03-2026 | ISSN 2734-9888 | tapchixaydung.vn

# XÂY DỰNG

TẠP CHÍ CỦA BỘ XÂY DỰNG
JOURNAL OF CONSTRUCTION

# CÔNG TY CỔ PHẦN QUẢN LÝ VÀ XÂY DỰNG GIAO THÔNG LẠNG SƠN

**Chủ tịch HĐQT: Ông Phạm Hữu Tuân**

**Địa chỉ: Số 257, đường Trần Quang Khải, phường Lương Văn Tri, tỉnh Lạng Sơn**

CÔNG TY CỔ PHẦN
THUANTHANH®
TRƯỜNG TRUNG CẤP

# TRƯỜNG TRUNG CẤP THUẬN THÀNH

## Khu phố Tam Á, Phường Thuận Thành, Tỉnh Bắc Ninh

# MỤC LỤC CONTENT

03.2026 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
**TS Lê Văn Cư** - Ủy viên
**PGS.TS Phạm Xuân Dương** - Ủy viên
**PGS.TS Hoàng Hà** - Ủy viên
**TS Nguyễn Hồng Hải** - Ủy viên
**TS Lê Quang Hùng** - Ủy viên
**PGS.TS Nguyễn Văn Hùng** - Ủy viên
**TS Khuất Việt Hùng** - Ủy viên
**PGS.TS.KTS Hoàng Vĩnh Hưng** - Ủy viên
**GS.TS Phạm Huy Khang** - Ủy viên
**GS.TS.KTS Doãn Minh Khôi** - Ủy viên
**GS.TS.KTS Nguyễn Tố Lăng** - Ủy viên
**PGS.TS Nguyễn Ngọc Long** - Ủy viên
**GS.TS Phan Quang Minh** - Ủy viên
**TS Phan Hữu Duy Quốc** - Ủy viên
**PGS.TS Nguyễn Thanh Sang** - Ủy viên
**GS.TS Phạm Cao Thăng** - Ủy viên
**GS.TS Trịnh Minh Thụ** - Ủy viên
**PGS.TS Nguyễn Hồng Tiến** - Ủy viên
**PGS.TS Nguyễn Thị Tuyết Trinh** - Ủy viên
**PGS.TS Hoàng Tùng** - Ủy viên
**PGS.TS Tống Trần Tùng** - Ủy viên

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

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

**Ảnh bìa 1:** Phối cảnh ứng dụng mô hình "Đô thị xốp" vào việc xây dựng lại Khu tập thể Kim Liên (Hà Nội) do Văn phòng kiến trúc HGAA đề xuất.

**Giá 75.000 đồng**

**QUẢN LÝ NGÀNH**
THANH NGA 6 Thúc đẩy giải ngân đầu tư công năm 2026: Tập trung phát triển hạ tầng và nhà ở xã hội
ĐÌNH QUANG 8 Tăng tốc cho mục tiêu 5.000 km đường cao tốc
MINH THÀNH 10 Để kinh tế biển phát triển bền vững: "Cảng xanh" và "đội tàu xanh" là xu thế tất yếu
LAN CHI 14 Bước ngoặt chiến lược của hàng không Việt

**TỪ CHÍNH SÁCH ĐẾN CUỘC SỐNG**
PGS.TS.KTS NGUYỄN VŨ PHƯƠNG 16 Từ đô thị thông minh đến nông thôn thông minh: Tiếp cận lãnh thổ tích hợp cho tỉnh Vĩnh Long trong bối cảnh chính quyền địa phương 2 cấp
PGS.TS LƯƠNG TÚ QUYÊN 22 Quá trình chuyển hóa và biến đổi chức năng của không gian xanh đô thị
KTS ĐINH ĐĂNG HẢI 26 Cây xanh đô thị - hạ tầng thiết yếu cho phát triển đô thị
GS.TS.KTS ĐỖ HẬU 32 Kinh nghiệm quốc tế về quản lý rủi ro thiên tai dựa vào cộng đồng và bài học cho Việt Nam
KTS NGUYỄN VĂN THU 38 Ý tưởng ứng dụng mô hình "Đô thị xốp" vào việc xây dựng lại các khu tập thể cũ

**TRÒ CHUYỆN VỚI CHUYÊN GIA**
NGUYỄN HẠNH, THU THỦY 42 Hạ tầng luôn luôn là nền tảng và mở lối cho những không gian tăng trưởng mới

**GÓC NHÌN TỪ THỰC TIỄN**
NGUYỄN HOÀNG LINH 48 Định danh để minh bạch

**PHÁT TRIỂN XANH**
XUÂN KHẢI 50 Xe Hybrid tự sạc: Lời giải cho bài toán năng lượng và hạ tầng tại Việt Nam

**GIỚI THIỆU SÁCH MỚI**
AN NHIÊN 52 Hạ tầng đường sắt

**NGHIÊN CỨU KHOA HỌC**
THS ĐẶNG GIA QUYỀN, PGS.TS NGUYỄN THỊ THANH MAI 53 Không gian xanh đa năng gắn với hạ tầng xanh: Cách tiếp cận bền vững tại Việt Nam
THS DOÃN MINH THU, GS.TS NGUYỄN QUỐC THÔNG, TS PHẠM ANH TUẤN 58 Nhận diện giá trị nghệ thuật vườn truyền thống Việt Nam
DƯƠNG THANH TIẾN, NGUYỄN LÂM, PHAN NHỰT DUY 62 Nâng cao hiệu quả quản lý xây dựng nhà ở riêng lẻ tại các phường Tân Thuận, Tân Mỹ, Phú Thuận, Tân Hưng - TP Hồ Chí Minh
THS.NCS NGUYỄN HUY HÙNG 67 Phân tích các rào cản và thách thức trong phát triển đô thị theo mô hình TOD: Bài học kinh nghiệm cho Hà Nội
THS NGUYỄN HẢI LÂM, TS VÕ NHẬT LUÂN 72 Quản lý giao thông đô thị thông minh TP Hồ Chí Minh thích ứng biến đổi khí hậu dựa trên công nghệ số và tích hợp sử dụng đất
TS NGUYỄN PHƯƠNG THẢO 76 Đánh giá hiện trạng cấp nước sinh hoạt nông thôn tỉnh Quảng Ninh hướng tới phát triển bền vững
THS ĐẶNG THỊ NGA, THS VŨ HUYỀN THANH 80 Tổ chức hệ thống phương tiện giao thông bổ trợ cho đường sắt đô thị tại Hà Nội: Những thuận lợi và khó khăn
TS HÀ XUÂN ÁNH 85 Thiết lập cường độ mưa - thời đoạn - tần suất theo hàm Gumbel cho thoát nước mưa khu vực Hà Nội
TS NGUYỄN HỮU DŨNG 90 Nghiên cứu khoảng cách tối thiểu giữa nút giao liên thông và vị trí cửa hầm đường bộ trên các tuyến đường cao tốc
VÕ TRỌNG NGHĨA, TRẦN THỊ VIỆT HÀ, ĐÀO DUY TOÀN 95 Nhu cầu sử dụng điểm trung chuyển giao thông công cộng trong hành trình đô thị tại TP Hồ Chí Minh
THS MAI VŨ DUY, THS NGUYỄN HUY, THS NGUYỄN HUY LONG, THS NGUYỄN THẾ VĂN, TS LÊ BỬU THẠCH, PGS.TS LƯU HỒNG TRƯỜNG, THS TRẦN QUANG ĐIỂN, THS NGUYỄN ĐÌNH PHÚC 100 Nghiên cứu áp dụng các công nghệ tiên tiến trong đánh giá sức khỏe và mức độ an toàn cây xanh để quản lý cây xanh đô thị tại Việt Nam
PGS.TS TRẦN ANH DŨNG, THS NGUYỄN ĐỨC PHƯƠNG 104 Nghiên cứu xác định các tiêu chí kỹ thuật làm cơ sở lựa chọn cấp kỹ thuật đường sắt
THS VÕ TẤN ĐỨC, TS TRẦN THỊ QUỲNH NHƯ, PGS.TS TRẦN QUANG PHÚ 108 Hoàn thiện hệ thống cơ sở hạ tầng giao thông nhằm nâng cao hiệu quả khai thác của sân bay Long Thành
PGS.TS NGUYỄN ĐỨC TRỌNG 112 Nghiên cứu ảnh hưởng của độ chặt đến mô-đun đàn hồi cát biển dùng trong xây dựng nền đường cấp thấp
TS NGUYỄN TRỌNG CHỨC, KS LÊ QUÝ BÔN 115 Nghiên cứu ảnh hưởng của vị trí cần cẩu đến sự ổn định của sà lan trong quá trình thi công công trình cầu
THS LÊ THỊ THANH HÀ 120 Nghiên cứu tham số ảnh hưởng đến ứng xử của dầm cao bê tông cốt thép nhiều nhịp có lỗ mở bằng mô phỏng số
TS TRẦN VĂN PHÚC 125 Hiệu chỉnh công thức xác định khả năng kháng cắt của tấm FRP cho dầm bê tông ứng suất trước
TS ĐỖ VĂN THUẬN, TS PHẠM HOÀI CHUNG 130 Xây dựng và hoàn thiện hệ thống kết cấu hạ tầng giao thông đa phương thức theo tinh thần Đại hội XIV của Đảng
HOÀNG TRỌNG LÂM, VÕ DUY HÙNG, PHẠM NGỌC NAM 133 Ảnh hưởng của xi măng xỉ lò cao PCBBFs 40% đến nhiệt thủy hóa của bê tông khối lớn

**INDUSTRY MANAGEMENT**

THANH NGA 6 Boosting public investment disbursement in 2026: Focusing on infrastructure development and social housing

DINH QUANG 8 Accelerating towards the goal of 5,000 km of highway

MINH THANH 10 For sustainable development of the maritime economy: "Green ports" and "green fleets" are inevitable trends

LAN CHI 14 A strategic turning point for Vietnamese aviation

**FROM POLICY TO LIFE**

NGUYEN VU PHUONG 16 From smart cities to smart rural areas: An integrated territorial approach for Vinh Long province in the context of a two-level local government structure

LUONG TU QUYEN 22 The process of transformation and functional change of urban green spaces

DINH DANG HAI 26 Urban greenery - Essential infrastructure for urban development

DO HAU 32 International experiences in community-based disaster risk management and lessons for Vietnam

NGUYEN VAN THU 38 The idea is to apply the "Sponge City" model to the reconstruction of old apartment complexes

**TALK WITH EXPERTS**

NGUYEN HANH, THU THUY 42 Infrastructure is always the foundation and opens the way for new growth opportunities

**PERSPECTIVE TO PRACTICAL**

NGUYEN HOANG LINH 48 Identification for transparency

**GREEN MATERIALS**

XUAN KHAI 50 Self-charging hybrid vehicles: A solution to Vietnam's energy and infrastructure challenges

**ABOUT NEW BOOK**

AN NHIEN 52 Railway Infrastructure

**SCIENTIFIC RESEARCH**

DANG GIA QUYEN, NGUYEN THI THANH MAI 53 Multi-functional green spaces integrated with green infrastructure: A sustainable approach in Vietnam

DOAN MINH THU, NGUYEN QUOC THONG, PHAM ANH TUAN 58 Identifying the artistic value of traditional Vietnamese gardens

DUONG THANH TIEN, NGUYEN LAM, PHAN NHUT DUY 62 Enhancing the Effectiveness of Managing the Construction permits for residential houses in the wards of Tan Thuan, Tan My, Phu Thuan, and Tan Hung in Ho Chi Minh City

NGUYEN HUY HUNG 67 Analysis of barriers and challenges in transit-oriented development (tod): Lessons learned for Hanoi

NGUYEN HAI LAM, VO NHAT LUAN 72 Smart urban traffic management in Ho Chi Minh City for climate change adaptation based on digital technologies and integrated land use

NGUYEN PHUONG THAO 76 Assessing rural domestic water supply in Quang Ninh province: Implications for sustainable development

DANG THI NGA, VU HUYEN THANH 80 Organizing the feeder transport system for urban railways in Hanoi: Opportunities and challenges

HA XUAN ANH 85 Development of rainfall intensity-duration-frequency (IDF) curves using the Gumbel probability distribution for urban drainage design in Hanoi, Vietnam

NGUYEN HUU DUNG 90 A Study on the Minimum spacing requirements between expressway interchanges and Road tunnel portals

VO TRONG NGHIA, TRAN THI VIET HA, DAO DUY TOAN 95 Demand for Public Transport Interchanges in Urban Travel Chains in Ho Chi Minh City

MAI VU DUY, NGUYEN HUY, NGUYEN HUY LONG, NGUYEN THE VAN, LE BUU THACH, LUU HONG TRUONG, TRAN QUANG DIEN, NGUYEN DINH PHUC 100 Research on applying advanced technologies to assess the health and safety of trees for urban greenery management in Vietnam

TRAN ANH DUNG, NGUYEN DUC PHUONG 104 Research on determining technical criteria for the selection of railway technical grading

VO TAN DUC, TRAN THI QUYNH NHU, TRAN QUANG PHU 108 Enhancing the efficiency of Long Thanh international airport operations through the improvement of transport infrastructure systems

NGUYEN DUC TRONG 112 Study on the effect of dry density on the elastic modulus of sea sand for low-standard road applications

NGUYEN TRONG CHUC, LE QUY BON 115 Study on the influence of crane position on the stability of barges during bridge construction operations

LE THI THANH HA 120 Parametric study on the behavior of multi-span reinforced concrete deep beams with openings using numerical simulation

TRAN VAN PHUC 125 Calibration of the Formula for determining the shear resistance contribution of frp sheets in prestressed concrete beams

DO VAN THUAN, PHAM HOAI CHUNG 130 Building and improving a multimodal transport infrastructure system in alignment with the spirit of the 14th National Party Congress



SCIENTIFIC COMMISSION:

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

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



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

# MỤC LỤC CONTENT

03.2026 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
**TS Lê Văn Cư** - Ủy viên
**PGS.TS Phạm Xuân Dương** - Ủy viên
**PGS.TS Hoàng Hà** - Ủy viên
**TS Nguyễn Hồng Hải** - Ủy viên
**TS Lê Quang Hùng** - Ủy viên
**PGS.TS Nguyễn Văn Hùng** - Ủy viên
**TS Khuất Việt Hùng** - Ủy viên
**PGS.TS.KTS Hoàng Vĩnh Hưng** - Ủy viên
**GS.TS Phạm Huy Khang** - Ủy viên
**GS.TS.KTS Doãn Minh Khôi** - Ủy viên
**GS.TS.KTS Nguyễn Tố Lăng** - Ủy viên
**PGS.TS Nguyễn Ngọc Long** - Ủy viên
**GS.TS Phan Quang Minh** - Ủy viên
**TS Phan Hữu Duy Quốc** - Ủy viên
**PGS.TS Nguyễn Thanh Sang** - Ủy viên
**GS.TS Phạm Cao Thăng** - Ủy viên
**GS.TS Trịnh Minh Thụ** - Ủy viên
**PGS.TS Nguyễn Hồng Tiến** - Ủy viên
**PGS.TS Nguyễn Thị Tuyết Trinh** - Ủy viên
**PGS.TS Hoàng Tùng** - Ủy viên
**PGS.TS Tống Trần Tùng** - Ủy viên

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

| | | |
|---|---|---|
| THS NGUYỄN HẢI HÀ, TS NGUYỄN THÁI LINH | 138 | Nghiên cứu hệ số giảm lún của hệ trụ vật liệu rời xử lý nền đất yếu trên mô hình thực nghiệm |
| PGS.TS NGUYỄN ĐỨC MẠNH, PGS.TS ĐẶNG HỒNG LAM THS.NCS TRẦN THỊ THU HIỀN, PGS.TS NGUYỄN CHÂU LÂN, PGS.TS NGUYỄN TRỌNG HIỆP, GS.TS PHẠM HUY KHANG | 142 | Nghiên cứu thí nghiệm trong phòng phương pháp gia cố nền đường bê tông xi măng |
| TS TRẦN ĐỨC TRUNG | 146 | Bê tông tự lèn sử dụng cốt liệu tái chế từ phế thải xây dựng |
| THS PHẠM THANH TÙNG, PGS.TS BÙI ĐỨC NĂNG, TS TRẦN ANH BẢO | 152 | Xây dựng thuật toán phát mẫu ngẫu nhiên theo phân phối Birnbaum-Saunders ba tham số và ứng dụng trong mô phỏng chiều dày bê tông phun |
| HỒ NGÔ ANH ĐÀO, TRẦN THỊ KIM TUYẾN, NGUYỄN THỊ MINH TRANG | 158 | Sản xuất gạch không nung từ bùn thải nhà máy nước cấp, tro bay nhà máy nhiệt điện và tro trấu |
| BÙI VĂN TUYÊN | 163 | Phát triển Chatbot tư vấn cho quản lý xây dựng - AI Build |
| NGUYỄN KHẮC QUÂN, NGUYỄN THANH PHONG, NGUYỄN MẬU PHƯỚC, CHÂU ĐỨC HUỆ | 168 | Công nghệ 4.0 trong giám sát thông minh công trình bê tông cốt thép cũ: Trường hợp các chung cư ở TP Hồ Chí Minh |
| LÊ KIM THƯ, LÊ ANH TUẤN, TRẦN THANH SƠN, LÊ VĂN NHU | 173 | Nghiên cứu nâng cao chất lượng ảnh cho kính hiển vi quang học góc rộng bằng sử dụng thuật toán với mô hình vật lý |
| TS LÊ KIM THƯ | 178 | Ứng dụng ảnh vệ tinh Sentinel-2 trong đánh giá ảnh hưởng ngập lụt do bão Matmo tại TP Thái Nguyên |
| TS NGUYỄN THỊ THÚY HỒNG | 182 | Đánh giá năng suất khai thác đội tàu biển thế giới bằng Phương pháp phân tích bao phủ dữ liệu (DEA) và chỉ số Malmquist |
| TS NGUYỄN HOÀNG THÙY TRANG | 186 | Nghiên cứu và đề xuất thuật toán lập bản đồ 3D cho robot, áp dụng vào drone và được mô phỏng trên nền tảng ROS |
| TS NGÔ QUANG DỰ, THS TRỊNH XUÂN BÁU | 191 | Bước đầu nghiên cứu một số yếu tố ảnh hưởng và biện pháp giảm thiểu tiếng ồn của dự án đường sắt tốc độ cao tại Việt Nam |
| TS NGUYỄN THỊ NGUYỆT HẰNG, TS HOÀNG CHÍ THÀNH, GS.TS NGUYỄN HOÀNG GIANG | 194 | Nghiên cứu thực nghiệm tính chất cơ học của thanh GFRP và triển vọng ứng dụng trong xây dựng tại Việt Nam |
| THS NGUYỄN HỒ HỒNG PHÁT | 199 | Chuyển đổi số tại các doanh nghiệp kinh doanh cảng biển Hải Phòng: Thực trạng và giải pháp |
| NGUYỄN PHƯƠNG CHÂM | 202 | Những rào cản trong xử lý chất thải rắn xây dựng theo mô hình kinh tế tuần hoàn của TP Hà Nội |
| TRẦN PHẠM TRỌNG ĐỨC, HUỲNH THỊ MINH TRÚC | 207 | Đánh giá hiệu quả quản lý chi phí trong doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng công trình giao thông: Nghiên cứu tình huống tại TP Đà Nẵng |
| NGÔ THANH THỦY, TRẦN VĂN TÂM, HUỲNH XUÂN TÍN | 213 | Ứng dụng BIM trong quản lý dự án |
| PHAN VĂN TOÀN, NGUYỄN VĂN GIANG | 219 | Phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến chậm thanh toán trong dự án nhà cao tầng tại TP Hồ Chí Minh bằng mô hình SEM |
| CN TRẦN NGUYỄN NHƯ PHƯƠNG, PGS.TS HỒ THỊ THU HÒA, KS NGUYỄN THANH DANH | 225 | Nghiên cứu mô hình tối ưu chi phí mạng lưới phân phối trong chuỗi cung ứng bền vững với ràng buộc phát thải carbon |
| THS TRẦN TUẤN PHONG, PGS.TS NGUYỄN LƯƠNG HẢI | 230 | Nghiên cứu mô hình ảnh hưởng của hoạt động tổ chức thực hiện kế hoạch vốn đến tiến độ giải ngân vốn đầu tư công xây dựng công trình giao thông đường bộ tại Việt Nam |
| THS.NCS LÊ KHÁNH LINH, THS.NCS LÊ HÀ THIÊN ẤN | 233 | Nghiên cứu rủi ro dưới góc độ quản lý nhà nước khi thực hiện các dự án đầu tư xây dựng đường cao tốc tại Việt Nam |
| PGS.TS NGUYỄN HỒNG THÁI, TS THẠCH MINH QUÂN | 237 | Kinh nghiệm quản lý phát thải khí nhà kính từ phương tiện giao thông đô thị ở các quốc gia trên thế giới và hàm ý chính sách cho Việt Nam |
| TS NGUYỄN THỊ HẠNH, THS PHÙNG ĐẮC THỨC | 241 | Hoàn thiện công tác quản lý tài chính của Sở Nông nghiệp và Môi trường tỉnh Phú Thọ |
| CN TRƯƠNG THỊ HUỲNH ANH, PGS.TS HỒ THỊ THU HÒA, KS NGUYỄN THANH DANH | 245 | Mô hình tích hợp Entropy-TOPSIS để lựa chọn nhà cung cấp bền vững: Trường hợp của công ty kinh doanh sản phẩm dùng cho dã ngoại tại Việt Nam |
| TS NGUYỄN TRỌNG ĐỨC, TS MAI XUÂN HƯƠNG | 249 | Xây dựng hệ thống quản lý, giám sát hành trình cho container |
| THS NGUYỄN THỊ THU HẰNG, THS ĐẶNG THỊ THU THẢO, THS ĐẶNG VIỆT TUẤN | 252 | Ứng dụng lý thuyết "Di chuyển và Địa điểm" trong cải tạo mặt cắt ngang đường đô thị tại Hà Nội |
| TS HUỲNH PHƯỚC HIỂN, TS HÀ ANH TÙNG | 257 | Nghiên cứu thực nghiệm hệ thống điều hòa không khí áp dụng giải pháp ngăn chặn làm lạnh quá mức (AC-ECP) hướng đến đảm bảo thoải mái nhiệt và hiệu quả năng lượng |
| BÙI THỊ NGỌC LAN | 263 | Ứng dụng công nghệ số trong quản lý rủi ro chi phí: Bằng chứng thực nghiệm từ các nhà thầu xây dựng tại Việt Nam |
| THS NGUYỄN THỊ CẨM NHUNG, TS NGUYỄN THỊ NHA TRANG, THS VŨ LÊ HUY | 269 | Phân tích so sánh các mô hình định lượng đánh giá tác động của năng lực logistics quốc gia đến hiệu quả xuất khẩu |
| THS NGUYỄN TUẤN THÀNH | 273 | Nghiên cứu điều khiển hệ thống treo bán chủ động sử dụng bộ điều khiển LQR và bộ lọc Kalman |
| HUỲNH VĂN SÀ RỆN, LÊ ANH THẮNG, TRẦN TUẤN KIỆT | 276 | Nghiên cứu sử dụng tro đáy của nhà máy đốt rác thải rắn sinh hoạt tại tỉnh Vĩnh Long để thay thế một phần cát sông trong bê tông |

| | | |
|---|---|---|
| HOANG TRONG LAM, VO DUY HUNG, PHAM NGOC NAM | 133 | Effect of PCBBFs 40% blast furnace slag cement on the heat of hydration of mass concrete |
| NGUYEN HAI HA, NGUYEN THAI LINH, NGUYEN DUC MANH, DANG HONG LAM | 138 | Study on settlement reduction factor of stone columns in soft ground treatment using physical model |
| TRAN THI THU HIEN, NGUYEN CHAU LAN, NGUYEN TRONG HIEP, PHAM HUY KHANG | 142 | Laboratory experimental study on methods for reinforcing cement concrete pavement foundations |
| TRAN DUC TRUNG | 146 | Self compacting concrete using recycled aggregates from construction waste |
| PHAM THANH TUNG, BUI DUC NANG, TRAN ANH BAO | 152 | Developing a random sampling algorithm for the Three-parameter Birnbaum-Saunders distribution and its application in simulating shotcrete thickness |
| HO NGO ANH DAO, TRAN THI KIM TUYEN, NGUYEN THI MINH TRANG | 158 | Manufacturing of adobe bricks using waste sludge from water treatment, fly ash from power plant, and rice husk ash |
| BUI VAN TUYEN | 163 | Developing a consultation Chatbot for the construction management industry - AI Build |
| NGUYEN KHAC QUAN, NGUYEN THANH PHONG, NGUYEN MAU PHUOC, CHAU DUC HUE | 168 | Industry 4.0 technology for intelligent monitoring of old reinforced concrete structures: The case of apartment buildings in Ho Chi Minh City |
| LE KIM THU, LE ANH TUAN, TRAN THANH SON, LE VAN NHU | 173 | Research on enhancing image quality for wide-field optical microscopy using algorithms with a Physical model |
| LE KIM THU | 178 | Application of Sentinel-2 satellite imagery in assessing flood impacts induced by Typhoon Matmo in Thai Nguyen city |
| NGUYEN THI THUY HONG | 182 | Assessing the operational productivity of the global merchant fleet: a data envelopment analysis (DEA) and Malmquist index approach |
| NGUYEN HOANG THUY TRANG | 186 | Research and propose a 3D mapping algorithm for robots, applied to drones and simulated on the ROS platform |
| NGO QUANG DU, TRINH XUAN BAU | 191 | A preliminary study on noise influencing factors and mitigation measures for the highspeed railway project in Vietnam |
| NGUYEN THI NGUYET HANG, HOANG CHI THANH, NGUYEN HOANG GIANG | 194 | Experimental investigation of mechanical properties of GFRP bars and their application potential in Vietnam |
| NGUYEN HO HONG PHAT | 199 | Digital transformation in Hai Phong seaport enterprises: situation and recommendations |
| NGUYEN PHUONG CHAM | 202 | Barriers to solid waste management in construction based on a circular economy model in Hanoi City |
| TRAN PHAM TRONG DUC, HUYNH THI MINH TRUC | 207 | Assessment of cost management performance in a transport infrastructure design consultancy: A case study in Da Nang City |
| NGO THANH THUY, TRAN VAN TAM, HUYNH XUAN TIN | 213 | Application of BIM in project management |
| PHAN VAN TOAN, NGUYEN VAN GIANG | 219 | Analyzing factors affecting payment delays in high-Rise building projects in Ho Chi Minh City using SEM |
| TRAN NGUYEN NHU PHUONG, HO THI THU HOA, NGUYEN THANH DANH | 225 | Research on cost optimization model of distribution network for a sustainable supply chain considering carbon emission |
| TRAN TUAN PHONG, NGUYEN LUONG HAI | 230 | The impact of capital plan implementation on public investment disbursement: Evidence from Vietnam's road transport sector |
| LE KHANH LINH, LE HA THIEN AN | 233 | A study on risks in expressway construction investment projects in Vietnam |
| NGUYEN HONG THAI, THACH MINH QUAN | 237 | International experience in managing greenhouse gas emissions from urban transport and policy implications for Vietnam |
| NGUYEN THI HANH, PHUNG DAC THUC | 241 | Improving the financial management of the Department of Agriculture and Environment of Phu Tho Province |
| TRUONG THI HUYNH ANH, HO THI THU HOA, NGUYEN THANH DANH | 245 | An integrated Entropy-TOPSIS model for sustainable supplier selection: A case study of an outdoor company in Vietnam |
| NGUYEN TRONG DUC, MAI XUAN HUONG | 249 | Building system to manage and monitor the track of containers |
| NGUYEN THI THU HANG, DANG THI THU THAO, DANG VIET TUAN | 252 | Application of the "Link and Place" framework to urban street cross-section improvements in Hanoi |
| HUYNH PHUOC HIEN, HA ANH TUNG | 257 | Experimental investigation of the Performance of Air-Conditioning system with excessive cooling protection for Thermal comfort and Energy efficiency |
| BUI THI NGOC LAN | 263 | Digital technology adoption in Cost risk management: Empirical evidence from construction contractors in Vietnam |
| NGUYEN THI CAM NHUNG, NGUYEN THI NHA TRANG, VU LE HUY | 269 | Comparative analysis of quantitative models for assessing the impact of national logistics capacity on export efficiency |
| NGUYEN TUAN THANH | 273 | Kalman Filter-Based LQR Control for a SemiActive Suspension System |
| SA REN VAN HUYNH, ANH THANG LE, TUAN KIET TRAN | 276 | A study of using municipal solid waste incineration bottom ash in Vinh Long Province partly replace river sand in 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**
**Dr. Le Van Cu**
**Ass.Prof Pham Xuan Duong, Ph.D**
**Ass.Prof Hoang Ha, Ph.D**
**Dr. Nguyen Hong Hai**
**Dr. Le Quang Hung**
**Ass.Prof Nguyen Van Hung, Ph.D**
**Dr. Khuat Viet Hung**
**Ass.Prof, Architect Hoang Vinh Hung**
**Prof. Pham Huy Khang, Ph.D**
**Prof, Dr, Architect Doan Minh Khoi**
**Prof, Dr, Architect Nguyen To Lang**
**Ass.Prof Nguyen Ngoc Long, Ph.D**
**Prof. Phan Quang Minh, Ph.D**
**Dr. Phan Huu Duy Quoc**
**Ass.Prof Nguyen Thanh Sang, Ph.D**
**Prof. Pham Cao Thang, Ph.D**
**Prof. Trinh Minh Thu, Ph.D**
**Ass.Prof Nguyen Hong Tien, Ph.D**
**Ass.Prof Nguyen Thi Tuyet Trinh, Ph.D**
**Ass.Prof Hoang Tung, Ph.D**
**Ass.Prof Tong Tran Tung, Ph.D**

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

THÚC ĐẨY GIẢI NGÂN ĐẦU TƯ CÔNG NĂM 2026:

# Tập trung phát triển hạ tầng và nhà ở xã hội

THANH NGA

Thực hiện Nghị quyết số 01/NQ-CP và Nghị quyết số 02/NQ-CP của Chính phủ, Bộ Xây dựng tập trung thúc đẩy giải ngân đầu tư công, phát triển NƠXH, hạ tầng giao thông và cải thiện môi trường đầu tư, kinh doanh trong các lĩnh vực quản lý.

Bộ Xây dựng vừa ban hành Quyết định số 141/QĐ-BXD ngày 02/02/2026 về Chương trình hành động thực hiện Nghị quyết số 01/NQ-CP về nhiệm vụ, giải pháp chủ yếu thực hiện Kế hoạch phát triển kinh tế - xã hội và dự toán ngân sách nhà nước (NSNN) năm 2026; và Quyết định số 238 ngày 13/02/2026 về Kế hoạch triển khai thực hiện Nghị quyết số 02/NQ-CP về những nhiệm vụ, giải pháp chủ yếu cải thiện môi trường kinh doanh, nâng cao năng lực cạnh tranh quốc gia năm 2026.

## MỤC TIÊU GIẢI NGÂN ĐẦU TƯ CÔNG TRÊN 95%

Chương trình hành động thực hiện Nghị quyết số 01/NQ-CP đặt ra một số chỉ tiêu chủ yếu: Tỷ lệ giải ngân kế hoạch đầu tư công năm 2026 phấn đấu trên 95% kế hoạch được Thủ tướng Chính phủ giao; tỷ lệ đô thị hóa toàn quốc đạt 45%; số lượng căn NƠXH hoàn thành trên 110 nghìn căn.

Trong lĩnh vực vận tải, khối lượng hàng hóa tăng khoảng 15%, hành khách tăng 15% so với năm 2025; khối lượng luân chuyển hàng hóa tăng khoảng 13,5%, luân chuyển hành khách tăng khoảng 14%. Diện tích nhà ở bình quân cả nước đạt 27 $m^2$ sàn/người; tỷ lệ người dân đô thị được cung cấp nước sạch tập trung đạt 95%; tỷ lệ hệ thống cấp nước đô thị lập và thực hiện kế hoạch cấp nước an toàn đạt 50%; tỷ lệ nước thải sinh hoạt được xử lý đạt tiêu chuẩn, quy chuẩn quốc gia đạt 18%.

Để đạt các mục tiêu trên, Bộ Xây dựng tập trung hoàn thiện đồng bộ thể chế, pháp luật; đổi mới tư duy quản lý nhằm thúc đẩy các đột phá chiến lược, nâng cao hiệu quả tổ chức thi hành pháp luật. Đồng thời rà soát, cắt giảm và đơn giản hóa thủ tục hành chính, cải thiện môi trường đầu tư; siết chặt kỷ luật, kỷ cương, tăng cường phòng, chống tham nhũng, tiêu cực.

Bộ Xây dựng cũng tập trung đầu tư xây dựng bảo đảm tiến độ các công trình hạ tầng chiến lược đồng bộ, hiện đại, thông minh, tăng cường kết nối quốc gia và quốc tế, nhất là các công trình giao thông trọng điểm.

Song song với đó, tiếp tục hoàn thiện quy định về tổ chức bộ máy hành chính; tăng cường phân cấp, phân quyền, nâng cao trách nhiệm người đứng đầu; siết chặt kỷ luật, kỷ cương hành chính gắn với kiểm tra, giám sát và kiểm soát quyền lực.

Công tác quản lý vận tải và dịch vụ hỗ trợ vận tải được gắn với mục tiêu cải thiện môi trường kinh doanh và bảo đảm trật tự, an toàn giao thông.

Trong lĩnh vực đầu tư xây dựng, Bộ Xây dựng chú trọng nâng cao năng lực thiết kế, thi công xây lắp theo hướng hiện đại, kiểm soát chặt chẽ chất lượng công trình; đồng thời kịp thời cập nhật, điều chỉnh các tiêu chuẩn, quy chuẩn, định mức và giá xây dựng.

Bộ Xây dựng tiếp tục hoàn thiện khung pháp lý và cơ chế triển khai quy hoạch - kiến trúc phù hợp mô hình chính quyền địa phương hai cấp; nâng cao chất lượng thẩm định và giám sát quy hoạch; rà soát hệ thống tiêu chuẩn, quy chuẩn đô thị; tăng cường ứng dụng công nghệ thông tin và chuyển đổi số trong quản lý quy hoạch, phát triển đô thị bền vững.

Bên cạnh đó, đẩy nhanh tốc độ và nâng cao chất lượng đô thị hóa, mở rộng không gian phát triển mới, lấy đô thị làm động lực phát triển.

Công tác phát triển NƠXH tiếp tục được triển khai, trọng tâm là thực hiện Đề án "Đầu tư xây dựng ít nhất 01 triệu căn hộ NƠXH cho đối tượng thu nhập thấp, công nhân khu công nghiệp giai đoạn 2021-2030", đồng thời chú trọng ổn định và phát triển lành mạnh thị trường BĐS.

Bộ Xây dựng cũng tăng cường kỷ luật tài chính - ngân sách; quản lý thu, chi NSNN chặt chẽ theo quy định; phân bổ và giao dự toán năm 2026 đúng thời hạn. Việc điều hành chi ngân sách được thực hiện tiết kiệm, hiệu quả, đặc biệt đối với nguồn vốn sự nghiệp kinh tế gắn với khai thác hiệu quả tài sản kết cấu hạ tầng.

Trong lĩnh vực hợp tác quốc tế, Bộ Xây dựng triển khai các chủ trương hội nhập, chủ động thực hiện các điều ước và thỏa thuận quốc tế đã ký kết; huy động nguồn lực, kinh nghiệm quốc tế cho phát triển hạ tầng và xây dựng. Đồng thời mở rộng hợp tác song phương, đa phương và tiếp tục thực hiện nhiệm vụ tại Mạng lưới đô thị thông minh ASEAN.

Bên cạnh đó, Bộ Xây dựng tiếp tục triển khai các nghị quyết về phát triển KHCN, ĐMST&CĐS; đẩy mạnh nghiên cứu, ứng dụng công nghệ và vật liệu mới; tăng cường quản lý tài nguyên, bảo vệ môi trường và ứng phó với BĐKH.

## CẢI THIỆN MÔI TRƯỜNG KINH DOANH, THÁO GỠ ĐIỂM NGHẼN PHÁP LÝ CHO DOANH NGHIỆP

Kế hoạch triển khai thực hiện Nghị quyết số 02/NQ-CP của Bộ Xây dựng hướng tới mục tiêu tiếp tục cải thiện mạnh mẽ môi trường đầu tư, kinh doanh trong các lĩnh vực quản lý, góp phần nâng cao vị thế của Việt Nam trên các bảng xếp hạng quốc tế.

Theo đó, môi trường kinh doanh được định hướng xây dựng theo hướng cạnh tranh lành mạnh, công khai, minh bạch, ổn định và giảm chi phí tuân thủ; khuyến khích đổi mới sáng tạo, huy động các nguồn lực cho phát triển.

Kế hoạch cũng đặt mục tiêu thúc đẩy gia tăng số lượng doanh nghiệp thành lập mới, giảm tỷ lệ doanh nghiệp tạm ngừng hoạt động; đồng thời tiếp tục hoàn thiện hệ thống hạ tầng giao thông vận tải và hạ tầng xây dựng, bảo đảm sự kết nối và phát triển hài hòa giữa các phương thức vận tải.

Việc ứng dụng tiến bộ KHCN vào dịch vụ vận tải, logistics được đẩy mạnh; nghiên cứu phát triển các phương thức vận tải tiên tiến nhằm nâng cao chất lượng dịch vụ, đáp ứng nhu cầu vận chuyển hàng hóa và hành khách.

Để đạt các mục tiêu trên, Bộ Xây dựng tiếp tục hoàn thiện hệ thống pháp luật, tháo gỡ các điểm nghẽn pháp lý trong các lĩnh vực quản lý; đổi mới tư duy xây dựng và tổ chức thực thi pháp luật, bảo đảm nền kinh tế vận hành theo cơ chế thị trường định hướng xã hội chủ nghĩa.

Bộ Xây dựng cũng rà soát danh mục ngành nghề đầu tư kinh doanh có điều kiện, cắt giảm và chuẩn hóa các điều kiện kinh doanh theo hướng minh bạch, hợp lý; chuyển mạnh từ tiền kiểm sang công bố điều kiện kinh doanh và hậu kiểm.

Cải cách thủ tục hành chính tiếp tục được đẩy mạnh nhằm nâng cao chất lượng phục vụ người dân và doanh nghiệp.

Đồng thời, ưu tiên khơi thông nguồn lực, tạo điều kiện thuận lợi để doanh nghiệp tiếp cận vốn, đất đai, mặt bằng sản xuất và nguồn nhân lực chất lượng cao.

Khu vực kinh tế tư nhân được khuyến khích phát triển bền vững thông qua thúc đẩy đổi mới sáng tạo, chuyển đổi số và chuyển đổi xanh, từng bước nâng cao năng lực cạnh tranh của doanh nghiệp.

Bên cạnh đó, các doanh nghiệp nhỏ, siêu nhỏ và hộ kinh doanh được hỗ trợ phát triển thông qua nâng cao chất lượng các dịch vụ hỗ trợ kinh doanh và hình thành hệ sinh thái dịch vụ chuyên nghiệp.

Công tác kiểm tra, bao gồm kiểm tra chuyên ngành đối với hàng hóa, được nâng cao hiệu quả nhằm giảm gánh nặng cho doanh nghiệp.

Một số chỉ tiêu cũng được đặt ra nhằm nâng cao chất lượng phục vụ người dân và doanh nghiệp trong thực hiện thủ tục hành chính và cung cấp dịch vụ công.

Việc ban hành Chương trình hành động thực hiện Nghị quyết số 01/NQ-CP và Kế hoạch triển khai Nghị quyết số 02/NQ-CP thể hiện quyết tâm của Bộ Xây dựng trong thúc đẩy tăng trưởng, hoàn thiện thể chế và cải thiện môi trường kinh doanh, góp phần thực hiện các mục tiêu phát triển kinh tế - xã hội năm 2026.

# Tăng tốc cho mục tiêu **5.000 km đường cao tốc**

**ĐÌNH QUANG**

Trong bối cảnh Chính phủ đặt mục tiêu đến năm 2030 hoàn thành 5.000 km đường cao tốc, các chủ đầu tư, nhà thầu đang dồn lực tăng tốc thi công, rút ngắn tiến độ nhiều dự án lớn ngay từ những tháng đầu năm 2026.

## TĂNG TỐC THI CÔNG NGAY TỪ ĐẦU NĂM

Những ngày cuối tháng 02/2026, ngay sau kỳ nghỉ Tết Bính Ngọ, nhịp điệu thi công trên công trường xây dựng cao tốc Tuyên Quang - Hà Giang trên đoạn tuyến qua tỉnh Tuyên Quang (cũ) đã rộn rã trở lại. Hàng trăm cán bộ, kỹ sư của Tập đoàn Xây dựng Đông Dương kết hợp với hệ thống máy móc, thiết bị hiện đại được chia thành 10 mũi đã tập trung thi công cuốn chiếu các hạng mục lớp cấp phối đá dăm và lớp cấp phối đá dăm gia cố xi măng ngay những ngày đầu Xuân để đẩy nhanh tiến độ hoàn thành đoạn tuyến cao tốc dài khoảng 20 km.

Sự quyết tâm cao độ của nhà thầu ngay từ đầu năm là điều hoàn toàn dễ hiểu bởi tại dự án này, Tập đoàn Xây dựng Đông Dương đảm nhiệm vai trò là nhà thầu đứng đầu liên danh thực hiện gói thầu XL20 - gói thầu có giá trị lớn nhất trong các gói xây lắp của cao tốc Tuyên Quang - Hà Giang giai đoạn 1 đoạn qua Tuyên Quang (cũ), với tổng giá trị hợp đồng lên tới 1.265 tỷ đồng.

Ông Nguyễn Ngọc Hòa - Chủ tịch HĐQT Tập đoàn Xây dựng Đông Dương cho biết, gói thầu XL20 khởi công từ tháng 2/2024, song đến tháng 4/2025 mới được bàn giao toàn bộ mặt bằng. Chỉ sau hơn 8 tháng tổ chức thi công đồng loạt, sản lượng của gói thầu đã đạt khoảng 60% giá trị hợp đồng. "Ngay sau kỳ nghỉ Tết Bính Ngọ, chúng tôi đã tăng cường thêm 5 mũi thi công với hơn 100 nhân sự để chuẩn bị thảm bê tông nhựa trên toàn tuyến gói XL20. Theo yêu cầu của chủ đầu tư, dự án sẽ thông xe dịp 30/4/2026, song Tập đoàn Xây dựng Đông Dương đặt mục tiêu hoàn thành toàn bộ gói thầu XL20 vào ngày 31/3/2026, sớm hơn 1 tháng so với kế hoạch", ông Hòa chia sẻ.

Một dự án cao tốc trọng điểm khác ở khu vực phía Bắc nối Cao Bằng với Lạng Sơn là Đồng Đăng - Trà Lĩnh cũng đang bước vào giai đoạn cao điểm thi công. Ngay sau chuyến kiểm tra dự án của Thủ tướng Phạm Minh Chính vào ngày 20/02, chưa đầy một tuần sau, ngày 26/02, UBND hai tỉnh Lạng Sơn, Cao Bằng và nhà đầu tư (Tập đoàn Đèo Cả) đã phát động "Chiến dịch Đông Khê năm 2026" hoàn thành dự án đầu tư xây dựng tuyến cao tốc Đồng Đăng - Trà Lĩnh giai đoạn 1 theo hình thức PPP đúng dịp kỷ niệm 136 năm ngày sinh của Chủ tịch Hồ Chí Minh (19/5/1890 - 19/5/2026).

Ông Nguyễn Tấn Đông - Phó chủ tịch HĐQT Tập đoàn Đèo Cả cho biết, tuyến cao tốc Đồng Đăng - Trà Lĩnh giai đoạn 1 được xác định là dự án hạ tầng trọng điểm quốc gia và nhận được sự quan tâm sâu sát của lãnh đạo Đảng, Quốc hội, Chính phủ, các bộ ngành địa phương. Trong hai năm qua kể từ khi khởi công vào đầu năm 2024, dự án nhiều lần vinh dự được đón Thủ tướng Chính phủ và lãnh đạo Bộ Xây dựng tới kiểm tra thực địa, thăm hỏi, động viên người lao động. "Hưởng ứng chỉ đạo triển khai "Chiến dịch Đông Khê 2026" của Thủ tướng Chính phủ, liên danh nhà đầu tư xác định rõ quyết tâm chính trị và trách nhiệm tổ chức thực hiện, đặt mục tiêu hoàn thành giai đoạn 1 của dự án trước ngày 19/5/2026, rút ngắn khoảng 6 tháng so với tiến độ hợp đồng", ông Đông chia sẻ.

Nhộn nhịp nhất lúc này phải kể đến công trường thi công các dự án xây dựng hạ tầng giao thông ở khu vực phía Nam khi các chủ đầu tư, nhà thầu đang tập trung dồn lực thi công hàng loạt các công trình trọng điểm, điển hình như: Cao tốc Biên Hòa - Vũng Tàu, cao tốc Khánh Hòa - Buôn Ma Thuột, cao tốc Châu Đốc - Cần Thơ - Sóc Trăng, cầu Đại Ngãi,… tất cả vì mục tiêu sớm đưa công trình vào khai thác, đảm bảo chất lượng để góp phần thúc đẩy phát triển kinh tế - xã hội đất nước nói chung và các địa phương nơi dự án đi qua nói riêng.

## TẬP TRUNG CHO MỤC TIÊU 5.000 KM ĐƯỜNG CAO TỐC ĐẾN NĂM 2030

Tại phiên họp thứ 24 của Ban Chỉ đạo Nhà nước các công trình, dự án quan trọng quốc gia, trọng điểm ngành GTVT vào đầu tháng 3/2026, Thủ tướng Phạm Minh Chính đánh giá, thời gian qua, các công trình, dự án quan trọng quốc gia, trọng điểm ngành giao thông vận tải đã đạt nhiều kết quả tích cực, nhiều dự án nhà ga, bến cảng, cây cầu, tuyến đường được khởi công, khánh thành và thúc đẩy triển khai. Trong đó, hoàn thành 3.345 km cao tốc vượt chỉ tiêu 3.000 km đã đề ra; cơ bản hoàn thành, thông xe kỹ thuật toàn tuyến cao tốc Bắc - Nam từ Cao Bằng đến Cà Mau.

Biểu dương tinh thần trách nhiệm, sự hy sinh thầm lặng, thậm chí mồ hôi, nước mắt, xương máu, của những người vì lợi ích đất nước để góp phần quan trọng bảo đảm tiến độ các dự án đã thông xe kỹ thuật, chuẩn bị đưa vào khai thác đồng bộ, an toàn, Thủ tướng Chính phủ khẳng định, kết quả trên nhờ sự lãnh đạo

*Bộ trưởng Trần Hồng Minh kiểm tra tiến độ thi công Dự án mở rộng cao tốc TP.HCM - Long Thành - Dầu Giây.*

của Đảng, sự ủng hộ của Quốc hội, sự chỉ đạo quyết liệt, sát sao của Chính phủ, Thủ tướng, các Phó Thủ tướng Chính phủ cùng với sự vào cuộc quyết liệt của các bộ, ngành, địa phương, các chủ đầu tư, nhà thầu và sự đồng thuận của nhân dân.

Đối với những đoạn tuyến cao tốc đã hoàn thành, cần phải hoàn thiện chỉn chu, đúng với các tiêu chuẩn, quy chuẩn, Thủ tướng lưu ý phải bảo đảm "sáng, xanh, sạch, đẹp", hoàn nguyên công trình; khai thác tối ưu hiệu quả hệ thống đường cao tốc trục Bắc - Nam, Đông - Tây; tiếp tục bổ sung, hoàn thiện các trạm dừng nghỉ, các công trình kỹ thuật; hoàn thiện quy hoạch hệ thống đường cao tốc, tác động sự phát triển các tỉnh, thành phố, địa phương, các vùng; do đó các địa phương có công trình trọng điểm giao thông đi qua cần tối ưu hóa, khai thác tối đa không gian phát triển mới; tái cơ cấu cây trồng, vật nuôi. Điều này tạo thuận lợi đi lại cho nhân dân, giảm chi phí logistics, tạo sức cạnh tranh của Việt Nam trên thị trường quốc tế.

Trên cơ sở thành quả này và niềm tin của nhân dân, các bộ, ngành, địa phương cần tiếp tục thực hiện kế hoạch của nhiệm kỳ này với mục tiêu đến năm 2030, cả nước hoàn thành 5.000 km đường cao tốc, đây là một chỉ tiêu hoàn toàn khả thi khi chúng ta đã đạt được kết quả tích cực trong nhiệm kỳ qua. Tuy nhiên cũng cần rút kinh nghiệm để làm chất lượng hơn, bảo đảm tiêu chuẩn, quy chuẩn, xây dựng các tuyến cao tốc khang trang, hoàn chỉnh hơn. Những đoạn tuyến nào trước đây chưa đạt chuẩn thì phải mở rộng, nâng cấp để đạt chuẩn.

Thủ tướng yêu cầu phải tăng cường kiểm tra, kiểm toán các dự án để chống lãng phí, tiêu cực, tham nhũng, lợi ích nhóm trong triển khai các công trình trọng điểm quốc gia. Lãnh đạo các bộ, ngành, địa phương liên quan, các chủ đầu tư, BQLDA dành thời gian thỏa đáng để rà soát, kiểm tra, đánh giá các quy trình, thủ tục, quy mô tổng mức đầu tư, kỹ thuật, đấu thầu, đấu giá, đơn giá…; xử lý sớm những bất cập, những tiêu cực có thể xảy ra; khắc phục những cái chưa được. Khi công trình hoàn thành thì phải bảo đảm chất lượng, yêu cầu kỹ mỹ thuật, hoàn nguyên… thực sự hoàn thành các công trình trọng điểm ngành GTVT.

Về yêu cầu sắp tới, Thủ tướng yêu cầu hoàn thiện nhanh các công trình đang thi công; các chủ thể liên quan rà soát, nếu thiếu vốn phải bổ sung ngay để bảo đảm hoàn thành trong năm 2026 này. Khẩn trương phân bổ vốn đầu tư trung hạn để được thông qua tại Kỳ họp thứ nhất Quốc hội khoá XVI với tinh thần "Không lãng phí một ngày; Không chậm trễ một tuần; Không bỏ lỡ cơ hội trong một tháng; Không để bị động trong một năm".

Thủ tướng Phạm Minh Chính cũng nhấn mạnh cần phải tiếp tục thực hiện 3 đột phá chiến lược; trong đó đặc biệt là coi trọng phát triển hạ tầng chiến lược đi đôi với hoàn thiện thể chế, qua đó mở rộng không gian phát triển mới, tạo thuận lợi đi lại cho nhân dân, thúc đẩy đầu tư công, góp phần tăng trưởng, phát triển đất nước.❖

**NỀN TẢNG TỪ THÀNH TỰU 3.000 KM CAO TỐC**

***Đại hội XIII của Đảng đặt mục tiêu đến năm 2030 cả nước có khoảng 5.000 km đường bộ cao tốc. Để hiện thực hóa mục tiêu này, Quốc hội và Chính phủ đã xây dựng lộ trình cụ thể, trong đó yêu cầu đến năm 2025 đạt khoảng 3.000 km. Đây là nhiệm vụ hết sức thách thức. Bước vào nhiệm kỳ 2021 - 2025, sau hơn 15 năm triển khai, cả nước mới có khoảng 1.163 km cao tốc. Như vậy, trong 5 năm phải hoàn thành thêm gần 2.000 km, tương đương bình quân khoảng 400 km mỗi năm - cao gấp 5 lần giai đoạn trước.***

***Dưới sự chỉ đạo quyết liệt của Đảng, Nhà nước và Chính phủ, mục tiêu này đã được hoàn thành. Kết quả đó tạo nền tảng vững chắc trên 3 phương diện.***

***Thứ nhất, năng lực của các doanh nghiệp xây dựng hạ tầng được nâng lên rõ rệt. Nhiều nhà thầu trong nước đã làm chủ công nghệ mới, đầu tư thiết bị hiện đại; đội ngũ kỹ sư, công nhân ngày càng chuyên nghiệp.***

***Thứ hai, năng lực tổ chức thực hiện của cơ quan quản lý nhà nước được tăng cường, đặc biệt trong công tác giải phóng mặt bằng, di dời hạ tầng kỹ thuật và bảo đảm nguồn vật liệu. Sự phối hợp giữa Trung ương và địa phương ngày càng chặt chẽ, hiệu quả.***

***Thứ ba, thực tiễn triển khai đã trở thành "thước đo" để hoàn thiện thể chế. Nhiều vướng mắc về quy hoạch, đầu tư, xây dựng, đấu thầu được tháo gỡ, góp phần hình thành khung pháp lý đồng bộ, minh bạch cho giai đoạn phát triển nhanh và bền vững.***

## ĐỂ KINH TẾ BIỂN PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG:

# "Cảng xanh" và "đội tàu xanh" là xu thế tất yếu

**MINH THÀNH**

Việt Nam có rất nhiều lợi thế để phát triển kinh tế biển, tiềm năng sẵn có với chiều dài trên 3.260 km đường bờ biển. Nhưng để phát triển bền vững, Việt Nam cần nhiều hơn những "cảng xanh" và "đội tàu xanh", cũng là để phù hợp với xu thế và những cam kết quốc tế.

### CHUYỂN ĐỔI XANH LÀ YẾU TỐ THEN CHỐT QUYẾT ĐỊNH NĂNG LỰC CẠNH TRANH

Theo Nghị quyết 36-NQ/TW ngày 22/10/2018 của Ban Chấp hành Trung ương Đảng (khóa XII), về chiến lược phát triển kinh tế biển Việt Nam đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045, đến năm 2030 phát triển thành công, đột phá về các ngành kinh tế biển theo thứ tự ưu tiên: Du lịch và dịch vụ biển; Kinh tế hàng hải; Khai thác dầu khí và các tài nguyên khoáng sản biển khác; Nuôi trồng và khai thác hải sản; Công nghiệp ven biển; Năng lượng tái tạo và các ngành kinh tế biển mới. Nghị quyết 36 đặt mục tiêu cụ thể đến năm 2030 các ngành kinh tế thuần biển đóng góp 10% GDP cả nước; kinh tế của các tỉnh, thành phố ven biển ước đạt 65-70% GDP cả nước…

Hiện nay, ngành hàng hải Việt Nam đang đứng trước áp lực chuyển đổi mạnh mẽ để đáp ứng Chiến lược giảm phát thải khí nhà kính từ tàu của Tổ chức Hàng hải quốc tế và phù hợp với mục tiêu phát thải ròng bằng 0 vào năm 2050 theo cam kết tại COP26. Trong bối cảnh xu thế phát triển bền vững và kinh tế xanh ngày càng trở thành tiêu chí bắt buộc trong thương mại quốc tế, quá trình chuyển đổi xanh không chỉ là yêu cầu về môi trường mà còn là yếu tố then chốt quyết định năng lực cạnh tranh của ngành hàng hải Việt Nam.

Việt Nam với hơn 3.260 km bờ biển và vị trí chiến lược trên các tuyến hàng hải quốc tế, Việt Nam có lợi thế lớn để trở thành trung tâm trung chuyển hàng hóa của khu vực châu Á - Thái Bình Dương. Tuy nhiên, để tận dụng được cơ hội này, Việt Nam phải đẩy nhanh quá trình chuyển đổi xanh, phù hợp với cam kết phát thải ròng bằng 0 vào năm 2050 tại COP26. Chính phủ đã ban hành một số chính sách quan trọng như Quyết định số 876/QĐ-TTg ngày 22/7/2022 về chuyển đổi năng lượng xanh, giảm phát thải khí các bon và khí mê tan của ngành giao thông vận tải và Bộ Giao thông vận tải (nay là Bộ Xây dựng) đã ban hành Quyết định 2027/QĐ-BGTVT phê duyệt đề án phát triển cảng xanh tại Việt Nam.

