung TAM/UTAUT, tốc độ chấp nhận nhanh phù hợp với kỳ vọng lý thuyết khi công nghệ mang lại lợi ích rõ ràng và được hỗ trợ bởi chính sách quốc gia mạnh mẽ. Tuy nhiên, chuyển đổi số hiện vẫn tập trung chủ yếu ở khâu soát vé và thanh toán, chưa mở rộng đồng bộ sang toàn bộ hành trình như mô hình quốc tế; một số hạn chế hệ thống cho thấy số hóa cần được nhìn nhận là hành trình liên tục, đòi hỏi điều chỉnh thường xuyên hơn là điểm đến đã hoàn tất.

Trên cơ sở các phát hiện nêu trên, đặc biệt là những điểm yếu và thách thức đã nhận diện qua phân tích SWOT, bài báo đề xuất 5 hàm ý chính sách có liên hệ chặt chẽ với nhau dành cho Hanoi Metro, Sở Giao thông vận tải và UBND TP Hà Nội, đi từ việc khắc phục các hạn chế trước mắt đến định hướng phát triển dài hạn.

Thứ nhất, xuất phát từ những lỗi kỹ thuật giai đoạn đầu đã ghi nhận (cổng mở chậm, nhận diện khuôn mặt bị ảnh hưởng khi đông khách), cần hoàn thiện quy trình kiểm thử và vận hành thử nghiệm trước khi triển khai đại trà, đặc biệt với các tình huống biên như nhận diện khuôn mặt trong điều kiện đông đúc hay xử lý giao dịch khi mất kết nối mạng, nhằm rút ngắn thời gian thích nghi của hệ thống.

Thứ hai, liên quan đến rào cản tiếp cận của người cao tuổi và nhóm ít tiếp cận công nghệ đã đề cập ở trên, cần thiết kế thêm giải pháp hỗ trợ chuyển tiếp phù hợp cho các nhóm này. Không chỉ bố trí nhân viên hỗ trợ tại nhà ga mà còn xây dựng kênh hướng dẫn chủ động (video, tập huấn cộng đồng) nhằm thu hẹp khoảng cách số một cách bền vững hơn.

Thứ ba, để tránh lặp lại tình trạng mất cân đối giữa tốc độ số hóa và mức độ bảo trì hạ tầng vật lý như đã chỉ ra ở phần điểm yếu, cần cân đối lại nguồn lực đầu tư giữa lớp công nghệ số và bảo trì hạ tầng, tránh nâng cấp phần mềm nhanh trong khi phần cứng xuống cấp.

Thứ tư, do dữ liệu hiện có chủ yếu dựa trên báo cáo của chính đơn vị vận hành, đơn vị vận hành nên xây dựng cơ chế khảo sát và đo lường sự hài lòng hành khách một cách hệ thống, độc lập và định kỳ, đồng thời công khai kết quả để tạo nguồn dữ liệu đáng tin cậy hơn phục vụ cả công tác quản lý điều hành lẫn nghiên cứu khoa học.

Thứ năm, cách tiếp cận số hóa của Hà Nội hiện vẫn tập trung chủ yếu vào khâu soát vé và thanh toán. Do đó, về dài hạn, cần xem xét mở rộng phạm vi số hóa theo hướng tích hợp toàn diện hơn, tham khảo kinh nghiệm digital twin của Seoul hoặc hệ sinh thái tích hợp của Singapore, đồng thời đa dạng hóa đối tác công nghệ trong nước để giảm rủi ro phụ thuộc đã nêu trong phân tích SWOT.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Dân Việt. ĐSĐT Nhổn - Ga Hà Nội hút gần 14,2 triệu lượt hành khách. Internet: <https://danviet.vn/duong-sat-do-thi-nhon-ga-ha-noi-hut-gan-142-trieu-luat-hanh-khach-d1449836.html> (truy cập: tháng 8/2026).
- [2] Cổng Thông tin điện tử Chính phủ. Quy hoạch mạng lưới ĐSĐT Hà Nội, TP.HCM phải đồng bộ với Quy hoạch tổng thể đường sắt quốc gia. Internet: <https://baochinhphu.vn/quy-hoach-mang-luoi-duong-sat-do-thi-ha-noi-tp-hcm-phai-dong-bo-voi-quy-hoach-tong-the-duong-sat-quoc-gia-102241209150900567.htm> (truy cập: tháng 12/2024).
- [3] Hà Nội Mới. Hà Nội khởi công đồng loạt 5 tuyến ĐSĐT: Hiện thực hóa tầm nhìn Thủ đô 100 năm. Internet: <https://hanoimoi.vn/ha-noi-khoi-cong-dong-loat-5-tuyen-duong-sat-do-thi-hien-thuc-hoatam-nhin-thu-do-100-nam-1208385.html> (truy cập: tháng 6/2026).
- [4] Tuổi Trẻ Online. Hà Nội Metro đón hơn 5,7 triệu lượt khách dùng vé thông minh. Internet: <https://tuoitre.vn/ha-noi-metro-don-hon-5-7-trieu-luat-khach-dung-ve-thong-minh-20260321125540464.htm> (truy cập: tháng 3/2026).
- [5] VnExpress. 4 tháng xây dựng hệ thống soát vé ứng dụng sinh trắc học của metro Hà Nội. Internet: <https://vnexpress.net/4-thang-xay-dung-he-thong-soat-ve-ung-dung-sinh-trac-hoc-cua-metro-ha-noi-5070792.html> (truy cập: tháng 5/2026).
- [6] Hà Nội Mới. Dấu ấn của Hanoi Metro trong quá trình chuyển đổi số, nội địa hóa công nghệ. Internet: <https://hanoimoi.vn/dau-an-cua-hanoi-metro-trong-qua-trinh-chuyen-doi-so-noi-dia-hoa-cong-nghe-734004.html> (truy cập: tháng 02/2026).

- [7] Nhân Dân. Bảo đảm an toàn, chất lượng phục vụ trên tuyến ĐSĐT Cát Linh-Hà Đông. Internet: <https://nhandan.vn/bao-dam-an-toan-chat-luong-phuc-vu-tren-tuyen-duong-sat-do-thi-cat-linh-ha-dong-post973116.html> (truy cập: tháng 7/2026).
- [8] Nguyễn Phước Quý Duy, Phạm Trường Sơn, Nguyễn Văn Biên. Tác động của yếu tố vật lý và yếu tố môi trường đến sự hài lòng của hành khách đối với nhà ga ĐSĐT ở Hà Nội. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, tập 18, số 2V, tr. 102-115, 2024. Internet: <https://www.researchgate.net/publication/398466402> (truy cập: tháng 8/2026).
- [9] Ibrahim S, Zhang Y, Ahmad A. Rail-based public transportation service quality and customer satisfaction: A decade of insights and advances. Public Transport, vol. 17, pp. 45-69, 2025, doi: 10.1007/s12469-024-00382-7.
- [10] Romero C, Zamorano C, Monzón A. Exploring the role of public transport information sources on perceived service quality in suburban rail. Travel Behaviour and Society, vol. 33, Article 100642, 2023, doi: 10.1016/j.tbs.2023.100642.
- [11] Dou M, Gu Y, Gong J. How do people perceive the quality of urban transport service? New insights from online reviews of Shanghai metro system. Journal of Urban Management, vol. 13, no. 4, pp. 705-719, 2024, doi: 10.1016/j.jum.2024.07.008.
- [12] Nilsson J, Jansson J, Nicholas K, Zhao C. Examining senior citizens in public transport: The role of digitalization, environmental concern and traveler satisfaction. Travel Behaviour and Society, vol. 38, Article 100924, 2024, doi: 10.1016/j.tbs.2024.100924.
- [13] Madigan R, Louw T, Wilbrink M, Schieben A, Merat N. What influences the decision to use automated public transport? Using UTAUT to understand public acceptance of automated road transport systems. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, no. 50, pp. 55-64, 2017, doi: 10.1016/j.trf.2017.07.007.
- [14] Yucel H, Ergün M, Bakioglu G. Will conventional public transport users adopt autonomous public transport? A model integrating UTAUT model and satisfaction-loyalty model. Sustainability, vol. 17, no. 20, Article 9087, 2025, doi: 10.3390/su17209087.
- [15] Truong T L, Nguyen T H. An extension of trust and TAM model with TPB in the adoption of digital payment: An empirical study in Vietnam. F1000Research, vol. 14, Article 127, 2025, doi: 10.12688/f1000research.157763.3.
- [16] Nguyen Q T, Nguyen T T H, Tran T K. Integrating TOE, TAM and UTAUT to analyze e-bidding effectiveness in Vietnam. Int. J. Sustain. Constr. Eng. Technol., vol. 16, no. 2, pp. 108-121, 2025, doi: 10.30880/ijscet.2025.16.02.007.
- [17] CafeF. Hanoi Metro lập kỷ lục về lượng khách và lợi nhuận. Internet: <https://cafe.vn/hanoi-metro-lap-ky-luc-ve-luong-khach-va-loi-nhuan-188260808150448481.chn> (truy cập: tháng 8/2026).
- [18] Văn phòng Chính phủ. Thông báo số 549/TB-VPCP kết luận của Thường trực Chính phủ về Đề án phát triển hệ thống mạng lưới ĐSĐT tại TP Hà Nội, TP Hồ Chí Minh đến năm 2035, 2024. Internet: <https://vanban.chinhphu.vn/?docid=211942&pageid=27160> (truy cập: tháng 8/2026).
- [19] ST Engineering. Smart Metro Systems - Singapore. Internet: <https://www.stengg.com/en/smart-city/urban-solutions/smart-mobility-rail/smart-metro-systems/> (truy cập: tháng 8/2026).
- [20] Dân Việt. Bí thư Hà Nội Trần Đức Thắng và Chủ tịch Vũ Đại Thắng trải nghiệm về điện tử metro ứng dụng định danh. Internet: <https://danviet.vn/bi-thu-ha-noi-tran-duc-thang-va-chu-tich-vu-dai-thang-trai-nghiem-ve-dien-tu-metro-ung-dung-dinh-danh-d1425328.html> (truy cập: tháng 5/2026).
- [21] Lao động và Pháp luật Thủ đô. 5 tháng đầu năm 2025, gần 10 triệu lượt hành khách đã sử dụng 2 tuyến metro tại Hà Nội. Internet: <https://laodongvaphapluat.laodongthudo.vn/5-thang-dau-nam-gan-10-trieu-luat-hanh-khach-da-su-dung-2-tuyen-metro-tai-ha-noi-6691.html> (truy cập: tháng 7/2025).
- [22] Vnettraffic. Hệ thống soát vé sinh trắc học metro Hà Nội hoàn thành sau 4 tháng xây dựng. Internet: <https://vnettraffic.org/he-thong-soat-ve-sinh-trac-hoc-metro-ha-noi-hoan-thanh-sau-4-thang-xay-dung/> (truy cập: tháng 5/2026).
- [23] Tiền Phong. Thay đổi về vé metro Nhổn - ga Hà Nội từ hôm nay. Internet: <https://tienphong.vn/thay-doi-ve-ve-metro-nhon-ga-ha-noi-tu-hom-nay-post1813640.tpo> (truy cập: tháng 1/2026).
- [24] Nhân Dân. Hơn 35 nghìn lượt khách sử dụng tuyến đường sắt Cát Linh-Hà Đông mỗi ngày. Internet: <https://nhandan.vn/hon-35-nginh-luat-khach-su-dung-tuyen-duong-sat-cat-linh-ha-dong-moi-ngay-post810563.html> (truy cập: tháng 5/2024).
- [25] Hanoi Metro. Hướng dẫn tap thẻ qua cổng soát vé - Tránh bị ghi nhận sai giao dịch. Internet: <https://metrohanoi.vn/huong-dan-tap-the-qua-cong-soat-ve-tranh-bi-ghi-nhan-sai-giao-dich/> (truy cập: tháng 8/2026).
- [26] OECD Observatory of Public Sector Innovation. Smart Station for future urban train. Internet: <https://oecd-opsi.org/innovations/smart-station/> (truy cập: tháng 01/2023).

Nghiên cứu và phát triển hệ thống số hóa, truy vấn ngôn ngữ tự nhiên kho hồ sơ bản vẽ kiến trúc dạng scan

Research and development of a system for digitizing and querying scanned architectural drawing archives using natural language

> ĐỖ QUỐC HOÀNG, TRẦN ANH BÌNH*, NGUYỄN TUẤN ANH, NGUYỄN MẠNH TUẤN

Viện Tin học Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

*Email: binh.ta@huce.edu.vn

TÓM TẮT

Hồ sơ thiết kế và hoàn công của phần lớn công trình xây dựng tại Việt Nam hiện chỉ tồn tại dưới dạng bản vẽ giấy hoặc tệp PDF quét, khiến việc tra cứu và tổng hợp thông tin phải thực hiện thủ công trên từng trang bản vẽ. Bài báo trình bày một hệ thống hoàn chỉnh chuyển kho hồ sơ bản vẽ kiến trúc dạng scan thành cơ sở dữ liệu truy vấn được bằng tiếng Việt. Hệ thống gồm mô hình phân đoạn ngữ nghĩa do nhóm tác giả phát triển, các khâu hậu xử lý hình học, nhận dạng nhãn phòng tiếng Việt, chuẩn hoá tên phòng theo danh mục chức năng thống nhất, và lớp truy vấn ngôn ngữ tự nhiên sinh câu lệnh SQL có kiểm định, truy vết được kết quả về trang bản vẽ gốc. Kết quả thử nghiệm trên bộ hồ sơ thực tế gồm 12 công trình với 436 bản vẽ mặt bằng cho thấy hệ thống đạt Recall phát hiện phòng 96,8%, sai số diện tích trung bình 2,1% và độ chính xác thực thi truy vấn 89,4%, đồng thời rút ngắn đáng kể thời gian khai thác thông tin so với bóc tách thủ công.

Từ khóa: Bản vẽ scan; phân đoạn ngữ nghĩa; nhận dạng ký tự quang học; truy vấn ngôn ngữ tự nhiên; số hoá hồ sơ công trình.

ABSTRACT

Design and as-built documents of most existing buildings in Vietnam are stored only as paper drawings or scanned PDF files, so retrieving and aggregating information requires manual take-off from individual sheets. This paper presents an end-to-end system that converts archives of scanned architectural drawings into a database queryable in Vietnamese. The system combines a semantic segmentation model developed by the authors with geometric post-processing, Vietnamese room-label recognition, room-name normalization against a unified functional catalogue, and a validated natural-language-to-SQL query layer with result-to-source traceability back to the original drawing sheet. Experiments on a real archive of 12 buildings with 436 floor-plan sheets show that the system achieves 96.8% room-detection recall, a 2.1% mean area error and 89.4% query-execution accuracy, while substantially reducing information retrieval time compared with manual take-off.

Keywords: Scanned drawings; semantic segmentation; optical character recognition; natural language query; construction document digitization.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

1.1. Bối cảnh và sự cần thiết của nghiên cứu

Hồ sơ thiết kế và hoàn công của phần lớn công trình xây dựng tại Việt Nam hiện được lưu trữ dưới dạng bản vẽ giấy hoặc tệp PDF quét, tích lũy qua nhiều thập kỷ tại các ban quản lý dự án, cơ quan quản lý nhà nước về xây dựng và đơn vị quản lý vận hành.

Ở dạng ảnh quét, thông tin trong hồ sơ không thể tra cứu hay tổng hợp được: mỗi khi cần số liệu về diện tích hay công năng phòng ốc, cán bộ chuyên môn phải mở từng trang bản vẽ và bóc tách thủ công; một câu hỏi đơn giản như tổng diện tích phòng học của các trường trong một danh mục đầu tư có thể đòi hỏi nhiều ngày công, trong khi bản gốc giấy xuống cấp dần.

Về mặt pháp lý, mô hình thông tin công trình (BIM) đã bắt buộc áp dụng đối với công trình xây dựng mới từ cấp II trở lên (Nghị định 217/2026/NĐ-CP của Chính phủ); nhu cầu tái tạo dữ liệu công trình từ bản vẽ lưu trữ cũng được ghi nhận rộng rãi trong các tổng quan quốc tế gần đây [1, 2]; khoảng cách giữa yêu cầu đó và hiện trạng lưu trữ là động lực trực tiếp của nghiên cứu.

1.2. Các nghiên cứu liên quan và hạn chế

Bài toán nhận dạng bản vẽ hai chiều đã được nghiên cứu theo hai hướng chính: các phương pháp dựa trên luật hình học khai thác đặc trưng nét vẽ và ký hiệu [3] nhưng nhạy cảm với sự đa dạng về phong cách thể hiện, và các phương pháp học sâu - từ chuyển bản vẽ raster sang biểu diễn vector [4], mạng đa nhiệm với chú ý dẫn hướng bởi ranh

giới của Zeng và cộng sự [5] cùng bộ dữ liệu CubiCasa5K [6], đến các cải tiến với dữ liệu nhà ở nông thôn [7] và khung đa nhánh, đa chú ý [8]. Tuy vậy, các nghiên cứu trên đều dừng ở đầu ra dạng bản đồ phân đoạn hoặc mô hình hình học cho từng bản vẽ riêng lẻ, chưa giải quyết bài toán tổ chức và khai thác dữ liệu sau nhận dạng.

Để giải quyết bài toán khai thác dữ liệu nêu trên, mô hình ngôn ngữ lớn (LLM) gần đây nổi lên như một công cụ đắc lực trong truy vấn thông tin công trình. Các ứng dụng tiêu biểu có thể kể đến như trợ lý ảo tìm kiếm thông tin BIM [9], sinh mô hình toà nhà từ mô tả văn bản [10], hay thao tác mô hình theo thời gian thực [11]. Mặc dù vậy, các nghiên cứu này hầu hết yêu cầu đầu vào là văn bản thuần túy hoặc các mô hình 3D (BIM/IFC) đã được chuẩn hóa và giàu ngữ nghĩa. Chúng bỏ qua một rào cản lớn trong thực tiễn ngành Xây dựng: đối với phần lớn các công trình hiện hữu, hồ sơ lưu trữ chỉ tồn tại dưới dạng bản vẽ raster hoặc bản scan PDF (legacy data). Sự thiếu hụt các nghiên cứu kết nối trực tiếp sức mạnh của LLM với dữ liệu phi cấu trúc từ bản vẽ 2D đang tạo ra một khoảng trống lớn trong nỗ lực tự động hóa.

Về sinh truy vấn từ ngôn ngữ tự nhiên, hai hướng phổ biến là truy hỏi văn bản tăng cường sinh (Retrieval-Augmented Generation - RAG) [12] và sinh truy vấn có cấu trúc trên cơ sở dữ liệu quan hệ (Text-to-SQL) [13] với các bộ dữ liệu chuẩn như Spider [14]; độ chính xác thực thi trên Spider với mô hình ngôn ngữ lớn đã vượt 85% [15, 16], dù các bộ gần điều kiện thực tế hơn vẫn là thách thức [17]. Cả hai hướng đều chưa có bộ dữ liệu đánh giá tiếng Việt cho lĩnh vực xây dựng; ảnh xạ thuật ngữ chuyên ngành sang lược đồ dữ liệu vẫn là khoảng trống mờ.

1.3. Mục tiêu và đóng góp của bài báo

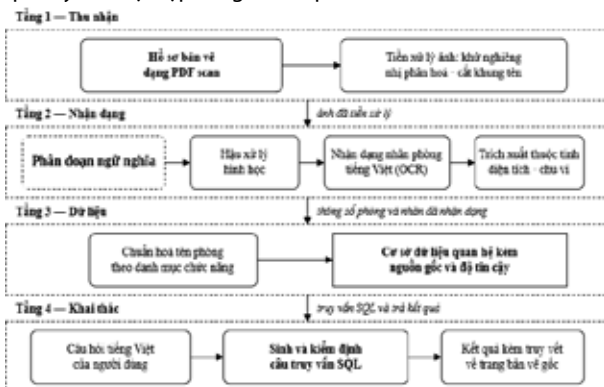
Bài báo trình bày một hệ thống hoàn chỉnh chuyển hồ sơ bản vẽ kiến trúc dạng scan thành cơ sở dữ liệu không gian truy vấn được, với bốn đóng góp chính:

- Quy trình trích xuất thông số phòng từ bản vẽ scan, gồm mô hình phân đoạn ngữ nghĩa (semantic segmentation) do nhóm tác giả phát triển cùng hai khâu hậu xử lý hình học và nhận dạng nhân phòng tiếng Việt;
- Lược đồ cơ sở dữ liệu cho thông tin phòng kèm phương pháp chuẩn hóa tên phòng về danh mục chức năng thống nhất;
- Lớp truy vấn ngôn ngữ tự nhiên sinh câu lệnh SQL có kiểm định, kèm cơ chế truy vết kết quả về trang bản vẽ gốc;
- Đánh giá thực nghiệm trên bộ hồ sơ thực tế gồm 12 công trình với 436 bản vẽ mặt bằng, về cả độ chính xác trích xuất và độ chính xác truy vấn.

2. KIẾN TRÚC HỆ THỐNG VÀ PHƯƠNG PHÁP TRÍCH XUẤT THÔNG SỐ PHÒNG

2.1. Kiến trúc tổng thể

Hệ thống được tổ chức thành bốn tầng chức năng tách biệt, cho phép thay thế độc lập từng thành phần (Hình 1).



Hình 1. Kiến trúc tổng thể của hệ thống

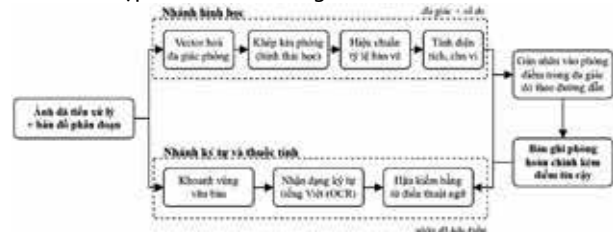
Tầng thu nhận tiếp nhận tệp PDF quét và tiền xử lý ảnh gồm khử nhiễu, nhị phân hoá và cắt khung tên. Tầng nhận dạng chuyển ảnh thành thông tin qua bốn bước: phân đoạn ngữ nghĩa, hậu xử lý hình học, nhận dạng nhân phòng và trích xuất thuộc tính. Tầng dữ liệu chuẩn hoá kết quả và lưu vào cơ sở dữ liệu quan hệ - nơi thông tin từ dạng ảnh trở thành dữ liệu có cấu trúc truy vấn được. Tầng khai thác cung cấp giao diện hỏi đáp bằng tiếng Việt trên toàn bộ kho dữ liệu. Hệ thống được xây dựng bằng Python, đóng gói dạng ứng dụng web và vận hành được trong mạng nội bộ khi dùng mô hình ngôn ngữ cục bộ.

2.2. Mô hình phân đoạn ngữ nghĩa

Mô hình phân đoạn do nhóm tác giả phát triển là mạng đa nhiệm dự đoán đồng thời ranh giới (tường, cửa đi, cửa sổ) và loại phòng trên cùng một lượt suy luận, với hai cải tiến chính so với kiến trúc gốc của Zeng và cộng sự [5]: hàm mất mát nhận biết cạnh xây dựng trên toán tử Sobel nhằm tăng độ sắc nét của ranh giới, và mạng trích đặc trưng ConvNeXt-Tiny thay cho VGG16. Trên bộ dữ liệu CubiCasa5K [6], mô hình đạt Boundary mIoU 78,89% và Room mIoU 73,81%, đồng thời giảm 43,6% bộ nhớ GPU so với mô hình cơ sở. Đầu ra là bản đồ phân đoạn mức điểm ảnh, do đó cần các bước hậu xử lý dưới đây.

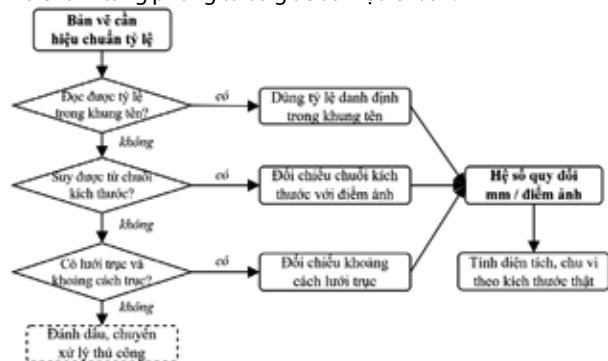
2.3. Hậu xử lý hình học

Quy trình trích xuất gồm hai nhánh - nhánh hình học xác định ranh giới và kích thước phòng, nhánh ký tự xác định tên và thuộc tính - sau đó hợp nhất thành bản ghi hoàn chỉnh (Hình 2).



Hình 2. Quy trình trích xuất thông số phòng từ bản vẽ scan

Nhánh hình học gồm bốn bước: (i) chuyển bản đồ phân đoạn thành đa giác ranh giới phòng bằng dò biên, làm mượt đường bao và ép các cạnh về phương vuông góc; (ii) khép kín các phòng hở - do vị trí cửa đi, tường nét đứt hoặc nét mờ khi quét - bằng phép toán hình thái học (morphological operations) với ngưỡng khoảng hở giới hạn; (iii) hiệu chuẩn tỷ lệ bản vẽ theo thứ tự ưu tiên: đọc tỷ lệ trong khung tên, suy từ chuỗi kích thước, hoặc từ khoảng cách lưới trục - khi cả ba nguồn đều không có, bản vẽ được đánh dấu xử lý thủ công (Hình 3); (iv) tính diện tích và chu vi từng phòng từ đa giác đã hiệu chuẩn.



Hình 3. Trình tự quyết định khi hiệu chuẩn tỷ lệ bản vẽ

2.4. Nhận dạng nhân phòng tiếng Việt

Nhân phòng trên bản vẽ tiếng Việt gây khó cho nhận dạng ký tự do chữ có dấu, chữ nghiêng theo phương bản vẽ, chữ đè lên nét vẽ và ký hiệu viết tắt không thống nhất giữa các hồ sơ. Quy trình nhận dạng gồm ba bước: khoanh vùng văn bản, nhận dạng ký tự (OCR) [18], và hậu kiểm bằng từ điển thuật ngữ chuyên ngành. Nhân được gán về phòng theo quy tắc điểm trong đa giác; nhân nằm ngoài phòng có đường dẫn chỉ

được xử lý bằng cách dò theo hướng đường dẫn. Mỗi bản ghi được gán một điểm tin cậy tổng hợp từ xác suất nhận dạng ký tự và chất lượng phân đoạn, làm cơ sở cho cơ chế cảnh báo ở mục 3.4.

3. TỔ CHỨC DỮ LIỆU VÀ TRUY VẤN BẰNG NGÔN NGỮ TỰ NHIÊN

3.1. Lược đồ cơ sở dữ liệu

Thông tin trích xuất được tổ chức thành ba bảng quan hệ - công trình, bản vẽ và phòng - liên kết qua khóa ngoại (Hình 4); Bảng 1 mô tả các trường của bảng phòng. Các trường nguồn gốc và độ tin cậy được thiết kế riêng nhằm bảo đảm mọi kết quả truy vấn đều dẫn ngược được về vị trí cụ thể trên bản vẽ gốc.

CÔNG TRÌNH — công trình	BẢN VẼ — bản vẽ / trang	PHÒNG — phòng
PK_ma_ho_so — mã hồ sơ	PK_ma_ban_ve — mã bản vẽ	PK_ma_phong — mã phòng
ten_cong_trinh — tên công trình	FK_ma_ho_so —> CÔNG TRÌNH	FK_ma_ban_ve —> BẢN VẼ
loai_cong_trinh — nhóm công trình	so_trang — số trang trong hồ sơ	ten_phong_goc — nhân gốc
nam_ho_so — năm lập / hoàn công	tang — ký hiệu tầng	ten_phong_chuan — tên chuẩn hóa
dia_diem — địa điểm xây dựng	ty_le — tỷ lệ sao hiệu chuẩn	ma_chuc_nang — mã chức năng
		dien_tich — diện tích (m ²)
		nguyen_vung — tọa độ vùng ảnh
		tin_cay_hinh_hoc — tin cậy hình học
		tin_cay_ky_tu — tin cậy nhân

Nguồn tham khảo: nhóm trường pho: vụ truy vấn nguồn và cảnh báo độ tin cậy (mục 3.4)

PK: khóa chính; FK: khóa ngoại; t —: một bản ghi bên trái ứng với nhiều bản ghi bên phải

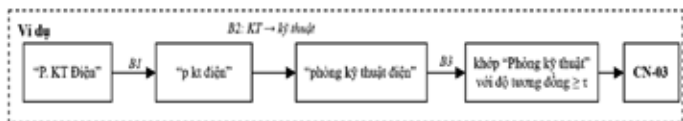
Hình 4. Lược đồ cơ sở dữ liệu ba bảng: công trình - bản vẽ - phòng

Bảng 1. Lược đồ dữ liệu phòng

Trường dữ liệu	Kiểu	Mô tả
ten_phong_goc	Chuỗi	Nhãn phòng đọc được từ bản vẽ, giữ nguyên
ten_phong_chuan	Chuỗi	Tên phòng sau chuẩn hóa
ma_chuc_nang	Chuỗi	Mã nhóm chức năng theo danh mục ở Bảng 2
dien_tich_chu_vi	Số thực	Diện tích (m ²) và chu vi (m) của phòng
nguyen_trang, nguyen_vung	Số nguyên, chuỗi	Số trang trong hồ sơ gốc và tọa độ vùng ảnh
tin_cay_hinh_hoc	Số thực	Điểm tin cậy của kết quả phân đoạn, thang 0-1
tin_cay_ky_tu	Số thực	Điểm tin cậy của kết quả nhận dạng nhân, thang 0-1

3.2. Chuẩn hóa tên phòng

Cùng một chức năng sử dụng nhưng mỗi hồ sơ ghi theo một cách khác nhau; nếu giữ nguyên nhân gốc thì mọi phép tổng hợp xuyên hồ sơ đều sai. Hệ thống chuẩn hóa tên phòng về một danh mục chức năng thống nhất qua ba bước: chuẩn hóa chuỗi ký tự, đối chiếu từ điển viết tắt chuyên ngành, và so khớp ngữ nghĩa bằng biểu diễn vector (sentence embedding) [19] với ngưỡng tương đồng (Bảng 2, Hình 5).



Hình 5. Quy trình chuẩn hóa tên phòng về danh mục chức năng, kèm ví dụ

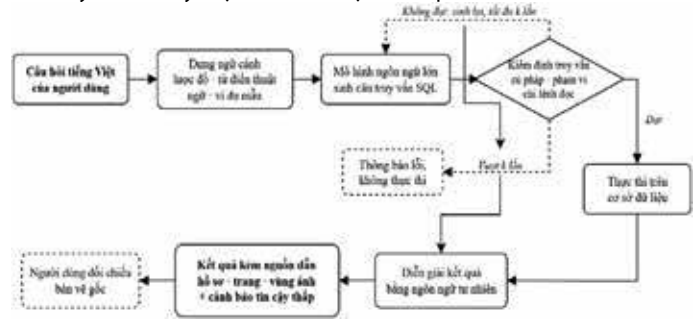
Bảng 2. Danh mục chức năng chuẩn và các biến thể tên tương ứng

Mã	Nhóm chức năng	Ví dụ biến thể tên gặp trong hồ sơ
CN-01	Phòng làm việc	P. làm việc; Phòng LV; Văn phòng; P. chuyên viên
CN-02	Phòng họp	P. họp; Phòng hội thảo; Hội trường nhỏ
CN-03	Phòng kỹ thuật	P. Kỹ thuật; Phòng KT; KT điện; Phòng thiết bị
CN-04	Khu vệ sinh	WC; Vệ sinh; KVS; Phòng vệ sinh nam
CN-05	Hành lang, sảnh	Hành lang; Sảnh; Sảnh chính; Hành lang
CN-06	Cầu thang, thang máy	Thang bộ; TB; Thang máy; Buồng thang

3.3. Sinh và kiểm định truy vấn

Phần lớn câu hỏi khai thác thực tế đòi hỏi phép đếm, cộng, lọc và so sánh xuyên nhiều công trình - các phép tính mà hướng truy hồi văn bản tăng cường sinh không bảo đảm chính xác. Hệ thống do đó chọn hướng sinh truy vấn có cấu trúc: toàn bộ phép tính được uỷ thác cho hệ quản trị cơ sở dữ liệu, còn mô hình ngôn ngữ chỉ dịch câu hỏi thành câu truy vấn - một đối tượng đọc được và kiểm chứng được trước khi thực thi. Truy hồi văn bản chỉ dùng cho phần ghi chú, thuyết minh dạng văn bản tự do trên bản vẽ.

Quy trình xử lý một câu hỏi được khái quát trên Hình 6.



Hình 6. Quy trình sinh và kiểm định truy vấn từ câu hỏi tiếng Việt

Ngữ cảnh đưa vào mô hình gồm lược đồ các bảng dữ liệu, từ điển ánh xạ thuật ngữ tiếng Việt sang tên trường (ví dụ "diện tích" ánh xạ sang dien_tich, "phòng học" sang mã chức năng tương ứng) và một số cặp câu hỏi - truy vấn mẫu. Câu truy vấn sinh ra phải vượt qua bộ kiểm định: chỉ chấp nhận lệnh đọc, giới hạn trong các bảng và trường được khai báo, kiểm tra cú pháp; nếu không đạt, mô hình sinh lại tối đa k lần trước khi trả về thông báo lỗi.

3.4. Cơ chế truy vết nguồn

Mỗi bản ghi trong kết quả truy vấn gắn với mã hồ sơ, số trang và tọa độ vùng ảnh, cho phép người dùng mở đúng vị trí trên bản vẽ gốc để đối chiếu. Khi kết quả chứa bản ghi có điểm tin cậy dưới ngưỡng, hệ thống hiển thị cảnh báo kèm số lượng bản ghi liên quan, để người dùng biết mức độ cần kiểm tra lại.

4. THỬ NGHIỆM VÀ KẾT QUẢ

4.1. Dữ liệu và phương pháp đánh giá

Bộ dữ liệu thử nghiệm gồm 12 công trình dân dụng (trường học, trụ sở làm việc) với 436 bản vẽ mặt bằng quét ở độ phân giải 200-300 DPI, tương ứng 5.214 phòng. Đáp án đối chứng được hai kỹ sư bóc tách thủ công độc lập; các trường hợp bất nhất được thống nhất trước khi đánh giá.

Khâu trích xuất được đánh giá bằng Recall và Precision ở mức phòng cùng sai số diện tích so với bóc tách thủ công; khâu truy vấn được đánh giá bằng độ chính xác thực thi (execution accuracy) trên bộ câu hỏi có đáp án chuẩn.

4.2. Độ chính xác trích xuất thông số phòng

Kết quả đánh giá khâu trích xuất trên toàn bộ dữ liệu thử nghiệm được tổng hợp trong Bảng 3.

Bảng 3. Kết quả đánh giá khâu trích xuất thông số phòng

Chỉ tiêu	Kết quả	Ghi chú
Tỷ lệ phòng phát hiện đúng, Recall (%)	96,8	
Tỷ lệ phát hiện chính xác, Precision (%)	97,5	
Sai số diện tích trung bình (%)	2,1	So với bóc tách thủ công
Sai số diện tích lớn nhất (%)	6,8	
Độ chính xác nhận dạng tên phòng (%)	92,4	
Độ chính xác chuẩn hoá mã chức năng (%)	94,1	

4.3. Độ chính xác truy vấn

Bộ câu hỏi thử nghiệm gồm 180 câu hỏi tiếng Việt có đáp án chuẩn, chia thành bốn nhóm theo độ phức tạp (Bảng 4).

Bảng 4. Độ chính xác thực thi truy vấn theo nhóm câu hỏi

Nhóm câu hỏi	Ví dụ	Số câu	Đúng (%)
Tra cứu đơn giản	Diện tích phòng X của công trình Y	60	95,0
Lọc theo điều kiện	Các phòng có diện tích dưới 20 m ²	50	92,0
Tổng hợp thống kê	Tổng diện tích phòng học của công trình Y	40	87,5
So sánh xuyên công trình	Xếp hạng các trụ sở theo tỷ lệ diện tích phụ trợ	30	76,7
Chung	—	180	89,4

4.4. Hiệu quả so với quy trình thủ công

Bảng 5 so sánh chi phí thời gian giữa quy trình thủ công và hệ thống trên cùng khối lượng hồ sơ; thời gian của hệ thống gồm xử lý tự động và công kiểm tra các bản ghi bị cảnh báo.

Bảng 5. So sánh hiệu quả giữa quy trình thủ công và hệ thống đề xuất

Chỉ tiêu	Thủ công	Hệ thống đề xuất
Thời gian xử lý một bản vẽ (phút)	25-40	1,5
Thời gian kiểm tra và hiệu chỉnh (phút)	—	3,0
Tỷ lệ bản ghi phải sửa tay (%)	—	8,5
Thời gian trả lời một câu hỏi tra cứu (phút)	30-120	< 1

4.5. Phân tích các trường hợp thất bại

Hệ thống bỏ sót hoặc trích xuất sai 168 phòng (3,2%). Bốn nguyên nhân chính gồm: bản quét mờ hoặc nghiêng nặng (41%); các phòng thông nhau không có ranh giới rõ (27%); ký hiệu viết tắt ngoài từ điển thuật ngữ (19%); và bản vẽ không xác định được tỷ lệ, phải chuyển xử lý thủ công (13%). Hai nhóm đầu phản ánh giới hạn của khâu phân đoạn và hậu xử lý hình học; hai nhóm sau có thể cải thiện bằng mở rộng từ điển và bổ sung mẫu hiệu chuẩn.

5. BÀN LUẬN

So với các nghiên cứu nhận dạng bản vẽ hai chiều [3 - 8], vốn dừng ở bản đồ phân đoạn hoặc mô hình hình học cho từng bản vẽ, đóng góp của hệ thống nằm ở các khâu phía sau nhận dạng: chuyển kết quả phân đoạn thành bản ghi có cấu trúc, chuẩn hoá và tổ chức thành cơ sở dữ liệu khai thác được ở quy mô kho hồ sơ. Ngược lại, so với các nghiên cứu dùng mô hình ngôn ngữ lớn truy vấn thông tin công trình [9 - 11], vốn giả định đã có mô hình BIM hoặc tệp IFC, hệ thống giải quyết chính khâu tạo lập dữ liệu từ bản vẽ quét - hiện trạng phổ biến tại Việt Nam.

Lựa chọn sinh truy vấn có cấu trúc thay vì truy hồi văn bản là một lập luận thiết kế: các phép đếm, cộng và lọc được uỷ thác cho hệ quản trị cơ sở dữ liệu, còn mô hình ngôn ngữ chỉ sinh một đối tượng trung gian kiểm chứng được trước khi thực thi [15 - 17]. Tính ưu việt của lựa chọn này cần được củng cố bằng đối chứng với một cấu hình truy hồi văn bản trên cùng bộ câu hỏi - một hạn chế của phạm vi thử nghiệm hiện tại.

Các hạn chế chính gồm: chất lượng nhận dạng suy giảm trên bản vẽ quét mờ hoặc nghiêng nặng; ký hiệu viết tắt ngoài từ điển làm giảm độ chính xác chuẩn hoá tên phòng; và các bản vẽ không xác định được tỷ lệ phải xử lý thủ công. Cơ chế điểm tin cậy và truy vết nguồn giảm thiểu rủi ro dùng kết quả sai nhưng không thay thế bước kiểm tra của kỹ sư. Về triển khai, khả năng vận hành trong mạng nội bộ với mô hình ngôn ngữ cục bộ phù hợp với yêu cầu quản lý hồ sơ của các đơn vị nhà nước.

6. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày một hệ thống hoàn chỉnh chuyển kho hồ sơ bản vẽ kiến trúc dạng scan thành cơ sở dữ liệu không gian truy vấn được bằng tiếng Việt, gồm mô hình phân đoạn ngữ nghĩa do nhóm tác giả phát triển, hậu xử lý hình học, nhận dạng nhãn phòng tiếng Việt, chuẩn hoá tên phòng và lớp truy vấn ngôn ngữ tự nhiên có kiểm định, truy vết nguồn. Kết quả thử nghiệm trên bộ hồ sơ thực

tế cho thấy hệ thống đạt độ chính xác trích xuất và truy vấn ở mức sử dụng được trong thực tiễn, đồng thời rút ngắn đáng kể thời gian so với bóc tách thủ công. Hạn chế hiện tại nằm ở các bản vẽ chất lượng quét thấp và ký hiệu viết tắt ngoài từ điển.

Hướng phát triển tiếp theo gồm: mở rộng nhận dạng sang bản vẽ kết cấu và cơ điện; xuất dữ liệu phòng sang định dạng IFC (thực thể IfcSpace) làm cơ sở tái tạo từng phần mô hình thông tin công trình; đối chiếu tự động thông số phòng với định mức diện tích trong hệ thống tiêu chuẩn, quy chuẩn hiện hành; và kết nối với các nền tảng dữ liệu công trình ở quy mô lớn hơn.

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả trân trọng cảm ơn Viện Tin học Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội đã hỗ trợ quá trình nghiên cứu, và các đơn vị đã cung cấp hồ sơ bản vẽ phục vụ thử nghiệm hệ thống.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] P. N. Pizarro, N. Hirschfeld, I. Sipiran, J. M. Saavedra. Automatic floor plan analysis and recognition. Automation in Construction, vol. 140, art. 104348, 2022.

[2] S. Feist, L. Jacques de Sousa, L. Sanhudo, J. Poças Martins. Automatic reconstruction of 3D models from 2D drawings: A state-of-the-art review. Eng, vol. 5, no. 2, pp. 784-800, 2024.

[3] L.-P. de las Heras, S. Ahmed, M. Liwicki, E. Valveny, G. Sánchez. Statistical segmentation and structural recognition for floor plan interpretation. International Journal on Document Analysis and Recognition, vol. 17, no. 3, pp. 221-237, 2014.

[4] C. Liu, J. Wu, P. Kohli, Y. Furukawa. Raster-to-vector: Revisiting floorplan transformation. Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), pp. 2214-2222, 2017.

[5] Z. Zeng, X. Li, Y. K. Yu, C.-W. Fu. Deep floor plan recognition using a multi-task network with room-boundary-guided attention. Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV), pp. 9096-9104, 2019.

[6] A. Kalervo, J. Ylioinas, M. Häikiö, A. Karhu, J. Kannala. CubiCasa5K: A dataset and an improved multi-task model for floorplan image analysis. Proceedings of the Scandinavian Conference on Image Analysis (SCIA), LNCS vol. 11482, Springer, pp. 28-40, 2019.

[7] Z. Lu, T. Wang, J. Guo, W. Meng, J. Xiao, W. Zhang, X. Zhang. Data-driven floor plan understanding in rural residential buildings via deep recognition. Information Sciences, vol. 567, pp. 58-74, 2021.

[8] A. De Nardin, S. Zottin, A. Toma, C. Picciarelli, G. L. Foresti. A multibranch and multiattention framework for floor plan segmentation. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, vol. 40, no. 23, pp. 3674-3687, 2025.

[9] J. Zheng, M. Fischer. Dynamic prompt-based virtual assistant framework for BIM information search. Automation in Construction, vol. 155, art. 105067, 2023.

[10] C. Du, S. Esser, S. Nouisias, A. Bormann. Text2BIM: Generating building models using a large language model-based multiagent framework. Journal of Computing in Civil Engineering, vol. 40, no. 2, art. 04025142, 2026.

[11] D. Fernandes, S. Garg, M. Nikkel, G. Guven. A GPT-powered assistant for real-time interaction with building information models. Buildings, vol. 14, no. 8, art. 2499, 2024.

[12] P. Lewis et al. Retrieval-augmented generation for knowledge-intensive NLP tasks. Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS), vol. 33, pp. 9459-9474, 2020.

[13] G. Katsogiannis-Meimarakis, G. Koutrika. A survey on deep learning approaches for text-to-SQL. The VLDB Journal, vol. 32, no. 4, pp. 905-936, 2023.

[14] T. Yu et al. Spider: A large-scale human-labeled dataset for complex and cross-domain semantic parsing and text-to-SQL task. Proceedings of the Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP), pp. 3911-3921, 2018.

[15] M. Pourreza, D. Rafiei. DIN-SQL: Decomposed in-context learning of text-to-SQL with self-correction. Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS), vol. 36, 2023.

[16] D. Gao, H. Wang, Y. Li, X. Sun, Y. Qian, B. Ding, J. Zhou. Text-to-SQL empowered by large language models: A benchmark evaluation. Proceedings of the VLDB Endowment, vol. 17, no. 5, pp. 1132-1145, 2024.

[17] J. Li et al. Can LLM already serve as a database interface? A big bench for large-scale database grounded text-to-SQLs. Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS), vol. 36, 2023.

[18] X. Chen, L. Jin, Y. Zhu, C. Luo, T. Wang. Text recognition in the wild: A survey. ACM Computing Surveys, vol. 54, no. 2, art. 42, 2021.

[19] J. Chen, S. Xiao, P. Zhang, K. Luo, D. Lian, Z. Liu. M3-Embedding: Multi-linguality, multi-functionality, multi-granularity text embeddings through self-knowledge distillation. Findings of the Association for Computational Linguistics (ACL), pp. 2318-2335, 2024.

QCVN 04-3:2026/BXD và tác động đến hiệu quả sử dụng năng lượng, giảm phát thải khí nhà kính và mục tiêu phát thải ròng bằng “0” trong lĩnh vực xây dựng

QCVN 04-3:2026/BXD and its implications for building energy efficiency, greenhouse gas emissions mitigation, and the transition towards net-zero emissions in the building sector

> NGUYỄN HỒNG HẢI*, NGUYỄN SƠN LÂM, HOÀNG MẠNH

Viện Khoa học công nghệ xây dựng (Bộ Xây dựng)

*Email: haiibst@gmail.com

TÓM TẮT

Sử dụng năng lượng hiệu quả trong công trình xây dựng là một trong những giải pháp quan trọng nhằm giảm tiêu thụ năng lượng, kiểm soát chi phí vận hành và giảm phát thải khí nhà kính. Trên cơ sở rà soát QCVN 09:2017/BXD, QCVN 04-3:2026/BXD được ban hành nhằm cập nhật và hoàn thiện các yêu cầu kỹ thuật đối với công trình dân dụng sử dụng năng lượng hiệu quả, đồng thời bổ sung yêu cầu kiểm soát hiệu quả năng lượng trong quá trình vận hành công trình. Bài báo phân tích những thay đổi chủ yếu của QCVN 04-3:2026/BXD, đánh giá cơ chế tác động của các yêu cầu kỹ thuật đến tiêu thụ năng lượng và phát thải khí nhà kính, đồng thời xem xét kinh nghiệm của Dự án EECB giai đoạn 2017 - 2021 làm cơ sở tham chiếu cho đánh giá kinh tế - kỹ thuật. Kết quả phân tích cho thấy quy chuẩn mới tạo ra cách tiếp cận toàn diện hơn, từ kiểm soát đặc tính nhiệt của vỏ công trình, hiệu suất hệ thống điều hòa không khí, chiếu sáng và thiết bị điện đến kiểm soát hiệu quả năng lượng trong vận hành. Các giải pháp tuân thủ yêu cầu hiệu quả năng lượng có thể làm tăng chi phí đầu tư ban đầu nhưng tạo ra lợi ích kinh tế trong giai đoạn vận hành thông qua giảm tiêu thụ điện và chi phí năng lượng. Quan trọng hơn, việc đưa chỉ số hiệu quả năng lượng vận hành vào quy chuẩn tạo tiền đề cho thu thập dữ liệu, xây dựng mức chuẩn tiêu thụ năng lượng và từng bước chuyển từ quản lý dựa trên yêu cầu thiết kế sang quản lý dựa trên kết quả vận hành. Tác động của QCVN 04-3:2026/BXD đối với mục tiêu phát thải ròng bằng “0” được hình thành chủ yếu thông qua giảm phát thải khí nhà kính trong giai đoạn vận hành và cần được kết hợp với các giải pháp giảm carbon hàm chứa, năng lượng tái tạo và đánh giá carbon vòng đời công trình.

Từ khóa: QCVN 04-3:2026/BXD; hiệu quả năng lượng; công trình dân dụng; phát thải khí nhà kính; carbon vận hành; công trình carbon thấp; phát thải ròng bằng “0”.

ABSTRACT

Efficient energy use in buildings is one of the key measures for reducing energy consumption, controlling operating costs and lowering greenhouse gas emissions. Developed through a review of QCVN 09:2017/BXD, QCVN 04-3:2026/BXD was issued to update and improve the technical requirements for energy-efficient residential and non-residential buildings and to introduce requirements for controlling energy performance during building operation. This paper analyses the main changes introduced by QCVN 04-3:2026/BXD and examines how its technical requirements affect energy consumption and greenhouse gas emissions. Experience from the EECB Project during 2017–2021 is also considered as a reference for the economic and technical assessment. The analysis shows that the new regulation adopts a more comprehensive approach, covering the thermal performance of building envelopes, the efficiency of air-conditioning systems, lighting and electrical equipment, and energy performance during operation. Measures to comply

with energy efficiency requirements may increase initial investment costs but provide economic benefits during operation by reducing electricity consumption and energy costs. More importantly, the inclusion of an operational energy performance indicator in the regulation lays the groundwork for collecting data, establishing energy consumption benchmarks and gradually shifting from management based on design requirements to management based on operational performance. QCVN 04-3:2026/BXD contributes to the net-zero emissions goal primarily by reducing greenhouse gas emissions during operation. Its implementation needs to be combined with measures to reduce embodied carbon, the use of renewable energy and whole-life carbon assessment of buildings.

Keywords: QCVN 04-3:2026/BXD; energy efficiency; residential and non-residential buildings; greenhouse gas emissions; operational carbon; low-carbon buildings; net-zero emissions.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngành Xây dựng có vai trò quan trọng trong tiêu thụ năng lượng và phát thải khí nhà kính thông qua cả quá trình sản xuất vật liệu, xây dựng và vận hành công trình. Trong đó, đối với các công trình dân dụng có quy mô lớn như văn phòng, khách sạn, bệnh viện, trường học, trung tâm thương mại và nhà chung cư, năng lượng sử dụng trong giai đoạn vận hành có liên quan trực tiếp đến nhu cầu điều hòa không khí, thông gió, chiếu sáng, thiết bị điện và nước nóng. Do thời gian khai thác công trình thường kéo dài hàng chục năm, hiệu quả sử dụng năng lượng có ảnh hưởng tích lũy đáng kể đến chi phí vận hành, phụ tải điện và phát thải khí nhà kính.

QCVN 09:2017/BXD đã tạo nền tảng pháp lý quan trọng cho việc kiểm soát hiệu quả năng lượng công trình tại Việt Nam. Qua quá trình áp dụng, quy chuẩn đã góp phần thúc đẩy thiết kế vỏ công trình phù hợp điều kiện khí hậu, nâng cao hiệu suất hệ thống điều hòa không khí và chiếu sáng, đồng thời hình thành năng lực chuyên môn cho các chủ thể tham gia hoạt động xây dựng. Tuy nhiên, sự phát triển nhanh của vật liệu, thiết bị và công nghệ điều khiển, cùng với yêu cầu ngày càng cao về quản lý năng lượng và giảm phát thải, đặt ra nhu cầu cập nhật hệ thống yêu cầu kỹ thuật. Một vấn đề cần lưu ý là mức tiêu thụ năng lượng thực tế trong vận hành có thể khác với kết quả dự kiến trong thiết kế và việc quản lý dữ liệu năng lượng vận hành trước đây chưa được quy định đầy đủ [2].

Ngày 30/7/2026, Bộ Xây dựng ban hành Thông tư số 61/2026/TT-BXD và QCVN 04-3:2026/BXD - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về Công trình dân dụng - Phần 3: Công trình xây dựng sử dụng năng lượng hiệu quả. Quy chuẩn có hiệu lực từ ngày 01/02/2027 [1].

So với QCVN 09:2017/BXD, QCVN 04-3:2026/BXD không chỉ cập nhật các yêu cầu đối với vỏ công trình, hệ thống thông gió và điều hòa không khí, chiếu sáng và thiết bị điện mà còn mở rộng yêu cầu đối với thang máy, thang cuốn và đặc biệt bổ sung nội dung kiểm soát hiệu quả năng lượng trong quá trình vận hành.

Trong bối cảnh Việt Nam hướng tới mục tiêu phát thải ròng bằng "0" vào năm 2050, vấn đề đặt ra là: QCVN 04-3:2026/BXD có thể tạo ra những tác động gì đối với hiệu quả sử dụng năng lượng, chi phí vòng đời và giảm phát thải khí nhà kính của công trình? Những cơ chế nào quyết định mức độ đóng góp của quy chuẩn đối với quá trình chuyển đổi sang công trình carbon thấp?

Bài báo này nhằm: (i) phân tích những thay đổi chủ yếu của QCVN 04-3:2026/BXD so với QCVN 09:2017/BXD; (ii) phân tích cơ chế tác động của các yêu cầu kỹ thuật đến hiệu quả sử dụng năng lượng; (iii) phân tích tác động kinh tế - kỹ thuật và môi trường dự kiến của việc áp dụng quy chuẩn; và (iv) xác định vai trò của QCVN 04-3:2026/BXD trong lộ trình giảm phát thải khí nhà kính và hướng tới phát thải ròng bằng "0" trong lĩnh vực xây dựng.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Cách tiếp cận nghiên cứu

Nghiên cứu sử dụng phương pháp phân tích chính sách - kỹ thuật kết hợp đánh giá tác động kinh tế và môi trường. Khung phân tích

được xây dựng theo chuỗi: Yêu cầu kỹ thuật của QCVN → giải pháp thiết kế và thiết bị → tiêu thụ năng lượng → chi phí vận hành → phát thải khí nhà kính → tác động vòng đời → đóng góp cho mục tiêu carbon thấp. Cách tiếp cận này cho phép đánh giá tác động của quy chuẩn không chỉ ở cấp độ từng yêu cầu kỹ thuật mà ở cấp độ toàn bộ quá trình đầu tư và vận hành công trình.

2.2. Phân tích so sánh QCVN 09:2017/BXD và QCVN 04-3:2026/BXD

Nghiên cứu tập trung vào năm nhóm nội dung:

- Vỏ công trình;
- Thông gió và điều hòa không khí;
- Chiếu sáng;
- Các thiết bị điện khác;
- Kiểm soát hiệu quả năng lượng trong vận hành.

Các chỉ tiêu kỹ thuật được xem xét gồm: tổng nhiệt trở R_0 ($\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$); hệ số thu nhiệt mặt trời của kính SHGC (không thứ nguyên); tỷ số diện tích cửa sổ trên diện tích tường WWR (%); chỉ số truyền nhiệt tổng OTTV (W/m^2); hệ số hiệu quả COP (W/W , không thứ nguyên); hệ số hiệu quả mùa làm lạnh CSPF (Wh/Wh , không thứ nguyên); mật độ công suất chiếu sáng LPD (W/m^2); hiệu suất động cơ (%); chỉ số hiệu quả năng lượng vận hành; hệ thống sưởi, thông gió và điều hòa không khí HVAC; hệ thống điều hòa không khí có lưu lượng môi chất lạnh thay đổi VRV/VRF; diốt phát quang LED.

2.3. Đánh giá hiệu quả năng lượng

Về nguyên tắc, mức tiết kiệm năng lượng của công trình được xác định theo:

$$\Delta E = E_r - E_a \quad (1)$$

Trong đó: ΔE là lượng điện năng tiết kiệm hằng năm ($\text{kWh}/\text{năm}$); E_r và E_a lần lượt là điện năng tiêu thụ hằng năm của phương án tham chiếu và phương án áp dụng giải pháp hiệu quả năng lượng ($\text{kWh}/\text{năm}$).

Tỷ lệ tiết kiệm năng lượng được xác định:

$$S = [(E_r - E_a)/E_r] \times 100 \quad (2)$$

Trong đó: S là tỷ lệ tiết kiệm điện năng (%).

Việc sử dụng phương án tham chiếu cho phép hạn chế việc đánh giá hiệu quả chỉ dựa trên giá trị tuyệt đối và tạo điều kiện so sánh giữa các loại hình công trình khác nhau.

2.4. Đánh giá phát thải khí nhà kính

Lượng phát thải khí nhà kính tránh được do tiết kiệm điện có thể được xác định theo:

$$\Delta \text{GHG} = \Delta E \times \text{EF} \quad (3)$$

Trong đó: ΔGHG là lượng phát thải khí nhà kính giảm được ($\text{kg CO}_2\text{e}/\text{năm}$); ΔE là điện năng tiết kiệm ($\text{kWh}/\text{năm}$); EF là hệ số phát thải điện lưới ($\text{kg CO}_2\text{e}/\text{kWh}$) phù hợp với năm và phạm vi đánh giá. CO_2e là lượng carbon dioxide tương đương.

2.5. Đánh giá kinh tế

Tác động kinh tế được xem xét theo hai nhóm: chi phí đầu tư ban đầu và lợi ích trong quá trình vận hành. Thời gian hoàn vốn đơn giản của khoản đầu tư tăng thêm được xác định theo:

$$\text{Tp} = \Delta I / \Delta C \quad (4)$$

Trong đó: Tpb là thời gian hoàn vốn (năm); ΔI là chi phí đầu tư tăng thêm cho giải pháp hiệu quả năng lượng (đồng); ΔC là chi phí năng lượng tiết kiệm hằng năm (đồng/năm), với $\Delta C > 0$. Các kết quả từ Dự án EECB giai đoạn 2017 - 2021 được sử dụng làm bằng chứng tham chiếu [3]. Theo tài liệu nghiên cứu, một số công trình trình diễn tuân thủ QCVN 09:2017/BXD có thời gian hoàn vốn đối với phần đầu tư tăng thêm khoảng 1 - 4 năm.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Sự chuyển đổi trong cách tiếp cận quản lý hiệu quả năng lượng

Một trong những kết quả quan trọng nhất của nghiên cứu là nhận diện sự thay đổi về cách tiếp cận quản lý. QCVN 09:2017/BXD chủ yếu đặt trọng tâm vào việc kiểm soát các yêu cầu kỹ thuật của từng bộ phận công trình. Trong khi đó, QCVN 04-3:2026/BXD mở rộng phạm vi sang kiểm soát hiệu quả năng lượng trong cả quá trình vận hành.

Điểm thay đổi này có thể được khái quát như sau:

QCVN 09:2017/BXD: Thiết kế → Kiểm tra tuân thủ → Đưa công trình vào sử dụng

QCVN 04-3:2026/BXD: Thiết kế → Thi công → Vận hành → Đo lường → Đánh giá → Cải thiện

Sự thay đổi này có ý nghĩa quan trọng bởi hiệu quả năng lượng thực tế không chỉ phụ thuộc vào thiết kế mà còn phụ thuộc vào chế độ vận hành, thiết bị, điều kiện sử dụng và hành vi của người sử dụng. Việc bổ sung yêu cầu xác định chỉ số hiệu quả năng lượng trong vận hành tạo cơ sở thu thập dữ liệu tiêu thụ năng lượng thực tế và từng bước hình thành cơ sở dữ liệu, định mức tiêu thụ năng lượng theo loại công trình. Đây có thể xem là một trong những đóng góp quan trọng nhất của QCVN mới đối với quá trình chuyển đổi sang quản lý năng lượng dựa trên dữ liệu. Chỉ số hiệu quả năng lượng cần được xác định theo TCVN 13472:2022; khi triển khai cần áp dụng đúng phương pháp xác định, ranh giới năng lượng và diện tích quy định trong tiêu chuẩn [4].

Bảng 1. So sánh các nhóm yêu cầu của hai quy chuẩn

Nhóm nội dung	QCVN 09:2017/BXD	QCVN 04-3:2026/BXD
Vỏ công trình	Kiểm soát đặc tính nhiệt của vỏ; các chỉ tiêu R_0 , SHGC, WWR, OTTV.	Cập nhật yêu cầu đối với vỏ; tiếp tục xem xét đồng thời truyền nhiệt và bức xạ mặt trời.
Thông gió và điều hòa không khí	Yêu cầu hiệu suất thiết bị và hệ thống.	Cập nhật yêu cầu hiệu suất theo loại thiết bị và điều khiển hệ thống.
Chiếu sáng	Kiểm soát mật độ công suất và điều khiển chiếu sáng.	Cập nhật yêu cầu về công suất, nguồn sáng và điều khiển.
Thiết bị điện khác	Đã có yêu cầu đối với động cơ điện và đun nước nóng.	Cập nhật các yêu cầu đã có; bổ sung nội dung về thang máy, thang cuốn.
Vận hành	Chủ yếu kiểm soát yêu cầu kỹ thuật của công trình và hệ thống.	Bổ sung kiểm soát hiệu quả năng lượng trong vận hành và xác định chỉ số hiệu quả năng lượng.

3.2. Tác động của yêu cầu đối với vỏ công trình

Đặc tính nhiệt của vỏ công trình ảnh hưởng trực tiếp đến trao đổi nhiệt giữa không gian bên trong và môi trường bên ngoài. QCVN 04-3:2026/BXD kiểm soát tổng nhiệt trở R_0 của tường và mái, đồng thời kiểm soát SHGC của kính theo WWR và hướng công trình; trong trường hợp không áp dụng trực tiếp các yêu cầu chi tiết, quy chuẩn cho phép sử dụng phương pháp OTTV.

Về cơ chế năng lượng, có thể mô tả:

R_0 tăng → truyền nhiệt qua lớp vỏ công trình giảm → tải lạnh giảm → điện năng HVAC giảm.

Đối với kính:

SHGC giảm → bức xạ mặt trời truyền vào công trình giảm → tải lạnh giảm → điện năng điều hòa giảm.

Do đó, yêu cầu đối với vỏ công trình không chỉ có ý nghĩa về vật lý công trình mà còn tạo tác động gián tiếp đến tiêu thụ điện của hệ thống HVAC.

3.3. Tác động của yêu cầu đối với HVAC

Điều hòa không khí và thông gió là nhóm phụ tải quan trọng trong nhiều công trình dân dụng. QCVN 04-3:2026/BXD quy định yêu cầu đối với nhiều loại hệ thống điều hòa, thiết bị làm lạnh, hệ VRV/VRF, máy sản xuất nước lạnh và hệ thống điều khiển.

Hiệu quả của nhóm giải pháp này được hình thành thông qua hai cơ chế: (i) giảm nhu cầu lạnh thông qua thiết kế vỏ công trình hiệu quả; và (ii) giảm điện năng cần thiết để đáp ứng cùng một tải lạnh thông qua tăng hiệu suất thiết bị. Điều này cho thấy các yêu cầu về vỏ công trình và HVAC có quan hệ tương tác và không nên được đánh giá hoàn toàn độc lập.

3.4. Tác động của yêu cầu đối với chiếu sáng và thiết bị điện

QCVN 04-3:2026/BXD kiểm soát mật độ công suất chiếu sáng, hệ thống điều khiển và nguồn sáng hiệu suất cao; đồng thời cập nhật yêu cầu đối với động cơ điện, hệ thống đun nước nóng và bổ sung nội dung về thang máy, thang cuốn.

Các yêu cầu đối với động cơ điện và hệ thống đun nước nóng đã được đề cập trong QCVN 09:2017/BXD [2]. Vì vậy, cần phân biệt việc cập nhật yêu cầu đối với các hệ thống đã có với việc bổ sung yêu cầu đối với thang máy, thang cuốn trong quy chuẩn mới. Hiệu quả ở cấp công trình phụ thuộc vào sự phối hợp giữa các hệ thống và chế độ vận hành.

3.5. Tác động kinh tế: chi phí đầu tư và lợi ích vòng đời

Việc đáp ứng các yêu cầu cao hơn về hiệu quả năng lượng có thể làm tăng chi phí đầu tư ban đầu, đặc biệt đối với vật liệu vỏ công trình, kính, thiết bị HVAC, chiếu sáng và hệ thống điều khiển. Tuy nhiên, bản chất kinh tế của giải pháp hiệu quả năng lượng khác với một khoản chi phí tuân thủ thông thường. Khoản đầu tư bổ sung tạo ra dòng lợi ích trong toàn bộ thời gian vận hành thông qua giảm tiêu thụ năng lượng.

Dự án EECB được sử dụng làm nguồn tham chiếu về kinh nghiệm triển khai giải pháp hiệu quả năng lượng trong các tòa nhà thương mại và chung cư cao tầng [3]. Kết quả của dự án cho thấy các công trình áp dụng thiết kế tuân thủ QCVN 09:2017/BXD có thể phát sinh chi phí đầu tư tăng thêm nhưng tạo ra tiết kiệm điện trong vận hành; đối với một số công trình trình diễn, thời gian hoàn vốn của khoản đầu tư tăng thêm được ghi nhận khoảng 1-4 năm.

Kết quả này củng cố lập luận rằng đánh giá tác động kinh tế của QCVN 04-3:2026/BXD cần được thực hiện trên cơ sở chi phí vòng đời, thay vì chỉ so sánh chi phí đầu tư ban đầu.

3.6. Tác động đối với giảm phát thải khí nhà kính

Tác động môi trường của QCVN 04-3:2026/BXD chủ yếu được hình thành thông qua giảm tiêu thụ năng lượng trong giai đoạn vận hành.

Yêu cầu hiệu quả năng lượng → Giảm nhu cầu năng lượng → Giảm tiêu thụ điện → Giảm nhu cầu sản xuất điện → Giảm phát thải khí nhà kính

Bản chất của tác động này là giảm phát thải gián tiếp, do công trình sử dụng ít điện hơn. Tuy nhiên, cần phân biệt rõ giữa giảm carbon vận hành và giảm carbon vòng đời. QCVN 04-3:2026/BXD chủ yếu tác động đến năng lượng sử dụng trong vận hành. Vì vậy, không thể đồng nhất việc tuân thủ QCVN với việc công trình đạt trạng thái phát thải ròng bằng "0".

3.7. Vai trò của QCVN 04-3:2026/BXD trong lộ trình phát thải ròng bằng "0" đến năm 2050

Đóng góp của QCVN 04-3:2026/BXD đối với mục tiêu phát thải ròng bằng "0" (Net Zero) cần được đặt trong một hệ thống giải pháp tổng thể.

Hiệu quả năng lượng → Giảm nhu cầu năng lượng → Giảm điện năng tiêu thụ → Giảm phát thải vận hành; giảm phát thải vật liệu và thi công → Giảm phát thải hàm chứa; kết hợp đánh giá vòng đời và xử lý lượng phát thải còn lại → Công trình phát thải các bon thấp/Net Zero.

Theo cách tiếp cận này, hiệu quả năng lượng là giải pháp nền tảng. Nếu nhu cầu năng lượng của công trình không được giảm ngay từ thiết kế, việc sử dụng năng lượng tái tạo để bù đắp cho mức tiêu thụ cao sẽ đòi hỏi công suất và chi phí lớn hơn. Do đó, tác động quan trọng nhất của QCVN 04-3:2026/BXD đối với mục tiêu Net Zero không phải là trực tiếp “đưa công trình về Net Zero”, mà là giảm nhu cầu năng lượng và phát thải vận hành – bước đầu tiên của quá trình khử carbon công trình.

3.8. Tác động đối với thị trường công nghệ và năng lực ngành xây dựng

Việc áp dụng các yêu cầu bắt buộc về hiệu quả năng lượng sẽ tạo ra tác động lan tỏa tới chuỗi giá trị xây dựng.

- Đối với vật liệu: tăng nhu cầu vật liệu cách nhiệt; kính hiệu suất năng lượng cao; vật liệu có đặc tính nhiệt tốt.

- Đối với thiết bị: HVAC hiệu suất cao; động cơ hiệu suất cao; đèn LED; thang máy và thang cuốn hiệu suất cao; hệ thống điều khiển và quản lý năng lượng.

- Đối với dịch vụ: mô phỏng năng lượng; kiểm toán năng lượng; tư vấn công trình xanh; quản lý vận hành; đánh giá hiệu quả năng lượng.

Như vậy, quy chuẩn có thể tạo ra hiệu ứng chuyển dịch thị trường từ sản phẩm hiệu suất thấp sang sản phẩm hiệu suất cao, đồng thời thúc đẩy đổi mới công nghệ trong ngành xây dựng.

3.9. Điều kiện triển khai và ý nghĩa quản lý

Kết quả nghiên cứu cho thấy tác động của QCVN 04-3:2026/BXD có thể được nhìn nhận ở ba cấp độ:

- Cấp độ thứ nhất - công trình: giảm nhu cầu năng lượng và chi phí vận hành.

- Cấp độ thứ hai - hệ thống năng lượng: có thể giảm phụ tải điện và áp lực lên nguồn, lưới điện; mức giảm phụ tải đỉnh cần được kiểm chứng bằng biểu đồ phụ tải theo thời gian.

- Cấp độ thứ ba - khí hậu: giảm phát thải khí nhà kính gián tiếp từ tiêu thụ điện và hỗ trợ quá trình chuyển đổi sang nền kinh tế carbon thấp.

Việc bổ sung kiểm soát hiệu quả năng lượng trong vận hành trong quy chuẩn tạo cơ sở để đề xuất chu trình quản lý sau:

Đo lường → So sánh với mức chuẩn (Benchmark) → Đánh giá → Cải thiện → Đo lường lại.

Nếu hệ thống dữ liệu vận hành được triển khai đầy đủ, Việt Nam có thể từng bước xây dựng cơ sở dữ liệu quốc gia về tiêu thụ năng lượng theo loại hình công trình. Khi đó, hiệu quả của quy chuẩn có thể được đánh giá bằng dữ liệu thực tế thay vì chỉ dựa trên việc kiểm tra sự phù hợp của hồ sơ thiết kế.

Tuy nhiên, nghiên cứu cũng cho thấy một số vấn đề cần tiếp tục giải quyết. Thứ nhất, cần có cơ sở dữ liệu đủ lớn về tiêu thụ năng lượng thực tế để xác định mức chuẩn tiêu thụ năng lượng (benchmark) theo từng loại công trình và vùng khí hậu. Thứ hai, cần xây dựng phương pháp xác định hệ số phát thải phù hợp để chuyển đổi mức tiết kiệm điện thành lượng CO₂e tránh phát thải. Thứ ba, cần tăng cường năng lực của các đơn vị tư vấn, thiết kế và quản lý vận hành trong việc sử dụng các công cụ mô phỏng và phân tích năng lượng. Thứ tư, để tiến tới Net Zero cần mở rộng phạm vi từ năng lượng vận hành sang carbon hàm chứa và carbon vòng đời của công trình.

4. HẠN CHẾ CỦA NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu hiện chủ yếu sử dụng phương pháp phân tích chính sách - kỹ thuật và tham chiếu kinh nghiệm triển khai đã có. Do QCVN 04-

3:2026/BXD mới được ban hành và chỉ bắt đầu có hiệu lực từ ngày 01/02/2027, chưa có đủ dữ liệu vận hành thực tế của các công trình áp dụng quy chuẩn mới để đánh giá trực tiếp mức tiết kiệm năng lượng và giảm phát thải.

Do đó, các kết luận về mức tiết kiệm năng lượng của QCVN 04-3:2026/BXD cần được hiểu là đánh giá tiềm năng và cơ chế tác động, không phải kết quả đo lường thực nghiệm trên quy mô toàn quốc.

5. KẾT LUẬN

Thứ nhất: QCVN 04-3:2026/BXD là bước phát triển quan trọng trong hệ thống quản lý hiệu quả năng lượng công trình tại Việt Nam. So với QCVN 09:2017/BXD, quy chuẩn mới không chỉ cập nhật các yêu cầu kỹ thuật đối với vỏ công trình, HVAC, chiếu sáng và thiết bị điện mà còn mở rộng phạm vi kiểm soát đến thang máy, thang cuốn và hiệu quả năng lượng trong quá trình vận hành.

Thứ hai: Các yêu cầu đối với vỏ công trình, HVAC, chiếu sáng và thiết bị điện hình thành một hệ thống giải pháp có quan hệ tương tác, trong đó việc giảm nhu cầu năng lượng kết hợp với nâng cao hiệu suất thiết bị là cơ chế cốt lõi để giảm tiêu thụ điện.

Thứ ba: Việc bổ sung chỉ số hiệu quả năng lượng trong vận hành tạo tiền đề cho việc thu thập dữ liệu tiêu thụ năng lượng thực tế, xây dựng mức chuẩn tiêu thụ năng lượng và từng bước hình thành phương thức quản lý hiệu quả năng lượng dựa trên dữ liệu.

Thứ tư: Việc tuân thủ các yêu cầu hiệu quả năng lượng có thể làm tăng chi phí đầu tư ban đầu, đồng thời tạo ra lợi ích thông qua giảm chi phí năng lượng trong vận hành. Mức tiết kiệm và thời gian hoàn vốn cần được xác định cho từng công trình trên cơ sở dữ liệu có thể kiểm chứng; bài báo chưa đủ căn cứ để kết luận một khoảng hoàn vốn chung.

Thứ năm: QCVN 04-3:2026/BXD có tiềm năng góp phần giảm phát thải khí nhà kính thông qua giảm tiêu thụ điện trong giai đoạn vận hành.

Thứ sáu: Để đóng góp hiệu quả hơn cho mục tiêu phát thải ròng bằng “0” vào năm 2050, việc áp dụng QCVN 04-3:2026/BXD cần được kết hợp với các giải pháp sử dụng năng lượng tái tạo, giảm carbon hàm chứa của vật liệu, tối ưu hóa thiết kế và đánh giá carbon vòng đời công trình.

Thứ bảy: Về dài hạn, hiệu quả của QCVN 04-3:2026/BXD cần được đánh giá bằng dữ liệu vận hành thực tế. Việc xây dựng cơ sở dữ liệu quốc gia về tiêu thụ năng lượng, mức chuẩn tiêu thụ năng lượng theo loại công trình và hệ số phát thải là những điều kiện quan trọng để lượng hóa chính xác đóng góp của quy chuẩn đối với giảm phát thải khí nhà kính.

Từ những kết quả trên có thể khẳng định rằng QCVN 04-3:2026/BXD không chỉ là công cụ kiểm soát mức tiêu thụ năng lượng của công trình mà còn là một thành phần kỹ thuật quan trọng trong quá trình chuyển đổi ngành xây dựng sang mô hình carbon thấp. Hiệu quả năng lượng cần được xem là bước đầu tiên và có tính nền tảng trong lộ trình hướng tới mục tiêu phát thải ròng bằng “0” vào năm 2050.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Bộ Xây dựng. Thông tư số 61/2026/TT-BXD ngày 30/7/2026 ban hành Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về Công trình dân dụng - Phần 3: Công trình xây dựng sử dụng năng lượng hiệu quả, QCVN 04-3:2026/BXD, 2026.

[2] Bộ Xây dựng. QCVN 09:2017/BXD - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về các công trình xây dựng sử dụng năng lượng hiệu quả, 2017.

[3] Bộ Xây dựng. UNDP, GEF, Báo cáo kết quả Dự án “Nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng trong các tòa nhà thương mại và chung cư cao tầng tại Việt Nam” (EECB), 2021.

[4] Bộ Khoa học và Công nghệ. TCVN 13472:2022. Phương pháp luận xác định mức hiệu suất năng lượng, 2022.

Quản lý sức khỏe cầu đường bộ thích ứng biến đổi khí hậu ứng dụng trí tuệ nhân tạo

AI-enabled climate-adaptive health management for road bridges

> HỒ THANH PHONG^{1,2,*}, NGUYỄN ANH TUẤN¹, HỒ QUỐC BẢO³, LÊ HOÀNG SƠN^{1,4}, ĐỖ VIỆT DŨNG⁵

¹Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải

²Công ty Cổ phần ACC 245

³Trường Đại học Văn Hiến

⁴Trường Đại học Kiên Giang

⁵Trường Đại học Giao thông vận tải TP.HCM

*Email: Bkthanhphong@gmail.com

TÓM TẮT

Hệ thống cầu đường bộ tại Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) đang chịu tác động đồng thời của biến đổi khí hậu (BĐKH), sụt lún và xâm thực mặn. Nghiên cứu đề xuất hệ thống giám sát sức khỏe công trình (SHM) tích hợp dữ liệu rung động, camera và khí tượng - thủy văn. Dữ liệu được xử lý bằng FHO, K-means và PSO để tối ưu trọng số, tổng hợp thành chỉ số sức khỏe SHI. Giải pháp hỗ trợ chuyển từ bảo trì thụ động sang giám sát chủ động và bảo trì dự báo trong điều kiện môi trường khắc nghiệt.

Từ khóa: Bảo trì dự báo; biến đổi khí hậu; chỉ số SHI; giám sát thủy triều; quản lý cầu đường; sức khỏe công trình; tối ưu hóa bầy đàn; trí tuệ nhân tạo.

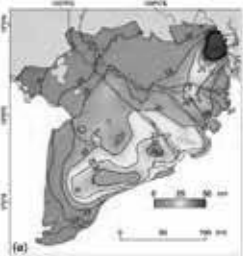
ABSTRACT

Road bridges in the Mekong Delta are simultaneously exposed to climate change, land subsidence and saline aggression. This study proposes a multi-source structural health monitoring framework integrating vibration sensors, camera-based surface defect assessment and hydro-meteorological data. Fire Hawk Optimizer supports sensor placement, K-means separates characteristic vibration states, and Particle Swarm Optimization determines component weights for a composite Structural Health Index (SHI). A 15-day monitoring scenario under high- and low-tide conditions indicates SHI values below the warning threshold, demonstrating the potential of the framework to support condition-based inspection, early warning and proactive bridge maintenance in climate-sensitive environments.

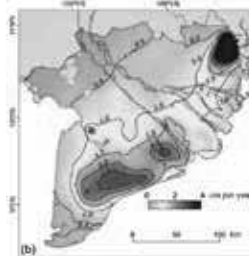
Keywords: Predictive maintenance; climate change; SHI; tidal monitoring; bridge management; structural health; particle swarm optimization; artificial intelligence.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hệ thống cầu đường bộ ĐBSCL giữ vai trò quan trọng đối với tính liên tục của các trục vận tải và phát triển kinh tế khu vực. Địa hình thấp trũng (cao độ trung bình 0,5 - 1,5 m), nền đất yếu và mạng sông ngòi dày đặc khiến nhiều cầu thường xuyên lâm vào tình trạng mất - lợ, làm tăng nguy cơ suy giảm độ bền vật liệu và tuổi thọ kết cấu [1-3].



a. Giai đoạn 1991 – 2016



b. Năm 2015

Hình 1. Bản đồ sụt lún địa chất khu vực ĐBSCL giai đoạn từ năm 1991 - 2016

Nguồn: [7]

BĐKH, sụt lún và nước biển dâng đang làm gia tăng rủi ro đối với cầu ĐBSCL. Tốc độ sụt lún khoảng 1,6 cm/năm kết hợp nước biển dâng làm mực nước tương đối tăng, trong khi ranh mặn 4 g/l có thể lấn sâu tới 100 km, thúc đẩy ăn mòn cốt thép và xói lở móng trụ [4 - 7]. Công tác quản lý hiện vẫn chủ yếu dựa vào kiểm tra định kỳ và quan sát trực quan, khó phát hiện sớm hư hỏng tiềm ẩn [8]. Các phương pháp AI và học sâu đã cho thấy khả năng khai thác dữ liệu cảm biến để nhận dạng suy giảm kết cấu [9]. Vì vậy, nghiên cứu đề xuất tích hợp mạng cảm biến không dây, camera và AI, sử dụng PSO tối ưu trọng số để hình thành chỉ số sức khỏe tổng hợp, phục vụ cảnh báo sớm và quản lý chủ động cầu trong điều kiện BĐKH.

2. TÁC ĐỘNG CỦA BĐKH ĐẾN HIỆU NĂNG VÀ CHI PHÍ VÒNG ĐỜI CẦU ĐƯỜNG ĐBSCL

2.1. Nhân tố chi phối trạng thái kết cấu công trình trong giai đoạn khai thác

Sụt lún và nước biển dâng: Nước biển dâng tuyệt đối tại Việt Nam khoảng 5,2 mm/năm [10], trong khi sụt lún đất có thể đạt 1,6 cm/năm. Tác động cộng hưởng làm tăng mực nước tương đối và

thay đổi điều kiện khai thác của cầu.

Xâm thực mặn: Ranh mặn lấn sâu làm tăng thời gian kết cấu tiếp xúc ion chloride, thúc đẩy ăn mòn cốt thép và suy giảm khả năng chịu lực.

Nhiệt độ và độ ẩm: Nhiệt độ vùng tăng trung bình 0,027 °C/năm [11]; độ ẩm cao kéo dài thúc đẩy cacbonat hóa, nứt và bong lớp bê tông bảo vệ.

Thủy văn cực đoan: Suy giảm dòng chảy mùa khô làm giảm khả năng đẩy mặn, trong khi lũ lớn làm tăng vận tốc dòng chảy và nguy cơ xói lở móng, trụ [12].