Thực hiện Nghị quyết 45-NQ/TW của Bộ Chính trị với mục tiêu đưa Hải Phòng trở thành trọng điểm kinh tế biển của cả nước, Công ty CP Cảng Hải Phòng đang chứng kiến cuộc chuyển mình lịch sử. Từ việc dồn toàn lực đưa Bến số 3, 4 Lạch Huyện vào khai thác để đón tàu mẹ đi thẳng Âu - Mỹ, đến quyết tâm thực hiện "mục tiêu kép" trong di dời cảng Hoàng Diệu và chiến lược số hóa toàn diện. Không chỉ mở rộng không gian phát triển ra biển lớn, doanh nghiệp cảng biển chủ lực của thành phố Cảng còn chủ động tái cấu trúc, chuyển đổi số và chuyển đổi xanh, hướng tới mô hình cảng hiện đại, thông minh và từng bước tiệm cận mục tiêu Net Zero.

Tại Hải Phòng, cụm cảng Lạch Huyện được quy hoạch là cảng biển nước sâu, cảng biển quốc gia loại đặc biệt, cùng với cụm cảng Bà Rịa - Vũng Tàu giữ vai trò cửa ngõ hàng hải quốc tế của Việt Nam. Nếu như trước đây, trên các tuyến vận tải biển quốc tế, Cảng Hải Phòng chủ yếu đóng vai trò là cảng gom hàng, nơi hàng hóa xuất khẩu phải trung chuyển qua các cảng nước sâu như Singapore hay Hong Kong, thì nay, vị thế ấy đã thay đổi hoàn toàn. Sự kiện đưa Bến số 3 và số 4 tại Lạch Huyện vào khai thác

không chỉ đơn thuần là mở rộng hạ tầng, mà là một bước chuyển về chất trong năng lực cạnh tranh. Với cầu tàu dài khoảng 750 m và độ sâu lớn, các bến cảng này được đầu tư theo tiêu chuẩn quốc tế, cho phép tiếp nhận trực tiếp tàu container trọng tải lên tới 165.000 DWT. Điều này biến Cảng Hải Phòng thành "cửa ngõ" để hàng hóa Việt Nam đi thẳng tới thị trường Âu - Mỹ mà không cần trung chuyển.

Không dừng ở việc mở rộng quy mô, Lạch Huyện còn được định hướng phát triển theo mô hình cảng xanh, cảng thông minh, trở thành hạt nhân thúc đẩy hệ sinh thái logistics khu vực Hải Phòng và toàn bộ vùng kinh tế trọng điểm Bắc Bộ.

Trong bối cảnh các hiệp định thương mại tự do thế hệ mới như EVFTA, CPTPP… đặt ra yêu cầu ngày càng cao về giảm phát thải carbon, Công ty CP Cảng Hải Phòng xác định rõ: chuyển đổi số và chuyển đổi xanh không còn là khẩu hiệu, mà là yêu cầu tất yếu, là tấm giấy thông hànhđể tham gia sâu vào chuỗi cung ứng toàn cầu. Trên nền tảng các chiến lược chuyển đổi số đã được phê duyệt, Cảng Hải Phòng triển khai đồng bộ nhiều giải pháp: Hệ thống Smart Gate (cổng thông minh) với khả năng nhận diện mã container, biển số xe tự động và hệ thống e-Port đã được triển khai, đến các nền tảng quản lý tập trung, chăm sóc khách hàng và điều hành khai thác thông minh, mang lại tiện ích vượt trội cho khách hàng. Doanh nghiệp đang tiếp tục xây dựng kho dữ liệu tập trung, ứng dụng Big Data, AI để dự báo sản lượng, tối ưu xếp bãi và điều phối thiết bị, từng bước hình thành mô hình cảng thông minh với mô hình Digital Twin 3D.

Cùng với số hóa là lộ trình phát triển cảng xanh. Ban lãnh đạo Công ty CP Cảng Hải Phòng đã ban hành Đề án phát triển cảng xanh giai đoạn 2025 - 2030, phù hợp với Quy hoạch tổng thể phát triển hệ thống cảng biển Việt Nam. Trong đó, tập trung vào 5 mũi nhọn đột phá, đan xen chặt chẽ, gồm: Chiến lược đầu tư hạ tầng chiều sâu; Chuyển dịch mạnh mẽ từ mô hình khai thác cảng thuần túy sang phát triển hệ sinh thái logistics toàn diện; Chuyển đổi số và tăng trưởng xanh; Cấp điện bờ tại cầu 1 Cảng Tân Vũ, tạo tiền đề để giai đoạn 2026 - 2030 thực hiện chuyển đổi mạnh mẽ các phương tiện xe nâng, xe kéo sang sử dụng điện hoặc động cơ Hybrid, cũng như nghiên cứu ứng dụng nhiên liệu Hydrogen xanh.

## PHÁT TRIỂN "ĐỘI TÀU XANH"

Theo Cục Hàng hải và Đường thủy Việt Nam, kết thúc năm 2025, đội tàu biển Việt Nam có gần 1.500 tàu với tổng trọng tải 11,3 triệu DWT. Trong đó, đội tàu vận tải hàng hóa gồm 930 tàu, trọng tải bình quân đạt 8.900 DWT/tàu. Tuy nhiên, mặc dù xếp thứ 22 thế giới, đội tàu Việt Nam thực tế chỉ chiếm chưa đến 1% tổng trọng tải toàn cầu. Năng lực vận chuyển hiện chỉ đảm nhận được khoảng 8% sản lượng hàng hóa xuất nhập khẩu, chủ yếu hoạt động trên các tuyến vận tải quốc tế ngắn. Trong khi vận tải biển đảm nhận trên 80% khối lượng hàng hóa lưu thông toàn cầu, đội tàu Việt Nam đang đối mặt với áp lực cạnh tranh gay gắt từ xu hướng thế giới: Tăng kích cỡ tàu và chuyển đổi năng lượng xanh.

Về quy mô, đội tàu thế giới đang chuyển dịch mạnh

sang các loại tàu cỡ lớn như tàu container 23.000 - 24.000 TEU, tàu hàng rời trên 400.000 DWT hay tàu dầu thô trên 300.000 DWT. Ngược lại, cơ cấu đội tàu Việt Nam vẫn chủ yếu là tàu cỡ nhỏ và trung bình, với tốc độ tăng trưởng chậm.

Trong khi đó, về công nghệ, giai đoạn 2024 - 2025, khoảng 50% tổng trọng tải đơn đặt đóng mới trên toàn cầu là các tàu sử dụng hoặc sẵn sàng sử dụng nhiên liệu thay thế (xanh). Tại Việt Nam, số lượng tàu đóng mới sử dụng nhiên liệu sạch còn hạn chế, tỷ lệ thay thế gần như chưa đáng kể.

Nếu không có giải pháp đầu tư bài bản và chuyển đổi phù hợp, khoảng cách đội tàu Việt Nam và thế giới sẽ tiếp tục nới rộng. Đội tàu Việt Nam có nguy cơ bị hạn chế tiếp cận thị trường, tăng chi phí và giảm năng lực cạnh tranh trong dài hạn. Áp lực chuyển đổi càng trở nên rõ nét khi thị trường vận tải biển toàn cầu đang có dấu hiệu dư cung, đặc biệt ở phân khúc container. Khi nguồn tàu lớn và hiện đại ngày càng dồi dào, những đội tàu chậm đổi mới sẽ khó giữ thị phần. Tiêu chuẩn khí thải ngày càng siết chặt đang định hình lại thị trường vận tải biển. Sự chậm trễ trong đầu tư tàu xanh khiến doanh nghiệp Việt đứng trước nguy cơ mất thị phần ngay trên các tuyến xuất nhập khẩu chủ lực.

Còn theo Cục Đăng kiểm Việt Nam, ngành hàng hải trong nước đang phải đối diện hàng loạt thách thức: Đội tàu già hóa, thiếu công nghệ kiểm soát khí thải tiên tiến, vắng cơ chế hỗ trợ tài chính và đặc biệt là thiếu hạ tầng phục vụ nhiên liệu thay thế. Các chủ tàu được khuyến nghị sớm xây dựng lộ trình chuyển đổi, từ đánh giá khả năng sử dụng methanol, amoniac, hydro đến tính toán chi phí đầu tư và vận hành dài hạn.

Bên cạnh thay đổi nhiên liệu, các biện pháp tối ưu hóa hành trình, bảo dưỡng thân vỏ, chân vịt và áp dụng công nghệ tiết kiệm năng lượng cũng được xem là giải pháp "ngắn hạn" giúp giảm phát thải tức thời.

Tuy nhiên, làn sóng chuyển đổi xanh cũng mở ra cơ hội cho ngành đóng tàu và dịch vụ hàng hải trong nước. Việc nắm bắt công nghệ đóng mới tàu sử dụng nhiên liệu sạch, tàu hiệu suất năng lượng cao hay các hệ thống giảm phát thải như SCR, OCCS có thể giúp doanh nghiệp Việt tham gia sâu hơn vào chuỗi giá trị toàn cầu.

## GẤP RÚT HOÀN THIỆN KHUNG PHÁP LÝ VỀ "ĐỘI TÀU XANH"

Đóng góp vào dự thảo Bộ luật Hàng hải Việt Nam mới (dự kiến trình Quốc hội vào tháng 10/2026), đại diện Tổng công ty Công nghiệp tàu thủy (SBIC) cho rằng, Việt Nam đã xác định mục tiêu trở thành quốc gia mạnh về biển, giàu lên từ biển thông qua Nghị quyết 36-NQ/TW ngày 22/10/2018, trong đó ngành hàng hải là một trong 6 lĩnh vực kinh tế biển mũi nhọn. Chiến lược này tạo động lực lớn để thúc đẩy đầu tư vào kết cấu hạ tầng, luật pháp và logistics hàng hải.

Ngành hàng hải hiện đối mặt với nhiều thách thức từ kinh tế, chính trị đến môi trường, đồng thời phải thích ứng với sự sửa đổi và cập nhật của các công ước quốc tế quan trọng mà Việt Nam là thành viên, như Công ước SOLAS về An toàn hàng hải và Công ước STCW về Chuẩn mực huấn luyện thuyền viên. Đặc biệt, Tổ chức Hàng hải Quốc tế (IMO) đang xem xét sửa đổi Phụ lục VI Công ước MARPOL nhằm cụ thể hóa Khung phát thải ròng bằng 0.

Các quốc gia và khu vực lớn như EU, Hoa Kỳ, Nhật Bản, Hàn Quốc đang triển khai hàng loạt tiêu chuẩn và rào cản thương mại xanh, điển hình là Hệ thống giao dịch phát thải (ETS). Điều này tạo áp lực cạnh tranh lớn đối với ngành hàng hải Việt Nam. Nếu không tuân thủ các quy định quốc tế về phát thải, các tàu sẽ bị hạn chế hoạt động hoặc loại khỏi thị trường, đây là thách thức lớn, nhất là đối với đội tàu già cỗi.

Trên cơ sở đó, đại diện SBIC đưa ra một số đề xuất, kiến nghị chính sách trong quá trình xây dựng dự thảo Bộ luật Hàng hải Việt Nam mới để phát triển được "đội tàu xanh" trong kỷ nguyên mới. Trong đó, đầu tiên là hoàn thiện khung pháp lý về "đội tàu xanh", với việc tiếp tục hoàn thiện thể chế, chính sách và tiêu chuẩn kỹ thuật quốc gia về tàu biển sử dụng nhiên liệu sạch (LNG, methanol, hydrogen, điện) phù hợp với khuyến nghị của IMO; Xây dựng lộ trình kiểm định, đăng kiểm và cấp phép cho các loại tàu sử dụng công nghệ mới; Hoàn thiện quy định về mua, bán, đóng mới tàu, trong đó quy định rõ các chỉ tiêu, tỷ lệ bắt buộc về sử dụng nhiên liệu xanh, khuyến khích sử dụng LNG và nhiên liệu sạch. Mục tiêu là 30% đội tàu mới sử dụng LNG, hydrogen hoặc hybrid; Hoàn thiện các quy định pháp lý về tiếp nhiên liệu xanh tại cảng, vận hành an toàn tàu xanh, cùng với cơ chế ưu đãi thuế, phí và hỗ trợ tín dụng đầu tư đóng tàu xanh; Đơn giản hóa thủ tục đăng kiểm và các tiêu chuẩn vật liệu, máy móc thiết bị trong đóng mới, sửa chữa tàu.

Tiếp đó, thực hiện cam kết môi trường với việc ứng dụng công nghệ tiên tiến, giảm phát thải khí nhà kính theo lộ trình phù hợp với Quyết định 876/QĐ-TTg; Nâng cao năng lực thu gom nước thải, rác thải tại các cơ sở đóng mới và sửa chữa tàu để thực hiện cam kết phát thải ròng về "0" vào năm 2050 (COP26).

Có thể nhận thấy, một trong những thách thức lớn nhất đối với quá trình chuyển đổi xanh trong ngành hàng hải Việt Nam hiện nay là thiếu một hành lang pháp lý đầy đủ và đồng bộ. Hệ thống văn bản quy phạm pháp luật về hàng hải chưa có quy định cụ thể về phát triển cảng xanh, cảng thông minh, tàu xanh, sử dụng nhiên liệu bền vững cho tàu biển cũng như tiêu chuẩn, quy chuẩn và các cơ chế ưu đãi đủ mạnh để khuyến khích doanh nghiệp hàng hải đầu tư công nghệ mới và chuyển đổi xanh.

Về hạ tầng kỹ thuật, các điều kiện phục vụ nhiên liệu sạch gần như chưa hình thành, nguồn nhân lực am hiểu công nghệ xanh còn rất hạn chế, đặc biệt là đội ngũ kỹ sư chuyên sâu về vận hành thiết bị điện bờ và hệ thống tiếp nhận nhiên liệu bền vững. Các cơ sở đào tạo đã chủ động xây dựng, điều chỉnh chương trình đào tạo để tích hợp nội dung về chuyển đổi xanh, song hiện vẫn chưa có sự đồng bộ, thống nhất.

*Tàu biển Fortune Freighter của VOSCO.*

Trong khi đó, chi phí đầu tư thiết bị và phương tiện xanh vẫn ở mức cao, thời gian thu hồi vốn kéo dài, trong khi các chính sách hỗ trợ như tín dụng xanh, ưu đãi thuế còn thiếu và chưa đủ hấp dẫn. Ngoài ra, nhận thức của nhiều doanh nghiệp về tầm quan trọng và lợi ích dài hạn của chuyển đổi xanh vẫn còn hạn chế, dẫn đến việc chưa có kế hoạch chiến lược và lộ trình thực hiện cụ thể.

Chuyển đổi xanh tại các cảng biển Việt Nam đã có những kết quả đáng khích lệ. Nhiều cảng đã đạt hoặc tiến gần đến tiêu chí cảng xanh, tiêu biểu là các cảng thuộc Tổng công ty Tân Cảng Sài Gòn, Cảng Hải Phòng, Cảng Đà Nẵng, Cái Mép - Thị Vải, Gemalink... Các cảng lớn cũng đã được đầu tư thiết bị bốc xếp hiện đại, tự động, sử dụng điện thay thế nhiên liệu hóa thạch, vừa giảm chi phí lao động, tăng năng suất xếp dỡ, vừa góp phần giảm phát thải khí nhà kính.

Bên cạnh đó, nhiều doanh nghiệp cảng đã lắp đặt hệ thống pin năng lượng mặt trời áp mái, triển khai giải pháp cung cấp điện bờ cho tàu biển và nghiên cứu sử dụng vật liệu xây dựng thân thiện môi trường hoặc có thể tái chế. Một số doanh nghiệp đang nghiên cứu chuyển đổi sang phương tiện chạy điện thay thế các phương tiện sử dụng nhiên liệu hóa thạch. Về ứng dụng công nghệ thông tin, nhiều cảng biển Việt Nam đã triển khai ứng dụng công nghệ thông tin vào hoạt động kinh doanh khai thác cảng biển nhằm giảm phát thải khí nhà kính.

Kinh nghiệm quốc tế cho thấy các quốc gia đi đầu trong khu vực đã sớm xây dựng chiến lược chuyển đổi xanh toàn diện nhằm tận dụng cơ hội từ xu thế vận tải biển phát thải thấp. Việc đầu tư đồng bộ hạ tầng cung ứng nhiên liệu sạch, trước mắt là LNG và từng bước chuẩn bị cho methanol, amoniac trong giai đoạn 2025-2030, được xem là yếu tố then chốt để thu hút các tuyến vận tải xanh quốc tế và duy trì vị thế trong chuỗi cung ứng toàn cầu. Đồng thời, các mô hình cảng xanh được triển khai thí điểm trước khi nhân rộng, kết hợp với việc áp dụng hệ thống cấp điện bờ theo lộ trình bắt buộc, đã chứng minh hiệu quả trong việc giảm phát thải KNK và nâng cao tiêu chuẩn dịch vụ cảng biển.

Từ kinh nghiệm khu vực, có thể rút ra các bài học liên quan đến chính sách quan trọng cho Việt Nam: Trước hết, cần sớm hoàn thiện khung pháp lý, trong đó Bộ luật Hàng hải sửa đổi quy định về tiêu chí cảng xanh, cảng thông minh, tàu xanh, nhiên liệu hàng hải bền vững và cơ chế khuyến khích cảng biển, tàu sử dụng nhiên liệu bền vững. Thứ hai, cần ưu tiên đầu tư có trọng điểm vào hạ tầng nhiên liệu sạch tại các cảng nước sâu và cảng trung chuyển quốc tế để từng bước tham gia các tuyến vận tải biển xanh. Thứ ba, nên triển khai mô hình cảng xanh tại một số cảng lớn trước khi áp dụng bắt buộc trên toàn quốc, bảo đảm phù hợp với điều kiện kinh tế - kỹ thuật trong nước. Cuối cùng, việc gắn kết chuyển đổi xanh với chính sách tài chính ưu đãi và hợp tác quốc tế sẽ là chìa khóa để đẩy nhanh quá trình này, giúp Việt Nam không bị tụt hậu trong xu thế logistics xanh toàn cầu.❖

# Bước ngoặt chiến lược của **hàng không Việt**

**> LAN CHI**

Trung tuần tháng 02/2026, Vietnam Airlines, Sun PhuQuoc Airways ký hợp đồng mua 90 tàu bay, trị giá hơn 30 tỷ USD cùng Boeing, phần nào cho thấy sự chuẩn bị chiến lược của các hãng nhằm chiếm lĩnh thị phần hàng không trong tương lai.

## KHÔNG CHỈ MANG Ý NGHĨA THƯƠNG MẠI ĐƠN THUẦN

Ngày 18/02 (giờ địa phương) tại Washington, trước sự chứng kiến của Tổng Bí thư Tô Lâm và đoàn đại biểu cấp cao Việt Nam nhân chuyến công tác đến Mỹ dự cuộc họp khai mạc Hội đồng Hòa bình về Gaza, Vietnam Airlines, Sun PhuQuoc Airways ký hợp đồng mua 90 tàu bay, trị giá hơn 30 tỷ USD cùng Boeing. Trong đó, Vietnam Airlines mua 50 Boeing 737-8, trị giá khoảng 8,1 tỷ USD; Sun PhuQuoc Airways mua 40 Boeing 787-9 Dreamliner, trị giá khoảng 22,5 tỷ USD. Ngoài ra, Vietjet có thỏa thuận tài chính mua 6 Boeing 737-8 trị giá khoảng 965 triệu USD.

Với riêng Vietnam Airlines, theo thỏa thuận, hãng hàng không quốc gia Việt Nam sẽ tiếp nhận 50 tàu bay Boeing 737-8 trong giai đoạn 2030 - 2032. Qua đó, quy mô đội bay của Vietnam Airlines sẽ nâng lên hơn 150 chiếc vào năm 2030. Đây được xem là bước đi chiến lược trong lộ trình hiện đại hóa đội tàu bay, nâng cao năng lực cạnh tranh trong giai đoạn tăng trưởng mới của hãng.

Vietnam Airlines dự kiến khai thác các máy bay 737-8 trên mạng nội địa và các đường bay trong khu vực châu Á. Hãng đặt mục tiêu duy trì tốc độ tăng trưởng bình quân hai con số trong 5 năm tới, với tổng lượng hành khách đạt khoảng 168 triệu lượt và sản lượng hàng hóa hơn 2,25 triệu tấn.

Cùng với các hợp đồng mua tàu bay, Vietjet Air ký hợp đồng với Pratt & Whitney (P&W, Mỹ, nhà sản xuất động cơ máy bay hàng đầu của thế giới) cung cấp động cơ và dịch vụ bảo dưỡng cho 44 tàu bay A321neo/A321XLR với giá trị khoảng 5,4 tỷ USD.

Theo Cục Hàng không Việt Nam, các hợp đồng quy mô lớn với Boeing và Pratt & Whitney ký kết đầu năm 2026 không chỉ mang ý nghĩa thương mại đơn thuần, mà là bước ngoặt chiến lược đối với tiến trình phát triển của Hàng không dân dụng Việt Nam trong ba trụ cột lớn: bền vững - an toàn - hội nhập quốc tế.

Những tác động chính có thể nhìn thấy, đó là bảo đảm năng lực vận tải dài hạn, phù hợp quy hoạch. Trong đó, các đơn hàng Boeing (737-8, 787-9…) và động cơ P&W cho dòng A321neo/XLR giúp trẻ hóa đội bay, giảm tuổi trung bình, nâng cao hiệu suất khai thác; Phù hợp mục tiêu đạt 275 - 300 triệu hành khách/năm vào 2050 theo quy hoạch; Tối ưu phân bổ giữa tàu bay thân hẹp - thân rộng - tầm trung (XLR)…

Cùng với đó, Boeing 787-9 và 737-8 cùng thế hệ động cơ GEnx và P&W giúp giảm 15 - 25% nhiên liệu và $CO_2$ so với thế hệ trước; Giảm tiếng ồn tới 50%. Đây là những cơ sở thực hiện cam kết Net Zero 2050 của ICAO và Lộ trình SAF - nhiên liệu hàng không bền vững. Đồng thời, tạo điều kiện triển khai thị trường carbon và SAF. Trong đó, với đội bay thế hệ mới chính là điều kiện tiên quyết để tham gia CORSIA (Cơ chế bù đắp và giảm thiểu carbon cho hàng không quốc tế); Xây dựng cơ chế tín chỉ carbon hàng không; Thu hút đầu tư SAF (nhiên liệu hàng không bền vững) tại Việt Nam.

Một tác động nữa là việc khi đầu tư vào đội bay thân rộng và tầm xa cho phép mở rộng các đường bay thẳng Mỹ, châu Âu, Trung Đông; Nâng cao chỉ số kết nối hàng không (Air Connectivity Index); Thu hút FDI, du lịch cao cấp…

Bên cạnh đó, cùng với việc nâng cao năng lực công nghiệp hàng không trong nước, các hợp đồng động cơ P&W kéo theo nhu cầu bảo dưỡng động cơ - MRO; đào tạo kỹ sư, thợ máy đạt chuẩn EASA Part-145. Đây là cơ hội để phát triển trung tâm MRO tại Long Thành - Gia Bình - Vân Đồn - Chu Lai…; tham gia chuỗi cung ứng toàn cầu.

Có thể thấy, việc các hãng hàng không Việt Nam ký kết các hợp đồng quy mô lớn với Boeing và Pratt & Whitney có thể coi là "bước ngoặt chiến lược thứ hai" của ngành hàng không dân dụng Việt Nam sau giai đoạn mở cửa và tự do hóa

*Tàu bay của các hãng tại Cảng hàng không quốc tế Nội Bài.*

thị trường. Nó tạo ra 3 nền tảng căn bản cho 20 - 30 năm tới, gồm: Nền tảng tăng trưởng xanh và bền vững; Nền tảng an toàn - hiện đại hóa theo chuẩn ICAO; Nền tảng hội nhập và nâng tầm vị thế quốc gia.

## CHU KỲ PHÁT TRIỂN MỚI CỦA NGÀNH HÀNG KHÔNG

737-8 là dòng máy bay bán chạy nhất của Boeing. Dòng máy bay này có sức chứa tối đa khoảng 200 ghế, tầm bay lên tới 6.570 km. Hơn nữa, máy bay sử dụng động cơ thế hệ mới, thiết kế khí động học cải tiến và cánh winglet hiện đại, nên giúp tiết kiệm khoảng 20% nhiên liệu so với thế hệ trước, giảm trung bình 3.600 tấn $CO_2$ mỗi năm cho mỗi chiếc.

Trong khi đó, 787-9 Dreamliner có tầm bay dài nhất lên hơn 14.000 km và sức chứa tối đa khoảng 290 hành khách. Vietnam Airlines cũng là hãng bay trong nước duy nhất đang vận hành mẫu tàu bay thân rộng này của Boeing.

Với sức chở và tầm bay tối đa của 787-9 Dreamliner cho phép hãng thực hiện các hành trình bay liên tục lên tới 16 tiếng, mở ra khả năng khai thác các đường bay thẳng xuyên lục địa kết nối Phú Quốc với Mỹ, các trung tâm kinh tế - du lịch trọng điểm tại châu Âu như Anh, Czech, Pháp, Đức, khu vực Trung Đông, các quốc gia CIS (Nga, Belarus, Armenia, Azerbaijan, Kazakhstan, Kyrgyzstan, Moldova, Tajikistan, Uzbekistan, Turkmenistan), Nhật Bản và Úc trong tương lai.

Ngoài ra, 787-9 Dreamliner còn giúp tiết kiệm 20 - 25% nhiên liệu và giảm phát thải so với thế hệ trước, phù hợp với định hướng phát triển bền vững mà hãng theo đuổi.

Theo Chủ tịch HĐQT Vietnam Airlines Đặng Ngọc Hòa, hãng đang chuẩn bị toàn diện về đội bay, tài chính và nguồn nhân lực chất lượng cao để bước vào chu kỳ phát triển mới của ngành hàng không. Theo ông Hòa, việc đầu tư 50 máy bay 787-8 giúp hãng hàng không quốc gia xây dựng đội bay hiện đại, tiết kiệm nhiên liệu, nâng cao hiệu quả khai thác.

*Năm 2026, ngành Hàng không Việt Nam đặt mục tiêu sản lượng vận chuyển khoảng 95 triệu lượt hành khách.*

Thỏa thuận cũng giúp Vietnam Airlines củng cố quan hệ chiến lược lâu dài với Boeing, hướng tới mục tiêu trở thành hãng hàng không 5 sao trước 2030.

Được biết, cùng với đơn hàng 50 tàu bay Boeing 737-8 trong giai đoạn 2030 - 2032, Vietnam Airlines cũng có kế hoạch bắt tay với Boeing đầu tư thêm 30 máy bay thân rộng trong thời gian tới. Thương vụ này có giá trị ước tính hơn 12 tỷ USD, phục vụ chiến lược mở rộng mạng bay quốc tế của Vietnam Airlines.

Trong khi đó, Chủ tịch HĐQT Sun Group Đặng Minh Trường cho biết, sự hợp tác cùng Boeing đặt nền móng vững chắc cho việc xây dựng một hãng hàng không đẳng cấp quốc tế, đồng bộ với hệ sinh thái du lịch, nghỉ dưỡng mà tập đoàn này đang phát triển. Theo ông, Sun PhuQuoc Airways chọn Boeing 787-9 không chỉ vì hiệu suất vận hành, mà còn là dòng tàu bay phù hợp nhất để hiện thực hóa tầm nhìn "đưa Phú Quốc ra thế giới và đưa thế giới đến với Phú Quốc".

## TỪ ĐÔ THỊ THÔNG MINH ĐẾN NÔNG THÔN THÔNG MINH:

# Tiếp cận **lãnh thổ tích hợp** cho tỉnh Vĩnh Long trong bối cảnh chính quyền địa phương 2 cấp

**PGS.TS.KTS NGUYỄN VŨ PHƯƠNG***

Mô hình chính quyền địa phương hai cấp (tỉnh và xã) đặt ra yêu cầu đổi mới phát triển theo hướng tích hợp, thông minh và bền vững đối với tỉnh Vĩnh Long mới (hợp nhất Vĩnh Long - Bến Tre - Trà Vinh). Nghiên cứu tiếp cận theo góc nhìn "lãnh thổ thông minh", coi đô thị thông minh (ĐTTM) và nông thôn thông minh (NTTM) là hai cấu phần liên kết trong một hệ sinh thái thống nhất.

Trên cơ sở phân tích khung pháp lý mới (Nghị quyết 111/2025/UBTVQH15, Nghị định 269/2025/NĐ-CP, Quyết định 51/2025/QĐ-TTg), kết hợp tham chiếu kinh nghiệm quốc tế và đặc thù vùng ĐBSCL, bài viết đề xuất định hướng tiếp cận lãnh thổ tích hợp cho Vĩnh Long nhằm nâng cao hiệu quả quản trị trong mô hình chính quyền hai cấp, thúc đẩy phát triển bền vững và tăng cường năng lực thích ứng với biến đổi khí hậu (BĐKH).

## 1. BỐI CẢNH MỚI VÀ YÊU CẦU ĐẶT RA ĐỐI VỚI PHÁT TRIỂN KHÔNG GIAN LÃNH THỔ TỈNH VĨNH LONG

### 1.1. Bối cảnh hình thành tỉnh Vĩnh Long mới và yêu cầu tái cấu trúc không gian phát triển

Mô hình chính quyền địa phương hai cấp chính thức triển khai từ ngày 01/7/2025 ở Việt Nam đánh dấu bước chuyển căn bản trong tổ chức bộ máy và phương thức quản trị lãnh thổ. Mô hình này: Giảm tầng nấc trung gian, tăng tính chủ động cho cấp cơ sở; Tăng quyền chủ động cho cấp tỉnh và cấp xã; Đặt ra yêu cầu cao hơn về năng lực điều phối không gian phát triển.

Nghị quyết số 202/2025/QH15 của Quốc hội ban hành về sắp xếp đơn vị hành chính cấp tỉnh, theo đó hợp nhất ba tỉnh Vĩnh Long, Bến Tre và Trà Vinh thành tỉnh Vĩnh Long (mới), đã tạo ra một bước ngoặt lớn trong tổ chức không gian lãnh thổ vùng ĐBSCL. Với quy mô diện tích hơn 6.296 km$^2$, dân số xấp xỉ 3,4 triệu người và hệ thống 124 đơn vị hành chính cấp xã (gồm: 23 phường và 101 xã), Vĩnh Long trở thành một tỉnh phát triển có quy mô trung bình lớn trong vùng, sở hữu đầy đủ các không gian sinh thái: ven biển - cửa sông - cù lao - nội đồng - đô thị trung tâm. Việc hợp nhất không chỉ là thay đổi địa giới hành chính, mà cần thiết tái cấu trúc toàn diện về: Không gian phát triển kinh tế - xã hội; Mạng lưới đô thị và hệ thống dân cư nông thôn; Hạ tầng giao thông, logistics và kết nối vùng; Phân bố nguồn lực đất đai, dân số và lao động; Phương thức quản trị và điều hành phát triển.

Trong bối cảnh đó, yêu cầu đặt ra không còn là "mở rộng quy mô", mà là tổ chức lại không gian phát triển theo hướng tích hợp, hiệu quả và bền vững, phù hợp với cải cách hành chính theo mô hình chính quyền địa phương 2 cấp. (Hình 1)

### 1.2. Tác động của bối cảnh pháp lý và định hướng phát triển quốc gia

Hệ thống chính sách mới được ban hành trong giai đoạn 2024 - 2025 đã tạo ra khung pháp lý đầy đủ cho đổi mới mô hình phát triển lãnh thổ, nổi bật là: Nghị quyết số 13-NQ/TW (2022) về phát triển vùng ĐBSCL thích ứng BĐKH; Nghị quyết số 57-NQ/TW (2024) về đột phá phát triển khoa học, công nghệ, đổi mới sáng tạo và chuyển đổi số; Nghị định số 269/2025/NĐ-CP về phát triển đô thị thông minh; Nghị quyết số 111/2025/UBTVQH15 về phân loại đô thị; Quyết định số 51/2025/QĐ-TTg ban hành Bộ tiêu chí quốc gia về nông thôn mới giai đoạn 2026-2030.

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

Các văn bản này cho thấy một sự chuyển dịch rõ rệt trong tư duy phát triển: từ tiếp cận theo ngành, theo địa giới hành chính sang tiếp cận theo không gian lãnh thổ, dựa trên dữ liệu, quản trị thông minh và liên kết vùng. Đối với Vĩnh Long, đây vừa là áp lực điều chỉnh, vừa là cơ hội để tái cấu trúc mô hình phát triển theo hướng hiện đại, bền vững và thích ứng dài hạn.

**1.3. Những thách thức đặc thù của tỉnh Vĩnh Long sau hợp nhất**

Trên nền tảng quy hoạch tổng thể và các đánh giá hiện trạng, tỉnh Vĩnh Long đang đối mặt với một số thách thức mang tính cấu trúc: Mô hình quản trị và không gian phát triển phân tán, sự chênh lệch lớn giữa khu vực đô thị trung tâm, vùng ven biển và khu vực nông thôn nội vùng; Hạ tầng liên kết còn hạn chế, đặc biệt là giao thông liên vùng, logistics, hạ tầng số; chất lượng nguồn nhân lực; Tác động ngày càng nghiêm trọng của BĐKH, xâm nhập mặn, sụt lún, thiếu nước ngọt (Vĩnh Long nơi hội tụ 8 trong tổng số 9 nhánh chính của sông Cửu Long); Áp lực đô thị hóa không đồng đều, nhiều khu vực nông thôn còn thiếu động lực phát triển; khó tích hợp dữ liệu và điều hành liên ngành.

Những thách thức này cho thấy, với đặc thù tỉnh Vĩnh Long, nếu tiếp tục cách tiếp cận cũ - tách biệt đô thị và nông thôn, chia cắt theo địa giới hành chính - sẽ khó khai thác lợi thế tổng hợp sau sáp nhập. Vì vậy cần một mô hình phát triển mới, vượt lên tư duy "đô thị - nông thôn tách biệt".

**1.4. Yêu cầu chuyển đổi sang tiếp cận lãnh thổ tích hợp**

Quy hoạch và chiến lược phát triển tỉnh Vĩnh Long không chỉ mang tính kỹ thuật, mà là quá trình định hình lại mô hình phát triển lãnh thổ. Trọng tâm là: Tổ chức không gian phát triển theo vùng chức năng, thay vì đơn thuần theo địa giới phù hợp với mô hình chính quyền địa phương 2 cấp; Kết nối đô thị - nông thôn - hạ tầng - sinh thái trong một hệ thống thống nhất; Lấy dữ liệu, công nghệ và quản trị số làm nền tảng điều hành; Gắn phát triển kinh tế với bảo vệ môi trường và thích ứng biến đổi khí hậu.

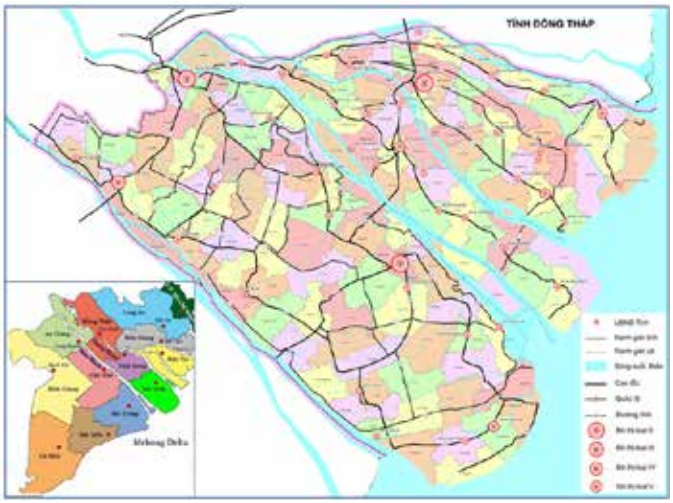
Song song với đó, quá trình chuyển đổi số quốc gia, tái cơ cấu không gian đô thị - nông thôn, và thích ứng BĐKH đang diễn ra mạnh mẽ, đặc biệt tại vùng ĐBSCL. Chính trong bối cảnh đó, cách tiếp cận "lãnh thổ thông minh", tích hợp giữa ĐTTM và NTTM, trở thành hướng đi tất yếu, là khung tư duy phù hợp để phát triển tỉnh Vĩnh Long trong giai đoạn phát triển mới.

## 2. CƠ SỞ LÝ LUẬN VÀ KHUNG TIẾP CẬN LÃNH THỔ THÔNG MINH

**2.1. Từ ĐTTM đến NTTM và tiếp cận lãnh thổ tích hợp**

Trong hơn một thập niên qua, khái niệm đô thị thông minh (Smart City) đã được nhiều quốc gia tiếp cận như một hướng đi tất yếu nhằm nâng cao hiệu quả quản lý, chất lượng sống và năng lực cạnh tranh đô thị. Tuy nhiên, nếu chỉ dừng lại ở ứng dụng công nghệ hoặc xây dựng các ĐTTM đơn lẻ, hiệu quả tổng thể sẽ bị hạn chế, thậm chí làm gia tăng chênh lệch phát triển giữa đô thị và nông thôn.

Nghị định số 269/2025/NĐ-CP đã đánh dấu bước chuyển quan trọng trong tư duy phát triển ĐTTM, khi xác định rõ: ĐTTM không đơn thuần là tập hợp các ứng dụng công nghệ, mà là một hệ thống vận hành dựa trên dữ liệu, đổi mới sáng tạo và quản trị hiện đại, nhằm nâng cao chất lượng sống và phát triển bền vững. Điểm cốt lõi của cách tiếp cận này nằm ở: Vai trò trung tâm của dữ liệu và kết nối liên thông; Năng




*Hình 1. Bản đồ hành chính và hệ thống đô thị tỉnh Vĩnh Long mới.*
*Ghi chú: Trước khi sáp nhập, hệ thống đô thị của ba tỉnh Vĩnh Long, Bến Tre và Trà Vinh có quy mô nhỏ - trung bình, phân bố phân tán, chủ yếu phục vụ chức năng hành chính - dịch vụ địa phương (Tổng số 15 đô thị: 1 đô thị loại II; 2 đô thị loại III; 5 đô thị loại IV và 7 đô thị loại V).*

*Hình 2. Bộ tiêu chí quốc gia xây dựng NTM mới giai đoạn 2026-2030.*

*Hình 3. Tam giác 3 chính sách mới về đô thị và nông thôn.*

lực điều hành theo thời gian thực; Sự tham gia của người dân, doanh nghiệp và xã hội; Gắn kết chặt chẽ giữa phát triển đô thị với mục tiêu bền vững.

Song song, nông thôn đang bước vào giai đoạn chuyển đổi mới. Quyết định 51/2025/QĐ-TTg (Bộ tiêu chí NTM 2026 - 2030, hiệu lực 15/02/2026) thể hiện sự dịch chuyển từ "xây dựng" sang "quản trị phát triển nông thôn", với trọng tâm là số hóa cấp xã, thúc đẩy kinh tế số, nâng chất lượng dịch vụ công và lồng ghép môi trường và thích ứng BĐKH. Dù không dùng trực tiếp sử dụng thuật ngữ "nông thôn thông minh", tuy nhiên khung thí điểm "xã NTM hiện đại" đã hàm chứa các nội dung hiện đại hóa và chuyển đổi số (CĐS) theo tinh thần này. Qua đó cho thấy ĐTTM và NTTM đang hội tụ trong một chỉnh thể phát triển chung, đòi hỏi cách tiếp cận tích hợp theo lãnh thổ - phù hợp với thực trạng của tỉnh Vĩnh Long. (Hình 2)

**2.2. Cơ sở pháp lý cho tiếp cận lãnh thổ thông minh ở Việt Nam**

Khung pháp lý hiện nay đã hình thành nền tảng tương đối đầy đủ cho việc triển khai tiếp cận lãnh thổ thông minh, thể hiện rõ qua ba trụ cột chính sách:

Thứ nhất, Nghị định số 269/2025/NĐ-CP: Xác lập khung phát triển đô thị thông minh thống nhất trên phạm vi cả nước, nhấn mạnh: Quản trị dựa trên dữ liệu; Liên thông giữa các lĩnh vực và cấp quản lý; Gắn đô thị thông minh với phát triển bền vững và chuyển đổi số quốc gia.

Thứ hai, Quyết định số 51/2025/QĐ-TTg: Lần đầu tiên đưa ra bộ tiêu chí nông thôn mới theo nhóm xã, cho phép: Phát triển linh hoạt theo trình độ từng địa phương; Tích hợp chuyển đổi số, kinh tế xanh, quản trị hiện đại; Hình thành nền tảng cho mô hình nông thôn thông minh.

Thứ ba, Nghị quyết số 111/2025/UBTVQH15: Đổi mới cách tiếp cận phân loại đô thị theo hướng: Không thuần túy dựa vào quy mô dân số; Nhấn mạnh chất lượng hạ tầng, môi trường và năng lực quản trị; Tạo dư địa linh hoạt cho các địa phương trong tổ chức không gian phát triển.

Ba văn bản pháp lý Nghị định 269/2025/NĐ-CP, Quyết định số 51/2025/QĐ-TTg và Nghị quyết số 111/2025/UBTVQH15 hợp thành một "tam giác chính sách", trong đó: Đô thị thông minh là động lực điều hành và đổi mới; Nông thôn thông minh là không gian lan tỏa giá trị; Phân loại đô thị là công cụ tổ chức không gian phát triển phù hợp thực tiễn. (Hình 3)

**2.3. Khung tiếp cận lãnh thổ thông minh - nền tảng cho phát triển bền vững tỉnh Vĩnh Long**

Trên cơ sở lý luận và khung chính sách nêu trên, tiếp cận "lãnh thổ thông minh" được hiểu là: Mô hình tổ chức không gian phát triển trong đó đô thị - nông thôn - hạ tầng - sinh thái được tích hợp trong một hệ thống thống nhất, vận hành dựa trên dữ liệu, công nghệ số và cơ chế quản trị hiện đại. Cách tiếp cận này bao gồm bốn trụ cột chính:

1) Không gian lãnh thổ tích hợp: Tổ chức phát triển theo vùng chức năng (đô thị trung tâm - vành đai nông nghiệp - hành lang sinh thái - vùng ven biển), thay vì chia cắt theo địa giới hành chính cứng.

2) Quản trị thông minh dựa trên dữ liệu: Ứng dụng dữ liệu lớn, GIS, nền tảng số để hỗ trợ ra quyết định, quản lý đất đai, hạ tầng, dân cư và dịch vụ công.

3) Kết nối đô thị - nông thôn theo chuỗi giá trị: Đô thị

*Hình 4. Mối quan hệ giữa ĐTTM - NTTM và Lãnh thổ thông minh tỉnh Vĩnh Long (nguồn: NVP 1/2026)*

*Hình 5. Hệ thống đô thị tỉnh Vĩnh Long sau sáp nhập.*

đóng vai trò trung tâm điều phối; nông thôn là không gian sản xuất, sinh thái và văn hóa, cùng tham gia vào hệ sinh thái phát triển chung.

4) Thích ứng BĐKH và phát triển bền vững: Lồng ghép các giải pháp sinh thái, hạ tầng xanh - xám, kinh tế tuần hoàn và quản lý rủi ro thiên tai.

Đối với tỉnh Vĩnh Long sau hợp nhất, tiếp cận lãnh thổ thông minh không chỉ là một lựa chọn kỹ thuật trong đồ án quy hoạch tỉnh, mà là yêu cầu mang tính chiến lược. Đây chính là cơ sở để bước sang nội dung tiếp theo: Xây dựng mô hình lãnh thổ thông minh cho tỉnh Vĩnh Long, gắn với quy hoạch tỉnh, hệ thống đô thị - nông thôn và chiến lược phát triển dài hạn của vùng ĐBSCL.

## 3. KINH NGHIỆM QUỐC TẾ VÀ BÀI HỌC CHO TỈNH VĨNH LONG

Nhìn ra thế giới, nhiều quốc gia đã đi trước chúng ta trong việc tổ chức và vận hành lãnh thổ theo hướng "thông minh" trong việc xây dựng một hệ thống phát triển thống nhất giữa đô thị - nông thôn - hạ tầng - sinh thái.

**3.1. Hà Lan: Quản trị lãnh thổ vùng châu thổ dựa trên tích hợp không gian và dữ liệu**

Hà Lan là quốc gia có nhiều điểm tương đồng với vùng ĐBSCL về điều kiện tự nhiên, đặc biệt là địa hình thấp, hệ thống sông ngòi dày đặc và chịu tác động mạnh của biến đổi khí hậu. Trong quá trình phát triển, Hà Lan đã hình thành mô hình quản trị lãnh thổ - châu thổ (Delta Management) với cách tiếp cận tích hợp cao giữa đô thị - nông nghiệp - thủy lợi - sinh thái. Điểm cốt lõi trong mô hình của Hà Lan là: Quy hoạch không gian tích hợp, trong đó đô thị, nông nghiệp, giao thông, thủy lợi và môi trường được đặt trong cùng một khung điều phối; Quản trị dựa trên dữ liệu không gian, sử dụng hệ thống GIS, mô hình thủy văn, bản đồ ngập và dữ liệu thời gian thực để ra quyết định; Tiếp cận "sống chung với nước", coi nước là yếu tố cấu trúc lãnh thổ chứ không chỉ là rủi ro cần kiểm soát.

Cách tiếp cận này có giá trị tham chiếu rất lớn đối với tỉnh Vĩnh Long, nơi: Có hệ thống sông Tiền - sông Hậu chi phối toàn bộ không gian phát triển; Chịu tác động mạnh của ngập lụt, xâm nhập mặn và sụt lún; Đang cần tổ chức lại không gian phát triển theo hướng thích ứng dài hạn.

Bài học từ Hà Lan: lãnh thổ thông minh phải lấy quản trị nước làm nền tảng, cần ưu tiên xây dựng 'lớp dữ liệu nước' (mực nước, xâm nhập mặn, sụt lún, điểm ngập) được tích hợp thống nhất vào IOC và cơ chế điều hành liên ngành.

**3.2. Hàn Quốc: Mô hình Smart City gắn với Smart Village**

Hàn Quốc là quốc gia đi đầu trong việc phát triển ĐTTM gắn với CĐS toàn diện, nhưng điểm đáng chú ý là nước này là ĐTTM đặt trong mối quan hệ hữu cơ với khu vực nông thôn - NTTM (Smart Village). Trong đó: Đô thị là trung tâm công nghệ, dữ liệu, đổi mới sáng tạo và dịch vụ số; Nông thôn là không gian ứng dụng công nghệ, phát triển sản xuất thông minh, nông nghiệp số, logistics nông sản; Chính phủ đóng vai trò điều phối vùng, bảo đảm kết nối giữa đô thị - nông thôn thông qua hạ tầng số và chính sách thống nhất.

Không tách ĐTTM khỏi NTTM, mà tổ chức mối quan hệ hữu cơ giữa trung tâm đô thị (dịch vụ - thị trường - đổi mới) và không gian nông thôn (sản xuất - sinh thái - du lịch), là công cụ để nâng cao hiệu quả quản trị và chất lượng sống. Mô hình này có nhiều điểm tương đồng với định hướng của tỉnh Vĩnh Long, khi: Không gian đô thị và nông thôn đan xen chặt chẽ; Nhu cầu quản trị thống nhất trên địa bàn rộng; Yêu cầu phát triển nông thôn thông minh gắn với chuyển đổi số.

Vĩnh Long có thể chọn 1 - 2 chuỗi giá trị chủ lực (nông sản/du lịch sinh thái) số hóa xuyên suốt: sản xuất - chế biến - logistics - tiêu thụ, kết nối dữ liệu từ xã lên tỉnh và liên vùng ĐBSCL.

**3.3. Liên minh châu Âu (EU): Mô hình vùng chức năng đô thị - nông thôn (RUFA)**

EU phát triển mô hình Rural-Urban Functional Area (RUFA) nhằm khắc phục hạn chế của cách quản lý theo ranh giới hành chính truyền thống. Cốt lõi của mô hình RUFA là không bị bó buộc bởi địa giới hành chính: Phát triển lãnh thổ theo dòng chảy thực tế: lao động, kinh tế, dịch vụ, dữ liệu và Tổ chức không gian dựa trên mối quan hệ chức năng giữa đô thị và nông thôn. Trong mô hình này: Đô thị giữ vai trò trung tâm cung cấp dịch vụ, việc làm, đổi mới sáng tạo; Nông thôn cung

Bảng 1. Cấu trúc mô hình lãnh thổ thông minh tỉnh Vĩnh Long

| VAI TRÒ - CHỨC NĂNG CHÍNH | NỘI DUNG TRỌNG TÂM |
|---|---|
| 1. Không gian đô thị - hạt nhân điều phối<br>Trung tâm - dẫn dắt phát triển vùng | - Trung tâm hành chính, dịch vụ, đổi mới sáng tạo<br>- Đầu mối điều phối dữ liệu, hạ tầng số, dịch vụ công<br>- Hạt nhân lan tỏa phát triển kinh tế - xã hội |
| Định hướng phát triển | - Đô thị thông minh cấp tỉnh, cấp vùng<br>- Gắn logistics, thương mại, dịch vụ chất lượng cao<br>- Phát triển nén, tiết kiệm đất, thích ứng ngập |
| 2. Không gian nông thôn - nền tảng sản xuất và sinh thái (Không gian chủ lực, không còn phụ trợ) | - Nông nghiệp công nghệ cao<br>- Bảo tồn sinh thái - văn hóa<br>- Cung cấp dịch vụ hệ sinh thái |
| Mô hình nông thôn thông minh | - Số hóa quản lý cấp xã<br>- Kết nối sản xuất - chế biến - tiêu thụ<br>- Ứng dụng công nghệ trong nông nghiệp, thủy sản, du lịch sinh thái<br>- Gắn với Bộ tiêu chí NTM 2026-2030 |
| 3. Hạ tầng liên kết - trụ cột vận hành<br>Bảo đảm kết nối và vận hành toàn hệ thống | - Giao thông đa phương thức<br>- Hạ tầng số, dữ liệu dùng chung<br>- Thủy lợi, phòng chống thiên tai<br>- Năng lượng và môi trường |
| Nguyên tắc tổ chức | - Kết nối ngang - dọc giữa các vùng<br>- Liên thông dữ liệu liên ngành<br>- Ưu tiên hạ tầng xanh, thích ứng khí hậu |
| 4. Quản trị thông minh - nền tảng điều hành<br>"Bộ não" của mô hình lãnh thổ | - Trung tâm điều hành thông minh (IOC) cấp tỉnh<br>- Cơ sở dữ liệu dùng chung<br>- Cơ chế phối hợp liên ngành, liên cấp<br>- Sự tham gia của người dân và doanh nghiệp |
| Phương thức quản trị | - Chuyển từ xử lý sự vụ sang quản trị dựa trên dữ liệu<br>- Giám sát, dự báo và điều hành theo thời gian thực |

cấp không gian sản xuất, sinh thái và nguồn lực; Cả hai cùng vận hành trong một hệ thống kinh tế - xã hội thống nhất.

Bối cảnh chính quyền 2 cấp và không gian mở rộng sau hợp nhất đòi hỏi tổ chức lãnh thổ theo vùng chức năng, quản trị dựa trên dữ liệu và liên kết đô thị - nông thôn thành một hệ thống thống nhất. Vĩnh Long cần xác định rõ 2 - 3 "vùng chức năng" (ví dụ: vùng đô thị - dịch vụ; vùng nông nghiệp công nghệ; vùng sinh thái - du lịch…) để thiết kế cơ chế phối hợp, phân quyền dữ liệu và KPI theo vùng.

## 4. MÔ HÌNH LÃNH THỔ THÔNG MINH CHO TỈNH VĨNH LONG

### 4.1. Quan điểm xây dựng mô hình lãnh thổ thông minh

Trên cơ sở bối cảnh phát triển mới, khung pháp lý hiện hành và yêu cầu tổ chức lại không gian phát triển sau hợp nhất, mô hình lãnh thổ thông minh của tỉnh Vĩnh Long được xây dựng theo quan điểm: Lãnh thổ là một chỉnh thể thống nhất, trong đó đô thị - nông thôn - hạ tầng - sinh thái gắn kết hữu cơ; Phát triển dựa trên dữ liệu và quản trị số, thay cho cách điều hành phân tán theo ngành, theo địa giới; Đô thị không phát triển tách rời nông thôn, mà đóng vai trò trung tâm điều phối chuỗi giá trị; Thích ứng BĐKH là nguyên tắc xuyên suốt, không phải nội dung bổ sung; Phù hợp với mô hình chính quyền địa phương hai cấp, bảo đảm tính linh hoạt, hiệu quả và phân quyền rõ ràng.

Theo đó, lãnh thổ thông minh không chỉ là không gian vật lý, mà là hệ sinh thái phát triển có khả năng tự điều chỉnh, học hỏi và thích ứng. (Hình 4)

### 4.2. Triển khai mô hình lãnh thổ thông minh tại tỉnh Vĩnh Long

Việc triển khai lãnh thổ thông minh tại Vĩnh Long cần được tiếp cận theo lộ trình phù hợp, đảm bảo tính khả thi trong điều kiện thực tiễn của địa phương sau hợp nhất.

1) Triển khai theo nguyên tắc "từng bước - có trọng tâm - có đánh giá".

Không triển khai đồng loạt trên toàn tỉnh, mà ưu tiên: Các đô thị trung tâm, khu vực động lực phát triển; Các vùng chịu tác động mạnh của biến đổi khí hậu; Các lĩnh vực có sẵn nền tảng dữ liệu và hạ tầng số.

2) Tích hợp mô hình lãnh thổ thông minh vào quy hoạch tỉnh và kế hoạch phát triển. Mô hình không tách rời Quy hoạch tỉnh, mà cần được: Lồng ghép vào điều chỉnh quy hoạch thời kỳ 2021-2030; Gắn với kế hoạch đầu tư công trung hạn; Liên thông với các chương trình CĐS, phát triển đô thị, xây dựng NTM.

Bảng 2. Khuyến nghị chính sách về lãnh thổ thông minh cho Vĩnh Long

| NHÓM KHUYẾN NGHỊ | MỤC TIÊU | NỘI DUNG TRỌNG TÂM |
|---|---|---|
| **(1) Hoàn thiện thể chế cấp tỉnh về lãnh thổ thông minh** | Tạo khung điều hành thống nhất, rõ trách nhiệm | - Ban hành đề án/chương trình phát triển lãnh thổ thông minh cấp tỉnh dựa trên ĐTTM - NTTM<br>- Quy định rõ vai trò, nhiệm vụ các sở/ngành trong vận hành mô hình<br>- Tăng phân quyền đi kèm trách nhiệm giải trình |
| **(2) Xây dựng hệ thống dữ liệu dùng chung cấp tỉnh** | Làm nền cho quản trị dựa trên dữ liệu | - Chuẩn hóa dữ liệu đất đai, dân cư, hạ tầng<br>- Kết nối liên thông dữ liệu tỉnh - xã<br>- Từng bước xây dựng "bản sao số" (digital twin) của tỉnh |
| **(3) Phát triển nguồn nhân lực quản trị thông minh** | Bảo đảm năng lực thực thi và vận hành | - Đào tạo cán bộ về quản trị số, quy hoạch tích hợp, phân tích dữ liệu<br>- Tăng hợp tác với viện nghiên cứu, trường ĐH<br>- Thu hút chuyên gia và DN công nghệ tham gia |
| **(4) Đổi mới cơ chế đầu tư và huy động nguồn lực** | Tạo nguồn lực bền vững, đa phương | - Kết hợp ngân sách nhà nước với PPP<br>- Thu hút DN công nghệ và doanh nghiệp hạ tầng<br>- Lồng ghép các chương trình quốc gia về chuyển đổi số - nông thôn mới - đô thị thông minh |

3) Triển khai theo tiếp cận "từ quản trị đến công nghệ". Công nghệ chỉ là công cụ; trọng tâm là: Tổ chức bộ máy quản lý hiệu quả; Quy trình phối hợp liên ngành rõ ràng; Cơ chế chia sẻ và khai thác dữ liệu thống nhất. (Bảng 1)

**4.3. Phát triển hệ sinh thái lãnh thổ thông minh cho tỉnh Vĩnh Long**

Sau hợp nhất, Vĩnh Long bước vào giai đoạn phát triển với cấu trúc lãnh thổ mở rộng, đòi hỏi một mô hình quản trị linh hoạt theo vùng chức năng thay vì quản lý cứng theo địa giới đô thị - nông thôn. Theo đó, "lãnh thổ thông minh" cần được hiểu là hệ sinh thái thống nhất giữa đô thị - nông thôn - hạ tầng - sinh thái, vận hành dựa trên dữ liệu và cơ chế phối hợp liên ngành, liên cấp.

Về điều kiện tự nhiên, Vĩnh Long chịu chi phối mạnh bởi không gian sông nước, gắn với trục sông Tiền - sông Hậu; đồng thời đối mặt các thách thức ngập lụt, xâm nhập mặn và sụt lún, khiến yêu cầu "thích ứng dài hạn" trở thành nguyên tắc xuyên suốt trong tổ chức phát triển lãnh thổ. Vì vậy, trọng tâm không phải "đầu tư công nghệ rời rạc", mà là thiết kế nền quản trị dữ liệu dùng chung, lựa chọn vùng ưu tiên để thí điểm, và tổ chức triển khai theo lộ trình có kiểm chứng và đánh giá bằng các chỉ số KPI. (Hình 5)

Cách tiếp cận này sẽ mang lại nhiều lợi ích rõ nét cho tỉnh Vĩnh Long: giảm áp lực đô thị hóa tập trung; nâng cao giá trị gia tăng ở khu vực nông thôn tạo nền tảng cho phát triển cân bằng, bền vững trên toàn tỉnh. (Bảng 2)

## 5. KẾT LUẬN

Trong bối cảnh chính quyền địa phương hai cấp, ĐTTM và NTTM cần được tổ chức trong một mô hình lãnh thổ thống nhất, vận hành theo vùng chức năng và dựa trên dữ liệu (functional zones, data-driven). Cách tiếp cận "lãnh thổ thông minh" vì vậy phù hợp để nâng cao hiệu quả quản trị, thúc đẩy tăng trưởng xanh, cải thiện chất lượng sống và tăng năng lực thích ứng với BĐKH, đặc biệt đối với tỉnh có thế mạnh nông nghiệp như Vĩnh Long.

Với đặc thù châu thổ sông nước, Vĩnh Long nên tiếp cận theo "delta management": tăng liên kết đô thị - nông thôn và ra quyết định dựa trên dữ liệu không gian, bản đồ ngập và dữ liệu thời gian thực. Lộ trình triển khai đề xuất theo chuỗi nền dữ liệu → thí điểm vùng → mở rộng/digital twin, gồm 3 pha:

1) 2026 - 2027: xây dựng nền dữ liệu dùng chung

2) 2027 - 2029: thí điểm vùng chức năng, theo dõi và đánh giá bằng KPI

3) 2029 - 2035: mở rộng toàn tỉnh và hình thành digital twin

Với cấu trúc lãnh thổ mới sau hợp nhất và lợi thế châu thổ, Vĩnh Long có thể trở thành địa phương tiên phong của ĐBSCL trong phát triển lãnh thổ thông minh, đóng góp mô hình thực tiễn cho chuyển đổi số và phát triển bền vững của cả nước, hướng tới tầm nhìn "Smart Mekong Province".

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

1. Chính phủ. (2025). Nghị định số 269/2025/NĐ-CP về phát triển đô thị thông minh

2. Ủy ban Thường vụ Quốc hội. (2025). Nghị quyết số 111/2025/UBTVQH15 về phân loại đô thị (thông qua ngày 24/12/2025).

3. Thủ tướng Chính phủ. (2025). Quyết định số 51/2025/QĐ-TTg ban hành Bộ tiêu chí quốc gia về nông thôn mới giai đoạn 2026-2030.

4. UBND tỉnh Vĩnh Long; Sở Tài chính tỉnh Vĩnh Long. (2025). Báo cáo điều chỉnh Quy hoạch tỉnh Vĩnh Long thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050.

5. Nguyễn Vũ Phương. Tích hợp quy hoạch đô thị bền vững gắn với cải cách chính quyền hai cấp ở Việt Nam. TCXD, 8/2025.

6. Nguyễn Vũ Phương. Đổi mới phân loại đô thị - nông thôn ở Việt Nam: tiếp cận chức năng - không gian và kinh nghiệm quốc tế. TCXD, 8/2025.

7. Nguyễn Vũ Phương. (2025). Đô thị thông minh và nông thôn thông minh trong bối cảnh chính quyền hai cấp: Tiếp cận tích hợp và chuyển đổi số lãnh thổ, TCXD, 10/2025.

# Quá trình chuyển hóa và biến đổi chức năng của **không gian xanh đô thị**

> **PGS.TS LƯƠNG TÚ QUYÊN***

Không gian xanh (KGX) đô thị (công viên, vườn hoa, hệ thống cây xanh..) là thành phần không thể tách rời của đô thị trong quá trình hình thành và phát triển. Từ thời kỳ sơ khai của văn minh đô thị cho đến ngày nay, hình thái và chức năng của cây xanh đô thị luôn vận động, thay đổi để thích ứng với các yêu cầu và phù hợp với trình độ phát triển của xã hội trong từng giai đoạn lịch sử.

Nếu như trong quá khứ, KGX chủ yếu đóng vai trò tạo lập cảnh quan và cải thiện vi khí hậu, thì trong bối cảnh hiện đại, vai trò này đã chuyển hóa mạnh mẽ trước những thách thức của biến đổi khí hậu (BĐKH) và đời sống đô thị. KGX hiện nay còn đảm nhận chức năng của một hệ thống "hạ tầng xanh", tham gia trực tiếp vào quá trình trữ nước, chống ngập lụt và bảo tồn quỹ đất.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong tiến trình văn minh nhân loại, sự hình thành và phát triển của đô thị luôn song hành cùng với sự hiện diện của KGX. Từ những vườn treo cổ đại đến các hệ thống công viên sinh thái hiện đại, cây xanh không chỉ là một thành phần trang trí mà còn là chỉ số phản ánh tư duy quy hoạch và trình độ phát triển kinh tế - xã hội của mỗi thời kỳ.

Lịch sử cho thấy, hình thái và chức năng của KGX đô thị không đứng yên mà luôn trải qua một quá trình chuyển hóa và biến đổi sâu sắc. Ở các giai đoạn cổ đại và trung đại, KGX thường mang tính chất khép kín, phục vụ đặc quyền của giới quý tộc hoặc các mục đích tôn giáo. Bước sang thời kỳ cận đại, cuộc cách mạng công nghiệp đã tạo ra một "cú hích" làm thay đổi hoàn toàn bản chất của KGX, biến chúng thành các công viên công cộng nhằm giải quyết các khủng hoảng về vệ sinh môi trường và sức khỏe cộng đồng.

Đến thế kỷ 21, trước những thách thức phi truyền thống, đặc biệt là BĐKH và tốc độ đô thị hóa quá nhanh, vai trò của KGX một lần nữa được tái định nghĩa. KGX không còn chỉ là "lá phổi xanh" hay không gian nghỉ ngơi thuần túy, mà đã chuyển hóa thành một loại "hạ tầng xanh" (Green Infrastructure) đa mục tiêu. Khả năng trữ nước, giảm ngập lụt, giữ đất và điều tiết vi khí hậu của cây xanh đã trở thành những giá trị cốt lõi giúp đô thị thích ứng với các cực đoan thời tiết.

Tuy nhiên, việc hiểu rõ bản chất của quá trình chuyển hóa này vẫn là một khoảng trống trong nhiều nghiên cứu hiện nay, khi KGX thường chỉ được nhìn nhận ở lát cắt đương đại mà thiếu đi cái nhìn hệ thống về sự biến đổi chức năng qua các thời kỳ lịch sử. Sự thiếu hụt này dẫn đến những hạn chế trong việc nhận diện đầy đủ giá trị đa năng của cây xanh trong quy hoạch hiện đại.

Vì vậy, việc làm rõ tiến trình chuyển hóa này hướng tới việc xác lập cơ sở lý luận và nền tảng phân tích hệ thống, sẽ là tiền đề khoa học quan trọng cho các nghiên cứu tiếp theo trong việc xây dựng các mô hình quản lý và quy hoạch không gian xanh thích ứng, bền vững trước những biến động về kinh tế - xã hội và môi trường trong tương lai.

## 2. QUÁ TRÌNH BIẾN ĐỔI VÀ CHUYỂN HÓA CHỨC NĂNG CỦA KGX TRONG TIẾN TRÌNH PHÁT TRIỂN ĐÔ THỊ VIỆT NAM

### 2.1. Thời kỳ phong kiến

KGX mang đặc quyền của giai cấp thống trị và triết lý phong thủy: Trong giai đoạn này, khái niệm không gian xanh công cộng gần như chưa hiện diện trong cấu trúc đô

(*) *Khoa Quy hoạch đô thị - Nông thôn, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội*

thị. Sự tồn tại của cây xanh và mặt nước chủ yếu gắn liền với triết lý phương Đông và thuyết phong thủy. Loại hình tiêu biểu là các khu vườn ngự uyển khép kín trong hoàng thành Huế, Thăng Long hay các khu vườn biệt lập trong dinh thự quan lại, bên cạnh hệ thống cây xanh cổ thụ gắn với các công trình tín ngưỡng như đình, chùa, miếu mạo. Tại đây, chức năng của KGX mang đậm tính tâm linh và biểu tượng quyền quý; cây xanh và mặt nước được sắp đặt theo các yếu tố "tiền án, hậu chẩm, minh đường" nhằm điều hòa sinh khí và bảo vệ sự hưng thịnh của dòng tộc. Đồng thời, mô hình "vườn cây - ao cá - chuồng trại" cũng len lỏi trong cấu trúc đô thị cổ, đảm nhận chức năng sản xuất tự cung tự cấp thực phẩm tại chỗ, tạo nên một hệ sinh thái đặc hữu gắn liền với đời sống phong kiến. (Hình 1,2)

**2.2. Thời kỳ thuộc địa Pháp**

Sự du nhập của KGX công cộng và tư duy cảnh quan phương Tây: Sang giai đoạn này, người Pháp đã mang tư duy quy hoạch phương Tây vào Việt Nam, lần đầu tiên biến KGX thành một thành phần của cơ cấu đô thị. Hình thái KGX chuyển dịch sang các loại hình công cộng như vườn hoa (Bách thảo, vườn hoa Con cóc -Hà Nội) công viên, quảng trường và đặc biệt là hệ thống cây xanh đường phố với những hàng cây (sao đen, xà cừ, sấu) dọc theo các đại lộ. Chức năng cốt lõi trong giai đoạn này là cải thiện vi khí hậu nhằm giảm bớt sự khắc nghiệt của nhiệt đới nóng ẩm, tạo ra môi trường sống tương đồng với bản xứ Pháp và hình thành vẻ đẹp thẩm mỹ kiểu "Paris phương Đông". Vai trò của KGX lúc này được định vị rõ nét qua hai yếu tố: vệ sinh đô thị và kiến tạo cảnh quan đô thị hiện đại. (Hình 3,4)

**2.3. Thời kỳ bao cấp đến đổi mới (1954 - cuối thế kỷ 20)**

Không gian xanh phúc lợi xã hội: Giai đoạn sau chiến tranh ghi dấu ấn với việc phát triển KGX theo mô hình xã hội chủ nghĩa, lấy nhu cầu nghỉ ngơi của nhân dân lao động làm trọng tâm. Hình thái chủ đạo là các công viên trung tâm quy mô lớn như Thống Nhất, Thủ Lệ, Tao Đàn, thường kết hợp chặt chẽ với các hồ điều hòa và công trình văn hóa. Chức năng của KGX thời kỳ này mang đậm tính phúc lợi cộng đồng, là nơi phục vụ nhu cầu nghỉ ngơi, vui chơi giải trí và giao lưu xã hội của người dân trong điều kiện kinh tế hạn hẹp. Đồng thời, đây cũng là không gian mang chức năng giáo dục, tổ chức các hoạt động tập thể cho thiếu nhi và tuyên truyền văn hóa, đóng vai trò thiết yếu trong việc phục vụ đời sống tinh thần của đại đa số quần chúng nhân dân.

**2.4. Thời kỳ đương đại**

Từ tạo cảnh quan, trang trí sang hạ tầng xanh thích ứng: Đầu thế kỷ 21, sự bùng nổ của các đô thị lớn như Hà Nội, TP.HCM, Hải Phòng và Đà Nẵng đã thúc đẩy KGX vào một giai đoạn biến đổi chức năng mang tính sống còn. Hình thái KGX trở nên đa dạng hơn với sự xuất hiện của các khu đô thị sinh thái, vườn trên mái, công viên ngầm và các hồ điều tiết đa năng. Quá trình chuyển hóa chức năng diễn ra mạnh mẽ khi KGX được nhìn nhận như một loại "hạ tầng kỹ thuật mềm" (hạ tầng xanh). Trước thách thức của BĐKH, hiện tượng thời tiết cực đoan gây ngập lụt trên diện rộng, KGX đảm nhận vai trò lưu trữ nước mặt và thẩm thấu tự nhiên, biến các hồ công viên thành những "túi chứa" nước khổng lồ. Đồng thời, KGX trở thành công cụ chủ đạo để thích ứng với biến đổi khí hậu thông qua việc giảm hiệu ứng đảo nhiệt và tạo rào chắn giảm thiểu tác hại của thiên tai. Đặc biệt, KGX hiện nay còn mang giá trị kinh tế quan trọng, trở thành yếu tố gia tăng giá trị cho bất động sản và được xem là xu hướng dựa vào thiên nhiên - quyết định sự phát triển bền vững của đô thị.

Nhìn lại toàn bộ diễn trình lịch sử, có thể thấy quá trình chuyển hóa chức năng của KGX đô thị Việt Nam diễn ra liên tục và theo một logic chặt chẽ, gắn liền với sự thay đổi của hình thái kinh tế - xã hội và môi trường tự nhiên.

Sự chuyển dịch mang tính hệ thống này thể hiện qua ba lĩnh vực chính. Thứ nhất, đó là sự chuyển đổi về đối tượng phục vụ: từ phạm vi hẹp mang tính đặc quyền (vua chúa, quan lại, giới tinh hoa thời kỳ thuộc địa Pháp) sang phạm vi rộng mang tính phúc lợi (cho nhân dân lao động) và cuối cùng là mục tiêu bao trùm hướng tới toàn bộ hệ sinh thái đô thị đương đại. Thứ hai, đó là sự biến đổi về bản chất tiếp cận: KGX đã đi từ những yếu tố mang tính tâm linh, phong thủy trừu tượng sang các tiêu chuẩn vệ sinh, thẩm mỹ phương Tây và hiện nay là những chỉ số kỹ thuật chính xác về môi trường. Thứ ba, và cũng là quan trọng nhất, chính là sự thay đổi trong vị thế quy hoạch: từ một thành phần phụ trợ mang tính trang trí - góp phần tạo diện mạo đô thị, KGX đã chuyển đổi, trở thành một loại hạ tầng thiết yếu - một thành phần cơ bản trong cấu trúc không gian đô thị - có khả năng giải quyết các vấn đề sinh tồn như giữ nguồn nước, chống ngập lụt, giảm nhiệt, giảm ô nhiễm.

Sự biến đổi này cho thấy KGX tại Việt Nam đang dần tiến tới một mô hình Hạ tầng xanh tích hợp. Trong đó, những giá trị của quá khứ như triết lý hài hòa với thiên nhiên của thời Phong kiến hay tính quy chuẩn của thời Pháp thuộc đang được tái cấu trúc dưới những giải pháp kỹ thuật hiện đại. Việc hệ thống hóa các giai đoạn này không chỉ giúp nhận diện các lớp giá trị văn hóa - lịch sử chồng xếp trong lòng đô thị, mà còn cung cấp một cái nhìn đa chiều về cách thức mà KGX được "huy động" để giải quyết các thách thức của con người. Đây chính là điểm tựa lý luận để xác lập các phương pháp tiếp cận mới trong nghiên cứu quy hoạch, nơi KGX không còn được xem là một khoảng trống cần lấp đầy bằng cây xanh, mà là một hệ thống sống có chức năng vận hành và bảo vệ sự bền vững cho đô thị Việt Nam trước tương lai bất định của BĐKH.

## 3. CÁC THÁCH THỨC VÀ YÊU CẦU ĐỐI VỚI KGX VIỆT NAM HIỆN NAY

Việt Nam đang đứng trước những mâu thuẫn lớn giữa nhu cầu phát triển kinh tế và yêu cầu bảo vệ môi trường, nơi KGX trở thành tâm điểm của sự điều chỉnh chức năng.

**3.1. Các thách thức**

Trước hết là áp lực từ bùng nổ đô thị hóa nhanh và quỹ đất hạn hẹp: Tại các đô

thị lớn như Hà Nội và TP.HCM, diện tích KGX công cộng

*Hình 1. Vườn thượng uyển Cơ Hạ - Cung đình Huế xưa đã được phục dựng lại 2012.*

*Hình 2. Hình ảnh Kinh thành Huế được phục dựng lại. (Ảnh Đại Dương)*

hiện chỉ đạt khoảng 2 - 3 $m^2$/người, thấp hơn nhiều so với tiêu chuẩn quốc tế (10 - 15 $m^2$/người). Sự bành trướng của các khối bê tông làm mất dần các hành lang xanh và bề mặt thấm nước tự nhiên.

Các hiện tượng khí hậu cực đoan:

- Ngập lụt đô thị: Hệ thống hạ tầng kỹ thuật (hạ tầng xám) không còn đủ sức chống chọi với các trận mưa cường độ lớn. KGX truyền thống (công viên trồng cây thuần túy) thường bị úng cục bộ, không phát huy được vai trò thoát nước.

- Hiệu ứng đảo nhiệt: Nhiệt độ tại các khu vực nội đô thường cao hơn ngoại ô từ 3 - 5°C. KGX hiện hữu chưa đủ diện tích và độ che phủ để giảm nhiệt chủ động cho toàn thành phố.

- Sự suy giảm đa dạng sinh học và ô nhiễm bụi mịn: KGX hiện nay thường bị chia cắt, làm mất đi tính kết nối sinh thái cho các loài sinh vật bản địa và giảm hiệu quả lọc bụi mịn.

**3.2. Yêu cầu đối với KGX tại Việt Nam**

Để thích nghi với các kịch bản cực đoan của BĐKH và áp lực đô thị hóa, KGX đương đại tại Việt Nam cần được tổ chức dựa trên 3 yêu cầu cốt lõi sau:

Thứ nhất, chuyển dịch từ mô hình "KGX cảnh quan" sang "hạ tầng xanh đa mục tiêu". Trong tư duy quy hoạch mới, KGX không còn là thành phần trang trí thụ động mà phải trở thành một thực thể kỹ thuật có khả năng can thiệp vào chu trình thủy văn đô thị. Yêu cầu đặt ra là tích hợp các giải pháp dựa vào thiên nhiên (NbS) như xây dựng hệ thống "vườn mưa" (rain gardens), các dải lọc sinh học và bề mặt thấm. Thay vì sử dụng các bề mặt bê tông hóa gây áp lực cho hệ thống thoát nước, KGX cần đóng vai trò là những hành lang trữ nước và thấm lọc tự nhiên. Việc biến các khu vực xanh thành những "vùng đệm thủy văn" không chỉ giúp giảm thiểu tức thời tình trạng ngập lụt cục bộ mà còn góp phần bổ cập nguồn nước ngầm, tái lập chu trình nước tự nhiên trong lòng đô thị nén.

Thứ hai, yêu cầu về tính thích nghi thông qua đa dạng hóa cơ cấu chủng loại cây xanh. Thực tiễn từ các hiện tượng thời tiết cực đoan gần đây, điển hình là siêu bão Yagi, đã bộc lộ sự tổn thương của hệ thống cây xanh đô thị khi quá phụ thuộc vào các loài ngoại lai hoặc cây có đặc tính sinh học không phù hợp. Yêu cầu cấp thiết là phải ưu tiên lựa chọn và phục hồi các loài cây bản địa có hệ rễ cọc phát triển sâu, thân dẻo dai và khả năng chịu ngập úng tốt. Việc chuyển dịch cơ cấu cây trồng không chỉ nhằm giảm thiểu rủi ro gãy đổ gây thiệt hại về người và tài sản trong mùa bão lũ, mà còn giúp giảm chi phí quản lý, bảo trì, đồng thời tạo lập một hệ sinh thái đô thị bền vững, có khả năng tự phục hồi trước các biến động môi trường.

Thứ ba, kiến tạo tính kết nối hệ thống và giá trị đa năng của KGX. KGX đương đại cần thoát khỏi tình trạng bị phân mảnh dưới dạng các "ốc đảo" rời rạc để hình thành một mạng lưới hành lang xanh liên tục. Các hành lang này phải được thiết lập dọc theo các trục sông ngòi và tuyến giao thông chính, kết nối với các vùng sinh thái rộng lớn hơn ở ngoại vi. Đặc biệt, yêu cầu tích hợp đa chức năng cần được cụ thể hóa trong từng thiết kế, ví dụ: Một khu công viên hiện đại phải đồng thời đảm nhận vai trò của một không gian giải trí, một hồ điều hòa khí hậu, một hành lang dự trữ sinh thái và lọc bụi mịn. Thậm chí, trong các kịch bản thiên tai khẩn cấp, các không gian này còn phải đáp ứng chức năng của các khu vực tránh trú an toàn cho cư dân. Tính đa mục tiêu này biến KGX thành một thành phần cốt yếu của hạ tầng an ninh đô thị, đảm bảo sự tương tác hài hòa giữa phát triển kinh tế và an toàn sinh thái.

## 4. KẾT LUẬN

Nhìn lại lịch sử phát triển đô thị có thể thấy KGX đô thị không phải là một thực thể tĩnh mà là một thành phần vận động không ngừng. Sự biến đổi của KGX từ những khu vườn đặc quyền thời cổ - trung đại, qua vai trò "lá phổi xanh" trong thời kỳ cận đại - công nghiệp hóa, đến hình thái "hạ tầng xanh" đa chức năng ngày nay, phản ánh sự thích ứng tất yếu của đô thị trước những biến động về kinh tế, xã hội và môi trường.

Tại Việt Nam, sự chuyển hóa này mang tính cấp thiết hơn bao giờ hết. Trước áp lực của BĐKH, ngập lụt đô thị và hiệu ứng đảo nhiệt, KGX đã vượt ra khỏi vai trò thuần túy là cảnh quan thẩm mỹ để trở thành một hệ thống kỹ thuật mềm, đảm nhiệm các chức năng sinh tồn như trữ nước, giảm nhiệt độ, giảm ô nhiễm và bảo vệ quỹ đất. Việc nhận diện đúng

*Hình 3. Vườn hoa Cửa Nam thời kỳ Pháp thuộc. (Nguồn hình ảnh: Internet)*

*Hình 4. Toàn cảnh hồ Hoàn Kiếm thời kỳ Pháp thuộc. (Nguồn hình ảnh: Internet)*

*Hình 5,6. Vườn mưa và hành lang trữ nước đô thị, có thể cải thiện chất lượng nước và bổ sung vào nguồn nước. (Nguồn hình ảnh: Eden Landscape)*

đắn sự chuyển dịch từ "giá trị nhìn ngắm" sang "giá trị thích ứng" là chìa khóa để định nghĩa lại vị thế của KGX trong cấu trúc đô thị hiện đại.

Nhận diện và hệ thống hóa quá trình biến đổi này thiết lập cơ sở lý luận quan trọng, đặt nền tảng để nghiên cứu đề xuất giải pháp quy hoạch, quản lý KGX - hạ tầng xanh thông minh và bền vững, giúp đô thị Việt Nam có khả năng tự phục hồi và thích ứng mạnh mẽ với những thách thức của BĐKH.❖

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

1. Chính phủ (2010). Nghị định số 64/2010/NĐ-CP về quản lý cây xanh đô thị.

2. Ngô Huy Quỳnh (2013). Tìm hiểu lịch sử kiến trúc và quy hoạch đô thị Việt Nam. Hà Nội: NXB Xây dựng.

3. Tô Thị Toàn (2002). Hà Nội - Những chặng đường xây dựng và phát triển. Hà Nội: NXB Hà Nội.

4. Trần Thục, et al. (2016). Kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam. Hà Nội: Bộ TN&MT.

5. Benedict, M. A., & McMahon, E. T. (2012). Green Infrastructure: Linking Landscapes and Communities. Island Press.

6. IUCN (2020). Global Standard for Nature-based Solutions. Gland, Switzerland: IUCN.

7. Mell, I. C. (2016). Global Green Infrastructure: Lessons for successful policy- making, investment and management. Routledge. (Phân tích sự biến đổi vai trò của KGX trên toàn cầu).

8. Sorensen, A., & Okata, J. (2010). Megacities: Urban Form, Governance, and Sustainability. Springer Science & Business Media. (Nghiên cứu về áp lực đô thị nén đối với không gian mở).

# Cây xanh đô thị - hạ tầng thiết yếu cho phát triển đô thị

> **KTS ĐINH ĐĂNG HẢI***

Trong bối cảnh đô thị hóa nhanh và tác động ngày càng nghiêm trọng của biến đổi khí hậu (BĐKH), các đô thị Việt Nam đang đối mặt với nhiều thách thức về môi trường, sức khỏe cộng đồng và khả năng chống chịu. Bài viết này tiếp cận cây xanh đô thị như một loại hạ tầng thiết yếu, hạ tầng xanh, phân tích vai trò của cây xanh trong phát triển đô thị xanh, bền vững và thích ứng với biến đổi khí hậu; tổng hợp thực tiễn tại một số đô thị Việt Nam và kinh nghiệm quốc tế; đồng thời đề xuất các định hướng chính sách nhằm tăng cường tích hợp, đầu tư và quản lý cây xanh đô thị một cách hệ thống, dài hạn và công bằng.

## 1. BỐI CẢNH VÀ VẤN ĐỀ

Quá trình đô thị hóa tại Việt Nam trong những thập kỷ qua đã đóng góp tích cực vào tăng trưởng kinh tế và cải thiện đời sống người dân. Tuy nhiên, sự phát triển nhanh chóng này cũng kéo theo nhiều thách thức, đặc biệt là suy giảm không gian xanh, gia tăng nhiệt độ đô thị, ô nhiễm môi trường, áp lực lên hệ thống hạ tầng kỹ thuật và sức khỏe cộng đồng.

Theo các báo cáo của Ủy ban Liên chính phủ về BĐKH (IPCC), BĐKH đang làm gia tăng tần suất và cường độ của các hiện tượng thời tiết cực đoan, trong đó các đô thị là khu vực chịu tác động nặng nề nhất do mật độ dân cư cao và bề mặt bê tông hóa lớn. Tại Việt Nam, các đô thị lớn như Hà Nội, TP.HCM, Đà Nẵng hay Cần Thơ đang ngày càng phải đối mặt với nắng nóng kéo dài, mưa lớn cục bộ, ngập úng và suy giảm chất lượng sống.

Trong bối cảnh đó, việc tiếp tục dựa chủ yếu vào các giải pháp công trình truyền thống như hệ thống thoát nước bê tông hóa, hệ thống điều hòa nhiệt độ nhân tạo, ngày càng bộc lộ hạn chế về chi phí, tính linh hoạt và hiệu quả dài hạn và không còn đủ đáp ứng yêu cầu phát triển bền vững. Nhiều tổ chức quốc tế như WHO, UN-Habitat đã khuyến nghị các quốc gia tăng cường áp dụng giải pháp dựa vào thiên nhiên (Nature- based Solutions), trong đó cây xanh đô thị được coi là một cấu phần hạ tầng thiết yếu, góp phần đồng thời giải quyết các mục tiêu môi trường, xã hội và kinh tế.

## 2. CÂY XANH ĐÔ THỊ - TỪ YẾU TỐ CẢNH QUAN ĐẾN HẠ TẦNG THIẾT YẾU

### 2.1. Cây xanh trong hệ thống hạ tầng xanh

Hạ tầng xanh được hiểu là mạng lưới các không gian tự nhiên và bán tự nhiên trong đô thị, có khả năng cung cấp các dịch vụ hệ sinh thái tương đương hoặc bổ trợ cho hạ tầng xám. Cây xanh đô thị bao gồm công viên, cây xanh đường phố, dải cây xanh ven sông, cây xanh trên mái nhà là cấu phần quan trọng nhất của hệ thống này.

Khác với cách tiếp cận truyền thống coi cây xanh là yếu tố trang trí hoặc phúc lợi bổ sung, cách tiếp cận hạ tầng xanh coi cây xanh là bộ phận không thể thiếu của cấu trúc đô thị, đóng vai trò như một hệ thống hạ tầng sinh thái cung cấp các dịch vụ thiết yếu cho môi trường, sức khỏe và khả năng vận hành bền vững của đô thị. Do đó, cây xanh đô thị cần được đầu tư, vận hành và bảo trì thường xuyên và lâu dài.

### 2.2. Các chức năng đa chiều của cây xanh đô thị

Cây xanh đô thị thực hiện đồng thời nhiều chức năng:

• Môi trường - khí hậu: giảm hiệu ứng đảo nhiệt, hấp thụ $CO_2$, cải thiện chất lượng không khí.

• Sinh thái: duy trì và phục hồi đa dạng sinh học trong đô thị.

• Xã hội và sức khỏe: tạo không gian công cộng, thúc đẩy vận động thể chất, cải thiện sức khỏe tinh thần.

• Kinh tế: nâng cao giá trị đất đai, giảm chi phí y tế và năng lượng.

• Thích ứng khí hậu: giảm ngập úng, tăng khả năng chống chịu trước nắng nóng và mưa lớn.

(*) *Cán bộ dự án cấp cao, Tổ chức HealthBridge*

Tổ chức Y tế Thế giới (WHO) nhấn mạnh rằng tiếp cận không gian xanh chất lượng là một yếu tố quan trọng của sức khỏe đô thị và công bằng xã hội. Cây xanh cần được coi là đầu tư hạ tầng chứ không phải chi phí trang trí.

## 3. VAI TRÒ CỦA CÂY XANH ĐÔ THỊ TRONG THÍCH ỨNG VỚI BĐKH

### 3.1. Giảm hiệu ứng đảo nhiệt đô thị

Hiệu ứng đảo nhiệt đô thị là hiện tượng nhiệt độ tại khu vực đô thị cao hơn đáng kể so với vùng nông thôn xung quanh, chủ yếu do mật độ cao của các bề mặt bê tông, nhựa đường và công trình xây dựng có khả năng hấp thụ và tích trữ nhiệt lớn, trong khi diện tích cây xanh và mặt nước bị suy giảm. Tại các thành phố đang phát triển nhanh, hiệu ứng này trở nên nghiêm trọng hơn do quá trình đô thị hóa diễn ra nhanh chóng, vượt trước năng lực kiểm soát quy hoạch và hạ tầng môi trường.

Cây xanh đô thị góp phần giảm hiệu ứng đảo nhiệt thông qua hai cơ chế chính. Thứ nhất, che phủ và tạo bóng mát, giúp hạn chế bức xạ mặt trời trực tiếp lên bề mặt đường sá, nhà ở và không gian công cộng, từ đó làm giảm nhiệt độ bề mặt và nhiệt độ không khí xung quanh. Thứ hai, quá trình thoát hơi nước của cây xanh (evapotranspiration) hấp thụ nhiệt từ môi trường, tạo hiệu ứng làm mát tự nhiên, đặc biệt hiệu quả trong điều kiện khí hậu nhiệt đới. (Hình 1)

Nhiều nghiên cứu quốc tế cho thấy các khu vực có mật độ cây xanh cao có thể giảm nhiệt độ không khí từ 2 - 4°C so với các khu vực bê tông hóa cao, đồng thời làm giảm nhu cầu sử dụng năng lượng cho làm mát công trình (Lin, 2010). Đối với các khu dân cư mật độ cao, nơi tập trung đông các nhóm dễ bị tổn thương như người cao tuổi, trẻ em và người thu nhập thấp, vai trò làm mát của cây xanh có ý nghĩa đặc biệt quan trọng trong bối cảnh các đợt nắng nóng cực đoan ngày càng gia tăng do BĐKH.

Việc tăng cường cây xanh đường phố, công viên quy mô nhỏ, dải cây xanh trong khu dân cư cần được coi là một giải pháp ưu tiên nhằm giảm đảo nhiệt đô thị và bảo vệ sức khỏe cộng đồng, thay vì chỉ tập trung vào các công viên lớn ở khu vực ven đô.

### 3.2. Hỗ trợ quản lý nước mưa và giảm ngập

Cây xanh, thảm thực vật và các bề mặt đất thấm nước đóng vai trò quan trọng trong quản lý nước mưa bền vững tại đô thị, đặc biệt trong bối cảnh BĐKH làm gia tăng các trận mưa lớn cục bộ. Thông qua hệ thống rễ, lớp đất trồng và thảm thực vật phủ bề mặt, cây xanh giúp tăng khả năng thấm, giữ và làm chậm dòng chảy của nước mưa, qua đó làm giảm lượng nước chảy tràn trực tiếp vào hệ thống cống thoát nước.

Cụ thể, các không gian xanh như công viên, dải cây xanh ven đường, vườn mưa và mặt đất chưa bê tông hóa có khả năng trữ nước tạm thời, cho phép nước mưa thấm dần xuống tầng đất bên dưới hoặc bốc hơi trở lại khí quyển. Cơ chế này giúp giảm đỉnh dòng chảy, hạn chế tình trạng quá tải của hệ thống thoát nước trong thời gian mưa lớn, đồng thời góp phần giảm nguy cơ ngập úng cục bộ. (Hình 2)

Đối với các đô thị Việt Nam, nơi hệ thống thoát nước nhiều khu vực đã cũ, chưa đồng bộ và chịu áp lực lớn từ quá trình bê tông hóa, việc tăng cường cây xanh và bề mặt thấm nước là một giải pháp chi phí hiệu quả, bổ trợ quan trọng cho hạ tầng thoát nước truyền thống. Các giải pháp này đặc biệt phù hợp với điều kiện mưa lớn trong thời gian ngắn, thường xuyên xảy ra tại các đô thị nhiệt đới gió mùa.

Cần tích hợp cây xanh, bề mặt thấm nước và các giải pháp thoát nước bền vững vào quy hoạch và thiết kế đô thị, coi đây là một phần của hạ tầng thoát nước, thay vì chỉ phụ thuộc vào mở rộng cống và kênh mương.

**3.3. Tăng khả năng chống chịu của cộng đồng**

Không gian xanh đô thị đóng vai trò như một "vùng đệm khí hậu" (climate buffer), giúp giảm thiểu tác động trực tiếp của các hiện tượng thời tiết cực đoan đối với con người, đặc biệt là các nhóm dễ bị tổn thương. Thông qua khả năng điều hòa vi khí hậu, tạo bóng mát và cải thiện chất lượng không khí, không gian xanh giúp giảm mức độ phơi nhiễm của người dân với nắng nóng kéo dài, ô nhiễm không khí và các rủi ro liên quan đến BĐKH.

Người cao tuổi và trẻ em là những nhóm có khả năng thích ứng thấp hơn, dễ bị ảnh hưởng bởi nắng nóng và các bệnh liên quan đến nhiệt. Trong khi đó, người thu nhập thấp thường sinh sống tại các khu vực có mật độ xây dựng cao, thiếu không gian xanh, điều kiện nhà ở hạn chế và ít khả năng tiếp cận các giải pháp làm mát nhân tạo. Do đó, việc thiếu không gian xanh làm gia tăng bất bình đẳng về sức khỏe và mức độ tổn thương trước BĐKH trong đô thị.

Các nghiên cứu của WHO và UN-Habitat cho thấy việc tiếp cận không gian xanh chất lượng không chỉ giúp giảm nguy cơ bệnh tật liên quan đến nhiệt và ô nhiễm, mà còn góp phần cải thiện sức khỏe tinh thần, tăng cường gắn kết xã hội và khả năng tự hỗ trợ của cộng đồng trong các tình huống khẩn cấp. Trong bối cảnh đó, phát triển không gian xanh đô thị cần được coi là một giải pháp thích ứng với biến đổi khí hậu mang tính bao trùm, đồng thời là công cụ quan trọng để thúc đẩy công bằng xã hội và sức khỏe cộng đồng.

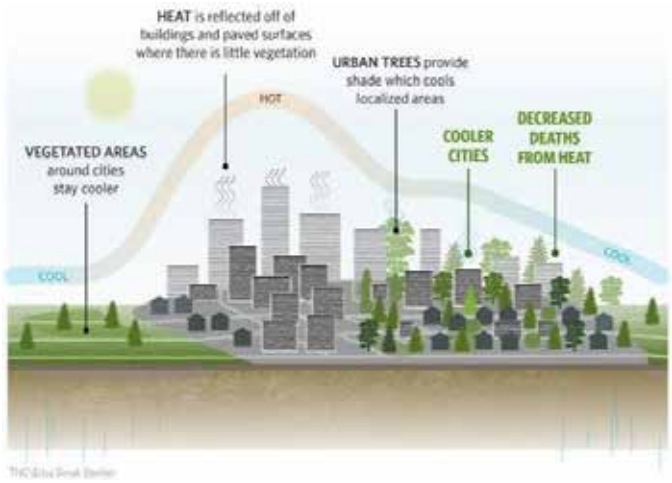
Ưu tiên phát triển và phân bổ công bằng không gian xanh tại các khu dân cư mật độ cao, khu vực có thu nhập thấp và các nhóm dễ bị tổn thương, nhằm nâng cao khả năng chống chịu đô thị và giảm bất bình đẳng do biến đổi khí hậu.

## 4. THỰC TIỄN PHÁT TRIỂN CÂY XANH ĐÔ THỊ TẠI VIỆT NAM

**4.1. Một số kinh nghiệm từ các đô thị**

Tại Hà Nội, hệ thống cây xanh đường phố, công viên và hồ nước như Hồ Gươm, Hồ Tây, công viên Thống Nhất, công viên Cầu Giấy… đóng vai trò quan trọng trong điều hòa vi khí hậu và tạo không gian công cộng cho người dân. Các hàng cây xanh dọc theo các trục phố chính không chỉ góp phần giảm nhiệt và cải thiện chất lượng không khí, mà còn tạo điều kiện thuận lợi cho đi bộ và các hoạt động ngoài trời. Tuy nhiên, trước áp lực đô thị hóa nhanh, diện tích cây xanh bình quân đầu người tại Hà Nội vẫn thấp hơn đáng kể so với khuyến nghị của Tổ chức Y tế Thế giới, 9 m2/ người, đồng thời phân bố chưa đồng đều giữa các khu vực trung tâm và khu vực phát triển mới, đặt ra yêu cầu cấp thiết về bảo vệ và mở rộng không gian xanh đô thị.

Tại TP.HCM, thành phố chịu ảnh hưởng nặng nề của ngập úng và biến đổi khí hậu, các dự án cải tạo kênh rạch kết hợp phát triển cây xanh và không gian công cộng đã bước đầu mang lại những kết quả tích cực. Việc cải tạo các tuyến kênh như Nhiêu Lộc - Thị Nghè cho thấy tiềm năng của hạ tầng xanh trong việc cải thiện môi trường nước, giảm ngập cục bộ, đồng thời nâng cao chất lượng sống cho cư dân đô thị. Các dải cây xanh ven kênh đóng vai trò như hành lang sinh thái




*Hình 1. So sánh nhiệt độ bề mặt khu vực có cây xanh và khu vực bê tông hóa. (Nguồn: Sharmin Fatema Sonia - Fatema, 2019)*

và không gian sinh hoạt cộng đồng, góp phần tăng khả năng thích ứng của đô thị trước các đợt mưa lớn và triều cường. (Hình 3)

Đối với Đà Nẵng, phát triển không gian xanh được lồng ghép chặt chẽ với bảo tồn hệ sinh thái ven biển và ven sông, cũng như định hướng phát triển du lịch bền vững. Các công viên ven sông Hàn, không gian xanh dọc bờ biển và khu vực bán đảo Sơn Trà vừa góp phần điều hòa khí hậu đô thị, vừa bảo vệ các hệ sinh thái tự nhiên có giá trị cao. Cách tiếp cận này giúp Đà Nẵng khai thác lợi ích kinh tế từ du lịch, đồng thời duy trì vai trò của cây xanh như một hạ tầng sinh thái quan trọng trong thích ứng với BĐKH. (Hình 4)

Tại Cần Thơ và các đô thị vùng ĐBSCL, cây xanh gắn liền với hệ thống sông nước, kênh rạch và không gian mở có vai trò đặc biệt trong thích ứng với ngập lụt và nước biển dâng. Các hàng cây ven sông, vườn cây đô thị và không gian xanh trong khu dân cư không chỉ giúp giảm nhiệt, cải thiện vi khí hậu mà còn hỗ trợ điều tiết nước, hạn chế xói lở và tăng khả năng chống chịu của cộng đồng trước các tác động khí hậu ngày càng gia tăng.

Bên cạnh các nỗ lực của chính quyền địa phương, các nghiên cứu và dự án do HealthBridge Việt Nam và các đối tác triển khai tại nhiều đô thị cho thấy việc tích hợp cây xanh với giao thông an toàn, không gian công cộng và sức khỏe cộng đồng mang lại lợi ích đa chiều. Các sáng kiến cải tạo đường phố theo hướng an toàn, thân thiện với người đi bộ và trẻ em, kết hợp trồng cây và tổ chức lại không gian công cộng, không chỉ góp phần cải thiện an toàn giao thông mà còn nâng cao chất lượng môi trường đô thị và sức khỏe người dân. Những kinh nghiệm này cho thấy tiềm năng lớn của cách tiếp cận liên ngành, trong đó cây xanh đô thị được coi là cầu nối giữa quy hoạch, giao thông, môi trường và y tế công cộng.

**4.2. Những hạn chế**

Mặc dù nhiều đô thị Việt Nam đã có những nỗ lực đáng

*Hình 2. Vườn mưa trên đại lộ Burlingame, Donnelly - California, Mỹ. (Nguồn: flowstobay.org)*

*Hình 3. Cây xanh đường phố tạo bóng mát trên phố Phan Đình Phùng, Hà Nội.*

ghi nhận trong phát triển cây xanh đô thị, thực tiễn cho thấy quá trình này đang đối mặt với nhiều hạn chế mang tính hệ thống, ảnh hưởng đến hiệu quả và tính bền vững của các giải pháp hạ tầng xanh.

Thứ nhất, tình trạng thiếu quỹ đất dành cho cây xanh ngày càng nghiêm trọng. Áp lực phát triển đô thị, gia tăng dân số và nhu cầu sử dụng đất cho nhà ở, thương mại và hạ tầng kỹ thuật khiến quỹ đất dành cho cây xanh ngày càng bị thu hẹp, đặc biệt tại các khu vực trung tâm và khu dân cư mật độ cao. Trong nhiều trường hợp, đất quy hoạch cho cây xanh bị điều chỉnh mục đích sử dụng hoặc phân tán thành các mảng nhỏ, khó phát huy hiệu quả điều hòa vi khí hậu và cung cấp không gian công cộng. Việc thiếu cơ chế bảo vệ quỹ đất xanh làm gia tăng nguy cơ mất cân bằng sinh thái và suy giảm chất lượng sống đô thị.

Thứ hai, cây xanh đô thị chưa được coi là hạ tầng ưu tiên trong quy hoạch và đầu tư. Trong thực tế, cây xanh thường được xem là yếu tố phụ trợ, chỉ được triển khai sau khi các hạng mục hạ tầng cứng đã hoàn thiện. Cách tiếp cận này dẫn đến việc cây xanh bị cắt giảm khi thiếu kinh phí hoặc không gian, đồng thời hạn chế khả năng tích hợp với các giải pháp giao thông, thoát nước và không gian công cộng. Việc chưa coi cây xanh là hạ tầng thiết yếu cũng khiến quá trình đầu tư thiếu tính chiến lược và dài hạn.

Thứ ba, thiếu cơ chế tài chính và bảo trì dài hạn cho cây xanh đô thị. Nguồn lực tài chính dành cho trồng mới, chăm sóc và bảo vệ cây xanh còn hạn chế và thiếu ổn định. Trong nhiều đô thị, kinh phí chủ yếu tập trung cho giai đoạn đầu tư ban đầu, trong khi công tác quản lý, duy tu và bảo trì, yếu tố quyết định hiệu quả lâu dài của hạ tầng xanh, chưa được quan tâm đúng mức. Bên cạnh đó, việc thiếu các cơ chế tài chính sáng tạo, như hợp tác công - tư hoặc huy động nguồn lực xã hội, làm hạn chế khả năng mở rộng và nâng cao chất lượng không gian xanh.

Thứ tư, sự tham gia của cộng đồng trong phát triển và bảo vệ cây xanh còn hạn chế. Người dân tại nhiều khu vực đô thị vẫn chưa được tham gia đầy đủ vào quá trình thiết kế, quản lý và giám sát không gian xanh. Điều này dẫn đến tình trạng một số không gian xanh ít được sử dụng, xuống cấp hoặc bị lấn chiếm. Thiếu sự gắn kết giữa cộng đồng và không gian xanh cũng làm giảm tính bền vững của các sáng kiến hạ tầng xanh, trong khi các nghiên cứu quốc tế cho thấy những mô hình có sự tham gia của cộng đồng thường đạt hiệu quả cao hơn và lâu dài hơn.

Thứ năm, việc lựa chọn và quản lý cây xanh đô thị chưa chú trọng đầy đủ đến cây bản địa và bảo tồn đa dạng sinh học địa phương. Tại nhiều đô thị ở Việt Nam, việc lựa chọn cây xanh để trồng thường theo tiêu chí sinh trưởng nhanh, hình thức đẹp hoặc dễ quản lý, dẫn đến việc ưu tiên các loài cây ngoại lai hoặc đơn loài, trong khi các loài cây bản địa - vốn thích nghi tốt với điều kiện khí hậu, thổ nhưỡng và hệ sinh thái địa phương - chưa được quan tâm đúng mức. Cách tiếp cận này không chỉ làm gia tăng chi phí chăm sóc, rủi ro sâu bệnh và gãy đổ trong điều kiện thời tiết cực đoan, mà còn hạn chế khả năng hỗ trợ đa dạng sinh học đô thị, như nơi cư trú và nguồn thức ăn cho chim, côn trùng thụ phấn và các loài bản địa khác. Việc thiếu lồng ghép mục tiêu bảo tồn đa dạng sinh học vào quy hoạch và phát triển cây xanh khiến hạ tầng xanh chưa phát huy đầy đủ vai trò như một hệ thống sinh thái đô thị, làm suy giảm tính bền vững và khả năng thích ứng lâu dài của đô thị trước BĐKH.

Việc khắc phục các hạn chế nêu trên đòi hỏi sự thay đổi căn bản trong tư duy và cách tiếp cận chính sách, từ coi cây xanh là yếu tố bổ trợ sang coi cây xanh là hạ tầng thiết yếu, cần được bảo vệ bằng quy hoạch, đầu tư bằng ngân sách ổn định và quản lý với sự tham gia của cộng đồng.

## 5. KINH NGHIỆM QUỐC TẾ

Thực tiễn quốc tế cho thấy nhiều thành phố trên thế giới đã coi cây xanh và hạ tầng xanh là trụ cột trong chiến lược

phát triển đô thị bền vững và thích ứng với BĐKH. Các kinh nghiệm này nhấn mạnh vai trò của tầm nhìn dài hạn, cam kết chính sách nhất quán và cách tiếp cận quản trị đa ngành.

Singapore: Chiến lược "Thành phố trong vườn" (City in a Garden). Singapore là một trong những điển hình thành công nhất về tích hợp cây xanh vào mọi cấp độ quy hoạch và phát triển đô thị. Thay vì coi cây xanh là không gian riêng lẻ, Singapore xây dựng tầm nhìnn "Thành phố trong vườn", trong đó cây xanh được lồng ghép xuyên suốt từ quy hoạch tổng thể, thiết kế đô thị, giao thông đến kiến trúc công trình. Hệ thống công viên, hành lang xanh, cây xanh đường phố, vườn trên mái và tường xanh tạo thành một mạng lưới hạ tầng xanh liên tục, góp phần giảm hiệu ứng đảo nhiệt đô thị, cải thiện chất lượng không khí và nâng cao khả năng chống chịu với mưa lớn. Đáng chú ý, chiến lược này được hỗ trợ bởi khung chính sách rõ ràng, nguồn lực tài chính ổn định và hệ thống quản lý, bảo trì chuyên nghiệp.

Seoul (Hàn Quốc): Phục hồi suối Cheonggyecheon, từ hạ tầng xám sang hạ tầng xanh. Dự án phục hồi suối Cheonggyecheon tại Seoul là minh chứng tiêu biểu cho việc tái thiết không gian đô thị theo hướng lấy thiên nhiên làm trung tâm. Việc tháo dỡ tuyến đường cao tốc trên cao và khôi phục dòng suối tự nhiên không chỉ giúp giảm nhiệt độ khu vực trung tâm từ 2 - 4°C trong những ngày nắng nóng, mà còn cải thiện chất lượng không khí, tăng đa dạng sinh học và tạo ra không gian công cộng chất lượng cao cho người dân. Dự án này cho thấy vai trò của hạ tầng xanh trong việc đồng thời giải quyết các vấn đề về khí hậu, môi trường và chất lượng sống đô thị, đồng thời khẳng định tầm quan trọng của quyết tâm chính trị và sự đồng thuận xã hội trong các dự án cải tạo quy mô lớn.

Châu Âu: Hạ tầng xanh như trụ cột của thích ứng BĐKH. Tại nhiều quốc gia châu Âu, đặc biệt là Đức, Hà Lan, Đan Mạch và Pháp, hạ tầng xanh được tích hợp chính thức vào các chiến lược thích ứng với BĐKH và phát triển đô thị bền vững. Các thành phố chú trọng phát triển mạng lưới công viên, không gian xanh đa chức năng, mái xanh, hành lang sinh thái và giải pháp dựa vào thiên nhiên. Cây xanh không chỉ được đánh giá về giá trị thẩm mỹ, mà còn được lượng hóa về lợi ích kinh tế - xã hội, như giảm chi phí y tế, giảm thiệt hại do ngập lụt và nâng cao sức khỏe cộng đồng. Việc lồng ghép hạ tầng xanh vào quy hoạch sử dụng đất, giao thông và nhà ở giúp tăng tính chống chịu của đô thị trước các cú sốc khí hậu.

Bài học rút ra từ kinh nghiệm quốc tế. Các kinh nghiệm quốc tế cho thấy, thành công trong phát triển cây xanh đô thị phụ thuộc trước hết vào cam kết chính sách dài hạn và cách tiếp cận quản trị đa ngành, trong đó các lĩnh vực quy hoạch, xây dựng, giao thông, môi trường và y tế công cộng cần được phối hợp chặt chẽ. Bên cạnh đó, việc coi cây xanh là một dạng hạ tầng thiết yếu, tương đương với giao thông hay thoát nước, giúp đảm bảo nguồn lực đầu tư ổn định và duy trì hiệu quả lâu dài. Đây là những bài học quan trọng để Việt Nam tham khảo trong quá trình xây dựng các chính sách và chương trình phát triển đô thị xanh, bền vững và thích ứng với BĐKH.

## 6. ĐỊNH HƯỚNG VÀ KHUYẾN NGHỊ CHÍNH SÁCH CHO VIỆT NAM

Trong bối cảnh đô thị hóa nhanh và tác động ngày càng nghiêm trọng của BĐKH, việc phát triển cây xanh đô thị cần được nâng tầm từ các giải pháp đơn lẻ sang một chiến lược chính sách mang tính hệ thống, dài hạn và đa ngành. Trên cơ sở kinh nghiệm trong nước và quốc tế, bài tham luận đề xuất một số định hướng và khuyến nghị chính sách cụ thể như sau:

### 6.1. Thể chế hóa cây xanh như hạ tầng thiết yếu trong hệ thống pháp luật và quy hoạch

Ở cấp trung ương, cần khẳng định rõ vị thế của cây xanh đô thị như một dạng hạ tầng thiết yếu, tương đương với giao thông, cấp thoát nước và năng lượng, trong các luật và chiến lược phát triển đô thị, môi trường và ứng phó với BĐKH. Việc này có thể được thực hiện thông qua việc rà soát, bổ sung các quy định liên quan trong Luật Quy hoạch, Luật Xây dựng, Luật Bảo vệ môi trường và các chiến lược tăng trưởng xanh, phát triển bền vững.

Đối với các bộ, ngành liên quan như Bộ Xây dựng, Bộ NN&MT, Bộ Y tế…, cần tăng cường phối hợp liên ngành trong xây dựng quy chuẩn, tiêu chuẩn kỹ thuật về cây xanh, không gian xanh và hạ tầng xanh, bảo đảm cây xanh được tích hợp ngay từ giai đoạn quy hoạch, thiết kế và đầu tư dự án.

Ở cấp địa phương, UBND các tỉnh thành cần cụ thể hóa các quy định này trong quy hoạch chung, quy hoạch phân khu và các chương trình phát triển đô thị, tránh tình trạng cây xanh bị coi là hạng mục bổ trợ, dễ bị cắt giảm khi thiếu nguồn lực.

### 6.2. Bảo vệ và mở rộng quỹ đất xanh, đặc biệt tại các khu vực đô thị hóa nhanh

Cần thiết lập các cơ chế pháp lý và hành chính nhằm bảo vệ nghiêm ngặt quỹ đất dành cho cây xanh, đặc biệt tại các khu vực đang chịu áp lực đô thị hóa cao. Ở cấp trung ương, cần có hướng dẫn cụ thể về tỷ lệ đất cây xanh tối thiểu và cơ chế giám sát việc thực hiện tại địa phương.

Tích hợp quy hoạch cây xanh với mạng lưới sinh thái đô thị (hành lang xanh, mặt nước, công viên, không gian mở) nhằm tạo sự liên kết sinh cảnh thay vì các mảng xanh rời rạc. Các địa phương, đặc biệt là các thành phố lớn, cần ưu tiên phát triển không gian xanh tại các khu dân cư mật độ cao, khu vực có nhóm dân cư dễ bị tổn thương và các khu tái phát triển đô thị. Việc tận dụng các quỹ đất nhỏ, đất xen kẹt, hành lang sông, kênh rạch và không gian ven hạ tầng giao thông để phát triển cây xanh đa chức năng là một hướng đi khả thi trong điều kiện quỹ đất hạn chế.

### 6.3. Bảo đảm đầu tư tài chính ổn định cho trồng, quản lý và bảo trì cây xanh

Cây xanh đô thị chỉ phát huy hiệu quả khi được đầu tư và quản lý một cách liên tục và dài hạn. Do đó, cần chuyển từ cách tiếp cận đầu tư ngắn hạn sang cơ chế tài chính ổn định, bao gồm ngân sách thường xuyên cho trồng mới, chăm sóc, duy tu và thay thế cây xanh.

Bên cạnh nguồn ngân sách nhà nước, cần khuyến khích các hình thức huy động nguồn lực xã hội, như hợp tác công

*Hình 4. Cánh đồng hoa tại công viên Thủ Đức - TP.HCM.*

- tư, tài trợ doanh nghiệp và các quỹ môi trường, nhằm mở rộng và nâng cao chất lượng không gian xanh. Việc đánh giá và lượng hóa lợi ích kinh tế - xã hội của cây xanh như giảm chi phí y tế, giảm thiệt hại do ngập, cải thiện sức khỏe cộng đồng, sẽ giúp củng cố cơ sở cho các quyết định đầu tư.

**6.4. Ưu tiên các giải pháp dựa vào thiên nhiên trong thích ứng với BĐKH**

Các giải pháp dựa vào thiên nhiên (Nature-based Solutions), trong đó cây xanh và không gian xanh đóng vai trò trung tâm, cần được ưu tiên trong các chiến lược thích ứng với BĐKH ở cả cấp quốc gia và địa phương. Những giải pháp này không chỉ giúp giảm ngập, giảm nhiệt và cải thiện môi trường, mà còn mang lại lợi ích đồng thời về đa dạng sinh học, sức khỏe cộng đồng và chất lượng sống đô thị.

Các bộ, ngành và địa phương cần lồng ghép hạ tầng xanh vào các chương trình phòng chống thiên tai, thích ứng với BĐKH và phát triển đô thị bền vững, thay vì chỉ dựa vào các giải pháp công trình cứng truyền thống.