2.2. Cơ chế suy giảm kết cấu công trình dưới tác động của môi trường

Ăn mòn hóa học: Sulfate (SO_4^{2-}) trong môi trường mặn có thể thúc đẩy xâm nhập chloride và hình thành sản phẩm trương nở như ettringite, gây ứng suất nội và nứt bê tông [13].

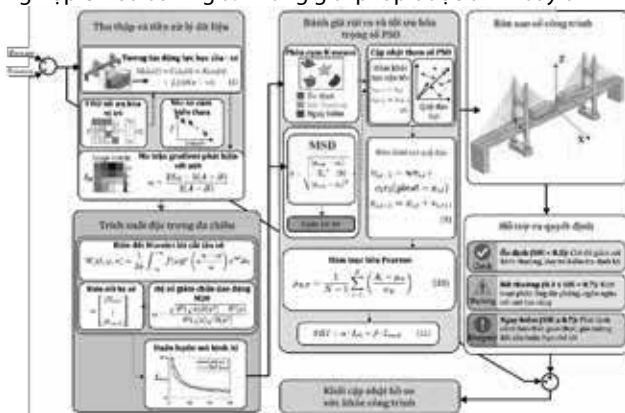
Ứng suất nhiệt và lão hóa: Chênh lệch nhiệt độ giữa bề mặt và lõi bê tông gây biến dạng không đồng đều và vết nứt vi mô [14]. Nhiệt độ cao đồng thời làm lão hóa vật liệu; đối với bê tông dự ứng lực có thể làm gia tăng mất ứng suất [15].

Xói lở và nền móng: Dòng chảy lớn gây xói cục bộ quanh móng, trụ, làm giảm chiều dài ngàm và sức chịu tải ngang của cọc [16]. Sụt lún nền còn có thể tạo ma sát âm, làm tăng tải lên móng.

Phá hủy giòn: Ăn mòn làm giảm tiết diện cốt thép, suy giảm độ dẻo và có thể chuyển cơ chế phá hủy từ dẻo sang giòn, làm tăng rủi ro dưới tải trọng giao thông [17].

3. GIẢI PHÁP GIÁM SÁT KẾT CẤU CẦU DỰA TRÊN HỢP NHẤT DỮ LIỆU ĐA CẢM BIẾN

Nghiên cứu đề xuất giải pháp SHM tích hợp đa cảm biến theo ba giai đoạn: (i) thu thập và tiền xử lý; (ii) trích xuất đặc trưng; và (iii) tổng hợp chỉ số đánh giá. Khung giải pháp được trình bày ở Hình 2.



Hình 2. Khung giải pháp ứng dụng trí tuệ nhân tạo trong quản lý SHM

3.1. Thu thập và tiền xử lý dữ liệu

Giai đoạn tiền xử lý đồng nhất các nguồn dữ liệu và chuyển tín hiệu vật lý thô thành dữ liệu có cấu trúc. Phản ứng động lực học của hệ phương tiện - cầu được mô tả bằng phương trình vi phân ma trận [18]: $M_b \ddot{u}_b(t) + C_b \dot{u}_b(t) + K_b u_b(t) = f_c(t) \delta(x - vt)$

$$M_b \ddot{u}_b(t) + C_b \dot{u}_b(t) + K_b u_b(t) = f_c(t) \delta(x - vt) \quad (1)$$

Trong đó, các ma trận khối lượng, giảm chấn và độ cứng mô tả đặc trưng động lực học của dầm cầu; suy giảm độ cứng là dấu hiệu nhạy với hư hại. Các véc-tơ phản ứng gồm biến dạng, vận tốc và gia tốc tại các nút cảm biến; tải bánh xe được biểu diễn theo vị trí thay đổi theo thời gian. $M_b, C_b, K_b \propto n K_b u, u, \ddot{u}_c(t) \delta(x - vt) \quad tv$

Vị trí cảm biến được tối ưu bằng Fire Hawk Optimizer (FHO), mô phỏng hành vi săn mồi để tìm phương án bố trí tại các vùng có độ nhạy động lực học cao [19]. Mỗi nghiệm biểu diễn một phương án tọa độ cảm biến trong miền tìm kiếm: $uN \quad dX \in \mathbb{R}^{N \times d} X_i X_j^0$

$$X = \begin{bmatrix} x_1^1 & x_1^2 & \dots & x_1^d \\ x_2^1 & x_2^2 & \dots & x_2^d \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_N^1 & x_N^2 & \dots & x_N^d \end{bmatrix}; \quad X_{ij}^0 = X_{i,min}^j + \text{rand} \cdot (X_{i,max}^j - X_{i,min}^j) \quad (2)$$

Tại các vị trí tối ưu, tín hiệu rung được nén ngay tại nút cảm biến để giảm năng lượng và băng thông truyền. Cảm biến nén biểu diễn tín hiệu thưa thông qua ma trận đo, có thể giảm tải truyền thông đáng kể so với lấy mẫu Nyquist [20]. Song song, ảnh camera được xử lý để xác định biên và tỷ lệ vết nứt, cung cấp đặc trưng hư hại bề mặt: $y \in \mathbb{R}^m (m \ll n) y = \Phi x = \Phi \Psi \theta = A \Phi \Psi \theta x \quad \theta \in S_M \times 5$

$$a = \frac{2S_M - 5(A+B)}{2(A-B)} \quad (3)$$

Thông tin định tính từ kiểm tra chuyên gia được số hóa bằng D-number nhằm biểu diễn bất định trong đánh giá trạng thái [21]. Phương pháp cho phép mô tả mức độ tin cậy và phần thông tin chưa xác định, sau đó chuyển thành giá trị số để hợp nhất với dữ liệu cảm biến và hình ảnh. $D = \{(b_1, v_1), (b_2, v_2), \dots, (b_n, v_n)\} \sum v_i \leq 1 I(D) = \sum_{i=1}^n b_i v_i b_i v_i$

3.2. Trích xuất đặc trưng đa chiều

Dữ liệu sau tiền xử lý được trích xuất đặc trưng bằng biến đổi Wavelet, giúp tách thành phần nhạy với hư hại và giảm nhiễu môi trường [22, 23]. Biểu diễn thời gian - tần số cung cấp đầu vào cho mô hình AI và được xác định theo hàm lát cắt tần số: p^*

$$W_f(t, \omega, \kappa) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \hat{f}(u) \hat{p}^* \left(\kappa \frac{u - \omega}{\omega} \right) e^{iut} du \quad (4)$$

Trong đó, biến đổi Fourier của tín hiệu được lọc theo dải tần mục tiêu. Từ bản đồ năng lượng, hệ số giảm chấn mô thái (MDF) được trích xuất để phản ánh biến đổi liên kết và khả năng tiêu tán năng lượng: $\hat{f}(u) \hat{p}^* \kappa \alpha S(x^n) x = A e^{-\alpha t}$

$$\alpha = \frac{\sqrt[4]{S^2(\sqrt{x}) S(x^2) - S^3(x) / (S^2(\sqrt{x}) \sqrt{S(x^2)})}}{T} \quad (5)$$

Các đặc trưng gồm tín hiệu rung, vết nứt và các chỉ số liên quan được đưa vào Deep Autoencoder (DAE) [24]. DAE học biểu diễn ẩn của trạng thái kết cấu bằng cách tối thiểu hóa sai số tái thiết và thành phần hiệu chỉnh: $\theta \alpha I(D) \alpha \theta \Omega(\theta)$

$$\mathcal{L}(\theta; S, \hat{S}) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |s_i - \hat{s}_i|^2 + \Omega(\theta) \quad (6)$$

Sai số tái thiết được sử dụng hình thành chỉ số hư hại ban đầu (DI); giá trị tăng bất thường cho thấy khả năng xuất hiện trạng thái khác baseline. K-means tiếp tục phân chia không gian đặc trưng thành các cụm trạng thái thông qua tối thiểu hóa tổng sai số bình phương (SSE): $s_i \hat{s}_i DI \quad DI = |s - \hat{s}|^2 DI \quad DI$

$$J = \sum_{j=1}^k \sum_{x_i \in S_j} |x_i - \mu_j|^2 \quad (7)$$

Để đánh giá sai lệch tổng thể so với dữ liệu chuẩn, nghiên cứu sử dụng khoảng cách Mahalanobis trên véc-tơ đặc trưng ẩn, có xét đến phương sai và tương quan giữa các biến: MSD

$$MSD = \sqrt{(y_{new} - \mu_s) \Sigma_s^{-1} (y_{new} - \mu_s)^T} \quad (8)$$

Trong đó, dữ liệu kiểm tra được so sánh với trung bình và ma trận hiệp phương sai của tập baseline. Cách chuẩn hóa này làm giảm ảnh hưởng của tương quan giữa các đặc trưng và biến thiên môi trường. $y_{new} \mu_s \Sigma_s^{-1}$

3.3. Thiết lập chỉ số đánh giá công trình

PSO được sử dụng để tối ưu trọng số của các thành phần hư hại; vị trí và vận tốc hạt được cập nhật theo các công thức (9), (10) [25]. Hàm mục tiêu sử dụng hệ số tương quan Pearson [26] nhằm tăng mức phù hợp giữa chỉ số tổng hợp và trạng thái quan trắc. $(\alpha, \beta)(v)(x)(G)(\rho)$

$$v_{i,t+1} = wv_{i,t} + c_1r_1(pbest_i - x_{i,t}) + c_2r_2(gbest - x_{i,t}) \quad (9)$$

$$x_{i,t+1} = x_{i,t} + v_{i,t+1}$$

$$\rho_{A,B} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \left(\frac{A_i - \mu_A}{\sigma_A} \right) \left(\frac{B_i - \mu_B}{\sigma_B} \right) \quad (10)$$

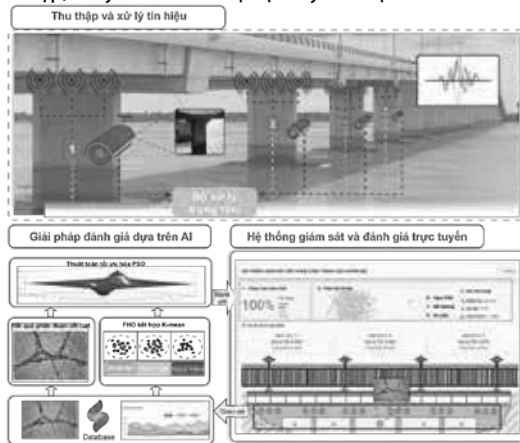
Sau tối ưu, SHI được tổng hợp theo công thức (11) từ chỉ số hư hại DAE/Mahalanobis và đặc trưng khuyết tật bề mặt. SHI càng lớn biểu thị mức suy giảm càng cao. Dựa trên SHI và các tiêu chuẩn kỹ thuật [27,28], nghiên cứu phân ba mức: ổn định ($SHI < 0,3$), duy trì giám sát; bất thường ($0,3 \leq SHI < 0,7$), tăng kiểm tra và bảo trì dự phòng; nguy hiểm ($SHI \geq 0,7$), cảnh báo và xem xét gia cường hoặc hạn chế tải. $I_{vib} I_{crack} \leq \geq$

$$SHI = \alpha \cdot I_{vib} + \beta \cdot I_{crack} \quad (11)$$

Kết quả được cập nhật vào hồ sơ sức khỏe số/Bản sao số, hỗ trợ theo dõi vòng đời và chuyển từ bảo trì phản ứng sang quản trị trạng thái chủ động.

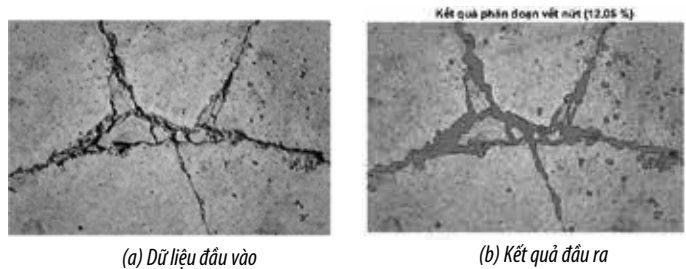
4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Một kịch bản quan trắc 15 ngày được triển khai tại cầu đường bộ điển hình ở ĐBSCL, gồm hai trạng thái thủy triều: nước lớn (NL) và nước ròng (NR). Các thông số gồm thời gian, nhiệt độ, mực nước và SHI. Quy trình thu thập, xử lý AI và hiển thị trực tuyến được mô tả ở Hình 3.



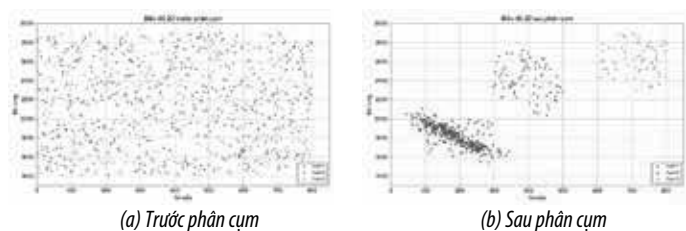
Hình 3. Sơ đồ tổng thể hệ thống quản lý giám sát sức khỏe công trình ứng dụng trí tuệ nhân tạo tích hợp dữ liệu đa cảm biến

FHO xác định các vị trí cảm biến ưu tiên tại mố và trụ, nơi nhạy với biến đổi độ cứng, tải trọng và điều kiện thủy động lực. Hệ thống thị giác máy tính (Hình 4) ghi nhận tỷ lệ diện tích vết nứt ban đầu 12,05%; giá trị hầu như ổn định trong chu kỳ quan trắc, chưa cho thấy xu hướng lan truyền rõ rệt.



Hình 4. Kết quả phân đoạn vết nứt công trình

Dữ liệu rung được K-means phân thành ba trạng thái: dao động nền ổn định, xung tải trọng lớn do phương tiện nặng và rung cường độ cao do tác động bất thường. Kết quả trước và sau phân cụm ở Hình 5 cho thấy khả năng tách các trạng thái dao động, hỗ trợ hạn chế cảnh báo giả.



Hình 5. Kết quả phân cụm K-mean

PSO tối ưu trọng số để tổng hợp SHI từ dữ liệu vết nứt và dao động. Bảng 1 cho thấy SHI trung bình đạt 0,137 ở nước lớn và 0,160 ở nước ròng, đều thấp hơn ngưỡng 0,3. Một số dao động cục bộ xuất hiện khi nhiệt độ cao nhưng không tạo xu hướng suy giảm theo thời gian. Trong giai đoạn khảo sát, kết cấu được xếp trạng thái ổn định; giải pháp phù hợp là tiếp tục giám sát định kỳ thay vì can thiệp gia cường.

Bảng 1. Kết quả giám sát tình trạng kết cấu cầu dưới tác động của điều kiện khí tượng - thủy văn

Ngày	Giờ NL	MNL (m)	Nhiệt độ NL (°C)	SHI_NL	Giờ NR	MNR (m)	Nhiệt độ NR (°C)	SHI_NR
22-02	05:37	3.32	27.1	0.088	12:11	1.05	34.2	0.124
23-02	06:14	3.44	27.6	0.111	12:39	1.33	34.7	0.148
24-02	07:02	3.17	28.4	0.083	13:27	0.41	33.9	0.099
25-02	07:51	2.31	29.8	0.158	14:42	0.73	35.3	0.186
26-02	08:43	3.03	30.7	0.174	15:08	1.18	35.8	0.212
27-02	09:21	2.73	30.1	0.104	16:02	0.95	33.8	0.127
28-02	10:17	2.56	31.2	0.074	16:44	0.38	32.7	0.089
01-03	11:06	3.31	33.1	0.155	17:33	0.73	33.4	0.172
02-03	11:58	3.46	34.4	0.271	18:21	0.39	35.9	0.298
03-03	12:36	2.64	33.7	0.129	19:14	0.95	31.8	0.150
04-03	13:29	3.38	34.1	0.096	20:03	1.25	28.6	0.112
05-03	14:12	3.20	35.0	0.166	20:57	0.80	27.5	0.184
06-03	15:07	2.52	33.6	0.118	21:41	0.54	26.8	0.137
07-03	15:49	2.23	32.8	0.057	22:36	0.92	26.1	0.079
08-03	16:42	3.33	33.7	0.264	23:18	0.77	25.8	0.287
Trung bình	/	2.975	31.7	0.137	/	0.83	31.8	0.160

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu xây dựng và thử nghiệm mô hình SHM tích hợp cảm biến rung, camera và dữ liệu khí tượng - thủy văn phục vụ quản lý cầu ĐBSCL trong điều kiện BĐKH. Quan trắc 15 ngày cho thấy SHI ở cả nước lớn và nước ròng đều dưới ngưỡng cảnh báo, phản ánh trạng thái ổn định trong thời gian khảo sát. Hệ thống đồng thời ghi nhận biến động theo điều kiện môi trường, tạo dữ liệu định lượng cho theo dõi dài hạn.

Việc hợp nhất dữ liệu thành SHI giúp cơ quan quản lý phân cấp rủi ro và ưu tiên kiểm tra, bảo trì trên một thước đo thống nhất. Tích hợp nền tảng trực tuyến và hồ sơ sức khỏe số hỗ trợ chuyển từ bảo trì phản ứng sang bảo trì dự báo, đồng thời tạo cơ sở dữ liệu phục vụ quản lý vòng đời công trình.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Le M. T., Tran T. V. Supplier selection through an integrated multi-criteria decision-making model: A study on barge service providers in the Mekong Delta of Vietnam. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, vol. 41, no. 1, pp. 1-11, 2025, doi: 10.1016/j.ajsl.2024.11.002.
- [2] Nguyen L. V., Ta K. T. O., Tateishi M. Late Holocene depositional environments and coastal evolution of the Mekong River Delta, Southern Vietnam. *Journal of Asian Earth Sciences*, vol. 18, no. 4, pp. 427-439, 2000, doi: 10.1016/S1367-9120(99)00076-0.
- [3] Vu N. U., Hoa V. A., Huynh P. V. Status of fish biodiversity and fishing on Hau River, Mekong Delta, Vietnam. *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology*, vol. 56, 14, 2020, doi: 10.1051/limn/2020012.
- [4] Ho T. P., Vo N. L., Le M. T., Nguyen A. T. Solutions to minimize the impacts of climate change on bridge abutments in the Vam Co river downstream, Tay Ninh province, Vietnam. *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology*, vol. 9, no. 5, 2022, doi: 10.32628/IJSRSET229524.
- [5] Erban L. E., Gorelick S. M., Zebker H. A. Groundwater extraction, land subsidence, and sea-level rise in the Mekong Delta, Vietnam. *Environmental Research Letters*, vol. 9, no. 8, article number. 084010, 2014, doi: 10.1088/1748-9326/9/8/084010.
- [6] Smajgl A., To Q. T., Dang K. N., Ward J., Nguyen H. T., Le Q. T., Tri V. P. D., Vu P. T. Responding to rising sea levels in the Mekong Delta. *Nature Climate Change*, 5, pp. 167-174, 2015, doi: 10.1038/NCLIMATE2469.
- [7] Xiao H., Tang Y., Li H., Zhang L., Duc T. N., Chen D., Tang Q. Saltwater intrusion into groundwater systems in the Mekong Delta and links to global change. *Advances in Climate Change Research*, vol. 12, no. 3, pp. 342-352, 2021, doi: 10.1016/j.accre.2021.04.005.
- [8] Mohamed A. A., Bruce E., Hussam M. Hidden costs to building foundations due to sea level rise in a changing climate. *Scientific Reports*, vol. 12, no. 1, article number. 14020, 2022, doi: 10.1038/s41598-022-18467-3.
- [9] Dang X. K., Corchado J. M., Le V. V., Do V. D. Non-parametric Vibration-based Structural Damage Detection for Coastal Structures: Multi-Dimension to Single Input Convolutional Neural Network Approach. *Advances in Electrical and Computer Engineering*, vol. 24, no. 4, pp. 3-18, 2024, doi: 10.4316/AECE.2024.04001.
- [10] Takagi H., Nguyen D. T., Le T. A. Sea-Level Rise and Land Subsidence: Impacts on Flood Projections for the Mekong Delta's Largest City. *Sustainability*, vol. 8, no. 9, article number. 959, 2016, doi: 10.3390/su8090959.
- [11] Nguyen V. H., Phan T. A. T., Nguyen T. P. L. Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đối với hệ thống kết cấu hạ tầng giao thông đường bộ vùng đồng bằng sông Cửu Long. *Vietnam Journal of Hydrometeorology*, vol. 711, pp. 66-75, 2020, doi: 10.36335/VNJHM.2020(711).
- [12] Nguyen T. T., Huynh V. H., Vo M. H., Van P. D. T. Salinity Intrusion Trends under the Impacts of Upstream Discharge and Sea Level Rise along the Co Chien River and Hau River in the Vietnamese Mekong Delta. *Climate*, vol. 11, no. 3, pp. 1-15, 2023, doi: 10.3390/cli11030066.
- [13] Ye T., Yu L., Yu-Meng X., Guo-Yi Z., Hai-Long Y., Dong-Ming Y., Yun-Jian L., Bei L., Hong-Jing X., Qing C. Coupled Effects of Chlorides and Sulfates on Steel Reinforcement Corrosion in Concrete Structures: A Comprehensive Review. *Case Studies in Construction Materials*, vol. 22, no. 1, e04263, 2025, doi: 10.1016/j.cscm.2025.e04263.
- [14] Klemczak B. A. Modeling thermal-shrinkage stresses in early age massive concrete structures - Comparative study of basic models. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, vol. 14, no. 4, pp. 721-733, 2014, doi: 10.1016/j.acme.2014.01.002.
- [15] Nasr A., Björnsson I., Honfi D., Larsson Ivanov O., Johansson J., Kjellström E. A review of the potential impacts of climate change on the safety and performance of bridges. *Sustainable and Resilient Infrastructure*, vol. 6, no. 4, pp. 1-21, 2021, doi: 10.1080/23789689.2019.1593003.
- [16] Nasr A., Kjellström E., Björnsson I., Honfi D., Larsson Ivanov O., Johansson J. Bridges in a changing climate: a study of the potential impacts of climate change on bridges and their possible adaptations. *Structure and Infrastructure Engineering*, vol. 16, no. 1, pp. 1-12, 2020, doi: 10.1080/15732479.2019.1670215.
- [17] Petra M., Marija K. M. Climate change effect on durability of bridges and other infrastructure. *Gradevinar*, vol. 75, no. 9, pp. 893-906, 2023, doi: 10.14256/JCE.3756.2023.
- [18] Erduran E., Gonen S. Contact point accelerations, instantaneous curvature and physics-based damage detection and location using vehicle-mounted sensors. *Engineering Structures*, vol. 304, article number. 117608, 2024, doi: 10.1016/j.engstruct.2024.117608.
- [19] Mudhsh M., El-Said E. M. S., Aseeri A. O., Almodfer R., Elaziz M. A., Elshamy S. M., Elsheikh A. H. Modelling of thermo-hydraulic behavior of a helical heat exchanger using machine learning model and fire hawk optimizer. *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 49, article number. 103294, 2023, doi: 10.1016/j.csite.2023.103294.
- [20] Karakostas C., Quaranta G., Chatzi E., Zulfikar A. C., Çetindemir O., De Roeck D., Döhler M., Limongelli M. P., Lombaert G., Apaydin N. M., Pakrashi V., Papadimitriou C., Yeşilyurt A. Seismic assessment of bridges through structural health monitoring: a state-of-the-art review. *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 22, pp. 1309-1357, 2024, doi: 10.1007/s10518-023-01819-3.
- [21] Deng X., Hu Y., Deng Y. Bridge Condition Assessment Using D Numbers. *The Scientific World Journal*, article number. 358057, 2014, doi: 10.1155/2014/358057.
- [22] Yabe A., Miyamoto A., Brühwiler E. Characteristics of a bridge condition assessment method based on state representation methodology (SRM) and damage detection sensitivity. *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, vol. 9, pp. 233-251, 2019, doi: 10.1007/s13349-019-00328-9.
- [23] Nguyen X. P., Dang X. K., Ho L. H. A., Luu H. M., Nguyen N. T. Design of a Scalogram-Based Data Acquisition and Processing System for a Multi-sensor Network Application for Marine Structures. *Lecture Notes in Civil Engineering*, pp. 67-76, 2024, doi: 10.1007/978-981-97-5353-6_6.
- [24] Li Z., Lin W., Zhang Y. Real-time drive-by bridge damage detection using deep auto-encoder. *Structures*, vol. 47, pp. 1167-1181, 2023, doi: 10.1016/j.istruc.2022.11.094.
- [25] Wang C., Li D., Kaewniem P., Wang J., Al-hababi T. An ED-PSO model updating algorithm for structure health monitoring of beam-like structures. *Journal of Measurements in Engineering*, vol. 11, no. 3, 2023, doi: 10.21595/jme.2023.23417.
- [26] Zacharakis I., Giagopoulos D. Vibration-Based Damage Detection Using Finite Element Modeling and the Metaheuristic Particle Swarm Optimization Algorithm. *Sensors*, vol. 22, no. 14, 5079, 2022, doi: 10.3390/s22145079.
- [27] Bộ Khoa học và Công nghệ. TCVN 7378:2004. Rung động và chấn động - Rung động đối với công trình - Mức rung và yêu cầu kỹ thuật. Tiêu chuẩn quốc gia, Hà Nội, Việt Nam, 2004.
- [28] Bộ Khoa học và Công nghệ. TCVN 5574:2018. Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế. Tiêu chuẩn quốc gia, Hà Nội, Việt Nam, 2018.
- [29] Pham T. A., Dang X. K., Kobojević Ž., Do V. D., Pham T. D. A. Maritime Data Mining for Marine Safety Based on Deep Learning: Southern Vietnam Case Study. *Naše More*, vol. 71, no. 1, pp. 21-29, 2024, doi: 10.17818/NM/2024/1.4.

Tổ chức và quản lý thông tin công trình xây dựng giai đoạn thiết kế cơ sở trên BIM

Organization and management of building information for basic design stage using BIM

> **TRẦN VĂN TOÀN**

Trường Đại học Thủy lợi; Email: tranvantoan@tlu.edu.vn

TÓM TẮT

Giai đoạn thiết kế cơ sở (TKCS) là mốc hình thành các chỉ tiêu quy hoạch, quy mô đầu tư, giải pháp kỹ thuật chủ yếu và cơ sở để thẩm định dự án đầu tư xây dựng. Bài báo đề xuất phương thức tổ chức và quản lý thông tin công trình trên BIM theo hướng lấy yêu cầu thông tin, môi trường dữ liệu chung (CDE), cấu trúc IFC và mức độ thông tin cần thiết làm trung tâm. Trên cơ sở pháp lý về quản lý dự án đầu tư xây dựng, lộ trình áp dụng BIM ở Việt Nam, tiêu chuẩn TCVN 14177-1:2024, ISO 19650:2018 và ISO 16739:2024, nghiên cứu xây dựng khung dữ liệu gồm phân cấp không gian, bộ thuộc tính, dữ liệu định lượng và mã phân loại phục vụ kiểm soát chỉ tiêu quy hoạch, diện tích, công năng, khái toán tổng mức đầu tư và khả năng kế thừa dữ liệu cho các giai đoạn thiết kế tiếp theo [1 - 8]. Kết quả nghiên cứu gồm ma trận quản trị thông tin, cấu trúc dữ liệu IFC cho TKCS, quy trình kiểm soát mô hình và checklist thẩm định dữ liệu nhằm hỗ trợ chủ đầu tư, tư vấn thiết kế, tư vấn thẩm tra và cơ quan quản lý nhà nước nâng cao tính minh bạch, khả năng truy xuất và chất lượng ra quyết định trong giai đoạn chuẩn bị dự án.

Từ khóa: BIM; IFC; thiết kế cơ sở; CDE; EIR; BEP; LOD; LOI; quản lý thông tin.

ABSTRACT

The Basic Design stage establishes planning indicators, project scale, key technical solutions and the basis for appraisal of construction investment projects. This paper proposes a BIM-based method for organizing and managing building information by focusing on information requirements, the Common Data Environment, IFC structure and the Level of Information Need. Grounded in Vietnamese regulations on construction project management, the BIM implementation roadmap, TCVN 14177-1:2024, ISO 19650:2018 and ISO 16739:2024, the study develops a data framework consisting of spatial hierarchy, property sets, quantity data and classification codes to support planning control, area and function validation, preliminary cost estimation and data continuity for subsequent design stages [1 - 8]. The research outcomes include an information governance matrix, an IFC data structure for the Basic Design stage, a model control workflow, and a data appraisal checklist, all intended to support project owners, design consultants, design review consultants, and state construction management authorities in enhancing transparency, traceability, and decision-making quality during the project preparation stage.

Keywords: BIM; IFC; Basic Design; CDE; EIR; BEP; LOD; LOI; Information Management.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Chuyển đổi số trong hoạt động xây dựng đang làm thay đổi cách thức tạo lập, kiểm soát và sử dụng thông tin của dự án. BIM không chỉ là mô hình ba chiều mà là phương pháp quản lý thông tin số trong suốt vòng đời tài sản xây dựng. Theo ISO 19650-1:2018, quản lý thông tin bằng BIM cần bao gồm khung trao đổi, ghi nhận, quản lý phiên bản và tổ chức thông tin cho các chủ thể tham gia dự án [6]. Tại Việt Nam, lộ trình áp dụng BIM đã được Thủ tướng Chính phủ phê duyệt tại Quyết định số 258/QĐ-TTg ngày 17/3/2023, tạo cơ sở thúc đẩy việc ứng dụng BIM trong hoạt động xây dựng [3].

TKCS có ý nghĩa quyết định vì đây là giai đoạn xác lập quy mô, công năng, chỉ tiêu sử dụng đất, giải pháp kỹ thuật chủ yếu và cơ sở lập tổng mức đầu tư. 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, trong đó việc lập, thẩm định và phê duyệt dự án,

thiết kế xây dựng là nội dung trọng tâm của quản lý đầu tư xây dựng [2]. Vì vậy, quản lý thông tin TKCS phải gắn với yêu cầu thẩm định dự án, quản lý phạm vi, khối lượng, chất lượng, tiến độ, chi phí và hệ thống thông tin công trình theo Luật Xây dựng [1].

Thực tế cho thấy nhiều hồ sơ TKCS vẫn được quản lý chủ yếu bằng bản vẽ 2D và bảng biểu rời rạc, dẫn đến khó kiểm soát đồng bộ giữa diện tích, công năng, giải pháp kỹ thuật và khái toán. Khi thông tin thiết kế không được chuẩn hóa, các bên liên quan phải kiểm tra thủ công, dễ phát sinh sai lệch giữa bản vẽ, thuyết minh, bảng khối lượng và dữ liệu dự toán. Cách tiếp cận BIM theo openBIM và IFC có thể khắc phục hạn chế này bằng cách chuyển trọng tâm từ quản lý tệp bản vẽ sang quản lý dữ liệu đối tượng, trạng thái thông tin và lịch sử phê duyệt [5, 8, 9].

Bài báo tập trung làm rõ phương thức tổ chức và quản lý thông tin công trình giai đoạn TKCS trên BIM, trong đó IFC được sử dụng như cấu

trúc dữ liệu trao đổi mở. Mục tiêu nghiên cứu là xác định yêu cầu thông tin, phân cấp dữ liệu, bộ thuộc tính, dữ liệu định lượng, mã phân loại và quy trình kiểm soát mô hình nhằm phục vụ thẩm định, phê duyệt dự án, khái toán tổng mức đầu tư và kế thừa dữ liệu cho thiết kế kỹ thuật (TKKT), thiết kế bản vẽ thi công (TKBVTCT) và quản lý vận hành.

2. CƠ SỞ PHÁP LÝ, TIÊU CHUẨN VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Cơ sở pháp lý và tiêu chuẩn

Về pháp lý, nghiên cứu dựa trên Luật Xây dựng số 50/2014/QH13, trong đó Điều 66 quy định nội dung quản lý dự án đầu tư xây dựng gồm quản lý phạm vi, kế hoạch, khối lượng, chất lượng, tiến độ, chi phí, an toàn, môi trường, lựa chọn nhà thầu, hợp đồng, quản lý rủi ro và quản lý hệ thống thông tin công trình [1]. Luật Xây dựng số 135/2025/QH15 tiếp tục quy định tại Điều 33 về nội dung quản lý dự án đầu tư xây dựng và trách nhiệm của chủ đầu tư trong việc thực hiện hoặc giao ban quản lý dự án, tư vấn quản lý dự án thực hiện các nội dung quản lý dự án [10].

Về BIM, Quyết định số 258/QĐ-TTg phê duyệt lộ trình áp dụng mô hình thông tin công trình trong hoạt động xây dựng, còn Quyết định số 348/QĐ-BXD công bố Hướng dẫn chung áp dụng BIM, trong đó nhấn mạnh yêu cầu xác định mục tiêu, phạm vi áp dụng BIM, vai trò của chủ đầu tư, kế hoạch thực hiện BIM và quản lý trao đổi thông tin [3], [4]. TCVN 14177-1:2024, tương thích với ISO 19650-1, đưa ra khái niệm và nguyên tắc quản lý thông tin sử dụng BIM, bao gồm trao đổi, ghi chép, quản lý phiên bản và tổ chức thông tin trong toàn bộ vòng đời tài sản [5, 6].

Về dữ liệu mở, ISO 16739-1 quy định IFC là mô hình dữ liệu mở phục vụ chia sẻ dữ liệu trong ngành xây dựng và quản lý cơ sở vật chất; buildingSMART cũng công bố tài liệu IFC 4.3 và hệ sinh thái openBIM để hỗ trợ trao đổi dữ liệu không phụ thuộc phần mềm [8, 9]. Các cơ sở này cho phép xây dựng khung dữ liệu TKCS theo hướng kiểm soát tự động hoặc bán tự động đối với diện tích, công năng, chỉ tiêu quy hoạch, khối lượng sơ bộ và mã phân loại chi phí.

2.2. Cách tiếp cận và phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu áp dụng cách tiếp cận quản lý vòng đời thông tin, coi dữ liệu TKCS là tài sản số ban đầu của dự án. Thông tin phải được xác lập yêu cầu, tạo lập, kiểm tra, phê duyệt, phát hành, lưu trữ và kế thừa theo trạng thái rõ ràng trong CDE (Hình 1). Đối tượng nghiên cứu gồm mô hình không gian, mô hình bộ môn, thuộc tính kỹ thuật, dữ liệu định lượng, mã phân loại và các bản ghi kiểm soát phát hành.

Phương pháp nghiên cứu gồm: tổng hợp tài liệu pháp lý, tiêu chuẩn và hướng dẫn BIM; phân tích quy trình nghiệp vụ TKCS trong quản lý dự án đầu tư xây dựng; mô hình hóa cấu trúc dữ liệu IFC theo nhóm thực thể không gian và cấu kiện; xây dựng ma trận yêu cầu thông tin theo mục đích sử dụng; đề xuất quy trình kiểm tra, xác thực và phê duyệt dữ liệu trong CDE.

3. KHUNG QUẢN LÝ THÔNG TIN BIM GIAI ĐOẠN TKCS

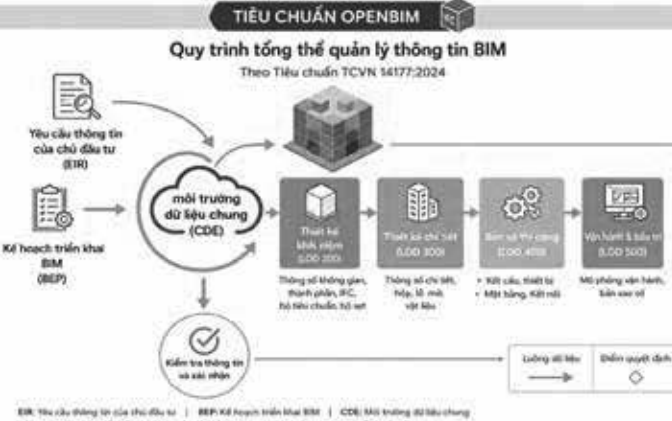
3.1. Yêu cầu thông tin của chủ đầu tư và kế hoạch thực hiện BIM

Bảng 1. Ma trận quản trị trạng thái thông tin giai đoạn TKCS

Thành phần dữ liệu	Thực thể/nhóm dữ liệu	Trạng thái kiểm soát	Mục đích quản lý
Quy hoạch và vị trí	IfcProject, IfcSite	Published	Kiểm soát hệ tọa độ, ranh giới đất, chỉ tiêu quy hoạch
Không gian và công năng	IfcBuildingStorey, IfcSpace	Shared/Published	Đối chiếu nhiệm vụ thiết kế, diện tích, công năng, chiều cao thông thủy
Giải pháp kỹ thuật chính	IfcProduct, IfcSystem	Shared	Kiểm tra sơ bộ kiến trúc, kết cấu, MEP và xung đột hệ thống lớn
Khối lượng sơ bộ	IfcElementQuantity, Qto_*	Reviewed/Published	Lập khái toán, kiểm soát biến động khối lượng theo phiên bản
Mã phân loại	IfcClassification, CostCode	Reviewed	Liên kết danh mục cấu kiện, nhóm chi phí, định mức và cơ sở dữ liệu dự toán

Khung quản lý thông tin được khởi tạo từ yêu cầu thông tin của chủ đầu tư (EIR). Trong TKCS, EIR cần làm rõ các mục tiêu quản lý gồm: kiểm soát chỉ tiêu quy hoạch, đánh giá công năng, kiểm tra sơ bộ giải pháp kỹ thuật, lập khái toán tổng mức đầu tư, chuẩn bị dữ liệu cho thẩm định dự án và bảo đảm kế thừa sang các bước thiết kế sau. EIR phải quy định rõ đối tượng nào cần mô hình hóa, thuộc tính nào bắt buộc, mốc phát hành thông tin nào có giá trị pháp lý và dữ liệu nào được sử dụng để thẩm tra hoặc ra quyết định [4, 5].

BEP là tài liệu phản hồi EIR, xác định cách thức tạo lập và quản lý thông tin. BEP cho TKCS cần quy định phạm vi mô hình, hệ tọa độ, đơn vị đo, chuẩn đặt tên, phân quyền CDE, quy tắc xuất IFC, quy trình kiểm tra, bảng trách nhiệm thông tin và yêu cầu mức độ thông tin cần thiết. Trọng tâm của BEP không phải là mô hình hóa chi tiết sớm, mà là bảo đảm thông tin cốt lõi đủ chính xác để phục vụ quyết định đầu tư và thẩm định [5, 6].



Hình 1. Quy trình tổng thể quản lý thông tin BIM trong CDE theo yêu cầu EIR, BEP và trạng thái dữ liệu

3.2. Môi trường dữ liệu chung và trạng thái thông tin

CDE là nền tảng để kiểm soát luồng thông tin từ WIP, Shared, Published đến Archived. Theo nguyên tắc quản lý thông tin của ISO 19650 và TCVN 14177-1:2024, mỗi container thông tin cần có trạng thái, mã phiên bản, người chịu trách nhiệm, lịch sử phê duyệt và phạm vi sử dụng [5, 6]. Trong TKCS, CDE giúp bảo đảm mô hình, bản vẽ, thuyết minh, bảng diện tích và dữ liệu khái toán được truy xuất cùng một mốc phát hành.

Đối với quản lý dự án, giá trị của CDE thể hiện ở khả năng kiểm soát trách nhiệm thông tin. Khi một chỉ tiêu quy hoạch, diện tích hoặc giải pháp kỹ thuật thay đổi, CDE phải ghi nhận phiên bản, nguyên nhân, người đề xuất, người kiểm tra, người phê duyệt và tác động tới phạm vi, khối lượng, chi phí, tiến độ, yêu cầu pháp lý. Đây là cơ sở để giảm rủi ro thông tin và hỗ trợ nội dung quản lý dự án theo pháp luật xây dựng [1, 10]. Bảng 1 trình bày ma trận quản trị trạng thái thông tin đối với dữ liệu TKCS.

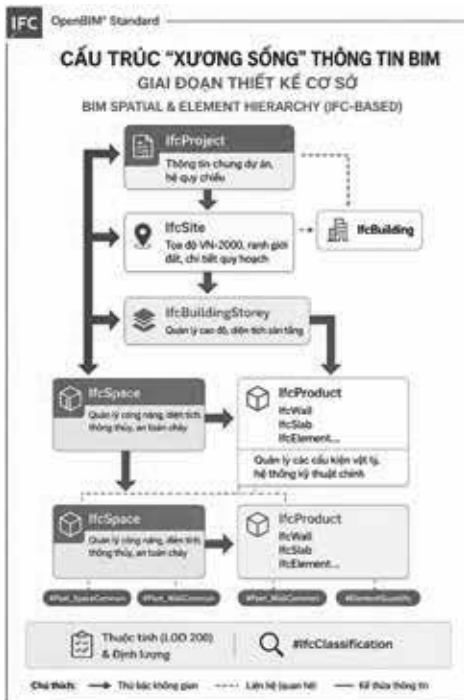
3.3. Mức độ thông tin cần thiết trong TKCS

Mức độ thông tin cần thiết trong TKCS phải phù hợp với mục đích sử dụng mô hình. Theo logic quản lý thông tin, không nên yêu cầu chi tiết như TKBVTC khi dữ liệu chỉ dùng để quyết định đầu tư, kiểm soát quy mô và lập khái toán. Có thể định hướng mô hình ở mức LOD/LOI khoảng 200, nghĩa là hình học thể hiện quy mô, vị trí, kích thước và quan hệ chính; thông tin phi hình học bao gồm công năng, diện tích, vật liệu chính, thông số kỹ thuật sơ bộ, mã phân loại và dữ liệu định lượng tổng quát [4, 11].

Việc áp dụng LOD/LOI cần linh hoạt theo nhóm đối tượng. IfcSite và IfcBuilding cần đủ thông tin để kiểm soát chỉ tiêu quy hoạch; IfcSpace cần đủ để kiểm soát diện tích, công năng và sức chứa; IfcWall, IfcSlab, IfcBeam, IfcColumn cần đủ để phân biệt cấu kiện chịu lực, vỏ bao che, vật liệu chính; IfcSystem cần thể hiện

Bảng 2. Cấu trúc dữ liệu IFC phục vụ quản lý thông tin giai đoạn TKCS

Thực thể IFC	Bộ thuộc tính/dữ liệu	Thông tin cần quản lý	Ý nghĩa quản trị
IfcProject	Pset_ProjectCommon	Mã dự án, tên dự án, giai đoạn, hệ quy chiếu	Định danh và chuẩn hóa bối cảnh dữ liệu
IfcSite	Pset_SiteCommon	Tọa độ, ranh giới, diện tích đất, chỉ tiêu quy hoạch	Kiểm soát vị trí, mật độ, hệ số sử dụng đất
IfcBuilding	Pset_BuildingCommon	Tổng diện tích sàn, số tầng, công năng chính	Đánh giá quy mô đầu tư và phân kỳ dự án
IfcBuildingStorey	Pset_BuildingStoreyCommon	Cao độ, diện tích tầng, khu vực chức năng	Quản lý chiều cao, mặt bằng, phân khu thiết kế
IfcSpace	Pset_SpaceCommon	Mã phòng, công năng, NetArea, Occupancy, chiều cao	Đối chiếu nhiệm vụ thiết kế và chỉ tiêu diện tích
IfcWall/IfcSlab/IfcBeam/IfcColumn	Pset_WallCommon, Pset_SlabCommon, Custom Pset	Vật liệu chính, chịu lực, ngoài nhà, cấp chịu lửa sơ bộ	Thẩm tra sơ bộ giải pháp kỹ thuật và khối lượng
IfcSystem/IfcDistributionElement	Pset_ServiceLife, Pset_Distribution*	Loại hệ thống, phòng máy, trực kỹ thuật, công suất sơ bộ	Kiểm tra tính khả thi không gian kỹ thuật
IfcElementQuantity	Qto_*	Diện tích, thể tích, chiều dài, số lượng	Tạo dữ liệu khái toán có truy xuất nguồn gốc
IfcClassification	Classification Reference	Mã phân loại, mã cấu kiện, mã chi phí	Liên kết mô hình với quản lý chi phí và tài sản



Hình 2. Cấu trúc xương sống thông tin BIM/IFC trong giai đoạn TKCS

không gian và tuyến kỹ thuật chính để đánh giá tính khả thi. Nguyên tắc là thông tin phải đủ để ra quyết định quản lý nhưng không gây mô hình hóa quá mức.

4. CẤU TRÚC DỮ LIỆU IFC PHỤC VỤ QUẢN LÝ TKCS

IFC cho phép tổ chức dữ liệu theo mô hình đối tượng có thứ bậc, từ dự án đến khu đất, công trình, tầng, không gian và cấu kiện. Trong TKCS, cấu trúc dữ liệu cần tập trung vào nhóm thông tin quản lý quy mô, công năng, giải pháp kỹ thuật chính và dữ liệu định lượng sơ bộ. Đây là cơ sở để kiểm tra tự động hoặc bán tự động và hạn chế sai lệch giữa mô hình, bản vẽ, thuyết minh và bảng khối lượng [8, 9]. Bảng 2 đề xuất các thực thể IFC, bộ thuộc tính và ý nghĩa quản trị trong TKCS.

4.1. Phân cấp không gian và dữ liệu kiểm soát quy hoạch

Phân cấp không gian là "xương sống" của mô hình TKCS. IfcProject xác định bối cảnh dự án và hệ quy chiếu; IfcSite quản lý khu đất, ranh giới và chỉ tiêu quy hoạch; IfcBuilding và IfcBuildingStorey quản lý quy mô công trình, số tầng, cao độ và diện tích; IfcSpace quản lý từng không gian chức năng (Hình 2). Khi cấu trúc này được thiết lập đúng, nhà quản lý có thể truy vấn tổng diện tích sàn, diện tích sử dụng, diện tích từng nhóm công năng và mức độ phù hợp với nhiệm vụ thiết kế.

Đối với Việt Nam, cần bổ sung các thuộc tính tùy chỉnh để phục vụ quản lý nhà nước và quản lý dự án như mã dự án, mã khu đất, chỉ tiêu quy hoạch được duyệt, hệ tọa độ VN-2000, trạng thái pháp lý của khu vực, chỉ giới xây dựng, diện tích được tính vào mật độ xây dựng và diện tích không tính vào mật độ. Các thuộc tính này cần được quy định trong EIR/BEP để tránh mỗi phần mềm hoặc mỗi nhóm thiết kế tự đặt tên khác nhau.

4.2. Bộ thuộc tính và dữ liệu định lượng

Bộ thuộc tính (Property Sets) là cơ sở biến mô hình hình học thành cơ sở dữ liệu có thể truy vấn. TKCS không yêu cầu mô tả toàn bộ chi tiết cấu tạo, nhưng cần đủ thuộc tính để phục vụ thẩm định và khái toán: công năng, diện tích, vật liệu chính, khả năng chịu lực, yêu cầu cháy, loại hệ thống kỹ thuật, vị trí phòng máy, thông số công suất sơ bộ, mã cấu kiện và mã chi phí. Các Pset chuẩn của IFC giúp bảo đảm tính tương tác quốc tế, trong khi Custom Pset giúp đáp ứng yêu cầu quản lý đặc thù của Việt Nam [8], [9].

Dữ liệu định lượng (Quantity Sets) cần được quản lý theo nguyên tắc truy xuất nguồn gốc. Mỗi khối lượng sơ bộ phải gắn với thực thể mô hình, phiên bản mô hình, quy tắc đo bóc và trạng thái kiểm tra. Điều này không thay thế vai trò kỹ sư dự toán, nhưng giúp nâng cao tính minh bạch khi lập khái toán và kiểm tra thay đổi phương án thiết kế.

5. QUY TRÌNH KIỂM SOÁT VÀ THẨM ĐỊNH MÔ HÌNH BIM/IFC

Bảng 3. Checklist thẩm định mô hình BIM/IFC giai đoạn TKCS

Nội dung kiểm tra	Dữ liệu đối soát	Tiêu chí chấp thuận
Hệ tọa độ, mốc cao độ	lfcProject, lfcSite	Phù hợp hệ quy chiếu, ranh giới đất và mốc dự án
Chỉ tiêu quy hoạch	lfcSite, lfcBuilding	Diện tích xây dựng, mật độ, chiều cao, hệ số sử dụng đất có thể truy vấn
Công năng và diện tích	lfcSpace, lfcBuildingStorey	Không gian có mã, tên, công năng, NetArea/GrossArea và trạng thái kiểm tra
Giải pháp kỹ thuật chính	lfcProduct, lfcSystem	Không xung đột lớn giữa kiến trúc, kết cấu, MEP; đủ không gian kỹ thuật chính
Thuộc tính bắt buộc	Pset chuẩn và Custom Pset	Đối tượng chính có thuộc tính theo EIR/BEP
Khối lượng sơ bộ	lfcElementQuantity, Qto_*	Khối lượng chính có nguồn gốc từ phiên bản mô hình được kiểm soát
Phân loại và chi phí	lfcClassification, CostCode	Đối tượng chính được mã hóa để liên kết khái toán

5.1. Kiểm tra tuân thủ quy hoạch và nhiệm vụ thiết kế

Kiểm tra tuân thủ quy hoạch được thực hiện bằng cách đối chiếu dữ liệu lfcSite, lfcBuilding, lfcBuildingStorey và lfcSpace với nhiệm vụ thiết kế, quy hoạch tổng mặt bằng và các chỉ tiêu được phê duyệt. Các thông số cần kiểm tra gồm ranh giới đất, mật độ xây dựng, tầng cao, tổng diện tích sàn, diện tích từng nhóm công năng, chiều cao thông thủy và số lượng người sử dụng dự kiến. Việc tổ chức dữ liệu theo đối tượng giúp giảm phụ thuộc vào thao tác đo đạc thủ công trên bản vẽ 2D.

Kiểm tra nhiệm vụ thiết kế cần tập trung vào mức độ phù hợp giữa yêu cầu của chủ đầu tư và phương án mô hình. Nếu một nhóm không gian có diện tích hoặc công năng khác với nhiệm vụ, hệ thống cần tạo cảnh báo để tư vấn thiết kế giải trình hoặc điều chỉnh. Đây là điểm khác biệt quan trọng giữa quản lý bản vẽ và quản lý dữ liệu BIM.

5.2. Kiểm soát phối hợp liên ngành và xung đột hệ thống lớn

Ở TKCS, kiểm soát xung đột cần ưu tiên xung đột hệ thống lớn có khả năng ảnh hưởng đến phương án đầu tư: lưới cột cản trở công năng chính, dầm hoặc sàn làm giảm chiều cao thông thủy, phòng máy không đủ diện tích, trục kỹ thuật không hợp lý, tuyến kỹ thuật chính xung đột với không gian quan trọng. Các va chạm chi tiết giữa ống, phụ kiện hoặc giá đỡ chưa phải trọng tâm ở giai đoạn này.

Báo cáo phối hợp liên ngành cần ghi rõ mã vấn đề, mô tả xung đột, bộ môn liên quan, mức độ ảnh hưởng, đề xuất xử lý, thời hạn xử lý và trạng thái đóng/mở. Khi được quản lý trong CDE, danh mục

Quy trình kiểm soát mô hình TKCS cần kết hợp kiểm tra kỹ thuật tệp, kiểm tra cấu trúc dữ liệu, kiểm tra thuộc tính, kiểm tra khối lượng sơ bộ và kiểm tra sự phù hợp với mục tiêu đầu tư. Mục tiêu không phải là phát hiện mọi va chạm nhỏ như ở TKBVTC, mà là bảo đảm mô hình đủ tin cậy để làm cơ sở thẩm định dự án, lập tổng mức đầu tư và phát triển thiết kế tiếp theo [4, 5]. Checklist kiểm soát dữ liệu TKCS được đề xuất tại Bảng 3.

vấn đề trở thành bằng chứng quản lý quá trình phối hợp thiết kế và giúp giảm rủi ro chuyển lỗi sang giai đoạn sau.

5.3. Xác thực khối lượng sơ bộ và khái toán

Khối lượng sơ bộ trong TKCS cần phục vụ khái toán tổng mức đầu tư, đánh giá hiệu quả phương án và kiểm soát biến động quy mô. Các nhóm khối lượng chính gồm diện tích sàn, diện tích vỏ bao che, thể tích kết cấu chính, diện tích hoàn thiện chính và số lượng thiết bị/hệ thống chủ yếu. Dữ liệu này phải được trích xuất từ mô hình có phiên bản xác định, được kiểm tra và được gắn trạng thái trước khi sử dụng cho khái toán.

Liên kết giữa mô hình và khái toán có thể thực hiện thông qua mã phân loại, mã cấu kiện hoặc mã công tác. Trong điều kiện Việt Nam, cần xây dựng bộ thuộc tính tùy chỉnh để ánh xạ đối tượng mô hình với nhóm định mức, đơn giá hoặc nhóm chi phí. Cách làm này giúp tăng khả năng kiểm tra chênh lệch giữa các phương án và tạo nền tảng cho quản lý chi phí ở TKKT, TKBVTC [4, 8].

6. ĐỀ XUẤT QUY TRÌNH QUẢN LÝ THÔNG TIN BIM GIAI ĐOẠN TKCS

Trên cơ sở các nội dung nêu trên, quy trình quản lý thông tin BIM giai đoạn TKCS có thể tổ chức theo 8 bước như Bảng 4. Quy trình này vừa phù hợp nguyên tắc quản lý thông tin theo TCVN 14177-1:2024, vừa hỗ trợ các nội dung quản lý dự án đầu tư xây dựng theo pháp luật Việt Nam [1, 5, 10].

Bảng 4. Quy trình quản lý thông tin BIM giai đoạn TKCS

Bước	Nội dung	Sản phẩm thông tin	Chủ thể chính
1	Xác lập mục tiêu và yêu cầu thông tin	EIR, mục tiêu BIM, dữ liệu bắt buộc	Chủ đầu tư/PMU
2	Lập hoặc cập nhật BEP	BEP, ma trận trách nhiệm, quy tắc CDE	BIM Manager
3	Tạo lập mô hình bộ môn TKCS	Mô hình kiến trúc, kết cấu, MEP sơ bộ	Tư vấn thiết kế
4	Chuẩn hóa IFC và thuộc tính	IFC, Pset, Qto, mã phân loại	BIM Coordinator
5	Kiểm tra mô hình và phối hợp	Báo cáo lỗi, clash report, issue log	Tư vấn thiết kế/PMU
6	Trích xuất thông tin quản lý	Bảng diện tích, chỉ tiêu, khối lượng sơ bộ	Tư vấn/Bộ phận dự toán
7	Thẩm tra, phê duyệt và phát hành	Hồ sơ Published, biên bản kiểm tra	Chủ đầu tư/Tư vấn thẩm tra
8	Lưu trữ và bàn giao sang giai đoạn sau	Mô hình được đóng băng, log thay đổi	PMU/BIM Manager

Quy trình trên cần được vận hành linh hoạt theo quy mô và loại công trình. Tuy nhiên, có bốn nguyên tắc bắt buộc: dữ liệu phải có chủ thể chịu trách nhiệm; thông tin phải có trạng thái và phiên bản; khối lượng và diện tích phải truy xuất được từ mô hình; mọi thay đổi có ảnh hưởng đến phạm vi, chi phí hoặc tiến độ phải được ghi nhận trong CDE. Khi các nguyên tắc này được duy trì, mô

hình TKCS trở thành công cụ quản lý dự án, không chỉ là sản phẩm minh họa thiết kế.

Đối với cơ quan quản lý nhà nước và đơn vị thẩm tra, mô hình BIM/IFC có thể hỗ trợ kiểm tra nhanh các chỉ tiêu quy hoạch, diện tích, công năng, giải pháp kỹ thuật chính và dữ liệu khái toán. Đối với chủ đầu tư, mô hình giúp tăng tính minh bạch của quyết định đầu tư, quản

lý thay đổi sớm và giảm rủi ro phát sinh ở các bước thiết kế sau. Đối với tư vấn thiết kế, mô hình giúp chuẩn hóa phối hợp bộ môn và giảm sai khác giữa bản vẽ, bảng khối lượng và thuyết minh.

7. THẢO LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ ÁP DỤNG

Khung quản lý thông tin BIM giai đoạn TKCS nêu trên chỉ phát huy hiệu quả khi chủ đầu tư chuyển từ tư duy “yêu cầu có mô hình” sang “yêu cầu có dữ liệu phục vụ quyết định quản lý”. Vì vậy, EIR cần được lập trước hoặc đồng thời với nhiệm vụ khảo sát, nhiệm vụ thiết kế và yêu cầu lập dự án. Các thông tin bắt buộc không nên quy định chung chung mà cần gắn với từng mục đích sử dụng: kiểm soát chỉ tiêu quy hoạch, thẩm định phương án, lập khái toán, đánh giá rủi ro kỹ thuật, kiểm soát tiến độ chuẩn bị đầu tư và chuẩn bị dữ liệu cho các giai đoạn sau. Cách làm này phù hợp với tinh thần quản lý thông tin của TCVN 14177-1:2024 và ISO 19650:2018, trong đó thông tin được quản lý theo yêu cầu, trạng thái, trách nhiệm và mốc phát hành [5, 6].

Đối với tư vấn thiết kế, yêu cầu quan trọng là phải chuẩn hóa mô hình ngay từ khi thiết lập dự án: hệ tọa độ, phân khu, cấp tầng, mã không gian, mã cấu kiện, quy tắc đặt tên và bộ thuộc tính. Nếu các nội dung này chỉ được bổ sung sau khi mô hình đã hoàn thành, chi phí hiệu chỉnh dữ liệu sẽ tăng cao, đồng thời nguy cơ sai lệch giữa mô hình và hồ sơ trình thẩm định vẫn tồn tại. Do đó, quy trình kiểm tra mô hình cần được thực hiện lập theo chu kỳ thiết kế, không chờ đến cuối giai đoạn mới kiểm tra. Các báo cáo kiểm tra cần trở thành một phần của hồ sơ quản lý chất lượng thiết kế.

Đối với ban quản lý dự án và tư vấn quản lý dự án, BIM trong TKCS cần được sử dụng như công cụ kiểm soát phạm vi và rủi ro đầu tư. Các thay đổi về diện tích, số tầng, công năng, hệ thống kỹ thuật chính hoặc khối lượng sơ bộ phải được ghi nhận bằng lịch sử phiên bản và đánh giá tác động trước khi trình phê duyệt. Khi mô hình được quản lý trong CDE, chủ đầu tư có thể theo dõi rõ phiên bản nào là cơ sở thẩm tra, phiên bản nào là cơ sở lập khái toán và phiên bản nào được chuyển giao sang TKKT. Đây là điều kiện quan trọng để hạn chế thay đổi không kiểm soát và tăng trách nhiệm giải trình của các chủ thể.

Đối với cơ quan thẩm định và tư vấn thẩm tra, dữ liệu IFC có thể được khai thác để kiểm tra nhanh các chỉ tiêu then chốt thay vì phụ thuộc hoàn toàn vào bảng biểu do tư vấn lập. Tuy nhiên, việc sử dụng IFC trong thẩm định cần có quy định rõ về phạm vi chấp nhận dữ liệu, bộ thuộc tính bắt buộc, phương thức kiểm tra và nguyên tắc xử lý sai khác giữa mô hình, bản vẽ và thuyết minh. Trong giai đoạn đầu, nên áp dụng cơ chế kiểm tra song song giữa hồ sơ truyền thống và dữ liệu BIM, sau đó từng bước chuẩn hóa thành quy trình thẩm định số khi điều kiện pháp lý, công cụ và năng lực nhân sự đáp ứng.

Một vấn đề cần lưu ý là không nên tuyệt đối hóa khả năng tự động hóa của BIM trong TKCS. Mô hình có thể hỗ trợ kiểm tra, truy xuất và tổng hợp dữ liệu, nhưng không thay thế trách nhiệm chuyên môn của kiến trúc sư, kỹ sư, kỹ sư kinh tế xây dựng và người quản lý dự án. Chất lượng dữ liệu phụ thuộc vào EIR/BEP, năng lực mô hình hóa, quy tắc kiểm tra và cơ chế phê duyệt. Vì vậy, áp dụng BIM cần đi cùng đào tạo nhân lực, chuẩn hóa biểu mẫu, xây dựng thư viện thuộc tính và cập nhật quy trình nội bộ của chủ đầu tư, ban quản lý dự án và tư vấn.

Từ góc độ triển khai tại Việt Nam, có thể ưu tiên ba nhóm nhiệm vụ: (i) ban hành mẫu EIR/BEP cho TKCS theo từng loại công trình; (ii) xây dựng bộ thuộc tính tối thiểu phục vụ thẩm định, khái toán và kiểm soát chỉ tiêu quy hoạch; (iii) hình thành quy trình kiểm tra dữ liệu IFC trong CDE gắn với hồ sơ trình thẩm định. Các nhiệm vụ này không đòi hỏi mô hình hóa quá chi tiết nhưng tạo nền tảng quan

trọng để nâng cao hiệu quả quản lý dự án và phát triển liên thông dữ liệu sang TKKT, TKBVTC, hoàn công và vận hành [3 - 5], [8].

8. KẾT LUẬN

Quản lý thông tin công trình trên BIM trong giai đoạn TKCS cần được tổ chức như một quy trình quản lý dữ liệu có yêu cầu, trạng thái, trách nhiệm, kiểm tra và phê duyệt rõ ràng. Việc sử dụng CDE, IFC, Property Sets, Quantity Sets và Classification giúp chuyển đổi TKCS từ hồ sơ bản vẽ rời rạc sang cơ sở dữ liệu có khả năng truy vấn, kiểm tra và kế thừa. Cách tiếp cận này phù hợp với lộ trình áp dụng BIM ở Việt Nam, hướng dẫn của Bộ Xây dựng, TCVN 14177-1:2024, ISO 19650:2018 và tiêu chuẩn IFC [3 - 9].

Kết quả nghiên cứu đã đề xuất khung quản lý thông tin gồm EIR, BEP, CDE, mức độ thông tin cần thiết, cấu trúc dữ liệu IFC, ma trận quản trị trạng thái, checklist thẩm định mô hình và quy trình quản lý thông tin TKCS. Các nội dung này hỗ trợ trực tiếp công tác quản lý dự án đầu tư xây dựng, đặc biệt là quản lý phạm vi, khối lượng, chất lượng, chi phí, rủi ro và hệ thống thông tin công trình theo Luật Xây dựng [1, 10].

Trong thời gian tới, cần tiếp tục nghiên cứu bộ yêu cầu thông tin mẫu cho từng loại công trình, thư viện thuộc tính BIM phù hợp quy chuẩn và định mức Việt Nam, cũng như quy trình liên thông giữa mô hình TKCS, hồ sơ thẩm định dự án, dữ liệu khái toán và các mô hình TKKT, TKBVTC, hoàn công, vận hành.

Lời cảm ơn: Tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ chuyên môn của các đồng nghiệp, chuyên gia, nhà khoa học và các tổ chức liên quan trong quá trình nghiên cứu, trao đổi kinh nghiệm về áp dụng BIM trong quản lý đầu tư xây dựng và quản lý thông tin công trình.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Quốc hội. Luật Xây dựng số 50/2014/QH13 ngày 18/6/2014.
- [2] Chính phủ. Nghị định số 175/2024/NĐ-CP ngày 30/12/2024 quy định chi tiết một số điều và biện pháp thi hành Luật Xây dựng về quản lý hoạt động xây dựng, 2024.
- [3] Thủ tướng Chính phủ. Quyết định số 258/QĐ-TTg ngày 17/3/2023 phê duyệt Lộ trình áp dụng Mô hình thông tin công trình (BIM) trong hoạt động xây dựng, 2023.
- [4] Bộ Xây dựng. Quyết định số 348/QĐ-BXD ngày 02/4/2021 công bố Hướng dẫn chung áp dụng Mô hình thông tin công trình (BIM), 2021.
- [5] Bộ Khoa học và Công nghệ. TCVN 14177-1:2024, Tổ chức và số hóa thông tin về công trình xây dựng, bao gồm mô hình hóa thông tin công trình (BIM) - Quản lý thông tin sử dụng BIM - Phần 1: Khái niệm và nguyên tắc, 2024.
- [6] ISO 19650-1:2018. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling - Information management using building information modelling - Part 1: Concepts and principles. 2018.
- [7] ISO 19650-2:2018. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling - Information management using building information modelling - Part 2: Delivery phase of the assets, 2018.
- [8] ISO 16739-1:2024. Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries. Part 1: Data schema, 2024.
- [9] BuildingSMART International. IFC 4.3.2.0 Documentation and openBIM standards, 2024.
- [10] Quốc hội. Luật Xây dựng số 135/2025/QH15 ngày 10/12/2025.
- [11] BIMForum. Level of Development Specification, Part I: LOD Definitions and Model Element Authoring Requirements, 2024.
- [12] Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors and Facility Managers, 3rd ed., Wiley, 2018.

Khung đánh giá đa tiêu chí lựa chọn công nghệ điện rác phù hợp với đặc tính chất thải rắn sinh hoạt và yêu cầu BAT theo IED tại Việt Nam

Multi-criteria framework for selecting waste-to-energy technologies compatible with municipal solid waste characteristics and BAT requirements under the IED in Viet Nam

> TS PHẠM VĂN VƯỢNG

Viện Khoa học công nghệ xây dựng

Email: vuongpv.ibst@gmail.com

TÓM TẮT

Lựa chọn công nghệ điện rác (WtE) chi phối hiệu quả kỹ thuật, môi trường và chi phí vòng đời. Trước đặc tính chất thải rắn sinh hoạt (CTRS) Việt Nam biến động về độ ẩm, nhiệt trị và mức phân loại, nghiên cứu đề xuất khung hai tầng: sàng lọc bắt buộc theo QCVN 19:2024/BTNMT, QCVN 30:2025/BNNMT và đối sánh BAT theo IED; sau đó xếp hạng TOPSIS theo ba kịch bản rác. Khung gồm 20 tiêu chí thuộc năm nhóm, sáu cấu hình trọng số và 10.000 vector Dirichlet kiểm tra độ bền. Với ma trận minh họa, AI đứng đầu S1-S2, A2 đứng đầu S3 dưới trọng số cân bằng; tỷ lệ AI đứng đầu lần lượt là 100%, 83,95% và 57,18%. Đối chiếu hồ sơ thiết kế WtE 650 tấn/ngày cho thấy khung bao phủ phần lớn dữ liệu cần thiết và phát hiện khoảng trống về hiệu suất, tro xỉ, nước và quan trắc. Kết quả minh họa tính minh bạch của quy trình tính toán, không xác lập công nghệ tối ưu; khung có thể hỗ trợ NCKT, HSMT và thẩm tra công nghệ.

Từ khóa: Điện rác; lựa chọn công nghệ; chất thải rắn sinh hoạt; BAT theo IED; TOPSIS; phân tích độ nhạy.

ABSTRACT

Waste-to-energy (WtE) technology selection affects technical, environmental and life-cycle cost performance. Given variations in moisture, lower heating value and segregation of municipal solid waste in Viet Nam, this study proposes a two-stage framework: mandatory screening under QCVN 19:2024/BTNMT and QCVN 30:2025/BNNMT with BAT benchmarking under the IED, followed by TOPSIS ranking under three waste scenarios. The framework uses 20 criteria in five groups, six weight configurations and 10,000 Dirichlet vectors. With the illustrative matrix, AI ranks first in S1-S2 and A2 in S3 under equal weights; AI leads 100%, 83.95% and 57.18% of simulations, respectively. Cross-checking a 650 t/day WtE design dossier confirms broad data coverage while revealing gaps in efficiency, residues, water and monitoring. The results demonstrate the applicability and transparency of the calculation procedure rather than a universally optimal technology and may support feasibility studies, tender documents and independent appraisal.

Keywords: Waste-to-energy; technology selection; municipal solid waste; BAT under IED; TOPSIS; sensitivity analysis.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sự gia tăng CTRSH, hạn chế chôn lấp và yêu cầu kiểm soát ô nhiễm thúc đẩy đầu tư WtE. Khả năng giảm chôn lấp, thu hồi năng lượng phụ thuộc đặc tính rác, cấu hình lò, xử lý khí và vận hành [1 - 3], [20]; vì vậy lựa chọn công nghệ chi phối thiết kế, chi phí, nghiệm thu và vận hành.

CTRS Việt Nam biến động về độ ẩm, LHV, hữu cơ, kích thước và tạp chất, làm thay đổi ổn định cháy, điện, nhiên liệu phụ trợ, phát thải và chất thải thứ cấp. Các nghiên cứu trước đã xác lập quan hệ kỹ thuật, BAT và tính khả thi [4 - 8], nhưng chưa tạo quy trình xếp hạng có thể tái lập.

QCVN 30:2025/BNNMT có hiệu lực từ 09/02/2026, thay QCVN 61-MT:2016/BTNMT với dự án mới; khí thải áp dụng QCVN

19:2024/BTNMT. Cơ sở chuyển tiếp dùng yêu cầu kỹ thuật, vận hành, giám sát cũ đến 31/12/2031 nhưng vẫn theo giới hạn QCVN 19 [21, 22]. Do đó, phải sàng lọc pháp luật Việt Nam trước BAT.

So sánh bằng mô tả và chỉ tiêu riêng lẻ dễ sai lệch do khác ranh giới chi phí, hiệu suất; trộn nghĩa vụ bắt buộc với tiêu chí đánh đổi; và bỏ qua biến động rác. Cộng điểm còn có thể cho phép chi phí bù cho thiếu bằng chứng phát thải.

Khung vì vậy gồm cổng sàng lọc không bù trừ về cháy, phát thải, quan trắc, năng lượng, chất thải thứ cấp; sau đó mới đánh đổi kỹ thuật, môi trường, kinh tế và triển khai. Cách tách này phù hợp BAT Conclusions [2, 3].

MCDA phù hợp bài toán chất thải đa mục tiêu [9]. AHP xác lập trọng số [10], TOPSIS xếp hạng theo nghiệm lý tưởng [11] và đã được

áp dụng cho công nghệ chất thải [12-16]. Do kết quả phụ thuộc dữ liệu, tiêu chí, trọng số, cần công bố nhiều cấu hình và độ nhạy khi chưa có khảo sát đại diện [24, 25].

Khoảng trống gồm: chưa tách QCVN, BAT và xếp hạng; chưa mô hình hóa kịch bản rác; thiếu ma trận, độ nhạy tái lập; và chưa chuyển đầu ra MCDA thành yêu cầu NCKT, HSMT, thẩm tra.

Nghiên cứu xây dựng cổng sàng lọc, 20 tiêu chí, TOPSIS theo ba kịch bản và sáu cấu hình trọng số, mô phỏng độ nhạy, đối chiếu hồ sơ 650 tấn/ngày và chuyển kết quả thành yêu cầu dự án. Đóng góp là tách nghĩa vụ khỏi đánh đổi, công khai dữ liệu minh họa và kiểm tra áp dụng tại Việt Nam; không lặp lại mô hình tài chính, MGQ hay mô phỏng kỹ thuật của [4 - 8].

2. CƠ SỞ KHOA HỌC VÀ KHUNG PHÂN TÍCH

2.1. Bài toán ra quyết định đa tiêu chí

Bài toán gồm phương án A, tiêu chí C, trọng số W có tổng bằng 1 và ma trận $X=[x_{ij}]$, trong đó x_{ij} là hiệu năng của phương án i theo tiêu chí j. Tiêu chí định lượng hoặc định tính có thang neo; chuẩn hóa phải xử lý đúng chiều lợi ích và chi phí.

Bảng 1. Đối chiếu QCVN 19, QCVN 30 và BAT theo IED trong cổng sàng lọc

Nhóm	QCVN Việt Nam	BAT theo IED (EU 2019/2010)	Cách dùng
Quá trình cháy	QCVN 30: sơ cấp $\geq 400^{\circ}\text{C}$; thứ cấp $\geq 850^{\circ}\text{C}$; lưu ≥ 2 giây; áp suất âm.	Tối ưu phối trộn, cháy, điều khiển và chế độ bất thường.	QCVN pass/fail; BAT đánh giá hiệu năng, bằng chứng.
Khí thải	QCVN 19: giới hạn A/B/C tại O_2 12% cho lò đốt.	BAT-AEL cơ sở mới, O_2 11%: bụi $<2\text{-}5$; HCl $<2\text{-}6$; SO_2 5-30; NOx 50-120 mg/Nm^3 ; PCDD/F $<0,01\text{-}0,04$ $\text{ng I-TEQ}/\text{Nm}^3$.	Chuẩn hóa O_2 , kỳ trung bình; không bù trừ vi phạm.
Nhiệt độ khí	Sau thu hồi nhiệt $\leq 300^{\circ}\text{C}$; trên thân ống khói $\leq 180^{\circ}\text{C}$.	Kiểm soát PCDD/F và tối ưu thu hồi năng lượng.	Kiểm tra sơ đồ nhiệt, vị trí đo, bảo đảm vận hành.
Tro xỉ	LOI $\leq 10\%$; quan trắc ≥ 6 tháng/lần.	LOI 1-5% khô hoặc TOC 1-3%; giám sát định kỳ.	QCVN bắt buộc; BAT dùng phân hạng.
Tiếp nhận	Cơ sở ≥ 100 tấn/ngày: kho kín, xử lý mùi/nước rỉ; cấp liệu, phối trộn cơ giới.	Kiểm soát tiếp nhận, từ chối, truy xuất; xác định LHV, ẩm, tro, halogen, kim loại.	Đánh giá vận hành S1-S3 và dữ liệu đầu vào.
Quan trắc/sự cố	Đo nhiệt độ, hiệu chuẩn, quan trắc khí; dùng cấp liệu khi không bảo đảm.	Quan trắc theo BAT 3-5; kế hoạch OTNOC và độ sẵn sàng xử lý khí.	Thiếu bằng chứng: làm rõ trước TOPSIS.

Nguồn: Tác giả tổng hợp từ QCVN 30:2025/BNMT [21], QCVN 19:2024/BNMT [22] và BAT Conclusions for Waste Incineration, [3] Trị số chỉ đối sánh sau khi chuẩn hóa điều kiện quy chiếu và kỳ trung bình

2.3. Quan hệ giữa đặc tính CTRSH và hiệu năng công nghệ

Độ ẩm cao làm giảm năng lượng hữu ích; LHV và độ đồng nhất ảnh hưởng ổn định cháy, tải và điều khiển gió. Tạp chất, kích thước và phân loại quyết định tiền xử lý, mài mòn, tắc nghẽn và khâu logistics. Do đó, phải đánh giá toàn bộ cấu hình tiền xử lý, lò và hệ

Bảng 2. Định vị sơ bộ các phương án công nghệ

Phương án	Đầu vào	Tiền xử lý	Điểm cần kiểm chứng	Rủi ro cần kiểm chứng
A1-Lò ghi	CTRSH hỗn hợp, biên rộng	Thấp-trung bình	Kinh nghiệm; chịu biến động	CAPEX; khí thải; bảo trì ghi/lò hơi
A2-Tăng sôi	Cỡ hạt, LHV tương đối đồng nhất	Trung bình-cao	Truyền nhiệt, hòa trộn	Nhảy cỡ hạt, tạp chất, tiền xử lý
A3-Khí hóa	RDF/nguyên liệu chuẩn hóa	Cao	Khí nhiên liệu; thu hồi năng lượng	Làm sạch khí, tar, scale-up, tham chiếu
A4-Plasma/nhiệt phân	Dòng chọn lọc, ổn định	Rất cao	Xử lý dòng đặc thù	Chi phí, điện tự dùng, trường thành

Nguồn: Tác giả tổng hợp từ [1, 2, 3, 17, 18, 19]; bảng không thay thế thẩm tra công nghệ

2.4. Khung nghiên cứu đề xuất

Khung sáu bước (Hình 1) đặt sàng lọc QCVN và đối sánh BAT trước trọng số; xếp hạng riêng từng kịch bản rác, sau đó kiểm tra độ nhạy để xác định kết quả bền hay phụ thuộc ưu tiên.

TOPSIS được chọn vì phương án ưu tiên phải gần nghiệm lý tưởng dương và xa nghiệm bất lợi. W0 là mốc cân bằng minh bạch, không phải “trọng số đúng”; năm cấu hình ưu tiên và mô phỏng trọng số đo mức phụ thuộc của thứ hạng vào mục tiêu quyết định [11, 24, 25].

2.2. Sàng lọc pháp lý theo QCVN và đối sánh BAT theo IED

BAT Conclusions bao phủ quản lý rác, quá trình đốt, năng lượng, phát thải, chất thải thứ cấp và quan trắc [2, 3]. QCVN 19 quy định giới hạn khí thải; QCVN 30 quy định kỹ thuật, vận hành và giám sát lò đốt [21, 22]. Ba hệ yêu cầu có vai trò khác nhau.

Theo nguyên tắc không bù trừ, phương án vi phạm pháp luật bị loại; thiếu bằng chứng trọng yếu được ghi “yêu cầu làm rõ”; chỉ phương án đủ điều kiện mới vào TOPSIS. BAT là chuẩn đối sánh hiệu năng, không thay thế pháp luật Việt Nam.

Ba lớp kiểm tra gồm yêu cầu pháp lý; yêu cầu kỹ thuật và bằng chứng; mức BAT-AEL/BAT-AEEL. Chỉ đối sánh trị số sau khi thống nhất O_2 tham chiếu, trạng thái khô/ướt, nhiệt độ-áp suất, kỳ trung bình và ranh giới năng lượng.

phụ trợ trên cùng ranh giới.

Bảng 2 định vị yêu cầu dữ liệu của bốn cấu hình, không xếp hạng công nghệ. Mỗi phương án phải gồm tiền xử lý, thu hồi năng lượng, xử lý khí/nước, CEMS và quản lý tro xỉ.



Hình 1. Khung phương pháp nghiên cứu đề xuất

Nguồn: Tác giả đề xuất

3. DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

3.1. Phương án và kịch bản CTRSH

Các phương án gồm A1-lò ghi, A2-tăng sôi, A3-khí hóa, A4-plasma/nhiệt phân; A4 chỉ được coi là thương mại khi có bằng chứng tương đương. Mỗi phương án gồm cả tiền xử lý và hệ phụ trợ. QCVN 30 chưa quy định trực tiếp khí hóa; nếu khí sản phẩm được đốt, khí thải áp dụng như lò đốt, trừ khi đã làm sạch tương đương khí thiên nhiên [21].

Ba kịch bản gồm S1-rác hỗn hợp, ẩm cao, LHV thấp; S2-điều kiện trung bình có quản lý nguồn và tiền xử lý giới hạn; S3-rác phân loại/tiền xử lý, đồng nhất và LHV cao hơn. Khoảng tại Bảng 3 chỉ kiểm tra phương pháp; khi áp dụng phải thay bằng khảo sát theo mùa có mô tả lấy mẫu.

Bảng 3. Cấu trúc kịch bản CTRSH dùng cho xếp hạng

Thông số	S1-Hỗn hợp	S2-Trung bình	S3-Phân loại/tiền xử lý	Căn cứ
Độ ẩm (% ướt)	55-65	45-55	30-45	Tổng hợp; thay bằng mẫu theo mùa
LHV/NHV ướt (MJ/kg)	4,5-6,5	6,5-8,5	8,5-12,0	Mẫu đại diện; ghi cơ sở ướt/khô
Đồng nhất	Thấp	Trung bình	Cao hơn; kiểm soát cỡ	Thành phần, cỡ, tạp chất, biến thiên
Tiền xử lý	Tách cồng kênh/kim loại	Phân loại, tách cỡ một phần	Tách cỡ, làm khô/RDF	Dây chuyền, hao hụt, điện, chi phí
Mùa vụ	Cao	Trung bình	Thấp hơn	Ưu tiên ≥12 tháng; nếu thiếu nêu bất định

Nguồn: Tác giả tổng hợp từ [1, 2, 3, 18, 19, 23] và khoảng thiết kế LHV 5,024-8,791 MJ/kg, độ ẩm 45-60% của hồ sơ tham chiếu 650 tấn/ngày [26]. Các khoảng số phục vụ kiểm tra phương pháp, không đại diện cho CTRSH toàn quốc.

3.2. Dữ liệu, mức bằng chứng và khả năng truy xuất

Dữ liệu gồm bốn mức: văn bản chính thức; tài liệu phản biện/tổ chức quốc tế; hồ sơ thiết kế, bảo đảm và nhà máy tham chiếu; dữ liệu vận hành kiểm chứng. Mỗi giá trị kèm nguồn, năm, đơn vị, ranh giới, điều kiện rác và mức E0-E4; không chấm điểm chỉ từ quảng cáo.

Chi phí phải được quy về cùng năm cơ sở giá, tiền tệ, công suất và ranh giới CAPEX; hiệu suất phải phân biệt điện tổng, điện ròng

và điện tự dùng; độ khả dụng (availability) phải phân biệt giữa mức tiêu bảo đảm theo hợp đồng và dữ liệu vận hành thực tế.