**6.5. Tăng cường sự tham gia của cộng đồng và khu vực tư nhân**

Sự tham gia của cộng đồng là yếu tố then chốt để bảo đảm tính bền vững của các không gian xanh đô thị. Cần tạo điều kiện để người dân tham gia vào quá trình thiết kế, quản lý và giám sát không gian xanh tại khu dân cư, trường học và nơi làm việc. Các mô hình đồng quản lý, vườn cộng đồng và không gian xanh gắn với sinh hoạt hàng ngày có thể góp phần nâng cao ý thức bảo vệ môi trường và tăng tính gắn kết xã hội.

Song song với đó, khu vực tư nhân cần được khuyến khích tham gia thông qua các cơ chế ưu đãi, trách nhiệm xã hội doanh nghiệp và các sáng kiến hợp tác công - tư trong phát triển không gian xanh. Điều này không chỉ giúp giảm gánh nặng cho ngân sách nhà nước, mà còn thúc đẩy đổi mới sáng tạo trong quản lý và sử dụng cây xanh đô thị.

## 7. KẾT LUẬN

Cây xanh đô thị không chỉ là yếu tố cảnh quan mà là hạ tầng thiết yếu cho các đô thị Việt Nam trong tiến trình phát triển xanh, bền vững và thích ứng với BĐKH. Việc thay đổi tư duy chính sách, từ "bổ sung" sang "hạ tầng", từ ngắn hạn sang dài hạn, sẽ quyết định chất lượng sống và khả năng chống chịu của các đô thị trong tương lai.❖

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**


1. WHO (2016). Urban green spaces and health: A review of evidence. World Health Organization.
2. WHO (2022). Urban health and climate change.
3. UN-Habitat (2020). World Cities Report - The Value of Sustainable Urbanization.
4. UN-Habitat (2022). Enhancing Urban Climate Resilience through Nature-based
5. Solutions.IPCC (2022). AR6 Working Group II: Impacts, Adaptation and Vulnerability.
6. HealthBridge Việt Nam (nhiều năm). Các nghiên cứu và dự án về không gian công cộng, giao thông an toàn và sức khỏe đô thị tại Việt Nam.
7. Bộ Xây dựng (2021-2024). Các báo cáo và định hướng phát triển đô thị bền vững.
8. Chính phủ Việt Nam (2022). Chiến lược quốc gia về biến đổi khí hậu.
9. World Bank (2021). Enhancing Urban Resilience in Vietnam.
10. Fatema, S. (2019). Urban greening a strategy to adapt climate change in urban centers.
11. Lin, B.-S. &.-J. (2010). Cooling Effect of Shade Trees with Different Characteristics in a Subtropical Urban Park.

# Kinh nghiệm quốc tế về **quản lý rủi ro thiên tai dựa vào cộng đồng** và bài học cho Việt Nam

**GS.TS.KTS ĐỖ HẬU***

Bài báo đưa ra những khó khăn và hạn chế trong việc triển khai mô hình quản lý rủi ro thiên tai dựa vào cộng đồng (QLRRTTDVCĐ) ở Việt Nam và giới thiệu kinh nghiệm quốc tế về QLRRTTDVCĐ. Đây là mô hình có hiệu quả, giúp nâng cao tính chủ động, giảm thiểu thiệt hại và tăng khả năng phục hồi. Từ những kinh nghiệm quý báu về QLRRTTDVCĐ ở Philippines, Bangladesh và Nhật Bản, rút ra những bài học cho Việt Nam trong công tác phòng chống rủi ro thiên tai, nhằm giảm thiểu tác động của rủi ro thiên tai đến đời sống, xã hội, góp phần bảo vệ tính mạng và tài sản, hướng tới phát triển bền vững.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Biến đổi khí hậu (BĐKH) toàn cầu đang làm gia tăng tần suất và cường độ của các hiện tượng thời tiết cực đoan như: bão, lũ lụt, hạn hán, sạt lở đất, và nước biển dâng. Trước bối cảnh đó, tại nhiều quốc gia trên thế giới, quản lý rủi ro thiên tai (QLRRTTDVCĐ) dựa vào cộng đồng (Community-Based Disaster Risk Management - CBDRM) đã trở thành một hướng tiếp cận bền vững, nhằm nâng cao khả năng chống chịu của người dân, phát huy vai trò chủ động của cộng đồng địa phương.

Việt Nam là một trong những quốc gia chịu ảnh hưởng nặng nề nhất từ BĐKH. Tác động của BĐKH rất nghiêm trọng ảnh hưởng đến môi trường tự nhiên, kinh tế - xã hội và đời sống của người dân. Chính phủ Việt Nam đã xác định nâng cao năng lực cho các cộng đồng trong việc ứng phó với BĐKH là một ưu tiên quan trọng. Để thúc đẩy chương trình này, trước đây, Chính phủ đã phê duyệt Chiến lược quốc gia về ngăn ngừa, thích ứng và giảm thiểu thảm họa đến năm 2020, trong đó, nhấn mạnh ưu tiên hàng đầu vào việc ngăn chặn và giảm thiểu thảm họa thiên nhiên, tập trung vào các biện pháp phi cấu trúc như các biện pháp QLRRTTDVCĐ.

Mặc dù đã có nhiều tiến bộ đáng kể, các cách tiếp cận QLRRTTDVCĐ ở Việt Nam nhìn chung chưa nhận thức được các điều kiện môi trường và khí hậu đang thay đổi. Theo đó, các biện pháp QLRRTTDVCĐ thường bị giới hạn ở các dự án thí điểm độc lập, chưa được triển khai một cách rộng rãi tại các địa phương. Các bài học kinh nghiệm về QLRRTTDVCĐ tại Philippines, Bangladesh, Indonesia, Nhật Bản… sẽ là những bài học hữu ích cho cộng đồng dân cư ở Việt Nam giảm thiểu các thiệt hại từ rủi ro thiên tai.

## 2. KHÁI QUÁT VỀ QLRRTTDVCĐ

**2.1. Khái niệm:** QLRRTTDVCĐ là quá trình người dân tham gia chủ động vào tất cả các giai đoạn của QLRRTT, từ đánh giá, phân tích tình trạng dễ bị rủi ro của cộng đồng, xác định những rủi ro và giải pháp giảm thiểu rủi ro mà cộng đồng quan tâm nhất, lập kế hoạch phòng ngừa ứng phó với thiên tai, tham gia thực hiện, giám sát đến đánh giá kết quả với sự hỗ trợ kỹ thuật của các cơ quan nhà nước, tổ chức xã hội và quốc tế.

**2.2. Mục tiêu:** Giảm thiểu thiệt hại, nâng cao năng lực ứng phó và phục hồi sau thiên tai.

**2.3. Tầm quan trọng QLRRTTDVCĐ**

- Thu được thông tin đầy đủ và chính xác hơn nhờ vào những ý kiến và phản ánh thực tế của người dân địa phương;
- Quá trình tham gia sẽ nâng cao được khả năng của

*(*) Phó chủ tịch Hội Quy hoạch Phát triển Đô thị Việt Nam*

*Hình 1. Ngập lụt trong các khu dân cư ở Philippines năm 2024. (Nguồn: Ezra Acayan)*

cộng đồng;

- Thực hiện các chương trình đạt kết quả và nhanh chóng hơn khi cộng đồng tham gia đầy đủ và tích cực;
- Phân chia ngân sách chính xác hơn và đúng đối tượng cần giúp đỡ;
- Quy trình đưa ra quyết định sẽ hiệu quả hơn do có sự tham gia đông đủ của các thành viên trong cộng đồng (đặc biệt là nhóm dễ bị tổn thương nhất).

## 3. KINH NGHIỆM QUỐC TẾ VỀ QLRRTTDVCĐ

### 3.1. Philippines

Philippines là một trong những quốc gia chịu rủi ro thiên tai cao nhất thế giới do vị trí địa lý và điều kiện tự nhiên. Hằng năm, nước này phải đối mặt với nhiều loại hình thiên tai như bão nhiệt đới, lũ lụt, sạt lở đất, động đất, sóng thần và núi lửa.

Trước thực trạng đó, Philippines đã sớm chú trọng và phát triển mô hình QLRRTTDVCĐ (Community-Based Disaster Risk Management - CBDRM) nhằm giảm thiểu thiệt hại về người và tài sản, đồng thời nâng cao khả năng thích ứng của cộng đồng. Tại Philippines, CBDRM được xem là nền tảng quan trọng trong chiến lược QLRRTT quốc gia, đặc biệt sau khi ban hành Luật Quản lý và giảm nhẹ rủi ro thiên tai năm 2010. Luật này quy định cấp xã phải có Ủy ban Quản lý rủi ro thiên tai, với ngân sách tối thiểu 5% dành cho phòng chống và ứng phó thiên tai.

Philippines có nhiều kinh nghiệm trong QLRRTTDVCĐ, tập trung vào việc nâng cao năng lực ứng phó và giảm thiểu tổn thương cho các cộng đồng dễ bị tổn thương. Kinh nghiệm này bao gồm việc trao quyền cho người dân địa phương tham gia tích cực vào các hoạt động từ đánh giá rủi ro thiên tai đến lập kế hoạch và triển khai các biện pháp giảm nhẹ, nhằm tăng cường khả năng phục hồi và chống chịu của cộng đồng trước các tác động của thiên tai.

Kinh nghiệm QLRRTT của Philippines bao gồm các biện pháp can thiệp được thực hiện trước, trong và sau thiên tai, nhằm ngăn ngừa, giảm thiểu tổn thất và đẩy nhanh quá trình khôi phục. Các hoạt động QLRRTTDVCĐ bao gồm:

- *Nâng cao nhận thức và giáo dục cộng đồng về thiên tai và rủi ro thiên tai:* Các chương trình phổ biến kiến thức được tổ chức thường xuyên tại cộng đồng, trường học và khu dân cư bao gồm: Tập huấn kỹ năng ứng phó với bão, lũ, động đất; Giáo dục về BĐKH và tác động của BĐKH; Lồng ghép nội dung phòng chống thiên tai vào chương trình học trong các trường phổ thông. Nhờ đó, người dân hiểu rõ hơn về các mối nguy hiểm và biết cách tự bảo vệ bản thân cũng như hỗ trợ người khác khi xảy ra thiên tai.
- *Đánh giá rủi ro thiên tai có sự tham gia của cộng đồng:* Philippines chú trọng việc để cộng đồng trực tiếp tham gia vào quá trình đánh giá rủi ro thiên tai. Người dân cùng với chính quyền địa phương triển khai các nội dung: Lập bản đồ nguy cơ thiên tai tại khu vực ở; Xác định các khu vực dễ bị tổn thương; Thống kê nhóm dân cư dễ bị ảnh hưởng như trẻ em, người già, người khuyết tật trong từng khu dân cư. Hoạt động này giúp các biện pháp phòng ngừa và ứng phó phù hợp hơn với điều kiện thực tế của từng địa phương.
- *Xây dựng và thực hiện kế hoạch phòng ngừa, ứng phó thiên tai:* Trên cơ sở đánh giá rủi ro thiên tai, các cộng đồng ở Philippines xây dựng kế hoạch quản lý thiên tai cụ thể,

*Hình 2. Ngập lụt tại Philippines năm 2009. (Nguồn: Richard Davies)*

bao gồm: Kế hoạch sơ tán dân khi có bão, lũ; Thành lập đội ứng phó khẩn cấp tại cộng đồng; Chuẩn bị điểm tránh trú an toàn và dự trữ nhu yếu phẩm. Người dân được phân công nhiệm vụ rõ ràng, giúp quá trình ứng phó diễn ra nhanh chóng và hiệu quả khi thiên tai xảy ra.

- *Xây dựng hệ thống cảnh báo sớm dựa vào cộng đồng:* Philippines phát triển nhiều mô hình cảnh báo sớm với sự tham gia của người dân như: Sử dụng loa phát thanh, tin nhắn điện thoại; Cử người theo dõi mực nước sông, thời tiết; Truyền thông tin kịp thời đến từng hộ gia đình. Nhờ hệ thống cảnh báo sớm, cộng đồng có thêm thời gian chuẩn bị và sơ tán, giảm đáng kể thiệt hại về người.

- *Phục hồi và tái thiết sau thiên tai:* Sau thiên tai, cộng đồng đóng vai trò quan trọng trong quá trình phục hồi, bao gồm: Tham gia sửa chữa nhà cửa, cơ sở hạ tầng; Khôi phục sinh kế như nông nghiệp, đánh bắt cá; Hỗ trợ tâm lý cho các nạn nhân. Cách tiếp cận này giúp cộng đồng nhanh chóng ổn định cuộc sống và tăng khả năng chống chịu trước các thiên tai trong tương lai.

Các yếu tố thành công rút ra từ Philippine trong QLRRTTDVCĐ đó là đã đặt cộng đồng vào vị trí trung tâm, kết hợp giữa kiến thức bản địa và khoa học hiện đại, đồng thời đảm bảo sự hỗ trợ lâu dài từ chính phủ và các tổ chức quốc tế. Một số hoạt động quan trọng Philippine đã triển khai tại các địa phương đó là: Xây dựng bản đồ rủi ro thiên tai tại cấp thôn/xã; Tập huấn và diễn tập định kỳ cho người dân; Có cơ chế tài chính linh hoạt, phân cấp mạnh cho địa phương.

**3.2. Bangladesh**

Bangladesh là một trong những quốc gia chịu rủi ro thiên tai cao nhất thế giới do vị trí địa lý thấp trũng, nằm ở vùng châu thổ thấp của các con sông lớn như Ganges, Brahmaputra và Meghna và mật độ dân số lớn. Các rủi ro thiên tai chính gồm: lũ lụt, bão nhiệt đới và nước biển dâng, sạt lở đất, xói lở, động đất, hạn hán. Trước những thách thức đó, Bangladesh đã phát triển và áp dụng hiệu quả mô hình QLRRTTDVCĐ, được cộng đồng quốc tế đánh giá cao.

Bangladesh có nhiều kinh nghiệm QLRRTTDVCĐ, trong đó tập trung vào việc trao quyền cho phụ nữ và huy động sự tham gia của cộng đồng vào các hoạt động giảm thiểu rủi ro. Các sáng kiến đã giúp cộng đồng chủ động xác định rủi ro, lập kế hoạch và thực hiện các giải pháp ứng phó như xây dựng đê, cải thiện bếp nấu để giảm khí thải và thích ứng với tình trạng xâm nhập mặn.

Kinh nghiệm QLRRTTDVCĐ của Bangladesh có thể kể đến các hoạt động sau:

- *Xây dựng mạng lưới cảnh báo sớm hiệu quả với sự tham gia của cộng đồng như:* Tình nguyện viên địa phương, Hệ thống loa truyền thanh, Cảnh báo qua điện thoại di động. Thông tin cảnh báo được truyền tải nhanh chóng, dễ hiểu và phù hợp với điều kiện địa phương.

- *Trao quyền cho phụ nữ và cộng đồng:* Các dự án phòng chống thiên tai thường do phụ nữ dẫn dắt, tập hợp các nhóm cộng đồng để tự đánh giá rủi ro, lập kế hoạch hành

*Hình 3. Thảm họa lũ lụt ở Bangladesh. (Nguồn: Fatima Tuj Johora)*

*Hình 4. Thảm họa sau bão ở Bangladesh. (Nguồn: UKIM)*

động và thực hiện các biện pháp giảm nhẹ.

- *Xây dựng các giải pháp thích ứng với biến đổi khí hậu* bao gồm việc sử dụng các kỹ thuật nông nghiệp bền vững, xây dựng công trình ngăn mặn và cải thiện hệ thống cung cấp nước ngọt.

- *Nâng cao nhận thức và năng lực:* Các hoạt động giúp cộng đồng nâng cao nhận thức về tác động của BĐKH và tăng cường năng lực ứng phó với thiên tai. Chương trình giáo dục phòng chống thiên tai được đưa vào các trường học, sinh hoạt cộng đồng, đào tạo nghề gắn với thích ứng khí hậu

- *Xây dựng cơ sở hạ tầng thích ứng với thiên tai:* Xây dựng nhà tránh bão đa năng phục vụ cộng đồng, xây dựng đường giao thông và nhà ở được nâng cao để chống ngập, sử dụng vật liệu địa phương, chi phí thấp.

Có thể thấy các yếu tố thành công trong QLRRTTDVCĐ ở Bangladesh đó là: Phát huy vai trò mạng lưới tình nguyện viên; Kết hợp truyền thống địa phương với khoa học kỹ thuật; Đưa yếu tố giới và nhóm dễ bị tổn thương vào kế hoạch quản lý rủi ro.

**3.3. Nhật Bản**

Nhật Bản nằm trên vành đai lửa Thái Bình Dương, nơi các mảng kiến tạo va chạm mạnh nên thường xuyên chịu động đất lớn. Khoảng 18,5% các trận động đất lớn toàn cầu (≥6 độ) xảy ra ở Nhật Bản, dù diện tích nước này rất nhỏ so với thế giới. Nhật Bản chịu ảnh hưởng của bão nhiệt đới và mưa xối xả dẫn đến nguy cơ ngập lụt, sạt lở đất và lũ quét cao, đặc biệt trong các khu vực miền núi và ven sông. Ngoài ra, Nhật Bản có nhiều núi lửa hoạt động, mưa tro bụi, dòng bùn núi lửa đã tác động đến sức khỏe của người dân và giao thông khi núi lửa lớn phun trào.

Kinh nghiệm của Nhật Bản trong QLRRTTDVCĐ bao gồm việc chú trọng giáo dục và diễn tập phòng chống thiên tai thường xuyên cho người dân, huy động cộng đồng tham gia tích cực vào quy trình quản lý rủi ro, và xây dựng hệ thống hỗ trợ lẫn nhau giữa các địa phương khi có thiên tai lớn xảy ra. Các hoạt động dược triển khai:

- *Giáo dục và diễn tập cộng đồng:* Nhật Bản rất coi trọng việc cung cấp kiến thức cho người dân về các biện pháp ứng phó với thiên tai, Diễn tập định kỳ: Tổ chức các buổi diễn tập sơ tán, ứng phó thiên tai hàng năm tại các khu dân cư, trường học và cơ quan để người dân làm quen với các tình huống có thể xảy ra.

- *Phân công trách nhiệm và huy động cộng đồng:* Cộng đồng chủ động tham gia vào việc xác định, phân tích rủi ro và lập kế hoạch ứng phó phù hợp với địa phương mình đồng thời người dân tham gia thực hiện, theo dõi và đánh giá các hoạt động giảm nhẹ rủi ro và tăng cường khả năng ứng phó của cộng đồng. Cộng đồng dân cư tự thành lập các nhóm phòng chống thiên tai, được chính quyền cấp kinh phí và huấn luyện kỹ năng ứng phó.

- *Hệ thống hỗ trợ liên địa phương:* Thông qua hoạt động chia sẻ nguồn lực và phối hợp ở cấp quốc gia. Khi xảy ra thảm họa quy mô lớn, các khu vực có thể hỗ trợ lẫn nhau bằng cách cung cấp thiết bị, vật liệu và nhân lực, bao gồm các thiết bị liên lạc vệ tinh và máy bơm thoát nước. Chính phủ Trung ương đóng vai trò đầu mối, hỗ trợ chính quyền địa phương trong việc khôi phục cơ sở hạ tầng thiết yếu như đê điều, đường sá, nhấn mạnh hiệu quả của hợp tác quy mô rộng trong các thảm họa lớn.

Thông qua những bài học kinh nghiệm ở Nhật Bản cho thấy yếu tố thành công trong QLRRTT dựa vào cộng đồng đó là: Xây dựng văn hóa phòng chống thiên tai gắn với giáo dục; Thực hiện diễn tập thường xuyên và liên tục cải tiến kế hoạch; Phối hợp chặt chẽ giữa chính quyền - doanh nghiệp - cộng đồng.

## 4. THỰC TRẠNG QLRRTTDVCĐ Ở VIỆT NAM VÀ BÀI HỌC RÚT RA CHO VIỆT NAM TỪ CÁC KINH NGHIỆM QUỐC TẾ

Việt Nam đã có những bước tiến đáng kể trong việc xây dựng khung pháp lý và thể chế cho QLRRTTDVCĐ. Luật Phòng, chống thiên tai (2013) cùng nhiều quyết định, đề án của Thủ tướng Chính phủ, điển hình là Đề án "Nâng cao nhận thức cộng đồng và quản lý rủi ro thiên tai dựa vào cộng đồng, đến năm 2030" (Quyết định số 553/

QĐ-TTg), đã tạo nền tảng quan trọng cho việc triển khai mô hình này trên phạm vi toàn quốc. Các đề án này nhấn mạnh vai trò của cộng đồng, việc lồng ghép QLRRTT vào kế hoạch phát triển kinh tế - xã hội, và nguyên tắc "bốn tại chỗ" (chỉ huy tại chỗ, lực lượng tại chỗ, phương tiện và vật tư tại chỗ, hậu cần tại chỗ). Nhiều dự án đã và đang được triển khai để thúc đẩy QLRRTTDVCĐ tại Việt Nam, với sự hỗ trợ của các tổ chức quốc tế và trong nước như UNDP, Hội Chữ thập đỏ, WB, GCF. Các dự án này tập trung vào việc đào tạo, tập huấn nâng cao năng lực cho cán bộ và người dân, xây dựng kế hoạch hành động, và tăng cường sự tham gia của cộng đồng. Đáng chú ý là Dự án "Tăng cường khả năng chống chịu với những tác động của BĐKH cho các cộng đồng dễ bị tổn thương ven biển Việt Nam" do GCF và UNDP hỗ trợ, đã tổ chức hàng trăm lớp tập huấn cho hàng chục ngàn người dân và cán bộ. Tuy nhiên, các dự án mới được triển khai ở một số ít các địa phương. Trong quá trình triển khai, chúng ta đã gặp nhiều khó khăn, thách thức như: Nhận thức của cán bộ địa phương và thành viên đội xung kích về các khía cạnh cụ thể của đánh giá rủi ro thiên tai, xây dựng kế hoạch, cũng như vai trò của cộng đồng trong giám sát và đánh giá, còn chưa đầy đủ. Kiến thức về các loại hình thiên tai, xu hướng và tác hại còn hạn chế, dẫn đến việc lập kế hoạch chưa thực sự hiệu quả; Thiếu hụt về kinh phí, thiếu cán bộ có chuyên môn, thiếu trang thiết bị là những rào cản lớn, đặc biệt ở các xã vùng cao, miền núi. Việc tập huấn, bồi dưỡng kiến thức và kỹ năng cho đội ngũ cán bộ phòng chống thiên tai và các đội xung kích còn chưa được thực hiện đầy đủ và thường xuyên; sự tham gia của người dân vào các hoạt động đánh giá rủi ro, xây dựng và thực hiện kế hoạch còn hạn chế; Việc thu thập, phân tích dữ liệu và sử dụng các công cụ đánh giá rủi ro thiên tai một cách khoa học, có sự tham gia của cộng đồng còn gặp nhiều khó khăn; Việc phối hợp giữa các cấp chính quyền, ban ngành, đoàn thể và các tổ chức phi chính phủ đôi khi còn chưa chặt chẽ, ảnh hưởng đến hiệu quả tổng thể của các hoạt động…

Từ đó cho thấy, những kinh nghiệm quốc tế nêu trên có giá trị tham khảo quan trọng cho nhiều quốc gia đang phát triển, trong đó có Việt Nam trong việc xây dựng cộng đồng an toàn và có khả năng chống chịu trước thiên tai. Những bài học rút ra cho Việt Nam trong QLRRTTDVCĐ, đó là:

1. Thành lập các tổ chức cộng đồng, tình nguyện viên tham gia QLRRTT ở cấp phường, xã/thôn. Tăng cường vai trò của tổ chức tôn giáo, thanh niên và phụ nữ trong QLRRTT.

2. Đẩy mạnh tuyên truyền, giáo dục trong cộng đồng dân cư, tập huấn và diễn tập định kỳ cho người dân về phòng chống rủi ro thiên tai.

3. Xây dựng năng lực cho cộng đồng, bao gồm việc đào tạo kiến thức, kỹ năng và công cụ cần thiết để đối phó với thiên tai. Tập trung vào các nhóm dễ bị tổn thương như phụ nữ, người già và trẻ em để đảm bảo họ được tham gia vào quá trình ra quyết định và có khả năng ứng phó tốt hơn trong trường hợp thiên tai. Việc ưu tiên các nhóm này giúp đảm bảo công bằng và hiệu quả trong công tác phòng chống thiên tai.

4. Kiến thức và kinh nghiệm của người dân địa phương là nguồn lực rất quan trọng trong việc xác định rủi ro, lập kế hoạch và thực hiện các biện pháp phòng chống thiên tai.

5. Xây dựng và vận hành các hệ thống cảnh báo sớm tại địa phương, kết hợp giữa công nghệ số hiện đại và kiến thức truyền thống bao gồm các phương tiện cảnh báo truyền thống như còi, trống, hoặc hệ thống cảnh báo âm thanh và tin nhắn SMS để đảm bảo các tín hiệu cảnh báo được truyền tải hiệu quả và kịp thời đến tất cả các thành viên trong cộng đồng.

6. Hỗ trợ cộng đồng trong quá trình phục hồi sau thiên tai, bao gồm việc cung cấp các nguồn lực cần thiết, hỗ trợ tái thiết nhà cửa và cơ sở hạ tầng. Khuyến khích cộng đồng tham gia vào quá trình xây dựng lại, đảm bảo họ có thể xây dựng lại tốt hơn và an toàn hơn.

7. Sự phối hợp chặt chẽ giữa cộng đồng và các cơ quan chính phủ là yếu tố quan trọng để xây dựng một hệ thống QLRRTT hiệu quả

8. Thể chế hóa mô hình QLRRTTDVCĐ trong quy hoạch phát triển địa phương.

9. Chuẩn bị nguồn lực tài chính trong đó có cơ chế tài chính linh hoạt và khuyến khích xã hội hóa,

10. Xã hội hóa nguồn lực, huy động doanh nghiệp và tổ chức phi chính phủ tham gia vào mô hình QLRRTTDVCĐ.

## 5. KẾT LUẬN

QLRRTTDVCĐ là hướng đi hiệu quả, giúp nâng cao tính chủ động, giảm thiểu thiệt hại và tăng khả năng phục hồi. Cả Việt Nam và nhiều quốc gia trên thế giới đều cho thấy mô hình này có thể phát huy sức mạnh của người dân nếu được hỗ trợ bởi chính sách, kỹ thuật, và nguồn lực phù hợp. Các mô hình QLRRTTDVCĐ ở Philippines, Bangladesh và Nhật Bản đã thể hiện rõ vai trò chủ động của người dân trong giảm nhẹ rủi ro và thích ứng với BĐKH. Mô hình này không chỉ góp phần bảo vệ tính mạng và tài sản mà còn hướng tới phát triển bền vững, là kinh nghiệm quý báu cho nhiều quốc gia đang phát triển, trong đó có Việt Nam.

Kinh nghiệm quốc tế cho thấy QLRRTTDVCĐ là một cách tiếp cận hiệu quả, bền vững và phù hợp với bối cảnh BĐKH ngày càng phức tạp. Việc đặt cộng đồng vào vị trí trung tâm không chỉ giúp nâng cao khả năng phòng ngừa, ứng phó và phục hồi sau thiên tai mà còn phát huy tối đa tri thức bản địa, tăng cường sự tham gia, tính chủ động và trách nhiệm của người dân. Các quốc gia thành công đều chú trọng xây dựng thể chế hỗ trợ, lồng ghép QLRRTT vào phát triển kinh tế - xã hội, tăng cường giáo dục - truyền thông, cũng như thúc đẩy sự phối hợp chặt chẽ giữa chính quyền, khu vực tư nhân, tổ chức xã hội và cộng đồng địa phương.

Đối với Việt Nam, những bài học rút ra từ kinh nghiệm quốc tế có ý nghĩa đặc biệt quan trọng trong bối cảnh

*Hình 5. Thảm họa động đất và sóng thần tại Nhật Bản năm 2011.*

nước ta thường xuyên chịu tác động của nhiều loại hình thiên tai. Để triển khai mô hình QLRRTTDVCĐ cần tiếp tục hoàn thiện khung pháp lý và cơ chế chính sách theo hướng trao quyền nhiều hơn cho cộng đồng; tăng cường đầu tư cho nâng cao năng lực, đào tạo kỹ năng và phổ biến kiến thức về QLRRTT ở cấp cơ sở; đồng thời lồng ghép hiệu quả QLRRTTDVCĐ vào các chương trình phát triển nông thôn, giảm nghèo và thích ứng với BĐKH. Bên cạnh đó, việc khuyến khích áp dụng khoa học - công nghệ, kết hợp hài hòa với kinh nghiệm truyền thống của người dân sẽ góp phần nâng cao tính thực tiễn và hiệu quả của các giải pháp, giảm thiểu đáng kể các rủi ro thiên tai trong cộng đồng dân cư.❖

*Hình 6. Tập huấn nâng cao nhận thức cho cộng đồng.*

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

[1] Bộ NN&PTNT. Tài liệu hướng dẫn đánh giá rủi ro thiên tai dựa vào cộng đồng. Hà Nội, 2014.

[2] Bộ NN&PTNT; Chương trình Phát triển Liên hiệp quốc (UNDP). Tài liệu quản lý rủi ro thiên tai dựa vào cộng đồng. 2015.

[3] Đỗ Hậu. Bài giảng "Quản lý rủi ro thiên tai dựa vào cộng đồng và ứng phó với thiên tai". 3/2022. Dự án: "Chương trình phát triển các đô thị loại II (các đô thị xanh) - Hợp phần sáng kiến do cộng đồng khởi xướng".

[4] Tổng cục Phòng chống thiên tai. Sổ tay hướng dẫn lồng ghép giới trong công tác quản lý rủi ro thiên tai dựa vào cộng đồng. Hà Nội, 2017.

[5] Republic Act No. 10121. Philippine Disaster Risk Reduction and Management Act of 2010.

[6] National Disaster Risk Reduction and Management Council (NDRRMC). (2020). National Disaster Risk Reduction and Management Plan (NDRRMP) 2020 - 2030. Quezon City, Philippines.

[7] Sohel Rana & Abdul Rahman. (2023). Community-Based Disaster Risk Management: A Good Practice of Rural Bangladesh.

[8] Community-Based Disaster Risk Management in Japan - A Lesson Learned for Vietnam. ADRC Visiting Researcher Report, Kobe, 2023.

# Ý tưởng ứng dụng mô hình "**đô thị xốp**" vào việc xây dựng lại các khu tập thể cũ

**KTS NGUYỄN VĂN THU**

Với mục tiêu giải quyết các vấn đề đô thị hiện nay như ô nhiễm môi trường, ngập lụt, thiếu không gian xanh, không gian công cộng... HGAA đề xuất ý tưởng xây dựng "đô thị xốp", biến mỗi dự án thành một điểm xanh, mỗi tuyến đường thành một tuyến xanh, mỗi công viên thành một mảng xanh...

Trong cuộc thi "Thiết kế mẫu nhà ở xã hội - hướng tới giải pháp bền vững" do Hội Kiến trúc sư Việt Nam tổ chức vừa qua, Văn phòng Kiến trúc HGAA Architects đã nghiên cứu và đề xuất ý tưởng ứng dụng mô hình "đô thị xốp" vào việc xây dựng lại các khu tập thể cũ Hà Nội, thí điểm là khu tập thể Kim Liên, với mong muốn sẽ đóng góp tích cực vào việc giải quyết các vấn đề của đô thị Hà Nội hiện nay. Đồ án này đã được BGK cuộc thi trao giải Khuyến khích.

## 1. CÁC VẤN ĐỀ NHÀ Ở HIỆN NAY

### 1.1. Hiện trạng đô thị

Trong bối cảnh đô thị hóa, Hà Nội đang trải qua sự phát triển mạnh mẽ với các đặc điểm như gia tăng dân số, mở rộng địa giới hành chính và sự hình thành các khu đô thị mới… Dân số tăng mạnh cùng với nhu cầu nhà ở, hạ tầng và dịch vụ công cộng đã thúc đẩy hàng loạt dự án xây dựng, khu đô thị mới và mạng lưới giao thông lớn nhỏ. Tuy nhiên, tốc độ phát triển này lại vượt xa khả năng kiểm soát quy hoạch và quản lý đô thị, dẫn đến nhiều vấn đề nổi bật: Mạng lưới giao thông không đáp ứng đủ nhu cầu, dẫn đến ùn tắc nghiêm trọng, khói bụi, ô nhiễm không khí; Khu nhà ống, chung cư mini, khu tập thể có hệ thống phòng cháy chữa cháy kém, khó tiếp cận khi xảy ra hỏa hoạn; Tình trạng xe máy, ôtô lấn chiếm lòng đường, vỉa hè, gây cản trở giao thông và mất mỹ quan đô thị; Hệ thống thoát nước yếu kém, bề mặt đô thị bị bê tông hóa khiến ngập úng tái diễn mỗi khi mưa lớn; Các khu tập thể cũ xuống cấp trầm trọng, nguy cơ mất an toàn và ảnh hưởng đến đời sống cư dân. Đất bị khai thác tối đa, khiến không gian sống bí bách, thiếu tiện nghi và ngột ngạt.

### 1.2. Hiện trạng nhà ở

Nhà ống. Diện tích nhỏ (khoảng 30 m$^2$, thường 3 m x 10 m), mặt tiền hẹp, chiều sâu lớn. Dù có mật độ xây dựng và hệ số sử dụng đất cao, giá trị bất động sản ở mức trung bình khá, nhưng chất lượng cơ sở vật chất và môi trường sống chỉ ở mức trung bình, đặc biệt thiếu cây xanh và không gian cộng đồng. Nhiều nhà ống tại Hà Nội hiện xuống cấp, chật chội, tiện nghi hạn chế, trong khi giá nhà vẫn tăng cao do áp lực dân số, gây khó khăn cho người dân trong việc tiếp cận nhà ở phù hợp.

Chung cư mini. Diện tích sàn khoảng 150 m$^2$, chia thành nhiều căn hộ nhỏ (25 - 45 m$^2$). Cao 6 - 7 tầng thường xây chen trong khu dân cư hiện hữu, nhiều ngõ hẹp, thiếu thông gió và ánh sáng. Dù có mật độ xây dựng và hệ số sử dụng đất rất cao, mô hình này lại có chất lượng sống thấp do cơ sở vật chất, cây xanh và không gian cộng đồng hạn chế. Nhiều công trình được xây dựng tự phát, tiềm ẩn rủi ro về an toàn và pháp lý, trong khi giá bán và cho thuê vẫn tăng cao do nhu cầu lớn, gây áp lực cho người thu nhập trung bình - thấp.

Nhà tập thể. Khu tập thể được xây dựng từ thời bao cấp, cao 4 - 6 tầng, bố cục chữ U hoặc L, từng có sân chung nhưng nay bị cơi nới và xuống cấp. Các chỉ số sử dụng đất, mật độ xây dựng và giá trị bất động sản ở mức trung bình, cơ sở vật chất hạn chế do già hóa. Tuy vậy, khu tập thể vẫn có ưu thế lớn về cây xanh và không gian cộng đồng, tạo môi trường sống gắn kết và giàu giá trị nhân văn. Hiện nay, nhiều khu tập thể không còn đáp ứng nhu cầu sinh hoạt hiện đại, trong khi việc cải tạo, thay thế gặp nhiều khó khăn.

## 2. Ý TƯỞNG VÀ GIẢI PHÁP

Sự phát triển mạnh mẽ của các công trình bê tông, nhà cao tầng và hệ thống giao thông dày đặc khiến cấu trúc đô thị trở nên "cứng" và "nén chặt". Mặc dù tận dụng được quỹ đất và rút ngắn khoảng cách di chuyển, nhưng mô hình này lại thiếu linh hoạt, kém khả năng thích ứng với tự nhiên và môi trường sống. Trong bối cảnh đó, nhu cầu về một đô thị xanh, bền vững và thân thiện với con người ngày càng trở nên cấp thiết.

Khái niệm "đô thị xốp" được xem như một hướng tiếp cận mới, hướng đến việc tái cấu trúc đô thị theo hướng mở, thấm, thích ứng và bền vững hơn. "Xốp" ở đây không chỉ là khoảng trống vật lý, mà còn là những không gian công cộng, mảng xanh, mặt nước và khu vực tự nhiên đan xen trong lòng đô thị. Thay vì cấu trúc đặc, khép kín, đô thị xốp tạo nên mạng lưới

thông suốt giữa các khu vực xanh - kết nối hệ thống không gian công cộng hiện hữu và mới, hình thành một đô thị có khả năng "thở", linh hoạt và gắn kết với môi trường tự nhiên.

**2.1. Mục tiêu**

Giảm giá nhà ở - Nâng cao chất lượng không gian sống. Hướng tới giải pháp nhà ở phù hợp cho người thu nhập thấp, đảm bảo khả năng tiếp cận nhà ở đồng thời mang lại môi trường sống tiện nghi, bền vững và có giá trị tinh thần.

Giảm mật độ xây dựng - Tăng hiệu quả sử dụng đất. Tối ưu hóa quỹ đất đô thị thông qua phát triển theo chiều cao, giảm mật độ công trình nhằm cải thiện không gian xanh, chỗ đỗ xe và chất lượng hạ tầng đô thị.

Cải thiện bộ mặt đô thị - Giải quyết các vấn đề xã hội. Tạo dựng không gian đô thị nhân văn, tăng cường kết nối giữa con người với nhau và giữa con người với thiên nhiên, góp phần xây dựng cộng đồng gắn kết và bền vững.

**2.2. Đô thị xốp là gì?**

Đô thị xốp là mô hình kết hợp hài hòa giữa đô thị lịch sử, đô thị nền và đô thị sinh thái, hướng đến sự thích ứng linh hoạt và phát triển bền vững. Nó vừa bảo tồn giá trị văn hóa - di sản, vừa đảm bảo hạ tầng hiện đại và môi trường sống xanh, giảm thiểu tác động tiêu cực của đô thị hóa.

Như vậy, đô thị "xốp" được đưa vào trong thiết kế của chúng tôi như một định hướng chủ đạo nhằm tạo nên không gian đô thị có khả năng "thở" -linh hoạt, thấm hút và kết nối. Trong thiết kế, chúng tôi chú trọng việc đan xen không gian xanh - mặt nước - giao thông công cộng với các khu vực di sản hiện hữu, từ đó hình thành cấu trúc đô thị bền vững, thân thiện môi trường và giàu bản sắc địa phương.

Đô thị hiện nay: Các không gian xanh nhỏ lẻ, phân bố rời rạc và không có sự liên kết với nhau. Vì vậy làm cho đô thị đặc hơn, thiếu các khoảng thở trong không gian.

Ý tưởng đô thị xốp: Biến các khu ở tập thể thành một điểm xanh mới, từ đó liên kết với các điểm xanh cũ để tạo nên mạng lưới xanh bằng cách kết hợp với mô hình superblock. Đây là mô hình được tính toán phù hợp để áp dụng vào quy hoạch đô thị cũng như quy hoạch Kim Liên mới nhằm hạn chế xe cơ giới, ưu tiên người đi bộ và không gian công cộng. Bằng cách tổ chức lại giao thông quanh rìa khu, giới hạn tốc độ, và bố trí bãi xe ngầm, superblock giúp giảm ô nhiễm, tăng an toàn và nâng cao chất lượng sống đô thị.

**2.3. Đánh giá khu Kim Liên**

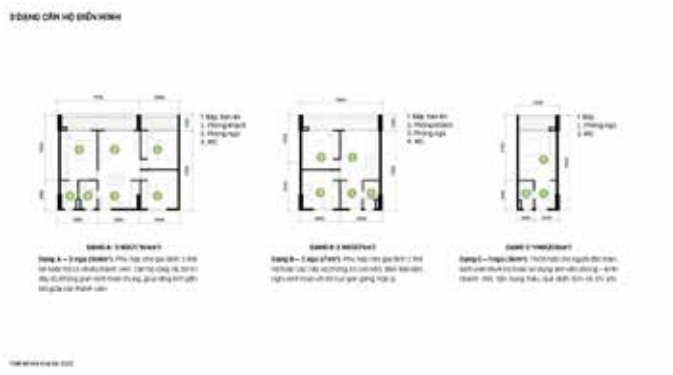
Khu tập thể Kim Liên nằm ở quận Đống Đa cũ, Hà Nội; được xây dựng từ cuối thập niên 1950, là khu tập thể kiểu mẫu đầu tiên của Hà Nội thời kỳ bao cấp. Sau hơn nửa thế kỷ sử dụng, nhiều dãy nhà đã xuống cấp nghiêm trọng với tường nứt, hệ thống điện nước cũ kỹ và hiện tượng cơi nới lan tràn. Không gian chung như sân chơi, cây xanh và lối đi bị thu hẹp, trong khi mật độ dân cư ngày càng cao, gây áp lực lên hạ tầng và môi trường sống.

Dù đã cũ, Kim Liên vẫn giữ được nét cộng đồng gắn bó, phản ánh rõ đời sống đô thị Hà Nội trong giai đoạn bao cấp. Khu tập thể mang giá trị kiến trúc - xã hội đáng trân trọng, là biểu tượng của ký ức đô thị. Hiện nay, thành phố đang lập quy hoạch cải tạo toàn diện, hướng tới khu ở hiện đại, an toàn, đồng thời bảo tồn những giá trị lịch sử lâu đời.

Diện tích khu Kim Liên khoảng 35,5 ha, các khu vực xây dựng nằm tại 3 vị trí khác nhau trong tổng thể quy hoạch. Khu tập thể Kim Liên hiện đang đối mặt với nhiều vấn đề đô thị điển hình của khu ở cũ giữa lòng Hà Nội: Mật độ xây dựng cao, nhà cửa lộn xộn và quy hoạch thiếu đồng bộ khiến không gian trở nên chật chội, ngột ngạt. Các dãy nhà tập thể đã xuống cấp nghiêm trọng, trong khi hệ thống ngõ nhỏ, dài và hẹp gây khó khăn cho giao thông và phòng cháy chữa cháy. Khu vực ven hồ thiếu không gian công cộng, còn mảng xanh tuy có nhưng phân bố rời rạc, chưa được khai thác hiệu quả.

Những bất cập này đòi hỏi một hướng cải tạo tổng thể, nhằm tái cấu trúc không gian sống, khôi phục môi trường sinh thái và nâng cao chất lượng cuộc sống cho cư dân.

Cây xanh mặt nước. Khu vực hiện tại có mật độ xây dựng



dày đặc, ít cây xanh. Cây xanh chủ yếu xen kẽ giữa các nhà tập thể và khu vực công cộng lớn như trường học, khách sạn… Hồ Kim Liên là không gian mặt nước lớn trong khu vực, tuy nhiên về tổng thể không gian mặt nước bị thu hẹp và ngăn cách bởi khu dân cư, đường giao thông, thiếu tính kết nối sinh thái và khả năng điều hòa vi khí hậu cho khu vực.

Hiện trạng giao thông. Khu vực được bao quanh bởi các trục đường lớn như Xã Đàn, Giải Phóng, Phạm Ngọc Thạch và Phương Mai - là những tuyến giao thông huyết mạch kết nối khu trung tâm với các khu vực khác của thành phố. Chủ yếu là hệ thống ngõ, ngách nhỏ đan xen dày đặc, phục vụ tiếp cận nội bộ.

Quy hoạch phân khu. Đất ở hỗn hợp chiếm phần lớn diện tích khu vực bao gồm các nhà lô 30 - 40 $m^2$, chung cư và các khu tập thể hiện hữu. Đất giáo dục (trường mầm non, tiểu học) được phân bố đều trong khu vực góp phần tạo ra các lõi sinh hoạt cộng đồng trong khu dân cư. Đất dịch vụ - thương mại bố trí chủ yếu dọc các trục đường lớn như Giải Phóng, Phương Mai, gần khu vực trung tâm hồ Kim Liên.

Đánh giá ưu nhược điểm của khu vực

Ưu điểm. Hình thành tính cộng đồng đô thị rất đặc trưng của Hà Nội xưa. Người dân quen biết nhau, thường xuyên giao lưu, giúp đỡ, tạo cảm giác "láng giềng thân thiết". Nhiều khu tập thể có khoảng sân chung, cây xanh, khu vui chơi trẻ em - dù nhỏ hẹp nhưng vẫn tạo được sự thoáng đãng. Có thể tận dụng không gian mái, sân, hành lang cho trồng cây cối, nuôi chim, phơi phóng… Kiến trúc nhà tập thể tuy giản dị nhưng phản ánh rõ tinh thần thời kỳ xã hội chủ nghĩa, coi trọng công năng, tiết kiệm và đời sống cộng đồng.

Nhược điểm. Do đã được xây dựng từ lâu, nhiều nhà tập thể có dấu hiệu xuống cấp về cấu trúc, hạ tầng, và có thể gặp khó khăn khi cải tạo, sửa chữa. Các nhà tập thể cũ được xây dựng trước khi có Luật PCCC, kết hợp với việc cư dân tự ý cơi nới, lấn chiếm không gian càng làm tăng nguy cơ cháy lan và gây cháy lớn. Nhà tập thể cũ chủ yếu dùng thang bộ, không có thang máy, gây khó khăn cho người già, trẻ em, phụ nữ mang thai và người khuyết tật. Ngoài ra, thiếu các tiện ích như bể bơi, khu vui chơi và khu thương mại.

**2.4. Khu nhà ở Kim Liên mới**

Giảm mật độ xây dựng, tăng hiệu quả sử dụng đất. Phát triển không gian theo chiều cao để tối ưu quỹ đất, giảm áp lực hạ tầng và dành diện tích cho các tiện ích công cộng, cây xanh và mặt nước.

Kết nối con người với thiên nhiên. Hình thành mạng lưới không gian mở gắn kết con người với cảnh quan tự nhiên, tăng trải nghiệm sống ngoài trời và tạo môi trường giao tiếp cộng đồng.

Tạo lập các không gian xanh liên hoàn. Xây dựng hệ thống cây xanh, vườn xen kẽ công trình nhằm cải thiện vi khí hậu, giảm hiệu ứng đảo nhiệt và tăng cường thông thoáng đô thị.

Phát triển tiện ích công cộng, sân chơi. Bổ sung không gian sinh hoạt chung, sân thể thao, khu vui chơi và đường dạo, hướng đến nâng cao chất lượng sống và sức khỏe tinh thần cư dân.

Tổ chức hợp lý diện tích đỗ xe. Bố trí hệ thống đỗ xe ngầm và bán ngầm kết hợp bãi nổi, đảm bảo nhu cầu sử dụng, giảm tình trạng chiếm dụng vỉa hè, góp phần cải thiện trật tự giao thông đô thị.

**2.5. Phân tích ý tưởng quy hoạch**

Tổng mặt bằng

ZONE A: Diện tích 5 ha; mật độ xây dựng 24%; hệ số sử dụng đất 15.

ZONE B: Diện tích 4,6 ha; mật độ xây dựng 22%; hệ số sử dụng đất 12.

ZONE C: Diện tích 1,7 ha; mật độ xây dựng 35%; hệ số sử dụng đất 14.

Đây là 3 khu vực bị xuống cấp nghiêm trọng và cần xây mới.

Mặt cắt quy hoạch. Các khối nhà được quy hoạch dựa trên số lượng dân cư hiện tại, quy hoạch tổng mặt bằng chừa lại các khoảng trống để tiếp tục phát triển đô thị. Giao thông được quy hoạch theo lưới ô bàn cờ thuận tiện lưu thông.

Tổng thể cảnh quan đô thị khu vực dạng lòng chảo, đặt hồ Kim Liên làm trung tâm, các không gian khối tích công trình cao dần về hai bên tạo nên đô thị chuyển tiếp mượt mà.

**2.6. Ý tưởng kiến trúc**

Sự hình thành các khối nhà. Sự hình thành các khối nhà được tổ chức dựa trên nguyên tắc phân chia rõ ràng giữa khối nhà ở và trục giao thông đứng (trục thang), tạo nên cấu trúc hợp lý và linh hoạt cho công trình. Các khối nhà được bố trí đan xen, đảm bảo thông gió - chiếu sáng tự nhiên, đồng thời tạo ra khoảng không gian mở ở giữa. Chiều cao các khối được thay đổi linh hoạt (12, 15, 18 tầng) tùy theo khu vực, nhằm giảm khối tích công trình, tăng khả năng hòa nhập với cảnh quan xung quanh và mang lại hình khối kiến trúc đa dạng, sinh động.

Bố trí thang thoát hiểm. Thang thoát hiểm được bố trí đều xung quanh công trình, đảm bảo từ bất kỳ vị trí nào trong tòa nhà cũng đều có thể tiếp cận với 2 lối thoát nạn. Vị trí thang

cũng đảm bảo khoảng cách để người có thể di chuyển tới thang thoát hiểm với khoảng cách không quá 25 m. Thang được thiết kế xuyên suốt từ tầng mái xuống tầng 1, có thể di chuyển trực tiếp ra khỏi tòa nhà tầng 1 và lên sân thượng tầng mái.

Mặt bằng các tầng. Tầng hầm và tầng 1 của cả công trình chủ yếu là khu vực đỗ xe, kết hợp với các khu vực kỹ thuật của tòa nhà. Giúp giải quyết được vấn đề đỗ xe cho người dân của toàn nhà cũng như của khu vực.

Tầng 2 là khu vực kinh doanh, thương mại, mặt bằng được chia thành các ki ốt bán hàng, bao quanh khu vực sân trong.

Từ tầng 3 trở lên tầng 15 (hoặc tầng 18) là khu vực tầng ở. Các phòng được chia thành các căn hộ 3 ngủ (chiếm khoảng 25% tổng số căn), căn 2 ngủ (chiếm khoảng 50% tổng số căn), căn 1 ngủ (chiếm khoảng 25% tổng số căn).

Mặt đứng. Tầng 1 công trình chỉ có cột, không có tường bao che tạo cho công trình như có một khoảng sân rộng. Mặt đứng sử dụng các mảng đặc rỗng, kết hợp với màu sắc tạo nên nhịp điệu lặp lại ở các tầng. Giúp cho công trình trông hiện đại, đơn giản nhưng không hề đơn điệu hay lỗi thời.

Mặt cắt. Ngoại trừ không gian sân cảnh quan chính còn bố trí thêm một sân chung ở sân thượng, sân này có sử dụng hệ thống năng lượng điện mặt trời, giúp tích trữ và tiết kiệm năng lượng điện cho cả tòa nhà.

Không gian giếng trời làm trung tâm khối nhà tạo sự thoáng đãng, đóng vai trò là kết nối tương tác thụ động giữa dân cư và đảm bảo an toàn an ninh, PCCC khu vực. Tầng 1 với cốt sàn phẳng, ngày thường là không gian sân chung trong nhà rộng rãi cho các hoạt động tương tác cộng đồng, nhưng khi cần thiết có thể sử dụng làm bãi đỗ xe, giải quyết vấn đề chỗ để xe công cộng cho các khu vực xung quanh.

**2.7. Ý tưởng căn hộ**

Không gian nội thất. Không gian nội thất bên trong gợi nên một cảm giác gắn kết gần gũi giống với lối sống nhà tập thể. Nó thể hiện một môi trường sống bền vững gắn kết con người với con người, con người với thiên nhiên. Ngoài ra còn thể hiện được tính linh hoạt trong công năng, không gian sân chơi chung không chỉ để phục vụ mục đích kinh doanh mà còn là sân chơi cho các hộ dân sinh sống ở đây.

Sự linh hoạt trong chuyển đổi công năng. Kết cấu lưới chặt chẽ chia không gian thành các đơn nguyên có khả năng biến đổi linh hoạt thêm bớt diện tích với tấm vách tường có thể dễ dàng thêm bớt mà không ảnh hưởng đến kết cấu chính của công trình.

Không gian tầng 2 với khả năng chuyển đổi linh hoạt khi phá bỏ các bức tường và mở rộng không gian thương mại hình thành nên văn phòng mới.

Tại các tầng căn hộ, tùy vào sự thay đổi của thành phần dân cư có thể tiếp tục chia căn ở thành diện tích nhỏ hơn, đập thông các vách ngăn để mở rộng diện tích hoặc biến đổi chức năng sử dụng phù hợp với nhu cầu sử dụng.

Các dạng căn hộ cơ bản

3 dạng căn hộ được thiết kế linh hoạt nhằm đáp ứng đa dạng nhu cầu sử dụng của cư dân:

Dạng A - 3 ngủ (104 $m^2$): Phù hợp cho gia đình 3 thế hệ hoặc hộ có nhiều thành viên. Căn hộ rộng rãi, bố trí đầy đủ không gian sinh hoạt chung, giúp tăng tính gắn kết giữa các thành viên.

Dạng B - 2 ngủ (71 $m^2$): Phù hợp cho gia đình 2 thế hệ hoặc các cặp vợ chồng có con nhỏ, đảm bảo tiện nghi sinh hoạt với bố cục gọn gàng, hợp lý.

Dạng C - 1 ngủ (36 $m^2$): Thích hợp cho người độc thân, sinh viên thuê trọ hoặc sử dụng làm văn phòng - kinh doanh nhỏ, tận dụng hiệu quả diện tích và chi phí.

Sự đa dạng trong thiết kế giúp dự án đáp ứng linh hoạt các đối tượng cư dân khác nhau, từ người trẻ đến gia đình nhiều thế hệ, đồng thời tối ưu hóa công năng và giá trị sử dụng của từng loại căn hộ.

## 3. NÂNG CẤP TOÀN BỘ MÔI TRƯỜNG SỐNG ĐÔ THỊ

Nếu dự án được triển khai, nó sẽ mang lại một bước chuyển mình toàn diện cho khu vực Kim Liên - từ một khu tập thể cũ kỹ, mật độ dày đặc trở thành một khu đô thị kiểu mẫu hiện đại và nhân văn. Trước hết, bài toán nhà ở cho người dân hiện hữu được giải quyết một cách thấu đáo: các khối nhà mới được quy hoạch có trật tự, tổ chức hợp lý về chiều cao và mật độ, giúp tối ưu quỹ đất mà vẫn đảm bảo chất lượng sống. Không gian ở được bố trí khoa học, thông thoáng, kết hợp cùng hệ thống hạ tầng giao thông ngầm và tầng trệt, giảm áp lực mặt đất, thêm không gian đỗ xe công cộng, tạo lưu thông thuận lợi và an toàn.

Bên cạnh đó, dự án không chỉ dừng ở việc tái thiết chỗ ở, mà còn nâng cấp toàn bộ môi trường sống đô thị. Các khoảng không gian xanh, sân chơi và khu sinh hoạt cộng đồng được bổ sung, giúp cư dân có thêm không gian giao lưu, thư giãn, đồng thời cải thiện vi khí hậu và giảm thiểu hiệu ứng đảo nhiệt. Việc xen kẽ các mảng xanh và mặt nước trong cấu trúc đô thị tạo nên những "khoảng thở" quý giá, giúp đô thị trở nên mềm mại và cân bằng hơn.

Về tầm nhìn dài hạn, dự án đặt nền móng cho một mô hình "đô thị xốp" bền vững, nơi không gian được tái cấu trúc theo chiều cao, giảm mật độ xây dựng để giải phóng mặt đất cho thiên nhiên và con người. Hệ thống hạ tầng, cây xanh, giao thông, và tiện ích được kết nối thành một mạng lưới liên hoàn, hình thành một tổng thể đô thị linh hoạt, thích ứng và phát triển bền vững. Đây không chỉ là giải pháp cải tạo khu Kim Liên, mà còn là một tầm nhìn chiến lược cho tương lai đô thị Hà Nội - nơi con người, kiến trúc và thiên nhiên cùng hòa quyện, kiến tạo nên một không gian sống đáng mơ ước.

PGS.TS TÔ THỊ HƯƠNG QUỲNH:

# Hạ tầng luôn luôn là nền tảng và mở lối cho những không gian tăng trưởng mới

**NGUYÊN HẠNH**

**THU THỦY** (thực hiện)

Chưa bao giờ vai trò của hạ tầng đối với tăng trưởng kinh tế lại được nhìn nhận rõ ràng như hiện nay. Khi nhu cầu đầu tư ngày càng lớn, câu chuyện không chỉ nằm ở nguồn vốn mà còn ở thể chế, quy hoạch và khả năng kết nối các không gian phát triển. Cuộc trao đổi của BTV Tạp chí Xây dựng cùng PGS.TS Tô Thị Hương Quỳnh đã mở ra nhiều góc nhìn về hạ tầng như một trụ cột của nền kinh tế, đồng thời gợi mở những hướng tiếp cận mới để nâng cao hiệu quả đầu tư trong giai đoạn tới.

## HẠ TẦNG VÀ TÁI CẤU TRÚC KHÔNG GIAN KINH TẾ

***Thưa PGS.TS Tô Thị Hương Quỳnh, Việt Nam đang đặt mục tiêu trở thành quốc gia phát triển có thu nhập cao trong những thập kỷ tới, trong đó hạ tầng được xác định là một đột phá chiến lược. Theo bà, cần những điều kiện nào để đầu tư hạ tầng thực sự trở thành "trụ đỡ" cho tăng trưởng kinh tế?***

- Từ góc độ kinh tế học, khi nghiên cứu các mô hình phát triển có thể thấy một quy luật khá rõ, đó là hạ tầng luôn là nền tảng của quá trình tăng trưởng. Đầu tư hạ tầng đúng hướng có thể định hình lại không gian phát triển và tạo động lực chuyển dịch cơ cấu kinh tế của cả một vùng. Lịch sử đô thị hóa và phát triển kinh tế của Việt Nam cũng cho thấy điều này. Hạ tầng cần đi trước một bước để tạo điều kiện cho các hoạt động sản xuất, thương mại và dịch vụ phát triển.

Tuy nhiên, để hạ tầng thực sự trở thành "trụ đỡ" cho tăng trưởng, cần hội tụ nhiều yếu tố.

Trước hết là tầm nhìn quy hoạch dài hạn và tính tích hợp trong phát triển. Trong giai đoạn đầu của quá trình công nghiệp hóa, sự phát triển ở Việt Nam phần nào còn mang tính tự phát. Nhiều khu công nghiệp và khu đô thị hình thành xung quanh các cơ sở sản xuất có sẵn, nhưng chưa dựa trên một tầm nhìn quy hoạch tổng thể và tích hợp giữa kinh tế, giao thông, không gian đô thị và các hạ tầng hỗ trợ.

Trong một thời gian dài, phát triển giao thông chủ yếu tập trung vào trục Bắc - Nam, trong khi các kết nối ngang, hệ thống logistics và các hạ tầng liên quan chưa được quy hoạch đồng bộ. Khi quy hoạch tổng thể thiếu tầm nhìn dài hạn, các quy hoạch chi tiết như 1/5000, 1/2000 hay 1/500 cũng khó đảm bảo sự thống nhất.

Vì vậy, quy hoạch cần được xây dựng theo hướng tích hợp, gắn kết giao thông, công nghiệp, logistics, năng lượng, đô thị và hạ tầng số. Khi đó, hạ tầng không chỉ phục vụ giao thông mà còn trở thành nền tảng cho sự phát triển kinh tế của từng vùng và của cả quốc gia.

Bên cạnh yếu tố quy hoạch, Việt Nam gần đây cũng đã và đang tập trung đầu tư một số dự án hạ tầng chiến lược có tính lan tỏa cao như sân bay Long Thành, cảng Lạch Huyện hay khu kinh tế Dung Quất. Những dự án này có khả năng tạo hiệu ứng lan tỏa lớn đối với phát triển kinh tế khu vực.

Khi hạ tầng được đầu tư đồng bộ, chi phí logistics giảm, vận chuyển thuận lợi hơn, từ đó nâng cao năng lực cạnh tranh của nền kinh tế. Đồng thời, các dự án lớn cũng kéo theo sự phát triển của nhiều lĩnh vực như thương mại, du lịch, dịch vụ và lưu trú.

Một vấn đề quan trọng khác là đa dạng hóa nguồn lực đầu tư. Trong nhiều năm, phát triển hạ tầng chủ yếu dựa vào ngân sách Nhà nước, trong khi nguồn lực này luôn có giới hạn. Sau đại dịch Covid-19, áp lực ngân sách càng lớn hơn.

Bên cạnh đó, khi Việt Nam đã trở thành quốc gia có thu nhập trung bình, khả năng tiếp cận các nguồn viện trợ không hoàn lại cũng giảm. Điều này khiến đầu tư hạ tầng ngày càng phụ thuộc vào vốn vay, trong khi các dự án hạ tầng thường có thời gian thu hồi vốn dài.

Vì vậy, việc huy động nguồn lực từ khu vực tư nhân thông qua hợp tác công - tư (PPP) là hướng đi cần thiết. PPP không chỉ giúp huy động vốn mà còn tận dụng được kinh nghiệm quản lý và công nghệ của khu vực tư nhân.

Ảnh: NGUYỄN HÀ HIỆP

***Đầu tư hạ tầng đúng hướng có thể định hình lại không gian phát triển, tạo lực dẫn dắt cho chuyển dịch cơ cấu kinh tế của cả một vùng".***

*PGS.TS Tô Thị Hương Quỳnh*

Tuy nhiên, để PPP hiệu quả thì năng lực quản trị của khu vực công cũng cần được nâng cao. Hiệu quả dự án không chỉ phụ thuộc vào thiết kế ban đầu mà còn ở quá trình vận hành. Nếu năng lực quản lý sau khi tiếp nhận dự án không tốt, hiệu quả đầu tư có thể suy giảm. Từ kinh nghiệm quan sát tại Pháp, tôi thấy nhiều lĩnh vực công như nhà ở xã hội được quản lý hiệu quả nhờ bộ máy chuyên nghiệp và quy trình tuyển dụng nhân lực rất chặt chẽ. Điều đó cho thấy, năng lực quản trị đóng vai trò hết sức quan trọng.

Ngoài ra, sự tham gia của cộng đồng và đội ngũ chuyên gia cũng ngày càng quan trọng trong các dự án phát triển bền vững. Khi người dân tham gia sử dụng, giám sát và bảo vệ công trình, hạ tầng sẽ phát huy hiệu quả tốt hơn.

Tóm lại, để hạ tầng trở thành động lực tăng trưởng cần một cách tiếp cận tổng thể, gồm quy hoạch dài hạn, lựa chọn đúng dự án chiến lược, đa dạng hóa nguồn lực, nâng cao năng lực quản trị và phát huy sự tham gia của cộng đồng.

***Thực tế ở Việt Nam cho thấy khá rõ vai trò của hạ tầng trong việc định hình lại cấu trúc kinh tế địa phương, mà Bắc Ninh là ví dụ điển hình. Trước đây, hai địa phương này chủ yếu phát triển nông nghiệp. Tuy nhiên khi được định hướng trở thành trung tâm công nghiệp của vùng và được đầu tư mạnh về hạ tầng giao thông, khu công nghiệp, các nhà đầu tư - đặc biệt là FDI - đã nhanh chóng tham gia. Như vậy có thể thấy, để đầu tư hạ tầng không chỉ dừng ở xây dựng công trình mà còn góp phần tái cấu trúc không gian kinh tế. Vậy, cần có cách tiếp cận như thế nào?***

- Đây là vấn đề mang tính chiến lược, bởi đầu tư hạ tầng gắn liền với định hướng phát triển của cả một vùng.

Có thể nói Bắc Ninh là ví dụ tiêu biểu cho cách tiếp cận "đi trước, đón đầu bằng hạ tầng". Khi hạ tầng công nghiệp và giao thông được chuẩn bị đồng bộ, khu vực tư nhân sẽ nhìn thấy cơ hội và tham gia mạnh mẽ.

Từ thực tiễn này có thể thấy rằng để tái cấu trúc không gian kinh tế, hạ tầng giao thông và logistics phải được ưu tiên. Khi giao thông thuận lợi, các khu công nghiệp phát triển, kéo theo sự hình thành của các khu đô thị, dịch vụ và nhà ở cho người lao động.

Một số địa phương khác như Hải Phòng, Quảng Ninh, Bình Dương (cũ) cũng cho thấy đầu tư hạ tầng có thể thúc đẩy chuyển dịch cơ cấu kinh tế từ nông nghiệp sang công nghiệp và dịch vụ.

Hạ tầng cũng đóng vai trò quan trọng trong tái phân bố không gian đô thị. Tại Hà Nội, trước khi hình thành các tuyến vành đai, nhiều hoạt động kinh tế tập trung trong khu vực lõi nội đô. Nhưng khi hệ thống giao thông được cải thiện, các trung tâm thương mại, khu đô thị mới dần dịch chuyển ra vùng ven, mở rộng không gian phát triển của thành phố.

Tương tự, khi tuyến cao tốc Hà Nội - Hải Phòng hoàn thành, thời gian di chuyển rút ngắn đáng kể, qua đó thúc đẩy sự dịch chuyển nguồn lực và đầu tư giữa hai địa phương.

Tuy nhiên, để quá trình này hiệu quả, quy hoạch vẫn là yếu tố then chốt. Quy hoạch cần xác định rõ khu vực nào ưu tiên công nghiệp, khu vực nào phát triển dịch vụ, du lịch hay nông nghiệp công nghệ cao. Đồng thời, cần tăng cường liên kết vùng để các địa phương phát huy lợi thế riêng trong chuỗi giá trị chung.

> ***Trong bối cảnh toàn cầu hóa, hạ tầng giao thông quốc tế - đặc biệt là cảng biển và hàng không - không còn chỉ là vấn đề kỹ thuật. Đó là những 'cửa ngõ' quyết định khả năng tham gia của một nền kinh tế vào chuỗi thương mại và logistics toàn cầu".***
>
> *PGS.TS Tô Thị Hương Quỳnh*

## THÔNG MẠCH LOGISTICS - MỞ RỘNG LIÊN KẾT VÙNG

***Việc hoàn thiện mạng lưới cao tốc Bắc - Nam và các tuyến Đông - Tây, theo bà, sẽ tác động ra sao tới liên kết vùng?***

- Logistics thường được ví như "mạch máu của nền kinh tế". Khi hệ thống logistics thông suốt, các hoạt động sản xuất và thương mại mới có thể vận hành hiệu quả.

Cao tốc Bắc - Nam có thể xem là trục xương sống của hệ thống giao thông quốc gia. Tuy nhiên, để logistics phát huy hiệu quả cần thêm các tuyến kết nối Đông - Tây nhằm đưa hàng hóa từ các vùng tới cảng biển, cửa khẩu và trung tâm tiêu thụ.

Khi hệ thống cao tốc hoàn thiện, chi phí logistics giảm, thời gian vận chuyển rút ngắn, giúp cân bằng nguồn cung giữa các vùng. Ví dụ, nông sản từ miền Bắc đưa vào miền Nam hoặc ngược lại sẽ thuận lợi hơn, giảm hao hụt và chi phí.

Không chỉ phục vụ thương mại nội địa, các hành lang giao thông còn có ý nghĩa quan trọng đối với xuất khẩu, đặc biệt khi kết nối với Lào, Campuchia, Thái Lan và Trung Quốc.

Ngoài ra, khi một tuyến cao tốc được hình thành, các khu công nghiệp, trung tâm logistics và đô thị mới thường phát triển dọc theo tuyến. Đây là động lực quan trọng thúc đẩy tăng trưởng kinh tế địa phương.

***Với Dự án đường sắt tốc độ cao Bắc - Nam, có thể tạo ra những thay đổi gì, thưa bà?***

- Đường sắt tốc độ cao trước hết sẽ tạo ra bước chuyển căn bản trong hệ thống giao thông và du lịch.

Kinh nghiệm tại Pháp cho thấy tàu cao tốc đóng vai trò rất quan trọng trong kết nối các đô thị. Ví dụ, tuyến Paris - Lyon dài khoảng 300 km nhưng đi tàu cao tốc chỉ mất khoảng 45 phút, nên hầu như không ai chọn máy bay cho chặng này.

Khi thời gian di chuyển được rút ngắn, khoảng cách không gian giữa các đô thị được "nén lại", tạo ra thị trường lao động và sinh hoạt rộng hơn. Nhiều người có thể sống ở một thành phố nhưng làm việc ở thành phố khác.

Đường sắt tốc độ cao cũng giúp giảm áp lực cho hàng không và đường bộ, đồng thời thân thiện với môi trường hơn.

Bên cạnh lợi ích giao thông, hệ thống này còn có thể tái định hình cấu trúc du lịch và dịch vụ. Khi các chặng 300 km chỉ mất khoảng một giờ, du lịch trong ngày trở nên khả thi, từ đó kích thích nhu cầu tiêu dùng và dịch vụ.

Vì vậy, đường sắt tốc độ cao không chỉ là dự án giao thông mà còn có thể trở thành trục động lực phát triển kinh tế dọc hành lang Bắc - Nam.

***Ồ, toàn những điều lớn lao, chúng ta đều rất kỳ vọng sẽ thành hiện thực trong thời gian tới. Việt Nam có lợi thế lớn với đường bờ biển dài, nếu khai thác hiệu quả có thể trở thành trung tâm logistics của khu vực. Vậy với hạ tầng cảng biển và hàng không của nước ta, bà nhìn nhận thế nào về đóng góp kinh tế của lĩnh vực này?***

- Thực sự sẽ không có thời gian để trả lời đầy đủ về câu hỏi này, nhưng tôi phải nói ngay rằng, trong bối cảnh toàn cầu hóa, cảng biển và hàng không là những "cửa ngõ" quyết định khả năng tham gia của một nền kinh tế vào chuỗi thương mại quốc tế.

Chúng ta nhìn vào những diễn biến địa chính trị gần đây, chẳng hạn như căng thẳng tại Trung Đông giữa Iran và Israel, có thể thấy rõ vai trò đặc biệt quan trọng của hệ thống hàng hải và hàng không đối với nền kinh tế toàn cầu. Chỉ cần một eo biển chiến lược bị gián đoạn hoặc một vùng không phận bị đóng lại cũng có thể gây ra những xáo trộn lớn đối với chuỗi cung ứng và thương mại quốc tế. Điều này cho thấy trong bối cảnh toàn cầu hóa, hạ tầng giao thông quốc tế đặc biệt là cảng biển và hàng không, không chỉ là vấn đề kỹ thuật mà còn là yếu tố cấu thành năng lực cạnh tranh của một nền kinh tế.

Vận tải biển hiện vẫn là phương thức có chi phí thấp nhất đối với thương mại toàn cầu. Các tàu container cỡ lớn chỉ có thể cập vào cảng nước sâu đạt chuẩn quốc tế, vì vậy việc phát triển các cảng nước sâu tại Hải Phòng, Hà Tĩnh hay khu vực TP.HCM có ý nghĩa rất quan trọng.

Song song với đó, hạ tầng hàng không đóng vai trò quan trọng đối với du lịch và giao thương quốc tế. Khi có nhiều đường bay thẳng với chi phí hợp lý, lượng khách quốc tế sẽ tăng lên đáng kể.

Tuy nhiên, để các hệ thống hạ tầng này phát huy hiệu quả tối đa, việc phát triển cần đặt trong cấu trúc giao thông tổng thể và có tính kết nối cao. Nếu chỉ đầu tư cảng biển hoặc sân bay mà thiếu hệ thống giao thông kết nối thì hiệu quả khai thác sẽ bị hạn chế.

Ví dụ, sân bay Tân Sơn Nhất hiện nằm gần trung tâm TP.HCM nên thường xuyên quá tải và ùn tắc. Trong khi đó, tại nhiều quốc gia phát triển, hệ thống sân bay được tổ chức theo mô hình phân tầng và kết nối chặt chẽ với các loại hình vận tải khác.

Chẳng hạn tại Paris, sân bay Charles de Gaulle chủ yếu phục vụ các chuyến bay quốc tế, trong khi Orly đảm nhận các tuyến nội địa và chặng ngắn. Các sân bay này được kết nối hiệu quả với giao thông công cộng, đặc biệt là đường sắt tốc độ cao, giúp hành khách từ các thành phố khác nhanh chóng tiếp cận các chuyến bay quốc tế.

Nhờ sự kết nối này, toàn bộ hệ thống giao thông, từ đường sắt, đường bộ đến hàng không được tích hợp trong một mạng lưới vận tải thống nhất.

Cảng biển, hàng không và hạ tầng giao thông kết nối cần được quy hoạch đồng bộ để hình thành một mạng lưới

logistics hoàn chỉnh. Khi các loại hình hạ tầng liên kết hiệu quả, chi phí vận tải sẽ giảm và năng lực cạnh tranh của nền kinh tế được nâng lên.

### THÁO "NÚT THẮT" THỂ CHẾ

***Trên thực tế, nhiều dự án hạ tầng lớn vẫn gặp không ít khó khăn trong quá trình triển khai, từ thủ tục đầu tư đến cơ chế phối hợp giữa các bên. Theo bà, đâu là những điểm nghẽn lớn nhất trong triển khai các dự án hạ tầng?***

- Theo tôi, có 3 nhóm vấn đề chính:

Thứ nhất là thể chế và thủ tục đầu tư. Quy trình hiện nay còn nhiều bước, khiến thời gian chuẩn bị dự án kéo dài.

Thứ hai là giải phóng mặt bằng. Đây là khâu khó khăn nhất. Chính sách bồi thường và tái định cư cần bảo đảm quyền lợi và sinh kế của người dân.

Thứ ba là phân cấp và phân quyền. Khi trách nhiệm được giao rõ ràng cho một cấp quản lý cụ thể, việc ra quyết định sẽ nhanh hơn.

Ngoài ra, các khu tái định cư cần được phát triển đồng bộ với hạ tầng xã hội và dịch vụ, để người dân có thể sinh sống và làm việc ổn định.

Khi nói đến phát triển hạ tầng đô thị cũng cần nhìn ở góc độ tổng thể, không chỉ riêng hạ tầng giao thông. Giao thông là "mạch máu" của đô thị, nhưng để đô thị phát triển bền vững cần có cả hệ thống hạ tầng xã hội như giáo dục, y tế, dịch vụ và các hoạt động kinh tế đi kèm.

Qua một số nghiên cứu về cải tạo chung cư cũ, tôi nhận thấy rào cản lớn không chỉ là kỹ thuật hay tài chính mà chủ yếu nằm ở cơ chế di dời và bảo đảm quyền lợi của người dân. Việt Nam lựa chọn cách tiếp cận khá thận trọng, chú trọng sự đồng thuận và bảo vệ quyền lợi cư dân. Đây là chính sách mang tính nhân văn, nhưng đồng thời cũng khiến tiến độ triển khai nhiều dự án bị kéo dài.

> ***Những 'dự án mồi' do Nhà nước đầu tư ban đầu có thể mở ra không gian kinh tế mới, từ đó kéo theo dòng vốn tư nhân và tạo động lực phát triển dài hạn".***
>
> *PGS.TS Tô Thị Hương Quỳnh*

Vì vậy, chính sách bồi thường và tái định cư phải được thiết kế hợp lý, đặc biệt là phải gắn với điều kiện sinh kế của người dân. Câu chuyện tái định cư khu phố cổ Hà Nội trước đây là một ví dụ điển hình. Nhiều hộ dân dù được bố trí chỗ ở mới nhưng vẫn không muốn di dời, bởi ở khu phố cổ họ có thể buôn bán và duy trì nguồn thu nhập, trong khi khu tái định cư mới lại thiếu các hoạt động kinh tế tương tự.

Do đó, khi triển khai tái định cư, không nên chỉ xây dựng các tòa nhà ở đơn lẻ mà cần phát triển các khu đô thị tái định cư hoàn chỉnh, với đầy đủ hạ tầng xã hội và dịch vụ như trường học, y tế, thương mại và không gian làm việc. Khi người dân có điều kiện tiếp tục sinh sống và mưu sinh ở nơi ở mới, mức độ đồng thuận sẽ cao hơn và quá trình giải phóng mặt bằng cũng thuận lợi hơn.

Ngoài vấn đề giải phóng mặt bằng, thủ tục hành chính trong đầu tư xây dựng cũng là một điểm nghẽn đáng kể. Quy

> ***Hiện nay nhiều lĩnh vực vẫn được quy hoạch tương đối độc lập: giao thông theo logic riêng, du lịch theo định hướng riêng, công nghiệp theo chiến lược khác. Khi thiếu sự tích hợp, quá trình triển khai thường phải điều chỉnh nhiều lần".***
>
> *PGS.TS Tô Thị Hương Quỳnh*

trình hiện nay còn phân tán qua nhiều cơ quan thẩm định khác nhau, khiến thời gian chuẩn bị dự án kéo dài. Theo tôi, cần cải cách theo hướng tích hợp và rút gọn các bước thẩm định, vẫn bảo đảm kiểm soát chặt chẽ nhưng trong một quy trình thống nhất.

Cuối cùng là vấn đề phân cấp và phân quyền trong quản lý đầu tư. Khi trách nhiệm được giao rõ ràng cho một cấp quản lý cụ thể, việc ra quyết định sẽ nhanh hơn và tránh tình trạng các cơ quan phải chờ đợi lẫn nhau. Cấp trung ương nên tập trung vào định hướng và giám sát, còn việc triển khai cụ thể cần giao quyền chủ động cho cấp trực tiếp quản lý dự án.

Trong bối cảnh mô hình chính quyền địa phương đang được nghiên cứu theo hướng tinh gọn hơn, việc phân cấp và phân quyền rõ ràng sẽ càng quan trọng. Nếu thực hiện tốt, thời gian chuẩn bị và triển khai các dự án hạ tầng chiến lược có thể được rút ngắn đáng kể.

***Một vấn đề lớn của các dự án PPP hiện nay là cơ chế chia sẻ rủi ro giữa Nhà nước và khu vực tư nhân chưa thật sự rõ ràng và minh bạch. Điều này khiến nhiều dự án BOT hay BT từng gây ra không ít tranh cãi trong xã hội. Từ góc độ chính sách, việc hoàn thiện khung pháp lý về đầu tư phát triển hạ tầng cần được điều chỉnh theo hướng nào để có thể thu hút mạnh hơn nguồn lực từ khu vực tư nhân?***

- Theo tôi, Luật Đầu tư theo phương thức PPP và các quy định liên quan cần được tiếp tục hoàn thiện trong tương lai gần.

Chẳng hạn, với các dự án BOT trước đây, doanh nghiệp thường cho rằng chưa thu hồi đủ vốn, trong khi phía Nhà nước lại có cách tính khác. Người dân vẫn phải trả phí trong thời gian dài nên phát sinh nhiều ý kiến. Một nguyên nhân là do việc thu phí trước đây chủ yếu thực hiện thủ công nên khó kiểm soát chính xác doanh thu. Khi áp dụng hệ thống thu phí không dừng, dữ liệu về lưu lượng xe và doanh thu được ghi nhận minh bạch hơn, giúp cơ quan quản lý kiểm soát tốt hơn và giảm đáng kể các tranh cãi về thời gian thu phí.

Đối với các dự án BT, tức là đổi đất lấy hạ tầng, về nguyên tắc đây không phải là mô hình không hợp lý. Nếu Nhà nước sử dụng quỹ đất chưa khai thác hiệu quả để huy động nguồn lực tư nhân đầu tư hạ tầng, sau đó khai thác giá trị đất đai thì khu vực đó có thể phát triển nhanh hơn. Tuy nhiên, trong một số trường hợp do quy hoạch và cơ chế quản lý chưa chặt chẽ, đã xuất hiện tình trạng nhà đầu tư hưởng lợi lớn từ giá trị đất đai, trong khi lợi ích Nhà nước thu lại chưa tương xứng.

Cũng cần nhìn nhận rằng doanh nghiệp tư nhân luôn đặt hiệu quả kinh tế lên hàng đầu. Nếu dự án không có khả năng sinh lời thì họ sẽ không tham gia. Vì vậy, trong các dự án PPP, điều quan trọng là phải thiết kế cơ chế chia sẻ rủi ro hợp lý giữa Nhà nước và khu vực tư nhân. Nếu rủi ro dồn quá nhiều về phía doanh nghiệp thì họ sẽ e ngại đầu tư; ngược lại, nếu Nhà nước gánh quá nhiều rủi ro thì ngân sách sẽ chịu áp lực lớn. PPP cần được nhìn nhận đúng bản chất là quan hệ đối tác cùng phát triển, trong đó, lợi ích và trách nhiệm phải được phân bổ hài hòa.

Một vấn đề khác cần quan tâm là phát triển thị trường vốn để hỗ trợ các dự án hạ tầng. Các dự án hạ tầng thường có quy mô rất lớn, trong khi cả Nhà nước và doanh nghiệp tư nhân đều khó tự mình đảm đương toàn bộ nguồn vốn. Nếu thị trường vốn phát triển tốt, nhà đầu tư có thể huy động nguồn lực từ các tổ chức tài chính hoặc thị trường trái phiếu để triển khai dự án.

Do đó, Nhà nước cần có các cơ chế tài chính phù hợp, chẳng hạn hỗ trợ lãi suất hoặc tạo điều kiện tiếp cận nguồn vốn dài hạn, để khuyến khích khu vực tư nhân tham gia nhiều hơn vào các dự án hạ tầng.

Bên cạnh đó, tính minh bạch trong quá trình lựa chọn nhà đầu tư và triển khai dự án cũng rất quan trọng. Nếu quá trình này thiếu cạnh tranh hoặc không rõ ràng, niềm tin của nhà đầu tư sẽ bị ảnh hưởng và khả năng huy động nguồn lực xã hội cho hạ tầng cũng sẽ bị hạn chế.

Kinh nghiệm của nhiều quốc gia cho thấy minh bạch thể chế và kỷ luật trong quản lý dự án là điều kiện tiên quyết để thu hút nguồn vốn lớn vào phát triển hạ tầng. Khi hệ thống pháp lý rõ ràng, việc thực thi nghiêm minh và môi trường đầu tư ổn định thì cả nguồn vốn trong nước lẫn quốc tế đều sẵn sàng tham gia.

Từ góc độ đó, theo tôi, để thu hút hiệu quả nguồn lực tư nhân vào phát triển hạ tầng cần 3 yếu tố then chốt: thứ nhất là cơ chế PPP minh bạch và có chia sẻ rủi ro hợp lý; thứ hai là phát triển thị trường vốn để hỗ trợ các dự án hạ tầng dài hạn; và thứ ba là bảo đảm môi trường đầu tư ổn định, cạnh tranh và minh bạch. Khi những điều kiện này được đáp ứng, khu vực tư nhân sẽ trở thành nguồn lực quan trọng trong quá trình phát triển hệ thống hạ tầng hiện đại và bền vững của Việt Nam.

***Nhu cầu vốn cho phát triển hạ tầng trong thời gian tới là rất lớn, trong khi nguồn lực ngân sách có hạn. Theo bà, Việt Nam cần làm gì để đa dạng hóa các nguồn lực tài chính cho hạ tầng?***

- Tôi cho rằng để phát triển hạ tầng một cách hiệu quả, ở đâu cũng cần có những "dự án mồi". Đây là các dự án mang tính dẫn dắt, tạo động lực ban đầu cho sự hình thành và phát triển của không gian kinh tế mới.

Trong giai đoạn đầu, các dự án này thường chưa thể mang lại hiệu quả tài chính ngay, vì vậy Nhà nước cần đóng vai trò tiên phong, đầu tư trước để tạo nền tảng hạ tầng cơ bản. Khi

*PGS.TS Tô Thị Hương Quỳnh, sinh năm 1986, tại Hưng Yên. PGS.TS tốt nghiệp ngành Kinh tế xây dựng tại Khoa Kinh tế và Quản lý xây dựng, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội năm 2009. Năm 2011 nhận bằng Thạc sĩ ngành Kinh tế xây dựng tại Trường Đại học Xây dựng Hà Nội.*

*Năm 2019, bà bảo vệ xuất sắc luận án Tiến sĩ ngành Xây dựng tại Trường Đại học Lille - Cộng hòa Pháp với đề tài "Quản lý tài sản thông minh cho nhà ở xã hội". Tháng 11/2025, bà được Hội đồng Giáo sư Nhà nước công nhận đạt chuẩn chức danh PGS ngành Quản lý xây dựng. Đến nay, bà đã hướng dẫn 09 học viên cao học bảo vệ thành công và 02 NCS đang thực hiện nghiên cứu Tiến sĩ; Chủ nhiệm 02 đề tài NCKH trọng điểm, chủ nhiệm 01 đề tài NCKH cấp trường.*

*PGS.TS Tô Thị Hương Quỳnh hiện là giảng viên khoa Kinh tế và Quản lý xây dựng, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, chuyên gia phát triển dự án của Công ty Tư vấn Đại học Xây dựng, điều phối viên địa phương của dự án ASUS giai đoạn 2 tại Việt Nam.*

Ảnh: NGUYỄN HÀ HIỆP

hạ tầng bước đầu hình thành và chứng minh được tiềm năng phát triển, khu vực tư nhân sẽ nhìn thấy cơ hội và tham gia mạnh mẽ hơn.

Bên cạnh đó, việc hình thành các quỹ đầu tư hạ tầng cũng là một cơ chế quan trọng để huy động nguồn lực xã hội. Đây sẽ là nơi tập hợp vốn từ nhiều doanh nghiệp và nhà đầu tư khác nhau để cùng tham gia các dự án quy mô lớn. Cách làm này không chỉ mở rộng cơ hội tham gia cho các tập đoàn lớn mà còn tạo điều kiện cho các doanh nghiệp vừa và nhỏ tham gia vào quá trình phát triển hạ tầng. Nếu chỉ dựa vào một số nhà đầu tư lớn thì nguồn lực xã hội sẽ chưa được khai thác hết, trong khi trên thực tế vẫn còn rất nhiều nguồn vốn nhàn rỗi trong cộng đồng.

Một hướng đi quan trọng khác là khai thác hiệu quả giá trị gia tăng từ đất đai khi phát triển hạ tầng. Thực tiễn cho thấy, khi Nhà nước đầu tư các tuyến cao tốc hoặc các công trình giao thông quy mô lớn, giá trị đất đai và các hoạt động kinh tế xung quanh thường gia tăng đáng kể. Nếu có quy hoạch bài bản và tầm nhìn dài hạn, phần giá trị gia tăng này hoàn toàn có thể được khai thác để tái đầu tư cho hạ tầng, qua đó tạo ra một vòng quay nguồn lực bền vững.

***Một vấn đề thường được nhắc tới là sự phối hợp giữa quy hoạch hạ tầng với quy hoạch phát triển kinh tế - xã hội và quy hoạch đô thị. Vậy, cần làm gì để bảo đảm sự đồng bộ giữa các quy hoạch, qua đó nâng cao hiệu quả đầu tư hạ tầng?***

- Theo tôi, để nâng cao hiệu quả đầu tư hạ tầng, điều quan trọng là quy hoạch phải được xây dựng theo hướng tích hợp và đồng bộ. Trong các đồ án quy hoạch hiện nay thường đã bao gồm nhiều nội dung như giao thông, sử dụng đất hay định hướng phát triển kinh tế - xã hội. Tuy nhiên trên thực tế, các nội dung này nhiều khi vẫn khá rời rạc, mỗi lĩnh vực phát triển theo một logic riêng và chưa được gắn kết trong một cấu trúc tổng thể.

Trong quá trình tham gia một dự án nghiên cứu về phát triển bền vững tại Sa Pa (Lào Cai), chúng tôi nhận thấy rõ hạn chế này. Khi đề nghị địa phương cung cấp bản đồ quy hoạch tích hợp để phục vụ nghiên cứu, phía địa phương chỉ có các tài liệu định hướng phát triển đến giai đoạn 2030 - 2045 cùng một số sơ đồ giao thông hoặc khu vực phát triển. Tuy nhiên, các bản đồ chưa thể hiện rõ mối liên hệ giữa hệ thống giao thông với các khu du lịch hay không gian phát triển trong tương lai, nên nhóm nghiên cứu phải tổng hợp dữ liệu từ nhiều nguồn để tự xây dựng bản đồ phân tích kết nối.

Một hạn chế khác là sự tham gia của các chuyên gia đa ngành trong quá trình lập quy hoạch chưa thực sự đầy đủ. Điều này khiến quy hoạch đôi khi thiếu tính thực tiễn.

Bên cạnh đó, một hạn chế lớn hiện nay là thiếu dữ liệu và cơ chế chia sẻ dữ liệu phục vụ công tác quy hoạch. Về nguyên tắc, quy hoạch và các chính sách phát triển phải dựa trên dữ liệu. Tuy nhiên trong nhiều trường hợp, các mục tiêu tăng trưởng được đặt ra nhưng chưa có đủ cơ sở dữ liệu để phân tích. Ví dụ, nếu một địa phương đặt mục tiêu tăng lượng khách du lịch từ 5 triệu lên 10 triệu lượt thì cần có các kịch bản cụ thể về nhu cầu giao thông, lưu trú và dịch vụ đi kèm. Nếu thiếu những dữ liệu này, quy hoạch rất dễ mang tính định tính.

Để nâng cao hiệu quả đầu tư hạ tầng và bảo đảm sự đồng bộ trong phát triển không gian, theo tôi cần tập trung vào 3 yếu tố chính: thứ nhất là xây dựng quy hoạch tích hợp thay vì quy hoạch theo từng ngành riêng lẻ; thứ hai là tăng cường sự tham gia của các chuyên gia đa ngành; và thứ ba là phát triển hệ thống dữ liệu cùng cơ chế chia sẻ dữ liệu phục vụ công tác quy hoạch. Khi những điều kiện này được thực hiện đồng bộ, hiệu quả của các dự án hạ tầng sẽ được nâng lên đáng kể và hạn chế các điều chỉnh tốn kém trong quá trình triển khai.

***Trân trọng cảm ơn bà về cuộc trò chuyện!***

# Định danh để minh bạch

**NGUYỄN HOÀNG LINH**

Từ nay, mỗi căn nhà, căn hộ chung cư hoặc sản phẩm bất động sản khác sẽ được gắn một mã định danh điện tử riêng. Chúng sẽ được pháp luật bảo hộ như nhau và cùng gánh vác trách nhiệm xã hội như nhau.

Một cuộc cách mạng lớn trong quản lý thị trường bất động sản (BĐS) nước nhà được thực hiện từ ngày 01/3/2026 khi bắt đầu triển khai Nghị định 357/2025/NĐ-CP của Chính phủ về xây dựng, quản lý và sử dụng hệ thống thông tin, cơ sở dữ liệu về nhà ở và thị trường BĐS. Từ nay, mỗi căn nhà, căn hộ chung cư hoặc sản phẩm BĐS khác sẽ được gắn một mã định danh điện tử riêng. Chúng sẽ được pháp luật bảo hộ như nhau và cùng gánh vác trách nhiệm xã hội như nhau.

## NHỮNG HẬU QUẢ KHỐN KHỔ VÌ THIẾU THÔNG TIN

Thực ra, trong hệ thống pháp lý hiện nay, các loại hình sản phẩm BĐS của nước ta vốn đã được định danh từ khi nó ra đời. Mỗi thửa đất đã có số tờ, số thửa; mỗi giấy chứng nhận quyền sử dụng đất đều có số sổ riêng và các thông tin này không trùng nhau. Tuy nhiên, những định danh ấy lại nằm rải rác khắp nơi trong hệ thống quản lý Nhà nước. Chẳng hạn, dữ liệu đất đai nằm ở Bộ NN&MT, dữ liệu nhà ở thuộc Bộ Xây dựng, dữ liệu thuế nằm bên Bộ Tài chính, dữ liệu dân cư lại được Bộ Công an quản lý...

Nay theo Nghị định 357/2025/NĐ-CP, các dữ liệu này sẽ được thống nhất cách định danh trên phạm vi cả nước và đưa dữ liệu lên môi trường số.

Việc các dữ liệu thông tin về mỗi sản phẩm BĐS không được tích hợp có hệ thống, bài bản và thống nhất khiến thị trường trở nên thiếu minh bạch và dễ bị lợi dụng. Thực tiễn đã nhiều lần chứng minh rằng không chỉ người dân mà ngay các tổ chức sành sỏi như ngân hàng cũng dính nhiều phen khốn khổ.

Hẳn nhiều người còn nhớ vụ khiếu kiện kéo dài cả chục năm trời giữa người dân, chủ đầu tư và ngân hàng khi hàng trăm căn hộ trong tình trạng mờ ảo về thông tin tại dự án chung cư Phú Thạnh (TP.HCM). Tại đây, từ năm 2010, chủ đầu tư là Công ty 585 đã ký hợp đồng tín dụng với Ngân hàng Việt Á, số tiền được duyệt hạn mức cho vay 270 tỷ đồng, tài sản đảm bảo vay số lượng là 219 căn hộ của dự án. Vậy mà chủ đầu tư đã bán những căn hộ này ngay khi chưa giải chấp mà các bên liên quan đều không hay biết.

Một ví dụ khác tương tự cũng ở TP.HCM tại chung cư Gia Phú. Công ty TNHH Thiết kế và xây dựng Trung Nam là chủ đầu tư đã ký hợp đồng bán toàn bộ 389 căn hộ thuộc chung cư Gia Phú cho nhiều khách hàng và các khách hàng đã thanh toán đủ 100% giá trị hợp đồng. Tuy nhiên, sau khi được các cơ quan có thẩm quyền cấp giấy chứng nhận quyền sở hữu căn hộ, đại diện chủ đầu tư đã không hoàn tất thủ tục sang nhượng 32 căn hộ cho người đã mua trước đó mà tiếp tục sang nhượng cho nhiều người khác và thế chấp tại một ngân hàng để vay hơn 9 tỷ đồng…

Nếu có một trung tâm dữ liệu đầy đủ, chính xác, kịp thời để hỗ trợ đối chiếu và xác thực hiện trạng của các dự án này hẳn sẽ hạn chế rất nhiều những rủi ro không đáng có như vậy. Theo GS Đặng Hùng Võ, khi dữ liệu được số hóa và liên thông ở quy mô quốc gia, các hoạt động như tra cứu thông tin, thống kê, chuyển nhượng hay thực hiện các nghiệp vụ liên quan đến BĐS sẽ trở nên thuận lợi và minh bạch hơn.

## TRÁCH NHIỆM NẶNG NỀ

Ở quốc gia nào cũng vậy, thị trường BĐS luôn luôn được ví là một con ngựa hay nhưng rất dễ trở nên bất kham nếu không có người cầm cương giỏi giang. Ngay cả những quốc gia già đời trong nền kinh tế thị trường như nước Mỹ cũng không ít lần đã bị con ngựa bất kham này làm cho sứt đầu mẻ trán.

Nay, nhằm góp phần tạo lập một thị trường BĐS bền vững, Nghị định 357/2025/NĐ-CP của Chính phủ xác định Bộ Xây dựng là cơ quan xây dựng, quản lý, sử dụng hệ thống thông tin, cơ sở dữ liệu về nhà ở và thị trường BĐS trên phạm vi toàn quốc; UBND cấp tỉnh là cơ quan thu thập, cập nhật,

quản lý, khai thác cơ sở dữ liệu về nhà ở và thị trường BĐS trong phạm vi của địa phương.

Trong đó có đặt ra 9 nguyên tắc gắn liền với những trách nhiệm nặng nề, đó là:

1. Hệ thống thông tin, cơ sở dữ liệu về nhà ở và thị trường BĐS được xây dựng và quản lý tập trung, thống nhất từ trung ương đến địa phương.

2. Bảo đảm phục vụ kịp thời công tác quản lý nhà nước, bảo đảm quốc phòng, an ninh, đáp ứng yêu cầu phát triển kinh tế - xã hội, công khai, minh bạch thông tin về nhà ở và thị trường BĐS.

3. Các cơ quan, tổ chức, cá nhân có liên quan được cấp quyền truy cập để khởi tạo, chia sẻ, cập nhật, cung cấp thông tin, dữ liệu và thực hiện tra cứu, quản lý theo phân quyền của cơ quan quản lý nhà nước.

4. Hệ thống thông tin, cơ sở dữ liệu về nhà ở và thị trường BĐS được xây dựng có tính mở và tiêu chuẩn, quy chuẩn về cơ sở dữ liệu, API, mô hình phân quyền; đáp ứng quy định theo khung kiến trúc dữ liệu quốc gia, các tiêu chuẩn an ninh bảo mật; có mô tả định mức kinh tế - kỹ thuật do cơ quan nhà nước có thẩm quyền ban hành; bảo đảm việc kết nối, chia sẻ dữ liệu với Cơ sở dữ liệu tổng hợp quốc gia và các cơ sở dữ liệu chuyên ngành khác có liên quan; dữ liệu có trong các cơ sở dữ liệu được kết nối, chia sẻ thì không thu thập lại.

5. Các thông tin, dữ liệu được thu thập, cập nhật vào cơ sở dữ liệu về nhà ở và thị trường BĐS phải được làm sạch dữ liệu; có nguồn xác thực hợp pháp, phản ánh đúng hiện trạng về pháp lý; đầy đủ các trường thông tin, được cập nhật thường xuyên theo quy định; mọi bản ghi dữ liệu được lưu vết truy cập, chỉnh sửa, cập nhật, đảm bảo khả năng truy xuất lịch sử thay đổi và biến động dữ liệu.

6. Các thông tin, dữ liệu được hình thành từ cơ sở dữ liệu về nhà ở và thị trường bất động sản là tài sản của nhà nước do Bộ Xây dựng quản lý.

7. Cơ sở dữ liệu về nhà ở và thị trường BĐS được quản lý chặt chẽ, bảo đảm an toàn thông tin, bảo vệ bí mật nhà nước, bảo mật thông tin cá nhân; bảo đảm hiệu quả, đơn giản, thuận tiện cho cơ quan, tổ chức, cá nhân trong thực hiện dịch vụ công, thủ tục hành chính và các hoạt động khác.

8. Thông tin, số liệu được công bố công khai trên Cổng thông tin của hệ thống thông tin về nhà ở và thị trường BĐS là các thông tin, số liệu tổng hợp.

9. Việc xây dựng, quản lý, sử dụng thông tin, dữ liệu về nhà ở và thị trường BĐS phải đảm bảo đúng mục đích, tuân theo các quy định về quản lý, kết nối và chia sẻ dữ liệu số của cơ quan nhà nước, pháp luật về dữ liệu, pháp luật về giao dịch điện tử và pháp luật về tiếp cận thông tin.

## NHỮNG LỜI KHUYÊN ĐÁNG QUAN TÂM

Theo đánh giá chung của nhiều chuyên gia, việc ra đời Nghị định 357 của Chính phủ như là một tất yếu phải làm, đặc biệt khi có thêm sự hỗ trợ quan trọng của công nghệ 4.0. Việc gắn mã định danh điện tử không chỉ là yêu cầu kỹ thuật mà đang trở thành điều kiện pháp lý quan trọng để BĐS được đưa vào kinh doanh, giao dịch hợp pháp trong kỷ nguyên quản lý số hóa thị trường nhà ở.

***Hệ thống thông tin, cơ sở dữ liệu về nhà ở và thị trường BĐS là tài sản lớn của quốc gia. Xây dựng được đầy đủ đã khó, mà quản lý và sử dụng sao cho có hiệu quả tương xứng còn khó gấp nhiều lần.***

Trong một bài viết gần đây, giảng viên Khoa Kinh doanh và Logistics Trường đại học Hòa Bình, chuyên gia chuyển đổi số và phát triển bền vững Nguyễn Phước Thắng đã có những phân tích đáng quan tâm và cho rằng đây là một quá trình cần chia thành 3 giai đoạn.

Giai đoạn thứ nhất là dọn "rác" dữ liệu. Bài học từ Philippines cho thấy, nếu vội vã số hóa những hồ sơ sai lệch, chúng ta chỉ nhận lại "rác kỹ thuật số". Việt Nam đang gánh trên vai khối lượng dữ liệu lịch sử khổng lồ với nhiều hồ sơ giấy cũ nát, sai lệch. Do đó, năm đầu tiên không nên chạy theo số lượng cấp mã mà phải tập trung vào làm sạch dữ liệu. Ứng dụng AI để rà soát chéo, phát hiện bất thường giữa dữ liệu đất và nhà là bước đi bắt buộc. Đồng thời, cần ban hành một "bộ quy chuẩn dữ liệu quốc gia" chi tiết đến từng trường thông tin, tránh vết xe đổ "mạnh ai nấy làm" của Malaysia hay Brazil.

Giai đoạn thứ hai là kết nối để tạo dòng chảy vốn. Đừng bắt người dân phải nhớ thêm một dãy số 40 ký tự nếu nó không giúp ích gì cho họ. Hãy học tập Ấn Độ, đó là kết nối mã định danh với hệ thống ngân hàng. Nếu việc có mã định danh giúp hồ sơ vay vốn được duyệt nhanh hơn thì người dân sẽ tự nguyện đi cập nhật thông tin. Động lực kinh tế luôn mạnh hơn mệnh lệnh hành chính. Bên cạnh đó, việc tích hợp vào VNeID để tự động hóa tờ khai thuế chuyển nhượng cũng là cách để người dân thấy được sự ưu việt của công nghệ.

Giai đoạn thứ ba là khi dữ liệu đã đủ lớn và sạch, mã định danh sẽ chuyển từ công cụ quản lý sang công cụ điều tiết vĩ mô. Trung Quốc sau 10 năm xây dựng hệ thống đăng ký thống nhất đã nắm rõ ai sở hữu bao nhiêu nhà để thí điểm thuế tài sản và đưa ra các gói giải cứu thị trường chính xác dựa trên lượng hàng tồn kho thực tế. Việt Nam cũng nên đi theo con đường này. Mã định danh sẽ là cơ sở dữ liệu không thể thiếu để xây dựng Luật Thuế BĐS trong tương lai, đảm bảo công bằng xã hội. Hơn thế nữa, một sàn giao dịch quyền sử dụng đất quốc gia tích hợp thanh toán (như mô hình PEXA của Úc) sẽ loại bỏ hoàn toàn nạn lừa đảo "đặt cọc" hay "hai giá", minh bạch hóa thị trường.

Nhân đây, có lẽ không thừa khi nhắc đến một căn bệnh thường xảy ra trong quá trình triển khai thực thi pháp luật hiện nay, đó là thiếu sự phối hợp đồng bộ, nhất quán, kiên định từ trung ương đến địa phương và đến từng người dân. Hệ thống thông tin, cơ sở dữ liệu về nhà ở và thị trường BĐS là tài sản lớn của quốc gia. Xây dựng được đầy đủ đã khó, mà quản lý và sử dụng sao cho có hiệu quả tương xứng còn khó gấp nhiều lần.❖

## XE HYBRID TỰ SẠC:

# Lời giải cho bài toán năng lượng và hạ tầng tại Việt Nam

XUÂN KHẢI

Sau gần 6 năm có mặt tại thị trường Việt Nam, xe Hybrid không còn là lựa chọn mạo hiểm mà trở thành giải pháp di chuyển xanh thực tế được đông đảo khách hàng sẵn sàng "xuống tiền", nhất là trong bối cảnh khủng hoảng năng lượng và khi các rào cản về giá bán, bảo hành, chi phí thay pin được tháo gỡ.

### NGÀNH Ô TÔ CHỊU TÁC ĐỘNG MẠNH TỪ CUỘC KHỦNG HOẢNG NĂNG LƯỢNG

Tình hình chiến sự ở khu vực Trung Đông đang nóng lên từng ngày. Theo thông tin từ trang thông tin điện tử của Bộ Công Thương, Iran đã phong tỏa eo biển Hormuz - tuyến hàng hải chiến lược vận chuyển khoảng 13 triệu thùng dầu/ngày, tương đương 31% tổng lượng dầu thô vận chuyển bằng đường biển toàn cầu.

Giá xăng dầu tăng cao đang ảnh hưởng lớn đến mọi mặt đời sống kinh tế - xã hội, trong đó có ngành ô tô khi xe xăng, dầu vẫn đang chiếm tỷ trọng lớn tại Việt Nam. Bộ Công Thương cũng khuyến nghị người dân chủ động thực hành tiết kiệm năng lượng. Việc bảo dưỡng phương tiện định kỳ, tắt máy khi dừng đỗ lâu giúp giảm 10 - 15% lượng xăng tiêu hao; vận hành xe tiết kiệm nhiên liệu như giữ tốc độ ổn định, tránh tăng giảm ga đột ngột, hạn chế chạy tốc độ cao không cần thiết là những hành động nhỏ nhưng mỗi người dân cùng chung tay sẽ tạo ra tác động lớn, góp phần giảm thiểu lượng xăng, dầu tiêu thụ. Ngày 09/3, tại Hà Nội, Bộ Công Thương tổ chức Hội nghị phổ biến lộ trình phối trộn nhiên liệu sinh học với nhiên liệu truyền thống trong thời kỳ mới. Việc thúc đẩy sử dụng xăng sinh học E5, E10 không chỉ giúp giảm phát thải khí nhà kính so với xăng khoáng truyền thống, góp phần bảo vệ môi trường mà còn giảm sự phụ thuộc vào nhiên liệu hóa thạch. Bên cạnh đó, các phương tiện di chuyển thân thiện môi trường cũng được khuyến khích sử dụng.

### GIẢI PHÁP DI CHUYỂN XANH LÊN NGÔI

Các hãng xe tại Việt Nam cũng đang đứng trước thách thức lớn về bài toán năng lượng ảnh hưởng đến chiến lược kinh doanh và phát triển sản phẩm. Song thương hiệu lớn Toyota đã có những lời giải cho bài toán giảm phụ thuộc vào nhiên liệu hóa thạch. Đối với các mẫu xe sử dụng thuần động cơ đốt trong, hãng cho biết: Các dòng xe Toyota (bao gồm cả xe mới lẫn xe đã qua sử dụng được sản xuất sau năm 1997) đều tương thích với xăng E10 mà không ảnh hưởng đến hiệu suất vận hành và mức độ an toàn của phương tiện, không phát sinh thêm chi phí bảo hành, bảo dưỡng và sửa chữa so với khi sử dụng các loại xăng thông thường trước đây.

Ngay từ năm 2023, Toyota Việt Nam đã phối hợp với Đại học Bách khoa Hà Nội và Công ty CP Lọc hóa dầu Bình Sơn thực hiện dự án "Nghiên cứu hiệu quả sử dụng xăng sinh học đối với ô tô thế hệ mới tại Việt Nam". Kết quả cho thấy, xe Hybrid tự sạc (HEV) sử dụng xăng E10 tiết kiệm hơn 7,8% so với xe xăng thông thường, giảm phát thải CO2 11% trong điều kiện đường nội đô cao điểm.

Từ đầu năm 2026, các mẫu xe HEV có mức tiêu thụ nhiên liệu chỉ bằng 70% so với xe chạy xăng, dầu cùng chủng loại (theo giám định của các cơ quan chức năng) sẽ được hưởng chính sách ưu đãi 30% thuế tiêu thụ đặc biệt - một trong những yếu tố cấu thành giá bán xe. Toyota là thương hiệu đầu tiên tại Việt Nam công bố những mẫu xe được hưởng ưu đãi này và giảm giá bán từ 37 - 200 triệu đồng, tùy mẫu xe.

Khi giá xe HEV tiệm cận phiên bản xăng cùng loại, khách hàng không cần phải tính toán xem mất bao lâu để hoàn vốn tiền chênh lệch giữa tiết kiệm xăng với chi phí đầu tư ban đầu. Cam kết về tuổi thọ pin tương đương tuổi thọ xe không phải là lời "nói suông" từ hãng khi Toyota dám khẳng định chất lượng, sự bền bỉ và đáng tin cậy của dòng xe này thông qua chính sách gia hạn bảo hành cho cả xe và pin HEV đến 10 năm hoặc 185.000 km (tùy điều kiện nào đến trước).

Để hưởng chính sách này, khách hàng chỉ cần tuân thủ chính sách chăm sóc xe định kỳ tại hệ thống đại lý Toyota. Giai đoạn 3 năm đầu hoặc 100.000 km, khách hàng cần bảo dưỡng đầy đủ theo hướng dẫn của nhà sản xuất. Giai đoạn từ năm thứ 4 đến năm thứ 10 hoặc 185.000 km, xe cần được bảo dưỡng đầy đủ theo hướng dẫn của nhà sản xuất; trong đó với mỗi lần bảo dưỡng định kỳ đầy đủ và đúng cấp, thời hạn bảo hành của xe sẽ tự động gia hạn thêm 06 tháng hoặc 5.000 km tiếp theo (tùy theo điều kiện nào tới trước) kể từ ngày xe được ghi nhận bảo dưỡng tại đại lý chính hãng. Phạm vi bảo hành với đầy đủ các hạng mục quan trọng như động cơ, hộp số, truyền động, nhiên liệu, phanh, hệ thống treo, pin xe HEV… giúp khách hàng an tâm trong suốt hành trình gắn bó với chiếc xe. Số lần bảo hành không giới hạn trong thời gian gia hạn, có thể chuyển nhượng giúp tăng giá trị bán lại và uy tín xe HEV trên thị trường thứ cấp. Chi phí thay thế pin cũng không còn là rào cản khi Toyota giảm giá đến 34% cho khách hàng thay pin cũ lấy pin mới, mức giảm tùy từng mẫu xe.

Một chuyên gia ngành xe nhận định, những nỗ lực của Toyota không chỉ mang lại giá trị ở góc độ thương mại mà còn có những tác động lớn đến môi trường, đặc biệt là tại các đô thị lớn. Lượng xe HEV tiêu thụ ngày càng nhiều sẽ góp phần giảm thiểu lượng phát thải ra môi trường và giảm ô nhiễm tiếng ồn. Giờ đây, xe HEV không còn là phép thử mà đang dần trở thành khoản đầu tư thông minh. Từ ngày 28 - 29/3, hãng xe Nhật Bản sẽ tổ chức sự kiện trưng bày và lái thử xe Toyota Hybrid tại Phố đi bộ Hồ Gươm. Sự kiện hứa hẹn sẽ trở thành điểm đến thú vị cho du khách và người dân dịp cuối tuần, lan tỏa thông điệp di chuyển xanh đến cộng đồng.❖

# Hạ tầng đường sắt

> **AN NHIÊN**

Cuốn sách "Hạ tầng đường sắt" (Infraestructuras Ferroviarias) của giáo sư người Pháp Andrés López Pita, do TS Dương Trọng Vĩnh chuyển ngữ sang tiếng Việt, là một tài liệu tham khảo về các nguyên lý kỹ thuật và phương pháp tiếp cận trong thiết kế, xây dựng và quản lý hạ tầng đường sắt.

Trong bối cảnh nhiều quốc gia đang đẩy mạnh phát triển hệ thống đường sắt tốc độ cao và đường sắt đô thị, việc tiếp cận các tri thức kỹ thuật hiện đại về hạ tầng đường sắt ngày càng trở nên cần thiết.

Theo lời người dịch, trong bối cảnh Việt Nam đang chuẩn bị triển khai các dự án đường sắt tốc độ cao và đường sắt đô thị quy mô lớn, việc tiếp cận tri thức quốc tế một cách có hệ thống là yếu tố quan trọng để xây dựng nền tảng kỹ thuật cho sự phát triển lâu dài của ngành đường sắt.

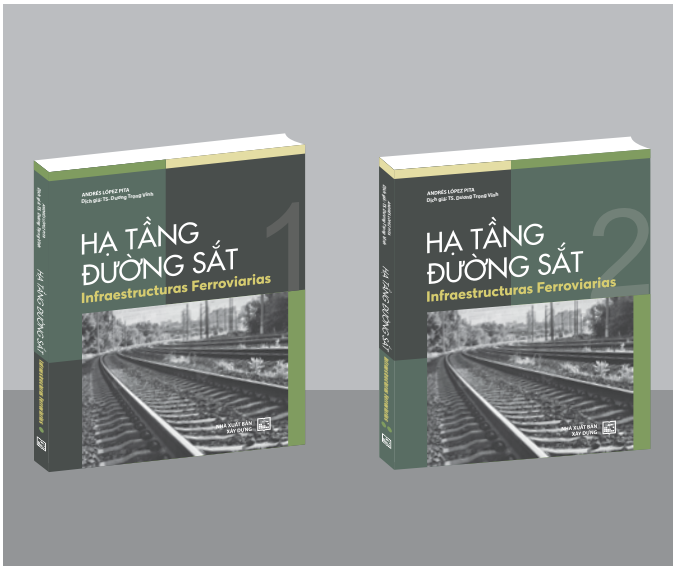
Nội dung cuốn sách trình bày toàn diện các vấn đề cốt lõi liên quan đến hạ tầng đường sắt, từ sự phát triển của mạng lưới đường sắt trên thế giới, các đặc điểm kỹ thuật của kết cấu hạ tầng, cho đến các nguyên lý động lực học và tương tác giữa phương tiện và đường ray.