3.3. Xây dựng và sàng lọc bộ tiêu chí

Tiêu chí được tổng hợp từ QCVN, BAT và tài liệu [1 - 8], [12 - 16], chỉ giữ khi liên quan quyết định, có định nghĩa/thang neo, hạn chế trùng lặp, có nguồn khả thi và chuyển thành yêu cầu đầu ra. Tất cả điểm minh họa được quy về 5 là thuận lợi hơn trước TOPSIS.

Bảng 4. Bộ tiêu chí MCDA và quy tắc đo lường

Mã	Nhóm	Tiêu chí	Chỉ báo/đơn vị	Chiều
T1	Kỹ thuật	Dài LHV và độ ẩm	Dài vận hành có bằng chứng	Lợi ích
T2	Kỹ thuật	Chịu biến động/tạp chất	Bằng chứng 1-5	Lợi ích
T3	Kỹ thuật	Mức tiền xử lý	Công đoạn, điện, chi phí	Chi phí
T4	Kỹ thuật	Hiệu suất điện ròng	% hoặc kWh/tấn	Lợi ích
E1	Môi trường-BAT	Môi trường phát thải	Biên an toàn/độ tin cậy	Lợi ích
E2	Môi trường-BAT	Xử lý khí và CEMS	Availability/bằng chứng	Lợi ích
E3	Môi trường-BAT	Quản lý tro	kg/tấn; tuyến xử lý	Chi phí
E4	Môi trường-BAT	Nước, hóa chất, nước thải	m ³ /tấn; kg/tấn	Chi phí
C1	Kinh tế vòng đời	CAPEX chuẩn hóa	Tiền/tấn công suất-năm	Chi phí
C2	Kinh tế vòng đời	OPEX cố định/biến đổi	Tiền/tấn	Chi phí
C3	Kinh tế vòng đời	Bảo trì lớn/thay thế	Giá trị hiện tại	Chi phí
C4	Kinh tế vòng đời	Chi phí xử lý quy dẫn	Tiền/tấn	Chi phí
I1	Triển khai-vận hành	Trưởng thành/tham chiếu	Dự án; năm; TRL	Lợi ích
I2	Triển khai-vận hành	Availability thực tế	%	Lợi ích
I3	Triển khai-vận hành	Nhân lực, phụ tùng, dịch vụ	Thang neo 1-5	Lợi ích
I4	Triển khai-vận hành	EPC và chạy thử	Tháng; thang rủi ro	Chi phí
P1	Kiểm chứng-mua sắm	Đầu ra đo được	Thang 1-5	Lợi ích
P2	Kiểm chứng-mua sắm	Bảo đảm và kiểm chứng	Thang 1-5	Lợi ích
P3	Kiểm chứng-mua sắm	Cạnh tranh nhà cung cấp	Số nguồn/thang 1-5	Lợi ích
P4	Kiểm chứng-mua sắm	Dự báo chi phí/rủi ro	Thang 1-5	Lợi ích

Nguồn: Tác giả đề xuất từ [1 - 8], [12 - 16], [21], [22]. Neo định tính: 5=E4/đáp ứng đầy đủ; 4=E3; 3=E2; 2=E1; 1=E0 hoặc không chứng minh. Tiêu chí định lượng được chuẩn hóa theo ngưỡng và bằng chứng tương ứng.

3.4. Cấu hình trọng số và phương pháp TOPSIS

Nghiên cứu không khảo sát chuyên gia. W0 gán 0,20 cho mỗi nhóm T, E, C, I, P và 0,05 cho mỗi tiêu chí; đây chỉ là mốc kiểm tra minh bạch.

W1-W5 lần lượt ưu tiên Kỹ thuật, Môi trường-BAT, Kinh tế, Triển khai và Kiểm chứng; nhóm ưu tiên có trọng số 0,40, mỗi nhóm còn lại 0,15. Mười nghìn vector Dirichlet (1,1,1,1,1) khảo sát miền trọng số; tỷ lệ đứng đầu và đảo hạng đo độ bền, không đại diện cộng đồng [24, 25].

Ma trận X được chuẩn hóa và nhân trọng số thành V. Nghiệm lý tưởng dương A+ và âm A- lấy giá trị tốt nhất, bất lợi nhất của từng tiêu chí. Với khoảng cách Euclid S_i^+ và S_i^- , hệ số $C_i^* = S_i^- / (S_i^+ + S_i^-)$, $0 \leq C_i^* \leq 1$; C_i^* lớn hơn được xếp hạng cao hơn [11].

TOPSIS chạy riêng S1-S3 trên 20 tiêu chí. Ma trận minh họa gồm 12 dòng phương án-kịch bản và 240 điểm; các cấu hình W0-W5 và quy trình TOPSIS được sử dụng để tạo kết quả tại Bảng 5.

3.5. Phân tích độ nhạy và khả năng tái lập

Độ nhạy so sánh W0-W5 và 10.000 vector Dirichlet, chia đều trọng số nhóm cho bốn tiêu chí; TOPSIS dùng chuẩn hóa vector, khoảng cách Euclid, seed=20260812. Tỷ lệ đứng đầu là độ bền dưới giả định trọng số, không phải xác suất thành công hoặc đồng thuận

Bảng 5. Kết quả TOPSIS minh họa theo sáu cấu hình trọng số nhóm

Cấu hình	Trọng số nhóm (T; E; C; I; P)	S1 - hạng 1 (C*)	S2 - hạng 1 (C*)	S3 - hạng 1 (C*)
W0 - Cân bằng	0,20; 0,20; 0,20; 0,20; 0,20	A1 (0,876)	A1 (0,821)	A2 (0,746)
W1 - Kỹ thuật	0,40; 0,15; 0,15; 0,15; 0,15	A1 (0,890)	A1 (0,875)	A1 (0,749)
W2 - Môi trường	0,15; 0,40; 0,15; 0,15; 0,15	A1 (0,841)	A1 (0,785)	A2 (0,702)
W3 - Kinh tế	0,15; 0,15; 0,40; 0,15; 0,15	A1 (0,817)	A2 (0,792)	A2 (0,855)
W4 - Triển khai	0,15; 0,15; 0,15; 0,40; 0,15	A1 (0,921)	A1 (0,885)	A1 (0,833)
W5 - Kiểm chứng	0,15; 0,15; 0,15; 0,15; 0,40	A1 (0,915)	A1 (0,875)	A1 (0,820)

Nguồn: Tác giả tính toán từ ma trận minh họa 20 tiêu chí; kết quả không phải kiến nghị công nghệ.

4.3. Độ bền thứ hạng

Trong 10.000 vector, A1 đứng đầu 100% ở S1, 83,95% ở S2 và 57,18% ở S3; A2 lần lượt đạt 0%, 16,05% và 42,82%; A3-A4 không đứng đầu. S3 nhạy với trọng số nên cần tiếp tục làm rõ A1-A2. Các tỷ lệ lệ không biểu thị mức phù hợp công nghệ tại Việt Nam.

4.4. Đối chiếu khả năng áp dụng bằng hồ sơ thiết kế 650

Bảng 6. Đối chiếu hồ sơ thiết kế tham chiếu với khung đề xuất

Nhóm	Bảng chứng hồ sơ	Đánh giá	Khoảng trống/xử lý
Đầu vào/quá trình	LHV 5,024-8,791 MJ/kg; ẩm 45-60%; lò ghi; lưu >2 giây; nhiệt độ >950°C và >1.000°C.	Bao phủ T1-T3 và cổng cháy; mức E2.	Thống nhất nhiệt độ, vị trí đo, chế độ.
Khí thải/CEMS	SNCR; Ca(OH) ₂ , NaHCO ₃ , than hoạt tính, lọc túi; CEMS: lưu lượng, T, P, O ₂ , bụi, SO ₂ , NOx, CO, HCl.	Giá trị nêu nhìn chung không vượt QCVN 19 B/C; nồng độ dự kiến của nhiều thông số cao hơn cận trên BAT-AEL.	Thiếu NH ₃ , HF, Hg, TVOC, PCDD/F và kỳ trung bình.
Năng lượng	18 MW; hiệu suất 26,5%; khoảng 100 GWh/năm; 8.000 giờ/năm.	Có dữ liệu cho T4 và chi phí-hiệu năng.	Tách gross/net, điện tự dùng; đối chiếu MW-GWh.
Tro xỉ/nước	Tro đáy khoảng 17,5%; tuyến tro bay; xử lý nước thải, bể sự cố.	Bao phủ E3-E4 ở mức thiết kế.	Chưa thống nhất lượng tro; thiếu LOI/TOC, cân bằng nước.
Mức bằng chứng	Thuyết minh, cân bằng, giá trị bảo đảm; chưa có chuỗi vận hành.	Dùng kiểm tra cấu trúc và dữ liệu.	Không xác nhận availability, chi phí, tuân thủ dài hạn.
Kết luận	Ảnh xạ được phần lớn trường dữ liệu.	Có thể áp dụng trong NCKT/thẩm tra sau chuẩn hóa.	Ồ thiếu trở thành yêu cầu làm rõ và kiểm chứng chạy thử.

Nguồn: Tác giả đối chiếu hồ sơ 650 tấn/ngày [26] với QCVN 19, QCVN 30 và BAT; nhận định chỉ phản ánh bằng chứng thiết kế

Khung đồng thời là danh mục kiểm soát dữ liệu, phát hiện mâu thuẫn về nhiệt độ, điện, giờ vận hành, tro xỉ và cân bằng nước trước khi chấm điểm. Các điểm thiếu được chuyển thành “yêu cầu làm rõ”, không thành kết luận ưu thế công nghệ.

5. THẢO LUẬN

5.1. Giá trị và giới hạn của mô hình hai tầng

Khung tách “được phép xem xét” khỏi “được ưu tiên”: QCVN là

chuyên gia [24, 25].

4. KẾT QUẢ MINH HỌA VÀ KIỂM TRA KHẢ NĂNG ÁP DỤNG

Ví dụ dùng đủ 20 tiêu chí, thang 1-5 và neo bằng chứng đã công bố. Điểm chỉ kiểm tra chuỗi tính, không phải số liệu vận hành so sánh bốn nhà máy.

4.1. Điều kiện áp dụng cổng sàng lọc

Do thiếu hồ sơ tương đương cho A1-A4, nghiên cứu không kết luận phương án nào đáp ứng QCVN hoặc đạt mức đối sánh BAT. Ví dụ giả định các phương án đã qua làm rõ để chạy TOPSIS; khi áp dụng, phương án vi phạm bị loại và phương án thiếu bằng chứng chưa được xếp hạng.

4.2. Kết quả TOPSIS trên 20 tiêu chí

Dưới W0, A1 đứng đầu S1 và S2 với $C^*=0,876$ và $0,821$; A2 đứng đầu S3 với $0,746$. W3 đưa A2 đứng đầu S2-S3; W1, W4 và W5 đưa A1 đứng đầu cả ba kịch bản. Thứ hạng vì vậy phụ thuộc đồng thời đặc tính rác và ưu tiên quyết định.

tấn/ngày

Khung được đối chiếu với hồ sơ thẩm định một dự án WtE 650 tấn CTRSH/ngày [26] ở mức thông số tổng hợp, không công bố tên dự án, chủ đầu tư hoặc bí quyết công nghệ. Mục đích là kiểm tra độ bao phủ dữ liệu, không xác nhận vận hành.

nghĩa vụ, BAT là chuẩn hiệu năng, MCDA chỉ xếp hạng phương án vượt cổng. Vì vậy chi phí không bù được thiếu bằng chứng môi trường; ma trận và miền trọng số làm rõ nguồn gốc thứ hạng.

Dữ liệu minh họa và hiệu năng còn phụ thuộc thiết kế, nhà cung cấp, hệ phụ trợ. Hồ sơ 650 tấn/ngày chỉ đại diện A1. Thiếu khảo sát chuyên gia, bất định điểm và chuỗi vận hành nên nghiên cứu không tuyên bố trọng số đại diện, kiểm chứng thực nghiệm hay công nghệ tối ưu.

Khung không thay thế khảo sát rác, thiết kế cơ sở, ĐTM, thử

nghiệm, thẩm tra hoặc đánh giá nhà đầu tư. Ứng dụng dự án phải cập nhật quy chuẩn, phân vùng môi trường, giấy phép, kịch bản và dữ liệu tại thời điểm đánh giá.

5.2. Hàm ý đối với chuẩn bị dự án đầu tư xây dựng

Nghiên cứu khả thi phải kèm dữ liệu rác, công sàng lọc và độ nhạy. Hồ sơ mời thầu nên quy định dải rác, công suất, hiệu suất ròng, Bảng 7. Chuyển hóa kết quả nghiên cứu thành yêu cầu chức năng

Đầu ra	Hồ sơ dự án	Chuyển hóa	Bằng chứng
Kịch bản CTRSH	NCKT/chỉ dẫn	Dải thiết kế; trường hợp bất lợi	Lấy mẫu; LHV/độ ẩm
Cổng QCVN và đối sánh BAT	Yêu cầu tối thiểu	QCVN: pass/fail không bù trừ; BAT: đối sánh hiệu năng	FGC, CEMS, cân bằng
Tiêu chí hiệu năng	Đánh giá kỹ thuật	Ngưỡng và cách chấm	Tham chiếu; guarantee
Độ nhạy	Thuyết minh lựa chọn	Biến quyết định; dự phòng	Kịch bản; thẩm tra
Phương án ưu tiên	Kiến nghị NCKT/HSMT	Yêu cầu chức năng	Chạy thử; PAC/FAC

5.3. Cơ chế cập nhật dữ liệu

Ma trận phải được quản lý phiên bản. Khi dữ liệu CTRSH, quy chuẩn, quy mô hoặc số liệu vận hành thay đổi, cần cập nhật và chạy lại mô hình, đồng thời lưu vết tiêu chí, trọng số và nguồn để kiểm toán quyết định.

6. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đề xuất khung hai tầng: sàng lọc QCVN 19, QCVN 30 và đối sánh BAT, sau đó TOPSIS theo ba kịch bản CTRSH. Hai mươi tiêu chí, thang neo, sáu cấu hình trọng số và dữ liệu tái lập giúp tách nghĩa vụ bắt buộc khỏi đánh đổi.

Trong ví dụ, A1 đứng đầu S1-S2, A2 đứng đầu S3 dưới W0; cạnh tranh A1-A2 tăng tại S2-S3. Hồ sơ 650 tấn/ngày cho thấy phần lớn trường dữ liệu có thể thu thập trong NCKT, đồng thời lộ khoảng trống về hiệu suất, phát thải, tro xỉ và nước. Kết quả chỉ chứng minh phương pháp, không xác lập công nghệ tối ưu.

Khi áp dụng, phải thay điểm minh họa bằng khảo sát rác theo mùa, dữ liệu nhà máy và bảo đảm kỹ thuật cùng ranh giới; xác lập trọng số theo mục tiêu và kiểm tra độ nhạy cả trọng số lẫn điểm. Khi áp dụng thực tế, cần lập ma trận 20 tiêu chí và hồ sơ giải trình điểm để bảo đảm khả năng truy xuất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Asian Development Bank. Waste to Energy in the Age of the Circular Economy: Best Practice Handbook. Manila: Asian Development Bank, 2020.

[2] European Commission - Joint Research Centre. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Incineration. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2019.

[3] European Commission. Commission Implementing Decision (EU) 2019/2010 establishing the best available techniques conclusions for waste incineration. Official Journal of the European Union, L312, pp. 55-91, 2019.

[4] Phạm Văn Vượng. Đề xuất mô hình tích hợp kinh tế - kỹ thuật - pháp lý cho phát triển dự án điện rác theo mô hình đối tác công - tư tại Việt Nam. Nghiên cứu Kinh tế - Tài chính. Internet, 31/12/2025.

[5] Phạm Văn Vượng. Đánh giá kỹ thuật và đề xuất mô hình mô phỏng hỗ trợ ra quyết định đầu tư xây dựng nhà máy điện rác theo hình thức PPP đạt chuẩn BAT-IED tại Việt Nam. Nghiên cứu Kinh tế - Tài chính. Internet: 29/01/2026.

[6] Phạm Văn Vượng. Đánh giá mức độ tương thích và tác động kinh tế - tài chính của hệ thống tiêu chuẩn, quy chuẩn kỹ thuật đối với các dự án đốt rác phát điện theo mô hình PPP tại Việt Nam theo tiếp cận BAT-IED. Nghiên cứu Kinh tế - Tài chính. Internet: 25/02/2026.

[7] Phạm Văn Vượng. Đánh giá tác động của khung pháp lý liên ngành và đề xuất mô hình tích hợp nhằm nâng cao tính khả thi tài chính của dự án điện rác theo hình thức PPP tại Việt Nam. Nghiên cứu Kinh tế - Tài chính. Internet: 27/03/2026.

[8] Phạm Văn Vượng. Ảnh hưởng của biến động nguồn chất thải rắn sinh hoạt đến hiệu quả tài chính và cơ chế MGQ trong dự án điện rác theo hình thức PPP tại Việt Nam. Nghiên cứu Kinh tế - Tài chính. Internet: 26/04/2026.

[9] S. Cheng, C. W. Chan and G. H. Huang. Using multiple criteria decision analysis for supporting decisions of solid waste management. Journal of Environmental Science and Health, Part A, vol. 37, no. 6, pp. 975-990, 2002, doi: 10.1081/ESE-120004517.

[10] T. L. Saaty. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource

availability, phát thải, tiêu hao, tro và phương pháp thử thay vì khóa công nghệ; cấu hình khác được chấp nhận nếu chứng minh đáp ứng.

Cách tiếp cận theo hiệu năng duy trì cạnh tranh và hỗ trợ thẩm tra độc lập. Cơ quan có thẩm quyền phải xác lập mục tiêu, giải trình trọng số và kiểm tra độ nhạy; không sao chép W0-W5 hoặc kết quả minh họa.

Nguồn: Tác giả đề xuất

Allocation. New York: McGraw-Hill, 1980.

[11] C. L. Hwang and K. Yoon. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. Berlin: Springer, 1981, doi: 10.1007/978-3-642-48318-9.

[12] A. Thampi and B. Rao. Application of multi-criteria decision making tools for technology choice in treatment and disposal of municipal solid waste for local self government bodies: A case study of Kerala, India. Journal of Solid Waste Technology and Management, vol. 41, no. 1, pp. 84-95, 2015, doi: 10.5276/JSWTM.2015.84.

[13] M. Soltanifar and F. H. Lotfi. Application of TOPSIS and VIKOR improved versions in a multi criteria decision analysis to develop an optimized municipal solid waste management model. Journal of Environmental Management, vol. 166, pp. 109-115, 2016, doi: 10.1016/j.jenvman.2015.09.028.

[14] M. G. Kharat, S. Murthy, S. J. Kamble, R. D. Raut and S. S. Kamble. Fuzzy multi-criteria decision analysis for environmentally conscious solid waste treatment and disposal technology selection. Technology in Society, vol. 57, pp. 20-29, 2019, doi: 10.1016/j.techsoc.2018.12.005.

[15] A. E. Torkayesh, B. Malmir and M. R. Asadabadi. Sustainable waste disposal technology selection: The stratified best-worst multi-criteria decision-making method. Waste Management, vol. 122, pp. 100-112, 2021, doi: 10.1016/j.wasman.2020.12.040.

[16] M. Z. Nurlael, R. Hartanto, W. W. Winarno and I. B. Santoso. AHP-TOPSIS analysis in selecting waste processing technology based on energy justice. Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, vol. 13, no. 2, 2024, doi: 10.22146/jnteti.v13i2.10906.

[17] U. Arena. Process and technological aspects of municipal solid waste gasification: A review. Waste Management, vol. 32, no. 4, pp. 625-639, 2012, doi: 10.1016/j.wasman.2011.09.025.

[18] International Energy Agency. Will energy from waste become the key form of bioenergy in Asia? Internet: <https://www.iea.org/articles/will-energy-from-waste-become-the-key-form-of-bioenergy-in-asia>, 2018 (truy cập: tháng 08/2026).

[19] World Bank. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Washington, DC: World Bank, 2018.

[20] J. Malinauskaitė, H. Jouhara, D. Czajczyńska et al. Municipal solid waste management and waste-to-energy in the context of a circular economy and energy recycling in Europe. Energy, vol. 141, pp. 2013-2044, 2017, doi: 10.1016/j.energy.2017.11.128.

[21] Bộ Nông nghiệp và Môi trường. Thông tư số 45/2025/TT-BNNMT ngày 06/8/2025 ban hành QCVN 30:2025/BNNMT - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về lò đốt chất thải; hiệu lực từ 09/02/2026, Hà Nội, 2025.

[22] Bộ Tài nguyên và Môi trường. Thông tư số 45/2024/TT-BTNMT ngày 30/12/2024 ban hành QCVN 19:2024/BTNMT - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về khí thải công nghiệp, Hà Nội, 2024.

[23] Nguyễn Thanh Quang. Nghiên cứu đặc tính rác thải sinh hoạt tại Việt Nam làm nhiên liệu cho quá trình sản xuất năng lượng. Tạp chí Khoa học và Công nghệ, tập 70, số 4, tr. 63-70, 2024, doi: 10.46242/jstih.v70i4.4767.

[24] E. Triantaphyllou and A. Sánchez. A sensitivity analysis approach for some deterministic multi-criteria decision-making methods. Decision Sciences, vol. 28, no. 1, pp. 151-194, 1997, doi: 10.1111/j.1540-5915.1997.tb01306.x.

[25] R. Lahdelma, J. Hokkanen and P. Salminen. SMAA - Stochastic multiobjective acceptability analysis. European Journal of Operational Research, vol. 106, no. 1, pp. 137-143, 1998, doi: 10.1016/S0377-2217(97)00163-X.

[26] Hồ sơ thẩm định công nghệ của một dự án đốt rác phát điện công suất 650 tấn CTRSH/ngày tại Việt Nam. Tài liệu kỹ thuật không công bố tên dự án; các thông số được sử dụng ở dạng tổng hợp phục vụ nghiên cứu, 2024.

Tổng quan hệ thống về các xu hướng nghiên cứu trong lĩnh vực taxi điện: Phân tích trắc lượng thư mục bằng VOSviewer

A systematic overview of research trends in electric taxis: A bibliometric analysis using VOSviewer

> CN TRẦN THẾ PHONG*, TS THẠCH MINH QUÂN

Trường Đại học Giao thông vận tải

*Email: phongtrann193@gmail.com

TÓM TẮT

Taxi điện đóng vai trò quan trọng trong quá trình chuyển đổi sang giao thông bền vững và giảm phát thải môi trường. Đã có nhiều nghiên cứu được thực hiện liên quan đến việc áp dụng taxi điện, tuy nhiên các nghiên cứu này còn phân tán và thiếu một cái nhìn tổng thể. Nghiên cứu này cung cấp cái nhìn tổng quan về lĩnh vực áp dụng taxi điện, bao gồm các tác giả, tạp chí, quốc gia và các xu hướng nghiên cứu chính. Dữ liệu được thu thập từ cơ sở dữ liệu Scopus trong giai đoạn 2000 - 2025 với 1.124 nghiên cứu liên quan đến taxi điện để phân tích trắc lượng thư mục với sự hỗ trợ của phần mềm VOSviewer. Kết quả phân tích được trình bày thông qua các bảng số liệu và trực quan hóa bằng bản đồ mạng lưới. Kết quả cho thấy các nghiên cứu tập trung vào một số hướng chính như vấn đề môi trường và phát thải, vấn đề về kinh tế và thị trường, vấn đề chính sách và xã hội, vấn đề về hạ tầng và công nghệ sạc đồng thời phản ánh sự gia tăng quan tâm đến lĩnh vực này trong những năm gần đây. Tuy nhiên, nghiên cứu chỉ sử dụng dữ liệu từ Scopus nên có thể chưa bao quát toàn bộ các công trình đã công bố. Các nghiên cứu trong tương lai có thể mở rộng phạm vi dữ liệu để nâng cao tính toàn diện và độ tin cậy của kết quả.

Từ khóa: Taxi điện; phân tích trắc lượng thư mục; giao thông bền vững; VOSviewer.

ABSTRACT

Electric taxis play a critical role in the transition toward sustainable transportation and environmental emission reduction. Although numerous studies have been conducted on the adoption of electric taxis, these studies remain fragmented and lack a comprehensive overview. This study provides a systematic review of the field of electric taxi applications, including key authors, journals, countries and major research trends. Data were collected from the Scopus database for the period 2000 - 2025, covering 1,124 publications related to electric taxis, and analyzed using bibliometric methods with the support of VOSviewer software. The results are presented through statistical tables and network visualization maps. The findings reveal that research has primarily focused on several key themes: environmental impacts and emissions, economic and market aspects, policy and social dimensions, as well as charging infrastructure and technology. The analysis also reflects a significant increase in scholarly attention to this field in recent years. However, this study is limited to data from the Scopus database and may not cover all relevant publications. Future research could expand the data sources to enhance the comprehensiveness and reliability of the results.

Keywords: Electric taxi; bibliometric analysis; sustainable transportation; VOSviewer.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Biến đổi khí hậu và ô nhiễm môi trường đang đặt ra yêu cầu cấp thiết đối với quá trình chuyển đổi hệ thống giao thông theo hướng bền vững. Theo các báo cáo của Ủy ban Liên chính phủ về Biến đổi khí hậu (IPCC), hoạt động của con người và phát thải khí nhà kính là

nguyên nhân chủ yếu của biến đổi khí hậu [1]. Trong đó, giao thông vận tải là một trong những lĩnh vực phát thải CO₂ đáng kể [2]. Vì vậy, việc chuyển đổi từ phương tiện sử dụng nhiên liệu hóa thạch sang phương tiện điện đang trở thành một trong những giải pháp quan trọng nhằm giảm phát thải và thúc đẩy giao thông bền vững.

Taxi điện là loại hình vận tải hành khách thương mại sử dụng phương tiện chạy điện, có đặc điểm cường độ khai thác và quãng đường di chuyển lớn. Việc điện hóa đội xe taxi vì vậy có tiềm năng góp phần giảm tiêu thụ nhiên liệu hóa thạch và phát thải trong giao thông đô thị. Tuy nhiên, quá trình triển khai taxi điện còn liên quan đến nhiều vấn đề như chi phí đầu tư và vận hành, công nghệ pin, hạ tầng sạc, tổ chức đội xe, tác động môi trường, chính sách hỗ trợ và khả năng chấp nhận của thị trường.

Trong những năm gần đây, các nghiên cứu liên quan đến xe điện và điện hóa đội xe vận tải thương mại đã gia tăng đáng kể. Tuy nhiên, các công trình được thực hiện dưới nhiều góc độ và trong các bối cảnh khác nhau, dẫn đến sự phân tán về chủ đề nghiên cứu. Phân tích trắc lượng thư mục (bibliometric analysis) là phương pháp cho phép nhận diện cấu trúc và xu hướng phát triển của một lĩnh vực thông qua việc phân tích dữ liệu công bố khoa học [3]. VOSviewer là công cụ hỗ trợ xây dựng và trực quan hóa các mạng lưới khoa học như tác giả, quốc gia và từ khóa nghiên cứu [4].

Trên cơ sở đó, nghiên cứu này sử dụng phương pháp phân tích trắc lượng thư mục kết hợp với phần mềm VOSviewer để phân tích các công trình liên quan đến taxi điện. Dữ liệu được thu thập từ cơ sở Scopus trong giai đoạn 2000 - 2025. Nghiên cứu tập trung phân tích xu hướng công bố, đặc điểm phân bố theo quốc gia và tác giả, mạng lưới hợp tác và các cụm chủ đề nghiên cứu thông qua phân tích đồng xuất hiện từ khóa. Kết quả nghiên cứu góp phần cung cấp cái nhìn tổng quan về cấu trúc và xu hướng phát triển của lĩnh vực, từ đó hỗ trợ xác định các hướng nghiên cứu tiềm năng trong tương lai.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu được thực hiện qua hai bước chính, bao gồm thu thập dữ liệu và phân tích dữ liệu.

2.1. Thu thập dữ liệu

Dữ liệu được thu thập từ cơ sở dữ liệu Scopus nhờ khả năng bao phủ rộng các công trình nghiên cứu thuộc nhiều lĩnh vực khoa học xã hội và tự nhiên. Đồng thời, Scopus là một trong những cơ sở dữ liệu uy tín và được chấp nhận rộng rãi trong nghiên cứu khoa học.

Nhằm bao quát đầy đủ các nghiên cứu liên quan đến việc áp dụng taxi điện, tác giả xây dựng chuỗi truy vấn kết hợp từ khóa về phương tiện điện ("electric vehicle*", "EV") với các khía cạnh vận tải ("taxi", "fleet", "ride-hailing", "urban transport") và hành vi chấp nhận công nghệ ("adoption", "intention", "acceptance", "diffusion"), tìm kiếm trong tiêu đề, tóm tắt và từ khóa, không giới hạn thời gian:

(TITLE-ABS-KEY ("electric vehicle*" OR "EV") AND ("taxi" OR "fleet" OR "ride-hailing" OR "urban transport") AND ("adoption" OR "intention" OR "acceptance" OR "diffusion"))).

Kết quả tìm kiếm thu được 1.124 tài liệu trong khoảng thời gian từ năm 2000 đến năm 2025. Toàn bộ số lượng tài liệu này được giữ nguyên và đưa vào phân tích ở các bước tiếp theo để đảm bảo tính bao quát và phản ánh đầy đủ bức tranh toàn cảnh của lĩnh vực nghiên cứu. Quá trình thu thập, sàng lọc và phân tích dữ liệu được tiến hành trong khoảng thời gian từ ngày 01/4/2026 đến 10/4/2026. Sau đó, dữ liệu được xử lý và trực quan hóa bằng phần mềm VOSviewer nhằm xây dựng và khám phá các mạng lưới khoa học.

2.2. Phân tích dữ liệu

Nghiên cứu sử dụng các chỉ số phân tích có sẵn từ hệ thống Scopus, bao gồm đặc điểm tài liệu (loại tài liệu, ngôn ngữ, nguồn công bố), năm xuất bản, quốc gia và tác giả nhằm mô tả tổng quan bức tranh nghiên cứu trong lĩnh vực.

Tiếp theo, dữ liệu được xuất dưới định dạng CSV và nhập vào phần mềm VOSviewer để tiến hành phân tích trắc lượng thư mục.

Cụ thể, nghiên cứu thực hiện hai kỹ thuật phân tích chính là phân tích đồng tác giả và phân tích đồng xuất hiện từ khóa.

Phân tích đồng tác giả (co-authorship analysis) được sử dụng nhằm xác định và mô tả mối quan hệ hợp tác giữa các nhà nghiên cứu thông qua số lần cùng công bố các công trình khoa học. Qua đó, mạng lưới hợp tác trong lĩnh vực nghiên cứu về áp dụng taxi điện được làm rõ.

Phân tích đồng xuất hiện từ khóa (co-occurrence analysis) được sử dụng để xác định tần suất xuất hiện của các từ khóa và mức độ đồng xuất hiện của chúng trong cùng một tài liệu, từ đó làm nổi bật các chủ đề nghiên cứu và xu hướng chính trong lĩnh vực. Ngưỡng tối thiểu được thiết lập là 25 lần xuất hiện cho mỗi từ khóa.

Kết quả phân tích được trực quan hóa dưới dạng bản đồ mạng lưới, giúp xác định các cụm nghiên cứu (clusters) và xu hướng phát triển của lĩnh vực áp dụng taxi điện.

3. KẾT QUẢ

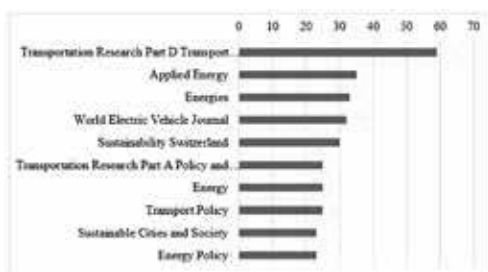
3.1. Mô tả tài liệu truy xuất

Dựa trên kết quả truy xuất từ Scopus, tổng cộng 1.124 tài liệu được đưa vào phân tích bibliometric (Bảng 1). Về loại tài liệu, bài báo khoa học (Article) chiếm ưu thế với 65,57%, tiếp theo là bài báo hội thảo (25,80%); các dạng còn lại (tổng quan, chương sách...) chỉ chiếm tỷ trọng nhỏ, cho thấy các công trình chủ yếu được công bố dưới dạng bài báo có bình duyệt khắt khe. Về ngôn ngữ, tiếng Anh chiếm ưu thế tuyệt đối (99,20%), phản ánh tính quốc tế hóa cao của lĩnh vực và thuận lợi cho việc chia sẻ tri thức toàn cầu.

Bảng 1. Mô tả tài liệu truy xuất

Đặc điểm		Số lượng	Tỷ lệ
Loại tài liệu	Bài báo	737	65,57%
	Bài báo hội thảo	290	25,80%
	Tổng quan	44	3,91%
	Chương sách	37	3,29%
	Tổng quan hội thảo	5	0,44%
	Ghi chú	4	0,36%
	Dữ liệu giấy	4	0,36%
	Khảo sát ngắn	1	0,09%
	Đỉnh chính	1	0,09%
	Xã luận	1	0,09%
Ngôn ngữ	Tiếng Anh	1113	99,20%
	Tiếng Trung	6	0,53%
	Tiếng Tây Ban Nha	2	0,18%
	Tiếng Nga	1	0,09%
	Tiếng Bồ Đào Nha	1	0,09%
Nguồn tài liệu	Tạp chí khoa học	801	71,26%
	Kỷ yếu hội thảo	257	22,86%
	Đánh giá	38	3,38%
	Sách bộ	21	1,87%
	Tạp chí thương mại	7	0,62%

Về nguồn tài liệu, dữ liệu từ Hình 1 cho thấy tạp chí khoa học là kênh công bố quan trọng nhất với 801 tài liệu (71,26%), theo sau là kỷ yếu hội thảo với 257 tài liệu (22,86%). Các nguồn khác bao gồm sách bộ và tạp chí thương mại đóng góp một phần nhỏ vào tổng số dữ liệu nghiên cứu.



Hình 1. Nguồn tài liệu phổ biến về lĩnh vực taxi điện

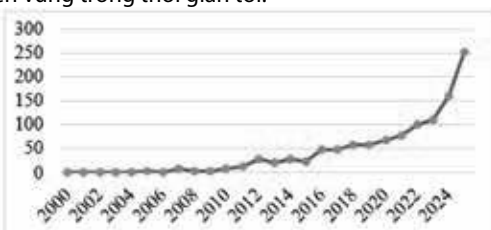
3.2. Sự phát triển của các chủ đề nghiên cứu

Dựa trên kết quả truy xuất từ cơ sở dữ liệu Scopus, Hình 2 thể hiện sự biến động về số lượng tài liệu nghiên cứu liên quan đến chủ đề áp dụng taxi điện trong giai đoạn 2000 - 2025. Nhìn chung, số lượng công bố có xu hướng gia tăng rõ rệt, phản ánh mức độ quan tâm ngày càng lớn của giới học thuật đối với lĩnh vực này.

Trong giai đoạn 2000 - 2010, số lượng tài liệu duy trì ở mức sơ khởi, trung bình dưới 10 bài mỗi năm, cho thấy taxi điện chưa thật sự phổ biến trong vận tải công cộng do còn tồn tại các rào cản về công nghệ và hạ tầng. Bước sang giai đoạn 2011 - 2021, số lượng nghiên cứu bắt đầu có xu hướng tăng trưởng rõ ràng, gắn liền với xu hướng phát triển bền vững và nhu cầu giảm phát thải trong lĩnh vực giao thông.

Đặc biệt, trong giai đoạn 2022 - 2025, số lượng tài liệu tăng trưởng mạnh mẽ, đạt đỉnh 253 bài vào năm 2025, cao gấp hơn 2,5 lần so với năm 2022 (100 bài). Sự gia tăng này có mối liên hệ chặt chẽ với các cam kết trung hòa carbon (Net Zero) và việc triển khai các chính sách hỗ trợ xe điện tại nhiều quốc gia.

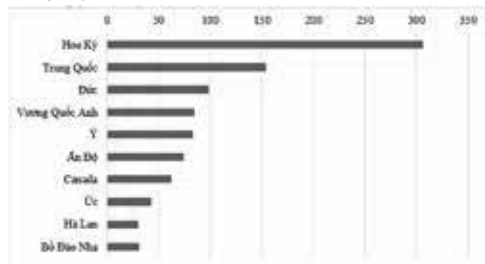
Đối với năm 2026, do dữ liệu chưa được cập nhật đầy đủ tại thời điểm khảo sát nên số liệu năm nay chưa được đưa vào so sánh. Tuy nhiên, xét trên xu hướng tăng trưởng hiện tại, nghiên cứu về áp dụng taxi điện được dự báo sẽ tiếp tục là một trong những hướng nghiên cứu trọng tâm trong lĩnh vực giao thông xanh và phát triển đô thị bền vững trong thời gian tới.



Hình 2. Số lượng tài liệu về lĩnh vực taxi điện theo các năm

3.3. Phân bố địa lý của chủ đề nghiên cứu

Dữ liệu thống kê cho thấy, các nhà nghiên cứu đến từ 89 quốc gia đã tham gia đóng góp vào các công bố khoa học từ năm 2000 - 2025. Hình 3 thể hiện 10 quốc gia có số lượng nghiên cứu cao nhất, dẫn đầu là Hoa Kỳ với 306 bài nghiên cứu (27,22%), tiếp theo là Trung Quốc với 154 bài nghiên cứu (13,7%) và Đức với 99 bài nghiên cứu (8,81%). Việt Nam có 6 bài nghiên cứu được công bố đầu tiên vào năm 2021.



Hình 3. Số lượng tài liệu về lĩnh vực taxi điện của 10 quốc gia hàng đầu

Bản đồ trực quan hóa mạng lưới hợp tác quốc tế giữa các quốc gia có số lượng tối thiểu 5 bài nghiên cứu cho thấy 43 quốc gia có quan hệ hợp tác quốc tế trong nghiên cứu về áp dụng taxi điện. Mức độ liên kết giữa các quốc gia được thể hiện thông qua các đường nối trên bản đồ, trong đó các quốc gia có nhiều liên kết thể hiện phạm vi hợp tác quốc tế rộng hơn.

Xét theo tổng số lượt liên kết, Hoa Kỳ dẫn đầu với 131 lần liên kết, hợp tác với 30 quốc gia, tiếp theo là Trung Quốc với 108 lần liên kết, hợp tác với 25 quốc gia. Vương quốc Anh có số lượng quốc gia hợp tác nhiều nhất với 31 quốc gia, nhưng tổng số lượt liên kết chỉ đạt 78, thấp hơn Hoa Kỳ và Trung Quốc. Điều này cho thấy mạng lưới hợp tác của Vương quốc Anh có phạm vi tương đối rộng, trong khi Hoa Kỳ và Trung Quốc có mức độ liên kết cao hơn trong mạng lưới nghiên cứu.



Hình 4. Bản đồ trực quan hóa mạng lưới hợp tác quốc tế giữa các quốc gia với số lượng tối thiểu 5 bài nghiên cứu

3.4. Các tác giả nổi bật của chủ đề nghiên cứu

Thống kê cho thấy có 10 tác giả có đóng góp quan trọng nhất trong lĩnh vực taxi điện. Đứng đầu là nhóm chuyên gia nông cốt bao gồm Michela Longo (Đại học Bách khoa Milano, Ý) cùng với Patrick Jochem và Wolf Fichtner (Viện Công nghệ Karlsruhe, Đức) với 7 tài liệu mỗi người. Đây là những học giả dẫn dắt các hướng nghiên cứu về xe điện, mô phỏng hệ thống vận tải thông minh và kinh tế năng lượng.

Các tác giả xếp tiếp theo bao gồm Timothy J. Wallington và Gregory A. Keoleian (Đại học Michigan), Cathy Macharis và Joeri Van Mierlo (Đại học Tự do Brussel, Bỉ), Alan Jenn, Patrick Plötz và Shiga S., với số lượng công bố từ 4 đến 6 tài liệu. Những tác giả này đã có những đóng góp quan trọng trong các nghiên cứu về đánh giá vòng đời (LCA), chi phí sở hữu tổng thể (TCO), phân tích đa tiêu chí và chính sách chuyển đổi sang xe điện trong vận tải đô thị và đội xe thương mại.

Hình 5 thể hiện bản đồ trực quan hóa mạng lưới đồng tác giả trong lĩnh vực xe điện (đặc biệt liên quan đến taxi điện) cho thấy, trong tổng số 3.586 tác giả thì chỉ có 71 tác giả hình thành các liên kết hợp tác nghiên cứu rõ rệt. Mạng lưới thể hiện sự phân cụm rõ ràng, trong đó nổi bật là hai khối nghiên cứu lớn tương ứng với các nhóm tác giả đến từ Hoa Kỳ, Trung Quốc và châu Âu.

Một nhóm tác giả có quan hệ liên kết nổi bật xoay quanh Timothy J. Wallington và Mark P. Everson, với hướng nghiên cứu tập trung vào đánh giá vòng đời, nguồn cung lithium và các nguyên tố đất hiếm cho xe điện. Nghiên cứu của Wallington và cộng sự [5] nhấn mạnh rằng việc đánh giá tính bền vững của xe điện cần xem xét đồng thời công nghệ pin, nguồn cung nguyên liệu, khả năng tái chế và nguồn năng lượng sử dụng, thay vì chỉ tập trung vào mức phát thải trong quá trình vận hành.

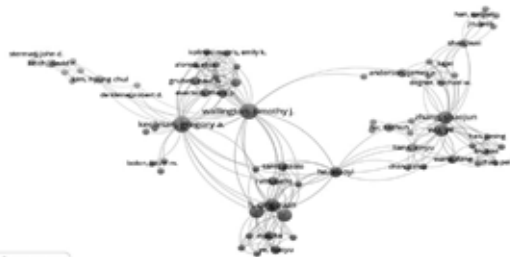
Một nhóm nghiên cứu khác có sự tham gia nổi bật của Gregory A. Keoleian, liên kết với Timothy J. Wallington và các cộng sự trong các nghiên cứu về đánh giá vòng đời và giảm phát thải của phương tiện điện. Nghiên cứu Deep decarbonization from electrified autonomous taxi fleets cho thấy đội taxi điện tự hành có khả năng giảm đáng kể phát thải khí nhà kính khi kết hợp với nguồn điện sạch và tối ưu hóa hoạt động vận hành; mức giảm phụ thuộc vào các yếu

tổ như quãng đường chạy rỗng và hạ tầng phục vụ phương tiện [6]. Kết quả này cho thấy hiệu quả môi trường của taxi điện cần được đánh giá trong mối quan hệ giữa phương tiện, nguồn điện và phương thức khai thác.

Bên cạnh đó, mạng lưới còn thể hiện một nhóm tác giả đến từ Trung Quốc, tiêu biểu như Li Qingquan và Zhao Tianhong, có các liên kết nghiên cứu tương đối rõ trong lĩnh vực taxi điện và giao thông đô thị. Các nghiên cứu của nhóm này chủ yếu khai thác dữ liệu giao thông và dữ liệu hành trình để nâng cao hiệu quả vận hành phương tiện. Trong đó, nghiên cứu Deep online recommendations for connected E-taxis by coupling trajectory mining and reinforcement learning đề xuất sử dụng học tăng cường sâu (Deep Reinforcement Learning - DRL) kết hợp khai phá dữ liệu hành trình để hỗ trợ điều phối taxi điện và hoạt động sạc theo thời gian thực [7].

Ngoài các nhóm nghiên cứu nêu trên, một số tác giả như Zhang Shaojun, Wu Ye, Hao Jiming và Wang Fang có quan hệ liên kết với các hướng nghiên cứu về hệ thống năng lượng, phát thải và tác động môi trường của phương tiện điện. Nghiên cứu về cơ chế điều phối thời gian sạc cho thấy việc rescheduling charging events có thể hỗ trợ tích hợp xe điện với nguồn năng lượng tái tạo và giảm phát thải khí nhà kính so với phương thức sạc không phối hợp [8]. Điều này cho thấy nghiên cứu về taxi điện ngày càng mở rộng từ vấn đề phương tiện sang mối quan hệ giữa hoạt động vận tải, hạ tầng sạc và hệ thống năng lượng.

Nhìn chung, mạng lưới đồng tác giả cho thấy nghiên cứu về taxi điện đã hình thành một số nhóm nghiên cứu tương đối rõ, nhưng mức độ liên kết giữa các nhóm chưa đồng đều. Các hướng nghiên cứu cũng có sự giao thoa đáng kể giữa đánh giá môi trường, công nghệ phương tiện, hệ thống năng lượng và vận hành đội xe. Điều này phản ánh tính liên ngành của lĩnh vực taxi điện và cho thấy xu hướng kết hợp giữa nghiên cứu phương tiện điện với các vấn đề về năng lượng, môi trường và tối ưu hóa vận hành.



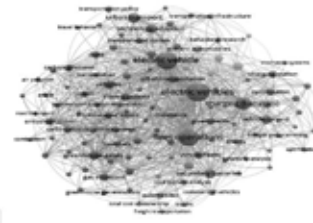
Hình 5. Bản đồ trực quan hóa mạng lưới hợp tác các tác giả trong lĩnh vực taxi điện

3.5. Các cụm nghiên cứu và chủ đề nổi bật

Hình 6 trình bày bản đồ trực quan hóa mạng lưới đồng xuất hiện từ khóa với tần suất xuất hiện tối thiểu 25 lần trong các nghiên cứu về taxi điện. Kết quả phân tích cho thấy 4 nhóm chủ đề nghiên cứu chính. Thứ nhất, nhóm từ khóa liên quan đến kinh tế và hiệu quả đầu tư, tiêu biểu như total cost of ownership (TCO), cost-benefit analysis, investments, commercial vehicles và secondary batteries, phản ánh sự quan tâm đến chi phí, hiệu quả kinh tế và khả năng triển khai phương tiện điện trong hoạt động vận tải. Thứ hai, nhóm từ khóa về môi trường và phát thải, gồm greenhouse gases, gas emissions và environmental impact, tập trung vào đánh giá tác động môi trường và khả năng giảm phát thải của phương tiện điện. Thứ ba, nhóm từ khóa về công nghệ, vận hành và hạ tầng sạc, tiêu biểu như fleet operations, charging (batteries), charging station, vehicle-to-grid (V2G), optimization và integer programming, phản ánh các nghiên cứu về tổ chức khai thác đội xe, quản lý hoạt động sạc và tối ưu hóa hệ thống. Thứ tư, nhóm từ khóa liên quan đến chính sách và chấp nhận công nghệ, gồm electric vehicle, urban

transport, technology adoption, transportation policy và travel behavior, cho thấy sự quan tâm đến chính sách giao thông, hành vi người sử dụng và quá trình phổ biến công nghệ xe điện.

Bên cạnh sự phân nhóm theo nội dung, một số từ khóa như electric vehicles, charging (batteries) và fleet operations nằm ở vị trí tương đối trung tâm và có nhiều mối liên kết với các từ khóa khác trong mạng lưới. Điều này cho thấy các vấn đề về phương tiện điện, hoạt động sạc và vận hành đội xe có vai trò kết nối nhiều hướng nghiên cứu khác nhau. Mối liên hệ giữa các nhóm từ khóa về kinh tế, môi trường, công nghệ và chính sách cũng cho thấy nghiên cứu về taxi điện có tính liên ngành, trong đó hiệu quả của quá trình điện hóa không chỉ phụ thuộc vào đặc tính phương tiện mà còn liên quan đến chi phí, hạ tầng sạc, tổ chức vận hành, tác động môi trường và chính sách hỗ trợ.



Hình 6. Bản đồ trực quan hóa mạng lưới từ khóa với tần suất xuất hiện tối thiểu là 25 lần

3.5.1. Nhóm chủ đề 1: Kinh tế - thị trường

Nhóm nghiên cứu thứ nhất tập trung vào hiệu quả kinh tế và khả năng triển khai taxi điện trên thị trường. Các từ khóa nổi bật gồm "EV sales", "automobile manufacturer", "total cost of ownership", "commercial vehicles", "charging infrastructure" và "cost benefit analysis". Nội dung nghiên cứu chủ yếu đánh giá mối quan hệ giữa chi phí đầu tư ban đầu, chi phí vận hành và lợi ích thu được trong quá trình khai thác phương tiện điện. Các phương pháp thường được sử dụng là phân tích tổng chi phí sở hữu (Total Cost of Ownership - TCO) và phân tích chi phí - lợi ích.

Nghiên cứu của Fichtner và cộng sự [9] cho thấy mặc dù xe điện có thể có TCO cao hơn xe sử dụng nhiên liệu truyền thống, doanh nghiệp vẫn có thể chấp nhận mức chi phí này thông qua các mô hình cung cấp dịch vụ tích hợp, kết hợp xe, pin và hạ tầng sạc trong cùng một mô hình dịch vụ.

Nhìn chung, các nghiên cứu trong cụm này cho thấy hiệu quả kinh tế của taxi điện không chỉ phụ thuộc vào giá mua phương tiện mà còn chịu ảnh hưởng của chi phí nhiên liệu, chi phí bảo trì, cường độ khai thác và hiệu quả theo quy mô. Đây là cơ sở quan trọng để đánh giá tính khả thi của quá trình chuyển đổi đội xe taxi sang sử dụng điện.

3.5.2. Nhóm chủ đề 2: Môi trường và phát thải

Nhóm nghiên cứu thứ hai tập trung đánh giá tác động môi trường của taxi điện và vai trò của điện hóa phương tiện trong giảm phát thải. Các từ khóa nổi bật gồm "air pollution", "carbon emission", "emission control", "greenhouse gases" và "life cycle". Các nghiên cứu trong cụm này chủ yếu xem xét mức độ giảm phát thải khí nhà kính, ô nhiễm không khí và tác động môi trường trong toàn bộ vòng đời phương tiện.

Một hướng nghiên cứu nổi bật là sử dụng phương pháp đánh giá vòng đời (Life Cycle Assessment - LCA) để so sánh tác động môi trường giữa taxi điện và phương tiện sử dụng động cơ đốt trong. Nghiên cứu của Gawron và cộng sự [6] cho thấy hiệu quả giảm phát thải của đội xe taxi điện phụ thuộc không chỉ vào bản thân phương tiện mà còn vào nguồn điện sử dụng, hạ tầng sạc, vòng đời pin và đặc điểm khai thác. Bên cạnh lợi ích trong giai đoạn vận hành, việc sản xuất pin và cung cấp năng lượng cũng cần được xem xét khi đánh giá tổng thể. Như vậy, cụm nghiên cứu này nhấn mạnh rằng tác động môi trường của taxi điện cần được đánh giá theo cách tiếp

cận toàn vòng đời thay vì chỉ dựa trên mức phát thải khi phương tiện hoạt động.

3.5.3. Nhóm chủ đề 3: Công nghệ và hạ tầng

Nhóm nghiên cứu thứ ba có vị trí tương đối trung tâm trong mạng lưới từ khóa, phản ánh vai trò quan trọng của công nghệ và hạ tầng đối với khả năng khai thác taxi điện trong thực tế. Các từ khóa nổi bật gồm “battery”, “charging stations”, “energy storage”, “smart grid”, “vehicle-to-grid”, “optimization” và “battery management”. Nội dung nghiên cứu tập trung vào công nghệ pin, tổ chức hoạt động sạc, tối ưu hóa hạ tầng và nâng cao hiệu quả vận hành đội xe.

Một số nghiên cứu hướng tới tối ưu hóa thời gian và phương thức sạc nhằm giảm áp lực lên hệ thống điện và nâng cao khả năng phục vụ phương tiện. Nghiên cứu của Jochem và cộng sự [10] cho thấy việc áp dụng cơ chế giá sạc linh hoạt có thể khuyến khích điều chỉnh thời gian sử dụng điện, qua đó hỗ trợ điều phối phụ tải. Bên cạnh đó, các nghiên cứu còn xem xét bài toán lựa chọn vị trí trạm sạc, lập lịch sạc và quản lý năng lượng bằng các phương pháp tối ưu hóa. Những kết quả này cho thấy việc phát triển taxi điện không chỉ là thay thế phương tiện sử dụng nhiên liệu hóa thạch bằng phương tiện điện, mà còn đòi hỏi sự đồng bộ giữa phương tiện, pin, hạ tầng sạc và hệ thống năng lượng.

3.5.4. Nhóm chủ đề 4: Chính sách - xã hội

Nhóm nghiên cứu thứ tư tập trung vào các yếu tố chính sách, hành vi và mức độ chấp nhận công nghệ. Các từ khóa nổi bật gồm “public policy”, “transportation policy”, “transportation planning”, “travel behavior”, “decision making” và “technology adoption”. Các nghiên cứu trong nhóm này xem xét vai trò của chính sách công trong việc giảm rào cản đối với quá trình chuyển đổi sang xe điện, đồng thời phân tích phản ứng và hành vi của người sử dụng đối với công nghệ mới.

Nghiên cứu của Zhang và Wu [11] cho thấy việc thúc đẩy xe điện cần được xem xét đồng thời với chiến lược sạc và mục tiêu môi trường của khu vực đô thị. Bên cạnh các chính sách hỗ trợ, như trợ cấp và ưu đãi, các nghiên cứu cũng quan tâm đến những rào cản đối với việc chấp nhận xe điện, trong đó có vấn đề về phạm vi hoạt động và tâm lý lo ngại hết pin. Kết quả cho thấy chính sách và hành vi người dùng có vai trò quan trọng trong việc hình thành thị trường taxi điện và quyết định tốc độ phổ biến công nghệ.

Bốn cụm nghiên cứu không tồn tại độc lập mà liên kết chặt chẽ với nhau, trong đó công nghệ và hạ tầng sạc đóng vai trò kết nối trung tâm. Điều này cho thấy nghiên cứu taxi điện đang chuyển từ tập trung vào đặc tính kỹ thuật phương tiện sang cách tiếp cận tích hợp giữa công nghệ, kinh tế, môi trường và chính sách.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã cung cấp một cái nhìn tổng quan có hệ thống về xu hướng nghiên cứu trong lĩnh vực áp dụng taxi điện thông qua phân tích trắc lượng thư mục kết hợp trực quan hóa dữ liệu bằng phần mềm VOSviewer, qua đó làm rõ cấu trúc tri thức, các hướng nghiên cứu chính và khoảng trống nghiên cứu trong bối cảnh chuyển đổi giao thông bền vững.

Thứ nhất, số lượng công bố khoa học về taxi điện đã gia tăng mạnh mẽ từ sau năm 2021, phản ánh mối quan tâm ngày càng lớn của cộng đồng học thuật trước các thách thức về môi trường, biến đổi khí hậu và mục tiêu trung hòa carbon trong giao thông đô thị.

Thứ hai, phân tích phân bố địa lý cho thấy Hoa Kỳ, Trung Quốc và Đức là ba quốc gia dẫn đầu về số lượng công bố, đồng thời là các trung tâm có mức độ hợp tác quốc tế cao - phản ánh vai trò tiên phong của các nền kinh tế phát triển trong thúc đẩy nghiên cứu và triển khai taxi điện. Trong khi đó, sự tham gia của các quốc gia đang phát triển, trong đó có Việt Nam vẫn còn hạn chế, mở ra dư địa cho các nghiên cứu tương lai.

Thứ ba, kết quả phân tích tác giả cho thấy sự tồn tại của một số nhóm tác giả có đóng góp và liên kết hợp tác nổi bật, tiêu biểu như Longo, M., Jochem, P., Fichtner, W. và Wallington, T.J. Bên cạnh đó, sự xuất hiện của nhiều tác giả đến từ Trung Quốc và các quốc gia châu Á cho thấy phạm vi nghiên cứu đang ngày càng được mở rộng về mặt địa lý và bối cảnh thực nghiệm. Tuy nhiên, mạng lưới đồng tác giả vẫn có mức độ liên kết chưa đồng đều giữa các nhóm, cho thấy hợp tác nghiên cứu quốc tế trong lĩnh vực này còn tiềm năng để tiếp tục mở rộng.

Thứ tư, phân tích mạng lưới đồng xuất hiện từ khóa cho thấy bốn nhóm chủ đề nghiên cứu chính gồm: (i) Kinh tế - thị trường, (ii) môi trường và phát thải, (iii) công nghệ và hạ tầng, và (iv) chính sách - xã hội. Các từ khóa như electric vehicles, charging (batteries) và fleet operations có vị trí tương đối trung tâm và liên kết với nhiều từ khóa khác trong mạng lưới, cho thấy các vấn đề về phương tiện điện, hoạt động sạc và vận hành đội xe có vai trò kết nối quan trọng giữa các hướng nghiên cứu. Bốn nhóm chủ đề có sự giao thoa đáng kể, phản ánh tính liên ngành của nghiên cứu taxi điện và xu hướng tiếp cận đồng thời các khía cạnh kinh tế, môi trường, công nghệ, vận hành và chính sách.

Cuối cùng, nghiên cứu vẫn tồn tại một số hạn chế do chỉ khai thác dữ liệu từ cơ sở dữ liệu Scopus và áp dụng ngưỡng lọc nhất định đối với từ khóa. Do đó, một số công bố hoặc chủ đề nghiên cứu mới nổi có thể chưa được phản ánh đầy đủ. Các nghiên cứu trong tương lai có thể mở rộng nguồn dữ liệu, kết hợp thêm các cơ sở dữ liệu khác và khai thác dữ liệu thực tế từ các nền tảng gọi xe. Đồng thời, cần mở rộng nghiên cứu sang các quốc gia đang phát triển và đánh giá toàn diện hiệu quả kinh tế, xã hội và môi trường của taxi điện trong dài hạn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change. Human Influence on the Climate System | Climate Change 2021: The Physical Science Basis, 2021. Internet: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/chapter-3/> (accessed: 4/2026).
- [2] UNFCCC. Nationally determined contributions under the Paris Agreement. Synthesis report by the secretariat, 2023. Internet: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2023_12.pdf (accessed: 4/2026).
- [3] I. Passas. Bibliometric Analysis: The Main Steps. Secondary Title, 2024.
- [4] N. J. Van Eck, L. Waltman, R. Dekker and J. Van Den Berg. A comparison of two techniques for bibliometric mapping: Multidimensional scaling and VOS, 2010.
- [5] T. J. Wallington et al. Sustainable Mobility: Lithium, Rare Earth Elements and Electric Vehicles. Proceedings of the FISITA 2012 World Automotive Congress: vol. 3, 2013.
- [6] J. H. Gawron, G. A. Keoleian, R. D. De Kleine, T. J. Wallington and H. C. Kim. Deep decarbonization from electrified autonomous taxi fleets: Life cycle assessment and case study in Austin, TX, 2019.
- [7] W. Tu et al. Deep online recommendations for connected E-taxis by coupling trajectory mining and reinforcement learning. International Journal of Geographical Information Science, 2024, doi: 10.1080/13658816.2023.2279969.
- [8] J. Chen, F. Wang, X. He, X. Liang, J. Huang, S. W. Zhang and Ye. Emission mitigation potential from coordinated charging schemes for future private electric vehicles. Applied Energy, 2022, doi: 10.1016/j.apenergy.2021.118385.
- [9] A. Ensslen, T. Gnann, P. Jochem, P. Plötz, E. F. Dütschke and Wolf Fichtner. Can product service systems support electric vehicle adoption. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2020, doi: 10.1016/j.tra.2018.04.028.
- [10] A. Ensslen, P. Ringle, L. Dörr, P. Jochem, F. F. Zimmermann and Wolf Fichtner. Examining an innovative electric vehicle charging tariff to incentivize customers' provision of load flexibilities. Energy Research & Social Science, pp. 112-126, 2018, doi: 10.1016/j.erss.2018.02.013.
- [11] Y. Jiang, X. Liang, S. Zhang, Z. Wu, A. W. Hove and Ye. The future air quality impact of electric vehicle promotion and coordinated charging in the Beijing-Tianjin-Hebei region. Environmental Pollution, 2023, doi: 10.1016/j.envpol.2023.121928.

Tổng quan quản lý rủi ro trong đầu tư xây dựng công trình nông nghiệp và phát triển nông thôn

A systematic review of risk management in agricultural and rural development construction investment

> **VŨ QUÝ PHÁT¹, TS ĐỖ VĂN CHÍNH^{2,*}**

¹NCS Ngành Quản lý xây dựng, Trường Đại học Thủy lợi

²Trường Đại học Thủy lợi

*Email: chinhdv@tlu.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo tổng quan và hệ thống hóa cơ sở lý luận về quản lý rủi ro trong đầu tư xây dựng công trình nông nghiệp và phát triển nông thôn (NN&PTNT) trong bối cảnh gia tăng đầu tư công, biến đổi khí hậu và yêu cầu phát triển bền vững. Nghiên cứu sử dụng phương pháp tổng quan và tổng hợp tài liệu có cấu trúc, kết hợp phân tích so sánh tài liệu trong nước và quốc tế; hệ thống hóa các nhóm rủi ro theo nguồn gốc phát sinh và theo vòng đời dự án; đồng thời so sánh tiếp cận quản lý rủi ro giữa các nghiên cứu được lựa chọn để xác định khoảng trống lý luận. Kết quả tổng quan cho thấy rủi ro trong công trình NN&PTNT có cấu trúc phức hợp, tập trung vào năm nhóm chính: kỹ thuật - công nghệ, tài chính - nguồn vốn, quản lý - thể chế, môi trường - tự nhiên và xã hội - cộng đồng. Trong tập tài liệu được rà soát, chưa xác định được khung quản lý rủi ro chuyên biệt cho công trình NN&PTNT; việc mô hình hóa quan hệ phụ thuộc và ứng dụng các phương pháp định lượng nâng cao còn hạn chế, đồng thời chưa có cơ sở dữ liệu rủi ro chuyên ngành NN&PTNT được sử dụng trực tiếp. Bài báo đề xuất định hướng xây dựng mô hình quản lý rủi ro tích hợp định tính và định lượng, gắn với đặc thù vòng đời dự án NN&PTNT, làm nền tảng nâng cao hiệu quả đầu tư công trình NN&PTNT tại cấp địa phương.

Từ khóa: Quản lý rủi ro; đầu tư xây dựng; nông nghiệp và phát triển nông thôn.

ABSTRACT

This paper provides a structured review and synthesis of the theoretical foundations of risk management in the investment and construction of agricultural and rural development (ARD) projects, in the context of increasing public investment, climate change, and sustainable development demands. The study combines a structured literature review with comparative and integrative analysis of selected domestic and international sources; risk groups are systematized by origin and project life cycle, and the reviewed approaches are compared to identify theoretical gaps. Findings indicate that risks in ARD works are structurally complex, concentrated in five principal groups: technical-technological, financial-funding, managerial-institutional, environmental-natural, and social-community. Within the reviewed corpus, no risk management framework specifically designed for ARD construction projects was identified; evidence on dependency modelling and advanced quantitative analysis remains limited, and no sector-specific ARD risk database is directly used by the retained studies. The paper therefore proposes the development of an integrated qualitative and quantitative risk management framework aligned with the ARD project life cycle, providing a foundation for improving the effectiveness of ARD construction investment at the local level.

Keywords: Risk management; construction investment; agriculture and rural development.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh gia tăng đầu tư công, biến đổi khí hậu và yêu cầu nâng cao hiệu quả sử dụng ngân sách, quản lý rủi ro là một nội dung quan trọng của quản lý dự án xây dựng. PMBOK® Guide - Seventh

Edition tiếp cận bất định như một miền hiệu suất dự án, trong đó các đe dọa và cơ hội cần được xem xét phù hợp với bối cảnh dự án [1]. ISO 31000:2018 nhấn mạnh việc tích hợp quản lý rủi ro vào quản trị, chiến lược, hoạch định và quá trình ra quyết định của tổ chức [2].

Đối với công trình NN&PTNT, đặc thù phụ thuộc mạnh vào điều kiện tự nhiên, phân tán không gian và cơ chế đầu tư công làm cho cấu trúc rủi ro trở nên phức tạp và đa chiều. Wang và cộng sự [3] nhận diện 28 rủi ro quan trọng trong các dự án xây dựng quốc tế tại các nước đang phát triển, phân thành ba cấp quốc gia, thị trường và dự án, đồng thời xem xét quan hệ ảnh hưởng giữa các cấp rủi ro. Lyons và Skitmore [4] cho thấy trong thực tiễn ngành xây dựng kỹ thuật tại Queensland, các phương pháp đánh giá rủi ro định tính được sử dụng thường xuyên hơn các phương pháp định lượng. Tại Việt Nam, Le-Hoai và cộng sự [5] ghi nhận chậm tiến độ và vượt chi phí xảy ra thường xuyên trong các dự án xây dựng và xếp hạng 21 nguyên nhân trên cơ sở khảo sát 87 chuyên gia. Long và cộng sự [6] cũng chỉ ra các vấn đề của dự án xây dựng lớn tại Việt Nam có thể quy về các nhóm liên quan đến năng lực các bên, ước lượng và quản lý thay đổi, điều kiện xã hội - công nghệ, hiện trường và kỹ thuật/công cụ thi công.

Trong các nghiên cứu tại Việt Nam, Trịnh Thùy Anh [7] xây dựng danh mục 91 rủi ro cho dự án xây dựng công trình giao thông, phân theo giai đoạn và nguồn gây rủi ro; các rủi ro được xếp hạng cao gồm tiêu cực trong xây dựng cơ bản, giải phóng mặt bằng chậm, cơ chế xin - cho, nợ đọng và khó khăn tài chính, và năng lực tài chính nhà thầu. Ở bối cảnh Ấn Độ, Doloi và cộng sự [8] xác định các nhân tố chậm trễ quan trọng như thiếu cam kết, quản lý công trường kém hiệu quả, phối hợp kém, lập kế hoạch không phù hợp và phạm vi dự án thiếu rõ ràng. Các kết quả này cho thấy việc nhận diện rủi ro cần gắn với bối cảnh thể chế, năng lực quản lý và điều kiện thực hiện cụ thể của từng loại dự án.

Trong bối cảnh đó, bài báo tập trung: (i) hệ thống hóa lý luận về quản lý rủi ro trong đầu tư xây dựng công trình NN&PTNT; (ii) xây dựng cấu trúc phân loại rủi ro đặc thù; (iii) so sánh tiếp cận trong nước và quốc tế; và (iv) xác định khoảng trống nghiên cứu làm cơ sở để xuất hướng xây dựng mô hình quản lý rủi ro tích hợp.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu thực hiện theo phương pháp tổng quan và tổng hợp tài liệu có cấu trúc, kết hợp phân tích - tổng hợp lý luận. Tài liệu được lựa chọn theo tiêu chí: (i) có nội dung trực tiếp về quản lý rủi ro trong dự án xây dựng hoặc công trình NN&PTNT; (ii) có cơ sở phương pháp rõ ràng; (iii) được công bố chính thức hoặc có thể xác minh nguồn gốc.

Các tài liệu sau khi thu thập được phân loại thành ba nhóm: (i) nghiên cứu về lý thuyết và công cụ quản lý rủi ro trong dự án xây dựng; (ii) nghiên cứu về đặc thù đầu tư xây dựng công trình NN&PTNT; (iii) so sánh tiếp cận trong nước và quốc tế về phương pháp phân tích rủi ro. Phương pháp so sánh được sử dụng để đối chiếu cách tiếp cận giữa các nghiên cứu; phương pháp tổng hợp nhằm xây dựng cấu trúc phân loại rủi ro và xác định khoảng trống nghiên cứu.

Tài liệu được tìm kiếm trên các cơ sở dữ liệu Scopus, Web of Science và Google Scholar, kết hợp tra cứu thủ công tại các tạp chí chuyên ngành trong nước. Các từ khóa tìm kiếm gồm: "risk management", "construction project", "agricultural construction", "Vietnam construction risk", "irrigation project", kết hợp với các biến thể tiếng Việt tương ứng. Sau khi rà soát thông tin thư mục và đối chiếu mức độ hỗ trợ trực tiếp đối với các nhận định trong bài, 16 tài liệu được giữ lại và sử dụng trong phần phân tích.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Hệ thống hóa cơ sở lý luận về quản lý rủi ro trong đầu tư xây dựng

3.1.1. Khái niệm rủi ro và quản lý rủi ro

Knight [9] phân biệt rủi ro - trường hợp có thể quy về xác suất có thể đo lường - với bất định - trường hợp không thể xác định đầy đủ xác suất khách quan. ISO 31000:2018 định nghĩa rủi ro là ảnh hưởng của sự không chắc chắn đối với mục tiêu [2]. Trong lĩnh vực xây dựng, Akintoye và MacLeod [10] cho thấy phân tích và quản lý rủi ro trong thực tiễn phụ thuộc nhiều vào trực giác, phán đoán và kinh nghiệm, trong khi các kỹ thuật phân tích chính thức ít được sử dụng.

Trong đầu tư xây dựng, rủi ro có tính đa chiều và chịu tác động đồng thời của các yếu tố kỹ thuật, tài chính, thể chế, tổ chức và điều kiện thực hiện. Wang và cộng sự [3] cho thấy các rủi ro ở cấp quốc gia, thị trường và dự án có quan hệ ảnh hưởng với nhau trong các dự án xây dựng quốc tế tại nước đang phát triển. Doloi và cộng sự [8] cho thấy các vấn đề quản lý như cam kết, quản lý công trường, phối hợp, lập kế hoạch và xác định phạm vi là những nhân tố quan trọng liên quan đến chậm trễ dự án.

Trong đánh giá định tính, xác suất xảy ra và mức độ tác động thường được sử dụng để xác định mức độ ưu tiên của rủi ro. PMBOK® Guide - Sixth Edition [11] sử dụng đánh giá xác suất và tác động trong phân tích rủi ro định tính; Taroun [12] nhận xét mô hình xác suất - tác động là cách tiếp cận phổ biến trong nghiên cứu rủi ro xây dựng, đồng thời chỉ ra nhu cầu cải thiện mô hình để phản ánh tốt hơn tính phức tạp của rủi ro. Chỉ số tầm quan trọng rủi ro được biểu diễn như sau:

$$R_i = P_i \times I_i \quad (1)$$

trong đó P_i là xác suất xảy ra và I_i là mức độ ảnh hưởng của rủi ro thứ i [11], [12]. Chỉ số này phù hợp cho việc sàng lọc và ưu tiên sơ bộ; khi các rủi ro có quan hệ phụ thuộc, cần bổ sung cách tiếp cận mô hình hóa quan hệ giữa các rủi ro.

3.1.2. Phân loại rủi ro trong đầu tư xây dựng

Các nghiên cứu cho thấy rủi ro xây dựng có thể được phân loại theo nhiều tiêu chí. Theo mục tiêu dự án, Zou và cộng sự [13] xem xét các rủi ro gắn với chi phí, thời gian, chất lượng, an toàn và bền vững môi trường. Theo nguồn hoặc bản chất phát sinh, các nghiên cứu ghi nhận những nhóm như kỹ thuật, tài chính, quản lý/chính sách, môi trường và các yếu tố liên quan đến các bên tham gia [3, 7, 13]. Theo giai đoạn dự án, Trịnh Thùy Anh [7] phân loại rủi ro từ chuẩn bị dự án đến thực hiện và khai thác; PMBOK® Guide - Seventh Edition cũng coi cách tiếp cận phát triển và vòng đời là một miễn hiệu suất cần được điều chỉnh theo đặc thù dự án [1]. Thuyet và cộng sự [14] lưu ý rằng các yếu tố rủi ro có thể khác biệt đáng kể giữa các ngành và quốc gia, do đó việc phân loại cần được hiệu chỉnh theo bối cảnh.

3.1.3. Quy trình quản lý rủi ro

PMBOK® Guide - Sixth Edition [11] trình bày quá trình quản lý rủi ro dự án: lập kế hoạch quản lý rủi ro; nhận diện rủi ro; phân tích rủi ro định tính; phân tích rủi ro định lượng; lập kế hoạch ứng phó rủi ro; thực hiện ứng phó rủi ro; và giám sát rủi ro. ISO 31000:2018 tổ chức quá trình quản lý rủi ro quanh truyền thông và tham vấn; xác lập phạm vi, bối cảnh và tiêu chí; đánh giá rủi ro; xử lý rủi ro; giám sát và xem xét; cùng với ghi chép và báo cáo [2]. Hai tài liệu vì vậy có phạm vi và cấu trúc khác nhau và không nên được sử dụng thay thế lẫn nhau khi mô tả quy trình.

Wang và cộng sự [3] phát triển khung quản lý rủi ro ba cấp gồm quốc gia, thị trường và dự án, đồng thời biểu diễn quan hệ ảnh hưởng giữa các cấp để hỗ trợ ưu tiên biện pháp giảm thiểu. Lyons và Skitmore [4] cho thấy trong khảo sát ngành xây dựng kỹ thuật tại Queensland, nhận diện và đánh giá rủi ro là các nội dung được sử dụng thường xuyên; các phương pháp đánh giá định tính được sử dụng phổ biến hơn, và mức độ áp dụng quản lý rủi ro ở giai đoạn

lập kế hoạch và thực hiện cao hơn giai đoạn ý tưởng hoặc kết thúc dự án.

3.2. Phân loại và cấu trúc nhóm rủi ro trong công trình NN&PTNT

3.2.1. Cơ sở xây dựng cấu trúc phân loại

Công trình NN&PTNT có đặc thù phụ thuộc mạnh vào điều kiện tự nhiên, phân tán không gian, thường gắn với đầu tư công và lợi ích cộng đồng. Trong bối cảnh Việt Nam, Long và cộng sự [6] cho thấy các vấn đề của dự án xây dựng lớn xuất hiện ở nhiều nhóm nguyên nhân; Trịnh Thùy Anh [7] ghi nhận rủi ro ở nhiều giai đoạn và từ nhiều nguồn khác nhau; còn Thuyet và cộng sự [14] nhấn mạnh rằng các yếu tố rủi ro thay đổi đáng kể giữa ngành và quốc gia. Wang và cộng sự [3] cho thấy các nhóm rủi ro có quan hệ ảnh hưởng giữa các cấp, trong khi Qazi và Dikmen [15] phát triển tiếp cách nhìn từ ma trận rủi ro sang mạng rủi ro để biểu diễn quan hệ phụ thuộc. Các kết quả này là cơ sở để bài báo đề xuất cấu trúc phân loại vừa theo nguồn phát sinh, vừa theo vòng đời, đồng thời không xem các rủi ro như những yếu tố hoàn toàn độc lập.

Trên cơ sở tổng hợp lý thuyết và đặc thù công trình NN&PTNT, bài báo đề xuất cấu trúc phân loại rủi ro theo hai trục: (i) theo nguồn gốc phát sinh; (ii) theo giai đoạn vòng đời dự án. Cách tiếp cận này đảm bảo tính hệ thống và khả năng tích hợp trong quản lý thực tiễn.

3.2.2. Phân loại rủi ro theo nguồn gốc phát sinh

Năm nhóm rủi ro chính được xác định cho công trình NN&PTNT:

(1) Rủi ro kỹ thuật - công nghệ: Bao gồm sai sót khảo sát, thiết kế, lựa chọn kỹ thuật/công nghệ, chất lượng vật liệu và năng lực kỹ thuật của các bên thực hiện. Các dạng rủi ro này được ghi nhận trong các nghiên cứu về xây dựng tại Việt Nam và Trung Quốc [7, 13, 14]. Đối với công trình NN&PTNT, bài báo đề xuất xem xét thêm mức độ phù hợp với điều kiện địa chất - thủy văn cụ thể của công trình.

(2) Rủi ro tài chính - nguồn vốn: Bao gồm biến động giá, khó khăn về nguồn vốn, thay đổi tổng mức đầu tư, chậm thanh toán và năng lực tài chính của các bên. Các nội dung này được ghi nhận rõ trong các nghiên cứu về chậm tiến độ, vượt chi phí và rủi ro dự án tại Việt Nam [5, 7].

(3) Rủi ro quản lý - thể chế: Bao gồm thay đổi chính sách/quy định, thủ tục phê duyệt kéo dài, cơ chế quản lý chưa phù hợp và hạn chế về năng lực quản lý dự án. Đây là các dạng rủi ro được ghi nhận trong nghiên cứu tại các nước đang phát triển và trong các nghiên cứu thực nghiệm tại Việt Nam [3, 7, 14].

(4) Rủi ro môi trường - tự nhiên: Các nguồn được rà soát hỗ trợ việc xem xét rủi ro từ điều kiện tự nhiên, thời tiết và các tác động môi trường đối với dự án xây dựng [7, 13]. Riêng các nội dung như lũ lụt, hạn hán, xâm nhập mặn và biến đổi khí hậu được bài báo đặt vào nhóm này như các yếu tố chuyên biệt cần được kiểm định đối với công trình NN&PTNT; không quy trực tiếp các nội dung này cho các nghiên cứu nêu trên.

(5) Rủi ro xã hội - cộng đồng: Các nghiên cứu tại Việt Nam ghi nhận các vấn đề liên quan đến giải phóng mặt bằng, điều kiện xã hội/hiện trường và phối hợp giữa các bên [6, 7]. Đối với công trình NN&PTNT, bài báo đề xuất mở rộng nhóm này để kiểm định thêm các vấn đề tái định cư, xung đột lợi ích và mức độ chấp nhận của cộng đồng địa phương.

3.2.3. Cấu trúc rủi ro theo vòng đời dự án

Trịnh Thùy Anh [7] cho thấy rủi ro có thể xuất hiện trong toàn bộ các giai đoạn của dự án, từ xác định chủ trương và chuẩn bị đầu tư đến thực hiện, kết thúc và đưa công trình vào khai thác. PMBOK® Guide - Seventh Edition cũng xác định cách tiếp cận phát triển và vòng đời là một miền hiệu suất của dự án [1]. Trên cơ sở đó, bài báo nhóm rủi ro NN&PTNT theo ba giai đoạn chính:

- Giai đoạn chuẩn bị đầu tư: rủi ro sai lệch dự báo nhu cầu, khảo sát chưa đầy đủ, lựa chọn phương án kỹ thuật thiếu tối ưu.

- Giai đoạn thực hiện đầu tư: rủi ro chậm tiến độ, biến động giá, thay đổi thiết kế, tai nạn lao động.

- Giai đoạn vận hành khai thác: rủi ro xuống cấp công trình, chi phí bảo trì cao, hiệu quả khai thác thấp hơn dự kiến.

Nhận diện rủi ro theo vòng đời giúp đặt từng rủi ro vào giai đoạn kiểm soát phù hợp. Đồng thời, do các nghiên cứu cho thấy rủi ro có thể có quan hệ tác động qua lại hoặc phụ thuộc lẫn nhau [3, 7, 15], việc phân tích cần tránh giả định các rủi ro hoàn toàn độc lập.

Bảng 1. Nhóm rủi ro trong công trình NN&PTNT

Nhóm rủi ro	Nội dung đặc trưng	Giai đoạn ảnh hưởng mạnh	Mục tiêu bị tác động	Hàm ý quản lý
Kỹ thuật - công nghệ	Sai sót khảo sát, thiết kế, vật liệu, công nghệ thi công	Chuẩn bị & thi công	Chất lượng, an toàn	Kiểm soát khảo sát, thiết kế, vật liệu và năng lực kỹ thuật [7, 13, 14]
Tài chính - nguồn vốn	Biến động giá, khó khăn nguồn vốn, thay đổi tổng mức, chậm thanh toán	Thi công	Chi phí, tiến độ	Theo dõi giá, nguồn vốn, dự toán và thanh toán [5 - 7]
Quản lý - thể chế	Thay đổi chính sách/quy định, thủ tục phê duyệt, năng lực quản lý hạn chế	Toàn bộ vòng đời	Toàn diện	Làm rõ phê duyệt, chính sách và năng lực quản lý [3, 7, 14]
Môi trường - tự nhiên	Điều kiện tự nhiên, thời tiết, tác động môi trường; rủi ro khí hậu cần kiểm định riêng cho NN&PTNT	Thi công & vận hành	Chất lượng, tuổi thọ	Lồng ghép điều kiện tự nhiên và môi trường vào đánh giá rủi ro [7, 13]
Xã hội - cộng đồng	GPMB, phối hợp các bên, phản ứng cộng đồng; tái định cư/xung đột lợi ích cần kiểm định trong bối cảnh NN&PTNT	Chuẩn bị & thi công	Tiến độ	Quản lý sớm GPMB, phối hợp các bên và phản ứng cộng đồng [6, 7]

Nguồn: Tác giả tổng hợp và đề xuất (2026)

3.3. So sánh tiếp cận quản lý rủi ro trong nước và quốc tế

Để tránh suy rộng vượt quá bằng chứng của tập dữ liệu, Bảng 2 chỉ so sánh các tiếp cận thể hiện trong 16 tài liệu đã được rà soát, theo năm tiêu chí: (i) nền tảng quy trình; (ii) thực hành phân tích; (iii) cách xử lý quan hệ giữa các rủi ro; (iv) mức độ chuyên biệt hóa theo bối cảnh

nh; và (v) mức độ đề cập rủi ro môi trường - xã hội. Tổng quan thư mục của Zhao [16] cho thấy các chủ đề mới nổi của nghiên cứu quản lý rủi ro xây dựng gồm kỹ thuật phân tích rủi ro nâng cao, ứng dụng công nghệ thông tin - truyền thông, tích hợp quản lý rủi ro với các chức năng quản lý khác và yếu tố con người.