Trong phần mở đầu, GS Andrés López Pita khái quát sự phát triển của mạng lưới đường sắt toàn cầu, với tổng chiều dài hơn 900 nghìn km, trong đó châu Âu và châu Mỹ chiếm tỷ trọng lớn nhất.

Một điểm nổi bật của cuốn sách là cách tiếp cận kết hợp giữa lý thuyết kỹ thuật và kinh nghiệm thực tiễn. Các nội dung về động lực học phương tiện đường sắt, tương tác bánh xe - ray, dao động của trục bánh và các ứng suất tác động lên đường ray được GS Andrés López Pita trình bày, diễn giải rõ ràng, kèm theo các mô hình phân tích và công thức tính toán cụ thể, giúp người đọc hiểu rõ các nguyên lý cơ bản và có thể áp dụng trong thiết kế và vận hành hệ thống đường sắt.

Theo tác giả, bản chất của bài toán động lực học ngang trong đường sắt nằm ở việc phân tích các chuyển động ngang của trục bánh xe và các lực ngang phát sinh trong quá trình phương tiện chạy trên đường ray. Chuyển động của phương tiện không chỉ phụ thuộc vào hình học của bánh xe, trục và bogie, mà còn chịu ảnh hưởng của hình học đường ray và các sai lệch ngẫu nhiên của kết cấu hạ tầng trong quá trình khai thác.

Do đó, việc nghiên cứu động lực học ngang thường được thực hiện theo hai hướng: phân tích động học nhằm xác định quỹ đạo chuyển động của trục bánh xe khi bị lệch khỏi tim




đường ray, và phân tích động lực học để đánh giá các lực và ứng suất ngang tác dụng lên ray. Những phân tích này là cơ sở quan trọng để hiểu cơ chế tương tác giữa phương tiện và hạ tầng đường sắt, từ đó phục vụ cho thiết kế hình học bánh xe - ray, kiểm soát ổn định chuyển động của đoàn tàu và bảo đảm an toàn vận hành hệ thống đường sắt.

Bên cạnh đó, cuốn sách cũng làm rõ vai trò của tiêu chuẩn kỹ thuật và kinh nghiệm quốc tế trong phát triển hạ tầng đường sắt. Mặc dù các nguyên lý vật lý của hệ thống đường sắt mang tính phổ quát, song giải pháp kỹ thuật ở mỗi quốc gia thường phản ánh những đặc thù riêng về lịch sử phát triển, công nghệ và tổ chức vận hành. Do đó, việc tổng hợp các kinh nghiệm quốc tế và trình bày chúng trong một hệ thống kiến thức thống nhất có ý nghĩa quan trọng đối với đào tạo và nghiên cứu trong lĩnh vực này…

Sách được NXB Xây dựng phát hành dưới 2 hình thức sách in và sách điện tử.❖

■Ngày nhận bài: 02/01/2026 ■Ngày sửa bài: 10/01/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 24/01/2026

# Không gian xanh đa năng gắn với hạ tầng xanh: Cách tiếp cận bền vững tại Việt Nam

## Multi-functional green spaces integrated with green infrastructure: A sustainable approach in Vietnam

**THS ĐẶNG GIA QUYỀN[1,*], PGS.TS NGUYỄN THỊ THANH MAI[2]**
[1]NCS Khoa Kiến trúc và Quy hoạch, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội; [*]Email: quyenarchitect@gmail.com
[2]Khoa Kiến trúc và Quy hoạch, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội; Email: maintt@huce.edu.vn

**TÓM TẮT**

Không gian xanh đô thị ngày càng được nhìn nhận như một cấu phần quan trọng của phát triển đô thị bền vững. Tuy nhiên, tại Việt Nam, không gian xanh đô thị hiện vẫn tiếp cận đơn năng, trong khi khái niệm hạ tầng xanh chưa được định vị rõ ràng trong hệ thống quy hoạch và quản lý đô thị. Bài báo nhằm làm rõ và hệ thống hóa các khái niệm về không gian xanh (KGX) và hạ tầng xanh (HTX), đồng thời phân tích khả năng vận dụng tích hợp trong bối cảnh đô thị Việt Nam. Nghiên cứu sử dụng phương pháp định tính, kết hợp tổng quan tài liệu thứ cấp và vận dụng kinh nghiệm quốc tế phân tích trong thực tiễn Việt Nam. Kết quả nghiên cứu cho thấy KGX cần tiếp cận đa chức năng, tích hợp với khía cạnh HTX và kết hợp bố trí với hệ thống hạ tầng kỹ thuật thiết yếu. Bài báo đề xuất một số định hướng và giải pháp góp phần tăng cường thể chế hóa, và nâng cao hiệu quả phát triển KGX - HTX trong các đô thị Việt Nam.

**Từ khóa:** Không gian xanh; hạ tầng xanh; không gian mở; hành lang đa chức năng; đô thị bền vững.

**ABSTRACT**

Urban green space is increasingly recognized as a key component of sustainable urban development. However, in Vietnam, urban green spaces are still predominantly approached in a single-function manner, while the concept of green infrastructure has yet to be clearly defined within the urban planning and management framework. This articles aims to clarify and systematize the concepts of urban green space and green infrastructure, and to analyze the potential for their integration in Vietnam's cities. The research employs a qualitative research approach, combining a review of secondary literature with an analysis of international experiences applied to the Vietnamese context. The findings indicate that urban green spaces should be approached from a multifunctional perspective, integrated with green infrastructure principles, and coordinated with essential technical infrastructure systems. Based on these results, the paper proposes several orientations and solutions to strengthen institutionalization and enhance the effectiveness of green space and green infrastructure development in Vietnam's cities.

**Keywords:** Green spaces; green infrastructure; open space; multiuse corridor; sustainable urban.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Không gian xanh đô thị (Green Space) có thể được hiểu là một thành phần cơ bản của cấu trúc đô thị, gắn liền với mục tiêu cải thiện chất lượng sống và cân bằng giữa phát triển xây dựng với yếu tố tự nhiên. Bên cạnh giá trị cảnh quan, KGX còn là nơi diễn ra các hoạt động xã hội, văn hóa trong đô thị. Theo cách tiếp cận hiện đại, KGX đô thị không chỉ được nhìn nhận như những khu vực cây xanh riêng lẻ mà được tổ chức thành một hệ thống liên kết. Hệ thống này bao gồm công viên, mặt nước, hành lang xanh và các không gian mở tự nhiên khác, được phân bố và kết nối. Khi được tổ chức theo mạng lưới, KGX có khả năng đảm nhiệm đồng thời nhiều chức năng, từ bảo vệ môi trường, nâng cao chất lượng sống đến hỗ trợ phát triển kinh tế - xã hội và tăng cường khả năng thích ứng của đô thị trước các biến đổi [1]. Hay nói cách khác, KGX được hiểu với ý nghĩa đa chức năng.

Hình 1. KGX - HTX đô thị giúp thiết lập nên các không gian con người kết nối với thiên nhiên. Minh họa đô thị chuyển từ không gian bê tông (Grey) sang mạng lưới cây xanh, công viên và mặt nước (Green) tạo môi trường sống lành mạnh, kết nối cộng đồng và thiên nhiên [2]

Ngày nay, khái niệm hạ tầng xanh (Green Infrastructure) được hình thành như một cách tiếp cận tích hợp hơn đối với KGX đô thị. HTX có thể được hiểu là mạng lưới các không gian tự nhiên và bán tự nhiên được quy hoạch có chủ đích, giữ vai trò như một bộ phận của hệ thống hạ tầng đô thị. Khác với cách tiếp cận truyền thống coi hạ tầng chủ yếu là các công trình kỹ thuật, HTX nhấn mạnh vai trò của các yếu tố tự nhiên trong việc cung cấp các tiện ích môi trường, xã hội và kinh tế, đồng thời hỗ trợ các chức năng hạ tầng như quản lý nước mưa, điều hòa vi khí hậu và nâng cao khả năng chống chịu của đô thị [3].

Tại Việt Nam, các khái niệm KGX đa chức năng, HTX chưa thực sự phổ biến. KGX thường được hiểu theo nghĩa hẹp, với các hình thái như công viên, vườn hoa, dải cây xanh trên đường phố…, kèm theo với các chỉ tiêu quy hoạch, thiết kế cây xanh. Trong khi đó, khái niệm HTX mặc dù đã được nhắc đến trong một số nghiên cứu, nhưng chưa được chính thức hoá trong các văn bản pháp lý hiện hành. Trong phạm vi bài báo, tác giả tập trung làm rõ và hệ thống hóa các khái niệm về *KGX đa chức năng*, đồng thời làm rõ mối quan hệ và sự lồng ghép giữa thuật ngữ *KGX* và *HTX*. Trên cơ sở đó, bài viết phân tích và đề xuất khả năng vận dụng phù hợp các cách tiếp cận này trong bối cảnh phát triển đô thị tại Việt Nam. Nghiên cứu sử dụng phương pháp định tính, kết hợp tổng quan tài liệu thứ cấp và phân tích so sánh giữa kinh nghiệm quốc tế và thực tiễn trong nước.

## 2. TỔNG QUAN VỀ KGX ĐÔ THỊ VÀ HTX

### 2.1. Không gian xanh đô thị

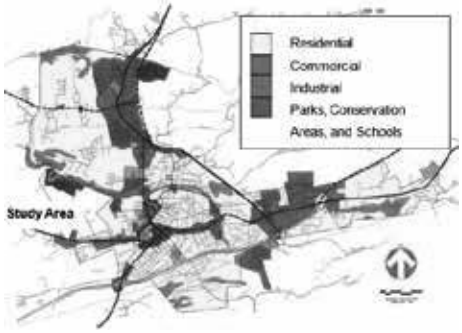
Khái niệm không gian xanh (Green Space) đã xuất hiện từ sớm, tiền thân là phong trào "Thành phố vườn" do Ebenezer Howard đề xuất vào cuối thế kỷ XIX. Mô hình hướng tới các đô thị phát triển cân bằng giữa các chức năng như cây xanh, khu ở, khu công nghiệp [4]. Đến thế kỷ XX, khi thế giới bước vào giai đoạn cao trào của cách mạng công nghiệp, môi trường sống đô thị bị ảnh hưởng nghiêm trọng, các phong trào với tư duy quy hoạch đô thị tích hợp với tự nhiên được chú trọng. Nổi lên như quan điểm của Patrick Geddes nhấn mạnh quy hoạch đô thị không chỉ xây dựng công trình mà là mở rộng yếu tố tự nhiên trong thành phố [5] hay quan điểm của Jane Jacobs đề cao công viên và không gian công cộng trong đô thị, Jacobs cho rằng các không gian mở như công viên, không gian xanh nếu được đặt đúng chỗ sẽ được cư dân sử dụng và có giá trị xã hội trong kết nối cộng đồng [6]. Ngày nay, khái niệm không gian xanh đô thị được nhìn nhận trong một hệ thống liên hoàn, kết nối giữa hành lang xanh, mặt nước và các cấu trúc xanh hoạt động với ý nghĩa hạ tầng xanh, thoát nước bền vững cho đô thị. Theo cách tiếp cận này, KGX mang lại nhiều lợi ích cho đô thị như cải thiện môi trường, duy trì và bảo tồn sinh thái, phát triển văn hóa xã hội, tăng cường chất lượng sống và năng lượng sản xuất cho đô thị.

### 2.2. Hạ tầng xanh

Khái niệm hạ tầng xanh (Green Infrastructure) ra đời muộn hơn, nhưng luôn gắn liền với KGX. Vào khoảng thập niên 1990, các lý thuyết quy hoạch đô thị quan tâm nhiều hơn tới khía cạnh xã hội, bên cạnh yếu tố thẩm mỹ của KGX. Ngày nay, KGX được mở rộng với ý nghĩa đa chức năng gắn liền với khía cạnh hạ tầng kỹ thuật, giữ vai trò quan trọng trong phát triển đô thị bền vững, thích ứng và giảm thiểu biến đổi khí hậu. Quan điểm của Mark A. Benedict & Edward T. McMahon cho rằng "HTX là một mạng lưới được quy hoạch chiến lược gồm các không gian tự nhiên và bán tự nhiên, được thiết kế để bảo tồn các giá trị sinh thái và đồng thời cung cấp các lợi ích môi trường, xã hội và kinh tế cho con người" [3]. Hay học giả Nguyễn Thế Bá cho rằng "Việc phát triển HTX là xu hướng tất yếu trong quy hoạch đô thị hiện đại, nhằm tích hợp các yếu tố sinh thái vào cấu trúc đô thị, góp phần sử dụng hiệu quả tài nguyên đất và tăng khả năng thích ứng với biến đổi khí hậu" [7]. Như vậy, hạ tầng xanh được xem là một sự lồng ghép KGX với chức năng hạ tầng đô thị.

### 2.3. Kinh nghiệm về phát triển KGX đa chức năng trong đô thị

• *Thiết lập "Hành lang đa chức năng" tại Christianburg, Hạt Montgomery, Tây Nam bang Virginia, Hoa Kỳ.*

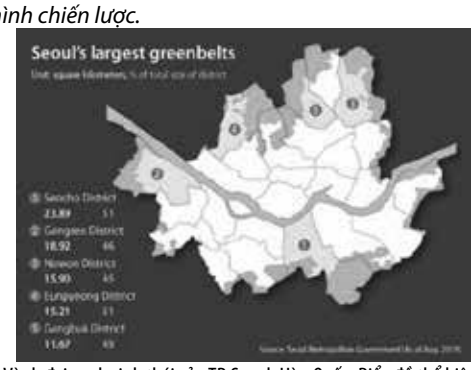



Hình 2. Mặt bằng quy hoạch sử dụng đất khu vực nghiên cứu Christiansburg. Mặt bằng thể hiện phạm vi nghiên cứu của dự án. Các vùng Residential: Đất ở; Commercial: đất thương mại; Industrial: Đất công nghiệp; Parks, Conservation Areas, and Schools: Đất công viên, cộng đồng, trường học [8]

Trong nỗ lực kiến tạo các đô thị bền vững, nghiên cứu của tác giả George W. Schroeder về việc áp dụng "Hành lang đa chức năng" (một hệ thống tích hợp giữa hành lang xanh và HTX) tại hạt Montgomery (bang Virginia, Mỹ) đã mang lại những góc nhìn giá trị. Nghiên cứu này không chỉ hướng tới mục tiêu khuyến khích phát triển tại các khu vực đã có hạ tầng công cộng truyền thống, mà còn giải quyết bài toán cải thiện thẩm mỹ cảnh quan, ngầm hóa hạ tầng kỹ thuật, đồng thời mang lại lợi ích sinh thái và tăng cường khả năng tiếp cận thiên nhiên cho cư dân đô thị. Theo đó, Schroeder đã đề xuất các giải pháp chiến lược để đưa hành lang đa chức năng vào quy hoạch đô thị. Ông đặc biệt nhấn mạnh việc đầu tư vào không gian mở với HTX cần được thực hiện song song với quá trình phát triển các khu chức năng khác. Hơn nữa, Schroeder đề cao vai trò của công tác quản lý thống nhất giữa các hệ thống này nhằm tối ưu hóa hiệu quả cho cộng đồng [8].

Bài học kinh nghiệm từ nghiên cứu này cho thấy việc sử dụng HTX không chỉ mang lại lợi ích về mặt thẩm mỹ hay kinh tế, mà còn là yếu tố then chốt để tăng cường tính kết nối và nâng cao chất lượng sống của cộng đồng. Quan trọng hơn, HTX góp phần giảm thiểu đáng kể những tác động không mong muốn của hệ thống hạ tầng truyền thống lên môi trường đô thị, qua đó khẳng định tầm quan trọng không thể thay thế của KGX và HTX trong chiến lược phát triển đô thị.

• *Vành đai xanh Seoul: Cấu trúc hạ tầng sinh thái và những bước chuyển mình chiến lược.*

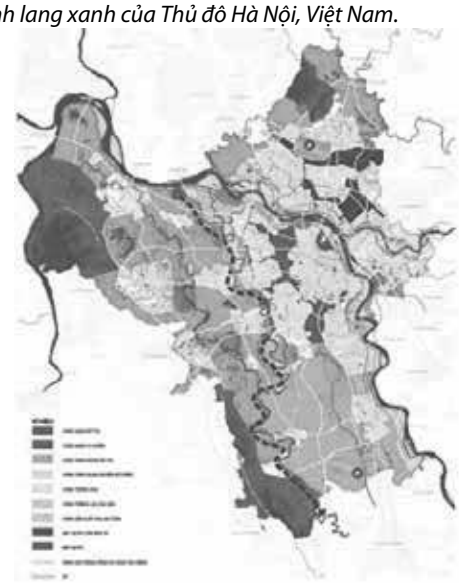



Hình 3. Vành đai xanh sinh thái của TP Seoul, Hàn Quốc. Biểu đồ thể hiện diện tích các quận của TP Seoul có tỉ lệ vành đai xanh lớn tiêu biểu [9]

Mô hình Vành đai xanh (Green Belt) của Thủ đô Seoul (Hàn Quốc) từ lâu đã được xem là một hình mẫu về HTX trong quy hoạch

đô thị bền vững. Được kế thừa và phát triển từ tư tưởng Vành đai xanh London, Seoul đã biến tấu mô hình này thành một cấu trúc không gian đa chức năng, không chỉ đơn thuần là "lá phổi xanh" mà còn tích hợp hài hòa các hệ sinh thái rừng, đất nông nghiệp, sông hồ và các khu bảo tồn tự nhiên. Với vai trò là ranh giới cứng giúp kiểm soát sự lan tỏa đô thị quá mức, vành đai này thực hiện nhiệm vụ điều tiết vi khí hậu và bảo vệ tài nguyên đất, nước một cách nghiêm ngặt. Minh chứng rõ nét nhất cho định hướng ưu tiên sinh thái là chỉ có khoảng 1,66% dân số Seoul sinh sống trong khu vực này [10], khẳng định sự kiên định của chính quyền trong việc hạn chế tối đa các hoạt động khai thác xây dựng. Tuy nhiên, tính đến đầu năm 2026, chiến lược này đang chứng kiến một bước ngoặt lịch sử. Để thích ứng với bối cảnh kinh tế mới, Chính phủ Hàn Quốc đã bắt đầu thực hiện lộ trình nới lỏng có chọn lọc một phần diện tích vành đai xanh nhằm phục vụ các ngành công nghiệp chiến lược như bán dẫn và công nghệ di động tương lai. Sự thay đổi này cho thấy tư duy quản lý đô thị của Seoul đã chuyển dịch từ "bảo tồn tĩnh" sang "quản lý động". Cân bằng giữa việc duy trì giá trị cốt lõi của HTX với nhu cầu bứt phá kinh tế quốc gia, nhưng vẫn đảm bảo sự chỉ đạo xuyên suốt từ cấp Chính phủ trung ương và Luật Quy hoạch Thủ đô Seoul .

- *Hành lang xanh của Thủ đô Hà Nội, Việt Nam.*



Hình 4. Phát triển HTX Hà Nội dựa trên các phân vùng sinh thái [11]

Trong cấu trúc không gian của Thủ đô Hà Nội, hạ tầng xanh được xác định là một yếu tố trọng yếu trong Đồ án Quy hoạch chung xây dựng giai đoạn 2011 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050, với mục tiêu kiến tạo mạng lưới sinh thái - kinh tế - xã hội đa chức năng thông qua việc tích hợp các không gian nông nghiệp, khu bảo tồn tự nhiên và di sản văn hóa [12]. Dù được kỳ vọng sẽ hỗ trợ thành phố thích ứng với ngập lụt, cải thiện vi khí hậu và thúc đẩy du lịch sinh thái, song thực tế triển khai HTX tại Hà Nội hiện vẫn bộc lộ nhiều hạn chế về tính liên kết và hiệu quả vận hành. Đáng chú ý, mặc dù quy mô hành lang xanh chiếm gần 70% diện tích toàn thành phố [12], nhưng các thành phần này đang bị phân mảnh do chưa được tổ chức theo nguyên tắc mạng lưới sinh thái liên tục, cộng thêm sự xâm lấn của các khu công nghiệp và khu dân cư làm gián đoạn dòng chảy sinh thái. Hơn nữa, việc quản lý hiện nay vẫn chủ yếu dựa trên chức năng sử dụng đất thay vì mục tiêu sinh thái bền vững, dẫn đến sự thiếu thống nhất trong khái niệm và gây khó khăn cho công tác đầu tư, khiến HTX của Thủ đô hiện mới chỉ dừng lại ở mức định hướng không gian mà chưa thực sự trở thành động lực hỗ trợ hữu hiệu cho sự phát triển bền vững.

## 3. BỐI CẢNH PHÁT TRIỂN KGX VÀ HTX TẠI CÁC ĐÔ THỊ VIỆT NAM

### 3.1. Cơ sở pháp lý về KGX và HTX tại Việt Nam

Hiện nay, phát triển KGX và HTX tại Việt Nam được điều chỉnh thông qua một hệ thống pháp lý đa tầng, bao gồm khoảng 51 văn bản luật liên quan đến công tác quản lý và quy hoạch đô thị [13]. Các văn bản này có thể được phân thành ba nhóm chính: (i) luật; (ii) văn bản dưới luật; và (iii) hệ thống tiêu chuẩn, quy chuẩn kỹ thuật. Hệ thống pháp lý hiện hành đã bước đầu thừa nhận vai trò của KGX như một bộ phận cấu thành của cấu trúc đô thị, đồng thời lồng ghép các yếu tố môi trường và sinh thái trong công tác quy hoạch. Một số quy định về chỉ tiêu cây xanh, mặt nước và hành lang bảo vệ sông, hồ đã tạo cơ sở pháp lý nhất định cho việc kiểm soát hoạt động xây dựng và phát triển đô thị.

Tuy nhiên, hạn chế lớn của hệ thống pháp lý này là chưa hình thành được một khung pháp lý riêng và thống nhất cho HTX. Khái niệm "hạ tầng xanh" (Green Infrastructure) chưa được định nghĩa rõ ràng và đồng nhất trong các văn bản luật, dẫn đến việc triển khai còn mang tính phân tán, chồng chéo giữa các lĩnh vực như xây dựng, giao thông và nông nghiệp. Các quy định hiện nay chủ yếu tiếp cận theo hướng quản lý đất đai và hạ tầng kỹ thuật truyền thống, chưa coi HTX là một hệ thống đa chức năng, tích hợp các giá trị sinh thái, xã hội và kinh tế. Nguyên nhân của tình trạng này xuất phát từ tư duy phát triển đô thị vẫn thiên về xây dựng, thiếu cơ chế phối hợp liên ngành, cũng như thiếu các công cụ và cơ chế giám sát hiệu quả. Bên cạnh đó, việc cụ thể hóa các quy định pháp luật thành các dự án triển khai trên thực tế còn gặp nhiều khó khăn do hạn chế về nguồn lực, dữ liệu và năng lực quản lý, khiến hạ tầng xanh chưa thực sự trở thành một thành tố cốt lõi trong tiến trình phát triển đô thị bền vững ở Việt Nam.

Bảng 1. Mật độ xây dựng gộp tối đa của các chức năng đất cây xanh công viên áp dụng ở Việt Nam [14]

| TT | Chức năng đất đô thị | Mật độ xây dựng gộp tối đa (%) |
|---|---|---|
| *1* | *Đất đơn vị ở* | *60* |
| *2* | *Đất du lịch - nghỉ dưỡng tổng hợp* | *25* |
| *3* | *Đất công viên chuyên đề* | *25* |
| *4* | *Đất công viên công cộng* | *5* |
| *5* | *Đất khu cây xanh chuyên dụng* | *5* |

Trường hợp cụ thể về "Mật độ xây dựng gộp tối đa của các chức năng đất cây xanh công viên" cho thấy cách tiếp cận còn mang tính định lượng và chưa có chiều sâu trong quản lý quy hoạch KGX, khi trọng tâm chủ yếu đặt vào khống chế tỷ lệ và mật độ xây dựng theo loại đất. Cách quy định này chưa phản ánh đầy đủ vai trò, cấu trúc và chức năng của không gian xanh như một hệ thống hạ tầng sinh thái, có khả năng tích hợp các giá trị môi trường, xã hội và kinh tế nhằm bảo đảm phát triển đô thị bền vững.

### 3.2. Định hướng - thể chế về KGX và HTX tại Việt Nam

Việt Nam đang từng bước xây dựng chiến lược phát triển liên quan tới KGX và HTX nhằm hướng tới tăng trưởng bền vững, thích ứng với biến đổi khí hậu và nâng cao chất lượng sống đô thị. Tại Hội nghị COP26, Việt Nam đã cam kết đạt mức phát thải ròng bằng "0" vào năm 2050 [15], qua đó tạo nền tảng chính trị quan trọng cho việc thúc đẩy các giải pháp dựa vào tự nhiên, trong đó KGX và HTX giữ vai trò then chốt. Ở tầm nhìn chiến lược, Chiến lược Tăng trưởng xanh quốc gia giai đoạn 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050 nhấn mạnh phát triển hệ thống hạ tầng bền vững, sử dụng hiệu quả tài nguyên, giảm phát thải khí nhà kính và tăng cường khả năng hấp thụ carbon thông qua cây xanh, mặt nước và các hệ sinh thái tự nhiên [16].

Trong lĩnh vực quy hoạch và xây dựng, các chính sách và quy chuẩn hiện hành đã đặt ra yêu cầu về tăng tỷ lệ đất cây xanh, mặt

nước và không gian công cộng, đồng thời nhấn mạnh tầm quan trọng của lồng ghép các giải pháp quản lý thoát nước bền vững nhằm giảm thiểu hiệu ứng đảo nhiệt đô thị và tình trạng ngập úng. Tuy nhiên, khái niệm HTX hiện vẫn được đề cập một cách phân tán và chưa được định danh rõ ràng như một hệ thống tích hợp đa chức năng. Điều này đặt ra yêu cầu tiếp tục hoàn thiện khung chính sách, công cụ quản lý và cách tiếp cận liên ngành, nhằm đưa KGX và HTX trở thành giải pháp trung tâm trong phát triển đô thị bền vững ở Việt Nam.

Trong bối cảnh đô thị hóa diễn ra nhanh chóng cùng với những tác động ngày càng rõ rệt của biến đổi khí hậu, vấn đề phát triển KGX và HTX tại Việt Nam đã nhận được sự quan tâm ngày càng lớn trong các chiến lược, quy hoạch và chương trình phát triển đô thị. Tuy nhiên, cách tiếp cận phổ biến hiện nay vẫn chủ yếu xem KGX như một yếu tố cảnh quan mang tính điểm nhấn hoặc trang trí, hơn là coi đây là một cấu phần của hệ thống hạ tầng kỹ thuật đa chức năng, có khả năng tích hợp các giá trị sinh thái, môi trường và xã hội trong phát triển đô thị bền vững.

Hình 5. Khu vực trung tâm TP Đà Nẵng còn thiếu những mảng xanh đô thị [17]

**3.3. Phân tích SWOT về thực tiễn phát triển KGX - HTX tại Việt Nam**

Điểm mạnh (Strengths):

Nhận thức xã hội và quản lý về vai trò của KGX trong phát triển đô thị bền vững ngày càng được nâng cao. Các đô thị Việt Nam sở hữu hệ thống mặt nước tự nhiên phong phú (sông, hồ, kênh rạch, vùng đất ngập nước), tạo nền tảng quan trọng cho việc phát triển các mô hình HTX gắn với thoát nước bền vững, điều hòa vi khí hậu và thích ứng biến đổi khí hậu. Bên cạnh đó, sự quan tâm ngày càng gia tăng của chính quyền địa phương và các chủ đầu tư đối với các dự án đô thị xanh, đô thị sinh thái và không gian công cộng xanh cho thấy xu hướng chuyển dịch tích cực trong tư duy phát triển đô thị.

Điểm yếu (Weaknesses):

KGX đô thị vẫn chưa được đánh giá đúng với vai trò như một cấu phần của hệ thống hạ tầng kỹ thuật - sinh thái, mà chủ yếu được tiếp cận như yếu tố cảnh quan trang trí. Hệ thống pháp luật và chính sách hiện hành còn thiếu khung pháp lý rõ ràng và thống nhất về khái niệm và vai trò của HTX. KGX trong đô thị thường phân mảnh, thiếu tính liên kết không gian và chức năng, chưa hình thành được các mạng lưới hạ tầng xanh liên tục và đa chức năng ở quy mô đô thị và vùng đô thị.

Cơ hội (Opportunities):

Nhiều mô hình và kinh nghiệm quốc tế về phát triển HTX, giải pháp dựa vào tự nhiên (Nature-based Solutions) và đô thị thích ứng khí hậu đã được kiểm chứng, tạo nguồn tham khảo quan trọng cho Việt Nam trong quá trình học tập và vận dụng. Định hướng chiến lược quốc gia về phát triển bền vững, tăng trưởng xanh, bảo vệ môi trường và thích ứng biến đổi khí hậu tạo nền tảng chính sách thuận lợi cho việc thúc đẩy phát triển KGX - HTX. Đồng thời, áp lực từ suy thoái môi trường đô thị, ô nhiễm, ngập úng và hiệu ứng đảo nhiệt đô thị đang trở thành động lực thúc đẩy nhu cầu tìm kiếm các giải pháp xanh và bền vững.

Thách thức (Threats):

Tư duy phát triển đô thị vẫn còn thiên về ưu tiên lợi ích kinh tế ngắn hạn, dẫn đến việc đánh đổi KGX cho phát triển xây dựng. Nhu cầu nguồn lực tài chính lớn cho đầu tư HTX tạo áp lực cho ngân sách nhà nước và khu vực tư nhân. Quá trình đô thị hóa nhanh, mở rộng đô thị mạnh mẽ làm gia tăng áp lực lên quỹ đất, khiến việc bảo vệ, kết nối và phát triển KGX gặp nhiều khó khăn. Đồng thời, nhận thức chưa đầy đủ về vai trò cấu trúc - hệ thống của KGX dẫn đến tình trạng phân tán, thu hẹp và suy giảm chất lượng KGX, đặc biệt tại các đô thị lớn.

Qua phân tích cho thấy phát triển KGX - HTX tại Việt Nam đang có nhiều điều kiện thuận lợi như nguồn tài nguyên mặt nước, sinh thái phong phú cũng như sự định hướng chính sách về tăng trưởng xanh, thích ứng biến đổi khí hậu. Tuy nhiên, việc nhìn nhận KGX vẫn còn nghiêng về yếu tố thẩm mỹ cảnh quan, thiếu liên kết hệ thống và khung pháp lý rõ ràng. Áp lực đô thị hóa nhanh và hạn chế về nguồn lực tài chính cũng đặt ra nhiều thách thức. Trong bối cảnh đó, cần chuyển từ tư duy phụ thuộc vào giải pháp kỹ thuật cứng sang phát huy vai trò của các hệ sinh thái tự nhiên như nền tảng tăng cường khả năng chống chịu và giảm thiểu rủi ro cho đô thị.

**4. ĐỊNH HƯỚNG GIẢI PHÁP PHÁT TRIỂN KGX ĐA CHỨC NĂNG - HTX TẠI VIỆT NAM**

**4.1. Quan điểm phát triển**

Quan điểm xuyên suốt trong các nghiên cứu và thực tiễn quy hoạch cho thấy HTX không chỉ là giải pháp thẩm mỹ mà còn là yếu tố sống còn để các đô thị thích ứng với biến đổi khí hậu, đảo nhiệt đô thị và nâng cao chất lượng môi trường sống [18]. Các chuyên gia khẳng định bất kỳ KGX nào cũng có tiềm năng phát huy đặc tính hạ tầng nếu được khai thác hiệu quả, giúp giảm thiểu đáng kể các tác động tiêu cực của hệ thống hạ tầng truyền thống lên hệ sinh thái đô thị. Tuy nhiên, để hiện thực hóa các lợi ích này, một quan điểm quản lý thống nhất là vô cùng cần thiết: HTX phải được đầu tư song song và tích hợp chặt chẽ vào hệ thống hạ tầng kỹ thuật thay vì tồn tại độc lập. Kinh nghiệm từ Seoul cho thấy tầm quan trọng của việc thể chế hóa HTX thành chính sách quốc gia để kiểm soát sự lan tỏa đô thị và bảo vệ tài nguyên sinh thái. Trong khi đó, tại Hà Nội, quan điểm cấp thiết hiện nay là phải thay đổi tư duy quản lý từ việc dựa trên chức năng sử dụng đất đơn thuần sang mục tiêu sinh thái bền vững, nhằm khắc phục tình trạng phân mảnh không gian và thiếu tính liên kết mạng lưới của các hành lang xanh hiện hữu. Việc xác lập rõ ràng thuật ngữ và vai trò pháp lý của HTX chính là nền tảng để triển khai các dự án một cách trôi chảy, tạo ra hướng tiếp cận linh hoạt cho mục tiêu phát triển đô thị bền vững tại Việt Nam.

**4.2. HTX: Từ định hướng không gian đến lộ trình thể chế hóa đột phá**

Việc xác lập vị thế pháp lý cho HTX không còn là một lựa chọn mang tính khuyến khích, mà đã trở thành yêu cầu cấp bách để kiến tạo các đô thị thích ứng bền vững tại Việt Nam. Giải pháp mang tính nền tảng hiện nay là phải thực hiện bước nhảy vọt về mặt thể chế: đưa các khái niệm và định nghĩa chính thức về HTX vào hệ thống văn bản pháp luật về quy hoạch và xây dựng. Điều này tạo tiền đề để tích hợp các "giải pháp mềm" sinh thái trực tiếp vào hệ thống hạ tầng kỹ thuật truyền thống, giúp giảm tải áp lực cho các hệ thống "hạ tầng cứng" vốn đang dần quá tải trước tác động của đô thị hóa và biến đổi khí hậu.

Điểm tựa quan trọng nhất để thúc đẩy quá trình chuyển đổi này chính là hiệu quả kinh tế vượt trội mà HTX mang lại. Một số dự án thực tế về sử dụng HTX đã cho thấy việc áp dụng các giải pháp xanh

có thể giúp giảm chi phí xây dựng rất lớn so với các hệ thống hạ tầng kỹ thuật truyền thống vốn cứng nhắc và tốn kém. Điển hình là việc sử dụng HTX cho hệ thống quản lý nước mưa ở Philadelphia được đánh giá có chi phí thấp hơn đáng kể (khoảng 1,2 tỉ USD so với 6 tỉ USD nếu dùng hạ tầng truyền thống) trong vòng 25 năm [19]. Tuy nhiên, bài toán khó nhất hiện nay vẫn là sự thiếu hụt tính liên kết mạng lưới. Để khắc phục tình trạng phân mảnh không gian, các đô thị cần triển khai chiến lược phát triển mạng lưới HTX dựa trên việc kết nối các KGX hiện hữu thay vì đầu tư rời rạc.

Ở góc độ quản lý, lộ trình triển khai cần tập trung vào việc đồng bộ hóa hệ thống dữ liệu liên ngành, từ đó cho phép phân tích sinh thái và cân nhắc công năng HTX một cách xuyên suốt trong cả ngắn, trung và dài hạn. Việc gắn chặt công tác quản lý ngay từ giai đoạn quy hoạch đầu tư không chỉ giúp tránh chồng chéo trách nhiệm giữa các đơn vị mà còn đảm bảo mọi không gian mở đều có thể phát huy tối đa đặc tính hạ tầng. Đây chính là hướng tiếp cận linh hoạt, cho phép tận dụng tối đa nguồn lực tự nhiên để tạo ra những đô thị đa chức năng, nơi các giá trị về sinh thái, kỹ thuật và xã hội được cộng hưởng nhằm nâng cao chất lượng sống thực thụ cho cư dân.

**4.3. Phát triển mạng lưới HTX dựa trên KGX hiện hữu**

Một trong những rào cản lớn hiện nay là HTX chưa được cụ thể hóa công năng và tính toán đầy đủ cho các KGX hiện hữu, do đó cần phải có phương án cụ thể nhằm hệ thống hóa và cân nhắc khả năng ứng dụng hạ tầng mềm tùy theo từng loại hình không gian xanh đặc thù tại các đô thị Việt Nam. Hướng triển khai trọng tâm là thực hiện đồng bộ hóa dữ liệu liên ngành về đô thị để xây dựng các hoạch định ngắn, trung và dài hạn cho công tác phân tích sinh thái, giúp cân nhắc kỹ lưỡng công năng của từng KGX sao cho phù hợp và gắn liền với chức năng HTX. Đồng thời, công tác quản lý phải được gắn liền trực tiếp vào quá trình quy hoạch để xác định rõ đầu mối quản lý ngay từ giai đoạn đầu tư, nhằm tránh tình trạng chồng chéo trách nhiệm và đảm bảo tính thống nhất cho cả các KGX hiện hữu lẫn các khu vực HTX được đầu tư mới.

**4.4. Đổi mới công cụ quy hoạch và đánh giá KGX - HTX**

Để khắc phục tình trạng cách tiếp cận quy hoạch hiện nay còn nặng về chỉ tiêu diện tích và mật độ xây dựng mà chưa phản ánh đầy đủ giá trị đa chức năng của KGX tích hợp với HTX, việc đổi mới hệ thống công cụ quy hoạch và đánh giá theo hướng định lượng hóa các lợi ích sinh thái - xã hội - kỹ thuật là yêu cầu tất yếu [20]. Hướng triển khai trọng tâm bao gồm việc bổ sung hệ thống các chỉ số đánh giá thực tiễn như khả năng kết nối sinh thái, mức độ giảm nhiệt, khả năng thấm nước và mức độ tiếp cận của người dân để làm cơ sở khoa học cho các quyết định quy hoạch. Đồng thời, cần tăng cường tính liên kết mạng lưới KGX đô thị nhằm tạo đòn bẩy hiệu quả cho HTX, tránh tình trạng phân mảnh nhỏ lẻ, kết hợp với việc ứng dụng công nghệ GIS và mô hình hóa không gian để đánh giá chính xác mạng lưới hạ tầng cho cả khu vực sẵn có lẫn quy hoạch mới. Việc lồng ghép quy trình đánh giá HTX vào các bước thẩm định quy hoạch và dự án đầu tư sẽ đảm bảo tính khả thi và đồng bộ trong quá trình phát triển đô thị bền vững.

**5. KẾT LUẬN**

Phát triển KGX đa chức năng, lồng ghép HTX là một hướng tiếp cận tất yếu và đặc biệt phù hợp với bối cảnh các đô thị tại Việt Nam hiện nay, khi các phân tích đã chứng minh rằng hệ thống này không chỉ mang lại giá trị cảnh quan đơn thuần mà còn đảm nhiệm hiệu quả vai trò "hạ tầng mềm" đa chức năng nhằm giải quyết các thách thức về môi trường, khí hậu và chất lượng sống. Để HTX thực sự trở thành yếu tố cốt lõi của hệ thống KGX đô thị, cần có một sự chuyển biến đồng bộ từ nhận thức, thể chế đến các công cụ quy hoạch và quản lý thực tiễn. Việc xác lập rõ ràng vị thế pháp lý của HTX trong hệ thống văn bản quy phạm pháp luật, kết hợp với việc đổi mới cách thức đánh giá dựa trên các chỉ số định lượng về lợi ích sinh thái - kỹ thuật, sẽ là những việc làm then chốt để thay đổi từ định hướng lý thuyết sang thực tiễn phát triển KGX bền vững. Bên cạnh đó, việc gắn kết chặt chẽ các KGX hiện hữu vào một mạng lưới liên thông và thống nhất đầu mối quản lý ngay từ giai đoạn quy hoạch sẽ giúp tối ưu hóa nguồn lực, giảm thiểu chi phí đầu tư dài hạn và tạo ra một hướng tiếp cận linh hoạt cho tương lai đô thị. Qua đó, HTX không chỉ giúp các đô thị thích ứng tốt hơn với những rủi ro thiên tai mà còn tạo lập nền tảng vững chắc cho một hệ sinh thái đô thị cân bằng và thịnh vượng.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**


[1] H. Madureira và T. Andresen, "Green infrastructure and multifunctionality," Springer Nature, 17/7/2013. (Trực tuyến). Available: https://link.springer.com/article/10.1057/udi.2013.11?utm_source=chatgpt.com. [Đã truy cập 26/01/2026].

[2] V. Q. Nguyễn, "Hạ tầng xanh đô thị Nền tảng để phát triển đô thị bền vững ở Việt Nam," Tạp chí Kiến trúc, 26/9/2024. (Trực tuyến). Available: https://www.tapchikientruc.com.vn/chuyen-muc/ha-tang-xanh-do-thi-nen-tang-de-phat-trien-do-thi-ben-vung-o-viet-nam.html. [Đã truy cập 24/01/2026].

[3] M. A. Benedict và E. T. McMahon, "Green infrastructure: Smart conservation for the 21st century," Renewable Resources Journal, tập 20, số 3, p. 12-17, 2002.

[4] E. Howard, Garden Cities of Tomorrow, London: Swan Sonnenschein & Co, 1898.

[5] P. Geddes, Cities in Evolution, London: Williams & Norgate, 1915.

[6] J. Jacobs, The Death and Life of Great American Cities, New York: Random House, 1961.

[7] N. T. Bá, Quy hoạch xây dựng đô thị bền vững, Hà Nội: Nhà xuất bản Xây dựng, 2015.

[8] G. W. Schroeder, Multiuse Corridor Master Planning: Integrating Infrastructure, Blacksburg, Virginia: Virginia Polytechnic Institute and State University, 2022.

[9] C. Hyun-Ju và C. Sarah, "Greenbelt-protected land may be developed," Korea JoongAng Daily, 16/7/2020. (Trực tuyến). Available: https://koreajoongangdaily.joins.com/2020/07/16/business/economy/greenbelt-housingsupply-shortage/20200716201000348.html. (Đã truy cập 24/01/2026).

[10] D. N. Bengston và Y. Yeo-Chang, "Seoul's greenbelt: An experiment in urban containment, Policies for Managing Urban Growth and Landscape Change," trong A Key to Conservation in the 21st Century, New York, 2004.

[11] T. N. Phạm, "Hành lang xanh - Cơ hội phát triển một Hà Nội xanh," Tạp chí Kiến trúc Việt Nam, 10/5/2024. (Trực tuyến). Available: https://vietnamarchi.vn/hanh-lang-xanh-phia-tay-ha-noi-dinh-huong-quy-hoach-phat-trien-vung-nong-thon-ngoai-vi-dua-tren-bao-ton-1413.html. (Đã truy cập 24/01/2026).

[12] UBND TP Hà Nội, Đồ án Quy hoạch chung xây dựng Thủ đô Hà Nội đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050, Hà Nội: UBND TP Hà Nội, 2011.

[13] N. N. Đào, Chuyên đề thể chế quy hoạch xây dựng và quản lý đô thị, Giáo án môn học chính sách và Thể chế quy hoạch đô thị, Hà Nội: Đại học Xây dựng Hà Nội, 2014.

[14] V. T. Nguyễn, Cấu trúc quy hoạch hành lang xanh thành phố Hà Nội, Hà Nội: Nhà xuất bản Xây dựng, 2022.

[15] UNFCCC, "The Glasgow Climate Pact. United Nations Framework Convention on Climate Change," COP26, New York, 2021.

[16] Thủ tướng chính phủ, Quyết định số 1658/QĐ-TTg về việc phê duyệt Chiến lược Tăng trưởng xanh quốc gia giai đoạn 2021-2030, tầm nhìn 2050, Hà Nội: Chính phủ Việt Nam, 2021.

[17] Báo người lao động, "Đô thị thiếu không gian xanh nghiêm trọng," Tạp chí Kiến trúc, 27 5 2021. (Trực tuyến). Available: https://www.tapchikientruc.com.vn/chuyen-muc/do-thi-thieu-khong-gian-xanh-nghiem-trong.html. (Đã truy cập 24/1/2026).

[18] T. T. M. Nguyễn, "Quản lý phát triển cây xanh theo xu hướng giảm nhiệt đô thị - Kinh nghiệm thế giới và thực tiễn tại thành phố Hà Nội," Hội Quy hoạch phát triển đô thị Việt Nam, tập 59, số 6, pp. 66-73, 2025.

[19] Environmental and Energy Study Institute, "Nature as Resilient Infrastructure: An Overview of Nature-Based Solutions," Environmental and Energy Study Institute, 22/3/2018. (Trực tuyến). Available: https://www.eesi.org/papers/view/fact-sheet-nature-as-resilient-infrastructure-an-overview-of-nature-based-solutions. (Đã truy cập 27/01/2026).

[20] T. T. M. Nguyễn, "Đánh giá hoạt động tăng trưởng xanh thành phố Yên Bái giai đoạn 2015-2019," Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, tập 15, số 3, pp. 139-151, 2021.

■Ngày nhận bài: 23/01/2026 ■Ngày sửa bài: 02/3/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 11/3/2026

# Nhận diện giá trị nghệ thuật vườn truyền thống Việt Nam

Identifying the artistic value of traditional Vietnamese gardens

**> THS DOÃN MINH THU[1,*], GS.TS NGUYỄN QUỐC THÔNG[2], TS PHẠM ANH TUẤN[1]**
[1]Trường Đại học Xây dựng Hà Nội; [*]Email: thudm@huce.edu.vn
[2]Hội Kiến trúc sư Việt Nam

## TÓM TẮT

Lịch sử phát triển của dân tộc Việt Nam với nền văn hóa đa dạng, giàu bản sắc được thể hiện rõ nét trong hệ thống vườn truyền thống qua nhiều giai đoạn và vùng miền khác nhau. Bài viết tổng hợp và phân tích các tư liệu lịch sử liên quan đến vườn truyền thống Việt Nam theo từng thời kỳ và không gian văn hóa đặc trưng. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất phân loại thành ba nhóm cơ bản: vườn cung đình, vườn tín ngưỡng - tôn giáo và vườn dân gian. Mặc dù có sự khác biệt về quy mô và đặc điểm hình thức, các nhóm vườn này đều thống nhất trong việc phản ánh hệ tư tưởng, thế giới quan và bản sắc văn hóa của người Việt.

**Từ khóa:** Nhận diện; giá trị nghệ thuật; vườn truyền thống Việt Nam.

## ABSTRACT

The history of the Vietnamese nation's development, with its diverse and rich cultural identity, has been reflected in Vietnamese traditional gardens across various periods and regions. This article synthesizes and studies historical data on Vietnamese traditional gardens across different periods and regions. Based on this, the study classifies them into three basic groups: Imperial gardens; Religious gardens; and Folk gardens. Although these garden groups differ in scale and form, they all share a common reflection of the Vietnamese ideology, worldview, and culture.

**Keywords**: Identification; Artistic value; Vietnamese traditional gardens.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Lịch sử phát triển vườn truyền thống (VTT) của người Việt gắn liền với nền kinh tế thuần nông và mức độ giao thương bên ngoài hạn chế. Nguồn sống chủ yếu dựa vào sản xuất nông nghiệp và chăn nuôi theo hình thức tự cung tự cấp, từ đó hình thành những đặc trưng tổ chức vườn mang tính sinh kế rõ nét. Ở phương diện khác, thế giới quan Á Đông đề cao sự hài hòa và tôn trọng tự nhiên đã chi phối sâu sắc cách thức kiến tạo không gian vườn. Sự kết hợp giữa yếu tố sinh kế và tư tưởng văn hóa này được thể hiện rõ trong các khu vườn lịch sử qua nhiều giai đoạn và vùng miền của Việt Nam.

VTT Việt Nam là kết quả của quá trình chọn lọc tự nhiên và xã hội kéo dài qua nhiều triều đại phong kiến. Từ các giai đoạn khởi đầu như Ngô, Đinh, Tiền Lê, VTT dần phát triển rực rỡ dưới thời Lý, Trần, Hồ, tiếp tục chuyển biến mạnh mẽ trong thời kỳ Lê Sơ, Mạc, Lê Trung Hưng và đạt đến sự hoàn thiện dưới triều Nguyễn. Trong suốt tiến trình đó, VTT hiếm khi tồn tại như một thực thể độc lập mà thường gắn bó chặt chẽ với hệ sinh cảnh kiến trúc - cảnh quan, giữ vai trò là không gian đệm, chuyển tiếp, bao bọc hoặc mở rộng của công trình kiến trúc.

Trong quá trình phát triển, dưới tác động của quá trình hội nhập, VTT Việt Nam chịu ảnh hưởng bởi các nguyên tắc quy hoạch và thiết kế cảnh quan của phương Tây. Mặc dù có ý thức gìn giữ bản sắc địa phương, nhưng việc kế thừa di sản nghệ thuật VTT trong thực tiễn vẫn còn tự phát và đơn lẻ, chủ yếu giới hạn trong quy mô nhà ở tư nhân và phụ thuộc lớn vào cảm quan thẩm mỹ cũng như năng lực tài chính của nhà đầu tư. Sự thiếu vắng các nghiên cứu chuyên sâu về giá trị nghệ thuật VTT chưa trở thành một mô hình nhận diện thương hiệu phổ quát, cho phép dễ dàng áp dụng rộng rãi trong bối cảnh đô thị hiện nay. Chính vì vậy, việc nghiên cứu nhận diện các giá trị nghệ thuật VTT là cần thiết, hướng tới khả năng khai thác trong thiết kế cảnh quan đương đại.

### 2. PHÂN LOẠI VTT VIỆT NAM

Căn cứ vào đặc trưng cảnh quan mà VTT Việt Nam có thể phân ra thành *3 nhóm vườn* cơ bản như sau [4]:

- *Vườn cung đình*: Loại vườn gắn với đời sống của vua, chúa và hoàng tộc. Đây là không gian, nơi cảnh quan gắn với các thể chế, chính thống, giai cấp quyền lực, bị chi phối bởi quan điểm của vua chúa và giai cấp thống trị. Vườn cung đình được chia ra thành các nhóm : Vườn kinh thành (ngự uyển); vườn lăng tẩm (tính vĩnh cửu, tâm linh); vườn hành cung (gắn với địa thế đẹp) [1].

Hình 1. Các yếu tố ảnh hưởng tới phân loại và nhận diện VTT Việt Nam

- Vườn tín ngưỡng, tôn giáo: Loại hình gắn với cộng đồng và các công trình mang tính chất tín ngưỡng, tôn giáo. Nhóm này bao gồm vườn đình, vườn đền và vườn chùa, đóng vai trò là không gian sinh hoạt tâm linh, đồng thời phản ánh đời sống văn hóa cộng đồng.

- Vườn dân gian (bao gồm vườn thượng lưu và vườn bình dân): Loại hình gắn với các tầng lớp dân cư trong xã hội. Đây là không gian được tổ chức theo phong cách truyền thống của từng vùng địa lý - văn hóa ở Việt Nam, phản ánh đời sống sinh hoạt, điều kiện kinh tế và nguồn gốc văn hóa của cộng đồng, tộc người

**3. ĐẶC ĐIỂM VTT VIỆT NAM**

**3.1. Vườn cung đình**

Vườn cung đình thể hiện sự quyền uy, xa hoa. Vườn thường có quy mô lớn, bố cục tôn nghiêm, chính quy, có nhiều yếu tố cảnh quan cùng hiện diện đầy đủ trong một khuôn viên. Vì có sự đầu tư về nhân lực và kinh tế nên vườn cung đình đạt đến đỉnh cao về kỹ thuật tạo hình và ý nghĩa biểu tượng. Đặc điểm vườn cung đình gắn với tính chất, đặc điểm của các triều đại phong kiến Việt Nam:

*Vườn cung đình thời nhà Ngô, Đinh, Tiền Lê (thế kỷ X - đầu thế kỷ XI)*

Bắt đầu từ các triều đại nhà Đinh, Tiền Lê mới bắt đầu xuất hiện các khu vườn cung đình, liên quan tới kiến thiết kinh đô. Đặc trưng nổi bật của nghệ thuật Vườn cung đình giai đoạn này là sự kết hợp giữa tính thẩm mỹ và chức năng quân sự. Cảnh quan nơi đây không chỉ mang tính hoành tráng và nương tựa vào địa thế tự nhiên với đồi núi trùng điệp, sông uốn khúc, địa hình núi đá vôi cùng hệ thống sông suối, ao hồ, mà còn được khai thác như một yếu tố phục vụ mục đích phòng thủ. Dấu ấn này vẫn còn được lưu giữ qua các di tích thuộc quần thể Cố đô Hoa Lư, bao gồm khu vực đền vua Đinh và đền vua Lê (trung tâm Cấm thành xưa), khu vực động Am Tiên (vốn là nơi tịnh tu), cùng chùa Nhất Trụ và chùa Duyên Ninh nằm trong quy hoạch Hoàng thành.

*Vườn cung đình thời Lý - Trần (thế kỷ XI - XIV)*

Nghệ thuật vườn trong giai đoạn này có xu hướng chuyển dịch từ tư duy phòng thủ sang nhấn mạnh giá trị thẩm mỹ và biểu đạt triết lý. Dưới triều Lý, việc kiến thiết vườn cung đình tại Kinh thành Thăng Long với các công trình như vườn Bảo Hòa (1031), Quỳnh Lâm, Thắng Cảnh, Xuân Quang (1048), cùng việc đào hồ Thụy Thanh và ao Ứng Minh trong khuôn viên Thắng Cảnh (1051), hay xây dựng vườn Thượng Lâm (1065) [1], cho thấy quy mô và sự quan tâm đặc biệt của triều đình đối với không gian cảnh quan. Những khu vườn này không chỉ phục vụ chức năng nghỉ ngơi, thưởng ngoạn của hoàng gia mà còn mang ý nghĩa biểu tượng cho sự thịnh trị và an lạc của quốc gia, phản ánh hệ tư tưởng, thẩm mỹ cũng như quan niệm về mối quan hệ hài hòa giữa con người và tự nhiên.

So với nhà Lý, nghệ thuật vườn cung đình thời nhà Trần (1225-1400) đạt đến trình độ cao hơn với sự xuất hiện đa dạng của các yếu tố cảnh quan: sơn (non bộ, giả sơn); thủy (ao, hồ nước ngọt và cả hồ nước mặn), mộc (kỳ hoa dị thảo) và động vật (chim, thú nuôi). Do xuất thân từ vùng sông nước, các vua Trần thường cho dẫn nước mặn hoặc tạo hồ nuôi cá biển trong cung để nhớ về tổ tiên. Nước mặn trở thành một đặc trưng độc đáo của cảnh quan thời nhà Trần. Việc nuôi thú lạ và tạo các hòn non bộ lớn cũng rất thịnh hành giai đoạn này. Ngày nay, công tác khảo cổ đã phát lộ các dấu tích nền móng về lầu bát giác, giếng nước cổ, đường dẫn nước và chân tảng đá, phần nào thể hiện diện mạo tráng lệ và tinh tế của nghệ thuật vườn cung đình giai đoạn này.

*Vườn cung đình thời kỳ biến động của nhà Hồ, Lê Sơ*

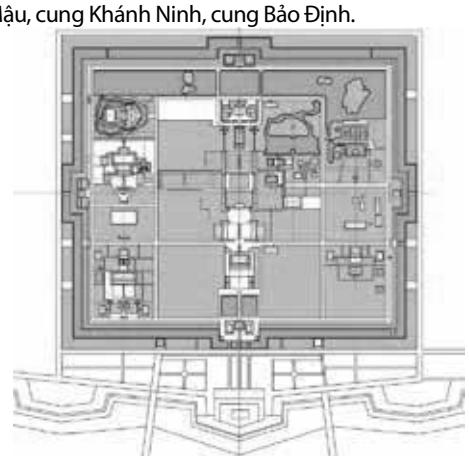
Bước sang giai đoạn chuyển tiếp và xác lập trật tự Nho giáo (Thời nhà Hồ, Lê Sơ), trong bối cảnh biến động chính trị giao thời giữa nhà Hồ và đầu nhà Lê, nghệ thuật vườn cung đình không định hình phong cách riêng biệt, bị bỏ hoang và bị phá dỡ nhiều. Đến thời Lê Sơ, tư tưởng Nho giáo đã tác động đến tính chính thống, trật tự, kỷ cương nên cấu trúc vườn cung đình có bố cục nghiêm ngặt, đăng đối. Tổ chức cảnh quan nhấn mạnh các trục thần đạo thể hiện uy quyền, giảm thiểu các yếu tố lãng mạn, phóng khoáng của giai đoạn nhà Lý-Trần.

*Thời Lê Trung Hưng*

Nền kinh tế hàng hóa phát triển, có sự xuất hiện của vườn trong Phủ Chúa mang tính chất xa hoa, phóng khoáng, xu hướng hưởng thụ thẩm mỹ cao. Lúc này, hình thức thoát khỏi sự nghiêm cẩn của lễ giáo để trở thành nghệ thuật chơi viên lâm đỉnh cao với sự cầu kỳ, lãng mạn, xa hoa của lầu, đài, đình, gác, cửa ngọc, hồ nước, núi non bộ, kỳ hoa dị thảo, các loại cây kiểng, cây to cổ thụ, đá họa, cầu… được mô tả ví như các cảnh tiên [1].

*Thời kỳ nhà Nguyễn*

Đất nước chia tách thành khu vực Đàng Ngoài và Đàng Trong. Tại vùng đất Đàng Trong, do sự giao thoa với văn hóa Champa, do luồng di cư của người Hoa kết hợp với điều kiện tự nhiên mà nghệ thuật vườn trở nên phóng khoáng hơn, nới lỏng tính trật tự và niêm luật. Nghệ thuật làm vườn đã sử dụng nhiều kỹ thuật khảm sành sứ với màu sắc tươi sáng, có bố cục phá cách nương theo tự nhiên. Thời kỳ các Chúa Nguyễn định đô tại Kim Long và sau đó là Phú Xuân (Huế) đã xuất hiện nghệ thuật các nhà vườn sơ khai của phủ đệ thân vương, quý tộc, quan lại - được trang trí cầu kỳ bởi non bộ, đá lạ, hồ vuông, hào nước uốn lượn và thủy, có tính vương giả [3]. Đỉnh cao nghệ thuật VTT phải kể đến thời kỳ vua Gia Long và các triều Vua kế tiếp đã xây dựng Huế thành một thành phố vườn, với hàng chục khu vườn ngự phát triển rực rỡ khác nhau về kiểu loại, bài bản theo triết học phương Đông. Có thể phân loại hệ thống vườn cung đình Huế thành hai nhóm chính. Một là Ngự viên trong chốn cung cấm (Đại Nội) phục vụ nhu cầu sinh hoạt thường nhật, bao gồm Vườn Thiệu Phương, Cơ Hạ, Ngự Viên, Cung Trường Ninh, Cung Diên Thọ, Cung Trường Sanh, Thái Bình Lâu... Hai là Biệt cung và Ly cung (Ngoài Hoàng thành) mang tính chất thưởng ngoạn quy mô lớn với các yếu tố cảnh quan như Hồ Tịnh Tâm, vườn Thư Quang, vườn Thường Mậu, cung Khánh Ninh, cung Bảo Định.



Hình 2. Vườn cung đình tại Đại Nội Huế

*Vườn hành cung*

Vườn hành cung là hệ thống không gian xanh gắn với cung điện lâm thời (hành cung, ly cung), phục vụ nhu cầu nghỉ ngơi và làm việc của nhà vua, hoàng gia và quan lại trong các chuyến tuần du, vi hành, tế lễ, chinh chiến hoặc lánh nạn khỏi kinh thành. So với vườn kinh thành, vườn hành cung có quy mô và hình thức giản lược hơn, ít tuân thủ nghiêm ngặt các niêm luật về trục đối xứng và trục thần đạo. Không gian này dựa tối đa vào địa hình tự nhiên thay vì cải tạo triệt để như vườn trong kinh thành.

Giai đoạn nhà Lý- Trần có vườn hành cung Vũ Lâm (Ninh Bình). hành cung Tức Mặc - Thiên Trường (Nam Định), hành cung Lỗ Giang (Thái Bình). Giai đoạn Lê Sơ - Lê Trung Hưng có vườn Lam Kinh (Thanh Hóa), hành cung Cổ Bi, Gia Lâm. Giai đoạn nhà Nguyễn có vườn hành cung Thuận An; vườn tại các Lăng tẩm Huế.

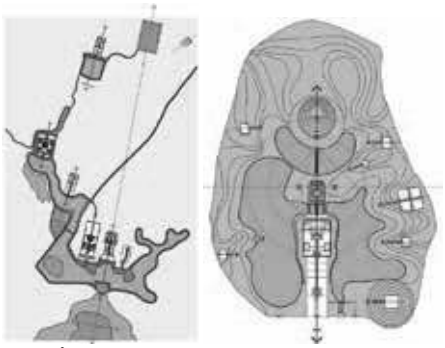
*Vườn lăng tẩm*

Vườn lăng tẩm không chỉ đơn thuần là nơi an táng mà còn là một cung điện thứ hai của vua chúa nên đã được thiết kế cực kỳ công phu với quy mô lớn, nghệ thuật đặc sắc, hiện vẫn còn dấu ấn ở Thanh Hóa và Huế. Tại Lam Kinh Vườn - Thanh Hóa, tổ chức cảnh quan tuân thủ nghiêm ngặt các nguyên tắc phong thủy địa lý với bố cục trục thần đạo Nam - Bắc. Các lăng tẩm, điện miếu được bố trí trên các gò đất cao, theo địa hình đồi núi tự nhiên.

Vườn lăng tẩm đóng vai trò quan trọng trong các khu vườn Hoàng gia. Điều đó được thể hiện rõ nét trong khu vườn của lăng Gia Long, gọi

là Thiên Thọ lăng. Khu vườn lăng này rộng hơn 2.800 ha mang đậm màu sắc một khu vườn sinh thái [1]. Tuy nhiên vườn lăng thời vua Minh Mạng, Thiệu Trị và Tự Đức (1820 - 1833) phát triển rực rỡ nhất.

Bên cạnh sự đồ sộ và toàn vẹn của quần thể lăng tẩm triều Nguyễn hay tính mực thước của Lam Kinh (Thanh Hóa), lịch sử còn ghi nhận dấu ấn tại Đông Triều (Quảng Ninh) và Long Hưng (Thái Bình) thời nhà Trần, hay Thiên Đức Lăng (Bắc Ninh) thời nhà Lý. Trải qua biến động lịch sử, các di tích kiến trúc không còn nguyên vẹn nhưng các dấu tích khảo cổ vẫn thể hiện nền móng, quy hoạch cảnh quan nương tựa và hình thế sông núi.



Hình 3. Vườn lăng tẩm tại lăng vua Gia Long và lăng vua Minh Mạng, Huế

**3.2. Vườn tín ngưỡng, tôn giáo**

Vườn tín ngưỡng, tôn giáo là nhóm vườn đặc thù, là một phần trong cấu trúc tổng thể của các quần thể kiến trúc tâm linh (đình, đền, chùa, phủ, miếu). Đó là không gian chuyển tiếp và kết nối giữa thế giới trần tục và không gian thiêng, được xây dựng nhằm mục đích tổ chức phục vụ các hoạt động nghi thức hành lễ, tu tập và sinh hoạt văn hóa tín ngưỡng của cộng đồng người Việt. Về mặt hình thái, nhóm vườn này tuân thủ các nguyên tắc về bố cục, cấu trúc không gian theo trục Thần đạo, theo thuật phong thủy và theo biểu tượng tín ngưỡng, tôn giáo nhằm tạo ra bầu không khí thanh tịnh, trang nghiêm và gắn kết. Có ba loại vườn tín ngưỡng tôn giáo điển hình là: vườn Chùa, vườn Đình và vườn Đền.

*Vườn chùa*

Khởi phát từ trung tâm Phật giáo cổ Luy Lâu (Chùa Dâu, Chùa Phi Tướng), lịch sử vườn chùa Việt Nam trải qua các giai đoạn thăng trầm gắn liền với vị thế của Phật giáo trong lịch sử dân tộc, tạo nên những đặc điểm không gian riêng biệt.

Thời nhà Lý - Trần đạt đến đỉnh cao về quy mô khi Phật giáo trở thành Quốc giáo, có ảnh hưởng lớn trong triều đình và xã hội [6]. Vào thời nhà Lý, vườn Chùa có quy mô lớn với vườn chùa Một Cột, chùa Dạm, chùa Long Đọi. Vườn thời nhà Trần đã tiếp tục kế thừa thời Lý nhưng phong cách phóng khoáng hơn. Chùa được xây dựng nương theo địa hình đồi núi để kiến tạo nên đại danh lam có quy mô lớn, để tạo nên không gian thiền định thâm nghiêm theo phương đứng. Điều đó được thể hiện trong vườn chùa Yên Tử, chùa Phật Tích, chùa Quỳnh Lâm, chùa Phổ Minh, chùa Bối Khê, chùa Bích Động. Tại đây có sự hòa nhập giữa kiến trúc và núi rừng tự nhiên. Quần thể kiến trúc phân tán theo tuyến trải dài. Các vườn ngự trên đồi cao hoặc tại các cao độ hướng tầm nhìn ra khung cảnh rộng mở. Lối lên chùa dẫn theo các bậc thang, tạo sự cung kính nơi linh thiêng cửa Phật.

Hình 4. Vườn chùa Bích Động ẩn hiện trong quang cảnh đồi núi Ninh Bình

Sang giai đoạn nhà Hồ, nhà Lê Sơ, nhà Mạc, vườn có sự thu hẹp về kích thước và có xu hướng quay về nông thôn với sự bình dị, ẩn náu trong cấu trúc làng xã (chùa Thái Lạc). Giai đoạn này, do ảnh hưởng của Nho giáo nên nghệ thuật vườn tôn giáo có phần chững lại so với thời Lý - Trần [2]. Vườn chùa có sự chuyển dịch từ hình thức cung đình sang dân gian hóa.

Đến thời Lê Trung Hưng, vườn Chùa lại được phục hồi vị thế trung tâm cộng đồng. Nó gắn liền với sự phát triển của làng xã, trở thành yếu tố không thể thiếu của làng. Vườn chùa được xây dựng mang dáng dấp dân gian nhưng có cấu trúc quy hoạch mạch lạc (bố cục Nội công ngoại quốc). Các khu vực chức năng được phân chia rõ ràng như vườn tháp, vườn cảnh, vườn sản xuất cùng hệ thống sân và lối dạo kết nối. Điều đó được thể hiện tại vườn chùa Bút Tháp, chùa Keo, chùa Thầy, chùa Tây Phương, chùa Mía.

Hình 5. Vườn chùa Bút Tháp tại Bắc Ninh

Tại tiểu vùng văn hóa Huế, các vườn chùa không uy nghi niêm luật như miền Bắc mà có tính thơ mộng, thâm trầm, mang chất văn nhân nho nhã. Điều đó thê hiện trong vườn chùa Thiên Mụ, chùa Từ Hiếu. Một số vườn miền Trung có dấu ấn văn hóa Champa bản địa, vườn Nam Bộ có sự giao thoa văn hóa Việt - Hoa - Khmer. Nhìn chung, do điều kiện tự nhiên trù phú vùng sông nước nên vườn chùa mang đậm tính chất phóng khoáng, cởi mở, bình dị, dung hợp. Ở đây, vườn chùa được xây dựng rộng rãi, không bị khép kín và giảm nhẹ niêm luật đặc trưng (Giác Lâm). Màu sắc các họa tiết trang trí tươi sáng, nhiều hoa văn hơn, vật liệu xây dựng đa dạng, sử dụng nhiều sành gốm.

Về một số đặc điểm hình thức, vườn chùa định hình bởi các yếu tố cấu thành mang tính biểu tượng cao, cốt lõi như mặt nước (hồ sen, thủy đình) và hệ thực vật thanh khiết (trúc, sen, đại, ngâu, mộc). Tất cả tạo nên một không gian thanh tịnh hướng con người đến sự bình yên.

Hình 6. Nghệ thuật tiểu cảnh mặt nước tại vườn chùa Hoa Yên (núi Yên Tử) và chùa Bút Tháp (Bắc Ninh)

*Vườn đình*

Vườn đình gắn liền với kiến trúc Đình. Đây là loại hình kiến trúc chuyển biến từ giai đoạn sơ khai vốn là trạm nghỉ chân (đình chạm) sang hình thái của trung tâm hành chính, văn hóa, tín ngưỡng (thờ Thành hoàng), từ thời nhà Mạc - Lê Trung Hưng. Kiến trúc Đình mang tính mở phục vụ sinh hoạt cộng đồng. Vườn đình thường có bố cục rộng rãi vuông vắn với trục định vị rõ ràng của hồ nước, sân đình và Tả vu- Hữu vu. Yếu tố mặt nước (ao đình) đóng vai trò điều hòa khí hậu, gắn với nhiều loài cây cổ thụ mang tính thiêng (đa, gạo, đề). Chúng trấn giữ vị trí tiền án hoặc đối xứng hai bên nhằm tạo bóng mát và định vị không gian. Tổng thể này không chỉ biểu đạt quyền uy hành chính của làng xã mà còn là biểu tượng của sự gắn kết cộng đồng. Điều đó được minh chứng qua các di tích tiêu biểu: ở Bắc Bộ có vườn đình Đình Tây Đằng,

Đình Chu Quyến, Đình Thổ Hà, Đình Mông Phụ, Đình Kim Liên; ở Nam Bộ có vườn đình Đình Kim Long, Đình Bình Thủy và Đình Tân Đông.

*Vườn Đền*

Vườn đền gắn liền với các ngôi đền - nơi thờ cúng các bậc thánh, thần linh tự nhiên, nhân vật lịch sử hay những anh hùng dân tộc được thần thánh hóa. Khác với tư duy không gian mở của đình hay vẻ thanh tịnh của chùa, vườn đền có xu hướng tách biệt khỏi đời sống thế tục nhằm tạo cảm giác linh thiêng và uy nghiêm. Thường tọa lạc ở những vị trí đắc địa về phong thủy như núi cao, ngã ba, ven sông hoặc trong rừng già, vườn đền duy trì hệ sinh thái tự nhiên với các loài cây cổ thụ, rễ dài, tán rộng (sanh, si, đa) cùng hệ dây leo chằng chịt. Tổng thể hệ thực vật che khuất ánh sáng đã tạo nên bầu  không khí thâm trầm, u tịch, thâm nghiêm, huyền bí. Trong khi các yếu tố thủy văn như khe suối, hạng động hay tiểu cảnh non bộ được sắp đặt để mô phỏng thế giới hữu linh của các vị thần thánh. Tính chất này được minh chứng rõ nét qua sự hùng vĩ của các di tích gắn liền với núi cao như Đền Hùng (Phú Thọ), Đền Thượng (Ba Vì), Đền Chúa Thác Bờ (Phú Thọ); Một số di tích nằm bên sông nước như hang động của Đền Đồng Cổ (Thanh Hóa), Đền Kiếp Bạc (Hải Phòng); Một số nằm biệt lập giữa môi trường dân cư đông đúc như Đền Đô (Bắc Ninh), Đền Ngọc Sơn (Hà Nội). Chúng đã khẳng định sự uy nghiêm của thế giới tâm linh trong tâm thức dân gian.

**3.3. Vườn dân gian**

Vườn dân gian là các vườn tư gia (vườn trong khuôn viên của nhà ở), là thành tố gắn liền với đời sống hằng ngày của người dân. Vườn dân gian xuất phát từ nền tảng văn minh lúa nước với tư tưởng chủ đạo là "xã hội thuần nông", tác động sâu sắc tới cấu trúc không gian ở của người Việt. Tùy theo sự phân tầng xã hội, kinh tế mà vườn dân gian chia thành *vườn bình dân và vượn thượng lưu*, phản ánh vị thế kinh tế và quan niệm thẩm mỹ của từng giai tầng.

Thứ nhất, đối với vườn bình dân là loại vườn gắn với đại bộ phận người dân lao động, với nhu cầu sinh kế, thực dụng. Trong vườn trồng tập trung các cây ăn quả, cây bóng mát đóng vai trò cung cấp sản phẩm và vật liệu thiết yếu. Về mặt hình thức, vườn bình dân thường nhỏ, mang tính tự phát. Chúng được tổ chức linh hoạt, tự do, phi chính quy, ứng xử linh hoạt theo điều kiện đất đai, ranh giới bao quanh và sở thích cá nhân. Vẻ đẹp thường nằm ở sự mộc mạc, tính thích ứng cao với môi trường sống.

Thứ hai, đối với vườn thượng lưu là loại vườn của các tầng lớp quan lại, nho sĩ, giới giàu có. Ví dụ tiêu biểu là mô hình nhà vườn ở Huế. Khác với tính chất sinh kế thuần túy của vườn bình dân, vườn thượng lưu phản ánh đời sống tinh thần, trí thức và địa vị xã hội. Cấu trúc vườn được quy hoạch bài bản, cầu kỳ, chịu ảnh hưởng của triết lý Nho giáo và nguyên tắc Phong thủy. Hình thức thường có các yếu tố như bình phong, non bộ, bể cảnh các loài kỳ hoa dị thảo thể hiện tính biểu tượng và văn hóa.

Dù tồn tại hình thức bình dân hay thượng lưu, vườn dân gian truyền thống đều thể hiện mối quan hệ giữa con người và thiên nhiên, phản ánh đời sống đa dạng của xã hội người Việt trong lịch sử ở các vùng miền.

***Sự đa dạng của nghệ thuật Vườn dân gian truyền thống được thể hiện khác nhau tại các vùng miền:***

*Tại vùng Đồng bằng Bắc Bộ (người Kinh)*

Nghệ thuật vườn truyền thống Bắc Bộ thể hiện rõ trong cách tổ chức các thành phần chức năng của khuôn viên nhà ở, cũng như trong việc lựa chọn hướng nhà, vị trí cổng ngõ, bố trí hòn non bộ, cây xanh và mặt nước. Không gian vườn không chỉ mang giá trị thẩm mỹ tạo hình mà còn thích ứng hiệu quả với điều kiện khí hậu đặc trưng của vùng nông thôn Đồng bằng Bắc Bộ, đặc biệt là yếu tố nắng nóng mùa hè và gió mùa đông bắc. Ví dụ tiêu biểu có thể kể đến nhà vườn tại Làng cổ Đường Lâm và các nhà vườn truyền thống ở Làng khoa bảng Đông Ngạc.

*Vườn dân gian vùng Núi phía Bắc (Người Tày, Thái, H'Mông)*

Vườn dân gian ở vùng này nương tựa vào thiên nhiên, gắn với nương rẫy. Không có ranh giới rõ rệt giữa vườn và rừng, vườn được tổ chức quanh nhà sàn của người dân tộc. Thành phần cảnh quan bao gồm mương dẫn nước suối vào nhà, vườn thuốc, vườn trồng cây. Các cây trồng mang tính bản địa cao, đặc trưng là các mùa hoa.

*Nếu vườn dân gian phía Bắc mang dấu ấn của thiên nhiên thì Vườn dân gian truyền thống miền Trung và Huế (người Kinh và người Chăm) mang dấu ấn của văn hóa rõ nét.*

Khu vực này ảnh hưởng bởi tư tưởng Nho giáo và văn hóa cung đình, tạo nên loại hình vườn nhà Rường, nhiều cây tạo bóng mát. Vườn Huế với bố cục vận dụng phong thủy, theo trục cổng - nhà chính - bình phong - bể cạn - sân - vườn rau - ao cá. Khuôn viên nhà được rào bằng hàng cây dâm bụt, chè tàu. Cổng ngõ, bình phong với cây bụi, thảo mộc được xén tỉa cầu kỳ, trồng các loại cây văn nhân như mai, tùng, cúc, ví dụ như: vườn nhà rường Kim Long (Huế), vườn của người Chăm (Ninh Thuận)

*Vườn dân gian truyền thống vùng Nam Bộ (người Kinh, người Khơ-me, người Hoa)*

Thể hiện tính cởi mở với cấu trúc không tường rào bao quanh. Chúng được kết nối trực tiếp và bám dọc kênh rạch, trồng nhiều loại cây có sự liên kết với thiên nhiên mặt nước ( Cây Được) Cảnh quan hàng rào có tính ước lệ, ít phân định và không kiên cố, công phu như hàng rào vùng miền Bắc. Ở vùng Tây Nam Bộ (Cần Thơ), vườn gắn liền sông rạch. Trong khi đó, vườn vùng Đông Nam Bộ nhờ thế đất cao, khuôn viên lớn nên môi trường thiên nhiên xanh tốt, rộng rãi và trù phú. Hệ thống mương rạch trong vườn làm chức năng tưới tiêu, trữ nước lúc khô hạn. Các cây trồng có bộ rễ khỏe chịu được nước mặn. Nhà ở trên kênh rạch, miệt vườn là những mô hình đặc trưng thể hiện ứng xử với thiên nhiên của người Nam Bộ, ví dụ như: Miệt vườn Cái Mơn (Bến Tre).

**4. KẾT LUẬN**

VTT gắn liền với các thể loại kiến trúc và chức năng sử dụng, vừa có yếu tố bất biến đổi gắn liền với đặc trưng địa lý, văn hóa, lại vừa có yếu tố biến đổi phụ thuộc vào thể loại công tình, đối tượng sử dụng và quan niệm, triết lý. Sự biến đổi hình thức và cấu trúc VTT được nhận diện qua các giai đoạn lịch sử, các triều đại (trục thời gian) và các vùng miền (trục không gian).

Nhận diện VTT Việt Nam bao gồm ba nhóm: vườn cung đình, vườn tôn giáo - tín ngưỡng và vườn dân gian, mỗi nhóm mang những đặc trưng riêng. Hiện nay, bên cạnh những di sản vườn còn giữ được tính nguyên vẹn, một bộ phận lớn đã bị phá bỏ hoặc thay thế một cách đáng tiếc. Vì vậy, việc nhận diện và hệ thống hóa các giá trị vốn có bằng phương pháp thực chứng là hết sức cần thiết. Nghiên cứu này không chỉ nhằm mục đích bảo tồn mà còn là tiền đề để thiết lập các bộ nguyên tắc tổ chức không gian (Design Guidelines), từ đó tạo ra các mô hình cảnh quan đa dạng trong bối cảnh đô thị hóa. Kết quả nghiên cứu cho thấy tiềm năng to lớn của việc khai thác các giá trị nghệ thuật vườn truyền thống Việt Nam trong thiết kế cảnh quan đương đại.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (HUCE) trong khuôn khổ đề tài mã số: 01-2025/KHXD-TĐ. Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn sự hỗ trợ quý báu này.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

[1] Phan Thanh Hải, Vườn cung đình Việt Nam - lịch sử, hiện trạng và vấn đề nghiên cứu, phục hồi, Trung tâm Bảo tồn Di tích Cố đô Huế, 2020.

[2] Nguyễn Phi Hoanh, Mỹ thuật Việt Nam, TP Hồ Chí Minh, 1984.

[3] Quốc Sử Quán triều Nguyễn, Đại Nam thực lục, tập 1, tr. 158, 1978.

[4] Nguyễn Đình Thi, Giáo trình lịch sử kiến trúc, NXB Xây dựng, 2020.

[5] Nguyễn Thị Thanh Thủy, Tổ chức và quản lý môi trường cảnh quan đô thị, NXB Xây dựng, 1997.

[6] Nguyễn Thị Thanh Thủy và Tôn Ánh Hồng, Kiến trúc cảnh quan Việt Nam truyền thống và hiện đại, NXB Xây dựng, Hà Nội, tr. 193, 2019.

[7] Võ Thị Thu Thủy, Thiên nhiên trong kiến trúc nhà ở truyền thống Việt, NXB Xây dựng, Hà Nội, 2020.

[8] Phạm Anh Tuấn và Lê Khánh Ly, Lịch sử vườn cảnh, NXB Xây dựng, Hà Nội, tr. 150, 2020.

[9] Viện Khoa học Xã hội Việt Nam (dịch), Đại Việt sử ký toàn thư (dịch theo bản năm Lê Chính Hòa 1697), tập 1, NXB Khoa học Xã hội, Hà Nội, 1993.

■Ngày nhận bài: 23/01/2026 ■Ngày sửa bài: 02/3/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 11/3/2026

# Nâng cao hiệu quả quản lý xây dựng nhà ở riêng lẻ tại các phường Tân Thuận, Tân Mỹ, Phú Thuận, Tân Hưng - TP Hồ Chí Minh

## Enhancing the Effectiveness of Managing the Construction permits for residential houses in the wards of Tan Thuan, Tan My, Phu Thuan, and Tan Hung in Ho Chi Minh City

**> DƯƠNG THANH TIẾN[1,3], NGUYỄN LÂM[2,*], PHAN NHỰT DUY[1]**
[1]Trường Đại học Kiến trúc TP.HCM
[2]Sở Quy hoạch - Kiến trúc TP.HCM; *Email: tsnguyenlam2025@gmail.com
[3]UBND phường Tân Mỹ TP.HCM

**TÓM TẮT**

Quản lý hoạt động xây dựng bao gồm cấp phép và giám sát quá trình thực hiện xây dựng luôn đòi hỏi vai trò quan trọng của cơ quan quản lý nhà nước, và ngày càng cần nâng cao hiệu quả về thời gian và chất lượng khi nhu cầu xây dựng tại các khu vực đô thị hóa ngày một tăng nhanh. Quy trình triển khai và phối hợp giữa các đơn vị tham gia trong quá trình thực hiện được chú trọng để rút ngắn thời gian dựa trên khả năng sắp xếp các bước triển khai, và ứng dụng công nghệ kết nối trực tuyến, khai thác dữ liệu dùng chung. Bên cạnh đó, vai trò nâng cao nhận thức, sự hiểu biết để cùng tham gia thực hiện và tự giám sát của người dân sẽ đóng vai trò quan trọng trong việc giảm thiểu các sai sót, vi phạm trong quá trình thực hiện. Tại Việt Nam, Luật Xây dựng 135 năm 2025 có hiệu lực thi hành từ ngày 01/01/2026 với một số quy định chuyển từ "tiền kiểm" sang "hậu kiểm" và phân cấp mạnh mẽ cho đơn vị quản lý của địa phương trong hoạt động cấp phép xây dựng nhà ở riêng lẻ đã làm tiền đề cho các cơ hội cải tiến quy trình, tích hợp công nghệ. Do đó, bài báo này sẽ tập trung trình bày các kết quả khảo sát, đánh giá các vướng mắc cùng một số giải pháp rút ngắn quy trình cấp phép (từ 11 ngày còn 7 ngày), và đề xuất miễn cấp phép cho một số khu vực (đã có QHCT) áp dụng thí điểm nhà ở riêng lẻ tại các phường Tân Thuận, Tân Mỹ, Phú Thuận, Tân Hưng (Quận 7 cũ - trước khi sáp nhập)

**Từ khóa:** Quản lý đô thị; cấp phép xây dựng; nhà ở riêng lẻ; Luật Xây dựng 2025; TPHCM.

**ABSTRACT**

Managing construction activities, including construction permission approval and implementation supervision, always requires the crucial role of governmental agencies, and increasingly needs to improve efficiency in terms of time and quality as the increase in construction demands at rapidly urbanising areas. The implementation process with the coordination between different divisions are emphasised to be improved in terms of duration and accuracy based on the application of online connectivity and shared databases. Furthermore, the role of understanding and self-monitoring by citizens will be necessary in minimising errors and violations during the process. In Vietnam, the Construction Law No. 135 in 2025, to be deployed from January 1st, 2026, stipulates a shift from "pre-inspection" to "post-inspection" with a rise in break-down authorities in the issuance of permits for individual housing constructions. This creates opportunities for improvement in the implementation process based on technology integration. Therefore, this article will focus on an investigation to practical difficulties and obstacles, along with some proposed solutions (e.g. shortening the permission approval duration (from 11 days to 7 days), and accepting permit exemptions for certain areas for residential housing construction in Tan Thuan, Tan My, Phu Thuan, and Tan Hung wards (formerly District 7).

**Keywords:** Urban management; construction permits; residential housing; Construction Law 2025; HCMC.

### 1. GIỚI THIỆU

#### 1.1. Phát triển đô thị và quản lý cấp phép xây dựng

Phát triển đô thị là động lực quan trọng cho tăng trưởng và phát triển, tạo ra môi trường cạnh tranh, đổi mới, sáng tạo, nâng cao chất lượng sống đô thị. Thực trạng này đã dẫn đến nhu cầu cấp bách phải nâng cao hiệu quả quản lý xây dựng gồm cấp phép và giám sát quá trình thực thi hoạt động xây dựng đối với các dự án, trong đó có nhà ở riêng lẻ chiếm tỷ trọng lớn. Mục tiêu này cần sự đối sánh về cách tiếp cận từ góc nhìn của của cơ quan quản lý tại một số quốc gia, từ đó có thể tham khảo và vận dụng vào bối cảnh có tính đặc thù tại Việt Nam.

Tại nhiều quốc gia trên thế giới, giấy phép xây dựng (Building permit hay Construction permit) được định nghĩa là: "Một văn bản chính thức cho phép cá nhân hoặc tổ chức được xây dựng trên một khu đất hoặc thực hiện các thay đổi đối với một tòa nhà hiện có". Tuy nhiên, trong bối cảnh hiện đại, giấy phép không chỉ là "sự cho phép" mà còn là một thỏa thuận về tuân thủ kỹ thuật giữa Nhà nước và Chủ đầu tư. Quan điểm quản trị công và minh bạch được Ngân hàng Thế giới (World Bank) trình bày trong các báo cáo thường niên về môi trường kinh doanh *Doing Business 2020: Comparing Business Regulation in 190 Economies* (World Bank, 2020), trong đó chỉ số cấp phép xây dựng được xem là thước đo năng lực cạnh tranh quốc gia."Hệ thống cấp phép xây dựng là cơ chế kiểm soát chất lượng công trình, đảm bảo các tiêu chuẩn an toàn (safety standards) và thực thi các quy định về quy hoạch đô thị. Một hệ thống tốt cần cân bằng giữa việc đảm bảo an toàn công cộng và tránh tạo ra các gánh nặng thủ tục không cần thiết cho doanh nghiệp". Quan điểm này nhấn mạnh rằng quy trình cấp phép phải minh bạch để giảm thiểu rủi ro tham nhũng và chi phí không chính thức, đồng thời khuyến khích đầu tư từ khối doanh nghiệp tư nhân. Thực tiễn tại nhiều quốc gia phát triển (như Anh, Mỹ, Úc), "Quy hoạch" và "Kỹ thuật" về mặt lý thuyết quản lý đô thị được phân tách rõ ràng với quy trình cấp phép phân chia thành hai giai đoạn độc lập nhằm tối ưu hóa chuyên môn.

- *Planning Permission (Giấy phép quy hoạch):* Tập trung trả lời câu hỏi "Công trình này có được phép tồn tại ở vị trí này không?". Giai đoạn này xem xét sự phù hợp với quy hoạch sử dụng đất, chiều cao, mật độ, và tác động thẩm mỹ tới môi trường sống của cộng đồng.

- *Building Regulations Approval (Phê duyệt kỹ thuật xây dựng):* Tập trung trả lời câu hỏi "Công trình này có an toàn không?". Giai đoạn này đi sâu vào kết cấu, phòng cháy chữa cháy, thoát nước và hiệu quả năng lượng. Cách tiếp cận quản lý dựa trên rủi ro (Risk-based approach) được Tổ chức Hợp tác và Phát triển Kinh tế (OECD) khuyến nghị áp dụng cơ chế quản lý dựa trên mức độ rủi ro của công trình:

○ Công trình rủi ro thấp (nhà ở nhỏ): Có thể áp dụng cơ chế thông báo hoặc miễn xin phép. Xu hướng này rất tương đồng với những thay đổi mới trong pháp luật Việt Nam (Luật 135/2025/QH15), khi chuyển mạnh sang hậu kiểm và miễn phép đối với các công trình rủi ro thấp (nhà ở quy mô nhỏ).

○ Công trình rủi ro cao (tòa nhà cao tầng, công cộng): Áp dụng quy trình thẩm định nghiêm ngặt và kiểm tra chéo bởi bên thứ ba độc lập.

**1.2. Các quy định về cấp phép xây dựng tại Việt Nam**

Tại Việt Nam, "Giấy phép xây dựng là văn bản pháp lý do cơ quan nhà nước có thẩm quyền cấp cho chủ đầu tư để xây dựng mới, sửa chữa, cải tạo, di dời công trình" được quy định tại Điều 3 của Luật Xây dựng số 135/2025/QH15. Đây là văn bản pháp lý quan trọng đối với công trình phải có giấy phép trước khi khởi công, là cơ sở để xác định hành vi vi phạm pháp luật về xây dựng, xử lý vi phạm hành chính, thậm chí trong một số trường hợp sẽ quyết định số phận của công trình (bị tháo dỡ), gồm những loại sau:

i) Giấy phép xây dựng mới;

ii) Giấy phép sửa chữa, cải tạo;

iii) Giấy phép di dời công trình; và

iv) Giấy phép xây dựng có thời hạn (là giấy phép cấp cho xây dựng công trình, nhà ở riêng lẻ được sử dụng trong một thời hạn nhất định theo kế hoạch thực hiện quy hoạch xây dựng).

Nhà ở riêng lẻ được định nghĩa theo khoản 2 Điều 2 của Luật Nhà ở năm 2023: "Nhà ở được xây dựng trên thửa đất ở riêng biệt thuộc quyền sử dụng hợp pháp của tổ chức, cá nhân, hộ gia đình, bao gồm nhà biệt thự, nhà ở liền kề và nhà ở độc lập". Theo đó, quản lý hoạt động xây dựng nhà ở riêng lẻ được triển khai theo Nghị định số 15/2021/NĐ-CP ngày 3/3/2021 (được sửa đổi, bổ sung bởi Nghị định số 35/2023/NĐ-CP) và Luật Xây dựng hợp nhất, được xác định từ giai đoạn chuẩn bị đầu tư (cấp phép) đến giai đoạn thi công và hoàn thành công trình (nghiệm thu), và được phân định thành hai nội dung chính, chú trọng trong công tác quản lý và giám sát:

i*) Quản lý trước xây dựng (giai đoạn tiền kiểm):* Kiểm soát sự phù hợp của hồ sơ thiết kế với

- Quy hoạch chi tiết xây dựng hoặc quy chế quản lý kiến trúc đô thị;

- Mục đích sử dụng đất hợp pháp;

- Các yêu cầu về an toàn chịu lực và an toàn phòng cháy chữa cháy đối với các công trình nhà ở kết hợp sản xuất kinh doanh.

ii*) Quản lý trật tự xây dựng và chất lượng thi công (Giai đoạn giám sát và hậu kiểm):* Đảm bảo công trình được thi công đúng với nội dung GPXD đã được cấp hoặc đúng với thiết kế đã thẩm định (đối với trường hợp miễn phép). Nội dung quản lý tập trung vào các chỉ tiêu quy hoạch - kiến trúc cốt lõi: Chỉ giới đường đỏ; chỉ giới xây dựng; mật độ xây dựng; chiều cao công trình và cốt nền xây dựng.

Từ ngày 01/7/2025, thực hiện theo Nghị quyết số 1685/BTVQH15 của Ủy ban Thường vụ Quốc hội về việc sắp xếp các đơn vị hành chính cấp xã của TP.HCM năm 2025, cơ cấu tổ chức hành chính của quận 7 đã được sắp xếp, tổ chức lại từ 10 phường xuống còn 04 phường mới (Tân Thuận, Tân Mỹ, Phú Thuận, Tân Hưng). Theo đó, phạm vi quản lý của các đơn vị hành chính lớn hơn, trong khi cần thực hiện tinh gọn bộ máy. Do đó, nhu cầu rút ngắn quy trình, nâng cao hiệu quả phối hợp nhằm giải quyết số lượng hồ sơ xin cấp phép có chiều hướng tăng do nhu cầu phát triển của đô thị, đáp ứng kinh doanh, dịch vụ tại khu vực trên là một nhu cầu thực tiễn khá cấp bách.

Từ những vấn đề trên, bài viết này sẽ trình bày thực trạng phát triển về hoạt động xây dựng nhà ở dẫn đến nhu cầu cấp phép tăng nhanh trong những năm gần đây của khu vực nghiên cứu (4 phường - Quận 7 cũ trước khi sáp nhập); từ đó, đề xuất một số giải pháp về cải tiến quy trình - thủ tục cấp phép nhằm rút ngắn thời gian, tiết giảm thủ tục cho người dân nhưng đồng thời vẫn đảm bảo tính chính xác của các bước thực hiện. Tiến trình sáp nhập với mô hình chính quyền hai cấp triển khai trong năm 2025 được xem là cơ hội thuận lợi để triển khai hiệu quả đối với khả năng phối hợp giữa các phòng ban, rút ngắn được thời gian chuyển hồ sơ giữa các đơn vị, các cấp theo quy trình cũ.

## 2. QUÁ TRÌNH PHÁT TRIỂN VÀ ĐÔ THỊ HOÁ TẠI KHU VỰC NGHIÊN CỨU

Khu vực nghiên cứu gồm các phường Tân Thuận, Tân Mỹ, Phú Thuận, Tân Hưng (Quận 7, trước khi sắp xếp các đơn vị hành chính) nằm về phía Đông Nam thành phố, có vị trí chiến lược:

- Phía Bắc giáp Quận 4, qua kênh Tẻ, và TP Thủ Đức (cũ) qua sông Sài Gòn;

- Phía Nam giáp huyện Nhà Bè qua rạch Đĩa, sông Phú Xuân;

- Phía Đông giáp TP Thủ Đức (cũ) và tỉnh Đồng Nai qua sông Sài Gòn và sông Nhà Bè.

- Phía Tây giáp Quận 8 và huyện Bình Chánh cũ qua rạch Ông Lớn.

Từ khi thành lập năm 1997, sau hơn 25 năm phát triển, dân số tại đây tăng mạnh qua các giai đoạn phát triển, cùng với sự hình thành và phát triển của nhiều khu đô thị hiện đại, điển hình Khu đô thị Phú Mỹ Hưng, tạo động lực cho các dự án án phát triển hạ tầng giao thông và tiện ích đồng bộ. Do đó, khu vực này từng bước phát triển thành khu đô thị hiện đại với tốc độ đô thị hoá cao, có thể được xem là một hình mẫu đặc thù về sự đan xen phức tạp giữa các khu đô thị mới hiện đại được quy hoạch bài bản (như Phú Mỹ Hưng) và các khu dân cư hiện hữu cần chỉnh trang, cải tạo [1].

Hình 1. Ảnh vệ tinh so sánh mức độ đô thị hóa của khu vực sau 17 năm (2008-2025). *(Nguồn: Google Earth)*

**3. THỰC TRẠNG QUẢN LÝ HOẠT ĐỘNG CẤP PHÉP XÂY DỰNG TRÊN ĐỊA BÀN - KHU VỰC NGHIÊN CỨU (PHƯỜNG TÂN THUẬN, TÂN MỸ, PHÚ THUẬN, TÂN HƯNG: QUẬN 7 CŨ)**

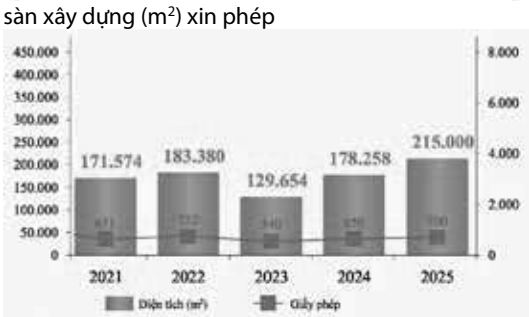
**3.1. Nhu cầu phát triển nhà ở - cấp phép xây dựng mới**

Trong 5 năm 2021 - 2024, chính quyền địa phương đã tiếp nhận và giải quyết số lượng hồ sơ xin cấp phép cho nhà ở riêng lẻ đã tăng không ngừng từ 631 hồ sơ (tương ứng 171.574 $m^2$ sàn xây dựng) năm 2021 lên 650 (tương ứng khoảng 215.000 $m^2$ sàn xây dựng) - tăng khoảng 25%. Trong khi đó, số lượng chuyên viên chuyên trách của phường được phân bổ giảm khoảng 30%: Từ 06 chuyên viên và 01 phó phòng phụ trách mảng cấp phép xử lý hồ sơ cho phạm vi 10 phường, còn 04 người và 01 trưởng phòng cho 04 phường sau sáp nhập. Thực trạng này đã dẫn đến áp lực xử lý khối lượng công việc ngày càng lớn - nguy cơ chậm tiến đố, gây ra sai sót ngày càng lớn nếu không có những điều chỉnh về quy trình và các bước xử lý phù hợp.

Bảng 2. Thống kê hoạt động xin phép xây dựng trong 5 năm: 2021 - 2025

*Nguồn: Phòng thống kê Quận 7 (đến ngày 01/7/2025)*

| STT | Chỉ tiêu | Đơn vị tính | Năm | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | Ước 2025 | BQ 2021-2025 |
| I | **Tổng số giấy phép** | | | | | | | |
| | - Xây dựng mới | Giấy phép | 631 | 752 | 540 | 650 | 700 | |
| II | **Diện tích sàn ($m^2$)** | | | | | | | |
| | - Xây dựng mới | $m^2$ | 171.574 | 183.380 | 129.654 | 178.258 | 215.000 | |
| III | **Mở rộng hẻm** | | | | | | | |
| 1 | Nâng cấp mở rộng hẻm >4m | Hẻm | 11 | 20 | 12 | 20 | 11 | |
| 2 | Nâng cấp hẻm theo hiện trạng | Hẻm | 22 | 37 | 27 | 42 | 20 | |




Hình 2. Biểu đồ thể hiện mức biến động - xu hướng tăng về số lượng và diện tích sàn xin phép xây dựng cho nhà ở riêng lẻ (*Nguồn: UBND Quận 7 đến 1/7/2025*)

**3.2. Quy trình cấp phép xây dựng: Một số bất cập trong quá trình triển khai**

Hiện tại, quy trình cấp phép xây dựng nhà ở riêng lẻ tại địa bàn đang áp dụng theo tiêu chuẩn ISO 9001:2015 với thời gian công bố tối đa là 11 ngày làm việc. Tuy nhiên, qua kết quả khảo sát bằng phương pháp phỏng vấn sâu với các chuyên gia quản lý đô thị, thực trạng quá trình triển khai được ghi nhận một số vấn đề hạn chế có thể được xử lý, khắc phục để có được một số cải tiến như sau:

- *Khâu thẩm định chuyên môn kéo dài (8/11 ngày):* Giai đoạn thụ lý của chuyên viên phòng Quản lý Đô thị chiếm tới 72% tổng thời gian xử lý với các bước thực hiện thủ công như đối chiếu, soát pháp lý đất đai (phối hợp với phòng tài nguyên môi trường), kiểm tra các chỉ tiêu kiến trúc (theo Quy chế quản lý kiến trúc ban hành kèm theo QĐ 56/2021/QĐ-UBND), tra cứu chồng lớp các loại bản đồ quy hoạch (phân khu 1/2000, lộ giới hẻm, hành lang bảo vệ sông rạch…). Việc thiếu công cụ chuyên nghiệp tra cứu tích hợp khiến thao tác này tốn nhiều thời gian và dễ sai sót liên quan đến dữ liệu đầu vào, quy trình xử lý và cơ chế kiểm tra... Ngoài ra, một số đặc thù về điều kiện tự nhiên như địa hình trũng thấp, hệ thống kênh rạch dày đặc (chiếm 28,5% diện tích tự nhiên) có gắn kết với triều cường - nguy cơ ngập, địa chất yếu (hầu hết công trình nhà ở riêng lẻ đều phải sử dụng giải pháp móng cọc sâu) nên công tác thẩm định hồ sơ và kiểm tra thực địa phải chặt chẽ, mất nhiều thời gian.

- *Thiếu dữ liệu liên thông:* Theo báo cáo đánh giá của Sở Tài nguyên và Môi trường TP.HCM (nay là Sở Nông nghiệp và Môi trường) tình trạng sai lệch giữa diện tích trên giấy chứng nhận quyền sử dụng đất (có tính pháp lý) và hiện trạng thực tế đo đạc vẫn diễn ra phổ biến. Điều này thường xuyên gây gián đoạn quy trình cấp phép do phải trả hồ sơ để người dân để làm rõ hoặc điều chỉnh. Bên cạnh đó, phương thức kiểm tra hiện tại còn mang tính "thủ công" khó bao quát hết các ngõ hẻm sâu, dẫn đến nguy cơ vi phạm ở giai đoạn sớm (làm móng), gây khó khăn cho việc xử lý sai lệch về sau (giữa xin phép và thi công thực tế).

- *Công tác hậu kiểm thụ động:* Kiểm tra trật tự xây dựng chủ yếu dựa trên thông báo khởi công bằng văn bản giấy (gửi trước 7 ngày). Tuy nhiên, do lực lượng thanh tra địa bàn có số lượng thành viên hạn chế, trong khi đó địa bàn quản lý sau sáp nhập mở rộng gấp 2-3 lần nên áp lực về mặt khối lượng công việc càng lớn.

**3.3. Một số quy định mới từ văn bản pháp lý liên quan đến công tác cấp phép xây dựng**

Luật Xây dựng số 135/2025/QH15 được ban hành đã tạo ra hành lang pháp lý mới cho khả năng vận dụng một cách linh hoạt, thuận lợi hơn cho hoạt động xây dựng. Theo đó, khoản 2 Điều 43 cho phép miễn giấy phép xây dựng đối với nhà ở riêng lẻ quy mô nhỏ (dưới 7 tầng, sàn < 500$m^2$) tại các khu vực có quy hoạch chi tiết 1/500 và tăng cường phân cấp cho chính quyền cơ sở [3]. Những điểm mới của quy định này đã hình thành cơ sở cho các bước cải tiến trong công tác quản lý vận dụng các quan điểm mới: Giảm cơ chế "xin cho", ưu tiên tạo điều kiện cho người dân chủ động thực hiện đúng các quy định về xây dựng (trong trường hợp này là các quy hoạch chi tiết đã được duyệt của mỗi khu vực). Sự thay đổi này cũng cho thấy tính cấp thiết của việc xây dựng một quy trình quản lý mới hoặc điều chỉnh các bước triển khai phù hợp dựa trên các quy trình đã có, theo cơ chế "miễn phép" và "số hóa" để giúp bộ máy hành chính ngày một tinh gọn.

**4. GIẢI PHÁP NÂNG CAO HIỆU QUẢ, CẢI TIẾN QUY TRÌNH CẤP PHÉP XÂY DỰNG NHÀ RIÊNG LẺ**

Dựa trên nội dung phân tích tại các phần trên, thực tiễn đã đặt ra yêu cầu cần có một quy trình xử lý hồ sơ hiệu quả hướng đến rút ngắn thời gian trong khi khối lượng hồ sơ tăng nhưng nhân sự giảm. Đây thực sự là một thách thức lớn đối với đơn vị quản lý - bộ phận xử lý hồ sơ cấp phép. Do đó, nhóm tác giả đề xuất các nhóm giải pháp có thể áp dụng thí điểm để đáp ứng nhu cầu trên như sau:

**4.1. Quy trình cấp phép xây dựng có thời gian 7 ngày** *(rút ngắn từ 11 ngày):* Chú trọng một số giải pháp phối hợp giữa các đơn

vị đã được gộp chung sau sáp nhập (trước đây là từng bộ phận xử lý riêng - tốn nhiều thời gian chuyển và tiếp nhận hồ sơ), các bước triển khai được phân tích, xem xét để có thể đề xuất rút ngắn thời gian thực hiện ở từng công đoạn, loại bỏ các bước thủ công và tăng cường thẩm định thông minh dựa trên dữ liệu dùng chung; đồng thời kết hợp sử dụng ứng dụng hệ thống quản lý số - phần mềm quản lý hồ sơ trực tuyến nên từ đó có thể rút ngắn từ 11 ngày xuống còn 07 ngày, cụ thể như sau (xem chi tiết ở Bảng 3):

- **Bước 1 - Tiếp nhận và luân chuyển (A1, A2)**: Rút ngắn còn 0,25 ngày so với 01 ngày trước đây. Người dân gửi hồ sơ trực tuyến qua Cổng Dịch vụ công (dựa trên phần mềm trực tuyến - "Q7 Construction" để cập nhật thông tin, diễn tiến xử lý hồ sơ); hệ thống tự động phân loại hồ sơ và gửi mã QR cho người dân.

- **Bước 2 - Thẩm định chuyên môn (B3, B4, B5, B6)**: Rút ngắn thành 6 ngày so với 8 ngày như trước đây. Thay vì gửi văn bản giấy xác minh, chuyên viên sử dụng quyền truy cập dữ liệu liên thông để xác minh tính pháp lý về đất đai trên hệ thống. Kiểm tra địa chỉ được thực hiện bằng các ứng dụng GIS kết hợp với khảo sát thực địa; chuyên gia cập nhật thông tin - kiểm tra tại vị trí đất, chụp ảnh hiện trạng và cập nhật trực tiếp lên hệ thống (thay vì về văn phòng lập biên bản giấy).

- **Bước 3 - Phê duyệt (C7, C8)**: Rút ngắn thành 0,5 ngày so với 01 ngày như trước đây. Chuyển trình duyệt dự thảo hồ sơ và xin Chữ ký số của Lãnh đạo UBND Phường được ủy quyền (rút ngắn thời gian chuyển hồ sơ ký duyệt, đóng dấu giữa các đơn vị).

- **Bước 4 - Trả kết quả (C9):** Rút ngắn thành 0,25 ngày so với 01 ngày như trước đây. Việc trả kết quả có thể được tiến hành tại bộ phận dịch vụ công (kết hợp cả trực tiếp hoặc trực tuyến). GPXD bản điện tử được cấp mã QR để người dân tự kiểm tra kết quả, phản hồi (nếu có sai sót) hoặc tiến hành chấp nhận để cùng thực hiện.

Như vậy, so với quy trình cấp phép trước năm 2025, thời gian triển khai có thể được giảm 4/11 ngày, với tổng thời gian có thể giảm khoảng 37% cho quá trình xử lý hồ sơ sơ đồ (từ 11 ngày giảm xuống 7 ngày).

Bảng 3. So sánh quy trình cấp phép đã có (trước 2025) và quy trình cải tiến (rút ngắn thời gian 2025)

| STT | | QUY TRÌNH CẤP PHÉP XÂY DỰNG TRƯỚC NĂM 2025 | | | QUY TRÌNH CẤP PHÉP XÂY DỰNG SAU NĂM 2025 (GIẢI PHÁP) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | CÔNG TÁC | THỦ TỤC | CƠ QUAN LIÊN QUAN | Số ngày TH | TÊN THỦ TỤC | CƠ QUAN LIÊN QUAN | Số ngày | Ghi chú |
| A | TIẾP NHẬN VÀ LUÂN CHUYỂN | **1.** Kiểm tra thành phần hồ sơ giấy; Cấp biên nhận | **Bộ phận Một cửa** | 1 ngày | 1. Tiếp nhận Thông tin hồ sơ tên hệ thống, số hóa mã QR hồ sơ tra cứu. | **Bộ phận Một cửa** (dịch vụ công) | 0,25 ngày | Ứng dụng di động "Q7 Construction" để kiểm tra thông tin. |
| | | 2.Tiếp nhận hồ sơ; Phân loại và chuyển phòng chuyên môn | **VĂN PHÒNG HĐND & UBND** | | | | | |
| B | THẨM ĐỊNH CHUYÊN MÔN | **3.Rà soát Pháp lý** Kiểm tra Giấy chứng nhận (Sổ đỏ).Xác minh tình trạng tranh chấp… | **PHÒNG KINH TẾ HẠ TẦNG ĐÔ THỊ** *( TỔ CẤP PHÉP QLĐT cũ)* ⇔ **PHÒNG TÀI NGUYÊN MÔI TRƯỜNG** ⇔ **VP ĐĂNG KÝ ĐẤT** | 8 ngày | **2.Rà soát Pháp lý** Kiểm tra Giấy chứng nhận (Sổ đỏ).Xác minh tình trạng tranh chấp… | **PHÒNG KINH TẾ HẠ TẦNG ĐÔ THỊ** ⇔ **VP ĐĂNG KÝ ĐẤT** | 6 ngày | Chuyên viên thụ lý tra cứu trực tiếp trên Hệ thống dữ liệu liên thông |
| | | **4.Kiểm tra Quy hoạch & Kỹ thuật** Đối chiếu quy hoạch phân khu 1/2000; Kiểm tra chỉ tiêu quy hoạch, QĐ56 theo quy định | **PHÒNG KINH TẾ HẠ TẦNG ĐÔ THỊ** *(TỔ CẤP PHÉP P.QLĐT cũ)* ⇔ **PHÒNG KINH TẾ HẠ TẦNG ĐÔ THỊ** *(TỔ QUY HOẠCH P.QLĐT cũ)* | | **3.Kiểm tra Quy hoạch & Kỹ thuật** Đối chiếu quy hoạch phân khu 1/2000; Kiểm tra chỉ tiêu quy hoạch, QĐ56 theo quy định. **Kiểm tra thực địa** **Soạn thảo & Trình duyệt** Dự thảo, Trình Lãnh đạo Phòng theo form biểu mẫu | **PHÒNG KINH TẾ HẠ TẦNG ĐÔ THỊ** (phối hợp các số, hạ tầng, quy hoạch) | | Áp dụng dữ liệu tra cứu tại Phòng KTHTĐT Hệ thống GIS (Tự động),áp dụng flycam. xuất Giấy phép xây dựng từ mẫu điện tử trên phần mềm |
| | | **5.Kiểm tra thực địa** | **PHÒNG KINH TẾ HẠ TẦNG ĐÔ THỊ (TỔ CẤP P.QLĐT cũ)** ⇔ **ĐỊA CHÍNH, TRẬT TỰ XD TẠI ĐỊA BÀN** | | | | | |
| | | **6.Soạn thảo & Trình duyệt** Dự thảo, Trình Lãnh đạo Phòng xem xét. | **PHÒNG KINH TẾ HẠ TẦNG ĐÔ THỊ (TỔ CẤP P.QLĐT cũ)** | | | | | |
| C | PHÊ DUYỆT | 7.Duyệt tờ trình, nháy trình giấy phép | **Lãnh đạo Phòng KINH TẾ HẠ TẦNG ĐÔ THỊ** | 1 ngày | 4.Duyệt tờ trình, nháy trình giấy phép (ký số) Ký ban hành (ký số) | **Lãnh đạo Phòng KINH TẾ HẠ TẦNG ĐÔ THỊ** **Lãnh đạo UBND** | 0,5 ngày | Rà soát, nháy trên phần mềm. Lãnh đạo UBND phường ký số |
| | | 8.Ký ban hành. | **Lãnh đạo UBND** | | | | | |
| D | TRẢ KẾT QUẢ | 9.Trả kết quả, ký nhận | **Bộ phận Một cửa** | 1 ngày | 5.Trả kết quả qua dịch vụ công mã QR . Thông báo qua SMS, mail cho dân tra cứu | **Bộ phận Một cửa** (dịch vụ công) | 0,25 ngày | công khai trên trang web, mạng xã hội của UBND phường |

**4.2. Thí điểm cơ chế miễn giấy phép tại một số phân vùng phù hợp**

Như đã trình ở phần trên, Luật Xây dựng 2025 có hiệu lực thi hành từ ngày 01/01/2026 đã cho phép thí điểm miễn giấy phép xây dựng đối với nhà riêng lẻ tại các khu vực *đã có quy định chi tiết hoàn chỉnh 1/500*. Theo đó, bằng việc áp dụng quy trình "Tiếp nhận thông báo khởi công", vai trò quản lý của nhà nước sẽ chuyển trọng tâm từ kiểm tra định kỳ sang kiểm tra lỗi và giám sát cộng đồng, chú trọng:

- *Hướng dẫn:* Cơ quan quản lý sẽ chú trọng công tác hướng dẫn dựa trên hệ thống cơ sở dữ liệu được công khai (liên quan đến quy hoạch: chức năng đất, tầng cao - chiều cao tối đa, khoảng lùi…, tọa độ địa lý của các thửa đất…) để người dân tự kiểm tra và đăng ký thực hiện xây dựng để cơ quan quản lý - dịch vụ công có thể hỗ trợ kiểm tra, rà soát…

- *Hậu kiểm:* Với việc áp dụng công nghệ (ảnh vệ tinh, flycam…), cơ quan quản lý có thể phát hiện sớm các sai khác xuất hiện (khác với "Thông báo khởi công" hoặc trên bản đồ hệ thống quản lý - dữ liệu tập trung).