Bảng 2. So sánh tiếp cận quản lý rủi ro trong nước và quốc tế

Tiêu chí so sánh	Nghiên cứu/chuẩn quốc tế	Nghiên cứu tại Việt Nam	Khoảng cách & hàm ý
Nền tảng thể chế	PMI và ISO cung cấp khung/chuẩn tổng quát; Wang phát triển khung ba cấp cho dự án xây dựng ở nước đang phát triển [1 - 3]	Các nghiên cứu giữ lại tập trung nhận diện nguyên nhân/rủi ro và vấn đề dự án trong các bối cảnh xây dựng cụ thể [5 - 7], [14]	Cần chuyển kết quả nhận diện thành quy trình vận hành chuyên biệt cho NN&PTNT
Thực hành phân tích	Thực hành vẫn sử dụng nhiều phương pháp định tính [4, 10]; nghiên cứu mô hình hóa để xuất cải thiện đánh giá xác suất - tác động và phát triển kỹ thuật phân tích nâng cao [12, 16]	Các nguồn giữ lại sử dụng khảo sát, thống kê, phân tích định tính và/hoặc phân tích hệ thống [5 - 7], [14]	Cần kiểm định mức độ phù hợp của các phương pháp định lượng nâng cao với dữ liệu NN&PTNT
Quan hệ giữa các rủi ro	Wang xem xét ảnh hưởng giữa các cấp rủi ro; Qazi và Dikmen chuyển từ ma trận sang mạng rủi ro [3, 15]	Trịnh Thùy Anh phân tích quan hệ tác động qua lại giữa các rủi ro trong công trình giao thông [7]	Cần mô hình hóa quan hệ phụ thuộc trong bối cảnh NN&PTNT
Chuyên biệt hóa theo bối cảnh	Nhiều nghiên cứu được thực hiện theo bối cảnh quốc gia/ngành và cho thấy rủi ro phụ thuộc điều kiện dự án [3, 8, 13]	Các nguồn giữ lại bao gồm xây dựng lớn, giao thông và dầu khí [5 - 7], [14]; chưa có nguồn nào trong tập này tập trung trực tiếp vào NN&PTNT	Cần khung và dữ liệu kiểm định riêng cho NN&PTNT
Môi trường - xã hội	Zou đề cập rủi ro liên quan đến bền vững môi trường; Wang xem xét rủi ro ở nhiều cấp [3, 13]	Trịnh Thùy Anh ghi nhận điều kiện tự nhiên/thời tiết, GPMB và các yếu tố xã hội trong danh mục rủi ro [7]	Trong tập tài liệu này, bằng chứng trực tiếp về rủi ro khí hậu chuyên biệt cho NN&PTNT còn thiếu; cần bổ sung ở nghiên cứu tiếp theo

Nguồn: Tác giả tổng hợp (2026)

Các khảo sát quốc tế cho thấy thực hành quản lý rủi ro vẫn phụ thuộc đáng kể vào đánh giá định tính, trực giác và kinh nghiệm [4, 10], trong khi các nghiên cứu tại Việt Nam đã sử dụng khảo sát, thống kê mô tả và phân tích hệ thống ở các mức độ khác nhau [5 - 7], [14]. Khoảng trống đáng chú ý hơn nằm ở việc mô hình hóa quan hệ phụ thuộc giữa các rủi ro, phát triển kỹ thuật phân tích phù hợp với dữ liệu và chuyên biệt hóa khung quản lý rủi ro theo loại công trình [12, 15, 16].

3.4. Đánh giá hạn chế và xác định khoảng trống nghiên cứu

Tổng quan 16 tài liệu đã được xác minh và sử dụng trực tiếp trong bài cho thấy ba khoảng trống chính trong phạm vi tập tài liệu được rà soát:

Thứ nhất, việc mô hình hóa quan hệ phụ thuộc và áp dụng các kỹ thuật phân tích nâng cao còn hạn chế trong các nghiên

cứu Việt Nam thuộc tập tài liệu này. Taroun [12] cho thấy mô hình xác suất - tác động vẫn là cách tiếp cận phổ biến nhưng cần được cải thiện để phản ánh tốt hơn rủi ro xây dựng; Qazi và Dikmen [15] đề xuất chuyển từ ma trận rủi ro sang mạng rủi ro; Zhao [16] xác định kỹ thuật phân tích rủi ro nâng cao là một trong các chủ đề mới nổi. Trong khi đó, các nghiên cứu Việt Nam được giữ lại chủ yếu sử dụng khảo sát, thống kê, phân tích định tính và/hoặc phân tích hệ thống [5 - 7], [14].

Thứ hai, chưa có cơ sở dữ liệu rủi ro chuyên ngành NN&PTNT trong chính tập nguồn được rà soát. Các nghiên cứu Việt Nam được giữ lại tập trung vào dự án xây dựng lớn, công trình giao thông và dầu khí [5 - 7], [14], nhưng không cung cấp một cơ sở dữ liệu chuẩn hóa dành riêng cho công trình NN&PTNT. Nhận định này chỉ áp dụng đối với phạm vi tài liệu của bài báo, không được hiểu là khẳng định không tồn tại bất kỳ cơ sở dữ liệu nào ngoài tập nguồn đã rà soát.

Thứ ba, chưa xác định được khung quản lý rủi ro chuyên biệt cho công trình NN&PTNT trong tập tài liệu được giữ lại. Thuyết và cộng sự [14] nhấn mạnh rằng các yếu tố rủi ro có thể khác biệt đáng kể giữa ngành và quốc gia; trong khi các nghiên cứu Việt Nam trong bài tập trung vào xây dựng lớn, giao thông và dầu khí [5 - 7], [14]. Vì vậy, việc chuyển trực tiếp một khung chung sang NN&PTNT có thể bỏ sót các yếu tố đặc thù và cần được kiểm định thực nghiệm.

Từ đó, khoảng trống nghiên cứu được xác định trong phạm vi tổng quan này ở ba phương diện: (i) phát triển cách tiếp cận tích hợp định tính - định lượng có khả năng xem xét quan hệ phụ thuộc giữa các rủi ro; (ii) xây dựng và chuẩn hóa dữ liệu rủi ro cho công trình NN&PTNT; và (iii) chuyên biệt hóa khung quản lý rủi ro theo đặc thù công trình NN&PTNT và điều kiện địa phương. Đây là cơ sở định hướng cho các nghiên cứu thực nghiệm tiếp theo, trong đó có thể kiểm định tại các địa phương có hệ thống công trình thủy lợi đa dạng như Nghệ An.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã hệ thống hóa cơ sở lý luận về quản lý rủi ro trong đầu tư xây dựng công trình NN&PTNT, đề xuất cấu trúc phân loại năm nhóm rủi ro theo hai trục nguồn gốc phát sinh và vòng đời dự án, đồng thời so sánh các tiếp cận thể hiện trong 16 tài liệu đã được xác minh. Trong phạm vi nghiên cứu này, các hạn chế nổi bật gồm: (i) còn ít mô hình xem xét quan hệ phụ thuộc và kỹ thuật phân tích nâng cao trong các nghiên cứu Việt Nam được lựa chọn; (ii) chưa có cơ sở dữ liệu rủi ro chuyên ngành NN&PTNT được sử dụng trực tiếp; và (iii) chưa xác định được khung quản lý rủi ro chuyên biệt cho công trình NN&PTNT.

Trên cơ sở đó, nghiên cứu xác định định hướng phát triển khung quản lý rủi ro tích hợp theo hai trục nhóm rủi ro và vòng đời dự án; kết hợp đánh giá định tính, xác suất - tác động, phân tích quan hệ phụ thuộc và các phương pháp định lượng phù hợp với dữ liệu; đồng thời gắn với việc xây dựng cơ sở dữ liệu rủi ro và cơ chế ra quyết định đầu tư. Khung định hướng này cần được kiểm định thực nghiệm trong giai đoạn nghiên cứu tiếp theo, đặc biệt tại các địa phương có hệ thống công trình thủy lợi đa dạng, nhằm đánh giá tính phù hợp và khả năng ứng dụng trong quản lý dự án NN&PTNT.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Project Management Institute. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide), 7th ed. Newtown Square, PA, USA: Project Management Institute, 2021.
- [2] International Organization for Standardization. Risk Management – Guidelines. ISO 31000:2018, Geneva, Switzerland: ISO, 2018.
- [3] S. Q. Wang, M. F. Dulaimi, and M. Y. Aguria. Risk management framework for construction projects in developing countries. *Construction Management and Economics*, vol. 22, no. 3, pp. 237-252, 2004, doi: 10.1080/0144619032000124689.
- [4] T. Lyons and M. Skitmore. Project risk management in the Queensland engineering construction industry: A survey. *International Journal of Project Management*, vol. 22, no. 1, pp. 51-61, 2004, doi: 10.1016/S0263-7863(03)00005-X.
- [5] L. Le-Hoai, Y. D. Lee, and J. Y. Lee. Delay and cost overruns in Vietnam large construction projects: A comparison with other selected countries. *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 12, no. 6, pp. 367-377, 2008, doi: 10.1007/s12205-008-0367-7.
- [6] N. D. Long, S. Ogunlana, T. Quang and K. C. Lam. Large construction projects in developing countries: A case study from Vietnam. *International Journal of Project Management*, vol. 22, no. 7, pp. 553-561, 2004, doi: 10.1016/j.ijproman.2004.03.004.
- [7] T. T. Anh. Rủi ro trong các dự án xây dựng công trình giao thông ở Việt Nam. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Mở TP. Hồ Chí Minh - Kinh tế và Quản trị Kinh doanh*, vol. 9, no. 3, pp. 119-129, 2014.

[8] H. Doloi, A. Sawhney, K. C. Iyer and S. Rentala. Analysing factors affecting delays in Indian construction projects. *International Journal of Project Management*, vol. 30, no. 4, pp. 479-489, 2012, doi: 10.1016/j.ijproman.2011.10.004.

[9] F. H. Knight, *Risk, Uncertainty and Profit*. Boston, MA, USA: Houghton Mifflin, 1921.

[10] A. S. Akintoye and M. J. MacLeod. Risk analysis and management in construction. *International Journal of Project Management*, vol. 15, no. 1, pp. 31-38, 1997, doi: 10.1016/S0263-7863(96)00035-X.

[11] Project Management Institute. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide), 6th ed. Newtown Square, PA, USA: Project Management Institute, 2017.

[12] A. Taroun. Towards a better modelling and assessment of construction risk: Insights from a literature review. *International Journal of Project Management*, vol. 32, no. 1, pp. 101-115, 2014, doi: 10.1016/j.ijproman.2013.03.004.

[13] P. X. W. Zou, G. Zhang and J. Wang. Understanding the key risks in construction projects in China. *International Journal of Project Management*, vol. 25, no. 6, pp. 601-614, 2007, doi: 10.1016/j.ijproman.2007.03.001.

[14] N. V. Thuyet, S. O. Ogunlana and P. K. Dey. Risk management in oil and gas construction projects in Vietnam. *International Journal of Energy Sector Management*, vol. 1, no. 2, pp. 175-194, 2007, doi: 10.1108/17506220710761582.

[15] A. Qazi and I. Dikmen. From risk matrices to risk networks in construction projects. *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol. 68, no. 5, pp. 1449-1460, Oct. 2021, doi: 10.1109/TEM.2019.2907787.

[16] X. Zhao. Construction risk management research: Intellectual structure and emerging themes. *International Journal of Construction Management*, vol. 24, no. 5, pp. 540-550, 2024, doi: 10.1080/15623599.2023.2167303.

Nghiên cứu những rào cản trong thu hút đầu tư phát triển hạ tầng giao thông thủy nội địa trên địa bàn tỉnh Đồng Tháp

Barriers to investment attraction for inland waterway transport infrastructure development in Dong Thap province

> **THS.NCS LÊ PHI VŨ^{1,*}, TS LÊ MẠNH TƯỜNG²**

¹Ban Quản lý dự án Đầu tư xây dựng Khu vực 4 tỉnh Đồng Tháp

²Công ty Cổ phần Đào tạo Xây dựng và Phát triển Nguồn nhân lực Sáu

*Email: lephivu75@gmail.com

TÓM TẮT

Nghiên cứu nhằm nhận diện và đánh giá các rào cản trong thu hút đầu tư phát triển hạ tầng giao thông thủy nội địa trên địa bàn tỉnh Đồng Tháp. Trên cơ sở tổng quan tài liệu và đặc điểm thực tiễn của địa phương, nghiên cứu xác định 3 nhóm rào cản gồm: (1) Cơ chế, chính sách và thủ tục đầu tư; (2) quy hoạch, hạ tầng và kết nối logistics; (3) tài chính, hiệu quả đầu tư và điều kiện tự nhiên. Nghiên cứu sử dụng phương pháp khảo sát định lượng với 250 chuyên gia, cán bộ quản lý và đại diện doanh nghiệp có liên quan đến lĩnh vực đầu tư, giao thông thủy và logistics. Dữ liệu được phân tích độ tin cậy và thống kê mô tả để đánh giá mức độ của các rào cản. Kết quả cho thấy cả 3 nhóm đều là những trở ngại đáng kể, trong đó rào cản về tài chính, hiệu quả đầu tư và điều kiện tự nhiên được đánh giá cao nhất, tiếp đến là quy hoạch, hạ tầng và kết nối logistics; cơ chế, chính sách và thủ tục đầu tư đứng thứ ba. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất hoàn thiện cơ chế, chính sách và thủ tục đầu tư; nâng cao tính đồng bộ của quy hoạch và kết nối hạ tầng; cải thiện tính khả thi tài chính của dự án; đa dạng hóa nguồn vốn và tăng cường hợp tác công - tư; đồng thời chủ động kiểm soát các rủi ro do biến đổi khí hậu và điều kiện tự nhiên. Kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở tham khảo cho tỉnh Đồng Tháp trong việc huy động nguồn lực xã hội và phát triển hạ tầng giao thông thủy nội địa theo hướng đồng bộ, hiệu quả và bền vững.

Từ khóa: Rào cản đầu tư; thu hút đầu tư; giao thông thủy nội địa; hạ tầng giao thông; Đồng Tháp.

ABSTRACT

This study aims to identify and assess the barriers to attracting investment in inland waterway transport infrastructure development in Tien Giang Province. Based on a review of relevant literature and the local context, the study identifies three major groups of barriers: (1) Investment mechanisms, policies and administrative procedures; (2) planning, infrastructure and logistics connectivity and (3) finance, investment efficiency and natural conditions. The study employs a quantitative survey of 250 experts, government officials and business representatives involved in investment, inland waterway transport and logistics. The collected data are analyzed using Cronbach's Alpha and descriptive statistics to assess the extent of the identified barriers. The results indicate that all three groups constitute significant obstacles, with financial, investment efficiency and natural-condition barriers receiving the highest rating, followed by planning, infrastructure and logistics connectivity barriers, while investment mechanisms, policies and administrative procedures rank third. Based on these findings, the study proposes solutions including improving investment mechanisms, policies and administrative procedures; enhancing the integration of infrastructure planning and connectivity; improving the financial feasibility of investment projects; diversifying funding sources and strengthening public-private partnerships and proactively managing risks associated with climate change and natural

conditions. The findings provide a useful reference for Dong Thap Province in mobilizing social resources and developing inland waterway transport infrastructure in an integrated, efficient, and sustainable manner.

Keywords: Investment barriers; investment attraction; inland waterway transport; transport infrastructure; Dong Thap province.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) có hệ thống sông ngòi, kênh rạch dày đặc, tạo điều kiện thuận lợi để phát triển giao thông thủy nội địa. Đây là phương thức vận tải có lợi thế trong vận chuyển hàng hóa khối lượng lớn, góp phần giảm chi phí logistics, giảm áp lực cho đường bộ và tăng cường kết nối giữa các vùng sản xuất với thị trường. Vì vậy, phát triển kết cấu hạ tầng giao thông thủy nội địa có ý nghĩa quan trọng đối với phát triển kinh tế - xã hội và liên kết vùng của ĐBSCL.

Tỉnh Tiền Giang, trước khi sắp xếp đơn vị hành chính cấp tỉnh từ ngày 01/7/2025 (nay là tỉnh Đồng Tháp), có vị trí thuận lợi trong kết nối ĐBSCL với TP.HCM và vùng kinh tế trọng điểm phía Nam, đồng thời có hệ thống sông, kênh rạch và các tuyến vận tải thủy quan trọng. Tuy nhiên, việc khai thác lợi thế này còn hạn chế do hạ tầng chưa đồng bộ, kết nối giữa đường thủy với đường bộ và các phương thức vận tải khác còn chưa thuận lợi, năng lực cảng, bến và dịch vụ logistics chưa đáp ứng đầy đủ nhu cầu phát triển.

Trong khi đó, đầu tư phát triển hạ tầng giao thông thủy nội địa đòi hỏi nguồn vốn lớn, thời gian thu hồi vốn dài và chịu tác động của biến động nguồn hàng, điều kiện tự nhiên và biến đổi khí hậu. Khả năng huy động nguồn vốn ngoài ngân sách vì vậy có ý nghĩa đặc biệt quan trọng. Trần Thị Hà (2020) [1] và Phạm Thị Thu Hương [2] (2023) cho thấy cơ chế tài chính và chính sách huy động nguồn lực tư nhân là những yếu tố quan trọng đối với phát triển kết cấu hạ tầng. Các nghiên cứu của Miloslavskaya và Plotnikova (2018) [5], Sys và cộng sự (2020) [4] cũng nhấn mạnh vai trò của tài chính, hạ tầng và khả năng kết nối đối với phát triển vận tải thủy nội địa.

Từ thực tiễn trên, nghiên cứu tập trung xác định 3 nhóm rào cản chính trong thu hút đầu tư phát triển hạ tầng giao thông thủy nội địa trên địa bàn Đồng Tháp, gồm: (1) Tài chính và hiệu quả đầu tư; (2) hạ tầng, thị trường và kết nối logistics; (3) cơ chế, chính sách và thủ tục đầu tư. Nghiên cứu khảo sát 250 chuyên gia và đại diện doanh nghiệp nhằm đánh giá mức độ của các rào cản, làm cơ sở để xuất giải pháp thu hút đầu tư phù hợp.

2. RÀO CẢN TRONG THU HÚT ĐẦU TƯ PHÁT TRIỂN HẠ TẦNG GIAO THÔNG THỦY NỘI ĐỊA

Thu hút đầu tư phát triển hạ tầng giao thông thủy nội địa chịu tác động của nhiều yếu tố. Kế thừa các nghiên cứu của Trần Thị Hà (2020) [1], Phạm Thị Thu Hương [2] (2023), Miloslavskaya và Plotnikova (2018) [5], Sys và cộng sự (2020) [4], Calderon-Rivera và cộng sự (2024)[6], đồng thời căn cứ đặc điểm thực tế của Đồng Tháp, nghiên cứu tập trung vào 3 nhóm rào cản chính.

2.1. Rào cản về cơ chế, chính sách và thủ tục đầu tư

Đối với các dự án hạ tầng giao thông thủy nội địa, chính sách đầu tư và thủ tục hành chính có ảnh hưởng trực tiếp đến chi phí, thời gian và mức độ rủi ro của nhà đầu tư. Chính sách thiếu ổn định, thủ tục phức tạp, thông tin dự án chưa minh bạch, chính sách ưu đãi chưa đủ hấp dẫn và cơ chế chia sẻ rủi ro chưa rõ ràng có thể làm giảm động lực tham gia của khu vực tư nhân. Trần Thị Hà (2020) [1] và Phạm Thị Thu Hương (2023) [2] đều nhấn mạnh vai trò của hoàn thiện cơ chế, chính sách trong huy động nguồn lực ngoài ngân sách cho phát triển hạ tầng.

2.2. Rào cản về quy hoạch, hạ tầng và kết nối logistics

Tính đồng bộ của quy hoạch và hạ tầng là điều kiện quan trọng để bảo đảm hiệu quả khai thác các dự án giao thông thủy. Quy hoạch chưa đồng bộ, luồng tuyến và cảng bến chưa đáp ứng nhu cầu, kết nối với đường bộ còn hạn chế và dịch vụ logistics chưa phát triển sẽ làm tăng chi phí vận tải, giảm khả năng khai thác và sức hấp dẫn của dự án. Sys và cộng sự (2020) [4] và Calderon-Rivera và cộng sự (2024) [6] đều cho thấy khả năng kết nối và tính đồng bộ của hạ tầng có vai trò quan trọng đối với phát triển vận tải thủy nội địa.

2.3. Rào cản về tài chính, hiệu quả đầu tư và điều kiện tự nhiên

Đầu tư hạ tầng giao thông thủy nội địa thường có nhu cầu vốn lớn, thời gian hoàn vốn dài và phụ thuộc vào sản lượng hàng hóa. Khả năng dự báo doanh thu chưa chắc chắn, trong khi chi phí duy tu, nạo vét và vận hành có thể cao. Bên cạnh đó, sạt lở, bồi lắng, xâm nhập mặn và ngập lụt ở ĐBSCL có thể làm gia tăng rủi ro và chi phí của dự án. Miloslavskaya và Plotnikova (2018) [5] cho rằng hạn chế về tài chính là một trong những trở ngại quan trọng đối với phát triển hạ tầng đường thủy.

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu kết hợp phương pháp nghiên cứu tài liệu và khảo sát định lượng. Trên cơ sở tổng hợp các nghiên cứu trước và điều chỉnh theo đặc điểm đầu tư hạ tầng giao thông thủy nội địa, nghiên cứu xác định 3 nhóm rào cản gồm: (1) Cơ chế, chính sách và thủ tục đầu tư (CS); (2) quy hoạch, hạ tầng và kết nối logistics (HT); (3) tài chính, hiệu quả đầu tư và điều kiện tự nhiên (TC).

Dữ liệu được thu thập bằng bảng hỏi đối với 250 chuyên gia, cán bộ quản lý và đại diện doanh nghiệp có liên quan đến đầu tư, giao thông thủy nội địa, cảng, logistics và hoạt động sản xuất kinh doanh. Các biến quan sát được đo bằng thang Likert 5 mức độ, từ 1 - Hoàn toàn không đồng ý đến 5 - Hoàn toàn đồng ý.

4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

4.1. Mô tả mẫu nghiên cứu

Nghiên cứu tiến hành khảo sát các chuyên gia, cán bộ quản lý và đại diện doanh nghiệp có liên quan đến đầu tư, vận tải thủy nội địa, cảng, logistics và phát triển hạ tầng trên địa bàn tỉnh. Tổng cộng 250 phiếu khảo sát hợp lệ được sử dụng để phân tích. Trong đó, nhóm đại diện doanh nghiệp chiếm tỷ trọng lớn hơn với 64,8%, còn chuyên gia và cán bộ quản lý chiếm 35,2%. Cơ cấu mẫu cho phép nghiên cứu tiếp cận đồng thời góc nhìn của cơ quan quản lý và chủ thể trực tiếp tham gia hoạt động đầu tư, kinh doanh. Đây là cơ sở phù hợp để đánh giá các rào cản trong thu hút đầu tư phát triển hạ tầng giao thông thủy nội địa trên địa bàn nghiên cứu.

4.2. Kiểm định độ tin cậy của thang đo

Kết quả kiểm định độ tin cậy bằng Cronbach's Alpha trên 250 phiếu khảo sát cho thấy các thang đo CS - Cơ chế, chính sách và thủ tục đầu tư; HT - Quy hoạch, hạ tầng và kết nối logistics; TC - Tài chính, hiệu quả đầu tư và điều kiện tự nhiên; THĐT - Khả năng thu hút đầu tư đều có hệ số Cronbach's Alpha lớn hơn 0,7. Các biến quan sát có hệ số tương quan biến - tổng đạt yêu cầu và không có biến nào phải loại bỏ.

Bảng 1. Kết quả kiểm định độ tin cậy

Nhân tố	Nội dung biến quan sát	Cronbach's Alpha, KMO	Hệ số tải
Cơ chế, chính sách và thủ tục đầu tư	Chính sách, pháp luật về đầu tư và thu hút đầu tư chưa ổn định	0,876; 0,758	0,781
	Trình tự, thủ tục đầu tư còn phức tạp và kéo dài		0,824
	Chính sách ưu đãi, hỗ trợ đầu tư chưa đủ hấp dẫn		0,756
	Cơ chế chia sẻ rủi ro giữa Nhà nước và nhà đầu tư chưa rõ ràng		0,718
	Thông tin dự án và công tác hỗ trợ, xúc tiến đầu tư chưa đầy đủ, minh bạch		0,793
Quy hoạch, hạ tầng và kết nối logistics	Quy hoạch giao thông thủy nội địa chưa đồng bộ và ổn định	0,889; 0,854	0,804
	Hệ thống luồng tuyến chưa đáp ứng đầy đủ nhu cầu vận tải		0,771
	Cảng, bến thủy nội địa chưa đáp ứng nhu cầu vận chuyển		0,836
	Kết nối giao thông thủy với đường bộ và các phương thức vận tải khác còn hạn chế		0,788
	Hệ thống kho bãi và dịch vụ logistics phục vụ vận tải thủy chưa phát triển		0,752
Tài chính, hiệu quả đầu tư và điều kiện tự nhiên	Vốn đầu tư ban đầu cho các dự án giao thông thủy nội địa lớn	0,871; 0,832	0,821
	Thời gian thu hồi vốn của dự án dài		0,784
	Sản lượng hàng hóa và doanh thu của dự án khó dự báo		0,743
	Chi phí duy tu, nạo vét và vận hành công trình cao		0,809
	Sạt lở, bồi lắng, xâm nhập mặn và ngập lụt làm gia tăng rủi ro đầu tư		0,766

4.3. Đánh giá mức độ các rào cản trong thu hút đầu tư

Sau khi kiểm định độ tin cậy, nghiên cứu sử dụng giá trị trung bình (Mean) của các biến quan sát để đánh giá mức độ của từng rào cản. Kết quả cho thấy cả ba nhóm rào cản đều có mức điểm trung bình tương đối cao, phản ánh những khó khăn đáng kể trong thu hút đầu tư phát triển hạ tầng giao thông thủy nội địa trên địa bàn Đồng Tháp.

Bảng 2. Mức độ đánh giá các rào cản

Nhóm rào cản	Mean	Thứ hạng
Tài chính, hiệu quả đầu tư và điều kiện tự nhiên	4,18	1
Quy hoạch, hạ tầng và kết nối logistics	4,05	2
Cơ chế, chính sách và thủ tục đầu tư	3,92	3

Nguồn: Kết quả phân tích từ dữ liệu khảo sát của tác giả.

Trong đó, Tài chính, hiệu quả đầu tư và điều kiện tự nhiên là nhóm rào cản được đánh giá cao nhất (Mean = 4,18). Điều này cho thấy các vấn đề liên quan đến quy mô vốn đầu tư, thời gian thu hồi vốn, khả năng dự báo sản lượng hàng hóa và doanh thu, chi phí duy tu - nạo vét và các rủi ro do sạt lở, bồi lắng, xâm nhập mặn, ngập lụt đang là những trở ngại lớn đối với quyết định đầu tư. Đặc thù của hạ tầng giao thông thủy nội địa là vốn đầu tư ban đầu lớn, thời gian khai thác và thu hồi vốn dài, trong khi hiệu quả tài chính phụ thuộc đáng kể vào nguồn hàng và khả năng kết nối với các phương thức vận tải khác.

Nhóm Quy hoạch, hạ tầng và kết nối logistics có Mean = 4,05, đứng thứ hai. Kết quả phản ánh những hạn chế về tính đồng bộ của quy hoạch, chất lượng luồng tuyến, năng lực cảng bến và kết nối giữa giao thông thủy với đường bộ, kho bãi và dịch vụ logistics. Đây là vấn đề có ý nghĩa trực tiếp đối với hiệu quả khai thác dự án, bởi một công trình giao thông thủy riêng lẻ khó tạo ra sức hấp dẫn đầu tư nếu không hình thành được mạng lưới kết nối đồng bộ.

Nhóm Cơ chế, chính sách và thủ tục đầu tư có Mean = 3,92, đứng thứ ba. Mặc dù có mức điểm thấp hơn hai nhóm còn lại, kết quả vẫn cho thấy cơ chế, chính sách và thủ tục đầu tư là một rào cản đáng kể. Các vấn đề nổi bật gồm sự ổn định của chính sách, thời gian và

Nguồn: Kết quả phân tích từ dữ liệu khảo sát của tác giả.

mức độ phức tạp của thủ tục đầu tư, mức độ hấp dẫn của chính sách ưu đãi, cơ chế chia sẻ rủi ro và tính minh bạch của thông tin dự án.

Nhìn chung, kết quả khảo sát cho thấy rào cản về tài chính và hiệu quả đầu tư là vấn đề ưu tiên, tiếp theo là những hạn chế về quy hoạch, hạ tầng và kết nối logistics. Trong khi đó, hoàn thiện cơ chế, chính sách và thủ tục đầu tư là điều kiện hỗ trợ cần thiết để giảm chi phí giao dịch và nâng cao niềm tin của nhà đầu tư. Kết quả này là cơ sở để đề xuất các giải pháp thu hút nguồn vốn ngoài ngân sách cho phát triển hạ tầng giao thông thủy nội địa trên địa bàn Đồng Tháp trong thời gian tới.

5. KẾT LUẬN VÀ HÀM Ý CHÍNH SÁCH

Kết quả nghiên cứu cho thấy thu hút đầu tư phát triển hạ tầng giao thông thủy nội địa trên địa bàn Đồng Tháp đang chịu tác động của ba nhóm rào cản chủ yếu, gồm cơ chế, chính sách và thủ tục đầu tư; quy hoạch, hạ tầng và kết nối logistics; tài chính, hiệu quả đầu tư và điều kiện tự nhiên. Trong đó, rào cản về tài chính, hiệu quả đầu tư và điều kiện tự nhiên được đánh giá ở mức cao nhất, tiếp đến là quy hoạch, hạ tầng và kết nối logistics. Điều này cho thấy việc huy động nguồn vốn đầu tư không chỉ phụ thuộc vào chính sách ưu đãi mà còn phụ thuộc lớn vào khả năng bảo đảm hiệu quả khai thác, khả năng thu hồi vốn và mức độ kiểm soát rủi ro của dự án.

Trước hết, cần hoàn thiện cơ chế, chính sách và thủ tục đầu tư theo hướng ổn định, minh bạch và giảm chi phí gia nhập thị trường cho nhà đầu tư. Đồng Tháp cần rà soát các thủ tục liên quan đến chuẩn bị, chấp thuận và triển khai dự án hạ tầng giao thông thủy nội địa; đồng thời công khai thông tin về quy hoạch, địa điểm, quy mô, nhu cầu vốn, phương án khai thác và các điều kiện đầu tư. Đối với các dự án có tính chất đặc thù, cần nghiên cứu chính sách ưu đãi phù hợp và cơ chế chia sẻ rủi ro giữa Nhà nước và nhà đầu tư. Việc xác định rõ trách nhiệm của từng cơ quan và tăng cường phối hợp trong quá trình giải quyết thủ tục cũng có ý nghĩa quan trọng trong rút ngắn thời gian chuẩn bị dự án và nâng cao niềm tin của nhà đầu tư.

Bên cạnh đó, cần nâng cao tính đồng bộ của quy hoạch và hệ thống hạ tầng giao thông thủy. Quy hoạch giao thông thủy nội địa

cần được gắn kết với quy hoạch phát triển kinh tế - xã hội, quy hoạch giao thông và định hướng phát triển logistics của địa phương và vùng. Việc đầu tư cần chuyển từ các công trình đơn lẻ sang hình thành hệ thống kết nối giữa luồng tuyến, cảng, bến, kho bãi, trung tâm logistics và mạng lưới đường bộ. Đặc biệt, cần ưu tiên các dự án có khả năng kết nối trực tiếp với vùng sản xuất hàng hóa, khu công nghiệp, vùng nguyên liệu và các đầu mối xuất nhập khẩu. Khi hình thành được mạng lưới kết nối đồng bộ và tạo nguồn hàng ổn định, hiệu quả khai thác hạ tầng sẽ được nâng lên, qua đó cải thiện sức hấp dẫn đối với khu vực tư nhân.

Đối với rào cản về tài chính và hiệu quả đầu tư, cần có giải pháp phù hợp vì đây là nhóm được các đối tượng khảo sát đánh giá cao nhất. Trước khi kêu gọi đầu tư, địa phương cần chuẩn bị tương đối đầy đủ các nghiên cứu về nhu cầu vận tải, nguồn hàng, doanh thu dự kiến, chi phí đầu tư, chi phí vận hành và thời gian hoàn vốn của từng dự án. Đối với những hạng mục có tính chất hạ tầng công cộng, khó tạo doanh thu trực tiếp, Nhà nước cần xem xét khả năng tham gia đầu tư hoặc hỗ trợ một phần nguồn lực để giảm chi phí ban đầu và nâng cao tính khả thi tài chính. Đồng thời, cần khuyến khích sự tham gia của các doanh nghiệp logistics, doanh nghiệp sản xuất và chủ hàng ngay từ giai đoạn chuẩn bị dự án nhằm tạo nguồn hàng ổn định và giảm rủi ro về doanh thu.

Một giải pháp quan trọng khác là đa dạng hóa nguồn vốn và tăng cường hợp tác giữa Nhà nước và khu vực tư nhân. Trong điều kiện nguồn lực ngân sách có hạn, Đồng Tháp cần khai thác tốt hơn nguồn vốn ngoài ngân sách thông qua xã hội hóa, hợp tác công - tư và các hình thức hợp tác đầu tư phù hợp. Nhà nước nên tập trung vào những hạng mục hạ tầng nền tảng, có tính lan tỏa cao, trong khi doanh nghiệp tham gia đầu tư các công trình và dịch vụ có khả năng tạo doanh thu. Cách tiếp cận này vừa giảm áp lực lên ngân sách, vừa phát huy năng lực quản trị, công nghệ và khả năng khai thác thị trường của khu vực tư nhân.

Ngoài ra, do đặc điểm tự nhiên của vùng ĐBSCL, cần chủ động kiểm soát các rủi ro do sạt lở, bồi lắng, xâm nhập mặn, ngập lụt và biến đổi khí hậu trong quá trình chuẩn bị và thực hiện dự án. Các yếu tố này cần được đánh giá ngay từ khâu lựa chọn địa điểm, thiết kế và thẩm định dự án. Việc lựa chọn công nghệ, vật liệu và giải pháp xây dựng thích ứng với điều kiện tự nhiên sẽ góp phần giảm chi phí duy tu, sửa chữa trong quá trình khai thác. Đồng thời, cần bố trí nguồn lực phù hợp cho công tác nạo vét, duy tu luồng tuyến và bảo đảm an toàn khai thác lâu dài.

Cuối cùng, công tác xúc tiến đầu tư cần chuyển mạnh từ giới thiệu dự án sang chủ động tìm kiếm và lựa chọn nhà đầu tư phù hợp. Địa phương cần xây dựng danh mục dự án có tính khả thi, chuẩn bị đầy đủ thông tin về quy hoạch, nguồn hàng, nhu cầu vốn, phương án khai thác và chính sách hỗ trợ trước khi tổ chức xúc tiến. Hoạt động xúc tiến nên hướng đến các doanh nghiệp có năng lực trong lĩnh vực cảng, vận tải thủy, logistics và các doanh nghiệp có nhu cầu sử dụng dịch vụ vận tải lớn. Qua đó, Đồng Tháp có thể từng bước hình thành hệ sinh thái giao thông thủy - logistics, tạo nguồn hàng và dòng tiền ổn định cho các dự án hạ tầng.

Nhìn chung, thu hút đầu tư phát triển hạ tầng giao thông thủy nội địa cần được thực hiện đồng thời trên cả ba phương diện: Hoàn thiện thể chế, nâng cao chất lượng và tính kết nối của hạ tầng, đồng thời cải thiện tính khả thi tài chính và kiểm soát rủi ro dự án. Thay vì chỉ tập trung vào hoạt động kêu gọi vốn, Đồng Tháp cần chú trọng chuẩn bị tốt các điều kiện đầu tư, hình thành danh mục dự án có khả năng khai thác thực tế và xây dựng cơ chế phân bổ rủi ro hợp lý. Đây là cơ sở để khai thác hiệu quả lợi thế về mạng lưới sông ngòi, vị trí kết nối vùng và tiềm năng vận tải hàng hóa bằng đường thủy,

góp phần huy động nguồn lực xã hội cho phát triển hạ tầng giao thông thủy nội địa trong thời gian tới.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Trần Thị Hà. Hoàn thiện chính sách tài chính nhằm thu hút nguồn vốn ngoài ngân sách phát triển hệ thống kết cấu hạ tầng. Đề tài khoa học cấp Bộ, Viện Chiến lược và Chính sách tài chính, Bộ Tài chính, Hà Nội, 2020.
- [2] Phạm Thị Thu Hương. Nghiên cứu cơ chế chính sách nhằm huy động nguồn lực tài chính từ khu vực tư nhân trong hoạt động ứng phó với biến đổi khí hậu ở Việt Nam. Luận án Tiến sĩ, Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu, Bộ Tài nguyên và Môi trường, Hà Nội, 2023.
- [3] Bích Liên, Kỳ Phương. Đồng Tháp: Ưu tiên nguồn vốn đầu tư công phát triển kết cấu hạ tầng kinh tế. Thời báo Tài chính Việt Nam, số 71 (4090), ngày 14/6/2023, Hà Nội, 2023.
- [4] Sys, Christa, Eddy Van de Voorde, Thierry Vanelislander, Edwin van Hassel. Pathways for a sustainable future inland water transport: A case study for the European inland navigation sector. Case Studies on Transport Policy, vol. 8, no. 3, pp. 686-699, 2020, doi: 10.1016/j.cstp.2020.07.013.
- [5] Miloslavskaya, Svetlana, Elena Plotnikova. Current situation and optimization of inland waterway infrastructure financing. Transport Problems, vol. 13, no. 3, pp. 51-63, 2018, doi: 10.20858/tp.2018.13.3.5.
- [6] Calderón-Rivera, Natalia, Inga Bartusevičienė, Fabio Ballini. Sustainable development of inland waterways transport: A review. Journal of Shipping and Trade, vol. 9, no. 1, pp. 1-22, 2024, doi: 10.1186/s41072-023-00162-9.

Chứng khoán hóa nợ, giải pháp quản trị rủi ro trong đầu tư phát triển cơ sở hạ tầng tại Việt Nam

Debt Securitization, a risk management solution for infrastructure development investment in Vietnam

> TS THÂN TRỌNG TRẦN HOAN¹, THS PHẠM TRƯỜNG GIANG^{1,*},
THS BÙI MINH NGỌC TRUNG², NGUYỄN THỊ THÙY DUNG³

¹Trường Đại học Công nghệ Sài Gòn

²Công ty Cổ phần Tôn Pomina

³Công ty TNHH Sản xuất và Chế biến Thực phẩm Phú Hà

*Email: giang.phamtruong@stu.edu.vn

TÓM TẮT

Đầu tư phát triển hạ tầng kỹ thuật tại Việt Nam giai đoạn tới đòi hỏi nguồn vốn rất lớn, trong khi dư địa ngân sách để khu vực đầu tư công tiếp tục gánh rủi ro tín dụng của các dự án hạ tầng đang thu hẹp. Bài viết đề xuất chứng khoán hóa nợ như một cơ chế chuyển rủi ro tín dụng của các dự án đầu tư hạ tầng kỹ thuật từ khu vực đầu tư công sang nhà đầu tư đại chúng trên thị trường chứng khoán (HSX/HNX). Bài viết hệ thống hóa các nhóm nợ phổ biến trong nền kinh tế, phân tích khung pháp lý hiện hành của Việt Nam đối với việc chuyển đổi dự án hạ tầng thành cổ phiếu, đúc kết quy trình chứng khoán hóa nợ đã được áp dụng trên thực tế qua nghiên cứu điển hình chuyển đổi dự án BOT thủy điện thành công ty cổ phần niêm yết (trường hợp CTCP Thủy điện Cấn Đơn - mã chứng khoán SJD), từ đó đề xuất định hướng xây dựng cơ chế chứng khoán hóa nợ đầu tư hạ tầng kỹ thuật phù hợp với điều kiện thể chế của Việt Nam.

Từ khóa: Chứng khoán hóa nợ; đầu tư xây dựng; hạ tầng kỹ thuật; quản trị rủi ro; đầu tư công; nhà đầu tư đại chúng; kinh tế xây dựng; quản lý xây dựng; thị trường chứng khoán (HSX/HNX).

ABSTRACT

Technical infrastructure construction investment in Vietnam will require substantial capital in the years ahead, while the fiscal space for the public investment sector to keep absorbing project credit risk is narrowing. This paper therefore puts forward debt securitization as an approach to shifting credit risk associated with technical infrastructure investment away from the public investment sector and onto public investors participating in the HSX/HNX stock market. The paper classifies common categories of debt in the economy, analyzes Vietnam's current legal framework for converting infrastructure project debt into equity, and synthesizes the debt securitization process already applied in practice through a case study of converting a hydropower BOT project into a listed joint-stock company (Can Don Hydropower JSC, ticker SJD), from which it proposes directions for building a debt securitization mechanism suited to Vietnam's institutional conditions.

Keywords: Debt securitization; construction investment; technical infrastructure; risk management; public investment; public investors; construction economics; construction management; stock market (HSX/HNX).

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Giai đoạn 2021 - 2025, kinh tế Việt Nam tăng trưởng bình quân khoảng 6,3%/năm; riêng năm 2025 GDP ước đạt trên 8%, quý I/2026 tiếp tục tăng 7,83% so với cùng kỳ [1, 2]. Chính phủ đặt mục tiêu tăng trưởng GDP giai đoạn 2026 - 2030 ở mức hai con số, tối thiểu 10%/năm và đã được Quốc hội ra Nghị quyết số 25/2026/QH16 [3]. Viện Đào tạo và Nghiên cứu BIDV dự báo để đạt tốc độ tăng trưởng theo mục tiêu của Chính phủ thì bắt buộc tỷ lệ vốn đầu tư toàn xã hội cần duy trì tối thiểu 36 - 37% GDP [4], tỷ lệ vốn đầu tư này được cho là cao hơn đáng kể mức tiết kiệm nội địa hiện có, nền kinh tế buộc phải dựa nhiều hơn vào các kênh huy động vốn vay.

Song hành với tăng trưởng GDP là sự gia tăng tương ứng của tín dụng và nợ: tăng trưởng tín dụng năm 2025 đạt 17,65%, mức cao nhất nhiều năm, theo báo cáo của Ngân hàng Nhà nước Việt Nam [5]. Trong khu vực đầu tư công, phần lớn nghĩa vụ trả nợ các dự án hạ tầng lớn hiện do ngân sách nhà nước trực tiếp gánh chịu [6]. Theo báo cáo của Chính phủ [7] về tình hình nợ công năm 2025 và dự kiến năm 2026 tại Kỳ họp thứ 10 khóa XV trình Quốc hội, đến cuối năm 2025 nợ công ước khoảng 35-36% GDP, nợ Chính phủ khoảng 33 - 34% GDP. Ngoài ra, tổng nhu cầu vay của Chính phủ [7] dự kiến tăng gần 19%, lên khoảng 969.796 tỷ đồng cho năm 2026. Để tạo dư địa tài khóa cho giai đoạn 2026 - 2030, Chính phủ đã nâng trần nợ công quốc gia từ 45% lên 50% GDP theo Quyết định số 1119/QĐ-TTg [8].

Việc nói trần nợ công đi kèm yêu cầu cấp thiết về công cụ quản trị rủi ro nợ hiệu quả hơn, thay vì để toàn bộ rủi ro tín dụng dồn về ngân sách nhà nước. Một công cụ được nhiều nền kinh tế sử dụng là chứng khoán hóa nợ (debt securitization) – cơ chế chuyển đổi các khoản nợ có dòng tiền hoặc tài sản bảo đảm ổn định thành công cụ tài chính có thể giao dịch trên thị trường vốn, qua đó phân tán rủi ro tín dụng ra khỏi bảng cân đối của chủ nợ ban đầu sang nhà đầu tư trên thị trường thứ cấp.

Đáng chú ý, Nghị quyết số 68-NQ/TW [9] của Bộ Chính trị về phát triển kinh tế tư nhân đã đặt ra yêu cầu "*nguyên cứu xây dựng khung pháp lý về chứng khoán hóa các khoản nợ*". Đây là cơ sở chính sách quan trọng cho việc nghiên cứu một cơ chế chứng khoán hóa nợ phù hợp với Việt Nam - mục tiêu chính của bài viết.

Bài viết được tổ chức thành bốn phần:

- (i) hệ thống hóa các nhóm nợ phổ biến và xác định loại nợ phù hợp để chứng khoán hóa theo pháp luật hiện hành;
- (ii) phân tích quy trình chuyển đổi nợ thành cổ phần qua ví dụ điển hình đã áp dụng tại Việt Nam;
- (iii) đề xuất sơ đồ mô hình chuyển đổi khái quát;
- (iv) kết luận, kiến nghị định hướng chính sách.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VỀ TÍN DỤNG TRONG NỀN KINH TẾ

2.1. Phân loại các nhóm tín dụng thông thường

Để xác định phạm vi và điều kiện chứng khoán hóa phù hợp, nợ tín dụng cần phân loại theo bản chất nguồn bảo đảm và khả năng tạo dòng tiền. Có thể chia nợ trong nền kinh tế thành năm nhóm chính.

2.1.1. Nợ có tài sản bảo đảm là bất động sản (hiện tại hoặc hình thành trong tương lai)

Đây là nhóm nợ phổ biến nhất trong hệ thống tín dụng ngân hàng, được bảo đảm bằng quyền sử dụng đất, công trình xây dựng hiện hữu hoặc tài sản hình thành trong tương lai từ chính khoản vay. Bản thân tài sản bảo đảm không nhất thiết tạo dòng tiền thường xuyên để trả nợ, khiến khả năng trả nợ phụ thuộc vào dòng tiền từ hoạt động kinh doanh khác của bên vay hoặc việc xử lý tài sản bảo đảm khi xảy ra rủi ro.

2.1.2. Nợ được bảo đảm bằng dòng tiền hình thành ở tương lai (BOT, PPP, ...)

Theo Luật Đầu tư [10] về phương thức đối tác công tư, đây là các khoản nợ tài trợ dự án hạ tầng kỹ thuật theo hình thức Xây dựng - Kinh doanh - Chuyển giao (BOT), đối tác công tư (PPP) hay dự án có hợp đồng bao tiêu sản phẩm/dịch vụ dài hạn (điện, nước, thu phí giao thông). Đặc điểm của nhóm nợ này là dòng tiền trả nợ được xác định khá rõ ngay từ khi lập dự án, dựa trên hợp đồng mua bán sản lượng, biểu phí hoặc giá bán đã phê duyệt. Trong lĩnh vực năng lượng, các dự án điện BOT gắn với hợp đồng mua bán điện dài hạn với Tập đoàn Điện lực Việt Nam là dạng tiêu biểu - trường hợp CTCP Thủy điện Cần Đơn (SJD) [11] sẽ được phân tích ở mục 3.2. Đây là nhóm nợ có tiềm năng chứng khoán hóa cao nhất vì dòng tiền tương đối ổn định, dự báo được trong trung, dài hạn.

2.1.3. Nợ vay tài chính dài hạn dưới dạng trái phiếu

Theo Luật Chứng khoán [12], nhóm nợ này gồm trái phiếu doanh nghiệp, trái phiếu dự án, trái phiếu chuyển đổi phát hành để huy động vốn dài hạn; trái phiếu doanh nghiệp là chứng khoán kỳ hạn từ 1 năm trở lên, xác nhận quyền và lợi ích hợp pháp của người sở hữu đối với một phần nợ của tổ chức phát hành. Đây là nhóm nợ đã sẵn có hình thức chứng khoán hóa sơ khai, là nền tảng gần nhất để phát triển sản phẩm chứng khoán hóa phức tạp hơn.

2.1.4. Nợ vay tài chính cá nhân

Nhóm nợ vay cá nhân là các khoản vay tiêu dùng, vay mua nhà, vay tín chấp của cá nhân tại tổ chức tín dụng. Ở nhiều thị trường vốn phát triển, đây là nhóm tài sản cơ sở phổ biến nhất cho sản phẩm chứng khoán hóa (ví dụ MBS - chứng khoán bảo đảm bằng thế chấp nhà ở tại Hoa Kỳ [13]). Tại Việt Nam, nhóm nợ này chủ yếu được quản lý nội bộ trong hệ thống ngân hàng, chưa hình thành thị trường thứ cấp giao dịch công khai.

2.1.5. Nợ khác

Ngoài ra, các loại nợ khác bao gồm các khoản phải thu thương mại, nợ giữa doanh nghiệp với doanh nghiệp, nợ động xây dựng cơ bản, nợ thuế - phí và nghĩa vụ tài chính khác không thuộc bốn nhóm trên. Đây là nhóm đa dạng nhất về bản chất pháp lý và mức độ rủi ro, việc chứng khoán hóa (nếu có) cần xem xét riêng theo từng trường hợp.

2.2. Những loại nợ nào được phép chứng khoán hóa theo luật Việt Nam

Một số thị trường có luật chuyên biệt về chứng khoán hóa, quy định về công ty mục đích đặc biệt (SPV/SPE) phát hành chứng khoán bảo đảm bằng tài sản (asset-backed securities) [14]. Pháp luật Việt Nam hiện chưa có khung pháp lý cho hoạt động này. Vì vậy Nghị quyết 68-NQ/TW [9] đã xác định rõ nhiệm vụ "*nguyên cứu xây dựng khung pháp lý về chứng khoán hóa các khoản nợ*", góp phần mở rộng kênh huy động vốn ổn định, chi phí thấp cho nền kinh tế. Trong điều kiện chưa có luật riêng, việc chuyển đổi nợ thành công cụ vốn hiện được thực hiện thông qua vận dụng, lồng ghép các quy định sẵn có của Luật Chứng khoán [12], Luật Doanh nghiệp [15] và văn bản hướng dẫn. Ba phương án đang được áp dụng gồm:

- Phương án 1: Chuyển đổi trái phiếu doanh nghiệp (kể cả trái phiếu chuyển đổi riêng lẻ và ra công chúng) thành cổ phiếu phổ thông của tổ chức phát hành, theo Luật Chứng khoán [12], Nghị định số 155/2020/NĐ-CP [16], Nghị định số 153/2020/NĐ-CP [17] (được sửa đổi bởi Nghị định số 65/2022/NĐ-CP [18] và Nghị định số 08/2023/NĐ-CP [19]) và Thông tư số 99/2025/TT-BTC [20];

- Phương án 2: Chuyển đổi doanh nghiệp nhà nước, công ty một thành viên do Nhà nước nắm giữ 100% vốn (kể cả công ty dự án BOT) thành công ty cổ phần và niêm yết, theo quy định cổ phần hóa và chào bán cổ phiếu ra công chúng của Luật Chứng khoán [12];

- Phương án 3: Xử lý nợ, hoán đổi nợ thành vốn góp/cổ phần trong tái cơ cấu doanh nghiệp, phá sản hoặc theo bản án, quyết định có hiệu lực của Tòa án, Trọng tài [21].

Phương án thứ nhất phù hợp nhất với nhóm nợ vay tài chính dài hạn dưới dạng trái phiếu (2.1.3); phương án thứ hai phù hợp với nhóm nợ được bảo đảm bằng dòng tiền hình thành ở tương lai (2.1.2); đây cũng là hai cơ chế bài viết tập trung phân tích ở phần 3 vì đã có tiền lệ áp dụng thành công tại Việt Nam.

Đối với nhóm nợ bất động sản (2.1.1) và nợ tài chính cá nhân (2.1.4), do đặc điểm phân tán, giá trị nhỏ lẻ và thiếu chuẩn hóa hợp đồng, thông lệ quốc tế thường chứng khoán hóa theo mô hình gộp nhiều khoản nợ vào một danh mục (pooling). Việt Nam hiện chưa có cơ sở pháp lý để chuyển đổi theo thông lệ này và đang chờ khung pháp lý chuyên biệt theo định hướng Nghị quyết 68-NQ/TW [9].

3. PHÂN TÍCH MỘT SỐ TRƯỜNG HỢP TẠI VIỆT NAM

3.1. Trái phiếu chuyển đổi thành cổ phiếu

Theo Thông tư số 99/2025/TT-BTC [20], "*trái phiếu chuyển đổi là loại trái phiếu có thể chuyển đổi thành cổ phiếu phổ thông của cùng một tổ chức phát hành theo các điều kiện đã được xác định trong phương án phát hành*". Nhiều doanh nghiệp đã áp dụng khả năng công, ví dụ điển hình là Công ty Cổ phần Đầu tư Hạ tầng Kỹ thuật TP.HCM (mã chứng khoán: CII) [22]. Quy trình chuyển đổi gồm các bước chính:

- Xây dựng phương án phát hành, xác định tỷ lệ chuyển đổi, thời điểm được quyền chuyển đổi, giá chuyển đổi, được Đại hội đồng cổ đông (hoặc Hội đồng quản trị/thành viên) thông qua;

- Đáp ứng điều kiện phát hành theo Luật Chứng khoán [12] và các nghị định hướng dẫn: chào bán ra công chúng cần tư vấn của công ty chứng khoán, xếp hạng tín nhiệm trong trường hợp bắt buộc, tài khoản phong tỏa và cam kết niêm yết; chào bán riêng lẻ giới hạn nhà đầu tư chiến lược và chuyên nghiệp, kèm thời gian hạn chế chuyển nhượng tối thiểu 1 - 3 năm;

- Công bố thông tin định kỳ về sử dụng vốn, khả năng trả nợ và tiến độ dự án trong thời gian trái phiếu chưa chuyển đổi;

- Khi đến thời điểm/điều kiện chuyển đổi, trái chủ thực hiện quyền chuyển đổi; nợ gốc và lãi lũy kế được ghi giảm tương ứng số cổ phiếu phát hành thêm, vốn điều lệ và cơ cấu cổ đông thay đổi tương ứng;

- Cổ phiếu hình thành từ chuyển đổi được đăng ký, lưu ký và niêm yết trên Sở Giao dịch Chứng khoán, tạo thành khoản cho nhà đầu tư - hoàn tất chu trình chứng khoán hóa từ công cụ nợ sang công cụ vốn.

Về kế toán, trái phiếu chuyển đổi phải tách riêng cấu phần nợ và cấu phần quyền chọn chuyển đổi ngay từ ghi nhận ban đầu, phản ánh đúng bản chất rủi ro của công cụ lai (hybrid instrument) này.

3.2. Chuyển đổi nợ (có dòng tiền) thành cổ phiếu

Đối với nhóm nợ có dòng tiền tương lai từ dự án BOT/PPP (mục 2.1.2), chứng khoán hóa tại Việt Nam trên thực tế được thực hiện gián tiếp qua cơ chế cổ phần hóa công ty dự án, thay vì phát hành trực tiếp chứng khoán bảo đảm bằng dòng tiền dự án (project-backed securities) như một số thị trường phát triển. Bản chất kinh tế là chuyển giao rủi ro tín dụng từ chủ đầu tư/ngân sách nhà nước sang nhà đầu tư đại chúng thông qua cổ phiếu niêm yết. Quy trình gồm: (i) thành lập công ty dự án BOT gắn với hợp đồng dự án và hợp đồng bao tiêu sản phẩm dài hạn; (ii) chuyển đổi công ty dự án sang mô hình công ty cổ phần theo quyết định cơ quan có thẩm quyền; (iii) chào bán cổ phần ra công chúng và niêm yết; (iv) nhà đầu tư đại chúng qua đó gián tiếp sở hữu quyền hưởng dòng tiền từ hợp đồng bao tiêu sản phẩm dưới hình thức cổ phiếu có thể giao dịch.

3.2.1. Ví dụ điển hình

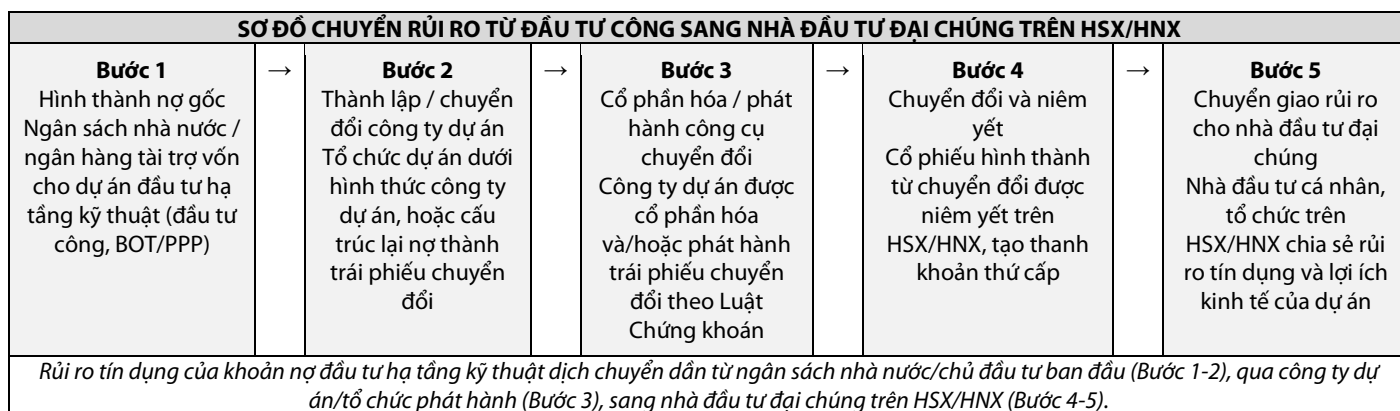
Công ty Cổ phần Thủy điện Cần Đơn (mã chứng khoán: SJD) [11] là ví dụ điển hình, đồng thời minh họa cho đầu tư xây dựng hạ tầng điện lưới quốc gia. Tiền thân là Công ty BOT Cần Đơn, thành lập ngày 15/4/1998 trực thuộc Tổng công ty Sông Đà để thực hiện Hợp đồng BOT số 001/HĐ/1999/BOT ký với Bộ Công nghiệp, thời hạn chuyển giao công trình cho Nhà nước sau 300 tháng kể từ ngày vận hành thương mại. Ngày 17/8/2004, theo Quyết định số 1331/QĐ-BXD [23], doanh nghiệp được chuyển đổi thành công ty cổ phần với vốn điều lệ ban đầu 200 tỷ đồng; hoạt động theo mô hình công ty cổ phần từ 11/10/2004 và niêm yết trên HOSE từ 25/12/2006.

Nguồn thu chủ yếu đến từ hợp đồng mua bán điện dài hạn giữa Tổng công ty Sông Đà và EVN - dòng tiền dài hạn, ổn định, dự báo được, đúng đặc điểm nhóm nợ 2.1.2. Việc chuyển đổi công ty dự án BOT hạ tầng điện lưới thành công ty cổ phần niêm yết đã cho phép: (i) tổng công ty chủ đầu tư thu hồi một phần vốn qua thoái vốn/bán cổ phần; (ii) rủi ro tín dụng của dự án được phân tán cho nhiều cổ đông thay vì tập trung tại một chủ đầu tư hoặc ngân hàng tài trợ; (iii) hình thành tài sản có thanh khoản (cổ phiếu niêm yết) mà nhà đầu tư có thể mua bán, định giá theo thời gian thực; (iv) rủi ro của khoản nợ đầu tư ban đầu được chuyển giao, phân tán cho nhà đầu tư đại chúng nắm giữ cổ phiếu SJD - minh chứng thực tiễn cho cơ chế chuyển rủi ro mà bài viết đề xuất mở rộng áp dụng.

Tuy nhiên, thực tiễn vận hành của SJD cũng cho thấy một số vấn đề quản trị công ty cần lưu ý: là công ty con có cổ đông nhà nước chi phối, dòng tiền bán điện đôi khi được công ty mẹ giữ lại thay vì chuyển trả kịp thời, ảnh hưởng khả năng chi trả cổ tức và nghĩa vụ tài chính khác. Điều này cho thấy cơ chế thu - chi, quản lý dòng tiền cần minh bạch, tách bạch giữa công ty dự án và bên nắm giữ cổ phần chi phối, nhằm bảo vệ quyền lợi cổ đông thiểu số/nhà đầu tư đại chúng.

3.2.2. Sơ đồ chuyển đổi mô hình

Từ khung pháp lý hiện hành và nghiên cứu điển hình trên, có thể khái quát quy trình chứng khoán hóa nợ đầu tư hạ tầng kỹ thuật tại Việt Nam bằng năm bước, thể hiện việc chuyển rủi ro từ đầu tư công sang nhà đầu tư đại chúng trên HSX/HNX (Hình 1):



Hình 1. Sơ đồ chuyển rủi ro từ đầu tư công sang nhà đầu tư đại chúng trên HSX/HNX qua chứng khoán hóa nợ đầu tư xây dựng phát triển hạ tầng kỹ thuật.

Bước 1 - Hình thành nợ gốc: Ngân sách nhà nước/ngân hàng tài trợ cấp vốn cho dự án hạ tầng kỹ thuật (đầu tư công hoặc BOT/PPP); hình thành khoản nợ có dòng tiền tương lai từ hợp đồng bao tiêu sản phẩm, dịch vụ.

Bước 2 - Thành lập/chuyển đổi công ty dự án: Dự án được tổ chức dưới hình thức công ty dự án hoặc, với nợ tài chính thuần túy,

được cấu trúc lại thành trái phiếu chuyển đổi gắn với tổ chức phát hành.

Bước 3 - Cổ phần hóa/phát hành công cụ chuyển đổi: Công ty dự án được cổ phần hóa và/hoặc tổ chức phát hành thực hiện phát hành trái phiếu chuyển đổi, tuân thủ điều kiện phát hành, xếp hạng tín nhiệm (nếu bắt buộc) và công bố thông tin.

Bước 4 - Chuyển đổi và niêm yết: Trái phiếu được chuyển đổi thành cổ phiếu theo tỷ lệ, thời điểm đã định; hoặc cổ phần công ty dự án được chào bán ra công chúng; cổ phiếu được niêm yết trên HSX/HNX, tạo thanh khoản trên thị trường thứ cấp.

Bước 5 - Phân tán rủi ro cho nhà đầu tư đại chúng: Nhà đầu tư cá nhân, tổ chức trên HSX/HNX nắm giữ cổ phiếu, qua đó gián tiếp chia sẻ rủi ro tín dụng và lợi ích kinh tế của dự án/khoản nợ ban đầu, thay vì rủi ro tập trung toàn bộ tại ngân sách nhà nước hoặc chủ đầu tư gốc.

Sơ với mô hình chứng khoán hóa cổ điển (chủ nợ gốc bán danh mục khoản vay đã chuẩn hóa cho một công ty mục đích đặc biệt - SPV, SPV phát hành chứng khoán bảo đảm bằng tài sản cho nhà đầu tư), mô hình đang áp dụng tại Việt Nam có khác biệt căn bản: đơn vị phát hành chứng khoán ra công chúng chính là công ty dự án/tổ chức có nợ (chuyển đổi "tại chỗ"), chưa tách bạch hoàn toàn rủi ro của tài sản nợ khỏi rủi ro hoạt động kinh doanh chung của tổ chức phát hành thông qua một SPV độc lập về pháp lý và tài sản. Đây chính là khoảng trống mà khung pháp lý chuyên biệt về chứng khoán hóa nợ, theo định hướng Nghị quyết 68-NQ/TW [9], cần hướng tới xử lý.

4. ĐỊNH HƯỚNG CƠ CHẾ CHỨNG KHOÁN HÓA NỢ ĐẦU TƯ XÂY DỰNG PHÁT TRIỂN HẠ TẦNG KỸ THUẬT

Từ các phân tích trên, với mục đích chuyển rủi ro tín dụng của dự án hạ tầng kỹ thuật từ khu vực đầu tư công sang nhà đầu tư đại chúng trên HSX/HNX, bài viết đề xuất năm định hướng:

Thứ nhất, với mục tiêu tăng trưởng GDP giai đoạn 2026 - 2030 ở mức hai con số cùng với việc bảo đảm trần nợ công theo Quyết định số 1119/QĐ-TTg, chứng khoán hóa nợ cần được nghiên cứu áp dụng rộng rãi hơn, đúng định hướng tại Nghị quyết số 68-NQ/TW [9].

Thứ hai, nợ có dòng tiền ổn định từ dự án BOT/PPP (hạ tầng giao thông, năng lượng) và nợ tài chính dài hạn dưới dạng trái phiếu là các nhóm khả thi cao nhất để chứng khoán hóa trong giai đoạn đầu, do đã có cơ sở pháp lý và tiền lệ thực tiễn (mô hình chuyển đổi BOT Căn Đơn thành SJD).

Thứ ba, để phát triển thị trường theo chiều sâu, gồm cả sản phẩm chứng khoán bảo đảm bằng tài sản gộp từ nhiều khoản nợ nhỏ lẻ, Chính phủ cần nghiên cứu để xây dựng các khung pháp lý riêng biệt, có tính mới với quy định rõ đối với các công ty mục đích đặc biệt (SPV); ngoài ra cần có phương án tách tài sản nợ có khả năng chứng khoán hóa ra khỏi nhóm rủi ro phá sản của bên chuyển nhượng gốc (bankruptcy remoteness); đồng thời yêu cầu xếp hạng tín nhiệm và công bố thông tin tương xứng với sản phẩm chứng khoán phái sinh từ nợ.

Thứ tư, kinh nghiệm từ mô hình SJD cho thấy yêu cầu về quản trị công ty và minh bạch dòng tiền là điều kiện tiên quyết để bảo vệ nhà đầu tư đại chúng khi triển khai chứng khoán hóa nợ dự án có cổ đông nhà nước hoặc tập đoàn mẹ chi phối.

Thứ năm, cơ chế chứng khoán hóa nên được thí điểm trước với các khoản nợ đầu tư công có dòng tiền hoàn vốn rõ ràng (thu phí hạ tầng, bán điện, nước sạch). Trước khi mở rộng sang các loại tài sản nợ phức tạp hơn, vừa giảm áp lực lên ngân sách nhà nước, vừa tạo thêm hàng hóa chất lượng cho thị trường vốn Việt Nam trên lộ trình nâng hạng thị trường chứng khoán.

5. KẾT LUẬN

Chứng khoán hóa nợ đầu tư xây dựng phát triển hạ tầng kỹ thuật, nếu được xây dựng với khung pháp lý phù hợp và cơ chế giám sát minh bạch, có thể trở thành một trụ cột quan trọng giúp Việt Nam huy động đủ nguồn lực cho mục tiêu tăng trưởng cao trong giai đoạn tới. Đồng thời, cơ chế này có thể chuyển giao một phần

rủi ro tín dụng của các dự án hạ tầng từ khu vực đầu tư công sang nhà đầu tư đại chúng trên HSX/HNX, qua đó góp phần quản trị rủi ro nợ công bền vững hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Cục Thống kê. Báo cáo tình hình kinh tế - xã hội quý IV và năm 2025, 2025. Internet: <https://www.nso.gov.vn/du-lieu-va-so-lieu-thong-ke/2026/01/bao-cao-tinh-hinh-kinh-te-xa-hoi-quy-iv-va-nam-2025/> (truy cập: tháng 5/2026).
- [2] Cục Thống kê. Báo cáo tình hình kinh tế - xã hội quý I năm 2026, 2026. Internet: <https://www.nso.gov.vn/bai-top/2026/04/bao-cao-tinh-hinh-kinh-te-xa-hoi-quy-i-nam-2026/> (truy cập: tháng 5/2026).
- [3] Quốc hội. Nghị quyết số 25/2026/QH16 về Kế hoạch phát triển kinh tế - xã hội 5 năm 2026 - 2030, 2026.
- [4] Đặng Ngọc Tú. Tăng trưởng kinh tế Việt Nam năm 2025 và triển vọng năm 2026. Viện Đào tạo và Nghiên cứu BIDV, 2025. Internet: <https://nief.mof.gov.vn/nghien-cuu-trao-doi/tang-truong-kinh-te-viet-nam-nam-2025-va-trien-vong-nam-2026-11683.html> (truy cập: tháng 5/2026).
- [5] Ngân hàng Nhà nước Việt Nam. Hợp báo thông tin kết quả hoạt động ngân hàng năm 2025 và triển khai nhiệm vụ năm 2026, ngày 29/12/2025. Internet: <https://div.gov.vn/ngan-hang-nha-nuoc-hop-bao-ve-ket-qua-dieu-hanh-chinh-sach-tien-te-va-hoat-dong-ngan-hang-nam-2025-trien-khai-nhiem-vu-nam-2026> (truy cập: tháng 5/2026).
- [6] Nguyễn Thanh Cai. Mối quan hệ giữa đầu tư công và nợ công ở Việt Nam, 2022. Internet: <https://thitruongtaichinhhtiente.vn/moi-quan-he-giua-dau-tu-cong-va-no-cong-o-viet-nam-43260.html> (truy cập: tháng 05/2026).
- [7] Chính phủ. Báo cáo về tình hình nợ công năm 2025, dự kiến năm 2026, 2025. Internet: <https://vneconomy.vn/no-cong-nam-2025-thap-xa-nguong-tran-nhu-cau-vay-nam-2026-tang-gan-19.htm> (truy cập: tháng 5/2026).
- [8] Thủ tướng Chính phủ. Quyết định số 1119/QĐ-TTg về định hướng tài khóa và trần nợ công giai đoạn 2026 - 2030, 2026.
- [9] Bộ Chính trị. Nghị quyết số 68-NQ/TW về phát triển kinh tế tư nhân, 2025.
- [10] Quốc hội. Luật Đầu tư theo phương thức đối tác công tư số 64/2020/QH14, 2020
- [11] Công ty Cổ phần Thủy điện Căn Đơn (SJD). Hồ sơ doanh nghiệp và bản cáo bạch niêm yết, Sở Giao dịch Chứng khoán Thành phố Hồ Chí Minh (HOSE), 2006. Internet: <https://www.hsx.vn/vi/quan-ly-niem-yet/co-phieu/sjd/2286> (truy cập: tháng 5/2026).
- [12] Quốc hội. Luật Chứng khoán số 54/2019/QH14, 2019.
- [13] Fabozzi, F.J. Bond Markets. Analysis and Strategies, 9th ed., Pearson, chương về Mortgage-Backed Securities (MBS) tại Hoa Kỳ, 2016.
- [14] Fabozzi, F.J. and Kothari, V. Introduction to Securitization, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 2008.
- [15] Quốc hội. Luật Doanh nghiệp số 59/2020/QH14, 2020.
- [16] Chính phủ. Nghị định số 155/2020/NĐ-CP quy định chi tiết thi hành một số điều của Luật Chứng khoán, 2020.
- [17] Chính phủ. Nghị định số 153/2020/NĐ-CP quy định về chào bán, giao dịch trái phiếu doanh nghiệp riêng lẻ tại thị trường trong nước và chào bán trái phiếu doanh nghiệp ra thị trường quốc tế, 2020.
- [18] Chính phủ. Nghị định số 65/2022/NĐ-CP sửa đổi, bổ sung một số điều của Nghị định số 153/2020/NĐ-CP ngày 31/12/2020 quy định về chào bán, giao dịch trái phiếu doanh nghiệp riêng lẻ tại thị trường trong nước và chào bán trái phiếu doanh nghiệp ra thị trường quốc tế, 2022.
- [19] Chính phủ. Nghị định số 08/2023/NĐ-CP sửa đổi, bổ sung và ngưng hiệu lực thi hành một số điều tại các nghị định quy định về chào bán, giao dịch trái phiếu doanh nghiệp riêng lẻ tại thị trường trong nước và chào bán trái phiếu doanh nghiệp ra thị trường quốc tế, 2023
- [20] Bộ Tài chính. Thông tư số 99/2025/TT-BTC hướng dẫn về trái phiếu chuyển đổi, 2025.
- [21] Quốc hội. Luật Phá sản số 51/2014/QH13, 2014.
- [22] Công ty Cổ phần Đầu tư Hạ tầng Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh (CI). Hồ sơ doanh nghiệp và bản cáo bạch niêm yết. Sở Giao dịch Chứng khoán Thành phố Hồ Chí Minh (HOSE), 2013. Internet: <https://www.hsx.vn/vi/quan-ly-niem-yet/co-phieu/CI/2174> (truy cập: tháng 5/2026).
- [23] Bộ trưởng Bộ Xây dựng. Quyết định 1331/QĐ-BXD về việc chuyển Công ty BOT Căn Đơn - Tổng Công ty Sông Đà thành Công ty Cổ phần Thủy điện Căn Đơn, 2004.

Nghiên cứu tác động của các chính sách thu hút đầu tư vào các dự án hạ tầng giao thông đường bộ theo hình thức đối tác công - tư (PPP) đối với quyết định tham gia dự án của doanh nghiệp tư nhân tại Đồng bằng sông Hồng

A study on the impact of investment attraction policies on private enterprises' participation decisions in public-private partnership (PPP) road infrastructure projects in the Red river delta region

> THS LÊ KIM NHUNG*, PGS.TS NGUYỄN HOÀNG TÙNG,
THS LÊ KHÁNH CHI, NGUYỄN NAM SƠN

Trường Đại học Giao thông vận tải

*Email: lknhung.qlda@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu nhằm phân tích tác động của các chính sách thu hút đầu tư đến quyết định tham gia của doanh nghiệp tư nhân vào các dự án hạ tầng giao thông đường bộ theo hình thức đối tác công - tư (PPP) tại vùng đồng bằng sông Hồng. Dữ liệu được thu thập thông qua khảo sát 95 doanh nghiệp đã hoặc đang quan tâm đến các dự án PPP và được phân tích bằng các phương pháp định lượng gồm kiểm định độ tin cậy thang đo, phân tích nhân tố khám phá và hồi quy tuyến tính đa biến. Kết quả nghiên cứu cho thấy 3 nhóm yếu tố gồm khung pháp lý, chính sách hỗ trợ tài chính và cơ chế phân bổ, chia sẻ rủi ro đều có tác động tích cực và có ý nghĩa thống kê đến quyết định tham gia của doanh nghiệp tư nhân. Trong đó, khung pháp lý có mức độ tác động mạnh nhất, tiếp đến là chính sách hỗ trợ tài chính và cuối cùng là cơ chế phân bổ, chia sẻ rủi ro. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất các khuyến nghị chính sách nhằm hoàn thiện khung pháp lý, tăng cường hỗ trợ tài chính và thiết kế cơ chế chia sẻ rủi ro hợp lý, góp phần nâng cao hiệu quả huy động vốn tư nhân và thúc đẩy phát triển bền vững các dự án PPP trong lĩnh vực hạ tầng giao thông đường bộ tại vùng đồng bằng sông Hồng.

Từ khóa: PPP; đầu tư tư nhân; hạ tầng giao thông đường bộ; chính sách thu hút đầu tư; đồng bằng sông Hồng.

ABSTRACT

This study analyzes the impact of investment attraction policies on the decision of private enterprises to participate in public-private partnership (PPP) projects in road transport infrastructure in the Red River Delta region. Data were collected through a survey of 95 private enterprises that have participated in or shown interest in PPP projects, and analyzed using quantitative methods, including reliability testing, exploratory factor analysis and multiple linear regression. The findings indicate that three groups of factors: Legal framework, financial support policies and risk allocation and sharing mechanisms have positive and statistically significant effects on private enterprises' participation decisions. Among these, the legal framework exerts the strongest influence, followed by financial support policies, and finally the risk allocation and sharing mechanism. Based on these findings, the study proposes policy recommendations aimed at

improving the legal framework, strengthening financial support measures and designing appropriate risk-sharing mechanisms, thereby enhancing the mobilization of private investment and promoting the sustainable development of PPP projects in road transport infrastructure in the Red River Delta region.

Keywords: Public-private partnership (PPP); private investment; road transport infrastructure; investment attraction policy; Red river delta.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong những năm gần đây, phát triển kết cấu hạ tầng giao thông đường bộ được xem là một trong những ưu tiên chiến lược nhằm thúc đẩy tăng trưởng kinh tế, tăng cường liên kết vùng và nâng cao năng lực cạnh tranh quốc gia. Đặc biệt, khu vực đồng bằng sông Hồng đóng vai trò trung tâm về kinh tế, chính trị và thương mại của cả nước, đồng thời là vùng có mật độ dân cư, phương tiện và nhu cầu vận tải cao nhất Việt Nam. Vì vậy, đầu tư phát triển hạ tầng giao thông, nhất là hệ thống đường bộ cao tốc là yêu cầu cấp thiết nhằm giảm chi phí logistics, nâng cao hiệu quả kết nối và thúc đẩy phát triển bền vững.

Theo Quyết định số 1454/QĐ-TTg ngày 01/9/2021 về việc phê duyệt Quy hoạch mạng lưới đường bộ thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050, trong giai đoạn đến năm 2030, Việt Nam cần đầu tư mới, nâng cấp và mở rộng khoảng 900 km đường cao tốc tại vùng đồng bằng sông Hồng. Đây là khối lượng đầu tư rất lớn, đòi hỏi nguồn vốn đầu tư hàng trăm nghìn tỷ đồng. Trong bối cảnh ngân sách nhà nước còn hạn chế và nhu cầu đầu tư công vượt xa khả năng cân đối vốn, việc huy động nguồn vốn từ khu vực tư nhân thông qua mô hình đối tác công - tư (PPP) trở thành giải pháp quan trọng để thu hút các nguồn vốn đầu tư ngoài nhà nước, đảm bảo tiến độ và chất lượng các dự án hạ tầng giao thông.

Mô hình PPP được đánh giá là một cơ chế hiệu quả nhằm huy động nguồn lực tài chính, kinh nghiệm quản lý và công nghệ từ khu vực tư nhân cho phát triển hạ tầng (Pongsiri, 2002 [1]; Yescombe, 2011 [2]). Tuy nhiên, thực tế triển khai tại Việt Nam cho thấy việc thu hút khu vực tư nhân tham gia vào các dự án PPP giao thông còn gặp nhiều khó khăn. Các nghiên cứu trước đây chỉ ra rằng các yếu tố như khung pháp lý, cơ chế chia sẻ rủi ro, chính sách tài chính, khả năng thu hồi vốn, tính minh bạch và ổn định chính sách có ảnh hưởng đáng kể đến quyết định tham gia của nhà đầu tư tư nhân (Zhang, 2005 [3]; Đỗ Tiến Sỹ và cộng sự [4]; Mai Thị Kim Oanh, 2022 [5]).

Trong bối cảnh đó, việc nghiên cứu tác động của các chính sách thu hút đầu tư đến quyết định tham gia của doanh nghiệp tư nhân vào các dự án hạ tầng giao thông đường bộ theo hình thức PPP là hết sức cần thiết, đặc biệt tại khu vực đồng bằng sông Hồng - nơi đang có nhu cầu lớn về phát triển hạ tầng và tiềm năng thu hút đầu tư tư nhân. Nghiên cứu này nhằm làm rõ mức độ tác động của các chính sách thu hút đầu tư từ hiện hành đến quyết định tham gia của doanh nghiệp tư nhân, từ đó đề xuất các giải pháp chính sách nhằm nâng cao hiệu quả huy động vốn tư nhân cho các dự án hạ tầng giao thông đường bộ theo hình thức PPP.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ GIẢ THUYẾT NGHIÊN CỨU

2.1. Đầu tư phát triển hạ tầng giao thông đường bộ theo hình thức đối tác công - tư

Đầu tư phát triển hạ tầng giao thông đường bộ theo hình thức đối tác công - tư (PPP) là mô hình hợp tác giữa khu vực công và khu vực tư nhân nhằm huy động nguồn lực tài chính, năng lực quản lý và công nghệ để phát triển các công trình hạ tầng phục vụ lợi ích cộng đồng. Theo quan điểm của Pongsiri (2002) [1], PPP là cơ chế cho phép khu vực tư nhân tham gia sâu hơn vào việc cung cấp dịch vụ công thông qua các hợp đồng dài hạn, trong đó rủi ro và lợi ích được phân chia giữa Nhà nước và nhà đầu tư tư nhân.

Yescombe (2011) [2] nhấn mạnh rằng PPP không chỉ đơn thuần là một hình thức tài trợ dự án mà còn là cơ chế quản trị dự án, trong đó vai trò của khu vực công chuyển từ “người cung cấp” sang “người giám sát và điều phối”, trong khi khu vực tư nhân đảm nhận vai trò đầu tư, xây dựng, vận hành và khai thác công trình trong một khoảng thời gian nhất định. Việc phân bổ rủi ro hợp lý giữa hai khu vực là yếu tố cốt lõi đảm bảo hiệu quả và tính bền vững của dự án PPP.

Trong lĩnh vực giao thông đường bộ, PPP thường được áp dụng đối với các dự án có tổng mức đầu tư lớn, thời gian thu hồi vốn dài và có khả năng tạo nguồn thu từ người sử dụng, chẳng hạn như các dự án đường cao tốc, cầu, hầm hoặc tuyến đường trọng điểm. Theo Zhang (2005), các yếu tố thành công của dự án PPP trong lĩnh vực hạ tầng bao gồm sự ổn định của khung pháp lý, tính khả thi về tài chính, cơ chế chia sẻ rủi ro minh bạch và sự hỗ trợ của Nhà nước trong giai đoạn chuẩn bị và vận hành dự án.

2.2. Chính sách thu hút đầu tư

Chính sách thu hút đầu tư trong các dự án PPP bao gồm các cơ chế, công cụ và biện pháp của Nhà nước nhằm khuyến khích khu vực tư nhân tham gia đầu tư vào các dự án hạ tầng. Các chính sách này có thể bao gồm ưu đãi tài chính (như hỗ trợ lãi suất, bảo lãnh doanh thu tối thiểu, hỗ trợ vốn môi), cơ chế chia sẻ rủi ro, chính sách về đất đai, thuế và phí, cũng như cải thiện môi trường pháp lý và thủ tục hành chính.

Theo Pongsiri (2002) [1], sự rõ ràng và ổn định của khung pháp lý là yếu tố then chốt để tạo niềm tin cho nhà đầu tư tư nhân. Yescombe (2011) [2] cũng nhấn mạnh rằng chính sách phân bổ rủi ro hợp lý, minh bạch về hợp đồng và cơ chế thanh toán là điều kiện tiên quyết để thu hút vốn tư nhân. Bên cạnh đó, Zhang (2005 [3] chỉ ra rằng sự hỗ trợ của Chính phủ trong việc đảm bảo tính khả thi tài chính của dự án, thông qua các cơ chế như chia sẻ rủi ro doanh thu hoặc hỗ trợ tài chính trực tiếp, có vai trò quan trọng trong việc nâng cao khả năng hấp dẫn của các dự án PPP.

Các nghiên cứu trong nước cũng chỉ ra rằng ngoài các yếu tố tài chính, các yếu tố như mức độ ổn định của chính sách, tính minh bạch trong lựa chọn nhà đầu tư, cơ chế giám sát và phân chia lợi ích hợp lý giữa các bên có tác động trực tiếp đến quyết định tham gia của doanh nghiệp tư nhân (Đỗ Tiến Sỹ và cộng sự [4]; Mai Thị Kim Oanh, 2022 [5]). Do đó, việc thiết kế và thực thi hiệu quả các chính sách thu hút đầu tư là yếu tố then chốt nhằm thúc đẩy sự tham gia của khu vực tư nhân vào phát triển hạ tầng giao thông đường bộ theo hình thức PPP.

2.3. Giả thuyết nghiên cứu

Các nghiên cứu trước đây cho thấy quyết định tham gia của khu vực tư nhân vào các dự án PPP chịu ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố liên quan đến môi trường thể chế, cơ chế hợp tác và khả năng tài chính của dự án. Trước hết, Pongsiri (2002) [1] cho rằng sự rõ ràng, minh bạch và ổn định của khung pháp lý giúp giảm thiểu rủi ro thể chế và nâng cao niềm tin của nhà đầu tư tư nhân. Yescombe (2011) [2] cũng nhấn mạnh rằng tính nhất quán và minh bạch của chính sách và hợp đồng PPP là điều kiện tiên quyết để thu hút khu vực tư nhân tham gia.

Bên cạnh đó, Zhang (2005) [3] chỉ ra rằng việc phân bổ rủi ro hợp lý giữa khu vực công và tư là một trong những yếu tố then chốt

quyết định sự thành công của dự án PPP. Nếu cơ chế chia sẻ rủi ro không rõ ràng hoặc thiên lệch, doanh nghiệp tư nhân có xu hướng e ngại tham gia. Ngoài ra, các nghiên cứu trong nước (Đỗ Tiến Sỹ và cộng sự [4]; Mai Thị Kim Oanh, 2022 [5]) cho thấy chính sách hỗ trợ tài chính của Nhà nước, như bảo lãnh doanh thu, hỗ trợ vốn mỗi hoặc ưu đãi thuế đóng vai trò quan trọng trong việc cải thiện tính khả thi tài chính và tăng mức độ hấp dẫn của dự án.

Từ các lập luận trên, nghiên cứu đề xuất các giả thuyết như sau:

Giả thuyết H1: Khung pháp lý rõ ràng, minh bạch và ổn định có tác động tích cực đến quyết định tham gia của doanh nghiệp tư nhân vào các dự án PPP.

Giả thuyết H2: Cơ chế phân bổ và chia sẻ rủi ro hợp lý giữa Nhà nước và nhà đầu tư có tác động tích cực đến quyết định tham gia của doanh nghiệp tư nhân.

Giả thuyết H3: Các chính sách hỗ trợ tài chính của Nhà nước có tác động tích cực đến quyết định tham gia của doanh nghiệp tư nhân.

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu sử dụng phương pháp định lượng thông qua khảo sát bằng bảng hỏi trong tháng 3/2026 được gửi đến các cá nhân đang làm việc tại các doanh nghiệp đã và đang tham gia hoặc có quan tâm đến các dự án PPP trong lĩnh vực hạ tầng giao thông đường bộ, theo phương pháp chọn mẫu thuận tiện phi sắc xuất. Bảng hỏi được thiết kế dựa trên các nhóm yếu tố gồm: Khung pháp lý, cơ chế chia sẻ rủi ro và chính sách hỗ trợ tài chính. Các biến được đo lường bằng thang đo Likert 5 mức độ. Dữ liệu thu thập được xử lý bằng các phương pháp thống kê định lượng, bao gồm kiểm định độ tin cậy thang đo (Cronbach's Alpha), phân tích nhân tố khám phá (EFA) và hồi quy tuyến tính đa biến nhằm đánh giá mức độ tác động của các yếu tố đến quyết định tham gia của doanh nghiệp tư nhân vào các dự án PPP.

4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ BÌNH LUẬN

4.1. Mô tả mẫu nghiên cứu

Mẫu nghiên cứu bao gồm 95 doanh nghiệp tư nhân đã và đang tham gia hoặc có quan tâm đến các dự án PPP trong lĩnh vực hạ tầng giao thông đường bộ. Trong đó, có 41 doanh nghiệp xây dựng và thi công hạ tầng (43,16%), 23 doanh nghiệp đầu tư dự án (24,21%), 14 đơn vị tư vấn - thiết kế (14,74%), 9 doanh nghiệp vận hành - khai thác công trình (9,47%), và 8 tổ chức tài chính - tín dụng (8,42%).

Về quy mô doanh nghiệp, có 52 doanh nghiệp vừa và nhỏ (54,74%), 29 doanh nghiệp quy mô lớn (30,53%) và 14 doanh nghiệp siêu nhỏ (14,74%). Xét theo thời gian hoạt động, có 18 doanh nghiệp hoạt động dưới 5 năm (18,95%), 47 doanh nghiệp có từ 5 đến dưới 10 năm kinh nghiệm (49,47%) và 30 doanh nghiệp có trên 10 năm hoạt động trong lĩnh vực xây dựng, hạ tầng và đầu tư (31,58%).

Về mức độ tham gia PPP, có 36 doanh nghiệp đã trực tiếp tham gia ít nhất một dự án PPP giao thông (37,89%), 28 doanh nghiệp từng tham gia liên danh hoặc cung cấp dịch vụ cho dự án PPP (29,47%) và 31 doanh nghiệp đang nghiên cứu hoặc chuẩn bị tham gia dự án PPP (32,63%). Những đặc điểm này cho thấy mẫu nghiên cứu có tính đại diện phù hợp để phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến quyết định tham gia dự án PPP của khu vực tư nhân.

4.2. Kiểm định độ tin cậy và giả thuyết nghiên cứu

Độ tin cậy của các thang đo được kiểm định bằng hệ số Cronbach's Alpha và chỉ số KMO trước khi thực hiện phân tích nhân tố và hồi quy. Kết quả cho thấy tất cả các nhóm nhân tố đều đạt yêu cầu về độ tin cậy và tính phù hợp của dữ liệu.

Bảng 1. Kết quả kiểm định độ tin cậy thang đo

Nhân tố	Thang đo	Cronbach's Alpha	KMO
Khung pháp lý (H1)	Quy định pháp lý về PPP rõ ràng, dễ hiểu	0,88	0,84
	Tính ổn định của chính sách PPP		
	Quy trình, thủ tục đầu tư PPP minh bạch		
	Cơ chế bảo vệ quyền lợi nhà đầu tư rõ ràng		
	Hợp đồng PPP có tính ràng buộc pháp lý cao		
Cơ chế phân bổ & chia sẻ rủi ro (H2)	Phân bổ rủi ro giữa Nhà nước và doanh nghiệp rõ ràng	0,86	0,81
	Cơ chế chia sẻ rủi ro doanh thu hợp lý		
	Cơ chế bồi thường khi chính sách thay đổi		
	Cơ chế xử lý rủi ro xây dựng, vận hành minh bạch		
Chính sách hỗ trợ tài chính (H3)	Hỗ trợ vốn mỗi từ ngân sách nhà nước	0,90	0,86
	Cơ chế bảo lãnh doanh thu tối thiểu		
	Ưu đãi thuế, phí cho nhà đầu tư		
	Hỗ trợ lãi suất hoặc chi phí tài chính		
Doanh nghiệp sẵn sàng tham gia dự án PPP giao thông	Doanh nghiệp có ý định tham gia dự án PPP trong thời gian tới	0,91	0,89
	Doanh nghiệp có kế hoạch mở rộng quy mô tham gia dự án PPP		
	Doanh nghiệp đánh giá hình thức PPP phù hợp với chiến lược phát triển		
	Doanh nghiệp sẵn sàng phân bổ nguồn lực cho các dự án PPP mới		
	Doanh nghiệp ưu tiên đầu tư theo hình thức PPP so với hình thức khác		

Nguồn: Kết quả phân tích dữ liệu khảo sát bằng SPSS của tác giả.

Kết quả phân tích cho thấy cả 3 biến độc lập đều có ảnh hưởng tích cực và có ý nghĩa thống kê đến quyết định tham gia dự án PPP (Sig. < 0,05). Cụ thể, khung pháp lý (H1) có hệ số hồi quy lớn nhất ($\beta = 0,42$; Sig. = 0,000), cho thấy đây là nhân tố có tác động mạnh nhất đến quyết định tham gia của doanh nghiệp tư nhân. Kết quả này cho thấy mức độ rõ ràng, minh bạch và ổn định của khung pháp lý đóng vai trò then chốt trong việc tạo niềm tin và giảm thiểu rủi ro cho nhà đầu tư tư nhân khi tham gia các dự án PPP. Yếu tố chính sách hỗ trợ tài chính (H3) có hệ số hồi quy $\beta = 0,33$ (Sig. = 0,001), cho thấy

các chính sách hỗ trợ tài chính như ưu đãi thuế, hỗ trợ vốn, bảo lãnh doanh thu và hỗ trợ lãi suất có vai trò quan trọng trong việc nâng cao tính khả thi và mức độ hấp dẫn của các dự án PPP đối với khu vực tư nhân. Yếu tố cơ chế phân bổ và chia sẻ rủi ro (H2) có hệ số hồi quy $\beta = 0,27$ (Sig. = 0,003). Mặc dù mức độ tác động thấp hơn so với hai nhân tố còn lại, yếu tố này vẫn có ảnh hưởng đáng kể đến quyết định tham gia của doanh nghiệp, phản ánh tầm quan trọng của việc phân bổ rủi ro hợp lý và minh bạch giữa khu vực công và tư trong các dự án PPP.

Bảng 2. Kết quả phân tích hồi quy bằng ANOVA

Mô hình	Hệ số chưa chuẩn hóa		Hệ số chuẩn hóa	t	Sig.
	B	Sai số chuẩn	Beta		
1	Hằng số	2,73E-016	0,043		0,000
	PL	0,372	0,42	0,372	5,454
	CSRR	0,253	0,27	0,253	3,474
	HTTC	0,287	0,33	0,287	2,734

Nguồn: Kết quả phân tích dữ liệu khảo sát bằng SPSS của tác giả.

5. KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ CHÍNH SÁCH

Nghiên cứu đã phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến quyết định tham gia của doanh nghiệp tư nhân vào các dự án hạ tầng giao thông đường bộ theo hình thức PPP tại vùng đồng bằng sông Hồng. Kết quả cho thấy 3 nhóm yếu tố gồm khung pháp lý, chính sách hỗ trợ tài chính và cơ chế phân bổ, chia sẻ rủi ro đều có tác động tích cực và có ý nghĩa thống kê đến quyết định tham gia của doanh nghiệp. Trong đó, khung pháp lý là yếu tố có mức độ tác động mạnh nhất, tiếp theo là chính sách hỗ trợ tài chính và cuối cùng là cơ chế phân bổ, chia sẻ rủi ro.

Điều này phản ánh thực tế rằng tại đồng bằng sông Hồng - nơi tập trung mật độ dân cư cao, nhu cầu phát triển hạ tầng giao thông lớn và áp lực kết nối vùng ngày càng tăng - doanh nghiệp tư nhân đặc biệt quan tâm đến sự minh bạch, ổn định và khả năng dự đoán của chính sách pháp luật trước khi tham gia đầu tư. Đồng thời, các cơ chế hỗ trợ tài chính của Nhà nước giữ vai trò quan trọng trong việc cải thiện tính khả thi tài chính của dự án, nhất là đối với các dự án hạ tầng quy mô lớn, thời gian thu hồi vốn dài. Bên cạnh đó, cơ chế phân bổ và chia sẻ rủi ro hợp lý vẫn là điều kiện cần thiết để tạo niềm tin và giảm thiểu rủi ro cho khu vực tư nhân.

Từ kết quả nghiên cứu, để tăng cường thu hút đầu tư tư nhân vào các dự án PPP trong lĩnh vực giao thông tại đồng bằng sông Hồng, một số khuyến nghị chính sách được đề xuất như sau:

Thứ nhất, tiếp tục hoàn thiện khung pháp lý về PPP theo hướng đồng bộ, minh bạch và ổn định; đơn giản hóa thủ tục chuẩn bị và phê duyệt dự án, tăng cường tính nhất quán giữa các quy định pháp luật, qua đó tạo môi trường đầu tư thuận lợi và giảm rủi ro thể chế cho doanh nghiệp.

Thứ hai, tăng cường các chính sách hỗ trợ tài chính, đặc biệt đối với các dự án giao thông có vai trò liên kết vùng tại đồng bằng sông Hồng. Các cơ chế như hỗ trợ vốn mồi, ưu đãi thuế, hỗ trợ lãi suất và bảo lãnh doanh thu tối thiểu cần được áp dụng linh hoạt nhằm nâng cao tính khả thi tài chính và thu hút sự tham gia của khu vực tư nhân.

Thứ ba, thiết kế cơ chế phân bổ và chia sẻ rủi ro hợp lý, phù hợp với đặc thù các dự án hạ tầng giao thông tại đồng bằng sông Hồng. Cần xác định rõ trách nhiệm và quyền lợi của các bên, đặc biệt đối với các rủi ro về doanh thu, giải phóng mặt bằng, biến động chi phí và thay đổi chính sách.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học giao thông vận tải (ĐH GTVT) trong Đề tài mã số T2026-QLXD-001.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Pongsiri, N. Regulation and public-private partnerships. *International Journal of Public Sector Management*, vol. 15, no. 6, pp. 487-495, 2002.
- [2] Yescombe, E. R. *Public-Private Partnerships: Principles of Policy and Finance*. Butterworth-Heinemann, Oxford, 2011.
- [3] Zhang, X. Critical success factors for public-private partnerships in infrastructure development. *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 131, no. 1, pp. 3-14, 2005.
- [4] Đỗ Tiến Sỹ, Nguyễn Thị Thu Hằng. Các yếu tố ảnh hưởng đến đầu tư theo hình thức đối tác công tư trong phát triển hạ tầng giao thông. *Tạp chí Giao thông vận tải*, số 5, tr. 45-50, 2020.
- [5] Mai Thị Kim Oanh. Các nhân tố ảnh hưởng đến thu hút đầu tư tư nhân vào các dự án PPP tại Việt Nam. *Tạp chí Kinh tế và Dự báo*, số 24, tr. 33-37, 2022.

Tiếp cận Fuzzy Delphi xây dựng chức năng điều hành trong quản lý khai thác cơ sở vật chất tại các cơ sở giáo dục đại học công lập Việt Nam

Approaching Fuzzy Delphi to build an executive function in the management and exploitation of facilities at Vietnamese public higher education institutions

> THS NGÔ TOÀN THẮNG¹, TS ĐỖ THỊ HUYỀN^{2,*}, PGS.TS NGUYỄN LƯƠNG HẢI³

¹Trường Đại học Gia Định

²Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải

³Trường Đại học Giao thông vận tải

*Email: huyendt@utt.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu sử dụng phương pháp Fuzzy Delphi nhằm xây dựng chỉ tiêu mô tả chức năng điều hành trong quản lý khai thác (QLKT) cơ sở vật chất (CSVC) tại các cơ sở giáo dục đại học (CSGDDH) công lập Việt Nam. Trên cơ sở lý thuyết chức năng quản lý và các nghiên cứu trước, 8 chỉ tiêu sơ bộ được đề xuất theo 3 nhóm: Chỉ đạo và ra quyết định; truyền thông và phản hồi; động viên và phát triển đội ngũ. Mười hai chuyên gia thuộc ba nhóm quản lý nhà nước, lãnh đạo cơ CSGDDH và cán bộ trực tiếp quản lý CSVC được lựa chọn có chủ đích. Đánh giá của chuyên gia được chuyển thành số mờ tam giác, tổng hợp và giải mờ. Kết quả có 3 chỉ tiêu được đồng thuận cao, nhấn mạnh tính kịp thời của quyết định xử lý sự cố, tính rõ ràng của thông báo bảo trì, sửa chữa và hiệu quả của kênh thông tin nội bộ.

Từ khóa: Quản lý khai thác cơ sở vật chất; chức năng điều hành; cơ sở giáo dục đại học công lập; Fuzzy Delphi; chức năng quản lý.

ABSTRACT

The study uses the Fuzzy Delphi method to develop indicators describing the executive function in the management and exploitation of facilities at public higher education institutions in Vietnam. On the basis of management function theory and previous studies, 8 preliminary indicators are proposed in three groups: Direction and decision-making; communication and feedback; motivate and develop the team. Twelve experts from three groups of state management, leaders of higher education institutions and officials directly managing facilities were deliberately selected. The expert's assessment is converted into triangular dimming, aggregation and dimming. As a result, there are 3 highly agreed indicators, emphasizing the timeliness of the decision to handle the incident, the clarity of maintenance and repair notices and the effectiveness of the internal information channel.

Keywords: Facility operation and utilization management; directing function; public higher education institutions; Fuzzy Delphi; management functions.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tại các cơ CSGDDH, CSVC tạo nền tảng cho việc tổ chức đào tạo, triển khai nghiên cứu khoa học và cung cấp các dịch vụ hỗ trợ người học. Giá trị của CSVC chỉ được phát huy đầy đủ khi được quản lý và khai thác hợp lý. QLKT CSVC bao gồm việc tổ chức sử dụng, vận hành, bảo trì và cung cấp các dịch vụ liên quan nhằm duy trì công năng, mức độ sẵn sàng và chất lượng phục vụ. Vì vậy, hiệu quả khai thác CSVC không chỉ phụ thuộc vào quy mô đầu tư mà còn được thể hiện qua tình trạng công trình, chi phí vận hành, khả năng đáp ứng

nhu cầu và sự hài lòng của người sử dụng [8, 24, 25]. Các tiêu chuẩn về quản lý CSVC cũng nhấn mạnh yêu cầu phối hợp giữa con người, địa điểm và quy trình để CSVC hỗ trợ hiệu quả cho mục tiêu hoạt động của tổ chức [14]. Trong CSGDDH, QLKT CSVC vì thế giữ vai trò chuyển hóa nguồn lực vật chất thành điều kiện phục vụ thiết thực cho việc thực hiện các chức năng và mục tiêu của nhà trường.

Các mục tiêu quản lý thông thường được tổ chức triển khai thông qua các chức năng quản lý, trong đó chức năng điều hành đóng vai trò quan trọng dẫn dắt chuỗi các chức năng này - là quá trình chỉ đạo, ra quyết định, truyền đạt thông tin và tác động đến

con người [13, 11]. Đối với QLKT CSVC, kế hoạch chỉ tạo ra kết quả khi nhiệm vụ được giao rõ ràng, quyết định được ban hành kịp thời và thông tin được chuyển đến đúng đối tượng. Vì vậy, điều hành có ảnh hưởng trực tiếp đến tính liên tục của hoạt động đào tạo và khả năng xử lý các vấn đề phát sinh trong QLKT CSVC.

Các nghiên cứu trước đây về lĩnh vực quản lý CSVC cũng đã đề cập đến các khía cạnh khác nhau của chức năng điều hành như ra quyết định, truyền thông, động viên, đào tạo và môi trường làm việc. Tuy nhiên, các nội dung này thường được nghiên cứu riêng lẻ hoặc đặt trong các khung đánh giá hiệu suất chung. Trong bối cảnh quản lý CSVC tại các CSGDDH công lập Việt Nam cần nghiên cứu và xây dựng bộ chỉ tiêu đồng bộ mô tả chức năng điều hành trên cơ sở các học thuyết về quản lý và kiểm định thông qua đánh giá chuyên gia.

Nghiên cứu có 3 mục tiêu: (i) Làm rõ nội hàm chức năng điều hành trong QLKT CSVC; (ii) xây dựng bộ chỉ tiêu sơ bộ từ khảo cứu; và (iii) sàng lọc chỉ tiêu bằng Fuzzy Delphi.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ BỘ CHỈ TIÊU SƠ BỘ

2.1. Khái quát chung về chức năng điều hành

Trong nghiên cứu này, QLKT CSVC được hiểu là quá trình tổ chức sử dụng, vận hành, bảo trì và cải thiện CSVC nhằm hỗ trợ thực hiện mục tiêu của CSGDDH [14]. Chức năng điều hành là quá trình chủ thể quản lý chỉ đạo thực hiện nhiệm vụ, ra quyết định, truyền đạt thông tin, xử lý tình huống và tạo điều kiện để đội ngũ hoàn thành công việc. Cách hiểu này kế thừa lý thuyết chức năng quản lý và nghiên cứu về hành vi lãnh đạo [13, 11]. Điều hành không chỉ bao gồm mệnh lệnh từ cấp trên xuống mà còn bao gồm tiếp nhận phản hồi và tác động đến động lực, năng lực của người thực hiện. Phạm vi của chức năng điều hành là tạo ra tác động trực tiếp trong quá trình triển khai. Sự phân biệt này giúp hạn chế tình trạng một chỉ tiêu đồng thời phản ánh nhiều chức năng quản lý.

2.2. Các nhóm nội dung của chức năng điều hành

Nhóm thứ nhất là chỉ đạo và ra quyết định. Trong quá trình vận hành, người quản lý phải lựa chọn cách xử lý đối với các sự cố có mức độ khẩn cấp, mức độ ảnh hưởng và yêu cầu nguồn lực khác nhau. Nghiên cứu về quản lý và hành vi tổ chức cho thấy giải quyết vấn đề, ra quyết định và chỉ đạo thực hiện là những nội dung cơ bản của công việc quản lý [23, 26, 11]. Vì vậy, ĐH1 phản ánh tính kịp thời của quyết định xử lý sự cố, còn ĐH2 phản ánh mức độ phù hợp của quyết định với tình huống thực tế.

Nhóm thứ hai là truyền thông và phản hồi. Việc bảo trì, sửa chữa hoặc thay đổi quy định sử dụng CSVC có thể ảnh hưởng đến nhiều đơn vị và nhóm người dùng. Thông tin vì vậy phải rõ ràng, dễ tiếp cận và được chuyển qua kênh phù hợp. Các nghiên cứu về truyền thông quản lý nhấn mạnh vai trò của thông tin từ cấp trên xuống và sự rõ ràng của thông điệp [19, 20, 18]. Lý thuyết xử lý thông tin và nghiên cứu về lựa chọn phương tiện truyền thông cho thấy hiệu quả truyền đạt phụ thuộc vào sự phù hợp giữa nhiệm vụ, nội dung và kênh sử dụng [6, 22, 18, 28]. Đồng thời, nghiên cứu chất lượng dịch vụ coi khả năng nhận và phản hồi ý kiến người sử dụng là một thành phần của tính đáp ứng [16, 5, 1]. Trên cơ sở đó, ĐH3, ĐH4 và ĐH5 lần lượt phản ánh chất lượng thông báo, hiệu quả của kênh thông tin nội bộ và cơ chế phản hồi người sử dụng.

Nhóm thứ ba là động viên và phát triển đội ngũ. Điều hành không chỉ hướng đến hoàn thành công việc trước mắt mà còn phải duy trì động lực, năng lực và điều kiện làm việc của đội ngũ. Cơ chế khen thưởng cần phù hợp với hành vi mà tổ chức mong muốn và được thực hiện công bằng [27, 26]. Đào tạo, bồi dưỡng giúp nhân viên cập nhật kiến thức và kỹ năng cần thiết cho công việc [17, 21]. Văn hóa tổ chức và hệ thống quản lý an toàn góp phần tạo môi trường làm việc hỗ trợ, lành mạnh và giảm rủi ro nghề nghiệp [7, 12, 9]. Vì vậy, ĐH6, ĐH7 và ĐH8 được đưa vào bộ chỉ tiêu sơ bộ.

Bảng 1. Bộ chỉ tiêu sơ bộ phản ánh chức năng điều hành

Mã	Nội dung chỉ tiêu	Phương diện	Căn cứ
ĐH1	Các quyết định xử lý sự cố được đưa ra kịp thời trong quá trình khai thác CSVC	Chỉ đạo và ra quyết định	[23, 26, 11]
ĐH2	Các quyết định xử lý sự cố phù hợp với tình huống thực tế	Chỉ đạo và ra quyết định	[23, 26, 11]
ĐH3	Lịch bảo trì, sửa chữa và quy định sử dụng CSVC được thông báo rõ ràng, dễ tiếp cận	Truyền thông và phản hồi	[19, 20, 10]
ĐH4	Kênh thông tin nội bộ hoạt động hiệu quả trong điều hành công việc	Truyền thông và phản hồi	[22, 18, 28]
ĐH5	Cơ chế tiếp nhận và phản hồi ý kiến người sử dụng CSVC hoạt động hiệu quả và kịp thời	Truyền thông và phản hồi	[16, 5, 1]
ĐH6	Các chính sách khen thưởng, động viên được thực hiện kịp thời và công bằng	Động viên và phát triển đội ngũ	[27, 26]
ĐH7	Các chương trình đào tạo, bồi dưỡng nâng cao năng lực cho cán bộ phụ trách CSVC được triển khai định kỳ	Động viên và phát triển đội ngũ	[17, 21]
ĐH8	Môi trường làm việc thuận lợi, an toàn và hỗ trợ hiệu quả công tác quản lý, vận hành CSVC	Động viên và phát triển đội ngũ	[7, 12, 9]

Nguồn: Tác giả tổng hợp.

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

3.1. Thiết kế nghiên cứu và lựa chọn chuyên gia

Nghiên cứu được thực hiện theo hai bước. Bước thứ nhất là thực hiện khảo cứu để xây dựng tám chỉ tiêu sơ bộ. Bước thứ hai là sử dụng Fuzzy Delphi để phân tích đánh giá của chuyên gia và sàng lọc chỉ tiêu. Delphi phù hợp với vấn đề nghiên cứu cần kiến thức chuyên sâu và chưa có dữ liệu thực nghiệm đầy đủ; chất lượng kết quả phụ thuộc vào tiêu chuẩn lựa chọn chuyên gia và việc trình bày rõ quy trình xử lý [3, 4]. Việc kết hợp tập mở giúp biểu diễn sự không chắc chắn trong các mức đánh giá bằng ngôn ngữ [29, 2].

Chuyên gia được lựa chọn có chủ đích theo ba tiêu chí: Có chuyên môn hoặc vị trí liên quan đến quản lý giáo dục, CSVC, tài sản công, đầu tư xây dựng hoặc quản trị đại học; có kinh nghiệm vận hành, bảo trì, sửa chữa hoặc khai thác CSVC và có khả năng đánh giá độc lập. Hội đồng gồm 12 người: 3 cán bộ quản lý nhà nước về CSVC, 3 lãnh đạo CSGDDH và 6 cán bộ trực tiếp quản lý CSVC. Cơ cấu này bao quát góc nhìn quản lý nhà nước, quản trị cấp trường và thực hiện công việc, nhưng không đại diện thống kê cho toàn bộ hệ thống. Chuyên gia đánh giá 8 chỉ tiêu bằng thang ngôn ngữ năm mức.

3.2. Quy trình Fuzzy Delphi và ngưỡng lựa chọn

Bảng 2. Thang ngôn ngữ và số mờ tam giác

Mức	Thuật ngữ ngôn ngữ	Số mờ tam giác (l; m; u)
1	Không quan trọng	(0,00; 0,00; 0,25)
2	Ít quan trọng	(0,00; 0,25; 0,50)
3	Quan trọng trung bình	(0,25; 0,50; 0,75)
4	Quan trọng	(0,50; 0,75; 1,00)
5	Rất quan trọng	(0,75; 1,00; 1,00)

Nguồn: Tác giả tổng hợp từ các nghiên cứu trước.

Mỗi mức ngôn ngữ được chuyển thành số mờ tam giác (l, m, u), trong đó l, m và u lần lượt là biên dưới, giá trị trung tâm và biên trên. Với chỉ tiêu j, đánh giá của chuyên gia k được ký hiệu là $\tilde{w}_{jk} = (l_{jk}, m_{jk}, u_{jk})$. Số mờ tổng hợp của nhóm chuyên gia được xác định theo 3 thành phần: Giá trị nhỏ nhất của các biên dưới, trung bình nhân của các giá trị trung tâm và giá trị lớn nhất của các biên trên [29, 2].

Các công thức được sử dụng như sau:

$$\tilde{w}_j = (a_j, b_j, c_j); a_j = \min_k(l_{jk}); b_j = \prod_{k=1}^K (m_{jk})^{1/K}; c_j = \max_k(u_{jk}).$$

Giá trị giải mờ của chỉ tiêu được xác định theo trọng tâm của số mờ tam giác:

$$S_j = (a_j + b_j + c_j)/3.$$

Ngưỡng lựa chọn nội bộ được tính bằng trung bình của tám giá trị giải mờ [15, 3]:

$$\alpha = (\sum_{j=1}^8 S_j)/8 = 0,6936.$$

Chỉ tiêu được giữ lại khi $S_j \geq \alpha$.

4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

* Kết quả sàng lọc chỉ tiêu:

Giá trị giải mờ của tám chỉ tiêu dao động từ 0,5307 đến 0,7887. Ba chỉ tiêu đạt hoặc vượt ngưỡng 0,6936 là ĐH1, ĐH3 và ĐH4. ĐH3 có giá trị cao nhất (0,7887), tiếp theo là ĐH1 (0,7818) và ĐH4 (0,7686). Năm chỉ tiêu còn lại có giá trị thấp hơn ngưỡng lựa chọn.

Bảng 3. Kết quả sàng lọc 8 chỉ tiêu bằng Fuzzy Delphi

Mã chỉ tiêu	Giá trị giải mờ S_j	Kết quả với $\alpha = 0,6936$
ĐH1	0,7818	Chấp nhận
ĐH2	0,6702	Không chấp nhận
ĐH3	0,7887	Chấp nhận
ĐH4	0,7686	Chấp nhận
ĐH5	0,6702	Không chấp nhận
ĐH6	0,5307	Không chấp nhận
ĐH7	0,6618	Không chấp nhận
ĐH8	0,6764	Không chấp nhận

Nguồn: Kết quả xử lý dữ liệu khảo sát chuyên gia.

* Bộ chỉ tiêu sau sàng lọc và kiểm tra độ nhạy:

Bộ chỉ tiêu sau sàng lọc gồm: (i) Quyết định xử lý sự cố được đưa ra kịp thời trong quá trình khai thác CSV; (ii) lịch bảo trì, sửa chữa và quy định sử dụng CSV được thông báo rõ ràng, dễ tiếp cận; (iii) kênh thông tin nội bộ hoạt động hiệu quả trong điều hành công việc. Như vậy, 2 chỉ tiêu thuộc nhóm truyền thông và phản hồi, một chỉ tiêu thuộc nhóm chỉ đạo và ra quyết định; nhóm động viên và phát triển đội ngũ không có chỉ tiêu đạt ngưỡng.

5. THẢO LUẬN VÀ HÀM Ý

5.1. Thảo luận kết quả

Thứ nhất, chuyên gia đánh giá cao tính kịp thời của quyết định xử lý sự cố. Trong QLKT CSV, thời gian phản ứng ảnh hưởng trực tiếp đến thời gian gián đoạn và khả năng duy trì hoạt động của công trình, thiết bị. ĐH1 cũng có khả năng quan sát tương đối rõ thông qua thời điểm tiếp nhận thông tin, ban hành chỉ đạo và huy động bộ phận xử lý. Kết quả này phù hợp với quan điểm coi giải quyết vấn đề và ra quyết định là nội dung cơ bản của công việc quản lý [23, 26, 11].

Thứ hai, ĐH3 và ĐH4 cũng được giữ lại cho thấy truyền thông là nội dung được chuyên gia đánh giá cao trong chức năng điều hành. Quyết định quản lý chỉ có thể được thực hiện khi thông tin rõ ràng, đến đúng đối tượng và được truyền qua kênh phù hợp. Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu về truyền thông quản lý và xử lý thông tin trong tổ chức [20, 6, 10, 22, 18]. Thông báo về lịch bảo trì và phạm vi ảnh hưởng giúp các đơn vị chủ động điều chỉnh công việc; kênh thông tin nội bộ hiệu quả giúp rút ngắn thời gian truyền đạt và phản hồi.

Thứ ba, các chỉ tiêu ĐH5, ĐH6, ĐH7 và ĐH8 không đạt ngưỡng lựa chọn. Kết quả này chỉ phản ánh mức độ ưu tiên tương đối của các chỉ tiêu trong phạm vi nghiên cứu, không phủ nhận vai trò của phản hồi từ người sử dụng, cơ chế khen thưởng, hoạt động đào tạo và môi trường làm việc. Nhiều nghiên cứu trước đã khẳng định ý nghĩa của khả năng đáp ứng đối với chất lượng dịch vụ [16, 5, 1], cơ chế khen thưởng đối với động lực làm việc [27, 26], đào tạo đối với năng lực thực hiện nhiệm vụ [17, 21] và môi trường tổ chức, an toàn nghề nghiệp [7, 12, 9]. Tuy nhiên, trong QLKT CSV tại các CSGDDH, chuyên gia ưu tiên những nội dung gần trực tiếp với yêu cầu điều hành công việc hằng ngày, đặc biệt là xử lý kịp thời các sự cố và truyền đạt rõ ràng thông tin về bảo trì, sửa chữa. Vì vậy, các chỉ tiêu phản ánh những nội dung này được đánh giá cao hơn trong quá trình sàng lọc.

5.2. Hàm ý quản lý

Thứ nhất, CSGDDH nên chuẩn hóa quy trình tiếp nhận và xử lý sự cố theo mức độ khẩn cấp. Quy trình cần quy định đầu mối tiếp nhận, thẩm quyền ra quyết định, thời gian phản hồi, trách nhiệm thực hiện và trường hợp phải chuyển cấp. Thời gian xử lý cần được theo dõi đồng thời với mức độ phù hợp của giải pháp.

Thứ hai, thông báo bảo trì và sửa chữa nên thể hiện tối thiểu nội dung công việc, thời gian, khu vực bị ảnh hưởng, phương án sử dụng thay thế, yêu cầu đối với người dùng và đầu mối hỗ trợ. Thông tin cần được trình bày ngắn gọn, thống nhất và dễ tìm đối với từng nhóm người sử dụng.

Thứ ba, nhà trường nên lựa chọn kênh thông tin theo tính chất nhiệm vụ. Kênh có khả năng phản hồi ngay đối với sự cố; thư điện tử hoặc cổng thông tin đối với công việc có kế hoạch; hệ thống quản lý yêu cầu để ghi nhận, theo dõi quá trình xử lý. Hiệu quả của kênh cần được đánh giá qua thời gian truyền đạt, khả năng tiếp cận và mức độ phản hồi của đơn vị nhận thông tin.

6. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã xây dựng 8 chỉ tiêu sơ bộ thuộc ba nhóm nội dung của chức năng điều hành trong QLKT CSV tại các CSGDDH công lập Việt Nam, gồm: Chỉ đạo và ra quyết định; truyền thông và phản hồi; động viên và phát triển đội ngũ. Trên cơ sở đánh giá của 12 chuyên gia và kết quả xử lý bằng phương pháp Fuzzy Delphi, với ngưỡng lựa chọn 0,6936, 3 chỉ tiêu ĐH1, ĐH3 và ĐH4 được giữ lại. Kết quả cho thấy chức năng điều hành tập trung vào hai nội dung chính. Thứ nhất, người quản lý cần ban hành quyết định kịp thời để xử lý các sự cố phát sinh trong quá trình sử dụng và vận hành CSV. Thứ hai, thông tin về bảo trì, sửa chữa và điều phối công việc phải được truyền đạt rõ ràng, đồng thời các kênh thông tin nội bộ cần được duy trì hiệu quả.

Các chỉ tiêu không đạt ngưỡng không đồng nghĩa với việc phản hồi của người sử dụng, khen thưởng, đào tạo hoặc môi trường làm việc không có vai trò trong quản lý. Kết quả chỉ phản ánh rằng, trong phạm vi nghiên cứu, chuyên gia ưu tiên những nội dung gần trực tiếp với việc xử lý tình huống và truyền đạt thông tin trong quá trình điều hành. Ba chỉ tiêu được lựa chọn góp phần xác định rõ hơn những nội dung cốt lõi của chức năng điều hành và có thể được sử dụng làm cơ sở cho các nghiên cứu tiếp theo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] A Parasuraman, VA Zeithaml and LL Berry. SERVQUAL: A multiple-item scale for measuring consumer perceptions of service quality. *Journal of Retailing*, vol. 64, no. 1, pp. 12-40, 1988.
- [2] A Ishikawa, T Amagasa, T Shiga, G Tomizawa, R Tatsuta and H Mieno. The max-min Delphi method and fuzzy Delphi method via fuzzy integration. *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 55, no. 3, pp. 241-253, 1993, doi: 10.1016/0165-0114(93)90251-C.
- [3] C-C Hsu and BA Sandford. The Delphi technique: Making sense of consensus. *Practical Assessment, Research and Evaluation*, vol. 12, no. 10, pp. 1-8, 2007, doi: 10.7275/pdz9-th90.
- [4] C Okoli and SD Pawlowski. The Delphi method as a research tool: An example, design considerations and applications. *Information & Management*, vol. 42, no. 1, pp. 15-29, 2004, doi: 10.1016/j.im.2003.11.002.
- [5] C Grönroos. *Service Management and Marketing: Customer Management in Service Competition*, 3rd ed. John Wiley & Sons, 2007.
- [6] RL Daft and RH Lengel. Organizational information requirements, media richness and structural design. *Management Science*, vol. 32, no. 5, pp. 554-571, 1986, doi: 10.1287/mnsc.32.5.554.
- [7] DR Denison. *Corporate Culture and Organizational Effectiveness*. John Wiley & Sons, New York, 1990.
- [8] D Amos, ZN Musa and CP Au-Yong. A review of facilities management performance measurement. *Property Management*, vol. 37, no. 4, pp. 490-511, 2019, doi: 10.1108/PM-08-2018-0051.
- [9] EH Schein. *Organizational Culture and Leadership*, 4th ed. Jossey-Bass, San Francisco, 2010.
- [10] FM Jablin. Superior-subordinate communication: The state of the art. *Psychological Bulletin*, vol. 86, no. 6, pp. 1201-1222, 1979, doi: 10.1037/0033-2909.86.6.1201.
- [11] G Yukl and DD Van Fleet. Theory and research on leadership in organizations. In: MD Dunnette and LM Hough, editors. *Handbook of Industrial and Organizational Psychology*, 2nd ed., vol. 3, pp. 147-197, Consulting Psychologists Press, Palo Alto, 1992.
- [12] International Organization for Standardization. *ISO 45001:2018 Occupational Health and Safety Management Systems-Requirements with Guidance for Use*. ISO, Geneva, 2018.
- [13] H Fayol. *General and Industrial Management*. Ravenio Books, 2016.
- [14] International Organization for Standardization. *ISO 41011:2024 Facility Management-Vocabulary*. ISO, Geneva, 2024.
- [15] IR Diamond, RC Grant, BM Feldman, PB Pencharz, SC Ling, AM Moore and PW Wales. Defining consensus: A systematic review recommends methodologic criteria for reporting of Delphi studies. *Journal of Clinical Epidemiology*, vol. 67, no. 4, pp. 401-409, 2014, doi: 10.1016/j.jclinepi.2013.12.002.
- [16] MJ Bitner, BH Booms and MS Tetreault. The service encounter: Diagnosing favorable and unfavorable incidents. *Journal of Marketing*, vol. 54, no. 1, pp. 71-84, 1990, doi: 10.1177/002224299005400105.
- [17] M Armstrong and S Taylor. *Armstrong's Handbook of Human Resource Management Practice: A Guide to the Theory and Practice of People Management*, 16th ed. Kogan Page, London, 2023.
- [18] ML Tushman and DA Nadler. Information processing as an integrating concept in organizational design. *Academy of Management Review*, vol. 3, no. 3, pp. 613-624, 1978, doi: 10.5465/amr.1978.4305791.
- [19] PA Argenti. *Corporate Communication*. McGraw-Hill, 1998.
- [20] PG Clappitt. *Communicating for Managerial Effectiveness: Challenges, Strategies, Solutions*, 6th ed. SAGE Publications, Thousand Oaks, 2017.
- [21] Noe, R. A., & Peacock, M. *Employee training and development*, 2008.
- [22] RE Rice. Media appropriateness: Using social presence theory to compare traditional and new organizational media. *Human Communication Research*, vol. 19, no. 4, pp. 451-484, 1993, doi: 10.1111/j.1468-2958.1993.tb00309.x.
- [23] SC Certo and ST Certo. *Modern Management: Concepts and Skills*, 15th ed. Pearson, New York, 2019.
- [24] S Lavy. Facility management practices in higher education buildings: A case study. *Journal of Facilities Management*, vol. 6, no. 4, pp. 303-315, 2008, doi: 10.1108/14725960810908163.
- [25] S Lavy, JA Garcia and MK Dixit. Establishment of KPIs for facility performance measurement: Review of literature. *Facilities*, vol. 28, no. 9/10, pp. 440-464, 2010, doi: 10.1108/02632771011057189.
- [26] SP Robbins and TA Judge. *Organizational Behavior*, 16th global ed. Pearson Education, Harlow, 2015.
- [27] S Kerr. On the folly of rewarding A, while hoping for B. *Academy of Management Journal*, vol. 18, no. 4, pp. 769-783, 1975, doi: 10.5465/255378.
- [28] T Watson and P Noble. *Evaluating Public Relations: A Best Practice Guide to Public Relations Planning, Research and Evaluation*, 2nd ed. Kogan Page, London, 2007.
- [29] Y-L Hsu, C-H Lee and VB Kreng. The application of Fuzzy Delphi Method and Fuzzy AHP in lubricant regenerative technology selection. *Expert Systems with Applications*, vol. 37, no. 1, pp. 419-425, 2010, doi: 10.1016/j.eswa.2009.05.068.

Nhận diện rủi ro doanh thu trong giai đoạn vận hành dự án BOT đường bộ: Phân tích một số trường hợp điển hình tại Việt Nam

Revenue risk identification during the operational phase of road BOT projects: An analysis of selected case studies in Vietnam

> THS NGUYỄN THỊ NGÀ

Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải

Email: ngant84@utt.edu.vn

TÓM TẮT

Doanh thu thu phí quyết định khả năng hoàn vốn và tính khả thi tài chính của dự án BOT đường bộ trong giai đoạn vận hành khai thác. Nghiên cứu nhận diện các yếu tố rủi ro ảnh hưởng đến doanh thu thông qua 5 dự án BOT đang gặp khó khăn về phương án tài chính tại Việt Nam. Phương pháp nghiên cứu trường hợp được kết hợp với phân tích hồ sơ dự án, phương án tài chính, báo cáo doanh thu cùng các văn bản quản lý có liên quan. Kết quả cho thấy 3 nhóm rủi ro chính gồm lưu lượng giao thông, cơ chế thu phí và vị trí trạm thu phí. Sai lệch dự báo, tuyến cạnh tranh và hành vi lựa chọn tuyến làm giảm lưu lượng, trong khi việc chưa thể tổ chức thu phí, chậm điều chỉnh mức thu hoặc giảm phí khiến doanh thu không đạt kế hoạch. Vị trí trạm chưa phù hợp còn làm phát sinh phản ứng và hành vi tránh trạm. Ngoài ra, các sự kiện bất khả kháng có thể làm gia tăng biến động nguồn thu trong những thời kỳ nhất định. Kết quả nghiên cứu cung cấp bằng chứng thực tiễn cho việc cập nhật phương án tài chính và quản lý rủi ro trong quá trình khai thác dự án BOT đường bộ.

Từ khóa: Dự án BOT đường bộ; rủi ro doanh thu; lưu lượng giao thông; cơ chế thu phí; vị trí trạm thu phí.

ABSTRACT

Toll revenue determines the capital recovery capacity and financial viability of road BOT projects during the operation phase. This study identifies revenue-related risk factors through five BOT projects experiencing difficulties with their financial plans in Vietnam. A case study approach is combined with the analysis of project documents, financial plans, revenue reports and relevant regulatory documents. The findings indicate three main groups of risks: Traffic volume, tolling mechanisms and toll plaza locations. Forecasting errors, competing routes and route-choice behaviour reduce traffic volumes, while the inability to commence toll collection, delayed toll adjustments or toll reductions cause actual revenue to fall below projections. Inappropriate toll plaza locations may also trigger opposition from road users and encourage toll avoidance. In addition, force majeure events may increase revenue volatility during certain periods. The study provides empirical evidence to support financial plan updates and risk management during the operation of road BOT projects.

Keywords: Road BOT projects; revenue risk; traffic volume; tolling mechanisms; toll plaza locations.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hợp đồng Xây dựng - Kinh doanh - Chuyển giao (BOT) là một phương thức huy động nguồn lực ngoài ngân sách để phát triển kết cấu hạ tầng giao thông. Trước khi Luật Đầu tư theo phương thức đối tác công - tư ban hành năm 2020, Việt Nam đã huy động khoảng 318.857 tỷ đồng để thực hiện 140 dự án BOT [1]. Tuy nhiên, một số dự án sau khi đưa vào sử dụng không đạt doanh thu dự kiến, gây khó khăn cho hoàn vốn, trả nợ và duy trì tính khả thi của phương án tài chính.

Trong giai đoạn vận hành, doanh thu phụ thuộc đồng thời vào lưu lượng, loại phương tiện, mức phí và khả năng thực hiện phương

án thu phí. Tuyến cạnh tranh, thay đổi của mạng lưới, hành vi lựa chọn tuyến, chậm điều chỉnh mức thu phí hoặc vị trí trạm chưa phù hợp đều có thể làm dòng tiền sai lệch so với dự báo. Bên cạnh đó, các sự kiện bất thường nằm ngoài khả năng kiểm soát của các bên tham gia cũng có thể làm gián đoạn hoạt động khai thác và gia tăng biến động nguồn thu. Khi doanh thu thấp kéo dài, dự án khó đáp ứng nghĩa vụ trả nợ và chi phí vận hành, từ đó phát sinh yêu cầu điều chỉnh hợp đồng hoặc xử lý phương án tài chính.

Các nghiên cứu trước đã tiếp cận rủi ro trong dự án PPP và BOT theo nhiều hướng, bao gồm nhận diện, phân loại, phân bổ

và đánh giá ảnh hưởng đến tính khả thi tài chính [2-8]. Rủi ro về nhu cầu giao thông và doanh thu cũng được xác định là những yếu tố quan trọng trong giai đoạn khai thác [4, 5, 7]. Tuy nhiên, bằng chứng dựa trên việc đối chiếu phương án tài chính với kết quả vận hành thực tế của các dự án BOT đường bộ tại Việt Nam còn chưa được trình bày đầy đủ. Đặc biệt, mối liên hệ giữa lưu lượng giao thông, cơ chế thu phí và vị trí trạm cần được xem xét trong cùng một khung phân tích.

Trên cơ sở đó, nghiên cứu lựa chọn 5 dự án BOT đường bộ đang gặp khó khăn về doanh thu hoặc phương án tài chính để nhận diện các nhóm rủi ro chủ yếu và phân tích cơ chế tác động của chúng đến nguồn thu. Kết quả nghiên cứu cung cấp thêm bằng chứng thực tiễn cho việc đánh giá rủi ro, cập nhật phương án tài chính và quản lý dự án BOT đường bộ trong giai đoạn vận hành khai thác.

2. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU VỀ RỦI RO TRONG CÁC DỰ ÁN BOT

Rủi ro trong dự án PPP và BOT đã được nghiên cứu trên các phương diện nhận diện, phân loại, đánh giá, phân bổ và quản lý trong suốt vòng đời dự án. Các nghiên cứu nền tảng nhấn mạnh sự cần thiết phải xác định nguồn phát sinh, khả năng xảy ra, mức độ tác động và chủ thể có khả năng kiểm soát rủi ro tốt nhất [9, 10]. Trong lĩnh vực hạ tầng giao thông, việc phân bổ hợp lý rủi ro giữa Nhà nước, nhà đầu tư và các bên liên quan được xem là điều kiện quan trọng để bảo đảm kết quả thực hiện và tính bền vững tài chính của dự án [2, 10].

Đối với dự án BOT giao thông tại Việt Nam, các nghiên cứu đã nhận diện nhiều nhóm rủi ro liên quan đến thể chế, tài chính, xây dựng, nhu cầu giao thông, doanh thu và quá trình vận hành [2-10]. Trong đó, sai lệch dự báo lưu lượng, biến động nhu cầu, mức thu phí, hành vi lựa chọn tuyến và khả năng hoàn vốn được xác định là những vấn đề có ảnh hưởng trực tiếp đến kết quả tài chính. Các hướng nghiên cứu chính được tổng hợp tại Bảng 1.

Bảng 1. Tổng hợp các hướng nghiên cứu về rủi ro trong dự án PPP và BOT

Hướng nghiên cứu	Nội dung chủ yếu	Tài liệu tiêu biểu
Cơ sở lý luận và quản lý rủi ro	Nhận diện, phân tích, đánh giá, quản lý và phân bổ rủi ro giữa các bên tham gia dự án	[2, 9, 10]
Nhận diện và phân loại rủi ro trong PPP/BOT	Xác định và phân nhóm rủi ro theo nguồn phát sinh, lĩnh vực ảnh hưởng và các giai đoạn của dự án	[2-5, 10]
Rủi ro ảnh hưởng đến tính khả thi tài chính và doanh thu	Phân tích rủi ro về nhu cầu, doanh thu, chi phí, khả năng hoàn vốn và tác động đến các chỉ tiêu tài chính	[4-7]
Rủi ro trong giai đoạn vận hành khai thác	Xem xét sai lệch lưu lượng và doanh thu, cạnh tranh tuyến, hành vi lựa chọn tuyến, mức phí và hoạt động thu phí	[4-8]

Nguồn: Tác giả tổng hợp từ các tài liệu tham khảo.

Kết quả tổng quan cho thấy rủi ro nhu cầu và doanh thu đã được đề cập trong nhiều nghiên cứu về dự án BOT. Tuy nhiên, phần lớn các công trình tập trung nhận diện, xếp hạng hoặc đánh giá rủi ro trong phạm vi toàn bộ vòng đời dự án. Bằng chứng từ việc đối chiếu phương án tài chính với kết quả vận hành thực tế của những dự án đang gặp khó khăn về doanh thu tại Việt Nam còn chưa đầy đủ. Đồng thời, lưu lượng giao thông, cơ chế thu phí và vị trí trạm thường được xem xét riêng lẻ, trong khi các yếu tố này có thể tương tác và cùng làm thay đổi nguồn thu.

Nghiên cứu sử dụng dữ liệu của 5 dự án BOT để làm rõ mối liên hệ giữa điều kiện khai thác, tổ chức thu phí và sai lệch doanh thu so với phương án tài chính.

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Bài báo kết hợp phương pháp nghiên cứu trường hợp với phân tích tài liệu nhằm nhận diện rủi ro doanh thu trong vận hành dự án BOT đường bộ. Dữ liệu gồm hồ sơ và phương án tài chính của dự án, hợp đồng, báo cáo doanh thu, văn bản quản lý. Số liệu thứ cấp của các dự án chủ yếu được chốt đến tháng 10/2022 trong Báo cáo số 1348/CĐBVN-KHĐT và các phụ lục; thông tin tổng hợp, phương án xử lý được đối chiếu với Tờ trình số 5671/TTr-BGTVT [1, 11]. Các nguồn được kiểm tra chéo trước khi phân tích.

Năm dự án được lựa chọn theo phương pháp chọn mẫu có chủ đích, dựa trên ba tiêu chí: (i) Công trình đã hoàn thành và được đưa vào khai thác; (ii) phát sinh khó khăn về doanh thu hoặc phương án tài chính; (iii) có đủ thông tin để đối chiếu giữa phương án ban đầu với kết quả thực hiện. Các trường hợp được lựa chọn thể hiện những dạng khó khăn khác nhau, bao gồm chưa thể tổ chức thu phí, doanh thu suy giảm và lưu lượng thực tế thấp hơn dự báo. Đặc điểm của các dự án được trình bày tại Bảng 2.

Bảng 2. Đặc điểm các trường hợp nghiên cứu

TT	Dự án BOT	Quy mô (km)	Tổng mức đầu tư (tỷ đồng)	Khó khăn chính
1	Tuyến tránh phía Tây TP Thanh Hóa	6,0	1.014	Chưa tổ chức thu phí
2	Nâng cấp, mở rộng đường Hồ Chí Minh đoạn qua tỉnh Đắk Lắk	25,5	836	Doanh thu giảm
3	Cầu Việt Trì - Ba Vì nối QL32 với QL32C	30	1.463	Lưu lượng thấp
4	Cầu Thái Hà	5,3	1.709	Doanh thu thấp
5	Cải tạo, nâng cấp QL3 kết hợp xây dựng mới đường Thái Nguyên - Chợ Mới	40,3 km tuyến mới; 25 km QL3	2.301	Chưa thu phí theo phương án

Nguồn: Tác giả tổng hợp từ hồ sơ Dự án và phụ lục dự án [1, 11].

Quá trình phân tích được thực hiện qua 4 bước. Thứ nhất, tài liệu của từng dự án được hệ thống hóa theo phương án thu phí, doanh thu dự kiến, kết quả thực hiện và khó khăn phát sinh. Thứ hai, các giả định trong phương án tài chính được đối chiếu với tình hình khai thác để xác định nguyên nhân sai lệch doanh thu. Thứ ba, các nguyên nhân có biểu hiện tương đồng được tổng hợp thành ba nhóm: Lưu lượng giao thông, cơ chế thu phí và vị trí trạm thu phí. Việc phân nhóm dựa trên cơ chế tác động trực tiếp đến doanh thu; yếu tố liên quan đến nhiều nhóm được xếp theo cơ chế nổi trội và kiểm tra chéo giữa các nguồn hồ sơ. Cuối cùng, nghiên cứu so sánh các trường hợp để xác định biểu hiện chung, đặc điểm riêng và mối liên hệ giữa các nhóm. Sự kiện bất khả kháng được xem xét như yếu tố bổ sung do dữ liệu định lượng còn hạn chế.

4. KẾT QUẢ PHÂN TÍCH VÀ THẢO LUẬN

4.1. Nhận diện các nhóm yếu tố rủi ro

Việc đối chiếu phương án tài chính với tình hình vận hành thực tế của 5 dự án cho thấy doanh thu chịu ảnh hưởng chủ yếu bởi 3 nhóm rủi ro: Lưu lượng giao thông, cơ chế thu phí và vị trí trạm thu phí. Các nhóm này không hoàn toàn độc lập mà có thể tác động

đồng thời tạo thành chuỗi nguyên nhân dẫn đến suy giảm nguồn thu. Kết quả tổng hợp được trình bày tại Bảng 3.

Bảng 3. Các nhóm yếu tố rủi ro tại những dự án được nghiên cứu

Nhóm yếu tố rủi ro	Biểu hiện của rủi ro	Các trường hợp nghiên cứu
Lưu lượng giao thông	Lưu lượng thực tế thấp hơn dự báo; xuất hiện tuyến cạnh tranh hoặc tuyến thay thế; phương tiện chuyển sang tuyến khác	Đắc Lắc; cầu Việt Trì - Ba Vi; cầu Thái Hà; Thái Nguyên - Chợ Mới
Cơ chế thu phí	Chưa thể tổ chức thu phí theo phương án; chậm điều chỉnh mức thu; áp dụng chính sách giảm phí	Tuyến tránh phía Tây TP Thanh Hóa; Đắc Lắc; cầu Việt Trì - Ba Vi; cầu Thái Hà; Thái Nguyên - Chợ Mới
Vị trí trạm thu phí	Vị trí trạm chưa phù hợp với phạm vi hưởng lợi hoặc điều kiện khai thác, làm phát sinh phản ứng của người sử dụng	Tuyến tránh phía Tây TP Thanh Hóa; Thái Nguyên - Chợ Mới

Nguồn: Tác giả tổng hợp từ hồ sơ Đề án và phụ lục dự án [1, 11].

Rủi ro lưu lượng xuất hiện phổ biến nhất, phản ánh tác động của mạng lưới và hành vi lựa chọn tuyến. Vị trí trạm và điều kiện mạng lưới tác động đến hành vi lựa chọn tuyến, lưu lượng qua trạm, trong khi cơ chế thu phí quyết định khả năng tổ chức, mức thu và thời điểm điều chỉnh mức thu. Ba nhóm có thể đồng thời làm giảm nguồn thu; bất khả kháng được xem là yếu tố bổ sung do chưa đủ dữ liệu đánh giá riêng.

4.2. Rủi ro về lưu lượng giao thông

Lưu lượng phương tiện là cơ sở trực tiếp hình thành doanh thu thu phí. Khi lưu lượng thực tế thấp hơn dự báo, dự án có thể không bảo đảm nguồn thu để hoàn vốn, trả nợ và trang trải chi phí vận hành. Kết quả đối chiếu tại bốn dự án được trình bày ở Bảng 4.

Bảng 4. Rủi ro về lưu lượng giao thông tại các trường hợp nghiên cứu

Dự án	Biểu hiện của rủi ro	Ảnh hưởng đến doanh thu
Đường Hồ Chí Minh đoạn qua tỉnh Đắc Lắc	Tuyến tránh phía Tây Buôn Hồ miễn phí hoạt động từ tháng 12/2020 làm các phương tiện chuyển hướng	Doanh thu năm 2020 đạt khoảng 50% và năm 2021 đạt khoảng 40% phương án tài chính hợp đồng
Cầu Việt Trì - Ba Vi	Xuất hiện các tuyến đường mới như Đường tỉnh 316B, 317, nút IC7 và miễn phí xe đến 9 chỗ qua cầu Việt Trì cũ	Doanh thu bình quân đạt khoảng 37% so với hợp đồng; từ năm 2019 đến thời điểm lập Đề án chỉ đạt khoảng 20 - 27%
Cầu Thái Hà	Tuyến kết nối chậm hoàn thành; lưu lượng phân chia sang cầu Hưng Hà không thu phí	Từ 03/02/2019 đến thời điểm báo cáo, doanh thu bình quân đạt khoảng 12% phương án tài chính hợp đồng
Cải tạo, nâng cấp QL3 kết hợp xây dựng mới đường Thái Nguyên - Chợ Mới	Không thể thu phí tại trạm trên QL3; phương tiện sử dụng QL3 cũ để tránh trạm	Doanh thu chỉ đạt khoảng 16% so với hợp đồng

Nguồn: Tác giả tổng hợp từ hồ sơ Đề án và phụ lục dự án [1, 11]

(do khác biệt về thời điểm vận hành và chế độ báo cáo, tỷ lệ doanh thu được sử dụng theo kỳ dữ liệu sẵn có của từng dự án, không dùng để xếp hạng trực tiếp giữa các trường hợp).

Kết quả tại Bảng 4 cho thấy rủi ro lưu lượng xuất hiện ở phần lớn các trường hợp nghiên cứu, nhưng nguyên nhân không hoàn toàn giống nhau. Bên cạnh sai lệch giữa dự báo và thực tế, sự hình thành

tuyến cạnh tranh, thay đổi mạng lưới giao thông và việc phương tiện lựa chọn tuyến khác làm phân tán dòng xe qua trạm. Trường hợp dự án Thái Nguyên - Chợ Mới còn cho thấy vị trí và phương án tổ chức thu phí có thể thúc đẩy hành vi tránh trạm, làm giảm nguồn thu dự kiến.

Do đó, dự báo cần được cập nhật theo kịch bản mạng lưới, tiến độ kết nối, mức phí tương đối và hành vi của từng nhóm phương tiện.

4.3. Rủi ro về cơ chế thu phí

Cơ chế thu phí tác động đến khả năng tạo nguồn thu theo phương án tài chính thông qua việc tổ chức thu phí, mức thu phí và lộ trình điều chỉnh. Khi các nội dung này thay đổi hoặc không được thực hiện như dự kiến, doanh thu thực tế có thể thấp hơn kế hoạch. Kết quả phân tích được trình bày tại Bảng 5.

Bảng 5. Rủi ro về cơ chế thu phí tại các trường hợp nghiên cứu

Dự án	Biểu hiện của rủi ro	Ảnh hưởng đến doanh thu
Tuyến tránh phía Tây TP Thanh Hóa	Chưa thể thu phí từ khi khai thác năm 2019 đến thời điểm nghiên cứu; không thể triển khai lộ trình tăng mức thu phí	Không hình thành nguồn thu theo phương án tài chính
Đường Hồ Chí Minh đoạn qua tỉnh Đắc Lắc	Duy trì mức thu phí cơ bản; không tăng phí để hạn chế chuyển tuyến; lộ trình 3 năm tăng 18% chưa được thực hiện từ năm 2022 đến nay	Doanh thu thấp hơn phương án tài chính ban đầu
Cầu Việt Trì - Ba Vi	Giữ nguyên mức phí khi lưu lượng phân tán; chưa thực hiện lộ trình tăng phí trong bối cảnh doanh thu thấp	Doanh thu không được cải thiện trong bối cảnh lưu lượng phân tán
Cầu Thái Hà	Thí điểm giảm phí xe loại 3 - 5 trong 3 tháng từ 4/2022 để thu hút lưu lượng xe nhưng không đạt kỳ vọng	Biện pháp giảm phí không thu hút được lưu lượng như kỳ vọng; doanh thu vẫn ở mức thấp
Cải tạo, nâng cấp QL3 kết hợp xây dựng mới đường Thái Nguyên - Chợ Mới	Giảm 50 - 100% cho phương tiện thuộc địa phương; giảm 30% cho các phương tiện khác; chưa thể tăng phí và trạm QL3 chưa thu phí	Nguồn thu giảm do miễn, giảm phí; nguồn thu tại trạm QL3 chưa hình thành

Nguồn: Tác giả tổng hợp từ hồ sơ Đề án và phụ lục dự án [1, 11].

Kết quả tại Bảng 5 cho thấy rủi ro chủ yếu phát sinh từ việc chưa thể tổ chức thu phí theo phương án ban đầu, chậm điều chỉnh mức thu hoặc áp dụng chính sách giảm phí trong quá trình khai thác. Đối với tuyến tránh phía Tây TP Thanh Hóa và dự án Thái Nguyên - Chợ Mới, việc chưa thực hiện thu phí theo phương án dự kiến ảnh hưởng trực tiếp đến nguồn thu. Các trường hợp còn lại, việc điều chỉnh chính sách thu phí làm thay đổi doanh thu so với các giả định ban đầu.

Phương án tài chính cần căn cứ kịch bản về thời điểm điều chỉnh, phạm vi miễn giảm và độ nhạy của nhu cầu theo phí; hợp đồng cần quy định trình tự rà soát khi chính sách thay đổi.

4.4. Rủi ro về vị trí trạm thu phí

Vị trí trạm thu phí có liên quan trực tiếp đến phạm vi thu phí và khả năng chấp nhận của người sử dụng. Việc bố trí trạm chưa phù hợp với phạm vi hưởng lợi hoặc điều kiện khai thác có thể làm phát

sinh phản ứng của người dân, hành vi tránh trạm và ảnh hưởng đến nguồn thu của dự án. Kết quả phân tích được trình bày tại Bảng 6.

Bảng 6. Rủi ro liên quan đến vị trí trạm thu phí tại các trường hợp nghiên cứu

Dự án	Biểu hiện của rủi ro	Ảnh hưởng đến doanh thu
Tuyến tránh phía Tây TP Thanh Hóa	Không có trạm riêng, hoàn vốn qua trạm Bim Sơn trên tuyến phía Đông	Phản đối của người dân do không đi tuyến đầu tư vẫn phải trả phí; chưa tạo được nguồn thu
Cải tạo, nâng cấp QL3 kết hợp xây dựng mới đường Thái Nguyên - Chợ Mới	Trạm QL3 gần điểm giao QL37, xe đi đoạn ngắn vẫn phải trả phí	Phát sinh phản ứng của người dân, không thể thu phí tại trạm QL3 dẫn đến doanh thu chỉ đạt khoảng 16%

Nguồn: Tác giả tổng hợp từ hồ sơ Đề án và phụ lục dự án [1, 11].

Kết quả trên cho thấy bất cập về vị trí trạm có thể ảnh hưởng đến doanh thu thông qua phản ứng của người sử dụng, hành vi tránh trạm và khả năng tổ chức thu phí. Tại tuyến tránh phía Tây TP Thanh Hóa và dự án Thái Nguyên - Chợ Mới, vị trí trạm gần với phạm vi hưởng lợi chưa phù hợp, dẫn đến việc chưa thể thu phí theo phương án ban đầu.

Vị trí trạm cần được đánh giá trên toàn mạng lưới, xét đến phạm vi hưởng lợi, đường nhánh, tuyến thay thế, khu dân cư chịu tác động và mức phí tương ứng.

4.5. Ảnh hưởng bổ sung của các sự kiện bất khả kháng

Hồ sơ nghiên cứu cho thấy các sự kiện bất khả kháng như dịch bệnh, thiên tai hoặc biến cố làm gián đoạn giao thông có thể gia tăng biến động doanh thu, nhưng dữ liệu hiện có chưa đủ để tách riêng mức độ ảnh hưởng tại từng dự án. Trong giai đoạn 2020 - 2021, đại dịch Covid-19 và các biện pháp hạn chế đi lại làm nhu cầu vận tải suy giảm trong một số thời kỳ; bão và mưa lũ cũng có thể làm gián đoạn giao thông, giảm lưu lượng phương tiện.

Phương án tài chính cần xem xét các kịch bản gián đoạn, ngưỡng ra soát và nguyên tắc chia sẻ hậu quả khi xảy ra bất khả kháng.

4.6. Thảo luận

Kết quả phù hợp với các nghiên cứu trước về vai trò của rủi ro lưu lượng đối với doanh thu và tính khả thi tài chính [4, 5, 7]. Điểm bổ sung của nghiên cứu không chỉ là nhận diện từng rủi ro mà còn chỉ ra chuỗi tác động giữa mạng lưới giao thông, vị trí trạm, khả năng thực hiện cơ chế thu phí và sai lệch doanh thu trong giai đoạn vận hành. Vị trí trạm chưa phù hợp có thể dẫn đến hành vi tránh trạm; giảm phí chưa chắc thu hút đủ xe nếu kết nối chưa hoàn chỉnh; tuyến miễn phí mới có thể làm lộ trình tăng phí khó thực hiện.

Kết quả cũng phù hợp với đánh giá tổng thể trong hồ sơ Đề án năm 2024. Trong 140 dự án BOT được triển khai trước khi Luật PPP ban hành, cơ quan quản lý xác định 11 dự án cần giải pháp vượt thẩm quyền của cơ quan ký kết hợp đồng; các vướng mắc gồm chính sách phí, trạm thu phí và sụt giảm doanh thu [1]. Đến năm 2026, danh mục 11 dự án vẫn được cơ quan quản lý xác nhận khi xây dựng khuôn khổ xử lý theo quy định mới [13]. Điều này cho thấy các biểu hiện quan sát tại 5 trường hợp nghiên cứu không chỉ là vấn đề riêng lẻ, nhưng kết quả không đại diện cho toàn bộ 140 dự án.

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu 5 dự án cho thấy khó khăn về doanh thu trong thời kỳ khai thác tập trung ở sai lệch lưu lượng, thay đổi cơ chế thu phí và vị trí trạm. Các yếu tố có thể xuất hiện đồng thời, làm nguồn thu

thực tế khác với dự kiến và ảnh hưởng đến khả năng thực hiện phương án tài chính. Bên cạnh đó, các sự kiện bất khả kháng cũng làm tăng biến động trong một số thời kỳ nhưng cần được lượng hóa riêng trước khi xác định trách nhiệm chia sẻ.

Việc cập nhật phương án tài chính cần chú trọng chất lượng dự báo, khả năng thực hiện cơ chế thu phí và sự phù hợp của vị trí trạm với mạng lưới, phạm vi hưởng lợi. Khi dự án gặp khó khăn, cần lượng hóa nguyên nhân và trách nhiệm của từng bên. Nghị định số 122/2026/NĐ-CP quy định xử lý giảm doanh thu đối với dự án BOT đường bộ có hợp đồng ký trước ngày 01/01/2021, đồng thời quy định điều kiện chi trả và nguyên tắc xác định chi phí bồi thường khi chấm dứt hợp đồng trước thời hạn [12]. Việc lựa chọn giải pháp cần tuân thủ điều kiện, trình tự và cơ chế chia sẻ trách nhiệm hiện hành. Do nghiên cứu chỉ gồm 5 trường hợp và sử dụng dữ liệu thứ cấp, nghiên cứu tiếp theo có thể mở rộng mẫu và định lượng ảnh hưởng của từng rủi ro đến doanh thu, chỉ tiêu tài chính.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bộ Giao thông vận tải. Tờ trình số 5671/TTr-BGTVT về Đề án xử lý khó khăn, vướng mắc tại một số dự án BOT giao thông, Hà Nội, 28/5/2024.
- [2] Thân Thanh Sơn. Nghiên cứu phân bổ rủi ro trong hình thức hợp tác công tư phát triển cơ sở hạ tầng giao thông đường bộ Việt Nam. Luận án Tiến sĩ, Trường Đại học Giao thông vận tải, Hà Nội, 2015.
- [3] N. T. Toan and K. Ozawa. Stakeholders' perception on risks of BOT infrastructure projects in Vietnam. Proc. CIB W107 Construction in Developing Countries International Symposium, Port of Spain, Trinidad and Tobago, Jan. 16-18, 2008.
- [4] A. Nguyen, A. Mollik and Y.-Y. Chih. Managing critical risks affecting the financial viability of public-private partnership projects: Case study of toll road projects in Vietnam. Journal of Construction Engineering and Management, vol. 144, no. 12, Art. no. 05018014, 2018, doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001571.
- [5] P. T. Le, N. Chileshe, K. Kiriopoulou and R. Rameezdeen. Investigating the significance of risks in BOT transportation projects in Vietnam. Engineering, Construction and Architectural Management, vol. 27, no. 6, pp. 1401-1425, 2020, doi: 10.1108/ECAM-08-2019-0439.
- [6] Phạm Minh Hưng, Phạm Thành An, Đỗ Tiến Sỹ và Nguyễn Thanh Việt. Phân tích và đánh giá rủi ro trong các dự án đối tác công tư (DA PPP) sử dụng phương pháp mô phỏng Monte Carlo. Tạp chí Xây dựng và Đô thị, số 88, tr. 74-77, 2023.
- [7] T. M. T. Truong and N. T. Nguyen. Traffic revenue risk identification and assessment in build-operate-transfer transport projects in Vietnam. CIGOS 2021, Emerging Technologies and Applications for Green Infrastructure, Lecture Notes in Civil Engineering, vol. 203, Springer, Singapore, pp. 1563-1572, 2022, doi: 10.1007/978-981-16-7160-9_158.
- [8] Nguyễn Thị Hương, Trần Thị Thơm và Nguyễn Hoàng Tùng. Nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến việc hình thành giá thu phí dịch vụ tại các dự án BOT tại Việt Nam trên góc độ người sử dụng. Tạp chí Giao thông vận tải, tr. 178-182, số tháng 6, 2022.
- [9] A. S. Akintoye and M. J. MacLeod. Risk analysis and management in construction. International Journal of Project Management, vol. 15, no. 1, pp. 31-38, 1997, doi: 10.1016/S0263-7863(96)00035-X.
- [10] Y. Ke, S. Wang, A. P. C. Chan and E. Cheung. Understanding the risks in China's PPP projects: Ranking of their probability and consequence. Engineering, Construction and Architectural Management, vol. 18, no. 5, pp. 481-496, 2011, doi: 10.1108/09699981111165176.
- [11] Cục Đường bộ Việt Nam. Báo cáo số 1348/CĐBVN-KHĐT về giải pháp xử lý vướng mắc, bất cập tại một số dự án BOT, Hà Nội, 25/11/2022, kèm các phụ lục dự án.
- [12] Chính phủ. Nghị định số 122/2026/NĐ-CP quy định chi tiết về việc xử lý vướng mắc của dự án BOT giao thông, 03/4/2026. Internet: <https://vanban.chinhphu.vn/?classid=1&docid=217520&pageid=27160&typegroupid=4> (truy cập: tháng 8/2026).
- [13] Bộ Xây dựng. Thông cáo báo chí đối với Nghị định số 122/2026/NĐ-CP ngày 03/4/2026 của Chính phủ quy định chi tiết về việc xử lý vướng mắc của dự án BOT giao thông. 21/4/2026. Internet: <https://moc.gov.vn/vn/tin-tuc/1176/93547/> (truy cập: tháng 8/2026).

Hoàn thiện cơ chế quản lý tài chính đối với dịch vụ sự nghiệp công bảo đảm an toàn hàng hải

Improving the financial management mechanism for public maritime safety assurance services

> THS.NCS NGUYỄN THỊ THÁI

Bộ Xây dựng

Email: thainguyen741985@gmail.com

TÓM TẮT

Bài báo phân tích cơ chế quản lý tài chính đối với 3 nhóm dịch vụ sự nghiệp công bảo đảm an toàn hàng hải sử dụng kinh phí chi thường xuyên ngân sách nhà nước. Phương pháp nghiên cứu gồm phân tích tài liệu, chính sách và so sánh các tỷ lệ chi phí tổng hợp giai đoạn 2021 - 2025. Kết quả mô tả cho thấy nhóm khảo sát định kỳ có tỷ lệ chi phí sản xuất chung trên tiền lương trực tiếp cao hơn, nhưng tỷ lệ chi phí quản lý thấp hơn 2 nhóm vận hành, bảo trì bảo hiệu. Vì cả 3 nhóm cùng phân bổ chi phí gián tiếp trên một tiêu thức duy nhất là tiền lương lao động trực tiếp, trong khi cơ cấu sử dụng lao động và phương tiện giữa các nhóm khác nhau, các tỷ lệ này không so sánh trực tiếp được với nhau và không thể diễn giải thành chênh lệch về hiệu quả chi phí. Số liệu dạng khoảng chưa cho phép xác định nguyên nhân chênh lệch hoặc đánh giá hiệu quả chi phí. Bài báo đề xuất làm rõ căn cứ phân bổ chi phí gián tiếp và lợi nhuận dự kiến, cụ thể hóa yêu cầu chất lượng trong hợp đồng, đồng thời chuẩn hóa dữ liệu phục vụ thẩm định giá và rà soát định mức.

Từ khóa: Bảo đảm an toàn hàng hải; dịch vụ sự nghiệp công; đặt hàng dịch vụ công; định mức chi phí; tiêu thức phân bổ chi phí gián tiếp.

ABSTRACT

This paper examines financial management for three groups of public maritime safety services funded by recurrent state budget expenditure. It combines document and policy analysis with comparison of aggregate cost ratios for 2021 - 2025. Descriptive results indicate that periodic hydrographic surveying has a higher overhead-to-direct-wage ratio but a lower administrative expense ratio than the two aids-to-navigation operation and maintenance groups. Because all three groups allocate indirect costs on a single base - direct wages - while differing in their mix of labour and equipment, these ratios are not directly comparable across groups and cannot be read as differences in cost efficiency. The reported ranges do not establish the causes of these differences or permit assessment of cost efficiency. The paper proposes clarifying the basis for allocating indirect costs and determining expected profit, specifying service quality requirements in contracts and standardizing data for price appraisal and periodic review of cost norms.

Keywords: Maritime safety assurance; public services; public service commissioning; cost norms; indirect cost allocation base.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bảo đảm an toàn hàng hải là điều kiện nền tảng để khai thác cảng biển, luồng hàng hải và vận tải biển an toàn, thông suốt. Hệ thống đèn biển, đăng tiêu, báo hiệu trên luồng cần được duy trì ổn định; các khu vực thuộc phạm vi dịch vụ phải được khảo sát định kỳ để cung cấp thông tin hàng hải. Hoạt động liên tục, phân tán và sử dụng tài sản chuyên dùng đặt ra yêu cầu kết hợp quản lý kỹ thuật với bảo đảm nguồn tài chính.

Trong phạm vi bài báo, đối tượng nghiên cứu là các dịch vụ sự nghiệp công bảo đảm an toàn hàng hải được cung cấp theo phương thức đặt hàng, sử dụng kinh phí ngân sách nhà nước từ nguồn kinh phí chi thường xuyên. Nghị định số 32/2019/NĐ-CP quy định khuôn khổ giao nhiệm vụ, đặt hàng hoặc đấu thầu cung cấp sản phẩm, dịch vụ công [1]. Đối với các dịch vụ đặt hàng được xem xét, việc xác định nhiệm vụ, giá, chất lượng

nghiệm thu và điều kiện thanh toán cần bảo đảm đồng thời tính liên tục của hoạt động cung ứng và hiệu quả sử dụng ngân sách.

Thông tư số 37/2021/TT-BGTVT đã hướng dẫn kết cấu và phương pháp xác định giá đối với các dịch vụ này [2]. Từ ngày 01/7/2024, Luật Giá năm 2023 và Thông tư số 45/2024/TT-BTC tạo căn cứ chung cho hoạt động định giá [3, 4]. Thông tư số 37/2021/TT-BGTVT được bãi bỏ từ ngày 01/3/2026 theo Thông tư số 65/2025/TT-BXD [5]. Như vậy, trong khoảng hai mươi tháng kể từ khi Luật Giá năm 2023 có hiệu lực, hướng dẫn giá chuyên ngành và phương pháp định giá chung cùng tồn tại; phần lớn số liệu quyết toán được phân tích trong bài thuộc khoảng thời gian này. Sự thay đổi này đặt ra yêu cầu làm rõ cách vận dụng phương pháp định giá chung vào các khoản chi đặc thù của hoạt động bảo đảm an toàn hàng hải.

Bài báo xem xét cách kết nối căn cứ tính giá với trách nhiệm cung ứng khi nguồn lực và khả năng đo lường chất lượng khác nhau giữa các nhóm dịch vụ. Nghiên cứu tập trung vào cơ sở xác định chi phí, khả năng kiểm chứng dữ liệu và quan hệ giữa nghiệm thu với thanh toán. Đóng góp là làm rõ yêu cầu phân tích chi phí theo nhóm dịch vụ và đề xuất hướng hoàn thiện cơ chế tài chính gắn với chất lượng đầu ra. Cụ thể, nghiên cứu chỉ ra giới hạn của việc áp dụng một tiêu thức phân bổ chi phí gián tiếp duy nhất cho các nhóm dịch vụ có cơ cấu nguồn lực khác nhau, từ đó xác định những nội dung cần kiểm chứng trước khi sử dụng các tỷ lệ tổng hợp làm căn cứ xây dựng định mức.

2. CƠ SỞ PHÂN TÍCH VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Tổng quan nghiên cứu

Robinson và Last nhấn mạnh các điều kiện về thông tin kết quả và năng lực quản lý tài chính khi triển khai ngân sách theo kết quả [6]. OECD đề cao việc sử dụng thông tin kết quả để hỗ trợ quyết định ngân sách, tăng minh bạch và trách nhiệm giải trình [7]. Các cách tiếp cận này gợi ý rằng cải thiện cơ chế tài chính cần đi cùng dữ liệu chi phí và chất lượng có thể kiểm chứng.

Trong nghiên cứu về hợp đồng không đầy đủ, Hart, Shleifer và Vishny phân tích nguy cơ việc giảm chi phí đi kèm suy giảm chất lượng khi chất lượng khó được quy định đầy đủ trong hợp đồng [8]. Brown, Potoski và Van Slyke đặt quản lý hợp đồng dịch vụ công trong quan hệ giữa giá trị công, thể chế và thị trường [9]. Vận dụng vào bảo đảm an toàn hàng hải, cần xem xét căn cứ tính giá cùng điều kiện nghiệm thu và trách nhiệm duy trì dịch vụ.

Về phân bổ chi phí gián tiếp, Kaplan và Anderson chỉ ra rằng khi chi phí gián tiếp được phân bổ theo một tiêu thức duy nhất gắn với lao động, kết quả tính giá thành bị sai lệch đối với những hoạt động sử dụng nhiều thiết bị và đề xuất tiêu thức gắn với thời gian sử dụng nguồn lực [10]. Luận điểm này liên quan trực tiếp đến 3 nhóm dịch vụ được xem xét, vì mức độ sử dụng phương tiện, thiết bị giữa các nhóm khác nhau đáng kể.

Trên cơ sở đó, bài báo tập trung vào yêu cầu lựa chọn tiêu thức phân bổ phù hợp với đặc điểm nguồn lực và gắn thanh toán với chất lượng dịch vụ. Nghiên cứu vận dụng các luận điểm trên vào ba nhóm dịch vụ cụ thể, không giả định rằng một tiêu thức phân bổ hoặc mô hình thanh toán đã được chứng minh là tối ưu.

2.2. Đặc điểm dịch vụ và khung pháp lý

Kết quả cung ứng dịch vụ bảo đảm an toàn hàng hải thể hiện ở trạng thái hoạt động của báo hiệu, chất lượng dữ liệu khảo sát và tính kịp thời của thông tin. Hao phí nguồn lực thay đổi theo phạm vi phục vụ, điều kiện khí tượng - thủy văn, môi trường ăn mòn và mức độ sử dụng phương tiện chuyên dùng. Định mức vì vậy cần tạo chuẩn lập giá, đồng thời phản ánh khác biệt giữa các nhóm dịch vụ.

Khung phân tích gồm ba tiêu chí: Sự phù hợp của cơ sở tính chi phí; khả năng truy xuất, đối chiếu dữ liệu; mức độ gắn kết giữa thanh toán và chất lượng được nghiệm thu. Đây là tiêu chí phân tích của nghiên cứu, không phải bộ tiêu chí pháp lý.

Khung pháp lý được xem xét tại thời điểm ngày 06/9/2026 gồm các quy định về đặt hàng tại Nghị định số 32/2019/NĐ-CP [1]; quản lý giá tại Luật Giá năm 2023 đã được sửa đổi, bổ sung, Nghị định số 85/2024/NĐ-CP và Nghị định số 128/2026/NĐ-CP [3, 11, 12]; phương pháp định giá chung tại Thông tư số 45/2024/TT-BTC [4]; định mức kinh tế - kỹ thuật tại Thông tư số 38/2021/TT-BGTVT [13] và Thông tư số 65/2026/TT-BXD đối với công tác khảo sát đo sâu [18]; tiêu chí chất lượng và nghiệm thu tại Thông tư số 44/2026/TT-BXD [14]. Về thời điểm hiệu lực, Thông tư số 44/2026/TT-BXD có hiệu lực từ ngày 01/9/2026 và thay thế Thông tư số 42/2019/TT-BGTVT [19], còn Thông tư số 65/2026/TT-BXD có hiệu lực từ ngày 01/10/2026, tức là sau thời điểm hoàn thành bài báo. Vì vậy, các

nhận định liên quan đến hai văn bản này mang tính dự báo tác động chính sách. Việc phân tích các quy định đang có hiệu lực phục vụ để xuất chính sách, không dùng để đánh giá hồi tố việc tuân thủ trong giai đoạn 2021 - 2025.

2.3. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu sử dụng phương pháp phân tích tài liệu và chính sách, kết hợp so sánh mô tả số liệu thứ cấp. Tài liệu thực tiễn được dẫn chiếu gồm báo cáo, tờ trình và văn bản góp ý phục vụ xây dựng định mức chi phí [15, 16, 17]. Phạm vi số liệu là các tỷ lệ chi phí và lợi nhuận dự kiến tổng hợp giai đoạn 2021 - 2025 của ba nhóm dịch vụ: Vận hành, bảo trì đèn biển và đăng tiêu độc lập; vận hành, bảo trì báo hiệu hàng hải trên luồng hàng hải công cộng; khảo sát định kỳ phục vụ công bố thông báo hàng hải. Tài liệu dự thảo được sử dụng để nhận diện vấn đề chính sách, không được coi là quy định có hiệu lực.

Đơn vị quan sát là hồ sơ quyết toán hợp đồng đặt hàng theo từng năm và từng nhóm dịch vụ, gồm [NCS điển số lượng] hồ sơ của [NCS điển số lượng] đơn vị cung ứng trong 5 năm. Tỷ lệ được tính cho từng hồ sơ; khoảng trình bày tại Bảng 1 được xác định theo [NCS chọn: Giá trị nhỏ nhất - lớn nhất sau khi loại giá trị ngoại lai/khoảng tứ phân vị Q1-Q3] và làm tròn đến 5 điểm phần trăm phù hợp với phạm vi được phép công bố. Các hồ sơ có khoản chi phát sinh do thiên tai hoặc nhiệm vụ được giao bổ sung được nhận diện riêng và [NCS điển: Loại trừ/giữ lại và nêu rõ ảnh hưởng].

Nghiên cứu đối chiếu văn bản theo từng khâu quản lý, so sánh các tỷ lệ và thảo luận yêu cầu hoàn thiện cơ chế tài chính. Các khoảng tỷ lệ chỉ dùng để mô tả, không phải khoảng tin cậy thống kê hoặc định mức chính thức. Phạm vi dữ liệu tổng hợp chưa cho phép kiểm định quan hệ nhân quả, đo lường hiệu quả chi phí hay xác định tỷ lệ tối ưu.

Các tài liệu [15, 16, 17] là tài liệu phục vụ xây dựng chính sách và được sử dụng với sự chấp thuận của cơ quan quản lý tài liệu. Quan điểm trình bày trong bài báo là quan điểm cá nhân của tác giả, không đại diện cho quan điểm của cơ quan nơi tác giả công tác.

3. THỰC TRẠNG CƠ CHẾ QUẢN LÝ TÀI CHÍNH

3.1. Cơ sở xác định giá và chi phí

Theo phương pháp chi phí tại Thông tư số 45/2024/TT-BTC, việc xác định giá cần dựa trên các khoản chi phí phù hợp và lợi nhuận dự kiến [4]. Để phân tích cơ cấu giá trong bài báo, giá dịch vụ có thể được khái quát như sau:

$$G = Z + LN + T \quad (1)$$

Trong đó: G là giá dịch vụ; Z là giá thành đầy đủ thuộc phạm vi tính giá; LN là lợi nhuận dự kiến; T là khoản thuế phải tính vào giá theo quy định áp dụng (nếu có). Các đại lượng phải được xác định trên cùng đơn vị dịch vụ hoặc cùng khối lượng đặt hàng. Giá thành bao gồm chi phí trực tiếp, chi phí sản xuất chung, chi phí quản lý và các khoản chi hợp lý, hợp lệ khác, bảo đảm không tính trùng. Đối với các tỷ lệ được trình bày tại Bảng 1, quan hệ tính toán được biểu diễn như sau:

$$C_{SXC} = L \times r_{SXC} \quad (2)$$

$$C_{QL} = L \times r_{QL} \quad (3)$$

$$LN = C \times r_{LN} \quad (4)$$

Trong đó: C_{SXC} là chi phí sản xuất chung; C_{QL} là chi phí quản lý; L là tiền lương lao động trực tiếp; C là chi phí làm cơ sở tính lợi nhuận; r_{SXC} , r_{QL} , r_{LN} là các tỷ lệ được chuyển sang dạng thập phân khi tính. C chỉ bằng Z khi hai đại lượng có cùng phạm vi chi phí. Các công thức (2)-(4) mô tả cơ sở tính của Bảng 1, không phải tiêu thức bắt buộc cho mọi dịch vụ. Việc so sánh cần thống nhất phạm vi chi phí và nội hàm tiền lương.

3.2. So sánh tỷ lệ chi phí và lợi nhuận dự kiến

Bảng 1 trình bày các khoảng tỷ lệ theo 3 nhóm dịch vụ trong giai đoạn 2021 - 2025. Đây là tỷ lệ so với cơ sở tính riêng của từng khoản mục, không phải tỷ trọng của khoản mục đó trong tổng giá dịch vụ.

Bảng 1. Khoảng tỷ lệ chi phí và lợi nhuận dự kiến theo nhóm dịch vụ, giai đoạn 2021 - 2025

Khoản mục	Vận hành, bảo trì hệ thống đèn biển, đăng tiêu độc lập	Vận hành, bảo trì hệ thống báo hiệu hàng hải trên luồng hàng hải công cộng	Khảo sát định kỳ phục vụ công bố thông báo hàng hải
Chi phí sản xuất chung	15 - 20%	15 - 20%	40 - 45%
Chi phí quản lý	15 - 20%	20 - 25%	10 - 15%
Lợi nhuận dự kiến	7 - 8%	7 - 8%	5 - 7%

Nguồn: Tổng hợp của tác giả từ hồ sơ quyết toán đặt hàng giai đoạn 2021 - 2025 và các tài liệu [15, 16, 17].

Ghi chú: Chi phí sản xuất chung và chi phí quản lý tính trên chi phí tiền lương của lao động trực tiếp; lợi nhuận dự kiến tính trên tổng chi phí sản xuất, kinh doanh thuộc phạm vi tính giá. Không cộng các tỷ lệ có cơ sở tính khác nhau. Các khoảng tỷ lệ dùng cho phân tích mô tả và không thay thế định mức do cơ quan có thẩm quyền ban hành.

Hai nhóm dịch vụ vận hành, bảo trì hệ thống báo hiệu có cùng khoảng tỷ lệ chi phí sản xuất chung là 15 - 20%, trong khi nhóm khảo sát định kỳ có khoảng 40 - 45%. Ngược lại, tỷ lệ chi phí quản lý của nhóm khảo sát là 10 - 15%, thấp hơn các khoảng 15 - 20% và 20 - 25% của hai nhóm còn lại.

Theo công thức (2), tỷ lệ chi phí sản xuất chung phụ thuộc đồng thời vào chi phí sản xuất chung và tiền lương trực tiếp. Một tỷ lệ cao hơn có thể do tử số lớn hơn, mẫu số nhỏ hơn hoặc cả hai. Bảng 1 chưa cung cấp giá trị tuyệt đối của các đại lượng này nên chưa cho phép xác định nguyên nhân chủ yếu của chênh lệch.

Tuy vậy, từ chính công thức (2) có thể rút ra một hệ quả không cần thêm dữ liệu: Khi 3 nhóm dịch vụ có mức độ sử dụng lao động, phương tiện và thiết bị khác nhau thì mẫu số của các tỷ lệ khác nhau về bản chất, nên các tỷ lệ không so sánh trực tiếp được giữa các nhóm và không thể diễn giải thành chênh lệch về hiệu quả chi phí. Đây là giới hạn của việc áp dụng một tiêu thức phân bổ duy nhất cho những nhóm dịch vụ có cơ cấu nguồn lực khác nhau, chứ không riêng giới hạn của bộ số liệu [10]. Hàm ý rút ra là cần kiểm chứng mức độ phản ánh hao phí nguồn lực của tiêu thức tiền lương trực tiếp cho từng nhóm dịch vụ trước khi sử dụng các tỷ lệ này làm căn cứ thẩm định giá hoặc xây dựng định mức.

Lợi nhuận dự kiến có khoảng 7 - 8% ở hai nhóm vận hành, bảo trì và 5 - 7% ở nhóm khảo sát. Đây là tỷ lệ trên chi phí, không phải doanh thu hoặc vốn. Đánh giá mức độ hợp lý cần kết hợp phạm vi chi phí, quy mô nhiệm vụ và rủi ro cung ứng; các khoảng tỷ lệ chưa phải căn cứ độc lập để ấn định lợi nhuận.

3.3. Những vấn đề đặt ra đối với cơ chế quản lý tài chính

Thứ nhất, cần làm rõ căn cứ phân bổ chi phí gián tiếp. Phương pháp định giá chung và định mức kinh tế - kỹ thuật có chức năng khác nhau [4, 13]; yêu cầu xây dựng định mức chi phí chuyên ngành được đặt ra trong các tài liệu chính sách [15, 16, 17]. Nếu áp dụng tỷ lệ cố định trên tiền lương, chi phí gián tiếp tính vào giá có thể tăng theo lương dù nhu cầu nguồn lực không tăng tương ứng. Vì vậy, cần kiểm tra căn cứ phân bổ và khả năng giải trình. Đây cũng chính là cơ chế làm cho các tỷ lệ tại Bảng 1 không phản ánh trực tiếp nhu cầu nguồn lực của từng nhóm dịch vụ, như đã nêu tại Mục 3.2.

Thứ hai, số liệu dạng khoảng chưa tách được ảnh hưởng của giá đầu vào, khối lượng và tổ chức sản xuất. Bảng 1 thiếu diễn biến từng năm và phân bổ giữa các đơn vị nên chưa đủ phục vụ thẩm định phương án giá cụ thể. Dữ liệu cần được chuẩn hóa theo cùng phạm vi dịch vụ, cách phân loại chi phí và cơ sở tiền lương; các khoản bất thường phải được nhận diện riêng.

Thứ ba, các lớp quy định chưa có hiệu lực đồng thời. Luật Giá năm 2023 có hiệu lực từ ngày 01/7/2024 nhưng hướng dẫn giá chuyên ngành trước đó chỉ hết hiệu lực từ ngày 01/3/2026 [3, 5]; tiêu chí nghiệm thu chất lượng mới có hiệu lực từ ngày 01/9/2026 [14] và định mức khảo sát đo sâu có hiệu lực từ ngày 01/10/2026 [18]. Độ trễ giữa các lớp quy định tạo ra giai đoạn mà cùng một khoản chi có thể được lập luận theo nhiều căn cứ khác nhau, làm giảm tính so sánh của số liệu quyết toán giữa các năm.

Thứ tư, cần cụ thể hóa quan hệ giữa nghiệm thu và thanh toán. Thông tư số 44/2026/TT-BXD quy định tiêu chí và quy trình kiểm tra, đánh giá, nghiệm thu chất lượng [14]. Việc đánh giá tác động tài chính cần thêm hợp đồng, hồ sơ nghiệm thu và kết quả xử lý trường hợp không đạt yêu cầu. Vấn đề đặt ra là thống nhất cách ghi nhận chất lượng, nguồn kiểm chứng và trách nhiệm xử lý trong hợp đồng, bảo đảm thanh toán gắn với dịch vụ được nghiệm thu.

4. GIẢI PHÁP HOÀN THIỆN CƠ CHẾ QUẢN LÝ TÀI CHÍNH

4.1. Hoàn thiện hệ thống định mức và phương pháp xác định chi phí

Cần phân định rõ chức năng của các công cụ: Phương pháp định giá chung xác lập nguyên tắc tính giá; định mức kinh tế - kỹ thuật lượng hóa hao phí; hướng dẫn chi phí làm rõ cơ sở phân bổ; giá cụ thể và hợp đồng xác định nghĩa vụ tài chính. Các nội dung chuyên ngành cần thống nhất với pháp luật về giá và cho phép cập nhật khi điều kiện cung ứng thay đổi.

Hướng dẫn về chi phí cần phân biệt chi phí sản xuất chung, chi phí quản lý và lợi nhuận dự kiến; quy định rõ cơ sở tính tỷ lệ và nguyên tắc không tính trùng. Tỷ lệ đề xuất cần dựa trên dữ liệu đối chiếu được, tách khoản bất thường và kiểm tra mức độ đại diện của mẫu.

Từ giới hạn của tiêu thức phân bổ đơn nhất nêu tại Mục 3.2, có thể tổ chức tính thử chi phí theo các tiêu thức khác nhau cho từng nhóm dịch vụ. Ngoài tiền lương trực tiếp, thời gian sử dụng phương tiện, thiết bị hoặc khối lượng công việc là những tiêu thức cần xem xét tùy khoản chi. Việc lựa chọn phải dựa trên mối liên hệ với nguồn lực tiêu hao và dữ liệu đối chiếu được. Trước khi thay đổi, cần lượng hóa chênh lệch giá thành, đánh giá tác động ngân sách và xác định điều kiện chuyển tiếp; chưa có căn cứ để ấn định một tiêu thức thay thế cho toàn bộ nhóm khảo sát.

Lợi nhuận dự kiến cần nhất quán với phương pháp định giá và phạm vi chi phí. Số liệu tài chính đã kiểm toán hoặc quyết toán là nguồn tham chiếu cần được xem xét cùng điều kiện cung ứng, không tự động chuyển tỷ lệ quá khứ sang phương án giá mới. Hồ sơ phải giải trình cơ sở lựa chọn, tránh tính trùng lợi nhuận và gắn yêu cầu duy trì năng lực cung ứng với trách nhiệm giải trình.

4.2. Tăng cường liên kết giữa đặt hàng, chất lượng và thanh toán

Hợp đồng đặt hàng cần cụ thể hóa tiêu chí chất lượng phù hợp với từng nhóm dịch vụ. Đối với vận hành, bảo trì báo hiệu, có thể sử dụng thời gian hoạt động đạt yêu cầu và thời gian xử lý sự cố; đối với khảo sát, chú trọng mức độ đáp ứng yêu cầu kỹ thuật của dữ liệu và tiến độ bàn giao. Các chỉ tiêu đề xuất phải được đối chiếu với quy định chuyên ngành [14], xác định rõ cách đo, nguồn kiểm chứng và trách nhiệm xác nhận. Nhật ký vận hành, hồ sơ khảo sát và biên bản nghiệm thu cần liên kết với cùng nhiệm vụ đặt hàng.

Chỉ tiêu cần được chọn riêng theo nhiệm vụ trong hợp đồng và khả năng kiểm soát của bên cung ứng. Với nhiệm vụ khảo sát, phải phân biệt trách nhiệm bàn giao dữ liệu với thẩm quyền công bố thông báo hàng hải. Không gán nghĩa vụ tài chính của đơn vị với kết quả nằm ngoài phạm vi trách nhiệm của đơn vị đó.

Trước mắt, cần thực hiện đầy đủ việc thanh toán theo khối lượng, chất lượng được nghiệm thu, giá được phê duyệt và điều kiện hợp đồng. Với định hướng tăng liên kết giữa thanh toán và kết quả, có thể nghiên cứu cơ chế điều chỉnh nghĩa vụ tài chính theo mức độ

đáp ứng yêu cầu, nhưng phải làm rõ căn cứ pháp lý, thẩm quyền và phương pháp xác định trước khi áp dụng. Không nên tự đặt thêm khoản thưởng hoặc khấu trừ ngoài cơ chế được phép. Nếu được bổ sung căn cứ pháp lý, phần giá trị gắn với kết quả cần bắt đầu ở mức hạn chế và chỉ mở rộng khi dữ liệu nghiệm thu đã được số hóa, kiểm chứng qua ít nhất hai chu kỳ đặt hàng, nhằm tránh tạo động cơ cắt giảm những khía cạnh chất lượng chưa đo lường được [8]. Dữ liệu chất lượng trước hết cần phục vụ giám sát và xem xét phương án đặt hàng cho kỳ tiếp theo.

Điều khoản hợp đồng cũng cần phân định rủi ro do đơn vị cung ứng kiểm soát với thiên tai, điều kiện bất thường hoặc nhiệm vụ đột xuất. Việc điều chỉnh nhiệm vụ, kinh phí hay tiến độ phải có căn cứ và được xử lý theo thẩm quyền. Theo cách tiếp cận ngân sách dựa trên thông tin kết quả, dữ liệu chất lượng hỗ trợ quyết định phân bổ nguồn lực nhưng không tạo ra quan hệ tăng, giảm kinh phí một cách máy móc [7]. Đối với bảo đảm an toàn hàng hải, việc xử lý vi phạm chất lượng cần đi cùng biện pháp duy trì dịch vụ liên tục.

4.3. Chuẩn hóa dữ liệu, số hóa và cơ chế rà soát

Cần thống nhất mã dịch vụ, tuyến luồng, tài sản, hoạt động và khoản mục chi phí. Dữ liệu kế toán quản trị của bên cung ứng cần đối chiếu được với hồ sơ giá, nhiệm vụ và kết quả nghiệm thu của bên đặt hàng. Chi phí dùng chung phải được phân bổ theo tiêu thức có thể giải trình để giảm tính chủ quan trong thẩm định.

Số hóa quy trình từ đặt hàng đến quyết toán cần ưu tiên khả năng liên kết hồ sơ. Nhật ký vận hành, dữ liệu khảo sát và biên bản nghiệm thu được gắn với mã nhiệm vụ; hồ sơ chi phí cho phép truy xuất chứng từ và tiêu thức phân bổ. Cách tổ chức này hỗ trợ kiểm tra khoản mục biến động lớn và giảm thời gian đối chiếu.

Định mức cần được rà soát định kỳ và xem xét sớm khi tiền lương, giá đầu vào, cơ cấu nhiệm vụ hoặc công nghệ thay đổi đáng kể. Chu kỳ và ngưỡng rà soát cần dựa trên dữ liệu biến động chi phí, yêu cầu quản lý và thẩm quyền ban hành, tránh ấn định các tỷ lệ chưa được kiểm chứng. Nguyên tắc xác định ngưỡng là: Ngưỡng phải đủ lớn để không phát sinh rà soát liên tục, đồng thời đủ nhỏ để chênh lệch giữa chi phí thực tế và chi phí trong phương án giá không tích lũy qua nhiều năm; cơ sở lượng hóa là mức biến động của những yếu tố đầu vào chiếm tỷ trọng lớn trong giá thành của từng nhóm dịch vụ.

Trước mắt, ưu tiên thống nhất biểu mẫu chi phí, danh mục dịch vụ và hồ sơ nghiệm thu. Cơ quan đặt hàng kiểm tra nhiệm vụ và chất lượng; cơ quan, đơn vị lập và thẩm định phương án giá thực hiện theo thẩm quyền; bên cung ứng chịu trách nhiệm về hồ sơ chi phí. Sau khi dữ liệu thống nhất mới mở rộng tích hợp phục vụ giám sát.

5. KẾT LUẬN

Hoàn thiện cơ chế quản lý tài chính đối với dịch vụ sự nghiệp công bảo đảm an toàn hàng hải cần kết nối căn cứ xác định giá, dữ liệu chi phí và chất lượng được nghiệm thu. Phân tích các khoảng tỷ lệ cho thấy yêu cầu xem xét riêng từng nhóm dịch vụ và từng cơ sở tính; tỷ lệ cao hoặc thấp tự nó chưa phản ánh hiệu quả sử dụng nguồn lực. Cụ thể, do cùng được phân bổ trên một tiêu thức duy nhất là tiền lương lao động trực tiếp trong khi cơ cấu nguồn lực giữa ba nhóm khác nhau, các tỷ lệ chi phí gián tiếp tại Bảng 1 không so sánh trực tiếp được với nhau. Đây là nội dung phải xử lý trước khi sử dụng số liệu tổng hợp làm căn cứ xây dựng định mức. Vì vậy, việc xây dựng định mức phải đi cùng giải trình phạm vi chi phí, tiêu thức phân bổ và tính đại diện của dữ liệu.

Ba hướng ưu tiên là làm rõ căn cứ xác định chi phí gián tiếp và lợi nhuận dự kiến; cụ thể hóa tiêu chí chất lượng cùng trách nhiệm thành toán trong hợp đồng; chuẩn hóa dữ liệu phục vụ thẩm định và rà soát. Các giải pháp cần được triển khai phù hợp với thẩm quyền, quy định hiện hành và yêu cầu duy trì dịch vụ liên tục.

Nghiên cứu còn giới hạn ở tài liệu và số liệu tổng hợp, chưa đo lường được ảnh hưởng của từng yếu tố đến chi phí hoặc chất lượng. Ngoài ra, phần lớn số liệu quyết toán thuộc giai đoạn hướng dẫn giá chuyên ngành cũ còn hiệu lực, nên kết quả mô tả không đương nhiên phản ánh cơ cấu chi phí hình thành dưới khung định giá hiện hành. Nghiên cứu tiếp theo cần khai thác dữ liệu theo năm, đơn vị và nhóm nhiệm vụ, đồng thời đối chiếu hồ sơ nghiệm thu để kiểm tra mức độ phù hợp của tiêu thức phân bổ và đánh giá quan hệ giữa chi phí với kết quả cung ứng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Chính phủ. Nghị định số 32/2019/NĐ-CP ngày 10/4/2019 quy định giao nhiệm vụ, đặt hàng hoặc đấu thầu cung cấp sản phẩm, dịch vụ công sử dụng ngân sách nhà nước từ nguồn kinh phí chi thường xuyên.
- [2] Bộ Giao thông vận tải. Thông tư số 37/2021/TT-BGTVT ngày 30/12/2021 hướng dẫn giá dịch vụ sự nghiệp công bảo đảm an toàn hàng hải sử dụng kinh phí ngân sách nhà nước từ nguồn kinh phí thường xuyên, thực hiện theo phương thức đặt hàng.
- [3] Quốc hội. Luật Giá số 16/2023/QH15 ngày 19/6/2023, được sửa đổi, bổ sung bởi Luật số 44/2024/QH15 và các luật có liên quan.
- [4] Bộ Tài chính. Thông tư số 45/2024/TT-BTC ngày 01/7/2024 ban hành phương pháp định giá chung đối với hàng hóa, dịch vụ do Nhà nước định giá.
- [5] Bộ Xây dựng. Thông tư số 65/2025/TT-BXD ngày 30/12/2025 bãi bỏ một số văn bản quy phạm pháp luật thuộc thẩm quyền của Bộ trưởng Bộ Xây dựng, có hiệu lực từ ngày 01/3/2026.
- [6] M. Robinson and D. Last. A Basic Model of Performance-Based Budgeting. IMF Technical Notes and Manuals TNM/09/01, International Monetary Fund, Washington D.C., 2009.
- [7] OECD. OECD Good Practices for Performance Budgeting. OECD Publishing, Paris, 2019, doi: 10.1787/c90b0305-en.
- [8] O. Hart, A. Shleifer and R. W. Vishny. The Proper Scope of Government: Theory and an Application to Prisons. The Quarterly Journal of Economics, vol. 112, no. 4, pp. 1127-1161, 1997, doi: 10.1162/0033553005548.
- [9] T. L. Brown, M. Potoski and D. M. Van Slyke. Managing Public Service Contracts: Aligning Values, Institutions and Markets. Public Administration Review, vol. 66, no. 3, pp. 323-331, 2006, doi: 10.1111/j.1540-6210.2006.00590.x.
- [10] R. S. Kaplan and S. R. Anderson. Time-Driven Activity-Based Costing. Harvard Business Review, vol. 82, no. 11, pp. 131-138, 2004.
- [11] Chính phủ. Nghị định số 85/2024/NĐ-CP ngày 10/7/2024 quy định chi tiết một số điều của Luật Giá.
- [12] Chính phủ. Nghị định số 128/2026/NĐ-CP ngày 06/4/2026 sửa đổi, bổ sung một số điều của Nghị định số 85/2024/NĐ-CP.
- [13] Bộ Giao thông vận tải. Thông tư số 38/2021/TT-BGTVT ngày 30/12/2021 ban hành Định mức kinh tế - kỹ thuật trong lĩnh vực cung ứng dịch vụ sự nghiệp công bảo đảm an toàn hàng hải.
- [14] Bộ Xây dựng. Thông tư số 44/2026/TT-BXD ngày 29/6/2026 quy định tiêu chí, kiểm tra, giám sát, đánh giá, nghiệm thu chất lượng dịch vụ sự nghiệp công bảo đảm an toàn hàng hải, có hiệu lực từ ngày 01/9/2026.
- [15] Vụ Kế hoạch - Tài chính, Bộ Xây dựng. Báo cáo về việc xây dựng dự thảo Thông tư ban hành định mức chi phí áp dụng cho dịch vụ sự nghiệp công bảo đảm an toàn hàng hải, ngày 18/8/2026, tài liệu phục vụ xây dựng chính sách.
- [16] Vụ Kế hoạch - Tài chính, Bộ Xây dựng. Tờ trình dự thảo Thông tư ban hành định mức chi phí áp dụng cho dịch vụ sự nghiệp công bảo đảm an toàn hàng hải, dự thảo ngày 31/7/2026, tài liệu phục vụ xây dựng chính sách.
- [17] Tổng công ty Bảo đảm an toàn hàng hải Việt Nam. Văn bản số 3471/VMSCT-CKT ngày 13/7/2026 về rà soát dự thảo Thông tư ban hành định mức chi phí áp dụng cho dịch vụ sự nghiệp công bảo đảm an toàn hàng hải.
- [18] Bộ Xây dựng. Thông tư số 65/2026/TT-BXD ngày 14/8/2026 ban hành Định mức kinh tế - kỹ thuật khảo sát độ sâu trong lĩnh vực hàng hải sử dụng nguồn vốn ngân sách nhà nước, có hiệu lực từ ngày 01/10/2026.
- [19] Bộ Giao thông vận tải. Thông tư số 42/2019/TT-BGTVT ngày 30/10/2019 quy định tiêu chí, kiểm tra, giám sát, đánh giá, nghiệm thu chất lượng dịch vụ sự nghiệp công bảo đảm an toàn hàng hải (đã được thay thế).

Các yếu tố ảnh hưởng đến quyết định làm thêm của sinh viên Khoa Quản trị, Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải

Factors influencing part-time employment decisions among students of the Faculty of Management at the University of Transport Technology

> TS NGUYỄN THỊ HẠNH*, THS CHU THỊ THU HẰNG, THS PHẠM CAO CƯỜNG

Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải

*Email: hanhnt@utt.edu.vn

TÓM TẮT

Trong thời đại 4.0 và phát triển của nền kinh tế hiện đại, yêu cầu về chất lượng nguồn nhân lực ngày càng cao. Không chỉ dừng lại ở kiến thức chuyên môn trên giảng đường, nhà tuyển dụng ngày nay còn quan tâm đến kỹ năng thực hành, kinh nghiệm khi làm việc và khả năng thích nghi với môi trường thực tế của sinh viên sau khi ra trường. Trước những yêu cầu đó, ngày càng nhiều sinh viên chủ động tham gia vào các công việc làm thêm trong thời gian còn đang học trong trường, đó như một cách để rèn luyện bản thân, tích lũy thêm kinh nghiệm, cũng như để phục vụ cho nhu cầu cá nhân của mình. Tuy nhiên, quyết định tham gia làm thêm không đơn thuần chỉ là một lựa chọn cá nhân, mà còn chịu ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố như: Hoàn cảnh kinh tế gia đình, nhu cầu phát triển kỹ năng nghề nghiệp, môi trường học tập, định hướng của nhà trường, cơ hội việc làm bên ngoài và đặc điểm cá nhân của mỗi sinh viên. Việc làm thêm nếu được lựa chọn và tổ chức hợp lý sẽ mang lại nhiều lợi ích thiết thực. Vì vậy, nghiên cứu này đánh giá mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đến quyết định làm thêm của sinh viên ngành Quản trị kinh doanh, từ đó đề xuất các giải pháp nhằm khuyến khích quyết định làm thêm của sinh viên ngành Quản trị kinh doanh, Khoa Quản trị, Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải.

Từ khóa: Làm thêm; yếu tố ảnh hưởng; quyết định làm thêm của sinh viên, Khoa Quản trị, các yếu tố ảnh hưởng đến quyết định làm thêm của sinh viên.

ABSTRACT

In the Industry 4.0 era and the modern economy, the demand for high-quality human resources is constantly rising. Employers today look beyond mere academic knowledge, placing importance on practical skills, work experience and a graduate's ability to adapt to real-world environments. Consequently, an increasing number of students are proactively seeking part-time employment while still in school-a practice that allows them to hone their skills, gain experience and meet personal financial needs. However, the decision to work part-time is not merely a personal choice; it is influenced by various factors, including family economic circumstances, the need for professional skill development, the academic environment, institutional orientation, external job opportunities and individual student characteristics. When chosen and managed effectively, part-time work offers significant practical benefits. Therefore, this study evaluates the factors influencing the intention of Business Administration students to engage in part-time work and proposes solutions to encourage such engagement among students in the Faculty of Management at the University of Transport Technology.

Keywords: Part-time work; influencing factors; students' intention to work part-time; Faculty of Business Administration; factors influencing students' intention to work part-time.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Việc làm thêm giúp sinh viên cải thiện kỹ năng giao tiếp, làm quen với các mối quan hệ mới và học cách đối mặt với những tình huống xã hội khác nhau. Những trải nghiệm này không chỉ giúp sinh

viên tự tin hơn mà còn góp phần quan trọng vào sự trưởng thành và phát triển cá nhân: Học cách tự quản lý tài chính, thời gian và cuộc sống cá nhân; rèn luyện kỷ luật và trách nhiệm với công việc và học tập. Bên cạnh đó, làm thêm giúp sinh viên trang trải chi phí

học tập, sinh hoạt, đặc biệt là với những sinh viên không nhận được nhiều hỗ trợ từ gia đình, từ đó giảm áp lực tài chính và tránh phải vay nợ. Ngoài ra, khi làm thêm, sinh viên sẽ làm quen với môi trường làm việc chuyên nghiệp, có thêm kinh nghiệm thực tế để làm đẹp hồ sơ xin việc, giúp tạo ấn tượng tốt với nhà tuyển dụng. Qua quá trình làm thêm, sinh viên có thể khám phá ngành nghề phù hợp bản thân, tránh lựa chọn sai ngành nghề sau khi tốt nghiệp. Song, nếu không biết cân bằng thời gian sẽ ảnh hưởng đến học tập, bị bóc lột sức lao động, làm công việc không liên quan đến chuyên ngành, mất phương hướng nếu sinh viên mải mê kiếm tiền mà bỏ bê học tập. Do đó, việc lựa chọn nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến quyết định làm thêm của sinh viên ngành Quản trị kinh doanh, Khoa Quản trị, Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải là đáp ứng nhu cầu bức thiết hiện nay và có ý nghĩa về mặt lý luận.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu được sử dụng phương pháp phân tích định lượng (phân tích hồi quy tuyến tính) bằng phần mềm SPSS 32.0 và phương pháp Linear Regression. Việc phân tích mô hình hồi quy giúp nhóm nghiên cứu tìm ra tác động của 5 biến độc lập tới biến phụ thuộc “Động lực làm việc gen Z”. Bảng hỏi được thiết kế hợp lý. Theo yêu cầu của phương pháp phân tích nhân tố khám phá (EFA), cỡ mẫu phải đạt tối thiểu gấp 5 lần số lượng câu hỏi. Với 19 câu hỏi trong bảng hỏi thì số lượng sinh viên phải hỏi tối thiểu là 95 người. Để đảm bảo độ tin cậy, tác giả phát ra 250 phiếu (lớn hơn 95) bảng hỏi cho sinh viên Khoa Quản trị, Trường Đại học Công nghệ Giao thông Vận tải trong giai đoạn từ 01/10 - 30/10/2025. Kết quả thu về 236 bảng trả lời phù hợp, đáp ứng tốt yêu cầu cỡ mẫu cho phân tích tiếp theo sau khi kiểm tra và loại bỏ các phiếu không đầy đủ hoặc không đạt yêu cầu.

Bảng 1. Tổng hợp đối tượng điều tra chính thức

Nhóm đối tượng	Số phiếu điều tra thực tế	Số phiếu trả lời hợp lệ	Tỷ lệ phiếu trả lời hợp lệ (%)
Sinh viên năm thứ nhất	60	59	98,33
Sinh viên năm thứ 2	65	63	96,92
Sinh viên năm thứ 3	65	61	93,84
Sinh viên năm thứ 4	60	53	88,33
Tổng cộng	250	236	94,39

Nguồn: Tác giả tổng hợp.

3. CƠ SỞ DỮ LIỆU NGHIÊN CỨU

3.1. Tổng quan nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả tập trung nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến quyết định làm thêm của sinh viên là: Hoàn cảnh gia đình; thu nhập từ gia đình chu cấp; kỹ năng - kinh nghiệm; thời gian rảnh và bạn bè.

- Hoàn cảnh gia đình: Điều kiện kinh tế của gia đình ảnh hưởng trực tiếp đến mức độ cần thiết của việc đi làm thêm. Những sinh viên đến từ gia đình có thu nhập thấp thường có xu hướng tìm kiếm việc làm thêm để hỗ trợ chi phí sinh hoạt và học tập. Ngược lại, sinh viên thuộc gia đình khá giả có thể ít chịu áp lực tài chính hơn và do đó ít có nhu cầu làm thêm. Bên cạnh yếu tố kinh tế, cấu trúc gia đình cũng đóng vai trò quan trọng trong việc định hình nhận thức của

sinh viên. Ngoài ra, nghề nghiệp của cha mẹ cũng ảnh hưởng đến quan điểm của sinh viên về lao động và giá trị của việc làm. Nếu cha mẹ làm các công việc tự do hoặc kinh doanh, sinh viên có thể sớm tiếp xúc với môi trường lao động và hình thành tư duy chủ động. Ngược lại, nếu cha mẹ làm việc trong khu vực ổn định, sinh viên có thể ưu tiên học tập hơn là làm thêm. Mức độ quan tâm và định hướng của gia đình cũng là yếu tố đáng chú ý. Một số gia đình khuyến khích con cái đi làm thêm để rèn luyện kỹ năng sống, trong khi số khác lại lo ngại việc này ảnh hưởng đến kết quả học tập. Áp lực từ gia đình, dù trực tiếp hay gián tiếp có thể định hướng hành vi của sinh viên. Ngoài ra, các giá trị văn hóa gia đình như tinh thần tự lập hay phụ thuộc cũng tác động đến quyết định làm thêm.

- Thu nhập từ gia đình chu cấp: Mức chu cấp cao thường giúp sinh viên đáp ứng đầy đủ nhu cầu cơ bản mà không cần tìm kiếm việc làm ngoài. Ngược lại, khi mức chu cấp thấp hoặc không ổn định, sinh viên có xu hướng tìm việc làm thêm để bù đắp chi phí. Sự đầy đủ về tài chính từ gia đình có thể làm giảm động lực tham gia lao động của sinh viên. Tuy nhiên, trong một số trường hợp, sinh viên vẫn lựa chọn làm thêm dù không thiếu tiền tài chính nhằm tích lũy kinh nghiệm. Mức độ phụ thuộc tài chính vào gia đình cũng là yếu tố quan trọng cần xem xét. Sinh viên càng phụ thuộc thì càng ít có xu hướng tự tìm kiếm thu nhập. Ngược lại, những sinh viên mong muốn tự lập thường chủ động tìm việc làm thêm dù gia đình có hỗ trợ. Ngoài ra, sự ổn định của nguồn chu cấp cũng ảnh hưởng đến hành vi của sinh viên. Nếu nguồn tài chính từ gia đình không đều đặn, sinh viên sẽ có xu hướng tìm kiếm nguồn thu nhập bổ sung. Mức sống tại khu vực học tập cũng tương tác với thu nhập chu cấp. Tại các thành phố lớn, chi phí sinh hoạt cao khiến sinh viên dễ phải làm thêm hơn. Thu nhập từ gia đình không chỉ đáp ứng nhu cầu cơ bản mà còn ảnh hưởng đến mức chi tiêu của sinh viên. Những sinh viên có mức chu cấp cao thường có xu hướng chi tiêu nhiều hơn, từ đó có thể phát sinh nhu cầu kiếm thêm thu nhập.

- Kỹ năng và kinh nghiệm: Sinh viên sở hữu nhiều kỹ năng mềm như giao tiếp, làm việc nhóm và quản lý thời gian thường tự tin hơn khi tìm kiếm việc làm. Những kỹ năng này giúp họ thích nghi nhanh với môi trường làm việc thực tế. Bên cạnh đó, kỹ năng chuyên môn liên quan đến ngành học cũng mở ra nhiều cơ hội việc làm phù hợp. Sinh viên có kinh nghiệm thực tế thường có lợi thế cạnh tranh cao hơn trên thị trường lao động bán thời gian. Kinh nghiệm làm việc trước đó giúp họ hiểu rõ yêu cầu công việc và giảm thiểu rủi ro. Ngoài ra, kỹ năng công nghệ và ngoại ngữ ngày càng trở nên quan trọng trong bối cảnh hội nhập. Những sinh viên thành thạo công nghệ có thể tiếp cận các công việc linh hoạt như làm việc trực tuyến. Kỹ năng ngoại ngữ giúp mở rộng cơ hội làm việc trong môi trường quốc tế. Mức độ tự tin của sinh viên cũng chịu ảnh hưởng từ kỹ năng và kinh nghiệm tích lũy. Sinh viên thiếu kỹ năng thường e ngại tham gia thị trường lao động. Ngược lại, những người có năng lực tốt thường chủ động tìm kiếm cơ hội việc làm. Kỹ năng và kinh nghiệm không chỉ là điều kiện cần mà còn là động lực thúc đẩy hành vi làm thêm. Việc làm thêm cũng được xem là một cách để sinh viên tiếp tục phát triển kỹ năng.

- Thời gian rảnh: Thời gian rảnh là yếu tố mang tính điều kiện ảnh hưởng trực tiếp đến quyết định làm thêm của sinh viên. Lịch học và khối lượng bài tập là những yếu tố chi phối quỹ thời gian của sinh viên. Những sinh viên có lịch học dày đặc thường gặp khó khăn trong việc sắp xếp thời gian làm thêm. Ngược lại, sinh viên có thời gian biểu linh hoạt dễ dàng tham gia các công việc bán thời gian. Khả năng quản lý thời gian cũng đóng vai trò quan trọng trong việc cân bằng giữa học tập và làm việc. Sinh viên có kỹ năng quản lý tốt thường tận dụng hiệu quả thời gian rảnh để làm thêm. Ngoài ra, đặc thù ngành học cũng ảnh hưởng đến quỹ thời gian. Một số ngành

yêu cầu thực hành nhiều khiến sinh viên ít có thời gian rảnh. Trong khi đó, các ngành có lịch học linh hoạt tạo điều kiện thuận lợi hơn. Ngược lại, thời gian rảnh dài và liên tục phù hợp với nhiều loại hình công việc hơn. Ngoài ra, yếu tố sức khỏe và năng lượng cũng ảnh hưởng đến khả năng sử dụng thời gian rảnh. Sinh viên cần đảm bảo cân bằng giữa nghỉ ngơi và làm việc. Việc làm thêm quá nhiều có thể ảnh hưởng tiêu cực đến kết quả học tập. Do đó, sinh viên thường cân nhắc kỹ lưỡng trước khi quyết định.

- Bạn bè: Ảnh hưởng từ nhóm bạn đồng trang lứa có thể định hình hành vi của cá nhân. Nếu nhiều bạn bè làm thêm, sinh viên có xu hướng tham gia để hòa nhập. Ngược lại, nếu nhóm bạn không làm thêm, cá nhân có thể ít động lực hơn. Bạn bè cũng là nguồn cung cấp thông tin việc làm quan trọng. Nhiều cơ hội việc làm được chia sẻ thông qua mạng lưới bạn bè. Ngoài ra, sự hỗ trợ từ bạn bè giúp sinh viên tự tin hơn khi bắt đầu công việc mới. Làm việc cùng bạn bè cũng tạo cảm giác an toàn và giảm áp lực. Tuy nhiên, ảnh hưởng từ bạn bè không phải lúc nào cũng tích cực. Một số trường hợp, sinh viên có thể bị cuốn theo xu hướng mà không cân nhắc kỹ lưỡng. Áp lực đồng đẳng có thể khiến sinh viên tham gia làm thêm dù không thật sự cần thiết. Ngược lại, bạn bè cũng có thể khuyến khích tập trung vào học tập thay vì làm thêm. Mỗi quan hệ bạn bè ảnh hưởng đến cách sinh viên phân bổ thời gian. Sinh viên dành nhiều thời gian cho bạn bè có thể ít thời gian làm thêm. Tuy nhiên, bạn bè cũng có thể là động lực thúc đẩy phát triển bản thân.

3.2. Mô hình đề xuất

Bài báo được trích ra từ công trình nghiên cứu khoa học cấp Trường: Các yếu tố ảnh hưởng đến quyết định làm thêm của sinh viên Khoa Quản trị, Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải. Mô hình tổng thể gồm có 5 biến độc lập: i) Hoàn cảnh gia đình; (ii) Thu nhập từ gia đình chu cấp; (iii) Kỹ năng - kinh nghiệm; (iv) Thời gian rảnh; (v) Bạn bè và một biến phụ thuộc là: Quyết định làm thêm (YDLT) như sau:

$$YDLT = \varepsilon + \beta_1 * HCGD + \beta_2 * TNTGDCC + \beta_3 * KNKN + \beta_4 * TGR + \beta_5 * BB + eY$$

4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

4.1. Kết quả nghiên cứu

Bảng 2. Kết quả kiểm định KMO cho các biến độc lập

KMO and Bartlett's Test			
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy			0.921
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	9926.982	
	df	435	
	Sig.	<.001	

Nguồn: Nhóm tác giả tổng hợp và phân tích.

Kết quả nghiên cứu cho thấy giá trị Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy (KMO) = 0,921, vượt ngưỡng 0,5, chứng tỏ rằng dữ liệu sử dụng để phân tích nhân tố là hoàn toàn phù hợp. Đồng thời, kết quả kiểm định Bartlett's Test với mức ý nghĩa Sig = <.001 (< 0,05) cho thấy các biến có tương quan với nhau và đáp ứng điều kiện cần thiết cho quá trình phân tích nhân tố.

Bảng 3. Kết quả mô hình hồi quy tuyến tính

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients Beta	t	Sig.
		B	Std. Error			
1						

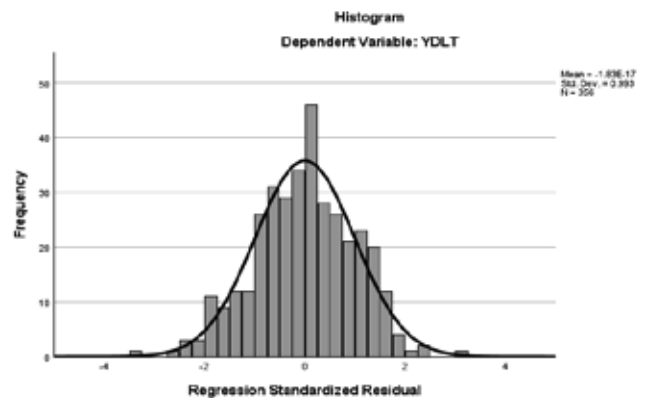
(Constant)	-1.105-18	.037		.000	1.000
HCGD	.346	.037	.346	9.306	<.001
TNTGDCC	.348	.037	.348	9.336	<.001
KNKN	.148	.037	.148	3.967	<.001
TGR	.406	.037	.406	10.901	<.001
BB	.296	.037	.296	7.963	<.001

Nguồn: Nhóm tác giả tổng hợp và phân tích.

Để đánh giá ý nghĩa hệ số hồi quy của mỗi biến độc lập trong mô hình nghiên cứu, nhóm tác giả thực hiện kiểm định t-student và xem xét giá trị hệ số Sig. Kết quả hồi quy ở bảng trên cho thấy các biến độc lập đều có giá trị Sig. < 0,05. Vì các kiểm định giả thuyết đều có mức ý nghĩa là 5%, kết quả này cho thấy tất cả chín biến độc lập đều có tác động tới biến phụ thuộc "Quyết định làm thêm".

Kết quả kiểm tra biểu đồ Histogram cho thấy Mean = -1,83^E-16 (gần bằng 0), Std = 0,993 ta có thể khẳng định phân phối là xấp xỉ chuẩn, giả định phân phối chuẩn của phần dư không vi phạm.

Kết quả kiểm tra biểu đồ Normal P-P Plot cho thấy các điểm phân vị bám sát đường chéo thì có thể khẳng định phần dư bám sát phân phối chuẩn, giả định phân phối chuẩn của phần dư không vi phạm.



Nguồn: Nhóm tác giả tổng hợp và phân tích.

Hình 1. Biểu đồ histogram cho phần dư

4.2. Thảo luận

Bảng 4. Kết quả kiểm định giả thuyết

Giả thuyết	Nội dung	Kết quả
H1	Hoàn cảnh gia đình có tác động tích cực đến quyết định làm thêm	Chấp nhận
H2	Thu nhập từ gia đình chu cấp có tác động tích cực đến quyết định làm thêm	Chấp nhận
H3	Kỹ năng và kinh nghiệm có tác động tích cực đến quyết định làm thêm	Chấp nhận
H4	Thời gian rảnh có tác động tích cực đến quyết định làm thêm	Chấp nhận
H5	Bạn bè có tác động tích cực đến quyết định làm thêm	Chấp nhận

Nguồn: Nhóm tác giả tổng hợp và phân tích.

Dựa trên kết quả kiểm định giả thuyết, các giả thuyết H1, H2, H3, H4 và H5 đều được chấp nhận. Điều này cho thấy hoàn cảnh gia đình, thu nhập từ gia đình chu cấp, kỹ năng và kinh nghiệm, thời gian rảnh và sự ảnh hưởng của bạn bè đều có tác động tích cực đến quyết định làm thêm của sinh viên. Kết quả nghiên cứu góp phần khẳng định rằng khi sinh viên có nhiều thời gian rảnh hơn, có điều

kiện tài chính từ gia đình phù hợp, chịu tác động từ môi trường bạn bè, đồng thời sở hữu các kỹ năng và kinh nghiệm cần thiết thì xu hướng tham gia làm thêm sẽ gia tăng. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đã đề xuất các hàm ý giải pháp cho từng chủ thể như sau:

Về phía gia đình sinh viên: Sinh viên cần nhận thức rõ vai trò của việc làm thêm đối với sự phát triển toàn diện của cá nhân, bởi đây không chỉ là nguồn thu nhập mà còn là cơ hội tích lũy kinh nghiệm thực tiễn ngoài môi trường học thuật. Để nâng cao ý định tham gia làm thêm, sinh viên cần xác định mục tiêu rõ ràng gắn với định hướng nghề nghiệp dài hạn, từ đó chủ động tìm kiếm các cơ hội việc làm phù hợp với chuyên ngành đào tạo. Bên cạnh đó, kỹ năng quản lý thời gian đóng vai trò then chốt, giúp sinh viên cân bằng giữa học tập và công việc một cách hiệu quả. Việc lập kế hoạch khoa học, duy trì kỷ luật cá nhân và ưu tiên nhiệm vụ học tập là những yếu tố cần thiết nhằm đảm bảo hiệu quả kép. Đồng thời, sinh viên cần chú trọng phát triển các kỹ năng mềm như giao tiếp, làm việc nhóm và giải quyết vấn đề để thích nghi tốt hơn với môi trường làm việc thực tế. Việc lựa chọn công việc có liên quan đến chuyên ngành không chỉ giúp củng cố kiến thức mà còn nâng cao năng lực nghề nghiệp trong tương lai. Ngoài ra, sinh viên cần tự đánh giá năng lực bản thân, duy trì thái độ học hỏi và tinh thần trách nhiệm trong công việc nhằm tạo dựng hình ảnh chuyên nghiệp. Khả năng thích ứng, tư duy tích cực và động lực nội tại cũng góp phần quan trọng trong việc duy trì sự gắn bó với công việc làm thêm. Bên cạnh đó, sinh viên nên xây dựng mạng lưới quan hệ nghề nghiệp, học cách quản lý tài chính cá nhân và trang bị kiến thức pháp lý cơ bản để tránh các rủi ro lao động. Việc đảm bảo sức khỏe thể chất và tinh thần, tránh làm việc quá sức và duy trì thời gian nghỉ ngơi hợp lý cũng là yếu tố không thể thiếu. Cuối cùng, sinh viên cần thường xuyên đánh giá hiệu quả của hoạt động làm thêm, điều chỉnh kế hoạch khi cần thiết và xem đây như một phần trong chiến lược phát triển cá nhân dài hạn.

Về phía bản thân sinh viên: Gia đình đóng vai trò nền tảng trong việc hình thành nhận thức và thái độ của sinh viên đối với hoạt động làm thêm. Phụ huynh cần có cái nhìn tích cực và khách quan về việc làm thêm, từ đó khuyến khích con em tham gia các công việc phù hợp với năng lực và định hướng nghề nghiệp. Sự hỗ trợ về mặt tinh thần là yếu tố quan trọng giúp sinh viên tự tin và chủ động hơn trong quá trình tìm kiếm và duy trì công việc. Đồng thời, gia đình cần tôn trọng sự lựa chọn của sinh viên, tránh áp đặt hoặc tạo áp lực tài chính quá mức, từ đó giúp sinh viên phát triển tính tự lập một cách bền vững. Việc cung cấp thông tin về thị trường lao động, chia sẻ kinh nghiệm nghề nghiệp và hướng dẫn nhận diện rủi ro cũng góp phần nâng cao hiệu quả tham gia làm thêm của sinh viên. Bên cạnh đó, gia đình cần duy trì sự quan tâm và theo dõi ở mức độ hợp lý, tạo môi trường giao tiếp cởi mở để sinh viên có thể chia sẻ khó khăn và nhận được sự hỗ trợ kịp thời. Sự động viên, khích lệ và thấu hiểu từ gia đình giúp giảm áp lực tâm lý, đồng thời củng cố động lực học tập và làm việc của sinh viên. Ngoài ra, phụ huynh nên định hướng cho sinh viên về giá trị lao động, đạo đức nghề nghiệp và kỹ năng quản lý tài chính cá nhân. Việc hỗ trợ về vật chất trong những giai đoạn cần thiết cũng giúp sinh viên yên tâm hơn trong việc cân bằng giữa học tập và làm thêm. Nhìn chung, sự đồng hành tích cực và linh hoạt của gia đình là yếu tố quan trọng thúc đẩy ý định và hành vi làm thêm của sinh viên.

Về phía Khoa Quản trị và Nhà trường: Các cơ sở giáo dục đại học đóng vai trò trung tâm trong việc tạo lập môi trường thuận lợi nhằm khuyến khích sinh viên tham gia làm thêm một cách hiệu quả và an toàn. Trước hết, Nhà trường cần xây dựng các chính sách hỗ trợ cụ thể, bao gồm việc cung cấp thông tin việc làm đáng tin cậy, tổ chức

hội chợ việc làm và phát triển trung tâm hỗ trợ sinh viên. Việc tăng cường hợp tác với doanh nghiệp là giải pháp quan trọng nhằm mở rộng cơ hội việc làm và đảm bảo tính phù hợp giữa công việc và chuyên ngành đào tạo. Bên cạnh đó, Khoa và Nhà trường cần tích hợp các hoạt động thực tập, kiến tập vào chương trình học, đồng thời tổ chức các khóa đào tạo kỹ năng mềm và hội thảo định hướng nghề nghiệp. Hệ thống thông tin việc làm trực tuyến cũng cần được phát triển để hỗ trợ sinh viên tiếp cận cơ hội một cách nhanh chóng và hiệu quả. Ngoài ra, Nhà trường cần giám sát chất lượng công việc làm thêm, đảm bảo quyền lợi và an toàn lao động cho sinh viên, đồng thời cung cấp hỗ trợ pháp lý khi cần thiết. Việc tạo điều kiện linh hoạt về thời gian học, cải tiến phương pháp giảng dạy theo hướng gắn với thực tiễn và khuyến khích học tập suốt đời cũng góp phần nâng cao khả năng tham gia làm thêm của sinh viên. Hơn nữa, Nhà trường cần thường xuyên đánh giá tác động của hoạt động làm thêm đến kết quả học tập để có những điều chỉnh phù hợp trong chính sách. Việc xây dựng hệ sinh thái việc làm, hỗ trợ sinh viên phát triển hồ sơ nghề nghiệp và thúc đẩy tinh thần khởi nghiệp cũng là những giải pháp mang tính chiến lược. Nhìn chung, Nhà trường và Khoa giữ vai trò cầu nối giữa sinh viên và thị trường lao động, từ đó góp phần quan trọng trong việc hình thành và phát triển quyết định làm thêm của sinh viên.

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu về các yếu tố ảnh hưởng đến quyết định làm thêm của sinh viên ngành Quản trị kinh doanh, Khoa Quản trị, Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải cho thấy đây là một hiện tượng mang tính đa chiều, chịu sự chi phối đồng thời của các yếu tố cá nhân, gia đình và môi trường xã hội. Kết quả phân tích khẳng định rằng hoàn cảnh gia đình và mức thu nhập từ gia đình có tác động đáng kể đến quyết định tham gia làm thêm của sinh viên.

Từ những kết quả trên, có thể khẳng định rằng việc thúc đẩy quyết định làm thêm của sinh viên cần được tiếp cận một cách toàn diện, thông qua sự phối hợp giữa bản thân sinh viên, gia đình và nhà trường. Việc nâng cao kỹ năng, tạo điều kiện về thời gian, hỗ trợ từ gia đình và xây dựng môi trường học tập gắn với thực tiễn sẽ góp phần quan trọng trong việc khuyến khích sinh viên tham gia làm thêm một cách hiệu quả. Đồng thời, các chính sách hỗ trợ từ phía nhà trường và khoa cần hướng đến việc phát triển năng lực toàn diện cho sinh viên, qua đó không chỉ gia tăng quyết định làm thêm mà còn nâng cao chất lượng nguồn nhân lực trong tương lai.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Vương Quốc Duy, Trương Thị Thúy Hằng, Nguyễn Hồng Diễm, Lê Long Hậu, Nguyễn Văn Thép và Ong Quốc Cường. Xác định các nhân tố ảnh hưởng đến quyết định đi làm thêm của sinh viên Đại học Cần Thơ. Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ, 2015.
- [2] Nguyễn Thị Phương và Trần Thị Diễm Thúy. Những yếu tố ảnh hưởng đến quyết định làm thêm của sinh viên Khoa Kinh tế - Trường Đại học An Giang. Tạp chí Công Thương, 2018.
- [3] Vũ Thị Thu Hà. Các yếu tố ảnh hưởng đến ý định làm thêm của sinh viên: Nghiên cứu trường hợp cụ thể với sinh viên các trường cao đẳng, đại học trên địa bàn Hà Nội. Tạp chí Khoa học và Công nghệ, tập 59, số 1, 2024.
- [4] Lê Phan Thanh Hòa, Lê Thị Kiều Trinh và Dương Đăng Kho. Các nhân tố ảnh hưởng đến quyết định làm thêm của sinh viên Trường Đại học Văn Lang. Tạp chí Tài chính doanh nghiệp, 2024.
- [5] Vũ Nhật Phương và Nguyễn Giang Đô. Nghiên cứu các yếu tố tác động đến quyết định làm thêm của sinh viên Trường Đại học Nguyễn Tất Thành. Tạp chí Khoa học và Công nghệ, tập 7, số 1, 2024.
- [6] Trần Minh Quốc, Nguyễn Thị Ái Tiên, Lê Thị Thúy Ngân và Trần Đình Lý. Phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến quyết định đi làm thêm của sinh viên Trường Đại học Nông Lâm TP Hồ Chí Minh. Tạp chí Tài chính doanh nghiệp, số tháng 4, 2025.

Nghiên cứu ứng dụng ma trận xác suất - tác động đối với các yếu tố rủi ro tổ chức trong dự án xây dựng công trình đường bộ

Application of the probability - impact matrix to organizational risk factors in road construction projects

> THS TRẦN MINH ĐỨC^{1,*}, ĐỖ THU HUYỀN¹, PHẠM TRẦN TUYẾT NHÌ¹, ĐÀU QUỲNH GIANG¹, THS BÙI THỊ NHƯ LOAN²

¹Trường Đại học Giao thông vận tải

²Học viện Chiến lược, bồi dưỡng cán bộ xây dựng

*Email: ductm@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Rủi ro tổ chức trong dự án xây dựng công trình đường bộ phát sinh từ các vấn đề liên quan đến nhân sự, thủ tục nội bộ, năng lực của các đơn vị chức năng, thứ tự ưu tiên chương trình và sự nhất quán của mục tiêu trong bộ máy thực hiện dự án. Do dữ liệu lịch sử về tần suất xuất hiện của nhóm rủi ro này còn hạn chế, việc đánh giá thường dựa trên các phương pháp định tính, trong đó ma trận xác suất - tác động là một công cụ được sử dụng phổ biến. Ma trận kết hợp mức khả năng xảy ra và mức tác động để xác định mức ưu tiên của rủi ro. Tuy nhiên, các tổ hợp khác nhau của hai thành phần này có thể cho cùng một điểm tích số, nên việc chỉ xem xét điểm tổng hợp chưa thể hiện đầy đủ đặc điểm của từng rủi ro. Trên cơ sở đó, bài báo xây dựng quy trình 4 bước ứng dụng ma trận xác suất - tác động đối với các yếu tố rủi ro tổ chức trong dự án xây dựng công trình đường bộ sử dụng vốn đầu tư công, gồm chuẩn hóa danh mục rủi ro, xác định mức khả năng xảy ra và mức tác động, phân vùng ưu tiên và diễn giải kết quả theo hai lớp thông tin. Quy trình được minh họa bằng kịch bản giả định với 10 yếu tố rủi ro tổ chức. Kết quả cho thấy vùng ưu tiên cho phép phân loại mức độ cần tập trung xử lý, trong khi cặp giá trị khả năng xảy ra - tác động bổ sung thông tin về cấu trúc của từng rủi ro, qua đó hỗ trợ xác định trọng tâm ứng phó phù hợp.

Từ khóa: Ma trận xác suất - tác động; rủi ro tổ chức; quản lý rủi ro dự án; dự án xây dựng công trình đường bộ; đầu tư công.

ABSTRACT

Organizational risks in road construction projects arise from issues related to personnel, internal procedures, the capacity of functional units, program priorities and the consistency of objectives within the project delivery organization. Because historical data on the frequency of occurrence of these risks remain limited, their assessment often relies on qualitative methods, among which the probability-impact matrix is widely used. The matrix combines likelihood and impact levels to determine risk priority; however, different combinations of these two components may produce the same product score, meaning that reliance on the aggregate score alone may not fully reflect the characteristics of each risk. On this basis, the paper develops a four-step procedure for applying the probability-impact matrix to organizational risk factors in publicly funded road construction projects, including standardization of the risk list, determination of likelihood and impact levels, priority-zone classification and interpretation of the results using two layers of information. The procedure is illustrated through a hypothetical scenario involving ten organizational risk factors. The results show that the priority zone enables classification of the level of attention required for each risk, while the likelihood-impact pair provides additional information on the structure of the risk and thereby supports the identification of an appropriate response focus.

Keywords: Probability-impact matrix; organizational risk; project risk management; road construction project; public investment

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Dự án xây dựng công trình đường bộ sử dụng vốn đầu tư công (ĐTC) tại Việt Nam được triển khai qua nhiều giai đoạn, với sự tham gia của cơ quan quản lý nhà nước, chủ đầu tư, ban quản lý dự án, tư vấn và nhà thầu. Trong bối cảnh Việt Nam, Nguyễn Quốc Toàn và Nguyễn Thị Thúy [1] đã ứng dụng ma trận xác suất - tác động để đánh giá rủi ro cho các dự án giao thông đô thị tại Hà Nội và phân loại kết quả theo ba vùng ưu tiên; danh mục nghiên cứu cũng bao gồm các yếu tố liên quan đến phối hợp giữa các bên và năng lực của chủ đầu tư/ban quản lý dự án. Các nghiên cứu khác ghi nhận hạn chế trong công tác lập kế hoạch và quản lý rủi ro [2], mối liên hệ của công tác lập kế hoạch với hiệu quả quản lý nhà nước [3] và ảnh hưởng của hành vi tổ chức dự án đến chất lượng công trình [4]. Các kết quả này cho thấy rủi ro trong dự án xây dựng công trình đường bộ không chỉ phát sinh từ các yếu tố kỹ thuật và ngoại vi mà còn gắn với cách thức tổ chức và vận hành bộ máy thực hiện dự án.

Trong các yếu tố rủi ro thuộc dự án đường bộ, những rủi ro phát sinh từ tổ chức và vận hành bộ máy thực hiện dự án được xếp vào nhóm rủi ro tổ chức [5], bao gồm các vấn đề liên quan đến nhân sự, thủ tục nội bộ, năng lực của các đơn vị chức năng, thứ tự ưu tiên và sự nhất quán giữa các mục tiêu dự án. Khác với rủi ro kỹ thuật gắn trực tiếp với đặc tính hoặc hạng mục công trình, rủi ro tổ chức hình thành từ cách thức bố trí nguồn lực, phối hợp giữa các đơn vị và vận hành bộ máy trong quá trình thực hiện dự án. Nghiên cứu [1] là tiền lệ gần nhất về việc sử dụng ma trận xác suất - tác động trong dự án giao thông tại Việt Nam và xem xét danh mục rủi ro tổng hợp có bao gồm các yếu tố liên quan đến tổ chức. Trên cơ sở đó, nghiên cứu này tập trung riêng vào nhóm rủi ro tổ chức, phân vùng ưu tiên bằng tích số $R = P \times I$ và giữ lại cấu hình (P, I) để diễn giải trọng tâm ứng phó.

Ma trận xác suất - tác động là công cụ phổ biến trong phân tích định tính rủi ro nhờ cấu trúc đơn giản, yêu cầu dữ liệu thấp và khả năng trực quan hóa mức ưu tiên [6, 7]. Trong thực tế áp dụng, mức khả năng xảy ra và mức tác động thường được kết hợp thành điểm tích số để phục vụ phân loại và ưu tiên rủi ro [8]. Tuy nhiên, các tổ hợp khác nhau của hai chiều đánh giá có thể cho cùng một điểm, khiến việc chỉ dựa vào giá trị tích số không phản ánh đầy đủ sự khác biệt giữa các rủi ro. Trên cơ sở đó, bài báo xây dựng quy trình bốn bước ứng dụng ma trận xác suất - tác động cho các yếu tố rủi ro tổ chức trong dự án xây dựng công trình đường bộ sử dụng vốn đầu tư công, gồm chuẩn hóa danh mục rủi ro, xác định mức khả năng xảy ra và mức tác động, phân vùng ưu tiên và diễn giải kết quả theo hai lớp thông tin. Theo đó, vùng ưu tiên được sử dụng để phân loại rủi ro, còn cặp khả năng xảy ra - tác động được giữ lại nhằm hỗ trợ xác định trọng tâm ứng phó.

2. CƠ SỞ LÝ LUẬN

Theo ISO 31000:2018, rủi ro được hiểu là tác động của sự không chắc chắn đến mục tiêu [9], còn IEC 31010:2019 cung cấp cơ sở lựa chọn và áp dụng các kỹ thuật đánh giá rủi ro [7]. Trong quản lý dự án, ma trận xác suất - tác động là công cụ định tính biểu diễn rủi ro theo hai chiều: Khả năng xảy ra (P) và mức tác động (I). Hai chiều này thường được đánh giá bằng thang thứ bậc, phổ biến là 5 mức, trên cơ sở phán đoán chuyên gia hoặc bằng chứng của dự án đối chiếu với tiêu chí đã xác lập [6]. Trong nghiên cứu này, P được biểu diễn dưới dạng mức khả năng xảy ra trên thang thứ bậc, còn I biểu thị mức độ hậu quả khi rủi ro phát sinh. Cặp giá trị (P, I) là cơ sở để định vị rủi ro trên ma trận và xác định vùng ưu tiên; quan hệ giữa hai mức thứ bậc được sử dụng để nhận diện chiều đánh giá nổi trội trong bước diễn giải kết quả.

Các ô trên ma trận được phân thành các vùng ưu tiên theo quy tắc do từng tổ chức hoặc dự án xác lập. Trong cách tiếp cận phổ

biến, tích số $R = P \times I$ được sử dụng như một chỉ số tổng hợp để kết hợp mức khả năng xảy ra và mức tác động, qua đó phân loại mức ưu tiên của rủi ro [6, 8, 12]. Do P và I được xác định trên thang thứ bậc, giá trị R phục vụ phân vùng và so sánh mức ưu tiên tương đối, thay vì biểu thị mức độ rủi ro theo tỷ lệ định lượng. Cox [10] chỉ ra hạn chế về khả năng phân biệt của ma trận khi các rủi ro khác nhau có thể được xếp vào cùng một mức, trong khi Duijm [11] nhấn mạnh sự nhất quán giữa thang đánh giá, cách phân vùng và diễn giải kết quả. Vì vậy, việc diễn giải kết quả cần kết hợp vùng ưu tiên với cặp (P, I): Vùng ưu tiên phản ánh mức độ cần tập trung xử lý, còn cặp (P, I) làm rõ cấu hình khả năng xảy ra - tác động của từng rủi ro.

Trên ma trận xác suất - tác động 5×5 , việc sử dụng tích số R làm căn cứ phân loại mức ưu tiên tạo ra nhiều trường hợp đồng điểm. Trong 25 ô của ma trận chỉ có 14 giá trị R khác nhau; 4 ô (1, 1), (3, 3), (4, 4) và (5, 5) có giá trị R riêng biệt, trong khi 21 ô còn lại chia sẻ giá trị R với ít nhất một ô khác. Các trường hợp đồng điểm chủ yếu xuất hiện ở các cặp đối xứng qua đường chéo, dạng (i, j) và (j, i); riêng 3 ô (1, 4), (2, 2) và (4, 1) cùng có $R = 4$. Do đó, các rủi ro có cùng điểm tích số vẫn có thể khác nhau về cấu hình P và I, chẳng hạn một rủi ro có khả năng xảy ra thấp nhưng tác động cao, trong khi rủi ro khác có khả năng xảy ra cao nhưng tác động thấp. Đặc điểm này cho thấy điểm tích số R chỉ phản ánh mức ưu tiên, trong khi cặp (P, I) cần được xem xét đồng thời để làm rõ cấu trúc khả năng xảy ra - mức tác động của từng rủi ro khi diễn giải kết quả.

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Quy trình nghiên cứu được triển khai qua 4 bước: Chuẩn hóa danh mục rủi ro tổ chức; xác định mức khả năng xảy ra và mức tác động; xác lập vùng ưu tiên và diễn giải kết quả để định hướng trọng tâm ứng phó.

3.1. Chuẩn hóa danh mục các yếu tố rủi ro tổ chức

Danh mục rủi ro đầu vào được kế thừa từ hướng dẫn của Cơ quan Quản lý Đường bộ Liên bang Hoa Kỳ (FHWA) [5]. Tại Phụ lục B, tài liệu trình bày Danh mục rủi ro mẫu của Caltrans, trong đó rủi ro dự án được chia thành 8 nhóm và nhóm rủi ro tổ chức gồm 11 yếu tố. Qua đối chiếu, hai mục "insufficient time to plan" và "not enough time to plan" cùng phản ánh tình trạng không đủ thời gian lập kế hoạch và được chuẩn hóa thành một yếu tố. Danh mục sau chuẩn hóa gồm 10 yếu tố, ký hiệu từ O1 đến O10; các yếu tố được đánh giá độc lập theo mức khả năng xảy ra và mức tác động. Danh mục các yếu tố được trình bày chi tiết tại Bảng 3.

3.2. Thiết kế kịch bản và xác định mức khả năng xảy ra, mức tác động

Nghiên cứu sử dụng kịch bản giả định của một dự án đầu tư xây dựng công trình đường bộ sử dụng vốn đầu tư công. Mười yếu tố rủi ro tổ chức được xác định mức khả năng xảy ra (P) và mức tác động (I) theo thang năm mức. Các giá trị P và I được thiết lập để thể hiện các cấu hình khác nhau trên ma trận 5×5 , trong đó một số cặp có cùng điểm tích số được sử dụng để minh họa hiện tượng đồng điểm đã xác định tại Mục 2.

Trên cơ sở cấu trúc thang thứ bậc của ma trận [6, 7, 13], nghiên cứu cụ thể hóa thang đánh giá 5 mức cho P và I tại Bảng 1. P phản ánh mức khả năng rủi ro phát sinh trong giai đoạn đánh giá, được xác định dựa trên mức độ xuất hiện ở các dự án tương tự và sự hiện diện của các điều kiện phát sinh trong dự án đang xét. I phản ánh mức độ hậu quả đối với tiến độ và chi phí; khi hai mục tiêu chịu tác động ở các mức khác nhau, mức cao hơn được sử dụng để xác định I. Trong kịch bản giả định, các mức P và I được gán theo các tiêu chí này. Khi áp dụng cho dự án thực tế, việc xác định P và I được thực hiện trên cơ sở hồ sơ, số liệu dự án, kinh nghiệm từ các dự án tương tự và đánh giá của chuyên gia.

Bảng 1. Thang đánh giá 5 mức đối với khả năng xảy ra và mức tác động

Mức	Phân loại	Khả năng xảy ra P	Mức độ tác động I - ảnh hưởng đến tiến độ hoặc chi phí
1	Rất thấp	Chưa ghi nhận ở các dự án tương tự; điều kiện phát sinh hầu như không hiện diện trong hồ sơ, kế hoạch và bối cảnh dự án	Không làm thay đổi kế hoạch tiến độ hoặc dự toán chi phí; ảnh hưởng được hấp thụ trong hoạt động thường kỳ
2	Thấp	Chỉ gặp rải rác ở các dự án tương tự; điều kiện phát sinh hiện diện ở mức hạn chế hoặc chỉ xuất hiện khi có thay đổi ngoài kế hoạch	Ảnh hưởng cục bộ đến một số công việc; không làm thay đổi mốc tiến độ chính hoặc mục tiêu chi phí
3	Trung bình	Đã gặp ở một phần các dự án tương tự; một số điều kiện phát sinh đã hiện diện nhưng chưa đầy đủ	Ảnh hưởng rõ đến một số hoạt động hoặc mốc trung gian; cần điều chỉnh kế hoạch tiến độ hoặc sử dụng một phần dự phòng chi phí
4	Cao	Gặp thường xuyên ở các dự án tương tự; phần lớn điều kiện phát sinh đã hiện diện trong dự án	Ảnh hưởng đáng kể đến các mốc tiến độ quan trọng hoặc làm tăng chi phí đáng kể; cần điều chỉnh kế hoạch tiến độ hoặc mức dự phòng
5	Rất cao	Gặp rất thường xuyên ở các dự án tương tự; điều kiện phát sinh hiện diện rõ và chưa được kiểm soát đầy đủ	Đe dọa mốc hoàn thành, đường găng hoặc mục tiêu chi phí tổng thể; có thể dẫn đến điều chỉnh đáng kể đường cơ sở tiến độ hoặc ngân sách

3.3. Xác lập vùng ưu tiên

Ma trận xác suất - tác động 5×5 được phân thành 5 mức ưu tiên theo cấu trúc đã được sử dụng trong các nghiên cứu trước [8, 12, 13]. Với $R = P \times I$, các giá trị khả dĩ được phân thành: Rất thấp với $R = 1, 2$; thấp với $R = 3, 4, 6$; trung bình với $R = 5, 8, 9$; cao với $R = 10, 12, 15, 16$; và rất cao với $R = 20, 25$. Tương ứng, 25 ô của ma trận phân bố lần lượt 3, 7, 5, 7 và 3 ô theo năm mức ưu tiên. Cấu trúc phân vùng đối xứng qua đường chéo $P = I$ vì các cặp (P, I) và (I, P) có cùng tích số R .

3.4. Diễn giải kết quả và định hướng ứng phó rủi ro

ISO 31000 xác định thay đổi khả năng xảy ra và thay đổi hệ quả là các hướng xử lý rủi ro [9]. Trên cơ sở đó, việc diễn giải kết quả sử dụng hai lớp thông tin: Vùng ưu tiên xác định mức độ cần tập trung xử lý, còn cặp (P, I) cho biết mức khả năng xảy ra và mức tác động của rủi ro, qua đó hỗ trợ xác định trọng tâm ứng phó theo Bảng 2. Biện pháp cụ thể được lựa chọn trên cơ sở nguyên nhân phát sinh, phạm vi kiểm soát và thẩm quyền tác động đối với từng rủi ro.

Bảng 2. Quy tắc diễn giải quan hệ giữa P và I để xác định trọng tâm ứng phó

Quan hệ P-I	Ý nghĩa	Trọng tâm ứng phó
$P > I$	Mức P cao hơn mức I trên thang đánh giá	Xử lý nguyên nhân và điều kiện phát sinh nhằm giảm khả năng xảy ra
$P < I$	Mức I cao hơn mức P trên thang đánh giá	Tăng cường dự phòng và các biện pháp hạn chế hậu quả đối với mục tiêu dự án
$P = I \geq 4$	Khả năng xảy ra và mức tác động đều ở mức cao đến rất cao	Kết hợp biện pháp giảm khả năng xảy ra và giảm hậu quả; ưu tiên xử lý sớm
$P = I \leq 3$	Hai chiều cân bằng ở mức rất thấp đến trung bình	Lựa chọn biện pháp theo vùng ưu tiên và nguyên nhân cụ thể; P và I không tạo ra chiều ưu tiên rõ rệt

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

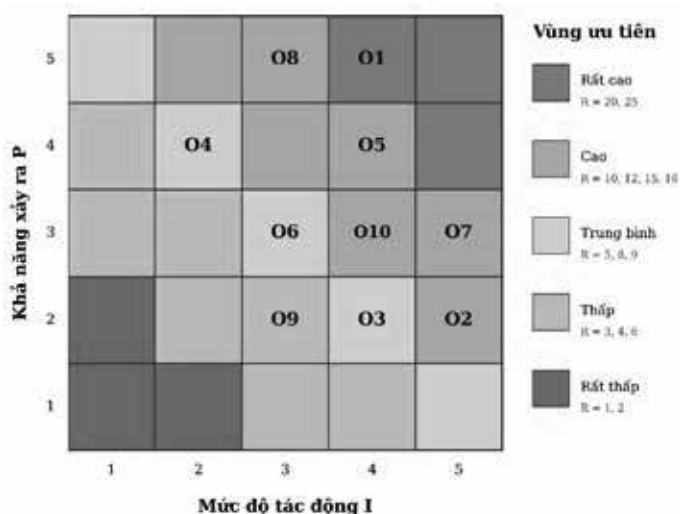
4.1. Phân bố các yếu tố rủi ro trên ma trận xác suất - tác động

Vận dụng thang đánh giá tại Bảng 1, 10 yếu tố rủi ro được gán mức P và I, sau đó định vị trên ma trận; kết quả được trình bày tại Bảng 3 và Hình 1. Các yếu tố phân bố tại 10 ô khác nhau, thuộc 4 trong 5 vùng ưu tiên, gồm 1 yếu tố ở vùng rất cao, 5 ở vùng cao, 3 ở vùng trung bình và 1 ở vùng thấp.

Bảng 3. Kết quả định vị 10 yếu tố rủi ro tổ chức trên ma trận xác suất - tác động

Mã	Yếu tố rủi ro tổ chức	P	I	$R = P \times I$	Vùng ưu tiên
01	Bố trí nhân sự thiếu kinh nghiệm	5	4	20	Rất cao
02	Mất nhân sự chủ chốt ở giai đoạn then chốt của dự án	2	5	10	Cao
03	Không đủ thời gian lập kế hoạch	2	4	8	Trung bình
04	Khối lượng công việc của giám đốc dự án vượt dự kiến	4	2	8	Trung bình
05	Thủ tục nội bộ làm chậm việc phê duyệt và ra quyết định	4	4	16	Cao
06	Các đơn vị chức năng không sẵn sàng hoặc quá tải	3	3	9	Trung bình
07	Thiếu hiểu biết về thủ tục cấp vốn nội bộ phức tạp	3	5	15	Cao
08	Thay đổi thứ tự ưu tiên trong chương trình hiện hành	5	3	15	Cao
09	Dự án ưu tiên mới được đưa vào chương trình	2	3	6	Thấp
010	Mục tiêu chi phí, thời gian, phạm vi và chất lượng không nhất quán	3	4	12	Cao

Ghi chú: Danh mục yếu tố được chuẩn hóa từ Danh mục rủi ro mẫu của Caltrans trong hướng dẫn của FHWA [5]; các mức P và I được thiết lập theo kịch bản nghiên cứu giả định.



Hình 1. Phân bố các yếu tố rủi ro tổ chức theo ma trận xác suất - tác động

Nguồn: Tác giả xây dựng trên cơ sở [8, 12, 13].

4.2. Phân tích kết quả ma trận xác suất - tác động

O1 ($R = 20$) thuộc vùng ưu tiên rất cao; O2, O5, O7, O8 và O10 thuộc vùng cao; O3, O4 và O6 thuộc vùng trung bình; O9 thuộc vùng thấp. Hai cặp O7 - O8 và O3 - O4 có cùng điểm tích số nhưng khác cấu hình (P, I), qua đó thể hiện sự khác biệt giữa hai chiều khả năng xảy ra và mức tác động trong cùng một mức ưu tiên.

O7 ($P = 3, I = 5$) và O8 ($P = 5, I = 3$) cùng có $R = 15$ và thuộc vùng ưu tiên cao. O7 có khả năng xảy ra ở mức trung bình nhưng tác động rất cao, vì vậy trọng tâm ứng phó hướng vào dự phòng và hạn chế hậu quả. Ngược lại, O8 có khả năng xảy ra rất cao nhưng tác động ở mức trung bình. Nguồn rủi ro của O8 gắn với thay đổi thứ tự ưu tiên ở cấp chương trình, do đó trọng tâm ứng phó của bộ máy dự án hướng vào khả năng thích ứng thông qua điều chỉnh tiến độ và phân bổ nguồn lực.

O3 ($P = 2, I = 4$) và O4 ($P = 4, I = 2$) cùng có $R = 8$ và thuộc vùng ưu tiên trung bình. O3 kết hợp khả năng xảy ra thấp với tác động cao nên trọng tâm ứng phó là dự phòng tiến độ và hạn chế hậu quả của việc thiếu thời gian lập kế hoạch. O4 có khả năng xảy ra cao nhưng tác động thấp, vì vậy trọng tâm chuyển sang kiểm soát khối lượng công việc và bố trí nguồn lực hỗ trợ cho giám đốc dự án. Đối với O5 ($P = 4, I = 4$), cả khả năng xảy ra và mức tác động đều cao; việc ứng phó cần kết hợp xử lý nguyên nhân phát sinh với các biện pháp hạn chế hậu quả.

Kết quả minh họa cho thấy điểm tích số và vùng ưu tiên xác định mức độ cần tập trung xử lý, trong khi cặp (P, I) làm rõ đặc điểm khả năng xảy ra - tác động của từng rủi ro và định hướng trọng tâm ứng phó. Biện pháp cụ thể được lựa chọn trên cơ sở kết quả này với nguyên nhân phát sinh, phạm vi kiểm soát và thẩm quyền tác động.

5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Nghiên cứu xây dựng quy trình 4 bước ứng dụng ma trận xác suất - tác động đối với các yếu tố rủi ro tổ chức trong dự án xây dựng công trình đường bộ sử dụng vốn đầu tư công, gồm chuẩn hóa danh mục rủi ro, xác định mức khả năng xảy ra và mức tác động, phân vùng ưu tiên và diễn giải kết quả theo hai lớp thông tin. Phân tích ma trận 5×5 cho thấy chỉ 4 trong 25 ô có giá trị R riêng biệt, trong khi 21 ô còn lại chia sẻ giá trị R với ít nhất một ô khác; phần lớn các trường hợp đồng điểm xuất hiện ở các cặp có P và I hoán đổi vị trí. Kịch bản minh họa qua các cặp O7 - O8 và O3 - O4 cho thấy các rủi ro có cùng điểm tích số và cùng vùng ưu tiên vẫn có thể khác nhau về cấu hình khả năng xảy ra - tác động. Trên cơ sở đó, vùng ưu

tiên được sử dụng để xác định mức độ cần tập trung xử lý, còn cặp (P, I) được giữ lại để làm rõ đặc điểm của từng rủi ro và định hướng trọng tâm ứng phó.

Kịch bản giả định minh họa việc vận hành quy trình; lựa chọn biện pháp ứng phó kết hợp kết quả diễn giải ma trận với nguyên nhân phát sinh, phạm vi kiểm soát và thẩm quyền tác động đối với từng rủi ro. Nghiên cứu tiếp theo cần triển khai tại các dự án xây dựng công trình đường bộ sử dụng vốn đầu tư công ở Việt Nam với số liệu thực tế và đánh giá của chuyên gia nhằm kiểm chứng danh mục rủi ro, hiệu chỉnh thang đánh giá và phân vùng ưu tiên, đồng thời mở rộng tiêu chí đánh giá tác động.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Quốc Toàn và Nguyễn Thị Thúy. Đánh giá rủi ro cho các dự án giao thông đô thị tại Hà Nội. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCNXD) - ĐHXD, tập 15, số 3V, tr. 177-185, 2021, doi: 10.31814/stce.nuce2021-15(3V)-15.
- [2] T. P. Nguyen and N. Chileshe. Revisiting the critical factors causing failure of construction projects in Vietnam, in Proc. 29th Annual ARCOM Conference, Reading, UK, Sep. 2013, pp. 929-938.
- [3] Nguyễn Lương Hải. Nghiên cứu sự ảnh hưởng của công tác lập kế hoạch đến hiệu quả hoạt động quản lý nhà nước trong đầu tư công xây dựng hạ tầng đường bộ tại Việt Nam. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCNXD) - ĐHXD, tập 13, số 3V, tr. 108-115, 2019, doi: 10.31814/stce.nuce2019-13(3V)-12.
- [4] Nguyễn Lương Hải. Nghiên cứu mô hình ảnh hưởng của hành vi tổ chức dự án đến chất lượng đạt được của các công trình xây dựng cơ sở hạ tầng giao thông tại Việt Nam. Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải, tập 71, số 5, tr. 458-471, 2020, doi: 10.25073/tcsj.71.5.1.
- [5] D. B. Ashley, J. E. Diekmann and K. R. Molenaar. Guide to Risk Assessment and Allocation for Highway Construction Management, Report No. FHWA-PL-06-032. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, DC, Oct. 2006.
- [6] Project Management Institute. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide). 6th ed. Project Management Institute, 2017.
- [7] International Electrotechnical Commission. IEC 31010:2019. Risk Management - Risk Assessment Techniques, 2nd ed. IEC, Geneva, 2019.
- [8] S. A. Othman, D. K. I. Jaff and A. Öztaş. Critical risk identification in construction projects using 2D and 3D risk matrices. PLOS ONE, vol. 21, no. 3, e0344476, 2026, doi: 10.1371/journal.pone.0344476.
- [9] International Organization for Standardization. ISO 31000:2018. Risk Management - Guidelines. ISO, Geneva, 2018.
- [10] L. A. Cox Jr. What's wrong with risk matrices?. Risk Analysis, vol. 28, no. 2, pp. 497-512, 2008, doi: 10.1111/j.1539-6924.2008.01030.x.
- [11] N. J. Duijm. Recommendations on the use and design of risk matrices. Safety Science, vol. 76, pp. 21-30, 2015, doi: 10.1016/j.ssci.2015.02.014.
- [12] V. Dumbravă and V.-S. Iacob. Using Probability - Impact Matrix in Analysis and Risk Assessment Projects. Journal of Knowledge Management, Economics and Information Technology, vol. 3, no. 6, pp. 1-7, 2013.
- [13] M. A. Kassem, M. A. Khoiry and N. Hamzah. Using probability impact matrix (PIM) in analyzing risk factors affecting the success of oil and gas construction projects in Yemen. International Journal of Energy Sector Management, vol. 14, no. 3, pp. 527-546, 2020, doi: 10.1108/IJESM-03-2019-0011.

Chính sách về thu hút đầu tư phát triển hạ tầng giao thông liên quan đến vùng nhiễm mặn trên địa bàn tỉnh Đồng Tháp

Policies for attracting investment in transport infrastructure development in saline-affected areas of Dong Thap province

> **THS.NCS LÊ PHI VŨ¹, PGS.TS DƯƠNG HỮU TUYẾN^{2,*}**

¹Ban Quản lý dự án Đầu tư xây dựng Khu vực 4 tỉnh Đồng Tháp

²Trường Đại học Giao thông vận tải

*Email: dhtuyen@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu phân tích tác động của các chính sách đến kết quả thu hút đầu tư phát triển hạ tầng giao thông trong vùng nhiễm mặn trên địa bàn tỉnh Đồng Tháp. Trên cơ sở tổng quan lý thuyết và các nghiên cứu liên quan, nghiên cứu đề xuất 3 nhóm yếu tố gồm: Hành lang pháp lý và thể chế đầu tư; chính sách ưu đãi và hỗ trợ đầu tư; chính sách thích ứng với biến đổi khí hậu và vùng nhiễm mặn. Dữ liệu được thu thập thông qua khảo sát 250 chuyên gia, cán bộ quản lý và đại diện doanh nghiệp. Nghiên cứu sử dụng Cronbach's Alpha, phân tích nhân tố khám phá (EFA) và hồi quy tuyến tính đa biến để kiểm định mô hình. Kết quả cho thấy cả 3 nhóm chính sách đều có tác động cùng chiều đến kết quả thu hút đầu tư. Trong đó, chính sách thích ứng với biến đổi khí hậu và vùng nhiễm mặn có tác động mạnh nhất, tiếp đến là chính sách ưu đãi và hỗ trợ đầu tư và hành lang pháp lý, thể chế đầu tư. Kết quả là cơ sở để đề xuất các hàm ý chính sách theo hướng tạo lập môi trường đầu tư thuận lợi, tăng tính ổn định của chính sách và gắn thu hút đầu tư với yêu cầu thích ứng với biến đổi khí hậu.

Từ khóa: Thu hút đầu tư; hạ tầng giao thông; vùng nhiễm mặn; biến đổi khí hậu; chính sách đầu tư; Đồng Tháp.

ABSTRACT

This study analyzes the impact of policies on investment attraction outcomes for transport infrastructure development in saline-affected areas of Dong Thap province. Based on a review of relevant theories and previous studies, the research proposes three groups of factors: Legal and institutional framework for investment; investment incentives and support policies and policies for climate change adaptation and saline-affected areas. Data were collected through a survey of 250 experts, government officials and business representatives. Cronbach's Alpha, exploratory factor analysis (EFA) and multiple linear regression were employed to test the proposed research model. The results indicate that all three policy groups have positive effects on investment attraction outcomes. Among them, climate change adaptation and saline-area policies have the strongest impact, followed by investment incentives and support policies and the legal and institutional framework. Based on these findings, the study proposes policy implications focusing on improving the investment environment, enhancing policy stability and integrating investment attraction with climate change adaptation requirements.

Keywords: Investment attraction; transport infrastructure; saline-affected areas; climate change; investment policy; Dong Thap.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) là vùng có vai trò quan trọng đối với phát triển kinh tế - xã hội của Việt Nam nhưng đang chịu tác động ngày càng lớn của biến đổi khí hậu, đặc biệt là xâm nhập mặn, sạt lở và ngập lụt. Những tác động này đặt ra yêu cầu tăng cường đầu tư kết cấu hạ tầng có khả năng thích ứng, trong đó hạ tầng giao thông có vai trò quan trọng

trong kết nối sản xuất, lưu thông hàng hóa và thúc đẩy phát triển kinh tế.

Đồng Tháp có vị trí quan trọng trong không gian kinh tế của vùng, có trên 600 km đường sông có thể tham gia giao thông thủy với tốc độ lớn, với nhu cầu đầu tư lớn cho hệ thống giao thông nhằm tăng cường kết nối giữa các khu vực sản xuất, đô thị, khu công nghiệp và các đầu mối logistics. Quy hoạch tỉnh Đồng Tháp thời kỳ

2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050 cũng xác định phát triển hệ thống kết cấu hạ tầng đồng bộ và huy động nguồn lực đầu tư ngoài ngân sách là những định hướng quan trọng trong phát triển kinh tế - xã hội của tỉnh.

Tuy nhiên, phát triển hạ tầng giao thông tại các khu vực chịu ảnh hưởng của nhiễm mặn (vùng cửa sông sát biển) đòi hỏi nguồn vốn lớn, thời gian đầu tư dài và phải đáp ứng các yêu cầu về thích ứng với điều kiện tự nhiên. Trong khi nguồn lực ngân sách nhà nước còn hạn chế, việc huy động nguồn vốn từ khu vực tư nhân và các nguồn lực xã hội trở thành yêu cầu cần thiết. Khả năng thu hút đầu tư vì vậy phụ thuộc không chỉ vào tính khả thi của dự án mà còn vào hành lang pháp lý và thể chế đầu tư, chính sách ưu đãi và hỗ trợ đầu tư, chính sách thích ứng với biến đổi khí hậu và vùng nhiễm mặn.

Xuất phát từ thực tiễn trên, nghiên cứu được thực hiện nhằm đánh giá tác động của các chính sách đến kết quả thu hút đầu tư phát triển hạ tầng giao thông trong vùng nhiễm mặn trên địa bàn tỉnh Đồng Tháp. Nghiên cứu khảo sát 250 chuyên gia, cán bộ quản lý và đại diện doanh nghiệp, sử dụng phương pháp phân tích định lượng và mô hình hồi quy để xác định mức độ tác động của từng nhóm chính sách. Kết quả nghiên cứu là cơ sở để xuất các giải pháp hoàn thiện chính sách, nâng cao khả năng huy động nguồn lực xã hội và phát triển hạ tầng giao thông thích ứng với biến đổi khí hậu tại Đồng Tháp.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT, MÔ HÌNH VÀ GIẢ THUYẾT NGHIÊN CỨU

2.1. Cơ sở lý thuyết về thu hút đầu tư phát triển hạ tầng giao thông

Thu hút đầu tư phát triển hạ tầng được hiểu là quá trình Nhà nước tạo lập các điều kiện về thể chế, chính sách và môi trường đầu tư nhằm huy động nguồn lực từ khu vực tư nhân và các chủ thể kinh tế khác tham gia đầu tư, xây dựng và khai thác kết cấu hạ tầng. Đối với hạ tầng giao thông, đặc điểm vốn đầu tư lớn, thời gian thu hồi vốn dài và hiệu quả dự án phụ thuộc vào mức độ phát triển của khu vực xung quanh khiến quyết định đầu tư chịu ảnh hưởng đáng kể từ môi trường chính sách và các điều kiện hỗ trợ của Nhà nước.

Kadryaliev et al. [1] cho rằng đầu tư vào hạ tầng giao thông không chỉ tạo ra năng lực kết nối mà còn góp phần thúc đẩy phát triển kinh tế. Vì vậy, việc tạo lập môi trường thuận lợi để huy động nguồn lực đầu tư cho giao thông có ý nghĩa quan trọng đối với phát triển kinh tế - xã hội. Đối với hạ tầng cảng, Semenov [2] nhấn mạnh vai trò của các vấn đề hành chính và pháp lý trong quá trình thu hút đầu tư, cho thấy chất lượng thể chế có thể tạo thuận lợi hoặc trở thành rào cản đối với nhà đầu tư.

Trong điều kiện ĐBSCL, yêu cầu thu hút đầu tư hạ tầng còn gắn với đặc điểm biến đổi khí hậu và điều kiện tự nhiên. Phạm Quốc Trường [3] khi nghiên cứu các nhân tố ảnh hưởng đến thu hút đầu tư vào ĐBSCL đã đặt vấn đề thu hút đầu tư trong mối quan hệ với chuyển đổi xanh và thích ứng với biến đổi khí hậu. Tạ Văn Trung [4] cũng cho rằng phát triển kinh tế bền vững của vùng cần được đặt trong bối cảnh biến đổi khí hậu. Điều này cho thấy đối với những khu vực chịu ảnh hưởng của nhiễm mặn, chính sách thu hút đầu tư cần không chỉ tạo thuận lợi về thủ tục và tài chính mà còn phải giảm thiểu những rủi ro đặc thù của dự án.

Bên cạnh đó, Lê Quang Tùng [5] cho thấy việc thu hút khu vực tư nhân đầu tư kết cấu hạ tầng giao thông, đặc biệt theo phương thức PPP, phụ thuộc vào cơ chế chính sách, khả năng phân bổ rủi ro và các điều kiện bảo đảm hiệu quả đầu tư. Từ các nghiên cứu trên, có thể thấy chính sách của Nhà nước tác động đến thu hút đầu tư thông qua nhiều cơ chế khác nhau. Trong phạm vi nghiên cứu này, ba nhóm chính sách được lựa chọn gồm hành lang pháp lý và thể

chế đầu tư; chính sách ưu đãi và hỗ trợ đầu tư; chính sách thích ứng với biến đổi khí hậu và vùng nhiễm mặn.

2.2. Hành lang pháp lý và thể chế đầu tư

Hành lang pháp lý và thể chế là nền tảng để xác lập quyền, nghĩa vụ và trách nhiệm của các bên trong hoạt động đầu tư, bởi vì hiện tại đầu tư giao thông thủy đang là phương thức đầu tư công. Đối với các dự án hạ tầng giao thông có quy mô lớn, Nhà nước thường phải bỏ ra lượng vốn đáng kể và chấp nhận thời gian thu hồi vốn dài. Do đó, sự ổn định, minh bạch và khả năng dự báo của hệ thống pháp luật có ý nghĩa quan trọng đối với quyết định đầu tư. Khi các quy định pháp lý rõ ràng, thủ tục được đơn giản hóa và quyền lợi của nhà đầu tư được bảo đảm, mức độ rủi ro thể chế và chi phí giao dịch có xu hướng giảm, từ đó làm tăng tính hấp dẫn của dự án.

Semenov [2] cho thấy các vấn đề hành chính và pháp lý có liên quan trực tiếp đến khả năng thu hút đầu tư phát triển hạ tầng cảng. Tương tự, Lê Quang Tùng [5] nhấn mạnh vai trò của cơ chế và chính sách trong thu hút khu vực tư nhân tham gia đầu tư kết cấu hạ tầng giao thông. Đối với ĐBSCL, yêu cầu ổn định về thể chế càng quan trọng khi các dự án hạ tầng phải được triển khai trong điều kiện chịu nhiều tác động của biến đổi khí hậu và có mức độ rủi ro cao hơn.

Từ lập luận trên, nghiên cứu cho rằng một hành lang pháp lý và thể chế đầu tư thuận lợi sẽ tạo niềm tin, giảm rủi ro và thúc đẩy quyết định tham gia của nhà đầu tư. Vì vậy, giả thuyết được đề xuất:

H1: Hành lang pháp lý và thể chế đầu tư có tác động cùng chiều đến kết quả thu hút đầu tư phát triển hạ tầng giao thông trong vùng nhiễm mặn trên địa bàn tỉnh Đồng Tháp.

2.3. Chính sách ưu đãi và hỗ trợ đầu tư

Chính sách ưu đãi và hỗ trợ đầu tư là công cụ quan trọng để Nhà nước điều chỉnh mức độ hấp dẫn của các dự án. Đối với hạ tầng giao thông, chi phí đầu tư ban đầu lớn (đối với nhà đầu tư tư nhân chủ yếu là công cụ vận tải), tuy vậy do thời gian hoàn vốn dài và khả năng phát sinh chi phí duy tu, vận hành làm cho hiệu quả tài chính của dự án có thể thấp hơn so với các lĩnh vực đầu tư khác. Vì vậy, các chính sách về thuế, đất đai, hỗ trợ đầu tư, tiếp cận nguồn lực và chia sẻ rủi ro có thể góp phần cải thiện phương án tài chính và giảm mức độ rủi ro mà nhà đầu tư phải đối mặt.

Kadryaliev et al. [1] chỉ ra vai trò của đầu tư hạ tầng giao thông đối với phát triển kinh tế, qua đó cho thấy việc huy động nguồn lực cho lĩnh vực này cần có các điều kiện phù hợp. Phạm Quốc Trường [3] cũng đặt vấn đề về các nhân tố ảnh hưởng đến thu hút đầu tư tại ĐBSCL trong quá trình chuyển đổi xanh và thích ứng với biến đổi khí hậu. Trong lĩnh vực hạ tầng giao thông, Lê Quang Tùng [5] cho rằng cơ chế hỗ trợ và phân bổ rủi ro có vai trò quan trọng trong việc tạo động lực cho khu vực tư nhân tham gia đầu tư.

Đối với vùng nhiễm mặn, chính sách ưu đãi và hỗ trợ càng có ý nghĩa bởi nhà đầu tư có thể phải chịu thêm chi phí để lựa chọn công nghệ, vật liệu, thiết kế và duy tu công trình thích ứng với điều kiện tự nhiên. Do đó, nếu chính sách ưu đãi và hỗ trợ đủ rõ ràng, ổn định và phù hợp với đặc thù dự án, khả năng thu hút đầu tư được kỳ vọng sẽ cao hơn.

H2: Chính sách ưu đãi và hỗ trợ đầu tư có tác động cùng chiều đến kết quả thu hút đầu tư phát triển hạ tầng giao thông trong vùng nhiễm mặn trên địa bàn tỉnh Đồng Tháp.

2.4. Chính sách thích ứng với biến đổi khí hậu và vùng nhiễm mặn

Khác với các dự án hạ tầng thông thường, đầu tư hạ tầng giao thông tại khu vực chịu ảnh hưởng của nhiễm mặn phải đối mặt với những rủi ro đặc thù như xâm nhập mặn, sạt lở, ngập lụt, bồi lắng và thay đổi điều kiện thủy văn. Những yếu tố này có thể làm gia tăng chi phí xây dựng, bảo trì và vận hành, đồng thời ảnh

hường đến tuổi thọ và hiệu quả khai thác công trình. Vì vậy, chính sách thích ứng với biến đổi khí hậu có thể trở thành một bộ phận quan trọng của chính sách thu hút đầu tư.

Phạm Quốc Trường [3] cho rằng thu hút đầu tư tại ĐBSCL cần gắn với chuyển đổi xanh và thích ứng với biến đổi khí hậu. Tạ Văn Trung [4] cũng nhấn mạnh yêu cầu phát triển bền vững trong điều kiện biến đổi khí hậu. Từ góc độ đầu tư hạ tầng, điều này hàm ý rằng Nhà nước cần tạo ra các cơ chế hỗ trợ để nhà đầu tư có thể giảm chi phí và rủi ro phát sinh từ điều kiện tự nhiên. Các chính sách liên quan đến hỗ trợ công nghệ, tiêu chuẩn kỹ thuật, chi phí thích ứng, duy tu và chia sẻ rủi ro khí hậu có thể làm tăng tính khả thi và sức hấp dẫn của dự án.

Do đó, nghiên cứu kỳ vọng chính sách thích ứng càng phù hợp với đặc thù vùng nhiễm mặn thì khả năng thu hút đầu tư phát triển hạ tầng giao thông càng cao. Giả thuyết được đề xuất:

H3: Chính sách thích ứng với biến đổi khí hậu và vùng nhiễm mặn có tác động cùng chiều đến kết quả thu hút đầu tư phát triển hạ tầng giao thông trong vùng nhiễm mặn trên địa bàn tỉnh Đồng Tháp.

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu sử dụng kết hợp phương pháp nghiên cứu định tính và định lượng. Trên cơ sở tổng quan các nghiên cứu trước, đặc điểm đầu tư hạ tầng giao thông và điều kiện biến đổi khí hậu tại Đồng Tháp, nghiên cứu xác định ba nhóm yếu tố ảnh hưởng gồm: Hành lang pháp lý và thể chế đầu tư (HPL), chính sách ưu đãi và hỗ trợ đầu tư (UD), chính sách thích ứng với biến đổi khí

hậu và vùng nhiễm mặn (KH). Biến phụ thuộc là kết quả thu hút đầu tư phát triển hạ tầng giao thông (KQ).

Nghiên cứu tiến hành khảo sát 250 chuyên gia, cán bộ quản lý và đại diện doanh nghiệp có liên quan đến hoạt động đầu tư, xây dựng và phát triển hạ tầng giao thông trên địa bàn tỉnh Đồng Tháp. Các biến quan sát được đo lường bằng thang Likert 5 mức độ, từ 1 - Hoàn toàn không đồng ý đến 5 - Hoàn toàn đồng ý.

4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

4.1. Mô tả mẫu nghiên cứu

Nghiên cứu tiến hành khảo sát các chuyên gia, cán bộ quản lý và đại diện doanh nghiệp có liên quan đến đầu tư, vận tải thủy nội địa, cảng, logistics và phát triển hạ tầng trên địa bàn tỉnh. Tổng cộng 250 phiếu khảo sát hợp lệ được sử dụng để phân tích. Trong đó, nhóm đại diện doanh nghiệp chiếm tỷ trọng lớn hơn với 64,8%, còn chuyên gia và cán bộ quản lý chiếm 35,2%. Về kinh nghiệm, nhóm có thời gian công tác từ 5 - 10 năm chiếm tỷ trọng cao nhất, tiếp đến là nhóm trên 10 năm; đây là những đối tượng có khả năng đánh giá tương đối rõ về môi trường chính sách và hoạt động đầu tư hạ tầng giao thông.

4.2. Kiểm định thang đo và phân tích hồi quy

Các biến được đo lường bằng thang Likert 5 mức độ. Kết quả kiểm định trên 250 quan sát cho thấy các thang đo đều có Cronbach's Alpha > 0,7 và hệ số tương quan biến - tổng > 0,3. Phân tích EFA cho KMO = 0,891; Sig. Bartlett = 0,000; tổng phương sai trích = 68,47%, xác định 4 nhân tố phù hợp với mô hình nghiên cứu.

Bảng 1. Thang đo và kết quả kiểm định các biến

Nhân tố	Mã hóa	Biến quan sát	Cronbach's Alpha	Factor loading
HPL - Hành lang pháp lý và thể chế đầu tư	HPL1	Hệ thống pháp luật về đầu tư và phát triển hạ tầng giao thông ổn định, nhất quán	0,884	0,742
	HPL2	Quy định về đầu tư hạ tầng giao thông rõ ràng, minh bạch, dễ thực hiện		0,781
	HPL3	Thủ tục đầu tư được đơn giản hóa và thực hiện nhanh chóng		0,826
	HPL4	Quyền và lợi ích hợp pháp của nhà đầu tư được bảo đảm		0,794
	HPL5	Cơ chế phối hợp giữa các cơ quan quản lý trong thực hiện dự án hiệu quả		0,758
UD - Chính sách ưu đãi và hỗ trợ đầu tư	UD1	Chính sách ưu đãi về thuế, phí và lệ phí đối với dự án đầu tư phù hợp	0,901	0,768
	UD2	Chính sách hỗ trợ về đất đai tạo điều kiện thuận lợi cho nhà đầu tư		0,812
	UD3	Nhà đầu tư được hỗ trợ tiếp cận các nguồn vốn và nguồn lực cần thiết		0,835
	UD4	Có cơ chế hỗ trợ, chia sẻ rủi ro đối với các dự án hạ tầng giao thông đặc thù		0,847
	UD5	Chính sách ưu đãi và hỗ trợ có tính ổn định trong quá trình thực hiện dự án		0,801
KH - Chính sách thích ứng với BĐKH và vùng nhiễm mặn	KH1	Có chính sách hỗ trợ công nghệ và vật liệu thích ứng với nhiễm mặn	0,918	0,804
	KH2	Có chính sách hỗ trợ nhà đầu tư phòng ngừa và giảm thiểu rủi ro do BĐKH		0,841
	KH3	Tiêu chuẩn, quy định kỹ thuật về công trình giao thông thích ứng với nhiễm mặn rõ ràng		0,873
	KH4	Có cơ chế hỗ trợ chi phí duy tu, xử lý công trình do tác động của nhiễm mặn và BĐKH		0,856
	KH5	Chính sách ưu tiên các dự án giao thông có khả năng thích ứng và phát triển bền vững		0,819
	KQ1	Chính sách hiện nay góp phần gia tăng sự quan tâm của nhà đầu tư đối với các dự án	0,895	0,786

KQ - Kết quả thu hút đầu tư	KQ2	Khả năng thu hút doanh nghiệp tư nhân tham gia đầu tư được cải thiện		0,821
	KQ3	Quy mô vốn đầu tư ngoài ngân sách huy động cho hạ tầng giao thông được nâng lên		0,847
	KQ4	Số lượng và quy mô các dự án đầu tư hạ tầng giao thông có xu hướng gia tăng		0,813
	KQ5	Các dự án hạ tầng giao thông trong vùng nhiễm mặn có khả năng thu hút đầu tư cao hơn		0,795

Nguồn: Kết quả phân tích từ dữ liệu khảo sát của tác giả.

Bảng 2. Kết quả phân tích các hệ số hồi quy

Mô hình		Hệ số chưa chuẩn hóa		Hệ số chuẩn hóa	t	Mức ý nghĩa	VIF
		B	Sai số	Beta			
1	(Constant)	1,163E-016	,059		5,782	1,000	1,482
	HPL	0,218	0,291	0,291	6,714	0,000	1,563
	UD	0,276	0,338	0,338	8,126	0,001	1,621
	KH	0,327	0,402	0,402	5,782	0,003	1,482

Nguồn: Kết quả phân tích từ dữ liệu khảo sát của tác giả.

Kết quả phân tích hồi quy cho thấy các yếu tố HPL, UD và KH đều có tác động cùng chiều đến kết quả thu hút đầu tư phát triển hạ tầng giao thông trong vùng nhiễm mặn. Các hệ số hồi quy chuẩn hóa (Beta) đều mang dấu dương, cho thấy khi mức độ thuận lợi của các chính sách tăng thì kết quả thu hút đầu tư có xu hướng được cải thiện.

Trong đó: KH - Chính sách thích ứng với biến đổi khí hậu và vùng nhiễm mặn có mức tác động lớn nhất với Beta = 0,402, tiếp đến là UD - Chính sách ưu đãi và hỗ trợ đầu tư với Beta = 0,338 và HPL - Hành lang pháp lý và thể chế đầu tư với Beta = 0,291. Như vậy, trong điều kiện đặc thù của vùng nhiễm mặn, các chính sách hỗ trợ thích ứng với biến đổi khí hậu có vai trò nổi bật nhất đối với khả năng thu hút đầu tư.

5. KẾT LUẬN VÀ HÀM Ý CHÍNH SÁCH

Nghiên cứu đã xác định và kiểm định 3 nhóm yếu tố chính sách ảnh hưởng đến kết quả thu hút đầu tư phát triển hạ tầng giao thông trong vùng nhiễm mặn trên địa bàn tỉnh Đồng Tháp, gồm hành lang pháp lý và thể chế đầu tư (HPL), chính sách ưu đãi và hỗ trợ đầu tư (UD), chính sách thích ứng với biến đổi khí hậu và vùng nhiễm mặn (KH). Kết quả phân tích hồi quy cho thấy cả 3 yếu tố đều có tác động cùng chiều và có ý nghĩa thống kê. Trong đó, KH có tác động mạnh nhất (Beta = 0,402), tiếp đến là UD (Beta = 0,338) và HPL (Beta = 0,291). Kết quả này cho thấy đặc thù về biến đổi khí hậu và nhiễm mặn cần được xem là một nội dung trọng tâm trong chính sách thu hút đầu tư hạ tầng giao thông của tỉnh.

Trên cơ sở đó, Đồng Tháp cần tiếp tục hoàn thiện môi trường pháp lý theo hướng ổn định, minh bạch và thuận lợi hơn cho doanh nghiệp. Trọng tâm không nhất thiết là xây dựng thêm nhiều chính sách mới mà nên rà soát, đơn giản hóa những thủ tục còn mất nhiều thời gian trong quá trình chuẩn bị và thực hiện dự án. Đối với các dự án hạ tầng giao thông, việc có một đầu mối hỗ trợ nhà đầu tư, cung cấp đầy đủ thông tin về quy hoạch, đất đai, thủ tục và tiến độ xử lý hồ sơ sẽ giúp doanh nghiệp giảm chi phí giao dịch và chủ động hơn trong quyết định đầu tư.

Đối với chính sách ưu đãi và hỗ trợ, tỉnh nên thực hiện theo hướng đúng đối tượng và phù hợp với đặc điểm từng dự án, thay vì ưu đãi dàn trải. Các dự án có quy mô lớn, thời gian thu hồi vốn dài hoặc có vai trò kết nối vùng có thể được xem xét hỗ trợ về mặt bằng, kết nối hạ tầng kỹ thuật, tiếp cận thông tin và thủ tục đầu tư. Đối với những dự án có mức độ rủi ro cao, tỉnh có thể nghiên cứu các cơ chế chia sẻ rủi ro phù hợp trong khuôn khổ pháp luật hiện hành. Điều quan trọng là chính sách hỗ

trợ cần được công khai và có tính ổn định để doanh nghiệp có thể tính toán hiệu quả đầu tư trong dài hạn.

Đặc biệt, kết quả nghiên cứu cho thấy cần gắn chính sách thu hút đầu tư với yêu cầu thích ứng với biến đổi khí hậu và nhiễm mặn. Đối với các dự án giao thông, logistics và kết nối hàng hóa tại những khu vực có nguy cơ chịu tác động của nhiễm mặn, tỉnh nên chủ động cung cấp thông tin về điều kiện thủy văn, ngập lụt, sạt lở và mức độ nhiễm mặn để nhà đầu tư có thể đánh giá rủi ro ngay từ giai đoạn chuẩn bị dự án. Đồng thời, khuyến khích doanh nghiệp lựa chọn công nghệ, vật liệu và giải pháp thiết kế phù hợp sẽ góp phần hạn chế chi phí phát sinh trong quá trình khai thác, qua đó nâng cao tính hấp dẫn của dự án.

Cuối cùng, tỉnh cần tăng cường đối thoại và phối hợp với doanh nghiệp ngay từ giai đoạn hình thành dự án. Việc tham vấn doanh nghiệp, nhà đầu tư và các đơn vị hoạt động trong lĩnh vực giao thông, logistics sẽ giúp xác định rõ nhu cầu thị trường, khả năng khai thác và mức độ phù hợp của từng dự án. Đây cũng là cách để chuyển từ tư duy “thu hút được nhà đầu tư” sang “tạo điều kiện để nhà đầu tư có thể đầu tư và khai thác hiệu quả”. Với cách tiếp cận này, chính sách thu hút đầu tư sẽ thực tế hơn, đồng thời góp phần huy động nguồn lực xã hội để phát triển hạ tầng giao thông và hệ thống logistics của Đồng Tháp theo hướng bền vững, thích ứng tốt hơn với biến đổi khí hậu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Kadyraliev, A., Supaeva, G., Bakas, B., Dzholdosheva, T., Dzholdoshev, N., Balova, S... & Krinichansky, K. Investments in transport infrastructure as a factor of stimulation of economic development. Transportation Research Procedia, vol. 63, pp. 1359-1369, 2022.

[2] Semenov, Andrey Viktorovich. Administrative and legal issues of attracting investment for the development of port infrastructure. SHS Web of Conferences, vol. 164, EDP Sciences, 2023.

[3] Phạm Quốc Trường. Xác định các nhân tố ảnh hưởng đến thu hút đầu tư vào khu vực ĐBSCL theo hình thái chuyển đổi xanh và thích ứng với biến đổi khí hậu. Tạp chí Kinh tế và Dự báo, số 02/2024, tr. 41-44, 2024.

[4] Tạ Văn Trung. Phát triển kinh tế bền vững vùng kinh tế trọng điểm vùng ĐBSCL trong bối cảnh biến đổi khí hậu. Luận án Tiến sĩ, Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu, Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2022.

[5] Lê Quang Tùng. Nghiên cứu thu hút khu vực tư nhân đầu tư kết cấu hạ tầng giao thông theo phương thức đối tác công tư trên địa bàn tỉnh Quảng Ninh. Luận án Tiến sĩ, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, 2023.

Tác động của phối hợp quản lý vốn đến tiến độ giải ngân vốn đầu tư công trong các dự án xây dựng giao thông

The impact of coordination in capital management on public investment disbursement progress in transport infrastructure projects

> TS ĐỖ VĂN THUẬN¹, THS.NCS TRẦN TUẤN PHONG¹, TS LÊ THỊ THU HUYỀN^{2,*}

¹Học viện Chiến lược, bồi dưỡng cán bộ xây dựng

²Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải

*Email: huyenlitt@utt.edu.vn

TÓM TẮT

Giải ngân vốn đầu tư công là khâu then chốt quyết định tiến độ và hiệu quả của các dự án xây dựng công trình giao thông. Nghiên cứu này nhằm phân tích tác động của mức độ phối hợp giữa các bên tham gia quản lý vốn đến tiến độ giải ngân vốn đầu tư công. Dữ liệu khảo sát được thu thập từ 136 cán bộ thuộc các ban quản lý dự án, cơ quan quản lý vốn, cơ quan kế hoạch đầu tư, cơ quan tài chính và Kho bạc Nhà nước. Phân tích hồi quy tuyến tính đa biến cho thấy 4 yếu tố phối hợp (CO1 - chủ đầu tư & cơ quan chủ trì, CO2 - cơ quan kế hoạch đầu tư, CO3 - cơ quan tài chính, CO4 - Kho bạc Nhà nước) có ảnh hưởng tích cực và có ý nghĩa thống kê đến tiến độ giải ngân, trong đó CO1 và CO2 là những yếu tố tác động mạnh nhất theo chiều thuận, còn CO3 cho thấy ảnh hưởng ngược chiều. Kết quả nghiên cứu cung cấp bằng chứng thực nghiệm cho việc cải thiện cơ chế phối hợp liên ngành, đơn giản hóa thủ tục tài chính, hiện đại hóa quy trình kiểm soát chi và nâng cao trách nhiệm nhà thầu, góp phần đẩy nhanh tiến độ giải ngân vốn đầu tư công trong lĩnh vực giao thông.

Từ khóa: Giải ngân vốn đầu tư công; phối hợp quản lý vốn; dự án giao thông; hồi quy tuyến tính đa biến; hàm ý chính sách.

ABSTRACT

Public investment disbursement plays a critical role in determining the progress and efficiency of transport infrastructure projects. This study aims to analyze the impact of coordination among stakeholders involved in public capital management on disbursement progress. Primary data were collected from 136 respondents, including project management unit staff, investment management agencies, planning and finance authorities and state treasury officers. Multiple linear regression analysis reveals that four coordination factors (CO1 - project owner & governing agency, CO2 - planning agency, CO3 - finance agency, CO4 - state treasury) have statistically significant effects on disbursement progress. CO1 and CO2 exert the strongest positive effects, whereas CO3 shows a negative relationship. The findings provide empirical evidence supporting the need to improve inter-agency coordination, simplify financial procedures, modernize state treasury processes and enhance contractor accountability, thereby accelerating public investment disbursement in the transport sector.

Keywords: Public investment disbursement; coordination in capital management; transport infrastructure projects; multiple linear regression; managerial implications.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đầu tư công đóng vai trò quan trọng trong phát triển hạ tầng kinh tế - xã hội, đặc biệt trong lĩnh vực giao thông đường bộ, nơi nhu cầu vốn luôn ở mức rất cao. Tuy nhiên, tình trạng giải ngân vốn chậm, không đạt kế hoạch hàng năm vẫn là thách thức lớn, làm giảm hiệu quả sử dụng vốn ngân sách và ảnh hưởng đến mục tiêu phát triển hạ tầng quốc gia [1, 2].

Một trong những nguyên nhân quan trọng dẫn đến chậm giải ngân là thiếu sự phối hợp hiệu quả giữa các chủ thể tham gia quản

lý vốn, bao gồm chủ đầu tư, cơ quan chủ trì, cơ quan kế hoạch đầu tư, cơ quan tài chính, Kho bạc Nhà nước và nhà thầu. Các nghiên cứu trước đây thường tập trung vào phân tích nguyên nhân chậm giải ngân từ góc độ thủ tục hành chính, năng lực quản lý dự án hoặc chất lượng chuẩn bị đầu tư, trong khi vai trò của yếu tố phối hợp liên ngành chưa được lượng hóa đầy đủ.

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm: (i) Xây dựng khung phân tích đánh giá mức độ phối hợp giữa các bên tham gia

quản lý vốn đầu tư công; (ii) Kiểm định tác động của các yếu tố phối hợp đến tiến độ giải ngân thông qua mô hình hồi quy tuyến tính đa biến; (iii) Đề xuất các hàm ý quản lý nhằm nâng cao hiệu quả phối hợp và đẩy nhanh tiến độ giải ngân vốn đầu tư công.

Kết quả nghiên cứu không chỉ đóng góp bằng chứng thực nghiệm về tác động của phối hợp liên ngành đến tiến độ giải ngân mà còn gợi ý giải pháp cụ thể cho các cơ quan quản lý, phù hợp với bối cảnh đẩy mạnh đầu tư công và cải cách thủ tục hành chính giai đoạn 2026 - 2030.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Khung nghiên cứu và mô hình phân tích

Nghiên cứu được thiết kế nhằm kiểm định tác động của hoạt động phối hợp quản lý vốn đến tiến độ giải ngân vốn đầu tư công trong các dự án giao thông đường bộ. Dựa trên tổng quan lý thuyết về quản lý vốn đầu tư công, quản lý dự án và phối hợp liên ngành [3-5], nghiên cứu này thực hiện đánh giá mô hình ảnh hưởng dựa trên khung chỉ tiêu bao gồm 5 biến độc lập phản ánh mức độ phối hợp giữa các bên tham gia quản lý vốn:

- **CO1:** Phối hợp giữa chủ đầu tư và cơ quan chủ trì trong việc lập và thực hiện kế hoạch vốn.
- **CO2:** Phối hợp của cơ quan kế hoạch đầu tư trong phân bổ và điều chỉnh kế hoạch vốn.
- **CO3:** Phối hợp của cơ quan tài chính trong thẩm định và cấp phát vốn.
- **CO4:** Phối hợp của Kho bạc Nhà nước trong tạm ứng, thanh toán, quyết toán.
- **CO5:** Phối hợp của Nhà thầu trong hoàn thiện hồ sơ thanh toán, quyết toán.

Tiến độ giải ngân (DIS) được sử dụng làm biến phụ thuộc, đo lường bằng mức độ hoàn thành kế hoạch giải ngân theo thời gian và khối lượng vốn. Mô hình phân tích được xây dựng dưới dạng hồi quy tuyến tính đa biến theo công thức (1):

$$DIS = \beta_0 + \beta_1 \cdot CO1 + \beta_2 \cdot CO2 + \beta_3 \cdot CO3 + \beta_4 \cdot CO4 + \beta_5 \cdot CO5 + \varepsilon \quad (1)$$

Trong đó: β_i là hệ số hồi quy phản ánh mức độ tác động của từng yếu tố phối hợp đến tiến độ giải ngân.

2.2. Thu thập dữ liệu

Dữ liệu sơ cấp được thu thập thông qua khảo sát bằng bảng hỏi cấu trúc, gửi đến các cán bộ trực tiếp tham gia quản lý, điều hành hoặc giám sát vốn đầu tư công trong lĩnh vực giao thông đường bộ. Mẫu khảo sát được phân bổ theo các nhóm đối tượng để bảo đảm tính đại diện:

- Ban quản lý dự án (74 mẫu);
- Cơ quan quản lý vốn đầu tư xây dựng (29 mẫu);
- Cơ quan kế hoạch đầu tư (13 mẫu);
- Cơ quan tài chính (7 mẫu);
- Kiểm toán Nhà nước (13 mẫu).

Sau khi rà soát và làm sạch dữ liệu, tổng số 136 mẫu hợp lệ được đưa vào phân tích. Các biến CO1 - CO5 được đo lường bằng thang đo Likert 5 mức (1 - Hoàn toàn không đồng ý đến 5 - Hoàn toàn đồng ý). Để bảo đảm độ tin cậy và giá trị nội dung, bảng hỏi được thử nghiệm sơ bộ và hiệu chỉnh trước khi khảo sát chính thức.

2.3. Phân tích dữ liệu

Dữ liệu được xử lý bằng phần mềm thống kê SmartPLS. Các bước phân tích bao gồm:

- Kiểm định độ tin cậy thang đo;
- Phân tích hồi quy tuyến tính đa biến để xác định mức độ tác động của từng yếu tố phối hợp (CO1-CO5) đến tiến độ giải ngân (DIS);
- Kiểm định ý nghĩa thống kê thông qua hệ số p-value (Sig.), với ngưỡng ý nghĩa 0,05 và 0,01.

Phương pháp này cho phép lượng hóa mức độ ảnh hưởng của từng yếu tố, từ đó xác định đâu là điểm mạnh cần phát huy và đâu là "điểm nghẽn" cần cải thiện trong hoạt động phối hợp quản lý vốn.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ BÀN LUẬN

3.1. Kết quả nghiên cứu

Kết quả phân tích hồi quy tuyến tính đa biến (Bảng 1 và Hình 1) cho thấy mô hình nghiên cứu giải thích được 32,4% sự biến thiên của tiến độ giải ngân vốn đầu tư công (Adjusted R² = 0,324), với các biến độc lập được kiểm định đều có ý nghĩa thống kê ở các mức khác nhau. Điều này khẳng định rằng mức độ phối hợp quản lý vốn giữa các bên tham gia đóng vai trò quan trọng trong việc quyết định tốc độ giải ngân vốn trong các dự án giao thông đường bộ.

Bảng 1. Kết quả phân tích tác động của phối hợp quản lý vốn đến tiến độ giải ngân

Biến độc lập	Hệ số hồi quy chuẩn hóa (β)	Giá trị p (Sig.)	Kết luận
Biến độc lập	Hệ số hồi quy chuẩn hóa (β)	Giá trị p (Sig.)	Kết luận
CO1 - Phối hợp giữa chủ đầu tư và cơ quan chủ trì	0,354	0,003**	Ảnh hưởng tích cực, có ý nghĩa
CO2 - Phối hợp của cơ quan kế hoạch đầu tư	0,311	0,000**	Ảnh hưởng tích cực, có ý nghĩa mạnh
CO3 - Phối hợp của cơ quan tài chính	-0,224	0,047*	Ảnh hưởng tích cực, có ý nghĩa
CO4 - Phối hợp của Kho bạc Nhà nước	0,254	0,033*	Ảnh hưởng tích cực, có ý nghĩa
CO5 - Phối hợp của nhà thầu trong thanh toán, quyết toán	-0,081	0,389	Không có ảnh hưởng có ý nghĩa thống kê

Ghi chú: (**) $p < 0,01$; (*) $p < 0,05$.

3.2. Phân tích và bàn luận

* *Vai trò phối hợp giữa chủ đầu tư và cơ quan chủ trì (CO1):*

Hệ số $\beta = 0,354$ ($p < 0,01$) cho thấy sự phối hợp giữa chủ đầu tư và cơ quan chủ trì có tác động mạnh nhất đến tiến độ giải ngân. Đây là khâu trọng tâm trong chu trình quản lý vốn, liên quan đến lập và điều chỉnh kế hoạch, phân bổ vốn và xử lý các thủ tục hành chính. Kết quả nhấn mạnh rằng nếu mối quan hệ hợp tác giữa hai bên được duy trì tốt, tiến độ giải ngân sẽ được cải thiện đáng kể. Kết quả này hoàn toàn phù hợp với thực tế quản lý vốn đầu tư công các công trình giao thông tại Việt Nam, nơi các chủ đầu tư được người có thẩm quyền ủy quyền triển khai thực hiện dự án đầu tư công từ khâu chuẩn bị đầu tư đến khi kết thúc xây dựng đưa dự án vào khai thác sử dụng. Tuy vậy, thực tiễn quản lý đầu tư công ở Việt Nam cho thấy sự phối hợp và chỉ đạo của các cơ quan chủ trì vẫn đóng vai trò quan trọng nhất định trong toàn bộ quá trình đầu tư công nói chung và giải ngân vốn đầu tư công nói riêng.

* *Ảnh hưởng của phối hợp với cơ quan kế hoạch đầu tư (CO2):*

Hệ số $\beta = 0,311$ ($p < 0,01$) khẳng định tầm quan trọng của việc phối hợp với cơ quan kế hoạch đầu tư. Việc ban hành và điều chỉnh kịp thời kế hoạch vốn giúp giảm thiểu ách tắc trong triển khai dự án,

đồng thời bảo đảm nguồn vốn được phân bổ đúng thời gian và khối lượng. Kết quả này phù hợp với quan điểm quản lý dự án, coi lập kế hoạch là bước quyết định đến sự thành công của cả chu kỳ thực hiện.

** Ảnh hưởng ngược chiều từ phối hợp với cơ quan tài chính (CO3):*

Đáng chú ý, CO3 có hệ số β âm (-0,224, $p < 0,05$), phản ánh mối quan hệ phối hợp với cơ quan tài chính hiện đang tạo ra hiệu ứng làm chậm tiến độ giải ngân. Nguyên nhân có thể xuất phát từ quy trình thẩm định và phân bổ vốn còn phức tạp, nhiều tầng nấc phê duyệt, gây tăng thời gian chờ. Đây là một cảnh báo quan trọng, cho thấy nhu cầu cấp thiết của việc đơn giản hóa thủ tục tài chính, tăng tính linh hoạt trong phê duyệt và giải ngân vốn.

** Vai trò của phối hợp với Kho bạc Nhà nước (CO4):*

Hệ số $\beta = 0,254$ ($p < 0,05$) cho thấy phối hợp với Kho bạc Nhà nước có tác động tích cực đến tiến độ giải ngân, nhờ quy trình kiểm soát chi và thanh toán vốn được cải thiện trong thời gian qua. Tuy nhiên, kết quả cũng cho thấy còn dư địa để rút ngắn thời gian xử lý hồ sơ và tăng cường ứng dụng công nghệ thông tin để nâng cao hiệu quả phối hợp.

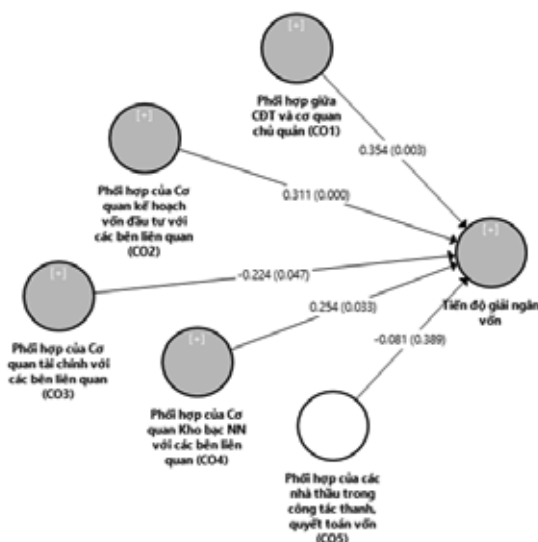
** Hạn chế trong phối hợp với nhà thầu (CO5):*

CO5 không có ý nghĩa thống kê, chứng tỏ phối hợp với nhà thầu chưa ảnh hưởng trực tiếp đến tiến độ giải ngân. Tiến độ thanh toán và quyết toán hiện vẫn phụ thuộc nhiều vào năng lực thực hiện của nhà thầu và quy trình nghiệm thu. Do đó, cần tăng cường cơ chế khuyến khích nhà thầu chủ động hơn trong việc hoàn thiện hồ sơ thanh toán và đẩy nhanh thủ tục nghiệm thu.

** Hàm ý quản lý:*

Kết quả nghiên cứu khẳng định vai trò trung tâm của sự phối hợp liên ngành trong quản lý vốn đầu tư công. Để nâng cao hiệu quả giải ngân, cần:

- Tăng cường phối hợp giữa chủ đầu tư và cơ quan chủ trì, bảo đảm thông tin được chia sẻ minh bạch, kế hoạch vốn được phê duyệt và điều chỉnh kịp thời.
- Cải cách thủ tục tài chính, số hóa quy trình thẩm định và phê duyệt, giảm bớt tầng nấc trung gian nhằm khắc phục tác động tiêu cực của CO3.
- Tiếp tục hiện đại hóa quy trình kiểm soát chi của Kho bạc Nhà nước, áp dụng hệ thống xử lý điện tử để giảm thời gian xử lý.
- Nâng cao năng lực nhà thầu và ban quản lý dự án về hồ sơ thanh toán, khuyến khích sử dụng nền tảng số để giảm sai sót và rút ngắn quy trình quyết toán.



4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã phân tích tác động của hoạt động phối hợp quản lý vốn đến tiến độ giải ngân vốn đầu tư công trong các dự án giao thông đường bộ tại Việt Nam. Trên cơ sở dữ liệu khảo sát 136 mẫu và phân tích hồi quy tuyến tính đa biến, kết quả chỉ ra rằng 4 yếu tố phối hợp CO1, CO2, CO3, CO4 có ảnh hưởng có ý nghĩa thống kê đến tiến độ giải ngân, trong đó:

- CO1 (phối hợp giữa chủ đầu tư và cơ quan chủ trì) là yếu tố có tác động mạnh nhất, cho thấy tầm quan trọng của việc phối hợp ngay từ khâu lập kế hoạch và điều chỉnh vốn.

- CO2 (phối hợp của cơ quan kế hoạch đầu tư) có tác động tích cực và ý nghĩa cao, khẳng định vai trò then chốt của công tác lập và phân bổ kế hoạch vốn kịp thời.

- CO3 (phối hợp của cơ quan tài chính) có hệ số âm, phản ánh quy trình thẩm định và phân bổ vốn còn phức tạp, gây chậm trễ giải ngân - đây là "điểm nghẽn" cần ưu tiên cải cách.

- CO4 (phối hợp với Kho bạc Nhà nước) tác động tích cực, song vẫn còn dư địa cải thiện nhằm rút ngắn thời gian xử lý hồ sơ.

Đáng chú ý, CO5 (phối hợp của nhà thầu) chưa chứng minh được ảnh hưởng đáng kể đến tốc độ giải ngân, cho thấy cần có cơ chế khuyến khích nhà thầu nâng cao trách nhiệm trong việc hoàn thiện hồ sơ và phối hợp nghiệm thu - thanh toán.

Từ các kết quả này, nghiên cứu gợi ý một số khuyến nghị chính sách:

1. Tăng cường phối hợp liên ngành giữa chủ đầu tư, cơ quan chủ trì, cơ quan kế hoạch và tài chính để giảm độ trễ trong lập, phân bổ và điều chỉnh kế hoạch vốn.
2. Đơn giản hóa và số hóa thủ tục tài chính, cải cách quy trình thẩm định, cấp phát vốn để khắc phục tác động tiêu cực của CO3.
3. Hiện đại hóa quy trình kiểm soát chi của Kho bạc Nhà nước, mở rộng ứng dụng dịch vụ công trực tuyến để rút ngắn thời gian giải ngân.
4. Nâng cao năng lực và trách nhiệm của nhà thầu, áp dụng hệ thống quản lý hồ sơ điện tử để giảm sai sót và đẩy nhanh thanh toán, quyết toán.

Nghiên cứu cung cấp bằng chứng thực nghiệm cho thấy hiệu quả giải ngân vốn đầu tư công phụ thuộc chặt chẽ vào mức độ phối hợp của các chủ thể tham gia quản lý. Việc triển khai đồng bộ các giải pháp trên sẽ góp phần đẩy nhanh tiến độ giải ngân, nâng cao hiệu quả sử dụng vốn ngân sách nhà nước và hỗ trợ đạt được mục tiêu phát triển hạ tầng giao thông quốc gia.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Trần Tuấn Phong và Nguyễn Lương Hải. 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, 2025.
- [2] Đỗ Văn Thuận và Nguyễn Lương Hải. Đánh giá hiệu quả điều hành kế hoạch vốn đầu tư công trong xây dựng cơ sở hạ tầng giao thông tại Việt Nam. Tạp chí Xây dựng, số tháng 12, tr. 213-215, 2025.
- [3] R. Atkinson. Project management: Cost, time and quality, two best guesses and a phenomenon, its time to accept other success criteria. International Journal of Project Management, vol. 17, no. 6, pp. 337-342, 1999.
- [4] PMBOK and Guide. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (in eng), 5th Edition. Project Management Institute 2013, Inc., 2013.
- [5] British Standard. Project Management - Guide to project management, BS 6079-1996 (in eng), Publisher BSI 1996, 1996.

Đẩy mạnh hoạt động cho vay nhà ở xã hội của Ngân hàng Chính sách xã hội

Enhancing social housing lending by the Vietnam Bank for Social Policies

> TS NGUYỄN THỊ HẠNH*, THS PHẠM CAO CƯỜNG, THS TRỊNH THỊ QUỲNH MAI
Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải
*Email: hanhnt@utt.edu.vn

TÓM TẮT

Nhà ở xã hội (NOXH) là một trong những chính sách an sinh xã hội quan trọng của Đảng và Nhà nước nhưng khả năng tiếp cận nguồn vốn tín dụng ưu đãi để mua, thuê mua hoặc xây dựng NOXH của người dân vẫn còn gặp nhiều khó khăn. Vì vậy, nghiên cứu này đánh giá thực trạng triển khai chương trình tín dụng NOXH trong thời gian qua và đề xuất các giải pháp nâng cao hiệu quả cung ứng vốn tín dụng ưu đãi, mở rộng khả năng tiếp cận nhà ở của người dân.

Từ khóa: Hoạt động cho vay; Ngân hàng Chính sách xã hội; nhà ở xã hội; cho vay nhà ở xã hội; giải pháp đẩy mạnh hoạt động cho vay nhà ở xã hội.

ABSTRACT

Social housing is one of the key social welfare policies of the Communist Party of Vietnam and the Government. However, people's access to preferential credit for purchasing, lease-purchasing or constructing social housing remains limited and faces numerous challenges. Therefore, this study evaluates the current implementation of the social housing credit program, assesses its achievements and existing limitations, and proposes solutions to improve the effectiveness of preferential credit provision and expand people's access to social housing.

Keywords: Credit activities; Vietnam Bank for Social Policies (VBSP); social housing; social housing credit; solutions for enhancing social housing lending activities.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

NOXH là một trong những chính sách an sinh xã hội quan trọng của Đảng và Nhà nước nhưng khả năng tiếp cận nguồn vốn tín dụng ưu đãi để mua, thuê mua hoặc xây dựng NOXH của người dân vẫn còn gặp nhiều khó khăn. Trước nhu cầu vốn ngày càng lớn, hoạt động cho vay NOXH của Ngân hàng Chính sách xã hội (NHCSXH) vẫn đang đối mặt với nhiều thách thức như nguồn vốn còn hạn chế, thủ tục tiếp cận vốn của một số đối tượng còn khó khăn, quỹ NOXH chưa đáp ứng nhu cầu thực tế và cơ chế phối hợp giữa các bên liên quan chưa thật sự đồng bộ. Do đó, nghiên cứu này trên cơ sở đánh giá thực trạng triển khai chương trình tín dụng NOXH trong thời gian qua, đề xuất các giải pháp nâng cao hiệu quả cung ứng vốn tín dụng ưu đãi, mở rộng khả năng tiếp cận nhà ở của người dân, từ đó thực hiện hiệu quả các mục tiêu phát triển NOXH và bảo đảm an sinh xã hội theo định hướng của Chính phủ trong giai đoạn tới.

2. THỰC TRẠNG HOẠT ĐỘNG CHO VAY NOXH CỦA NHCSXH

Bảng 1. Hoạt động cho vay của NHCSXH

ĐVT: Tỷ đồng, triệu khách hàng

Năm	Doanh số cho vay	Doanh số thu nợ	Tổng dư nợ	Số khách hàng còn dư nợ	Số lượt khách hàng vay vốn
2023	108.044	59.359	331.982	>6,8	2,22

Năm	Doanh số cho vay	Doanh số thu nợ	Tổng dư nợ	Số khách hàng còn dư nợ	Số lượt khách hàng vay vốn
2024	119.507	83.800	367.631	6,89	2,32
2025	140.914	68.300	393.830	6,73	2,18

Nguồn: NHCSXH.

Về doanh số cho vay: Năm 2024, doanh số cho vay của NHCSXH đạt 119.507 tỷ đồng, tăng 11.463 tỷ đồng, tương ứng 10,61% so với năm 2023 (108.044 tỷ đồng). Sang năm 2025, chỉ tiêu này tiếp tục tăng lên 140.914 tỷ đồng, tăng 21.407 tỷ đồng, tương ứng 17,91% so với năm 2024. Số liệu cho thấy quy mô tín dụng chính sách tiếp tục được mở rộng nhằm đáp ứng nhu cầu vay vốn của hộ nghèo và các đối tượng chính sách. Chính phủ tiếp tục bổ sung nguồn vốn và mở rộng các chương trình tín dụng ưu đãi như cho vay giải quyết việc làm, NOXH, nước sạch và vệ sinh môi trường nông thôn, góp phần làm tăng doanh số cho vay qua các năm.

Về doanh số thu nợ: Năm 2024, doanh số thu nợ đạt 83.800 tỷ đồng, tăng 24.441 tỷ đồng, tương ứng 41,17% so với năm 2023. Số liệu cho thấy khả năng thu hồi vốn của NHCSXH được cải thiện, nhiều khoản vay đến hạn được khách hàng hoàn trả đúng hạn, góp phần nâng cao hiệu quả sử dụng vốn. Song, đến năm 2025, doanh số thu nợ giảm xuống còn 68.300 tỷ đồng, giảm 15.500 tỷ đồng so với năm 2024, tương ứng giảm 18,50%. Nguyên nhân chủ yếu là

trong năm 2025 NHCSXH tiếp tục mở rộng cho vay đối với nhiều chương trình tín dụng chính sách, dẫn đến tỷ trọng các khoản vay mới và các khoản vay trung, dài hạn tăng lên, trong khi số khoản vay đến kỳ thu nợ giảm. Ngoài ra, một số chương trình tín dụng có thời hạn vay dài và việc gia hạn hoặc điều chỉnh thời hạn trả nợ đối với một số đối tượng vay theo quy định cũng làm cho doanh số thu nợ trong năm giảm nhưng chất lượng tín dụng vẫn được duy trì ổn định và tổng dư nợ tiếp tục tăng.

Về tổng dư nợ: Năm 2024, tổng dư nợ đạt 367.631 tỷ đồng, tăng 35.649 tỷ đồng, tương ứng 10,74% so với năm 2023. Đến năm 2025, tổng dư nợ tiếp tục tăng lên 393.830 tỷ đồng, tăng 26.199 tỷ đồng, tương ứng 7,13% so với năm 2024. Tuy tốc độ tăng dư nợ năm 2025 thấp hơn năm 2024, quy mô tín dụng vẫn tiếp tục mở rộng, phản ánh NHCSXH duy trì tăng trưởng tín dụng ổn định, đáp ứng nhu cầu vốn của các đối tượng chính sách, đồng thời bảo đảm an toàn tín dụng.

Về số khách hàng còn dư nợ: Năm 2024, số khách hàng còn dư nợ đạt khoảng 6,89 triệu khách hàng, tăng khoảng 0,09 triệu khách hàng (khoảng 1,3%) so với năm 2023. Song, đến năm 2025, số khách hàng còn dư nợ giảm xuống còn 6,73 triệu khách hàng, giảm khoảng 0,16 triệu khách hàng (khoảng 2,3%) so với năm 2024. Việc số khách hàng giảm trong khi tổng dư nợ vẫn tăng cho thấy quy mô khoản vay bình quân của mỗi khách hàng có xu hướng tăng và NHCSXH tập trung cho vay các dự án, phương án sản xuất kinh doanh có nhu cầu vốn lớn hơn.

Về số lượt khách hàng vay vốn: Năm 2024, số lượt khách hàng vay vốn đạt 2,32 triệu lượt, tăng 0,10 triệu lượt (khoảng 4,5%) so với năm 2023. Đến năm 2025, số lượt khách hàng vay vốn giảm còn 2,18 triệu lượt, giảm 0,14 triệu lượt (khoảng 6,0%) so với năm 2024. Mặc dù số lượt vay giảm, doanh số cho vay vẫn tăng, cho thấy mức cho vay bình quân trên mỗi lượt khách hàng tăng lên. Điều này phù hợp với việc điều chỉnh nâng mức cho vay của nhiều chương trình tín dụng chính sách và nhu cầu vốn ngày càng lớn của người vay.

Bảng 2. Dư nợ và tỷ trọng dư nợ cho vay NOXH

ĐVT: Tỷ đồng, %.

Năm	Dư nợ cho vay NOXH	Tổng dư nợ toàn hệ thống	Tỷ trọng dư nợ NOXH/tổng dư nợ (%)
2023	16.905,85	331.923,83	5,09
2024	17.733	367.631	4,8
2025	19.526	413.527	4,72

Nguồn: NHCSXH.

Dư nợ cho vay NOXH tăng trưởng cao qua các năm và chiếm tỷ trọng cao trong tổng số dư nợ các chương trình tín dụng tại NHCSXH: Năm 2023 dư nợ cho vay NOXH đã chiếm tỷ trọng 5,09% tổng dư nợ toàn hệ thống. Sang năm 2024, chỉ tiêu này chiếm 4,69% và năm 2025 là 4,72% tổng dư nợ toàn hệ thống. Tỷ lệ tăng trưởng dư nợ cho vay NOXH qua các năm cụ thể là: Dư nợ cho vay có sự tăng trưởng qua từng năm, năm 2023 tăng trưởng 46% so với năm 2022; năm 2024 tăng trưởng 2,11% so với năm 2023 và năm 2025 tăng trưởng 10,11% so với năm 2024. Số liệu cho thấy tiềm năng tăng trưởng dư nợ tín dụng của chương trình cho vay này là rất lớn.

- Dư nợ cho vay phân tích theo đối tượng thụ hưởng: Do doanh số cho vay giai đoạn 2023 - 2025 tập trung nhiều nhất là 2 nhóm đối tượng "cán bộ, công chức, viên chức" và "người lao động đang làm việc tại các doanh nghiệp trong và ngoài khu công nghiệp", do đó dư nợ cũng tập trung nhiều ở nhóm đối tượng "cán bộ, công chức, viên chức" là 54,6% tổng dư nợ, đối tượng "người lao động đang làm việc tại các doanh nghiệp trong và ngoài khu công nghiệp" là 21,4% tổng dư nợ, đối tượng "hộ nghèo, hộ cận nghèo, người có thu nhập thấp khu vực đô thị" là 11,5% tổng dư nợ, đối tượng "sỹ quan, hạ sỹ quan,

quân nhân chuyên nghiệp" là 11,3% tổng dư nợ, đối tượng "người có công với cách mạng" có dư nợ thấp nhất trong 5 nhóm đối tượng là 1,31% tổng dư nợ.

Bảng 3. Nợ quá hạn giai đoạn 2023 - 2025

ĐVT: Tỷ đồng, %.

Năm	TỔNG DƯ NỢ	Nợ quá hạn	
		Số tuyệt đối	Tỷ lệ
2023	331.982	1.231	0,37
2024	367.631	1.244	0,34
2025	393.830	1.339	0,34

Nguồn: NHCSXH.

Nợ quá hạn và tỷ lệ nợ quá hạn giai đoạn 2023 - 2025 của chương trình này hiện nay đang chiếm tỷ lệ rất thấp: Năm 2023 nợ quá hạn là 1.231 tỷ đồng, tỷ lệ 0,37%/tổng dư nợ của chương trình. Đến năm 2024, chỉ tiêu này là 1.244 tỷ đồng, tỷ lệ 0,34%. Năm 2025 nợ quá hạn là 1.339 tỷ đồng, tỷ lệ 0,34%. Số liệu cho thấy ngân hàng kiểm soát rủi ro rất tốt khi tỷ lệ nợ quá hạn được kéo giảm về mức nằm sâu dưới ngưỡng an toàn 2% do Chính phủ giao trong Chiến lược phát triển đến năm 2030. Chương trình cho vay NOXH tại NHCSXH có tỷ lệ nợ quá hạn thấp vì đối tượng vay vốn đều là những người có thu nhập đều hàng tháng, nhất là đối tượng "cán bộ, công chức, viên chức", trong khi thực tế doanh số cho vay và dư nợ của đối tượng này chiếm tỷ lệ cao trong toàn bộ doanh số cho vay và tổng dư nợ của chương trình. Bên cạnh đó, nhóm đối tượng "người lao động đang làm việc tại các doanh nghiệp trong và ngoài khu công nghiệp", "sỹ quan, hạ sỹ quan, quân nhân chuyên nghiệp" chiếm tỷ lệ dư nợ cao thứ 2, thứ 3 của chương trình cũng đều là những người có thu nhập đều và ổn định hàng tháng, nên ý thức chấp hành trả nợ lãi và nợ gốc đến hạn theo phân kỳ tương đối tốt. Đối với phần dư nợ quá hạn phát sinh ở các năm là do ngày đến hạn vào ngày nghỉ cuối tuần, khách hàng chuyển khoản trả nợ vào ngày đến hạn nhưng đến ngày làm việc tiếp theo mới được ghi nhận trên hệ thống. Khách hàng quên lịch trả nợ khi đến hạn đã thực hiện trả nợ khi món vay bị chuyển sang nợ quá hạn và được NHCSXH đôn đốc trả nợ. Khách hàng nhớ nhầm số tiền phải trả nợ theo phân kỳ nên chuyển tiền trả nợ ít hơn số tiền phải trả thực tế theo cam kết tại Hợp đồng tín dụng... Cho nên, sau khi được thông báo, khách hàng đã kịp thời chuyển tiền để trả phần nợ gốc quá hạn, nợ gốc đến hạn của mình. Bởi vậy, giai đoạn 2023 - 2025 cho thấy nợ quá hạn của chương trình cho vay NOXH hiện nay đang ở mức độ an toàn.

3. HẠN CHẾ

Trong thời gian qua, hoạt động cho vay của NHCSXH bên cạnh những thành tựu đạt được còn tồn tại một số hạn chế như sau:

Một là, về nguồn vốn cho vay NOXH chưa được bố trí kịp thời, đầy đủ để thực hiện chỉ tiêu kế hoạch cho vay theo quy định của Chính phủ. Về cơ chế, chính sách cho vay NOXH còn nhiều nội dung bất cập: Về mức vốn cho vay: Với mức cho vay tối đa để xây mới như hiện nay, bản thân người vay vốn sẽ phải đi huy động nhiều nguồn vốn khác ngoài thị trường, thậm chí vay vốn với lãi suất cao. Cho nên, nâng mức cho vay là việc cần thiết được thực hiện nhằm hỗ trợ tối đa cho người dân.

Hai là, về đối tượng thụ hưởng chính sách NOXH còn hạn chế, cần được mở rộng. Về việc xác nhận đối tượng thụ hưởng: Việc quy định khách hàng có đủ giấy tờ chứng minh về đối tượng và các điều kiện về nhà ở, thu nhập... làm phát sinh thêm thủ tục không đáng có cho người dân.

Ba là, về nguồn cung NOXH: Nguồn cung NOXH tại các địa phương còn khan hiếm đặc biệt là ở các thành phố lớn, nhiều công trình chưa khởi công theo kế hoạch đăng ký, giá nguyên vật liệu xây

dựng tăng cao làm ảnh hưởng đến tiến độ thực hiện công trình.

Bốn là, về công tác tổ chức thực hiện cho vay NOXH của NHCSXH: Công tác quản lý khoản vay tại NHCSXH vẫn còn có tình trạng khách hàng chưa nộp đủ tiền gửi tiết kiệm theo quy định; khách hàng chưa trả nợ đủ tiền gốc theo phân kỳ thỏa thuận tại Hợp đồng tín dụng nhưng không chuyển nợ quá hạn trên chương trình Intellect Online.

Năm là, về thu nợ đến hạn: Trong trường hợp nợ đến hạn trùng vào ngày nghỉ (thứ Bảy, Chủ nhật) thì cán bộ tín dụng phải đôn đốc khách hàng thực hiện trả nợ trước hạn, thời gian trả nợ phải đảm bảo chậm nhất là trong giờ làm việc của ngày thứ Sáu, trường hợp khách hàng chuyển khoản trả nợ ngoài giờ làm việc của ngày thứ Sáu hoặc chuyển khoản trả nợ đúng vào ngày đến hạn (thứ Bảy hoặc Chủ nhật) thì món vay sẽ vẫn bị chuyển nợ quá hạn do phải đến ngày làm việc tiếp theo (ngày thứ Hai tuần sau) khoản trả nợ của khách hàng mới được ghi nhận và cập nhật trên hệ thống, trên Hợp đồng tín dụng hiện không có điều khoản quy định về trường hợp ngày đến hạn trùng vào ngày nghỉ, ngày lễ.

4. KHUYẾN NGHỊ GIẢI PHÁP ĐẨY MẠNH HOẠT ĐỘNG CHO VAY NOXH CỦA NHCSXH TRONG THỜI GIAN TỚI

Một là, tăng cường nguồn vốn cho vay NOXH để giao cho NHCSXH cho vay: Nhà nước cần tiếp tục ưu tiên bố trí ngân sách Trung ương để bổ sung nguồn vốn cho vay NOXH thông qua NHCSXH. Mặt khác, cần đa dạng hóa các kênh huy động vốn như phát hành trái phiếu được Chính phủ bảo lãnh, tiếp nhận vốn ODA và các nguồn vốn hợp pháp khác. Các địa phương cũng cần tăng cường bố trí nguồn vốn từ ngân sách địa phương để ủy thác qua NHCSXH thực hiện chương trình. Việc mở rộng nguồn vốn sẽ giúp nâng cao khả năng tiếp cận tín dụng ưu đãi của người dân có thu nhập thấp. Bên cạnh đó, nguồn vốn ổn định còn tạo điều kiện để NHCSXH chủ động xây dựng kế hoạch tín dụng dài hạn. Điều này góp phần bảo đảm tính bền vững của chương trình cho vay NOXH. Qua đó, mục tiêu phát triển NOXH theo chiến lược của Chính phủ sẽ được thực hiện hiệu quả hơn.

Hai là, nâng cao chất lượng công tác quản lý nguồn vốn và điều hành chỉ tiêu kế hoạch: NHCSXH cần tăng cường dự báo nhu cầu vốn cho vay NOXH trên cơ sở đánh giá nhu cầu thực tế của từng địa phương. Việc phân bổ chỉ tiêu kế hoạch cần được thực hiện linh hoạt, phù hợp với tiến độ triển khai các dự án NOXH và nhu cầu vay vốn của người dân. Hơn nữa, cần thường xuyên rà soát, đánh giá hiệu quả sử dụng vốn để kịp thời điều chỉnh chỉ tiêu giữa các địa phương. Công tác kiểm tra, giám sát quá trình sử dụng vốn cũng cần được tăng cường nhằm bảo đảm vốn vay được sử dụng đúng mục đích. NHCSXH cần đẩy mạnh ứng dụng công nghệ thông tin trong quản lý, theo dõi và điều hành nguồn vốn. Mặt khác, cần tăng cường sự phối hợp giữa các cấp, các ngành trong quá trình điều hành kế hoạch tín dụng. Điều này sẽ góp phần nâng cao hiệu quả phân bổ nguồn lực và đáp ứng kịp thời nhu cầu vay vốn của người dân.

Ba là, đẩy mạnh công tác thông tin tuyên truyền: NHCSXH cần phối hợp với các cơ quan truyền thông và chính quyền địa phương để tăng cường phổ biến chính sách đến người dân. Nội dung tuyên truyền cần được thực hiện đa dạng, dễ hiểu và phù hợp với từng nhóm đối tượng thụ hưởng. Bên cạnh các hình thức truyền thống, cần đẩy mạnh ứng dụng các nền tảng số và mạng xã hội để nâng cao hiệu quả truyền thông. Công tác tuyên truyền cũng cần gắn với việc hướng dẫn cụ thể về hồ sơ, quy trình và thủ tục vay vốn. Điều này giúp giảm bớt tâm lý e ngại và hạn chế các sai sót trong quá trình hoàn thiện hồ sơ vay vốn. Khi người dân được tiếp cận đầy đủ thông tin, khả năng tiếp cận chính sách tín dụng ưu đãi sẽ được cải thiện đáng kể. Qua đó, chương trình cho vay NOXH sẽ được triển khai rộng rãi và hiệu quả hơn.

Bốn là, phối hợp chặt chẽ với chủ đầu tư dự án NOXH: Chủ đầu tư cần chủ động cung cấp danh sách khách hàng đủ điều kiện mua hoặc thuê mua NOXH cho ngân hàng. Bên cạnh đó, hai bên cần xây dựng cơ chế trao đổi thông tin thường xuyên để tháo gỡ các khó khăn phát sinh trong quá trình giải ngân. Việc phối hợp chặt chẽ sẽ giúp rút ngắn thời gian thẩm định hồ sơ và nâng cao chất lượng phục vụ khách hàng. Hơn nữa, NHCSXH có thể tổ chức các chương trình tư vấn trực tiếp tại dự án để hỗ trợ người dân tiếp cận nguồn vốn ưu đãi. Sự liên kết giữa ngân hàng và chủ đầu tư cũng góp phần hạn chế rủi ro phát sinh trong quá trình sử dụng vốn vay, tạo điều kiện thuận lợi cho việc kiểm tra, giám sát tình hình thực hiện dự án và sử dụng vốn vay. Qua đó, hiệu quả của chương trình cho vay NOXH sẽ được nâng cao một cách toàn diện.

Năm là, nâng cao chất lượng nguồn nhân lực tham gia cho vay NOXH để hỗ trợ khách hàng vay vốn: NHCSXH cần thường xuyên tổ chức các chương trình đào tạo, bồi dưỡng nghiệp vụ cho đội ngũ cán bộ làm công tác cho vay. Nội dung đào tạo không chỉ tập trung vào chuyên môn tín dụng mà còn chú trọng kỹ năng tư vấn và hỗ trợ khách hàng. Cán bộ tín dụng cần được trang bị khả năng hướng dẫn người dân hoàn thiện hồ sơ và tiếp cận chính sách một cách thuận lợi nhất. Bên cạnh đó, cần nâng cao tinh thần trách nhiệm, đạo đức nghề nghiệp và thái độ phục vụ của đội ngũ cán bộ. Việc ứng dụng công nghệ số trong hoạt động nghiệp vụ cũng đòi hỏi cán bộ phải thường xuyên cập nhật kiến thức mới. Đặc biệt, cần xây dựng cơ chế đánh giá hiệu quả công việc gắn với chất lượng phục vụ khách hàng. Khi chất lượng nguồn nhân lực được nâng cao, hiệu quả cho vay NOXH và mức độ hài lòng của người dân sẽ được cải thiện.

5. KẾT LUẬN

Tóm lại, đẩy mạnh hoạt động cho vay NOXH của NHCSXH có ý nghĩa quan trọng trong việc hỗ trợ người nghèo và các đối tượng chính sách tiếp cận nguồn vốn ưu đãi. Do đó, việc mở rộng quy mô và nâng cao chất lượng tín dụng sẽ góp phần tạo việc làm, tăng thu nhập và cải thiện đời sống người dân. Hơn nữa, NHCSXH cần đa dạng hóa các chương trình cho vay NOXH, đơn giản hóa thủ tục và nâng cao hiệu quả quản lý vốn. Mặt khác, tăng cường phối hợp với chính quyền địa phương và các tổ chức đoàn thể sẽ giúp nguồn vốn được triển khai đúng đối tượng, đúng mục đích. Qua đó, hoạt động cho vay NOXH của NHCSXH sẽ ngày càng phát huy vai trò trong công cuộc giảm nghèo bền vững và bảo đảm an sinh xã hội. Trên cơ sở phân tích, đánh giá thực trạng hoạt động cho vay của NHCSXH giai đoạn 2023 - 2025, nghiên cứu đề xuất khuyến nghị để xuất giải pháp nhằm đẩy mạnh hoạt động cho vay NOXH của NHCSXH trong thời gian tiếp theo. Nhóm tác giả hy vọng rằng, khi các giải pháp trên được thực hiện sẽ góp phần đưa NHCSXH ngày càng phát triển.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Đỗ Thị Kim Hào, Nguyễn Thùy Dương. Giáo trình Quản trị ngân hàng. NXB. Đại học Quốc gia Hà Nội, 2024.
- [2] Ngân hàng Chính sách xã hội Việt Nam. Báo cáo thường niên năm 2022, 2022.
- [3] Ngân hàng Chính sách xã hội Việt Nam. Báo cáo thường niên năm 2023, 2023.
- [4] Ngân hàng Chính sách xã hội Việt Nam. Báo cáo thường niên năm 2024 2024.
- [5] Tô Ngọc Hưng. Giáo trình Tín dụng ngân hàng. NXB. Lao động - Xã hội, 2019.

Mối liên hệ cơ chế giữa thủy động lực học và mất ổn định bờ sông trong môi trường trầm tích dính kết tại điểm trượt lở Bình Đức, sông Hậu, An Giang

Mechanistic relationship between hydrodynamics and riverbank instability in cohesive sediments at the Binh Duc landslide site, Hau river, An Giang province

> TS TRẦN LÊ THẾ DIỄN, TS THIÊM QUỐC TUẤN

¹Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP Hồ Chí Minh

*Email: tltdien@hcmunre.edu.vn

TÓM TẮT

Xói lở bờ sông tại hạ lưu đồng bằng sông Mê Kông gia tăng do tương tác giữa thủy động lực, xói trầm tích dính kết và mất ổn định địa kỹ thuật. Nghiên cứu xây dựng khung mô hình tích hợp nhằm làm rõ mối liên hệ giữa ứng suất cắt gần bờ và cơ chế mất ổn định bờ sông Hậu. Phương pháp nghiên cứu kết hợp mô phỏng thủy động lực bằng MIKE, mô hình xói trầm tích dính kết và phân tích ổn định mái dốc bằng GeoSlope. Ứng suất cắt đáy (τ_a) từ mô hình được so sánh với ứng suất cắt tới hạn (τ_c) của nền đất, xác định từ hệ số rỗng và hàm lượng hạt sét theo kết quả thí nghiệm cơ lý. Độ ổn định bờ được đánh giá thông qua hệ số an toàn (Fs). Kết quả cho thấy tại nhiều vị trí, τ_a vượt τ_c , gây xói chân với tốc độ 2,6 - 3,0 cm/ngày và làm giảm hệ số an toàn xuống $Fs = 0,821 (<1)$. Xói chân làm suy giảm sức kháng cắt, kích hoạt trượt mái dốc, đặc biệt khi mực nước rút nhanh. Sạt lở bờ sông được xác định diễn ra theo cơ chế hai giai đoạn gồm xói chân do thủy lực và phá hoại mái dốc, khẳng định hiệu quả của mô hình tích hợp thủy lực-địa kỹ thuật trong đánh giá sạt lở.

Từ khóa: Mất ổn định bờ sông; ứng suất cắt; trầm tích dính kết; xói chân bờ sông, đồng bằng sông Mê Kông.

ABSTRACT

Riverbank erosion in the downstream Mekong Delta has intensified due to the interaction of hydrodynamic processes, cohesive

sediment erosion and geotechnical instability. This study develops an integrated modeling framework to elucidate the relationship between near-bank shear stress and the instability mechanism of the Hau River banks. The proposed approach combines hydrodynamic simulation using MIKE, a cohesive sediment erosion model and slope stability analysis with GeoSlope. Bed shear stress (τ_a) derived from the hydrodynamic model was compared with the critical shear stress (τ_c) of the riverbank soils, estimated from void ratio and clay content based on geotechnical laboratory tests. Riverbank stability was evaluated using the factor of safety (Fs). Results indicate that τ_a exceeded τ_c at several locations, triggering toe erosion at rates of 2.6 - 3.0 cm/day and reducing the factor of safety to $Fs = 0.821 (<1)$. Toe erosion weakened the shear strength of cohesive riverbanks, promoting slope failure, particularly during rapid water-level drawdown. The findings demonstrate that riverbank failure in the downstream Mekong Delta is governed by a two-stage mechanism comprising hydraulic toe erosion followed by slope failure, highlighting the effectiveness of integrating hydrodynamic and geotechnical models for riverbank erosion assessment.

Keywords: Bed shear stress; cohesive sediment; Mekong delta; riverbank instability; toe undercutting.

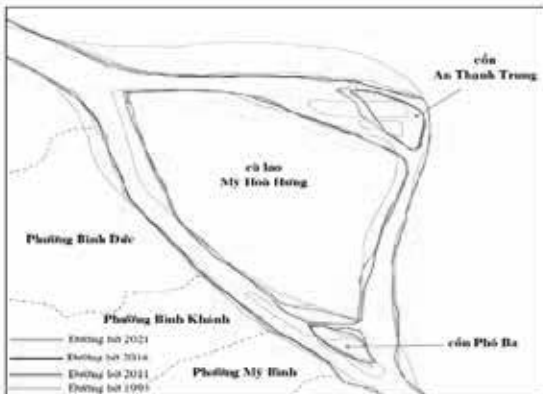
1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Xói lở bờ sông là một trong những quá trình địa mạo diễn biến mạnh tại hạ lưu đồng bằng sông Mê Kông, nơi tương tác giữa thủy động lực dòng chảy và nền trầm tích dính kết làm biến đổi liên tục hình thái lòng dẫn. Trên sông Hậu, nhiều đoạn bờ đang bị xói lở với tốc độ 10 - 30 m/năm, gây thiệt hại lớn về hạ tầng, dân cư và quỹ đất. Trong những năm gần đây, các nghiên cứu về ổn định bờ sông chủ yếu tập trung theo ba hướng: Mô phỏng thủy động lực dòng chảy, vận chuyển bùn cát và phân tích ổn định mái dốc bằng các mô hình địa kỹ thuật. Mặc dù các công cụ mô phỏng như MIKE, GeoStudio đã được ứng dụng rộng rãi, phần lớn các nghiên cứu vẫn xem xét riêng rẽ giữa tác động của dòng chảy và phản ứng địa kỹ thuật của nền đất, do đó chưa làm rõ được cơ chế liên kết giữa ứng suất cắt thủy lực, khả năng kháng xói của trầm tích dính kết và quá trình mất ổn định bờ sông.

Nghiên cứu này đề xuất một khung phân tích tích hợp nhằm định lượng mối liên hệ giữa ứng suất cắt tác động (τ_a), ứng suất cắt tới hạn của đất (τ_c), quá trình xói chân bờ và sự suy giảm hệ số ổn định (F_s). Khu vực nghiên cứu được lựa chọn tại đoạn sông Hậu qua Bình Đức, phường Long Xuyên, tỉnh An Giang, nơi có nền bờ sông gồm các lớp bùn sét yếu xen kẽ thấu kính cát và thường xuyên xảy ra sạt lở. Thông qua việc kết hợp mô phỏng thủy động lực, mô hình xói trầm tích dính kết và phân tích ổn định mái dốc, nghiên cứu làm rõ cơ chế gây mất ổn định bờ sông theo chuỗi: Thủy động lực $\rightarrow$ xói chân bờ $\rightarrow$ suy giảm ổn định $\rightarrow$ trượt lở, làm cơ sở khoa học cho đánh giá nguy cơ và đề xuất giải pháp bảo vệ bờ sông.



Hình 1. Trượt lở bờ sông Hậu khu vực Bình Đức, tỉnh An Giang



Hình 2. Diễn biến đường bờ sông Hậu khu vực Bình Đức, tỉnh An Giang qua thời gian

2. KHUNG NGHIÊN CỨU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Dựa trên nội dung nghiên cứu, mối liên hệ giữa động lực học dòng chảy, đặc trưng trầm tích dính kết và mất ổn định bờ sông được khái quát thành một chuỗi cơ chế gồm 4 giai đoạn chính được diễn giải và mô hình hóa qua Hình 3.



Hình 3. Khung khái niệm nghiên cứu cơ chế gây mất ổn định bờ sông

Nghiên cứu áp dụng phương pháp tích hợp giữa mô hình thủy động lực, mô hình xói trầm tích dính kết và phân tích ổn định địa kỹ thuật nhằm làm rõ cơ chế mất ổn định bờ sông. Trường dòng chảy được mô phỏng bằng MIKE 21 với lưới phi cấu trúc, tinh chỉnh tại khu vực gần bờ để nâng cao độ chính xác. Điều kiện biên bao gồm lưu lượng thượng lưu và mực nước hạ lưu, trong khi hệ số nhám Manning được hiệu chỉnh theo số liệu thực đo. Kết quả mô hình cung cấp trường vận tốc dòng chảy (V) và ứng suất cắt đáy (τ_a), được xác định theo công thức Manning:

$$\tau_a = \frac{\rho \cdot g \cdot n^2 \cdot V^2}{H^3}. \text{ Trong đó: } \tau_a \text{ có đơn vị tính là Pa; } \rho \text{ là khối lượng}$$

riêng của nước (1.000 kg/m^3); g là gia tốc trọng trường ($9,81 \text{ m/s}^2$); n là hệ số nhám Manning; V là vận tốc dòng chảy (m/s); H là chiều sâu mực nước trung bình (m). Điều kiện $\tau_a > \tau_c$ được xem là ngưỡng khởi phát xói bờ.

Các thông số địa chất công trình được xác định từ kết quả thí nghiệm mẫu đất lấy tại các hố khoan khu vực Bình Đức, bao gồm hệ số rỗng (e) và hàm lượng hạt sét (PC). Ứng suất cắt tới hạn của đất dính được tính theo quan hệ thực nghiệm của Lyle và Smerdon (1965) [1], $\tau_c = [0,0141 + 0,0075 (1,2 - e)] \cdot 10^{0,00621 \cdot PC}$. Trong đó: τ_c được tính bằng gf/cm^2 ($1 \text{ gf/cm}^2 = 98,0665 \text{ Pa}$); e là hệ số rỗng và PC là hàm lượng hạt sét (%) xác định từ thí nghiệm cơ lý đất.

Hệ số xói mòn k_d được xác định theo quan hệ thực nghiệm của Hanson và Simson [2], $k_d = 0,2\tau_c^{-0,5}$; trong đó k_d được tính bằng $\text{cm}^3/\text{N.s}$ và τ_c được tính bằng Pa . Tốc độ xói mòn (ϵ) bờ dốc theo thời gian được xác định theo quan hệ thực nghiệm của Hason và Cook [3], $\epsilon = k_d(\tau_a - \tau_c)$. Trong đó: ϵ là tốc độ xói mòn (mm/h); k_d là hệ số xói mòn ($\text{cm}^3/\text{N.s}$); τ_a là ứng suất cắt đáy tác động lên biên đất (Pa); τ_c là ứng suất tới hạn của đất bờ sông (Pa).

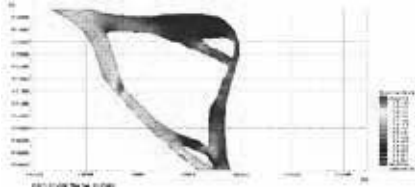
Ảnh hưởng của xói chân đến ổn định bờ sông được đánh giá bằng phần mềm GeoStudio theo tiêu chuẩn phá hoại Mohr-Coulomb và phương pháp cân bằng giới hạn (LEM). Với từng kịch bản xói chân, hình học mái dốc được cập nhật để tính hệ số ổn định (F_s), trong đó $F_s > 1$ biểu thị trạng thái ổn định và $F_s < 1$ là mất ổn định. Phân tích được thực hiện theo cơ chế ghép nối một chiều, sử dụng kết quả thủy động lực để xác định điều kiện xói, sau đó cập nhật hình học mái dốc nhằm đánh giá sự suy giảm ổn định bờ sông.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Tác động của thủy động lực dòng chảy

Kết quả mô phỏng (Hình 4) cho thấy tại bờ phải sông Hậu khu vực Bình Đức, dòng chủ lưu dịch chuyển áp sát bờ và hình thành dải vận tốc lớn kéo dài theo bờ lõm. Trong mùa kiệt, vận tốc dòng chảy dao động từ 0,15 - 0,56 m/s , trong khi mùa lũ tăng lên 1,4 - 1,5 m/s , làm gia tăng đáng kể tác động thủy lực lên mái bờ. Tại một số vị trí, hướng dòng chảy gần vuông góc với bờ, làm tăng ứng suất cắt đáy và thúc đẩy quá trình bóc tách vật liệu tại chân bờ. Đây là khu vực có cường độ tác động thủy động lực lớn nhất trong đoạn nghiên cứu và phù hợp với các vị trí sạt lở quan sát ngoài thực địa. Giá trị ứng suất cắt tác động (τ_a) đạt lớn nhất khoảng 8,33 Pa ở lớp gần mặt nước và giảm dần theo chiều sâu còn khoảng 4,36 - 3,87 Pa do ảnh

hưởng của ma sát đáy và sự suy giảm năng lượng dòng chảy. Tuy giảm theo chiều sâu, các giá trị τ_a vẫn đủ lớn để kích hoạt xói chân khi vượt quá ứng suất cắt tới hạn (τ_c) của nền đất.

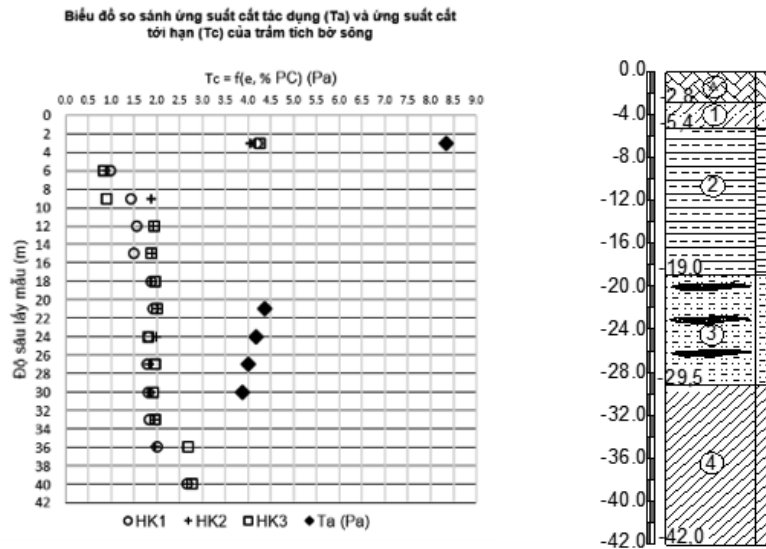


Hình 4. Trường vận tốc và hướng dòng chảy lúc thủy triều xuống qua khu vực Bình Đức

Bảng 1. Đặc trưng cơ lý và đặc tính kháng xói khu vực Bình Đức

Dự án	Công trình kè bảo vệ bờ sông Bình Đức, TP Long Xuyên, tỉnh An Giang (cũ)											
	%						τ_c (Pa)			k_d (cm ³ /N.s)		
Độ sâu lấy mẫu (m)	Hạt sét (PC)			Độ lỗ rỗng (e)			$\tau_c = 98,0665.[0.0141 + 0.0075 (1.2 - e)].10^{0.00621PC}$			$k_d = 0.2\tau_c^{-0.5}$		
	HK1	HK2	HK3	HK1	HK2	HK3	HK1	HK2	HK3	HK1	HK2	HK3
3	62,2	60,7	64,2	0,735	0,769	0,767	4,1969	4,0495	4,2594	0,0976	0,0994	0,0969
6	40,1	39,7	40,5	2,325	2,398	2,441	0,9858	0,8855	0,8385	0,2014	0,2125	0,2184
9	43,4	27,1	40,0	2,040	1,350	2,385	1,4231	1,8742	0,9051	0,1677	0,1461	0,2102
12	43,6	26,8	27,1	1,944	1,296	1,283	1,5587	1,9252	1,9471	0,1602	0,1441	0,1433
15	42,7	26,3	26,9	1,978	1,308	1,334	1,4926	1,8978	1,8869	0,1637	0,1452	0,1456
18	27,1	27,0	28,6	1,347	1,351	1,299	1,8782	1,8713	1,9719	0,1459	0,1462	0,1424
21	26,4	28,1	27,2	1,299	1,242	1,231	1,9108	2,0204	2,0068	0,1447	0,1407	0,1412
24	26,2	27,7	9,2	1,381	1,259	0,911	1,8178	1,9901	1,8192	0,1483	0,1418	0,1483
27	9,6	9,4	27,4	0,958	0,905	1,285	1,7906	1,8301	1,9531	0,1495	0,1478	0,1431
30	9,3	25,0	26,7	0,920	1,306	1,304	1,8147	1,8657	1,9132	0,1485	0,1464	0,1446
33	25,8	28,8	26,3	1,354	1,331	1,245	1,8362	1,9419	1,9656	0,1476	0,1435	0,1427
36	28,7	27,5	56,7	1,272	1,275	1,457	2,004	1,9666	2,6858	0,1413	0,1426	0,122
40	55,7	54,2	56,9	1,448	1,413	1,407	2,6625	2,6614	2,7757	0,1226	0,1226	0,12

Kết quả cho thấy ứng suất cắt tới hạn (τ_c) biến thiên từ 0,8 - 4,3 Pa theo chiều sâu, phản ánh sự thay đổi về cấu trúc và thành phần hạt của đất. Trong khoảng 19 - 30 m, hàm lượng hạt sét giảm, làm suy giảm khả năng kháng xói và hạ thấp τ_c . Do τ_a duy trì lớn hơn τ_c , điều kiện khởi phát xói ($\tau_a > \tau_c$) luôn được thỏa mãn, xác định đây là lớp đất nhạy cảm nhất đối với xói chân và mất ổn định bờ sông.



Hình 5. Biểu đồ quan hệ τ_c với τ_a theo độ sâu hình trụ hố khoan

3.3. Ảnh hưởng của xói chân đến ổn định bờ sông

Kết quả tính toán (Bảng 2) cho thấy trong khoảng độ sâu 21 - 30 m, ứng suất cắt tác động ($\tau_a = 3,87 - 4,36$ Pa) luôn lớn hơn ứng suất cắt tới hạn của đất ($\tau_c = 1,79 - 1,91$ Pa), thỏa mãn điều kiện khởi phát xói ($\tau_a > \tau_c$). Tốc độ xói tính toán đạt 1,10 - 1,27 mm/h, tương đương 2,6 - 3,0 cm/ngày và ít biến đổi theo chiều sâu do hệ số xói mòn (k_d) tương đối ổn định. Kết quả này cho thấy lớp đất chứa thấu kính cát ở độ sâu 19,5 - 29,5 m có khả năng kháng xói thấp, duy trì quá trình xói chân liên tục mặc dù ứng suất cắt giảm nhẹ theo chiều sâu. Quá trình xói làm mất dần vật liệu chống đỡ tại chân bờ, thay đổi hình học mái dốc và làm giảm hệ số ổn định (F_s), đặc biệt trong điều kiện mực nước hạ nhanh. Điều này khẳng định xói chân là cơ chế khởi phát, dẫn đến mất ổn định và trượt sâu bờ sông tại khu vực Bình Đức.

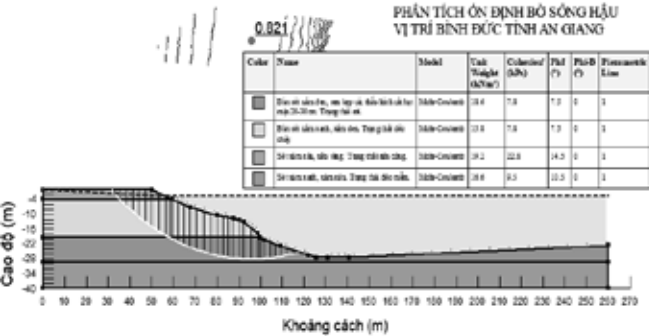
Bảng 2. Quan hệ giữa ứng suất cắt, hệ số xói mòn và tốc độ xói chân bờ theo chiều sâu

Depths	τ_c	τ_a	k_d	$\epsilon = k_d(\tau_a - \tau_c)$	$\epsilon = k_d(\tau_a - \tau_c)$
(m)	(Pa)	(Pa)	(cm ³ /N.s)	(mm/h)	(m/ngày)
21	1,9108	4,3558	0,1447	1,27	0,030
24	1,8178	4,1661	0,1483	1,25	0,030
27	1,7906	4,0058	0,1495	1,19	0,029
30	1,8147	3,8675	0,1485	1,10	0,026

3.4. Phân tích ổn định bờ sông

Phân tích ổn định cho thấy bờ sông đang ở trạng thái mất ổn định tới hạn với hệ số an toàn $F_s = 0,821$, chỉ phối bởi cơ chế trượt sâu dạng cung tròn. Mặt trượt phát triển qua lớp bùn sét yếu có kết cấu xốp, xen kẹp các thấu kính cát hạt mịn, đóng vai trò như các đường dẫn thấm ưu tiên, làm gia tăng áp lực nước lỗ rỗng và suy giảm đáng kể ứng suất hữu hiệu. Các tham số sức kháng cắt thấp (c và ϕ) của vật liệu có kết cấu rời rạc này càng làm giảm khả năng kháng cắt trong điều kiện bão hòa. Bên cạnh đó, hiện tượng xói chân bờ do tác động thủy lực liên tục làm mất lực chống đỡ phía dưới, thúc đẩy sự phân bố lại ứng suất và gây phá hoại tiến triển.

Đường bảo hòa cao xác nhận trạng thái gần bão hòa hoàn toàn, làm gia tăng mất ổn định thông qua việc giảm ứng suất hữu hiệu. Sự kết hợp của dòng thấm, suy giảm cấu trúc đất và xói lở chân bờ cho thấy cơ chế phá hoại liên hợp thủy lực - cơ học. Kết quả này nhấn mạnh rằng tính không đồng nhất địa tầng, đặc biệt là sự hiện diện của các thấu kính cát hạt mịn, đóng vai trò chính chỉ phối trong cơ chế mất ổn định bờ sông tại đồng bằng sông Mê Kông.



Hình 6. Kết quả phân tích ổn định bờ sông Hậu đoạn qua Bình Đức, An Giang có xét đến xói chân mái dốc bờ sông

4. THẢO LUẬN

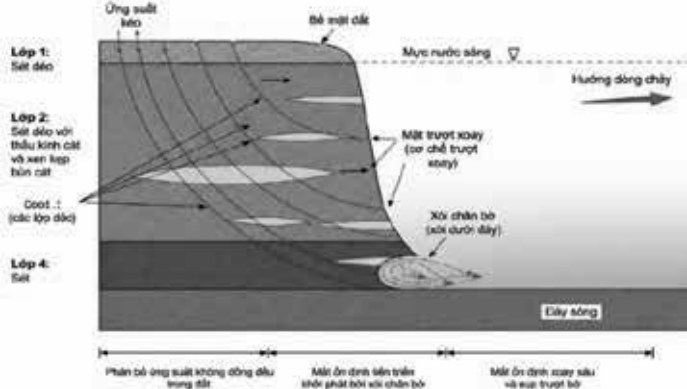
4.1. Mối liên hệ giữa thủy động lực và đặc tính đất nền

Kết quả nghiên cứu cho thấy mất ổn định bờ sông tại Bình Đức là hệ quả của sự tương tác giữa thủy động lực dòng chảy và cấu trúc địa chất không đồng nhất của nền bờ. Mô hình MIKE 21 xác định dòng chủ lưu áp sát bờ phải, với vận tốc mùa lũ đạt 1,4 - 1,5 m/s, làm gia tăng ứng suất cắt đáy (τ_a). Trong khoảng độ sâu 19,5 - 30 m, nền đất chứa các thấu kính cát xen kẹp trong lớp bùn sét, làm giảm ứng suất cắt tới hạn (τ_c) xuống còn 1,79 - 1,91 Pa. Điều kiện $\tau_a > \tau_c$ được duy trì liên tục, tạo điều kiện khởi phát xói chân bờ. Kết quả này phù hợp với quan điểm của Hanson và cộng sự rằng khả năng kháng xói của đất dính phụ thuộc mạnh vào cấu trúc vật liệu và đặc tính cơ lý của nền đất.

4.2. Cơ chế mất ổn định bờ sông: xói chân - trượt sâu

Tốc độ xói tính toán đạt 1,10 - 1,27 mm/h (2,6 - 3,0 cm/ngày), tuy không lớn nhưng diễn ra liên tục, làm mất dần vật liệu chống đỡ tại chân bờ và thay đổi hình học mái dốc. Quá trình này dẫn đến tái phân bố ứng suất, làm giảm hệ số ổn định xuống $F_s = 0,822$ và kích hoạt trượt cung sâu.

Kết quả cho thấy sạt lở tại Bình Đức diễn ra theo cơ chế hai giai đoạn: (i) Xói chân do ứng suất cắt dòng chảy vượt ngưỡng kháng xói của nền đất ($\tau_a > \tau_c$); (ii) phát triển trượt sâu khi mái dốc đạt trạng thái tới hạn. Cơ chế này phù hợp với quan sát thực địa và nhấn mạnh vai trò của mô hình tích hợp thủy động lực - địa kỹ thuật trong đánh giá nguy cơ sạt lở bờ sông ở khu vực đồng bằng sông Mê Kông.



Hình 7. Mất ổn định trượt xoay sâu của bờ sông có cấu trúc địa chất không đồng nhất dưới tác động của xói chân

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu cho thấy mất ổn định bờ sông tại Bình Đức là kết quả của tương tác giữa thủy động lực, cấu trúc nền đất bờ sông và hình thái, trong đó xói chân bờ đóng vai trò khởi phát chính. Trục vận tốc cao tập trung dọc bờ lõm làm gia tăng ứng suất cắt đáy (τ_a), đặc biệt trong mùa lũ, tạo điều kiện $\tau_a > \tau_c$ trong khoảng độ sâu 19,5 m đến 30 m. Đây là khu vực tồn tại các thấu kính cát rời xen kẹp trong nền đất dính, làm giảm khả năng kháng xói và tăng tính nhạy cảm với tác động dòng chảy.

Quá trình xói diễn ra theo cơ chế ứng suất dư với tốc độ 2,6 đến 3,0 cm/ngày, mang tính liên tục và tích lũy. Dù τ_a giảm theo chiều sâu, xói vẫn duy trì do hệ số xói ổn định và cấu trúc đất yếu. Xói chân làm mất vật liệu chống đỡ, gây tái phân bố ứng suất và làm dốc hóa mái bờ.

Sự kết hợp này làm giảm hệ số ổn định $F_s = 0,82$ và kích hoạt trượt cung sâu từ chân bờ lên đỉnh. Cơ chế phá hoại gồm hai giai đoạn: Xói chân và trượt sâu, nhấn mạnh sự cần thiết của cách tiếp cận tích hợp trong phân tích và thiết kế bảo vệ bờ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] W. M. a. S. E. T. Lyle. Relation of Compaction and Other Soil Properties to Erosion Resistance of Soils. Transactions of the ASAE, vol. 8, no. 3, pp. pp. 419-422, 284-298, 1965.
[2] G. J. a. S. A. Hanson, Erodibility of Cohesive Streambeds in the Loess Area of the Midwestern USA. Hydrological Processes, vol. 15, no. 1, pp. pp. 23-38, 2001.
[3] G. J. a. C. K. R. Hanson. Apparatus, Test Procedures and Analytical Methods to Measure Soil Erodibility In Situ. Applied Engineering in Agriculture, vol. 20, no. 4, pp. 455-462, 2004.

Assessing the effect of displacement-increment size on passive earth pressures using plane strain finite element analysis with the Mohr-Coulomb criterion

Đánh giá ảnh hưởng của kích thước gia tăng chuyển vị đến áp lực đất bị động bằng phân tích phần tử hữu hạn biến dạng phẳng theo tiêu chuẩn Mohr-Coulomb

> NGUYEN VO TRONG^{1,2,*}, VO THI TUYET GIANG^{1,2}

¹Faculty of Civil Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT)

²Vietnam National University Ho Chi Minh City (VNU-HCM)

*Corresponding author, Email: nguyenvotrong@hcmut.edu.vn

ABSTRACT

This study investigates the influence of displacement-increment size on passive earth pressures using plane-strain elastoplastic finite element analysis based on the Mohr-Coulomb failure criterion. A displacement-controlled incremental-iterative procedure combined with the Newton-Raphson scheme and the Backward Euler return-mapping algorithm is employed. A two-dimensional plane-strain soil domain subjected to horizontal wall displacements is analyzed to evaluate the relationship between increment size, convergence behavior, and passive earth pressures. Different displacement-increment numbers are examined while maintaining the same total wall displacement. The simulation results indicate that displacement-increment size significantly affects passive earth pressures; large increments produce discontinuous pressure-displacement curves, whereas sufficiently small increments generate smoother results and better capture the relationship between wall displacement and passive earth pressure. The study also demonstrates that residual magnitude correlates with solution stability, suggesting residual control as a practical indicator for selecting appropriate increment sizes in elastoplastic finite element simulations.

Keywords: Finite element method; earth pressure; elastoplastic; Mohr-Coulomb criterion; Newton-Raphson scheme.

TÓM TẮT

Nghiên cứu này khảo sát ảnh hưởng của kích thước gia tăng chuyển vị đến áp lực đất bị động bằng phương pháp phần tử hữu hạn đàn hồi-dẻo theo giả thiết biến dạng phẳng dựa trên tiêu chuẩn phá hoại Mohr-Coulomb. Quá trình tính toán sử dụng quy trình gia tăng-lặp điều khiển chuyển vị kết hợp thuật toán Newton-Raphson và thuật toán ánh xạ hồi quy Backward Euler. Một miền đất hai chiều theo giả thiết biến dạng phẳng chịu chuyển vị ngang cưỡng bức của tường được phân tích nhằm đánh giá mối quan hệ giữa kích thước gia tăng, đặc tính hội tụ và áp lực đất bị động. Các trường hợp với số lượng bước gia tăng chuyển vị khác nhau được xem xét trong khi tổng chuyển vị của tường được giữ không đổi. Kết quả mô phỏng cho thấy kích thước gia tăng chuyển vị ảnh hưởng đáng kể đến áp lực đất bị động; các bước gia tăng lớn tạo ra đường cong áp lực-chuyển vị không liên tục, trong khi các bước gia tăng đủ nhỏ cho kết quả mượt hơn và phản ánh tốt hơn mối quan hệ giữa chuyển vị tường và áp lực đất bị động. Nghiên cứu cũng cho thấy độ lớn số dư có tương quan với tính ổn định của nghiệm, qua đó cho thấy việc kiểm soát số dư có thể được sử dụng như một chỉ báo thực tiễn để lựa chọn kích thước gia tăng phù hợp trong mô phỏng phần tử hữu hạn đàn hồi-dẻo.

Từ khóa: Phương pháp phần tử hữu hạn; áp lực đất; đàn hồi-dẻo; tiêu chuẩn Mohr-Coulomb; thuật toán Newton-Raphson.

1. INTRODUCTION

The analysis of earth pressures acting on retaining structures is a fundamental problem in geotechnical engineering, with direct implications for the design and safety of excavation systems, retaining walls, and underground structures. Classical solutions, such as those developed by Rankine and Coulomb, provide closed-form expressions for active and passive earth pressures under simplified assumptions [1, 2]. However, these analytical approaches are limited in their ability to capture complex soil behavior, nonlinear material response, and the influence of boundary conditions.

The development of the finite element method (FEM) has enabled more realistic simulation of soil-structure interaction problems by

incorporating advanced constitutive models and incremental solution strategies. Elastoplastic formulations based on the Mohr-Coulomb failure criterion have been widely adopted for modeling soil behavior under loading. Plane strain earth pressure analysis using displacement control provides a representative framework for such analyses, where prescribed displacement increments are applied to a rigid wall and the resulting stress redistribution is computed iteratively (Figure 1).

A key aspect of nonlinear FEM analysis is the use of incremental-iterative procedures. In displacement-controlled simulations, the total loading is applied through a sequence of displacement increments, and equilibrium is enforced at each step through iterative correction of stresses

and internal forces. As highlighted in the provided formulation, the choice of displacement increment size plays a critical role in the accuracy and stability of the solution. Large increments may lead to numerical inaccuracies whereas smaller increments improve accuracy at the expense of computational cost.

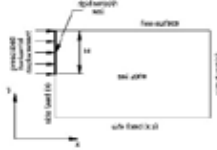


Figure 1. Plane strain passive earth pressure analysis using displacement control

This study investigates the relationship between displacement increment size, residual magnitude, and convergence of passive earth pressure prediction in elastoplastic plane-strain FEM using the Mohr-Coulomb model. However, the scope of this study is just for soils that are suitable for employing the Mohr-Coulomb criterion. Moreover, groundwater is not included in the analysis.

2. ELASTOPLASTIC CONSTITUTIVE MODEL

This section presents fundamental expressions based on the elastoplastic theory with Mohr-Coulomb criterion. Hence, a relationship between stress increments and strain increments can be expressed as follows [3]:

$$\{d\sigma\} = ([D_e] - [D_p])\{d\varepsilon\} \quad (1)$$

where $\{d\varepsilon_e\}$ is incremental elastic strain, $\{d\varepsilon_p\}$ is incremental plastic one, $[D_e]$ is the elastic matrix and $[D_p]$ is the plastic matrix can be calculated as follows.

$$[D_p] = \frac{[D_e] \left\{ \frac{\partial G}{\partial \sigma} \right\} \left\{ \frac{\partial F}{\partial \sigma} \right\}^T [D_e]}{\left\{ \frac{\partial F}{\partial \sigma} \right\}^T [D_e] \left\{ \frac{\partial G}{\partial \sigma} \right\}} \quad (2)$$

To evaluate the plastic matrix $[D_p]$, the yield function, F , and the plastic potential function, G , need to be specified. We use the Mohr-Coulomb yield criterion as the yield function. The yield function, F , can then be written as follows:

$$F = \frac{1}{3} I_1 \sin \phi + \sqrt{J_2} \sin \left(\theta + \frac{\pi}{3} \right) + \sqrt{\frac{J_2}{3}} \cos \left(\theta + \frac{\pi}{3} \right) \sin \phi - c \cos \phi \quad (0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{3}) \quad (3)$$

where c is the cohesion and ϕ the angle of internal friction. The stress invariant I_1 , the second invariant of the deviatoric stress tensor J_2 , the Lode angle θ and the third invariant of the deviatoric stress tensor J_3 can be calculated based on elastic stress and strain analysis [3]. The plastic potential function, G , has the same form as the yield function except the internal friction angle, ϕ , is replaced by the dilation angle, ψ . Thus, the potential function is given by:

$$G = \frac{1}{3} I_1 \sin \psi + \sqrt{J_2} \sin \left(\theta + \frac{\pi}{3} \right) + \sqrt{\frac{J_2}{3}} \cos \left(\theta + \frac{\pi}{3} \right) \sin \psi - c \cos \psi \quad (4)$$

3. FEM FORMULATION

This section shows a short relevant theory of FEM used in this study and primary referenced from [4, 5]. A rectangular element in 2D plane strain (Figure 2) is considered and the relevant element stiffness matrix is given by:

$$[k^{(e)}] = \iiint_{V^{(e)}} [B]^T [D_e] [B] dV^{(e)} \quad (5)$$

where, $[D_e]$ is the elastic property matrix, $[B]$ is representing the matrix

of derivatives of interpolation functions. The element stiffness matrix as defined by Equation 5 is an 8×8 symmetric matrix, which contains 36 independent terms, meaning that 36 integrations are required to obtain the complete stiffness matrix. The integrations are straightforward but algebraically tedious. As here we deal with integration in two dimensions, we must evaluate the integrand at the Gauss points:

$$r_i = \pm \frac{\sqrt{3}}{3} \quad s_j = \pm \frac{\sqrt{3}}{3} \quad (6)$$

with weighting factors $W_i = W_j = 1$. The Gauss integration procedure can be applied directly to Equation 5 to obtain the entire element stiffness matrix as:

$$[k^{(e)}] = tab \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 W_i W_j [B(r_i, s_j)]^T [D_e] [B(r_i, s_j)] \quad (7)$$

where t is element thickness.

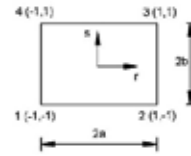


Figure 2. A rectangular element of width $2a$ and height $2b$

When encountering a complex geometry, rectangular elements may not be well generated for the mesh so quadrilateral elements are the better choice (Figure 3).

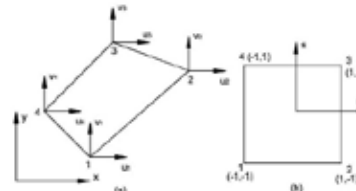


Figure 3. (a) A four-node, two-dimensional isoparametric element. (b) The parent element in natural coordinates

Hence, the element stiffness matrix can be calculated as follows:

$$[k^{(e)}] = t \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 W_i W_j [B(r_i, s_j)]^T [D_e] [B(r_i, s_j)] |J(r_i, s_j)| \quad (8)$$

where $|J|$ is Jacobian matrix.

At a node, the external force includes directly applied nodal forces, nodal force equivalents for distributed edge loadings, and nodal equivalents for body forces as:

$$\{f^{(ext)}\} = \{f^{(d)}\} + \{f^{(p)}\} + \{f^{(b)}\} \quad (9)$$

where $\{f^{(ext)}\}$ is external nodal forces; $\{f^{(d)}\}$ is directly applied; $\{f^{(p)}\}$ is nodal force equivalents for distributed edge loadings and $\{f^{(b)}\}$ is nodal equivalents for body forces.

When the stresses generated within the zone of interest, at the element level, nodal internal forces are computed from stresses [5]:

$$\{f^{(int)}\} = \int_{V^{(e)}} [B]^T \{\sigma\} dV \quad (10)$$

The internal force vector is computed using numerical integration at Gauss points:

$$\{f^{(int)}\} = t \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 W_i W_j [B(r_i, s_j)]^T \{\sigma(r_i, s_j)\} |J(r_i, s_j)| \quad (11)$$

where $\sigma(r_i, s_j)$ are stresses at the Gauss points.

Equilibrium must be satisfied; therefore, the following conditions are imposed:

$$\{r\} = \{f^{(ext)}\} - \{f^{(int)}\} = \{0\} \quad (12)$$

where $\{r\}$ is residual vector. The convergence criterion is evaluated using the relative residual defined as:

$$r^{re} = \frac{\|\{r\}\|}{\|\{f^{int}\}\|} \leq \epsilon_{tol} \quad (13)$$

where r^{re} is the relative residual, ϵ_{tol} is the convergence tolerance and a value of 0.001 is adopted in this study. The notation $\|\cdot\|$ denotes the Euclidean (L2) norm.

4. INCREMENTAL-ITERATIVE PROCEDURE

At each displacement-increment step, the equilibrium equations are solved iteratively using the Newton–Raphson method, while stresses are updated according to the elastoplastic constitutive model. The Newton–Raphson scheme has the following steps in Table 1. Some parameters used in Table 1 are explained in Table 2.

Table 1. Newton-Raphson scheme applied at displacement step $(n + 1)$.

Step	Description
1	Set iteration counter $k = 0$. Set initial nodal displacements $\{u_{n+1}^{(k)}\} = \{u_n\}$. Set initial stresses $\{\sigma_{n+1}^{(k)}\} = \{\sigma_n\}$. Calculate initial residual from internal forces and external forces $\{r^{(k)}\} = \{f^{int}(u_{n+1}^{(k)})\} - \{f_{n+1}^{ext}\}$.
2	Compute tangent matrices $[D_{ep}]$. Assemble element tangent stiffness matrices based on $[D_{ep}]$.
3	Increase iteration counter $k = k + 1$. Assemble global stiffness $[K]$ and solve for $\{\Delta u^{(k)}\}$ using $[K]\{\Delta u^{(k)}\} = -\{r^{(k)}\}$
4	Calculate displacements $\{u_{n+1}^{(k)}\} = \{u_{n+1}^{(k-1)}\} + \{\Delta u^{(k)}\}$. Calculate incremental strains $\{\Delta \epsilon_{n+1}^{(k)}\} = [B]\{\Delta u^{(k)}\}$. Calculate trial stresses $\{\sigma_{n+1}^{(k)(trial)}\} = \{\sigma_{n+1}^{(k-1)}\} + [D_e]\{\Delta \epsilon_{n+1}^{(k)}\}$.
5	Use a return mapping algorithm (Backward Euler method) to update stresses $\{\sigma_{n+1}^{(k)}\}$.
6	Compute element internal forces $\{f^{int}(u_{n+1}^{(k)})\}$.
7	Assemble global internal forces and update residual $\{r^{(k)}\} = \{f^{int}(u_{n+1}^{(k)})\} - \{f_{n+1}^{ext}\}$.
8	Check for convergence: if residual less than the tolerance, go to next displacement step, else return to Step 2.

Table 2. Description of parameters.

Item	Description
$\{u_{n+1}^{(k)}\}$	Nodal displacements at current displacement step $(n+1)$ and Newton–Raphson iteration (k) .
$\{u_n\}$	Nodal displacements at the end of previous displacement step (n) .
$\{\sigma_{n+1}^{(k)}\}$	Updated stresses at current displacement step $(n+1)$ and Newton–Raphson iteration (k) .
$\{\sigma_n\}$	Stresses at the end of previous displacement step (n) .
$\{f^{int}(u_{n+1}^{(k)})\}$	Internal nodal forces at current displacement step $(n+1)$ and Newton–Raphson iteration (k) .
$\{f_{n+1}^{ext}\}$	External nodal forces at current displacement step $(n+1)$.
$\{r^{(k)}\}$ $= \{f^{int}(u_{n+1}^{(k)})\}$ $- \{f_{n+1}^{ext}\}$	Residual vector at current displacement step $(n+1)$ and Newton–Raphson iteration (k) .

The Newton-Raphson scheme shows that at Step 5 (Table 1) (after having the trial stresses $\{\sigma_{n+1}^{(trial)}\}$) that tries to return these stresses into the corrected ones $\{\sigma_{n+1}\}$. In this study, an algorithm called Backward Euler Method is employed. The increments of plastic strain calculated at the end of the step and the yield condition is enforced at the end of the step; thus,

the integration scheme is written as [6, 7]:

$$\{\sigma_{n+1}\} = \{\sigma_{n+1}^{trial}\} - \lambda [D_e] \left\{ \frac{\partial F}{\partial \sigma} \right\} \quad (14)$$

where $\{\sigma_{n+1}^{trial}\}$ is the trial stress of the elastic predictor and $-\lambda [D_e] \left\{ \frac{\partial F}{\partial \sigma} \right\}$ is the plastic corrector which returns or projects the trial stress onto the yield surface along a direction specified by the plastic flow direction at the endpoint:

$$\lambda = \frac{F(\sigma_{n+1}^{trial})}{\left\{ \frac{\partial F}{\partial \sigma} \right\}^T [D_e] \left\{ \frac{\partial F}{\partial \sigma} \right\}} \quad (15)$$

The continuum elastoplastic modulus given by:

$$[D_{ep}] = [D_e] - \frac{[D_e] \left\{ \frac{\partial G}{\partial \sigma} \right\} \left\{ \frac{\partial F}{\partial \sigma} \right\}^T [D_e]}{\left\{ \frac{\partial F}{\partial \sigma} \right\}^T [D_e] \left\{ \frac{\partial G}{\partial \sigma} \right\}} \quad (16)$$

5. NUMERICAL MODEL AND BOUNDARY CONDITIONS

This section demonstrates the information of the example problem used for the analysis of displacement-increment sizes versus passive earth pressures. The problem shown in Figure 4 represents a soil with strength parameters: $\phi = 30^\circ$, $c = 0$ and dilation angle $\psi = 30^\circ$ (i.e. the problem employs the associated plasticity), subjected to the total prescribed horizontal displacements of 0.005 m along the upper left face. The displacement increments are applied to the x-components of displacement to the hypothetical smooth, rigid wall. The initial stresses in the ground are calculated assuming the unit weight $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ through the FEM elastic analysis.



Figure 4. The problem geometry

To analyze the effect of displacement increments size, increment numbers of 5, 10, 50, 100, 150 and 200 are applied (e.g. in case of 100 increment steps, the size of each increment is $\frac{0.005}{100} = 5 \times 10^{-5} \text{ m}$). The mesh consists of rectangular element of size $\frac{0.1}{8} \times \frac{0.1}{8} \text{ m}$. Based on the previous study of the authors [8], this mesh size is acceptable when considering the convergence of the results. The mesh generation is shown in Figure 5. The boundary conditions are:

- The upper left edge representing the wall has x-direction displacements.
- The lower left edge is fixed in x-direction.
- The right edge is fixed in x-direction.
- The bottom edge is fixed in x and y-direction.

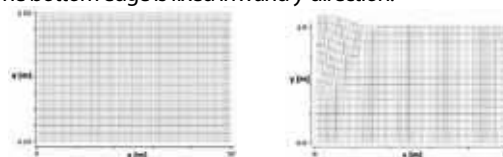


Figure 5. Initial (left one) and deformed (right one) meshes at failure of the 100-size case

6. RESULTS AND DISCUSSIONS

This section shows the results of the 100-step case (the number of 100 is chosen as the results based on this case are acceptable in terms of numerical stability as discussed later). As expected, at failure, Rankine passive mechanism outcropping at an angle of $45^\circ - \frac{\phi}{2} = 30^\circ$ to the horizontal is reproduced. The figures show good agreement with the theoretical failure mechanism. Specifically, Figure 5 shows the deformed mesh; Figure 6 shows the zone of yielding points and the displacement

vectors, agreeing with the mentioned theory.

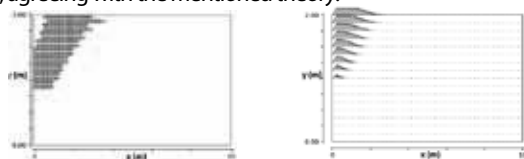


Figure 6. Yielding points (left one) and displacement vectors (right one) at failure of the case of 100 increments

To visually consider the effect of the displacement-increment size on the passive earth pressures, three step numbers of 100, 10 and 5 are examined. Clearly, the 100-step case (smaller increment) shows the smooth curve while the others (larger increment) demonstrate the curves with the fluctuations.

The 100-step curve is used for considering the computed passive earth pressure. The value is extracted at the point with the rapid change of curve slope and $P_p = 34 \text{ kN/m}$ is chosen (Figure 7). The closed-form value based on the Rankine theory [1] is $P_p = 30 \text{ kN/m}$. The FEM result slightly overestimates the Rankine solution by approximately 11%, which is acceptable considering the elastoplastic numerical formulation and boundary effects.

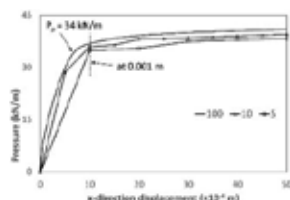


Figure 7. Earth pressures versus wall displacements of the case of 5, 10 and 100 increments

To quantitatively examine this effect, the passive earth pressures corresponding to the wall displacement in the x-direction of 0.001 m are considered. Figure 8 shows that larger increment sizes, corresponding to the numbers of increments of 5, 10, and 25, produce noticeable fluctuations in the computed earth pressures, whereas the results obtained with 50, 100, 150, and 200 increments exhibit a significantly more stable trend. As the number of increments increases, the computed response gradually approaches an asymptotically stable state.

The quantitative results are summarized in Table 3. It can be observed that the computed passive earth pressure increases from 34.87 kN/m for 5 increments to 36.90 kN/m for 200 increments, while the corresponding relative residual decreases from 0.601 to 0.027. The reduction in relative residuals indicates improved numerical convergence and solution stability with smaller increment sizes. In particular, the changes in passive earth pressure become relatively small when the number of increments reaches 50 or more, suggesting that this range provides sufficiently stable results for the present analysis.

To normalize the selection criterion for increment size, the relative residual is proposed as a practical indicator. For each displacement increment, the numerical procedure may require several iterations, each associated with a relative residual, and the maximum relative residual for each increment is considered in this study. As expected, smaller increment sizes produce smaller residuals and more stable pressure-displacement responses. Based on the observed convergence behavior, relative residuals smaller than approximately 0.5 are associated with stable and nearly converged passive earth pressures.

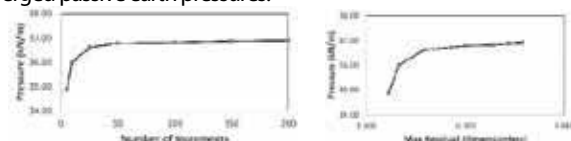


Figure 8. Earth pressures at the displacement of 0.001 m versus number of increments and maximum residuals

Table 1. Earth pressures at the displacement of 0.001 m versus number of increments and maximum residuals.

Number of increments	Pressure (kN/m)	Relative Residual
5	34.87	0.601
10	36.01	0.470
25	36.60	0.265
50	36.78	0.103
100	36.82	0.052
150	36.87	0.036
200	36.90	0.027

8. CONCLUSIONS

This study investigated the influence of displacement-increment size on passive earth pressure predictions in plane-strain elastoplastic finite element analysis based on the Mohr–Coulomb constitutive model. The numerical procedure employed displacement-controlled loading in combination with the Newton–Raphson iterative scheme and the Backward Euler return-mapping algorithm.

The numerical results demonstrated that increment size significantly affects the stability and smoothness of the computed pressure-displacement response. Large displacement increments produced noticeable discontinuities in the pressure-displacement curves and generated relatively large residuals during the iterative solution process. In contrast, smaller increments yielded smoother responses and improved convergence behavior.

The computed passive earth pressure gradually converged as the number of increments increased. For the investigated example, increment numbers of approximately 50 or greater provided relatively stable predictions, indicating that the numerical solution had approached convergence. Furthermore, a clear correlation was observed between the magnitude of relative residuals and solution stability. Relative residuals smaller than approximately 0.1 were generally associated with stable and consistent numerical predictions.

The scope of the present study was restricted to conditions involving the associated flow rule, small-strain formulation, and dry soil without groundwater effects. In addition, soil behavior was represented using the Mohr–Coulomb constitutive model, which does not account for more advanced features such as stress-dependent stiffness and strain hardening or softening. Therefore, further studies incorporating more advanced constitutive models and large-deformation formulations are recommended to evaluate the influence of increment size under more realistic geotechnical conditions.

Acknowledgement: We acknowledge Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), VNU-HCM for supporting this study.

REFERENCES

- [1] B. M. Das. Principles of Foundation Engineering. Cengage Learning, 2015.
- [2] J. Atkinson. The Mechanics of Soils and Foundations, Second Edition. Taylor & Francis, 2007.
- [3] W. F. Chen and D. J. Han. Plasticity for Structural Engineers. Springer New York, 2012.
- [4] D. V. Hutton. Fundamentals of finite element analysis, 1 ed. Boston: McGraw-Hill, 2004.
- [5] O. C. Zienkiewicz, R. L. Taylor and J. Z. Zhu. The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals. Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005.
- [6] J. Huang and D. V. Griffiths. Return Mapping Algorithms and Stress Predictors for Failure Analysis in Geomechanics. Journal of Engineering Mechanics, vol. 135, no. 4, pp. 276–284, 2009, doi: 10.1061/(ASCE)0739-9399(2009)135:4(276).
- [7] I. M. Smith, D. V. Griffiths and L. Margetts. Programming the Finite Element Method. Wiley, 2013.
- [8] T. T. G. Vo and V. T. Nguyen. An Implementation of Finite Element Method for Determining Free-Surface Seepage Problems, in Recent Advances in Structural Health Monitoring and Engineering Structures, Singapore, L. T. Cuong, A. H. Gandomi, L. Abualigah, and S. Khatir, Eds. Springer Nature Singapore, pp. 593–603, pp. 593–603, 2024.

Closure status, pollution-control component condition and concern-monitoring correspondence at ten municipal solid waste landfills in Vietnam

Hiện trạng đóng cửa, điều kiện hạ tầng kiểm soát ô nhiễm và sự phù hợp giữa mối quan tâm và giám sát tại mười bãi chôn lấp chất thải rắn đô thị ở Việt Nam

> PHAM THI NGOC LAN¹, NGUYEN THI THE NGUYEN^{2,*}, NGHIEM VAN KHANH³

¹Hanoi Institute of Environmental science and technology

²Thuyloi University

³Hanoi Architectural University

*Email: nguyen.n.t@tlu.edu.vn

ABSTRACT

Landfills at different stages of operation and closure require continued environmental control, but documented or visible infrastructure does not necessarily show that control functions are still maintained. This study assessed closure status, pollution-control component condition, and concern-monitoring correspondence across ten purposively selected municipal solid waste landfills in Vietnam. Environmental, design, operational, closure, and monitoring records were combined with technical interviews and field verification. Of 60 component ratings across six groups, 10 were evidence-supported functional, 22 partially supported, 18 absent or non-functional, and 10 not assessable. Of 30 concern-monitoring pairs covering leachate and receiving water, gas and odour, and surface stability, only two had adequate monitoring and nine were priority monitoring gaps. Surface-stability monitoring was partial or inadequate at all ten units. Overall, infrastructure presence did not consistently indicate current function, and monitoring gaps limited examination of relevant pathways. Separating documented or observed infrastructure from evidence of current function, and linking monitoring to pathway-specific concerns, provides a clear basis for site-specific verification before reuse planning.

Keywords: Post-closure care; final cover; leachate; landfill gas; surface stability.

TÓM TẮT

Các bãi chôn lấp ở những giai đoạn vận hành và đóng cửa khác nhau đều đòi hỏi phải duy trì kiểm soát môi trường liên tục; tuy nhiên, dù hạ tầng kiểm soát ô nhiễm có được ghi trong hồ sơ hoặc vẫn còn nhìn thấy được tại hiện trường, điều đó không nhất thiết cho thấy các chức năng kiểm soát tương ứng vẫn đang được duy trì. Nghiên cứu này đánh giá hiện trạng đóng cửa, điều kiện hoạt động của các bộ phận kiểm soát ô nhiễm, và mức độ tương thích giữa các mối nguy tiềm ẩn với hoạt động giám sát tại mười bãi chôn lấp chất thải rắn đô thị ở Việt Nam được chọn theo mục tiêu nghiên cứu. Dữ liệu được tổng hợp từ hồ sơ về môi trường, thiết kế, vận hành, đóng cửa và giám sát, kết hợp với phỏng vấn về kỹ thuật và kiểm chứng thực địa. Trong tổng số 60 đánh giá thuộc sáu nhóm thành phần, 10 trường hợp có bằng chứng đầy đủ về chức năng hoạt động, 22 trường hợp có bằng chứng một phần, 18 trường hợp không có hoặc không còn chức năng, và 10 trường hợp không thể đánh giá. Trong tổng số 30 cặp "mối nguy-giám sát" về nước rỉ rác và nước mặt tiếp nhận, khí bãi rác và mùi, cùng ổn định bề mặt, chỉ có hai cặp được giám sát đầy đủ, trong khi chín cặp còn thiếu giám sát ở mức ưu tiên. Hoạt động giám sát ổn định bề mặt ở tất cả mười bãi chôn lấp đều ở mức không đầy đủ hoặc chưa đáp ứng yêu cầu. Nhìn chung sự hiện diện của hạ tầng không nhất thiết phản ánh chức năng hiện

tại, và các thiếu hụt trong giám sát đã hạn chế việc kiểm tra các đường dẫn ô nhiễm liên quan. Việc tách biệt giữa hạ tầng được ghi nhận trong hồ sơ hoặc quan sát thấy tại hiện trường với bằng chứng về chức năng đang hoạt động, đồng thời gắn kết hoạt động giám sát với các mối nguy cụ thể theo từng đường dẫn ô nhiễm, sẽ tạo cơ sở rõ ràng cho công tác kiểm chứng tại từng địa điểm trước khi lập kế hoạch tái sử dụng.

Từ khóa: Chăm sóc sau đóng cửa bãi; lớp phủ bề mặt; nước rỉ rác; khí bãi chôn lấp; ổn định bề mặt.

1. INTRODUCTION

Landfilling remains the main municipal solid waste (MSW) disposal route in many developing and emerging economies, sustained by rising waste generation, limited financial and technical capacity, and institutional barriers to integrated waste management [1, 2]. An increasing number of these sites are now reaching capacity. Ending waste acceptance does not terminate landfill-gas generation, leachate migration, groundwater contamination, or differential settlement [3 - 6]. Reuse of land at a closed site therefore requires evidence that the remaining conditions and exposure pathways have been examined at the individual landfill [7, 8].

A closure designation, cessation of waste receipt, placement of a cover, or establishment of vegetation does not by itself demonstrate evidence-supported current function. Performance-based aftercare approaches assess leachate, gas, groundwater, and final-cover performance directly rather than inferring condition from design records [9, 10]. That distinction matters most where records are incomplete: cover behaviour depends on continuity, cracking, erosion, and gas transport rather than placement alone [11, 12], leachate control depends on containment and on continuity of collection and treatment [13, 14], and a favourable surface appearance cannot establish long-term stability [4, 15]. Monitoring likewise supports post-closure decisions only when its spatial, temporal, and analytical coverage matches the pathway examined, and methane emissions, groundwater plumes, and waste settlement each require a different form of coverage [16, 17]. An absence of reported incidents provides little evidence where the relevant pathway has never been adequately examined.

Vietnam shows these limits clearly. A recent national inventory identified 4,421 landfills, of which approximately 10% (443 sites) were classified as sanitary, 86.6% occupied less than one hectare, and 90% of provinces exceeded the study's calculated land-use rate for waste disposal [18]. These figures describe a fragmented system under land pressure, but say nothing about the functional condition of pollution-control components or the adequacy of pathway-specific monitoring at an individual site. Site-level work has entered the decision chain further downstream: at the closed Dong Ngo landfill, the analytic hierarchy process ranked five post-closure land-use alternatives [19], a stage that presumes the evidential question settled. No cross-site comparison has yet asked, unit by unit, whether recorded components are supported by evidence of current function and whether existing monitoring can examine the pathways that the available concern evidence indicates.

This study takes up that comparison across ten MSW landfill cases in Vietnam, purposively selected for contrast in region, technical condition, environmental setting, and closure state. The study first examines how closure status and the evidence-supported current condition of pollution-control components vary among the cases, and then asks how far existing monitoring

corresponds to observed or documented concern indicators across three pathways: leachate and receiving water, gas and odour, and surface stability.

2. STUDY AREA AND METHODS

2.1. Study area

The study covered ten municipal solid waste landfills purposively selected to span contrasting regional, technical, and environmental settings in Vietnam (Figure 1; Table 1). The cases were distributed across northern, central, and southern Vietnam and included sanitary and non-sanitary facilities, small to large sites, and operating, partly closed, and closed landfills. Their geomorphological and hydrogeological settings ranged from alluvial and deltaic plains to mountainous and hill-foot terrain, and from riverine to coastal environments, giving contrast in surface runoff, groundwater interaction, receiving-water pathways, and slope-stability conditions. Table 1 reports the site coordinates and the operating or closure condition represented by the combined documentary and field evidence. Where a facility contained both operating cells and closed or closing cells, as at Xuan Son, Tóc Tiên, and Thủy Phương, the status of the wider facility was distinguished from that of the selected cell.

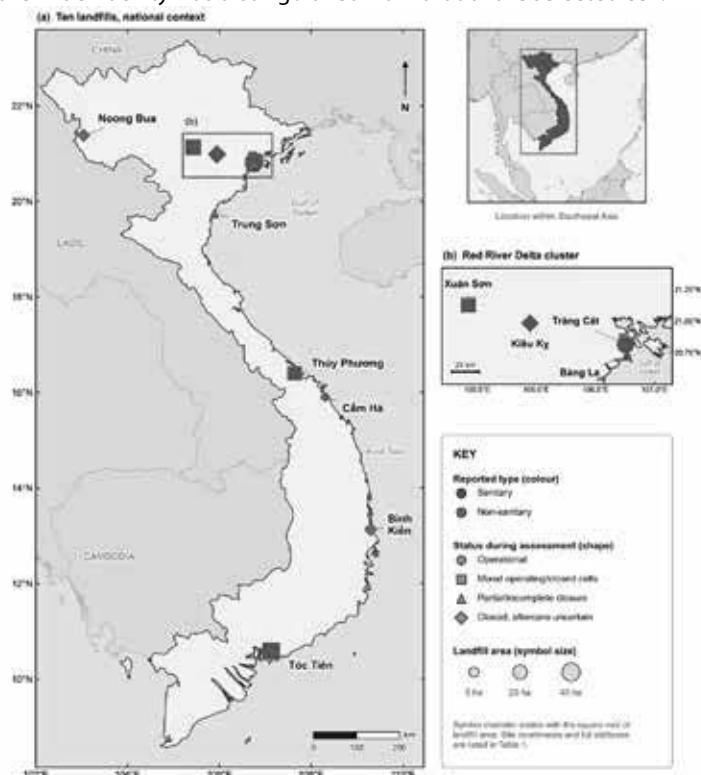


Figure 1. Locations of the ten study on landfills: (a) Vietnam and (b) the Red River Delta. Symbol colour denotes reported type, shape denotes status, and size scales with area.

Table 1. Characteristics of the ten investigated landfill sites

Site	Province/City	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Area (ha)	Reported type	Status during the assessment period
Trang Cat	Hai Phong	20.815169	106.753099	40.0	Sanitary, large	Operational
Toc Tien	Ho Chi Minh City	10.579489	107.128437	33.0	Sanitary, large	Cell 1 had a final cover. Other cells remained operational
Xuan Son	Hanoi	21.129625	105.423044	25.0	Sanitary, medium	Phase-I cells were partly or provisionally closed. Phase-II cells remained operational
Thuy Phuong	Hue	16.395824	107.634215	17.5	Sanitary, medium	Cells 1-2 had completed surface rehabilitation. The expansion cell remained operational
Kieu Ky	Hanoi	20.982542	105.946821	13.0	Sanitary, medium	Closed. Continuing aftercare could not be established
Bang La	Hai Phong	20.724364	106.759672	3.0	Sanitary, small	Partly or provisionally closed. Final cover was incomplete
Binh Kien	Đak Lak	13.131456	109.292334	3.0	Non-sanitary, small	Closed. Continuing aftercare could not be established
Trung Son	Thanh Hoa	19.748117	105.890743	2.7	Non-sanitary, small	Waste receipt had ceased, but technical closure was incomplete
Noong Bua	Đien Bien	21.381399	103.041592	2.5	Non-sanitary, small	Closed. Continuing aftercare could not be established
Cam Ha	Đa Nang	15.904698	108.303766	1.3	Non-sanitary, small	Operational

2.2. Materials and methods

2.2.1. Analysis of closure status and pollution-control component assessment

Closure status was compared across the 13 site- or cell-level entries, and component condition was rated for the ten analytical units in six groups: cover and infiltration control, storm water drainage and erosion control, leachate collection and containment, leachate treatment, landfill-gas control, and physical stability and site safety. Ratings followed the ordinal criteria in Table 2. Items that could not be assigned to a defined level were retained as NA and were neither scored nor imputed. The authors rated the same evidence package independently, and disagreements were resolved by re-examining the evidence against the written decision rules. The reconciled ratings were used in the analysis. This produced 60 component-level ratings, analysed descriptively as rating frequencies and unit-level profiles. The ratings were not combined into a composite index.

2.2.2. Concern indicators and monitoring correspondence

Monitoring adequacy and concern were assessed for three pathways-leachate and receiving water, gas and odour, and surface stability using the criteria in Table 2 and the same independent assessment and reconciliation pro-cedure described above. For the water pathway, the concern value was the highest available score across leachate-leakage and receiving-water evidence, whereas the other two pathways each used a directly matched indicator. Each assessable concern-monitoring pair was then assigned to one of four categories: priority monitoring gap, concern under active surveillance, precautionary or aftercare monitoring, or unverified low concern. Pairs containing an NA input were reported separately. This correspondence shows where monitoring does not address an observed or documented concern. It does not demonstrate pollution, quantify environmental risk, or establish the absence of concern where evidence is unavailable [7, 20].

Table 2. Ordinal rating scales applied to pollution-control component condition, monitoring adequacy, and concern indicators

Level	Component condition	Monitoring adequacy (per pathway)	Concern indicator (per pathway)
3	Substantially intact, and evidence supports its principal current function	Recent, periodic, retrievable, and unit-relevant data covering the pathway	Current condition confirmed by an official record or measurement
2	Evidence supports part of the function only: incomplete coverage, localised deterioration, or intermittent operation	Partial: limits in frequency, analysis, spatial attribution, continuity, or retrievability	Recent documentary or field evidence of concern
1	Absent, severely deteriorated, discontinued, or non-performing	Absent, or not attributable to the analytical unit or pathway	Historical or indirect evidence of concern
0	–	–	Direct observation or measurement showing no current issue
NA	Evidence cannot support any defined level	No relevant monitoring component can be rated	Indicator unknown or not examined

Note: NA denotes unavailable or non-assessable evidence, never a favourable condition, and such items were neither scored nor imputed. For the correspondence analysis, concern scores 2-3 were grouped as recent or current concern and scores 0-1 as no current concern or as historical or indirect concern.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Closure status and evidence-supported component condition

Across the ten analytical units, 10 of the 60 component ratings were evidence-supported functional, 22 were partially supported, 18 were absent or non-functional, and 10 were not assessable from the available evidence. Evidence-supported functional ratings occurred only for cover (2/10 units), drainage (2/10), leachate collection (3/10), and leachate treatment (3/10). Cover was partially supported at six units, while drainage was partially supported at five and not assessable at one. Leachate collection was absent or non-functional at four units, and leachate treatment at six. No unit had evidence-supported functional gas control: six units were partially supported and four were absent or non-functional. Physical stability and site safety were not assessable at nine units and partially supported only at Cẩm Hà (Figure 2a).

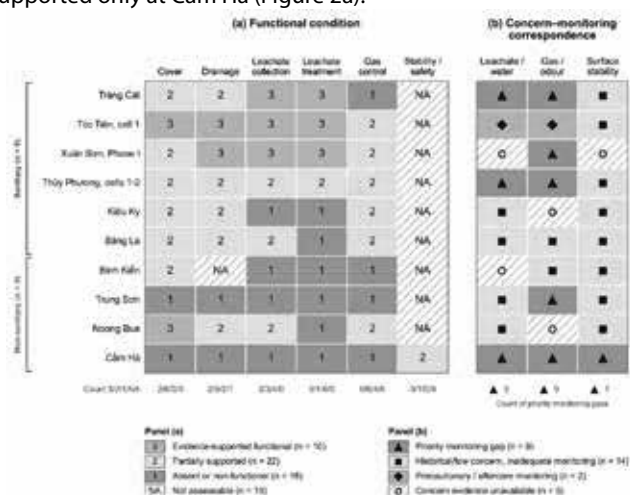


Figure 2. Rating profiles of the ten analytical units: (a) condition of the six pollution-control component groups and (b) concern-monitoring correspondence for the three pathways.

The unit profiles showed marked contrasts. At Tóc Tiên cell 1, four of the six components received evidence-supported functional ratings. Gas control was partially supported and stability was not assessable. Xuân Sơn Phase I had three such ratings: drainage, leachate collection, and leachate treatment, with cover and gas control partially supported and stability not assessable. Tràng Cát had two leachate components rated functional, with cover and drainage partially supported and gas control absent or non-functional. By contrast, five of the six components at both Cẩm Hà and Trung Sơn were absent or non-functional. Stability was partially supported at Cẩm Hà but not assessable at Trung Sơn.

3.2. Monitoring adequacy and concern-monitoring correspondence

Of the 30 monitoring classifications across ten units and three pathways, two (6.7%) were adequate and 28 (93.3%) were partial or inadequate. Both adequate classifications occurred at Tóc Tiên cell 1, for leachate and receiving water and for gas and odour. Monitoring was partial or inadequate for the water pathway at 9/10 units, the gas/odour pathway at 9/10 units, and surface stability at 10/10 units.

The 30 concern classifications comprised nine recent or current, 16 historical or low-level, and five unavailable classifications. For leachate and receiving water, the respective counts were 3, 5, and 2. For gas and odour, they were 5, 3, and 2. For surface stability, they were 1, 8, and 1.

Concern-monitoring correspondence produced nine priority monitoring gaps, 14 cases of historical or low-level concern with partial or inadequate monitoring, two precautionary or aftercare outcomes, and five cases in which concern evidence was unavailable. No pair combined recent or current concern with adequate monitoring (Figure 2b). The nine priority gaps occurred for water at Tràng Cát, Thủy Phương cells 1-2, and Cẩm Hà. For gas and odour they occurred at Tràng Cát, Xuân Sơn Phase I, Thủy Phương cells 1-2, Trung Sơn, and Cẩm Hà, and for surface stability at Cẩm Hà. The two precautionary or aftercare outcomes occurred at Tóc Tiên cell 1 for the water and gas/odour pathways.

3.3. Interpretation of component and monitoring evidence

Comparison across the ten analytical units showed a recurring gap between the presence of infrastructure and evidence that it was still functioning. A component recorded in documents or observed in the field was not necessarily supported by evidence of its current function. The ratings used here therefore do not represent performance tests or safety assessments.

The pattern differed among components and sites. Covers and drainage systems were often present, but their current function was only partly supported by the available evidence. Their condition depends on continuity, deterioration, erosion control, and gas movement, not simply on whether they were installed [11, 12]. Likewise, a rehabilitated surface does not show that the entire pollution-control system remains functional, and continued leachate collection and treatment need to be confirmed separately [14].

Evidence for gas control and surface stability was more limited. Where gas-control infrastructure was partly supported, its presence alone did not show that gas was still being effectively controlled over time [3, 21]. Surface stability could not be assessed even at units with stronger evidence for other control components, and the partly supported rating at Cẩm Hà did not confirm long-term stability. Because settlement develops over time, the absence of visible problems during a single site visit cannot replace settlement or deformation records [4, 15]. Closure status and visible infrastructure therefore cannot be used as substitutes for evidence of current function.

The monitoring results showed a similar gap. What mattered was not simply how much monitoring information was available, but whether it could examine the pathway linked to an observed or documented concern. The four correspondence outcomes describe how well monitoring matches the identified concern, not levels of environmental risk. Priority gaps indicate where recent or current concern requires better-targeted verification. The two precautionary outcomes show that adequate monitoring can still be relevant where concern is lower. The 14 historical or low-level cases should also be distinguished from the five cases with unavailable concern evidence, because missing evidence means uncertainty rather than absence of concern.

3.4. Implications for site-specific verification before reuse planning

Verification before reuse planning should be specific to both the landfill unit and the environmental pathway. An absent or non-functional rating indicates a deficiency supported by the available evidence. By contrast, a not-assessable rating or an unavailable concern input means that the condition could not be determined. Confirmed deficiencies therefore require follow-up on their extent and current status, while unknown conditions require baseline evidence rather than an assumption that they are either satisfactory or failing.

For leachate and receiving water, verification should determine whether collection and treatment systems remain connected to the unit being assessed, identify discharge and receiving-water pathways, and retrieve unit-specific records. Sampling locations, analytics, and observation periods should reflect the site hydrogeology and the relevant closed cell, because facility-level data may not represent the pathway being examined [17, 22].

For gas and odour, extraction or venting records should be checked against landfill-gas measurements that capture spatial and temporal variation. Ambient-air or odour observations alone cannot characterise gas migration or changes over time [16, 23].

For surface stability, site-specific geotechnical review should be combined with repeatable settlement or deformation surveys, with cracking, erosion, slope movement, and toe seepage recorded at documented locations. A single visual inspection cannot demonstrate long-term stability.

These checks clarify what is known and what still requires examination before a reuse option is considered. They do not certify safety or quantify environmental risk.

4. CONCLUSIONS

Across the ten purposively selected landfill cases, recorded or observed infrastructure was not consistently supported by evidence of current pollution-control function. Only 10 of the 60 component ratings were evidence-supported functional, no analytical unit had evidence-supported functional gas control, and physical stability was not assessable at nine units. Closure status, surface rehabilitation, and visible infrastructure therefore could not be taken as evidence that pollution-control systems were still functioning.

Monitoring evidence was also limited. Only two of the 30 monitoring classifications were adequate, nine concern-monitoring pairs were identified as priority monitoring gaps, and surface-stability monitoring was partial or inadequate at all ten units. Unavailable evidence indicated uncertainty rather than absence of concern. These findings identify where site- and pathway-specific verification is needed before reuse options are considered.

Because the study relied on heterogeneous records supplemented by cross-sectional field verification, the findings do not establish pollution or quantify environmental risk. They also do not certify safety or long-term stability, determine suitability for reuse, or support estimates of national prevalence.

REFERENCES

[1] A. Maalouf and P. Agamuthu. Waste management evolution in the last five decades in developing countries: A review. *Waste Management & Research*, vol. 41, no. 9, pp. 1420-1434, 2023, doi: 10.1177/0734242X231160099.

[2] Z. Zhang et al. Municipal solid waste management challenges in developing regions: A comprehensive review and future perspectives for Asia and Africa. *Science of the Total Environment*, vol. 930, art. no. 172794, 2024, doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.172794.

[3] D. Huang, Y. Du, Q. Xu and J. H. Ko. Quantification and control of gaseous emissions from solid waste landfill surfaces. *Journal of Environmental Management*, vol. 302, art. no. 114001, 2022, doi: 10.1016/j.jenvman.2021.114001.

[4] Y. Jo and D. Zekkos. Analysis of long-term MSW settlement based on field data measured at two closed landfills. *Environmental Geotechnics*, vol. 12, no. 5, pp. 385-400, 2025, doi: 10.1680/jenge.24.00031.

[5] J. Peng et al. Time-space patterns of groundwater contamination in a closed MSW landfill: Insights from long-term monitoring and SOM-based clustering analysis. *Environmental Pollution*, vol. 382, art. no. 126659, 2025, doi: 10.1016/j.envpol.2025.126659.

[6] A. Siddiqua, J. N. Hahladakis and W. A. K. A. Al-Attia. An overview of the environmental pollution and health effects associated with waste landfilling and open

dumping. *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 29, no. 39, pp. 58514-58536, 2022, doi: 10.1007/s11356-022-21578-z.

[7] E. Koda et al. Space redevelopment of old landfill located in the zone between urban and protected areas: Case study. *Energies*, vol. 15, no. 1, art. no. 146, 2022, doi: 10.3390/en15010146.

[8] M. D. Vaverková, E. Koda, A. Podlasek, and J. Winkler. Reclamation of closed municipal solid waste landfills from the perspective of environmental risk and post-closure management: An international review. *Journal of Environmental Management*, vol. 403, art. no. 129213, 2026, doi: 10.1016/j.jenvman.2026.129213.

[9] J. W. F. Morris and M. A. Barlaz. A performance-based system for the long-term management of municipal waste landfills. *Waste Management*, vol. 31, no. 4, pp. 649-662, 2011, doi: 10.1016/j.wasman.2010.11.018.

[10] J. W. F. Morris, M. Crest, M. A. Barlaz, K. A. Spokas, A. Åkerman and L. Yuan. Improved methodology to assess modification and completion of landfill gas management in the aftercare period. *Waste Management*, vol. 32, no. 12, pp. 2364-2373, 2012, doi: 10.1016/j.wasman.2012.07.017.

[11] J. K. Chetri and K. R. Reddy. Advancements in municipal solid waste landfill cover system: A review. *Journal of the Indian Institute of Science*, vol. 101, no. 4, pp. 557-588, 2021, doi: 10.1007/s41745-021-00229-1.

[12] Q. Wang et al. Gas transport in landfill cover system: A critical appraisal. *Journal of Environmental Management*, vol. 321, art. no. 116020, 2022, doi: 10.1016/j.jenvman.2022.116020.

[13] P. Jain, K. M. Winslow, T. G. Townsend, M. Krause and T. M. Tolaymat. Assessment of municipal solid-waste landfill liner performance. *Journal of Environmental Engineering*, vol. 149, no. 9, art. no. 04023055, 2023, doi: 10.1061/(JOE)DU.EEENG-7218.

[14] C. Teng, K. Zhou, C. Peng, and W. Chen. Characterization and treatment of landfill leachate: A review. *Water Research*, vol. 203, art. no. 117525, 2021, doi: 10.1016/j.watres.2021.117525.

[15] Y. Ren, Z. Zhang and M. Huang. A review on settlement models of municipal solid waste landfills. *Waste Management*, vol. 149, pp. 79-95, 2022, doi: 10.1016/j.wasman.2022.06.019.

[16] J. Mønster, P. Kjeldsen and C. Scheutz. Methodologies for measuring fugitive methane emissions from landfills-A review. *Waste Management*, vol. 87, pp. 835-859, 2019, doi: 10.1016/j.wasman.2018.12.047.

[17] L. Wu et al. Leachate migration investigation at an unlined landfill located in granite region using borehole groundwater TDS profiles. *Engineering Geology*, vol. 292, art. no. 106259, 2021, doi: 10.1016/j.enggeo.2021.106259.

[18] T. D. T. Nguyen and T. Nakakubo. Characteristics of solid waste landfills in Vietnam and selection of prioritized measures based on land use-focused assessment. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, vol. 27, no. 6, pp. 4285-4300, 2025, doi: 10.1007/s10163-025-02358-6.

[19] T. H. H. Bui, A. D. Hoang, and Y. T. Kim. An application of full analytic hierarchy process to identify the best use of Dong Ngo closed-landfill site in Bac Ninh city, Vietnam. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, vol. 38, no. 6, art. no. e13273, 2019, doi: 10.1002/ep.13273.

[20] A. Podlasek, M. D. Vaverková, A. Jakimiuk and E. Koda. A comprehensive investigation of geoenvironmental pollution and health effects from municipal solid waste landfills. *Environmental Geochemistry and Health*, vol. 46, no. 3, art. no. 97, 2024, doi: 10.1007/s10653-024-01852-4.

[21] T. Nishio et al. Evaluation of stabilization status of the landfill layers by comparing long-term monitoring data of methane emission with FOD model estimate. *Environmental Technology*, vol. 45, no. 18, pp. 3679-3691, 2024, doi: 10.1080/09593330.2023.2226331.

[22] G. Przydatek and W. Kanownik. Impact of small municipal solid waste landfill on groundwater quality. *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 191, no. 3, art. no. 169, 2019, doi: 10.1007/s10661-019-7279-5.

[23] D. H. Cusworth et al. Quantifying methane emissions from United States landfills. *Science*, vol. 383, no. 6690, pp. 1499-1504, 2024, doi: 10.1126/science.adi7735.



CÔNG TY TNHH NHỰA ĐƯỜNG PETROLIMEX

NHỰA ĐƯỜNG PETROLIMEX MÁC 40/50



NHỰA ĐƯỜNG PETROLIMEX

MÁC 40/50

ĐẠT TỐI THIỂU

PG70

THEO CHUẨN PHÂN LOẠI NHỰA
ĐƯỜNG THEO PG (TCVN 13049:2020)

GIẢI PHÁP MỚI CHO THI CÔNG ĐƯỜNG BỘ VÀ SÂN BAY



DO CÔNG TY TNHH NHỰA ĐƯỜNG PETROLIMEX
SẢN XUẤT TẠI CÁC NHÀ MÁY:

- 📍 Nhà máy Nhựa đường Petrolimex Thượng Lý - Hải Phòng
- 📍 Nhà máy Nhựa đường Petrolimex Cửa Lò - Nghệ An
- 📍 Nhà máy Nhựa đường Petrolimex Thọ Quang - Đà Nẵng
- 📍 Nhà máy Nhựa đường Petrolimex Nhà Bè - TP HCM

MÁC KIM LÚN

40/50



ĐẶC TÍNH CƠ HỌC CHẤT LƯỢNG CAO

Đáp ứng yêu cầu kỹ thuật khắt khe cho
các công trình đường bộ và sân bay.



KHẢ NĂNG CHỐNG HẤN LÚN VƯỢT TRỘI

Cải thiện hiệu suất, tăng độ bền mặt đường,
kéo dài tuổi thọ công trình.



HIỆU QUẢ TỐI ƯU

Tối ưu hóa hiệu quả sử dụng,
nâng cao chất lượng công trình.



CHI PHÍ HỢP LÝ

Hiệu quả kinh tế cao,
phù hợp với nhiều loại hình dự án.



THI CÔNG BTN SỬ DỤNG NHỰA ĐƯỜNG
PETROLIMEX 40/50 TẠI SÂN BAY PHỦ CÁT 2026



ỔN ĐỊNH NHIỆT TỐT

Ít lão hóa, duy trì
tính năng lâu dài



CHỊU TẢI TRỌNG LỚN

Phù hợp điều kiện tải trọng lớn,
lưu lượng giao thông cao



CHỐNG HẤN LÚN VƯỢT TRỘI

Tăng tuổi thọ mặt đường,
giảm chi phí bảo trì



THÂN THIỆN MÔI TRƯỜNG

Giảm phát thải, hướng tới
phát triển bền vững



Web: www.plc.petrolimex.com.vn



Điện thoại: 024 3851 3206



XI MĂNG CẨM PHẢ
CÔNG NGHỆ NHẬT BẢN



CÔNG TY CỔ PHẦN XI MĂNG CẨM PHẢ

☎ (+84-203) 3 721995
(+84-203) 3 721996

📍 Km6, Quốc lộ 18A, P. Quang Hanh,
Tỉnh Quảng Ninh

CHI NHÁNH PHÍA NAM

☎ (+84-254) 3899 630
📍 KCN Mỹ Xuân A, P. Phú Mỹ,
Tp. Hồ Chí Minh

VĂN PHÒNG TP. HỒ CHÍ MINH

☎ (+84-283) 9100 937
📍 Lầu 6 số 47 Điện Biên Phủ,
P. Tân Định, Tp. Hồ Chí Minh