- *Hoàn công:* Quy trình hoàn công chỉ còn là thủ tục cập nhật tài sản với điều kiện tài sản được xây dựng thực hiện đúng các quy định và cam kết. Dữ liệu về kết quả của quá trình xây dựng sẽ được bộ phận chức năng kiểm tra, đánh giá, nếu không sai phạm sẽ được đồng bộ tự động sang Văn phòng Đăng ký đất đai.

Qua rà soát các đồ án quy hoạch đã có trong khu vực nghiên cứu, nhóm tác giả đề xuất áp dụng theo 02 phân vùng:

- Phân vùng 1 (Vùng xanh - các khu vực đã có quy hoạch 1/500): Khu vực đã có QH 1/500 hoàn chỉnh sẽ được đề xuất hiển thị thông báo "Được miễn giấy phép", đồng thời cung cấp thông tin chi tiết, đầy đủ các quy định về cao độ nền, khoảng lùi, mật độ xây dựng, hệ số sử dụng đất và một số quy định có liên quan đến khả năng đấu nối hạ tầng, kiến trúc - cảnh quan…cùng các hướng dẫn trình tự thực hiện.

- *Phân vùng 2 (Phần còn lại - các khu vực đang lập quy hoạch hoặc điều chỉnh quy hoạch 1/500), bao gồm:*

o Khu dân cư hiện hữu, chỉnh trang: Vẫn yêu cầu cấp phép nhưng theo quy trình rút gọn 7 ngày (Bảng 3).

o Khu vực được quy hoạch đất công, hành lang an toàn sông rạch: Không được xây dựng cố định nên chỉ xem xét các cấp phép có thời hạn (không áp dụng theo quy trình tại Bảng 3), và dự kiến sẽ thực hiện theo một số quy định mới được ban của Chính phủ.

Như vậy, việc áp dụng thí điểm cơ chế miễn giấy phép và quản lý phân vùng số (Digital Zoning) sẽ giúp giảm áp lực cho nhân sự thông qua tự động hóa các khâu tra cứu và loại bỏ các bước thủ công.

Hình 3. Bản đồ quản lý phân vùng số thí điểm cơ chế miễn giấy phép

**4.3. Ứng dụng công nghệ: Ý tưởng về phát triển phần mềm quản lý "Q7 Construction" hỗ trợ hoạt động cấp phép, hoặc thông báo cho phép xây dựng với sự tham gia, phản hồi từ cộng đồng**

Hiện nay, để giải quyết bài toán thiếu nhân lực là ứng dụng công nghệ. Đề xuất xây dựng ứng dụng "Q7 Construction" với các tính năng đặc biệt cho 3 nhóm đối tượng:

- *Đối với người dân:* Cung cấp thông tin theo thời gian thực bằng định vị GPS. Quy trình nhận thông báo thuế và theo dõi quá trình xử lý được thể hiện theo sơ đồ - dễ quan sát và trực diện;

- *Đối với cán bộ quản lý:* Là công cụ nghiệp vụ với cơ sở dữ liệu tập trung, hạn chế hồ sơ giấy không cần thiết. Ứng dụng cho phép cập nhật kiểm tra, nghiên cứu lớp dữ liệu chuyên sâu (chẳng hạn hạ tầng kỹ thuật: điện, nước, thông tin…) để hướng dẫn người dân đăng ký đấu nối hạ tầng kỹ thuật đúng;

- *Đối với lãnh đạo:* Hệ thống bảng điều khiển báo cáo thời gian thực hiện cấp phép và tiến độ xây dựng công trình sau cấp phép trên địa bản.

Theo đó, cơ chế phân quyền và phân cấp dữ liệu cần đảm bảo an toàn thông tin theo Luật an ninh mạng, hệ thống áp dụng cơ chế phân quyền chặt chẽ:

- *Lãnh đạo phường:* Quyền truy cập các lớp dữ liệu (Quy hoạch, Quyền sở hữu, Hạ tầng, hiện trạng).

- *Chuyên viên:* Quyền truy cập dữ liệu kỹ thuật và cập nhật hiện trạng.

- *Công cộng:* Chỉ xem các quy tắc chung và hiển thị thông tin, ẩn chủ sở hữu thông tin. Mọi thao tác truy cập dữ liệu nhạy cảm đều được ghi nhật ký hệ thống (Nhật ký hệ thống) để kiểm soát.

Như vậy, việc áp dụng ứng dụng công nghệ: Hệ sinh thái "Q7 Construction" sẽ giúp tăng cường tính minh bạch và sự hài lòng của người dân thông qua công việc khai kế hoạch số, báo cáo số liệu cấp phép, thi công xây dựng cụ thể.

Hình 4. Minh họa phần mềm tra cứu quy hoạch phục vụ cấp phép xây dựng 'Q7 Construction'

**5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ**

Thực trạng về nhu cầu phát triển cùng với việc sắp xếp các đơn vị hành chính cấp xã, phường của TP.HCM năm 2025, và những quy định mới của Luật Xây dựng số 135 năm 2025 tạo ra nhiều yêu cầu, thách thức về hoạt động quản lý xây dựng trong đó có cấp phép, nhưng cũng là cơ hội tích hợp những điều chỉnh và cải tiến và có thể thí điểm một số đổi mới tại một số khu vực thuộc địa bàn 4 phường (Quận 7 cũ) nhằm nâng cao hiệu quả công tác quản lý xây dựng và vai trò cùng tham gia thực hiện đúng quy định của người dân. Các số liệu thực trạng được tổng hợp, phân tích và trình bày về số lượng cấp phép tăng khoảng 25% trong khi nhân sự (chuyên viên chuyên trách) giảm khoảng 30% đã được trình bày ở các phần trên cho thấy tính bức thiết về yêu cầu cải tiến, điều chỉnh các quy trình phối hợp, xử lý công việc theo hướng hiệu quả (rút ngắn thời gian, hạn chế điểm nghẽn nhưng vẫn đảm bảo chính xác, chất lượng). Qua đánh giá, phân tích thực trạng khó khăn, nhóm tác giả đã đề xuất giải pháp giúp cho công tác quản lý hoạt động cấp phép xây dựng trên địa bàn (Quận 7 cũ) - khu vực nghiên cứu có hiệu quả hơn về mặt thời gian, phối hợp xử lý giữa các đơn vị và tối ưu nhân lực, và ứng dụng công nghệ cho khả năng tương tác và sử dụng cơ sở dữ liệu tập trung. Cụ thể như sau:

(1) Giảm 37% thời gian xử lý hồ sơ (từ 11 xuống còn 7 ngày);

(2) Giảm áp lực cho nhân sự thông qua khả năng điều phối, phân bổ hợp lý giữa các bước triển khai, và tự động hóa các khâu tra cứu kiểm tra dữ liệu, loại bỏ các bước thủ công;

(3) Tăng cường tính minh bạch và sự hài lòng của người dân thông qua công việc phần mềm - giao diện trực tuyến.

Nhóm tác giả kiến nghị các đơn vị quản lý tại các phường lân cận trên địa bàn TP.HCM có thể kiểm chứng thử quy trình đã được đề xuất trong bài viết này, đồng thời có thể thí điểm triển khai miễn cấp phép cho một số phân vùng đáp ứng đủ các điều kiện tương đồng. Tuy nhiên, để các giải pháp đề xuất nêu trên có thể trở thành hiện thực, áp dụng vào công tác quản lý vận hành hiệu quả, các giải pháp sẽ cần phải tiếp thu ý kiến và điều chỉnh.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

[1] Ủy ban nhân dân Quận 7. *Báo cáo tổng kết tình hình kinh tế - xã hội và quản lý trật tự đô thị năm 2024, phương hướng nhiệm vụ năm 2025*, 2024.

[2] Dương Thanh Tiến. *Đề án nâng cao hiệu quả quản lý hoạt động xây dựng nhà ở riêng lẻ tại các phường Tân Thuận, Tân Mỹ, Phú Thuận và Tân Hưng*. Đề án Thạc sĩ, Trường Đại học Kiến trúc TP.HCM, 2025.

[3] Quốc hội nước Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam. *Luật Xây dựng số 135/2025/QH15*, Hà Nội, 2025.

[4] Phòng Quản lý đô thị Quận 7. *Dữ liệu thống kê cấp phép xây dựng giai đoạn 2021-2024*, 2024.

[5] World Bank. *Doing Business 2020: Dealing with Construction Permits Methodology*. Washington, DC, 2020.

[6] UBND TP.HCM. *Quyết định số 29/2025/QĐ-UBND về phân cấp thẩm quyền cấp giấy phép xây dựng, TP.HCM*, 2025.

[7]. Sở Nội vụ TP.HCM. *Sổ tay Danh mục địa giới hành chính các phường - xã, đặc khu của Thành phố Hồ Chí Minh (Lưu hành nội bộ)*. 2025.

[8]."OECD Best Practice Principles for Licensing and Permitting" 2025.

■Ngày nhận bài: 23/01/2026 ■Ngày sửa bài: 02/3/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 11/3/2026

# Phân tích các rào cản và thách thức trong phát triển đô thị theo mô hình TOD: Bài học kinh nghiệm cho Hà Nội

## Analysis of barriers and challenges in transit-oriented development (tod): Lessons learned for Hanoi

> **THS.NCS NGUYỄN HUY HÙNG**
Bộ môn Quy hoạch và Giao thông đô thị, Khoa Công trình
Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải
Email: hungnh@utt.edu.vn

**TÓM TẮT**

Phát triển đô thị theo định hướng giao thông công cộng (TOD) là mô hình ưu việt nhằm kiến tạo đô thị bền vững và giải quyết áp lực đô thị hóa tại các đô thị đặc biệt như Hà Nội. Việc thể chế hóa TOD thông qua Luật Thủ đô 2024 [1] đã khẳng định vị thế chiến lược của mô hình này trong lộ trình phát triển đô thị đồng bộ và hiện đại. Tuy nhiên, khoảng cách từ chính sách đến thực tiễn vẫn còn bị cản trở bởi các rào cản về thể chế, tài chính, kỹ thuật và xã hội; đồng thời việc chưa nhận diện đầy đủ các thách thức có thể làm hạn chế hiệu quả và gây lãng phí nguồn lực đầu tư. Bằng phương pháp nghiên cứu tổng hợp kinh nghiệm quốc tế, bài báo tập trung phân tích các rào cản cốt lõi trong triển khai TOD dựa trên khung 8 yếu tố (8D) bao gồm: mật độ, đa dạng, thiết kế, khoảng cách đến trạm, khả năng tiếp cận điểm đến, quản lý nhu cầu, nhân khẩu học và phát triển tại chỗ. Kết quả nghiên cứu là cơ sở khoa học quan trọng, cung cấp bài học kinh nghiệm thiết thực để các nhà hoạch định chính sách xây dựng lộ trình triển khai TOD khả thi, bảo đảm tính đồng bộ và tối ưu hóa nguồn lực cho Thủ đô Hà Nội, hướng tới mục tiêu phát triển bền vững.

**Từ khóa:** TOD; rào cản thách thức; phát triển đô thị; giao thông công cộng; bài học kinh nghiệm.

**ABSTRACT**

Transit-Oriented Development (TOD) is a superior model for creating sustainable urban areas and addressing urbanization pressures in special municipalities like Hanoi. The institutionalization of TOD through the 2024 Capital Law [1] has affirmed the strategic position of this model in the roadmap for synchronized and modern urban development. However, the gap between policy and practical implementation is currently hindered by complex institutional, financial, technical, and social barriers; simultaneously, the lack of identifying challenges can lead to limited efficiency and waste of investment resources. Using the method of synthesizing international experiences, the paper focuses on analyzing core barriers in TOD implementation based on the 8-factor (8D) framework including: density, diversity, design, distance to transit, destination accessibility, demand management, demographics, and development onsite. The research results serve as an important scientific basis, providing practical lessons for policymakers to develop a feasible TOD implementation roadmap, ensuring synchronicity and resource optimization for the capital city of Hanoi, towards the goal of sustainable development.

**Keywords:** TOD; barriers and challenges; urban development; public transport; lessons learned.

### 1. GIỚI THIỆU

Quá trình đô thị hóa đặt ra những thách thức phức tạp lên hệ thống hạ tầng, môi trường và an sinh xã hội của các thành phố đang phát triển. Trong bối cảnh đó, phát triển đô thị theo định hướng giao thông công cộng (TOD) được xem là một chiến lược phát triển quan trọng nhằm kiến tạo các không gian đô thị bền vững, lấy con người làm trung tâm và tối ưu hóa sự gắn kết với hệ thống giao thông công cộng (GTCC). Về bản chất, mô hình TOD hướng tới thúc đẩy tích hợp giữa quy hoạch sử dụng đất và GTCC khối lượng lớn, khuyến khích phát triển đô thị nén với mật độ cao, đa chức năng, đồng thời ưu tiên khả năng tiếp cận bằng xe đạp và đi bộ tại khu vực xung quanh nhà ga.

Tại Hà Nội, mô hình TOD được xác định là định hướng quan trọng trong Quy hoạch chung Thủ đô nhằm tái cấu trúc không gian đô thị và giải quyết các vấn đề còn thiếu hiệu quả của giao thông cố hữu. Với mạng lưới 8 tuyến đường sắt đô thị (ĐSĐT) theo quy hoạch

đang từng bước hình thành và đưa vào vận hành, Hà Nội đang đứng trước cơ hội lớn để định hình lại hình thái đô thị gắn với GTCC (Hình 1) [2], [3]. Tuy nhiên, thực tiễn triển khai phải đối mặt với những rào cản phức tạp về thể chế, tài chính, kỹ thuật và xã hội. Vì vậy, việc nhận diện có hệ thống các điểm nghẽn này là yêu cầu tiên quyết để xây dựng lộ trình thực thi hiệu quả. Bài báo sử dụng hệ khung lý thuyết 8D - TOD nhằm cung cấp một lăng kính toàn diện, giúp soi chiếu các khía cạnh phức tạp và đa chiều của quá trình triển khai TOD trong thực tiễn.

Hình 1. Quy hoạch ĐSĐT của Hà Nội đến năm 2030, tầm nhìn 2050. *Nguồn:[3]*

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu được thực hiện dựa trên phương pháp nghiên cứu tổng quan tài liệu thứ cấp có hệ thống (Hình 2).

Trên cơ sở đặt vấn đề phân tích các rào cản và thách thức trong triển khai phát triển đô thị theo định hướng giao thông công cộng (TOD), bài báo xác định khung lý thuyết 8D (mật độ, đa dạng, thiết kế, khoảng cách đến trạm, khả năng tiếp cận điểm đến, quản lý nhu cầu, nhân khẩu học và phát triển tại chỗ) [4] là cơ sở để phân loại và phân tích các rào cản. Khung lý thuyết này được lựa chọn vì tính toàn diện, bao quát các yếu tố vật lý, kinh tế, xã hội và thể chế trong phát triển TOD.

Đồng thời tác giả tiến hành rà soát các công trình nghiên cứu khoa học, báo cáo kỹ thuật và các bài học thực tiễn từ các thành phố trên thế giới đã triển khai TOD; từ đó phân tích, tổng hợp và hệ thống hóa thành 8 nhóm rào cản chính, tương ứng với 8 nguyên tắc "D". Cuối cùng, dựa trên kết quả tổng hợp kinh nghiệm quốc tế, tác giả tiến hành đối chiếu và liên hệ với bối cảnh đặc thù của Hà Nội nhằm nhận diện những rào cản có nguy cơ tương đồng cao và rút ra những bài học, khuyến nghị phù hợp.

Hình 2. Phương pháp nghiên cứu

## 3. KẾT QUẢ TỔNG HỢP

### 3.1. Thước đo đánh giá mức độ phát triển TOD

Để đánh giá mức độ thành công của một khu vực TOD, giới học thuật đã phát triển các chỉ số đo lường định lượng, trong đó gồm các khuôn khổ "3D", "5D", "8D". Nguyên tắc 8D - TOD là nguyên tắc được lựa chọn bởi tính phù hợp về bối cảnh, bao gồm các chỉ số: Density (mật độ), Diversity (đa dạng), Design (thiết kế), Distance to transit (khoảng cách đến trạm trung chuyển), Destination accessibility (khả năng tiếp cận điểm đến), Demand management (quản lý nhu cầu), Demographics (nhân khẩu học/công bằng), Development onsite (phát triển tại chỗ). Các nguyên tắc thuộc 8D - TOD được hệ thống hóa lý luận khoa học và các chỉ số đo lường thông qua Bảng 1.

Bảng 1. Hệ thống hóa nguyên tắc 8D trong phát triển TOD

| Nguyên tắc | Lý luận khoa học |
|---|---|
| Density (mật độ) | Tập trung mật độ cao dân số và việc làm để đảm bảo lượng hành khách tiềm năng cho GTCC [5]. |
| Diversity (đa dạng) | Đa dạng chức năng sử dụng đất để giảm khoảng cách di chuyển và khuyến khích các chuyến đi bộ [6]. |
| Design (thiết kế) | Thiết kế, kiến tạo môi trường vật lý đô thị ở cấp độ vi mô theo hướng an toàn, thuận tiện và hấp dẫn người đi bộ [7]. |
| Distance to Transit (khoảng cách đến trạm) | Tối thiểu hóa khoảng cách vật lý từ các hoạt động đến nhà ga/trạm GTCC để vượt qua rào cản tiếp cận ban đầu [8]. |
| Destination Accessibility (khả năng tiếp cận điểm đến) | Đánh giá hiệu quả mạng lưới GTCC trong giúp kết nối khu vực với các cơ hội (việc làm, dịch vụ) trên toàn khu vực [9]. |
| Demand Management (quản lý nhu cầu) | Áp dụng các chính sách kéo và đẩy để hạn chế việc sử dụng xe cá nhân, tạo ra sự thay đổi hành vi và tăng tính cạnh tranh cho GTCC [10]. |
| Demographics (nhân khẩu học) | Đảm bảo lợi ích của TOD được phân phối công bằng, phục vụ mọi nhóm dân cư và chống lại sự dịch chuyển không mong muốn [11]. |
| Develop onsite (phát triển tại chỗ) | Đồng bộ hóa về mặt thời gian và tài chính giữa việc đầu tư hạ tầng giao thông và phát triển đô thị để tối đa hóa lợi ích [12]. |

*Nguồn: Tác giả tổng hợp*

**3.2. Tổng hợp các nghiên cứu điển hình về rào cản, thách thức trong triển khai TOD**

Phân tích từ kinh nghiệm quốc tế cho thấy, mỗi nguyên tắc thuộc 8D - TOD đều tiềm ẩn những rào cản đặc thù cản trở quá trình hiện thực hóa (Bảng 2).

Bảng 2. Tổng hợp kinh nghiệm quốc tế về các thách thức và rào cản trong triển khai TOD

| Nguyên tắc D | Vấn đề thách thức | Thành phố (Quốc gia) |
|---|---|---|
| Density (mật độ) | Tích tụ đất đai rời rạc | Bangkok (Thái Lan); Manila (Philippines); Tokyo, Osaka, và Nagoya (Nhật Bản) |
| | Sự phản kháng của cộng đồng | California (Hoa Kỳ), Stockholm (Thụy Điển) |
| | Sức ép lên hạ tầng hiện hữu | Delhi, Mumbai, Ahmedabad (Ấn Độ) |
| | Rào cản về hiệu quả đầu tư | (Manchester) Vương quốc Anh, San Francisco (Hoa Kỳ) |
| Diversity (đa dạng) | Các quy định cứng nhắc về quy hoạch | Portland (Hoa Kỳ); Toronto, Vancouver, Halifax (Canada) |
| | Rủi ro tài chính từ các dự án đa chức năng | Buffalo, Oakland (Hoa Kỳ) |
| | Thiếu sự đa dạng thực chất | Poundbury (Vương quốc Anh) |
| Design (thiết kế) | Thiếu hạ tầng kết nối với phương tiện phi cơ giới | Vương quốc Anh, Bắc Mỹ (Canada và Mỹ) |
| | Tiêu chuẩn kỹ thuật ưu tiên phương tiện cá nhân | San Francisco (Hoa Kỳ) |
| | Thiếu kiểm soát trật tự đô thị | Los Angeles (Hoa Kỳ), TP.HCM (Việt Nam), London (Vương quốc Anh) |
| | Thờ ơ với hoạt động đi bộ | Copenhagen (Đan Mạch) |
| Distance to Transit (khoảng cách đến trạm) | Cấu trúc mạng lưới đường không hiệu quả | Calgary (Canada), Perth (Úc) |
| | Khoảng cách cảm nhận | Hà Nội (Việt Nam), Colombo (Sri Lanka), Davao (Philippines) |
| | Bài toán chặng đầu/cuối | Santiago (Chile) |
| Destination accessibility (khả năng tiếp cận điểm đến) | Sự mất cân bằng cấu trúc nơi ở và nơi làm việc | Los Angeles (Hoa Kỳ), Bắc Kinh (Trung Quốc) |
| | Phân mảnh mạng lưới GTCC | Madrid (Tây Ban Nha), Bangkok (Thái Lan) |
| | Hạn chế về khả năng tiếp cận | Nhiều khu ngoại ô tại Hoa Kỳ, Hong Kong (Trung Quốc) |
| Demand management (quản lý nhu cầu) | Phản đối chính trị và xã hội | New York (Hoa Kỳ), Manchester (Vương quốc Anh) |
| | Lo ngại về công bằng xã hội | San Francisco (Hoa Kỳ), Bắc Kinh (Trung Quốc) |
| | Phản đối từ doanh nghiệp và cộng đồng | London (Anh), Stockholm (Thụy Điển), Singapore |
| Demographics (nhân khẩu học) | Dịch chuyển dân cư | San Francisco (Hoa Kỳ), Thượng Hải (Trung Quốc) |
| | Hiện tượng "quý tộc hóa" | Seoul (Hàn Quốc), Jakarta (Indonesia) |
| | Thiếu chính sách can thiệp | London (Vương quốc Anh), Oakland (Hoa Kỳ) |
| Development onsite (phát triển tại chỗ) | Thể chế phân mảnh và thiếu phối hợp liên ngành | Bangkok (Thái Lan), Hoa Kỳ |
| | Thiếu khung pháp lý và công cụ chính sách | Ahmedabad (Ấn Độ) |

*Nguồn: Tác giả tổng hợp*

*3.2.1. Density (mật độ)*

- Tích tụ đất đai rời rạc: Do cấu trúc sở hữu đất tư nhân nhỏ lẻ, phức tạp gây cản trở việc giải phóng mặt bằng cho các dự án quy mô lớn như ĐSĐT [13]. Trong trường hợp có cơ chế tái điều chỉnh đất đai cũng cần đòi hỏi quy trình pháp lý phức tạp và sự đồng thuận cộng đồng rất cao.

- Sự phản kháng của cộng đồng: Cư dân địa phương thường phản đối các dự án cao tầng do lo ngại phá vỡ đặc trưng kiến trúc, gây áp lực lên hạ tầng và làm mất không gian xanh [14].

- Sức ép lên hạ tầng hiện hữu: Việc gia tăng mật độ đột ngột gây quá tải lên hệ thống hạ tầng kỹ thuật và xã hội vốn được thiết kế cho mật độ thấp hơn [15].

- Rào cản về hiệu quả đầu tư: Các dự án mật độ cao đòi hỏi vốn đầu tư lớn và các nhà đầu tư tư nhân sẽ không tham gia nếu thị trường bất động sản không đủ mạnh. Việc lồng ghép yêu cầu nhà ở giá cả phải chăng càng làm phức tạp bài toán lợi nhuận, có nguy cơ dẫn đến hiện tượng "quý tộc hóa" [11].

*3.2.2. Diversity (đa dạng)*

- Quy định cứng nhắc về quy hoạch: Hệ thống quy hoạch phân khu chức năng truyền thống, vốn tách biệt các loại hình sử dụng đất (đơn năng) là một rào cản về mặt thể chế [16].

- Rủi ro tài chính từ các dự án đa chức năng: Các dự án này có độ phức tạp và rủi ro cao hơn, khiến các định chế tài chính thận trọng khi cấp vốn. Hợp phần bán lẻ ở tầng trệt thường đặc biệt rủi ro và khó lấp đầy trong giai đoạn đầu [17].

- Thiếu sự đa dạng thực chất: Nhiều dự án chỉ tạo ra sự "lắp ghép cơ học" các chức năng với các chuỗi cửa hàng đồng dạng, thiếu bản sắc địa phương, bị phê bình là tạo ra một sự đa dạng nhân tạo, không phản ánh sự hỗn hợp hữu cơ của các thành phố [18].

*3.2.3. Design (thiết kế)*

- Thiếu hạ tầng kết nối với phương tiện phi cơ giới: Các dự án thường tập trung vào công trình nhà ga mà bỏ qua các hạ tầng kết nối như hè phố, đường dành cho xe đạp và bãi đỗ xe [19].

- Tiêu chuẩn kỹ thuật ưu tiên phương tiện cá nhân: Các tiêu chuẩn thiết kế đường đô thị truyền thống với làn đường rộng và bán kính cua lớn tạo ra môi trường không an toàn cho người đi bộ, không phù hợp với mục tiêu của TOD [20].

- Thiếu kiểm soát trật tự đô thị: Tình trạng chiếm dụng vỉa hè bởi đỗ xe trái phép và các hoạt động bán hàng rong gần như triệt tiêu không gian cho người đi bộ ở nhiều đô thị châu Á [21].

- Thờ ơ với hoạt động đi bộ: Việc thiết kế các "mặt tiền không hoạt động" (tường trống, bãi đất) làm cho đường phố trở nên nhàm chán và thiếu hấp dẫn, làm nản lòng hành trình đi bộ [22].

*3.2.4. Distance to Transit (khoảng cách đến trạm)*

- Cấu trúc mạng lưới đường không hiệu quả: Các khu vực có nhiều đường cụt làm tăng gấp đôi khoảng cách đi bộ so với đường chim bay, thu hẹp đáng kể vùng thu hút của nhà ga [8].

- Khoảng cách cảm nhận: Môi trường đi bộ không an toàn, không thoải mái (thiếu vỉa hè, ánh sáng kém, ô nhiễm) làm tăng "khoảng cách cảm nhận", khiến một quãng đường ngắn trở nên rất dài. Đây là vấn đề phổ biến tại các thành phố đang phát triển ở châu Á [22].

- Bài toán chặng đầu/ chặng cuối: Sự thiếu hụt các giải pháp kết nối như: xe buýt gom hay hạ tầng xe đạp an toàn là một rào cản đối với những người sống ngoài bán kính đi bộ của nhà ga [23].

*3.2.5. Destination Accessibility (khả năng tiếp cận điểm đến)*

Mất cân bằng cấu trúc nơi ở và nơi làm việc: Sự hình thành các khu ở quy mô lớn tại khu vực vành đai, trong khi các cơ hội việc làm vẫn tập trung ở trung tâm thành phố, gây quá tải cho các tuyến metro [24].

- Phân mảnh mạng lưới GTCC: Các phương thức vận tải khác nhau do các cơ quan độc lập vận hành, thiếu đồng bộ về lịch trình và hệ thống vé, gây khó khăn cho việc chuyển tuyến [25].

- Hạn chế khả năng tiếp cận: Ngay cả khi GTCC đưa hành khách đến gần điểm đến, nhưng khu vực đó lại được thiết kế theo mô hình lấy ô tô làm trung tâm, khiến việc đi bộ từ nhà ga trở nên bất tiện [24].

*3.2.6. Demand Management (quản lý nhu cầu)*

- Sự phản kháng chính trị và xã hội: Các biện pháp định giá (thu phí ùn tắc, tăng phí đỗ xe) thường vấp phải sự phản đối chính trị mạnh mẽ và thiếu đồng thuận của người dân [26].

- Lo ngại về công bằng xã hội: Các biện pháp này có nguy cơ ảnh hưởng không cân xứng đến người thu nhập thấp, những người phụ thuộc vào xe cá nhân để mưu sinh [26].

- Phản đối từ doanh nghiệp và cộng đồng: Các nhà bán lẻ thường lo ngại việc hạn chế xe cá nhân sẽ xua đuổi khách hàng, tạo thành một rào cản chính trị lớn trong giai đoạn vận động chính sách [27].

*3.2.7. Demographics (nhân khẩu học)*

- Dịch chuyển dân cư: Việc đầu tư vào GTCC khối lượng lớn làm tăng giá trị bất động sản, có thể tạo ra nguy cơ đẩy các cư dân có thu nhập thấp và trung bình ra khỏi khu vực [11].

- Hiện tượng "quý tộc hóa": Sự gia tăng nhanh chóng của giá nhà đã biến các khu vực TOD trở thành nơi ở chủ yếu của tầng lớp trung lưu và thượng lưu, hay hiện tượng các dự án TOD mới được phát triển như những "ốc đảo" khép kín cho người giàu, tạo ra sự ngăn cách với cộng đồng xung quanh [11].

- Thiếu chính sách can thiệp: Nhiều thành phố thiếu các công cụ chính sách như: tỷ lệ nhà ở có giá cả phải chăng trong khu vực TOD, quỹ phát triển đất đai có sự tham gia của cộng đồng [28].

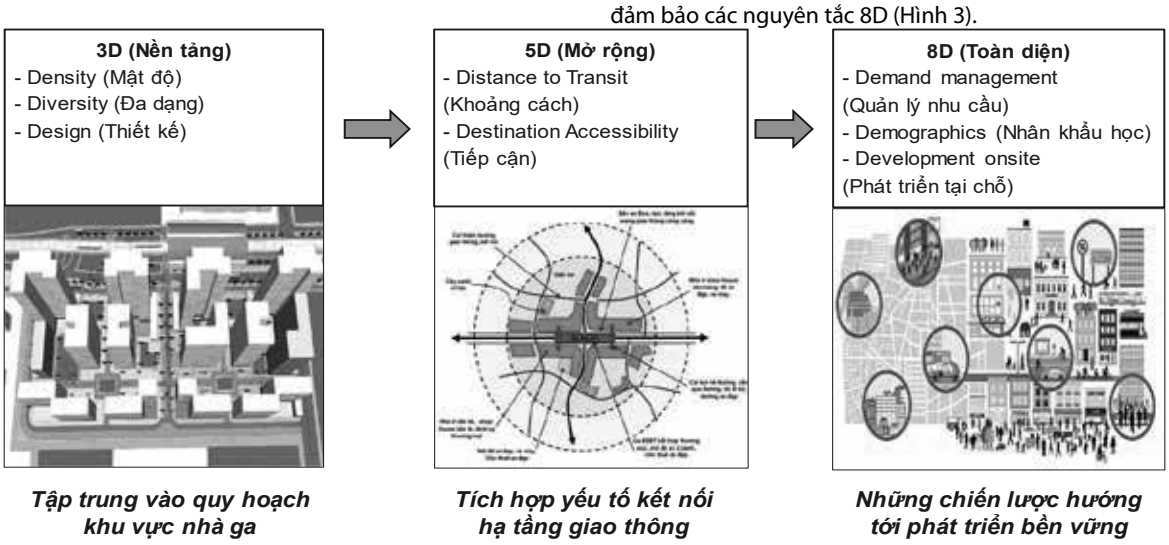
*3.2.8. Development onsite (phát triển tại chỗ)*

- Thể chế phân mảnh và thiếu phối hợp liên ngành: Việc triển khai TOD đòi hỏi sự phối hợp đồng bộ giữa nhiều cơ quan (giao thông, quy hoạch, tài chính), nhưng thực tế các cơ quan này hoạt động độc lập, dẫn đến một hệ thống phân mảnh và kém hiệu quả [29].

- Thiếu khung pháp lý và công cụ chính sách: Nhiều thành phố thiếu "bộ công cụ" pháp lý cần thiết để triển khai TOD, như các quy định quy hoạch linh hoạt, luật thu hồi giá trị gia tăng từ đất đai (LVC) hay các cơ chế tài chính sáng tạo [28].

## 4. LIÊN HỆ VỚI TP HÀ NỘI

Áp dụng các bài học quốc tế vào bối cảnh đặc thù của Hà Nội cho thấy những nguy cơ và thách thức tiềm tàng mà thành phố cần lường trước và chuẩn bị các giải pháp ứng phó khi triển khai TOD đảm bảo các nguyên tắc 8D (Hình 3).




Hình 3. Quá trình thực thi phát triển TOD đảm bảo nguyên tắc 8D cho TP Hà Nội

*Nguồn: Tác giả tổng hợp và thiết kế*

**4.1. Về mật độ:** Hà Nội có cấu trúc sở hữu đất đai với nhiều điểm tương đồng với Bangkok và Manila do quyền sở hữu đất tư nhân rời rạc, đặc biệt tại các khu vực làng xã cũ và các khu dân cư dọc các tuyến đường sắt đô thị. Ngoài ra, sức ép lên hạ tầng hiện hữu cũng là một nguy cơ đáng chú ý, tương tự kinh nghiệm tại Delhi và Mumbai, khi hệ thống hạ tầng kỹ thuật của Hà Nội vốn đã thường xuyên quá tải. Cuối cùng, phản ứng từ cộng đồng khi triển khai các dự án đô thị nén mật độ cao, do lo ngại phá vỡ cấu trúc kiến trúc đặc trưng và hiện tượng "quý tộc hóa" (gentrification) dưới áp lực lợi nhuận từ các nhà đầu tư, là những bài học quan trọng mà Hà Nội cần lưu ý trong quá trình phát triển TOD.

**4.2. Về đa dạng:** Mặc dù Hà Nội đã có các đại đô thị đa chức năng, nhưng quy hoạch chi tiết vẫn còn những rào cản trong việc tích hợp thêm chức năng mới vào các khu dân cư hiện hữu. Nguy cơ xung đột chức năng là rất cao, khi các khu vực dự kiến phát triển TOD thường xen kẽ giữa các khu đô thị mới và các khu làng xã cũ với nếp sống truyền thống, tương tự bài học từ Melbourne (Úc).

**4.3. Về thiết kế:** Tình trạng thiếu hạ tầng đỗ xe hai bánh an toàn và được quy hoạch bài bản tại các nhà ga đường sắt đô thị là một tồn tại lớn của hạ tầng giao thông tĩnh của Hà Nội, ngoài ra sự chiếm dụng vỉa hè bởi xe máy và kinh doanh buôn bán tương tự bối cảnh TP.HCM. Bên cạnh đó, tư duy thiết kế các trục đường mới của Hà Nội vẫn còn chú trọng xe cá nhân, hay nguy cơ tạo ra các mặt tiền không hoạt động tại các khu đô thị mới có thể làm mai một di sản về "mặt tiền sống" của Hà Nội.

**4.4. Về khoảng cách đến trạm:** Môi trường đi bộ kém tại Hà Nội (vỉa hè bị chiếm dụng, giao thông ùn tắc) tạo ra thách thức lớn về khoảng cách cảm nhận. Đồng thời, kinh nghiệm quốc tế cho thấy nếu thiếu tích hợp giữa ĐSĐT và xe buýt gom sẽ làm giảm tương đối lớn mức độ thuận tiện tiếp cận nhà ga của cư dân.

**4.5. Về khả năng tiếp cận điểm đến:** Hà Nội đang có nguy cơ tái hiện mô hình mất cân bằng giữa nơi ở và nơi làm việc như tại Bắc Kinh, khi các khu đô thị mới quy mô lớn được phát triển ở khu vực ngoại thành, trong khi các cơ hội việc làm vẫn tập trung chủ yếu ở khu vực nội đô. Bên cạnh đó, tình trạng phân mảnh của mạng lưới GTCC và chính sách vé chưa được tích hợp cũng phản ánh những vấn đề mà Bangkok và Madrid đã từng đối mặt.

**4.6. Về quản lý nhu cầu:** Hà Nội đang thiết lập một lộ trình quản lý giao thông quyết liệt, bao gồm thu phí vào trung tâm thành phố và hạn chế xe máy. Tuy nhiên, nguy cơ về sự phản kháng xã hội và chính trị là rất lớn, đặc biệt khi xe máy là phương tiện mưu sinh của hàng triệu người. Lộ trình này có nguy cơ tác động không cân xứng lên các nhóm thu nhập thấp, tạo ra sự bất bình đẳng nếu không có các giải pháp thay thế khả thi và cơ chế hỗ trợ phù hợp.

**4.7. Về nhân khẩu học:** Hà Nội đang đối mặt với nguy cơ rất cao lặp lại kịch bản "quý tộc hóa" của Thượng Hải và Seoul. Sự gia tăng giá trị bất động sản chóng mặt dọc các tuyến ĐSĐT có nguy cơ đẩy những người cần GTCC nhất ra xa khỏi các nhà ga. Thêm vào đó, bài học từ London và Oakland nhấn mạnh sự cấp thiết của việc ban hành sớm các chính sách can thiệp và tăng cường vai trò của cộng đồng trong phát triển đô thị.

**4.8. Về phát triển tại chỗ:** Sự phân mảnh thể chế là một thách thức có tính tương đồng rất cao, nơi việc triển khai ĐSĐT do các cơ quan trung ương thực hiện, trong khi quản lý đất đai lại thuộc thẩm quyền của thành phố và các phường/xã. Giống như nhiều nước đang phát triển khác, các cơ chế tài chính phức tạp như khai thác giá trị gia tăng từ đất (LVC) còn mới mẻ và năng lực quản lý các dự án phức hợp của đội ngũ cán bộ cũng là một vấn đề cần quan tâm.

## 5. KẾT LUẬN

Việc triển khai mô hình TOD là một nhiệm vụ chiến lược, có ý nghĩa quyết định đến tương lai phát triển bền vững của Thủ đô Hà Nội. Tuy nhiên, phân tích từ kinh nghiệm quốc tế cho thấy đây là một quá trình gồm nhiều thách thức, tiềm ẩn các rào cản đa chiều. Bài báo này thông qua việc hệ thống hóa các rào cản theo khung phân tích 8D - TOD đã cung cấp một cái nhìn toàn diện về các điểm nghẽn mang tính thể chế, tài chính, kỹ thuật và xã hội trong quá trình triển khai. Những bài học kinh nghiệm cốt lõi nhằm dự báo những rào cản có thể xảy ra, từ đó giúp Hà Nội đưa ra các giải pháp phù hợp nhằm giải quyết hiệu quả những vấn đề mà một siêu đô thị có tốc độ phát triển nhanh đang gặp phải. Việc nhận diện sớm và thấu đáo các rào cản này không phải là những nhận định gây ra quan ngại, mà là một bước đi cần thiết để xây dựng chiến lược ứng phó chủ động và hiệu quả. Đây chính là bài học kinh nghiệm quý báu để giúp Hà Nội tránh được những sai lầm tốn kém và có các giải pháp tối ưu trong quá trình triển khai.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO


[1] Quốc hội khóa XV, *Luật Thủ đô số 39/2024/QH15*, ban hành ngày 28/6/2024

[2] Thủ tướng Chính phủ, *Quyết định số 519/QĐ-TTg phê duyệt Quy hoạch giao thông vận tải Thủ đô Hà Nội đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050*, 2016

[3] Viện Quy hoạch đô thị và nông thôn quốc gia (VIUP), *Thuyết minh Điều chỉnh Quy hoạch chung Thủ đô Hà Nội đến năm 2045, tầm nhìn đến năm 2065*, Hà Nội, 2024

[4] Institute for Transportation & Development Policy (ITDP), *TOD Standard*, 3rd Edition, New York, 2017

[5] Cervero R., Kockelman K., "Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2(3), pp. 199-219, 1997

[6] Krizek K.J., "Residential relocation and changes in urban travel: does neighborhood-scale urban form matter?", *Journal of the American Planning Association*, 69(3), pp. 265-281, 2003

[7] Ewing R., Handy S., "Measuring the Unmeasurable: Urban Design Qualities Related to Walkability", *Journal of Urban Design*, 14(1), pp. 65-84, 2009

[8] Saelens B.E. et al., "Neighborhood-based differences in physical activity: an environment scale evaluation", *American Journal of Public Health*, 93(9), pp. 1552-1558, 2003

[9] Handy S.L., Niemeier D.A., "Measuring accessibility: an exploration of issues and alternatives", *Environment and Planning A*, 29(7), pp. 1175-1194, 1997

[10] Shoup D., *The High Cost of Free Parking*, Routledge, 2021

[11] Chapple K., Loukaitou-Sideris A., *Transit-Oriented Displacement or Community Dividends? Understanding the Effects of Smarter Growth on Communities*, The MIT Press, 2019

[12] Medda F., "Land value capture finance for transport accessibility: a review", *Journal of Transport Geography*, 25, pp. 154-161, 2012

[13] Tan W., "Financing transit-oriented development: an examination of the Bangkok Skytrain", *Urban Studies*, 50(10), pp. 2031-2049, 2013

[14] Cervero R., Duncan M., "Transit's value-added: effects of light and commuter rail services on commercial land values", *Transportation Research Record*, 1805(1), pp. 8–15, 2002

[15] Manville M., Shoup D., "Parking, people, and cities", *Journal of Urban Planning and Development*, 131(4), pp. 233-245, 2005

[16] Knapp G.J., "The paradox of planning in Portland, Oregon", *Journal of the American Planning Association*, 78(4), pp. 367-380, 2012

[17] Hess D.B., Almeida T.M., "Impact of proximity to light rail on residential property values: a review of the literature and a case study of the Buffalo, NY, light rail system", *Urban Studies*, 44(5-6), pp. 1041-1061, 2007

[18] Neal P., *Urban Villages and the Making of Communities*, Spon Press, 2003

[19] Parkin J., Ryley T., Jones T., "Barriers to cycling: an exploration of quantitative analyses", trong *Cycling and Society*, Routledge, pp. 67-82, 2016

[20] Appleyard D., *Livable Streets*, University of California Press, 1981

[21] Tuan V.A., Shimizu T., "A study on the motorcycle taxi and sidewalk activities in Ho Chi Minh City", *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 9, pp. 1225-1244, 2011

[22] Gehl J., *Life Between Buildings: Using Public Space*, Island Press, 2011

[23] Renne J.L., "From transit-adjacent to transit-oriented development", *Local Environment*, 14(1), pp. 1-15, 2009

[24] Zhang C., Xia H., Song Y., "Rail transportation lead urban form change: a case study of Beijing", *Urban Rail Transit*, 3(1), pp. 15-22, 2017

[25] Matas A., "Demand and revenue implications of an integrated public transport policy: the case of Madrid", *Transport Reviews*, 24(2), pp. 195-217, 2004

[26] Marsden G., Docherty I., "Is disruption a useful metaphor for policy change?", in *Selected Proceedings of the World Conference on Transport Research Society*, World Conference on Transport Research Society, 2012

[27] Eliasson J., "Is congestion pricing fair? Consumer and citizen perspectives on equity effects", *Transport Policy*, 52, pp. 1-15, 2016

[28] Revington N., "Gentrification, transit, and land use: Moving beyond neoclassical theory", *Geography Compass*, 9(3), pp. 152-163, 2015

[29] Calthorpe P., "Urbanism in the age of climate change", in *The City Reader*, Routledge, pp. 555-568, 2015.

■Ngày nhận bài: 02/01/2026 ■Ngày sửa bài: 10/01/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 24/01/2026

# Quản lý giao thông đô thị thông minh TP Hồ Chí Minh thích ứng biến đổi khí hậu dựa trên công nghệ số và tích hợp sử dụng đất

## Smart urban traffic management in Ho Chi Minh City for climate change adaptation based on digital technologies and integrated land use

**> THS NGUYỄN HẢI LÂM[1], TS VÕ NHẬT LUÂN[2,*]**
[1]Uỷ ban nhân dân phường Trung Mỹ Tây, TP.HCM; Email: hailamkts@gmail.com
[2] Trường Đại học Văn Hiến; [*]Email: Luanvn@vhu.edu.vn

**TÓM TẮT**

Quá trình đô thị hóa nhanh cùng với tác động của biến đổi khí hậu đang đặt ra nhiều thách thức đối với quản lý giao thông đô thị tại TP.HCM. Gia tăng phương tiện cá nhân, phân bố sử dụng đất chưa hợp lý đã làm giảm hiệu quả vận hành của hệ thống giao thông, gia tăng ùn tắc và phát thải khí nhà kính. Bài báo này đề xuất và ứng dụng mô hình quản lý giao thông đô thị dựa trên công nghệ số, tích hợp giữa dự báo nhu cầu giao thông và mô phỏng vận hành mạng lưới, gắn với các kịch bản phát triển sử dụng đất. Kết quả nghiên cứu cho thấy kịch bản ứng dụng công nghệ số trong quản lý giao thông tích hợp sử dụng đất giúp cải thiện đáng kể khả năng thông hành của mạng lưới giao thông đô thị.

**Từ khóa:** Giao thông đô thị; công nghệ số; sử dụng đất; biến đổi khí hậu; TP.HCM.

**ABSTRACT**

Rapid urbanization and the impacts of climate change have created significant challenges for urban traffic management in HCMC. The growth of private vehicles and inefficient land-use have reduced the operational efficiency of the transportation system, increased traffic congestion, and contributed to rising greenhouse gas emissions. This paper proposes and applies a digital technology-based urban traffic management model that integrates travel demand forecasting, network operation simulation, land-use development scenarios. The research results indicate that the scenario applying digital technologies in integrated traffic and land-use management significantly improves the sustainability of the urban transportation network.

**Keywords:** Urban transportation; digital technology; land use; climate change; Ho Chi Minh City.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Quá trình đô thị hóa trong những thập kỷ gần đây đã làm gia tăng nhu cầu đi lại và tạo áp lực lên hệ thống giao thông ở các đô thị lớn. Bên cạnh đó, biến đổi khí hậu (BĐKH) ngày càng diễn biến phức tạp, với sự gia tăng tần suất và cường độ của các hiện tượng thời tiết cực đoan. Những tác động này không chỉ làm suy giảm hiệu quả vận hành của hệ thống giao thông đô thị mà còn làm gia tăng phát thải khí nhà kính, ảnh hưởng tiêu cực đến mục tiêu phát triển đô thị bền vững.

TP.HCM là trung tâm kinh tế lớn nhất cả nước đang đối mặt với nhiều thách thức nghiêm trọng trong quản lý giao thông đô thị. Thành phố có mật độ dân cư cao, cơ cấu sử dụng đất phức tạp và mô hình phát triển đô thị còn dàn trải, dẫn đến nhu cầu đi lại lớn và phụ thuộc chủ yếu vào phương tiện giao thông cá nhân. TP.HCM chịu tác động mạnh của BĐKH như ngập đô thị, gây gián đoạn lưu thông, gia tăng ùn tắc và suy giảm khả năng tiếp cận của hệ thống giao thông [1].

Việc ứng dụng công nghệ số trong dự báo, mô phỏng và đánh giá các kịch bản phát triển giao thông, hỗ trợ ra quyết định quản lý và thích ứng với BĐKH chưa được triển khai một cách đồng bộ và hiệu quả. Vì vậy, nghiên cứu đề xuất và ứng dụng công nghệ số tích hợp giữa giao thông và sử dụng đất, dựa trên mô hình dự báo giao thông, phục vụ quản lý giao thông đô thị thông minh tại TP.HCM trong bối cảnh biến đổi khí hậu.

### 2. NHU CẦU ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ SỐ TRONG QUẢN LÝ GIAO THÔNG TÍCH HỢP SỬ DỤNG ĐẤT TẠI TP.HCM

Đến cuối năm 2024, TP.HCM có khoảng 10 triệu phương tiện giao thông, với hơn 7,6 triệu xe máy, 700.000 ô tô và hơn 2 triệu phương tiện các loại từ địa phương khác. Về tốc độ tăng trưởng bình quân phương tiện giai đoạn 2021-2024 đối với xe mô tô, xe gắn máy đạt 7,70%/năm, đối với ô tô đạt 9,31%/năm (trong đó ô tô con đạt 10,82%/năm). Diện tích chiếm dụng của phương tiện cá nhân vượt năng lực của mạng lưới đường giao thông, hệ số

đồng thời lưu thông là 0,6 thì diện tích chiếm dụng khi lưu thông với vận tốc bình quân 18-20 km/h trên đường là 119% diện tích mặt đường đô thị toàn thành phố, tức là số lượng phương tiện cá nhân lưu thông đã vượt năng lực thiết kế của hệ thống đường bộ 1,19 lần [2]. BĐKH đang tác động ngày càng rõ nét đến hệ thống giao thông đô thị TP.HCM, trong đó nổi bật là tình trạng ngập đô thị do mưa lớn và triều cường. Ngập lụt gây gián đoạn lưu thông trên nhiều tuyến đường, làm gia tăng thời gian di chuyển và mức độ ùn tắc giao thông.

TP.HCM có quy mô dân số lớn với sự phân bố dân cư và các chức năng sử dụng đất chưa thực sự hợp lý. Các khu vực trung tâm tập trung mật độ dân cư và hoạt động kinh tế cao, trong khi các khu vực ngoại vi phát triển nhanh theo hướng dàn trải. Mô hình phát triển đô thị này làm gia tăng khoảng cách đi lại giữa nơi ở và nơi làm việc, kéo theo sự gia tăng nhu cầu di chuyển hằng ngày. Việc thiếu gắn kết giữa quy hoạch sử dụng đất và giao thông đã góp phần làm gia tăng áp lực lên hệ thống giao thông đô thị, đặc biệt tại các trục giao thông chính và khu vực cửa ngõ ra vào thành phố.

Mô hình ứng dụng công nghệ số trong quản lý giao thông tích hợp sử dụng đất sử dụng dữ liệu đầu ra từ mô hình giao thông vĩ mô làm nền tảng cho phân tích và mô phỏng. Thông qua việc kết hợp các dữ liệu giao thông với thông tin sử dụng đất, mô hình cho phép đánh giá tác động của phát triển không gian đô thị đến hoạt động của mạng lưới giao thông, từ đó hỗ trợ công tác quản lý, điều hành giao thông thông minh và quy hoạch tích hợp dựa trên nền tảng công nghệ số.

## 3. MÔ HÌNH ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ SỐ TRONG QUẢN LÝ GIAO THÔNG ĐÔ THỊ TÍCH HỢP SỬ DỤNG ĐẤT

Nghiên cứu ứng dụng mô hình dự báo nhu cầu giao thông kết hợp với mô hình mô phỏng trong đánh giá các giải pháp quản lý và tổ chức giao thông đô thị đến năm 2030. Mô hình hóa các kịch bản giao thông nhằm đánh giá hiệu quả quản lý và tổ chức giao thông trong điều kiện hiện trạng, tiềm năng cải thiện hiệu quả vận hành hệ thống trên nền tảng công nghệ số, gắn với định hướng sử dụng đất và phát triển đô thị bền vững.

### 3.1. Kịch bản ứng dụng công nghệ số trong quản lý giao thông đô thị tích hợp sử dụng đất

Nhằm ứng dụng các mô hình dự báo nhu cầu giao thông hoạt động của hệ thống giao thông đô thị trong bối cảnh hiện tại và tương lai, các kịch bản nghiên cứu được xây dựng trên cơ sở phân tích hiện trạng tổ chức giao thông, điều kiện hạ tầng giao thông vận tải, đặc điểm phát sinh - thu hút chuyến đi gắn với sử dụng đất, cùng với kết quả khảo sát lưu lượng thực tế trên các trục giao thông chính trong khu vực nghiên cứu [3].

Kịch bản 1: Cấu trúc mạng lưới giao thông được thực hiện theo quy hoạch, tuy nhiên phương án tổ chức vận tải được duy trì như hiện tại, không có sự can thiệp mới về ứng dụng công nghệ số trong quản lý và điều hành giao thông. Kịch bản được xây dựng nhằm đánh giá khả năng đáp ứng và tính bền vững của hệ thống giao thông đô thị trong bối cảnh tăng trưởng dân số, phát triển sử dụng đất và nhu cầu đi lại ngày càng gia tăng.

Kịch bản 2: Dự báo nhu cầu giao thông và đánh giá các giải pháp quản lý giao thông tích hợp sử dụng đất vào năm 2030 (áp dụng mô hình công nghệ số). Kịch bản này mô phỏng việc áp dụng mô hình quản lý giao thông đô thị dựa trên công nghệ số, trong đó dữ liệu giao thông và dữ liệu sử dụng đất được tích hợp để tối ưu hóa tổ chức và điều hành hệ thống giao thông. Các nhóm giải pháp được xem xét trong mô hình bao gồm:

– Phát triển đô thị mật độ hợp lý, đa chức năng gắn với năng lực hạ tầng giao thông;

– Tối ưu hóa kết nối và liên thông giữa các loại hình vận tải hành khách công cộng;

– Khuyến khích giao thông xanh và giao thông phi cơ giới;

– Ứng dụng công nghệ số trong quản lý, điều hành và kiểm soát giao thông đô thị.

Khung mô hình dự báo bốn bước (phát sinh, thu hút, phân bổ chuyến đi và lựa chọn phương thức) được áp dụng, trong đó chi phí tổng quát của chuyến đi phản ánh đầy đủ các yếu tố thời gian, chờ đợi, chuyển tuyến và chi phí đi lại.

### 3.2. Xây dựng mô hình quản lý giao thông đô thị tích hợp sử dụng đất

Xây dựng mô hình dự báo theo phương pháp bốn bước hướng đến mục tiêu dự báo và đánh giá nhu cầu giao thông, điều chỉnh phù hợp với đặc điểm không gian và hành trình của hàng hóa và hành khách.

*3.2.1. Quá trình thực hiện dự báo nhu cầu giao thông vận tải khu vực:*

*- Bước 1, dự báo nhu cầu đi lại phát sinh và thu hút.* Phương trình phát sinh (Pi) và thu hút (Aj) chuyến đi là các hàm hồi quy tuyến tính được tham khảo từ "Quy hoạch TP.HCM thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050" [4] với 3 biến lần lượt là dân số, lao động và học sinh sinh viên. Cụ thể như sau:

- Mô hình phát sinh chuyến đi:

Gi = (1,006536*Population) + (2,63507*Workers) + (1,76379*Students) (1)

- Mô hình thu hút chuyến đi:

Aj = (0,966569*Population) + (2,73488*Workers) + (1,713429*Students) (2)

*Bước 2: Dự báo phân bổ chuyến đi.* Quy hoạch khoảng cách tiếp cận ưu tiên thường nằm trong bán kính đi bộ 400-800 m hoặc di chuyển bằng xe đạp và phương tiện kết nối trong phạm vi 2-5 km. Sau khi ước tính chuyến đi nội vùng, các chuyến đi liên vùng bằng cách sử dụng mô hình chính thức [5].

Bảng 1. Mô hình hiệu chỉnh chuyến đi

| **Phương thức** | **Số lượng chuyến đi** | | **Tỉ lệ %** | |
|---|---|---|---|---|
| **Chuyến đi/ngày** | **2019** | **2025** | **2019** | **2025** |
| Xe đạp | 1.712.601 | 527.172 | 6,6% | 1,8% |
| GTCC | 1.122.654 | 1.444.126 | 4,4% | 5,0% |
| Ô tô | 1.151.730 | 2.145.272 | 4,5% | 7,4% |
| Xe máy | 21.779.472 | 24.919.913 | 84,5% | 85,8% |
| **Tổng** | **25.766.457** | **29.036.483** | **100%** | **100%** |

*Bước 3: Dự báo phân chia phương thức vận tải.* Lựa chọn phương tiện, nhằm xác định tỷ lệ người sử dụng các phương thức. Mô hình logit đa lựa chọn được áp dụng để tính xác suất lựa chọn *phương* tiện dựa trên tiện ích cảm nhận của người dùng đối với từng lựa chọn.

*Bước 4: Dự báo phân bổ lưu lượng giao thông trên mạng lưới đường.* Phân bổ lưu lượng giao thông trên tuyến đường nhằm xác định tuyến đường hoặc hành lang giao thông. Mô hình cân bằng lưu lượng được sử dụng để phân bổ lưu lượng giao thông trên mạng lưới theo nguyên tắc người dùng sẽ lựa chọn tuyến đường tối ưu nhất.

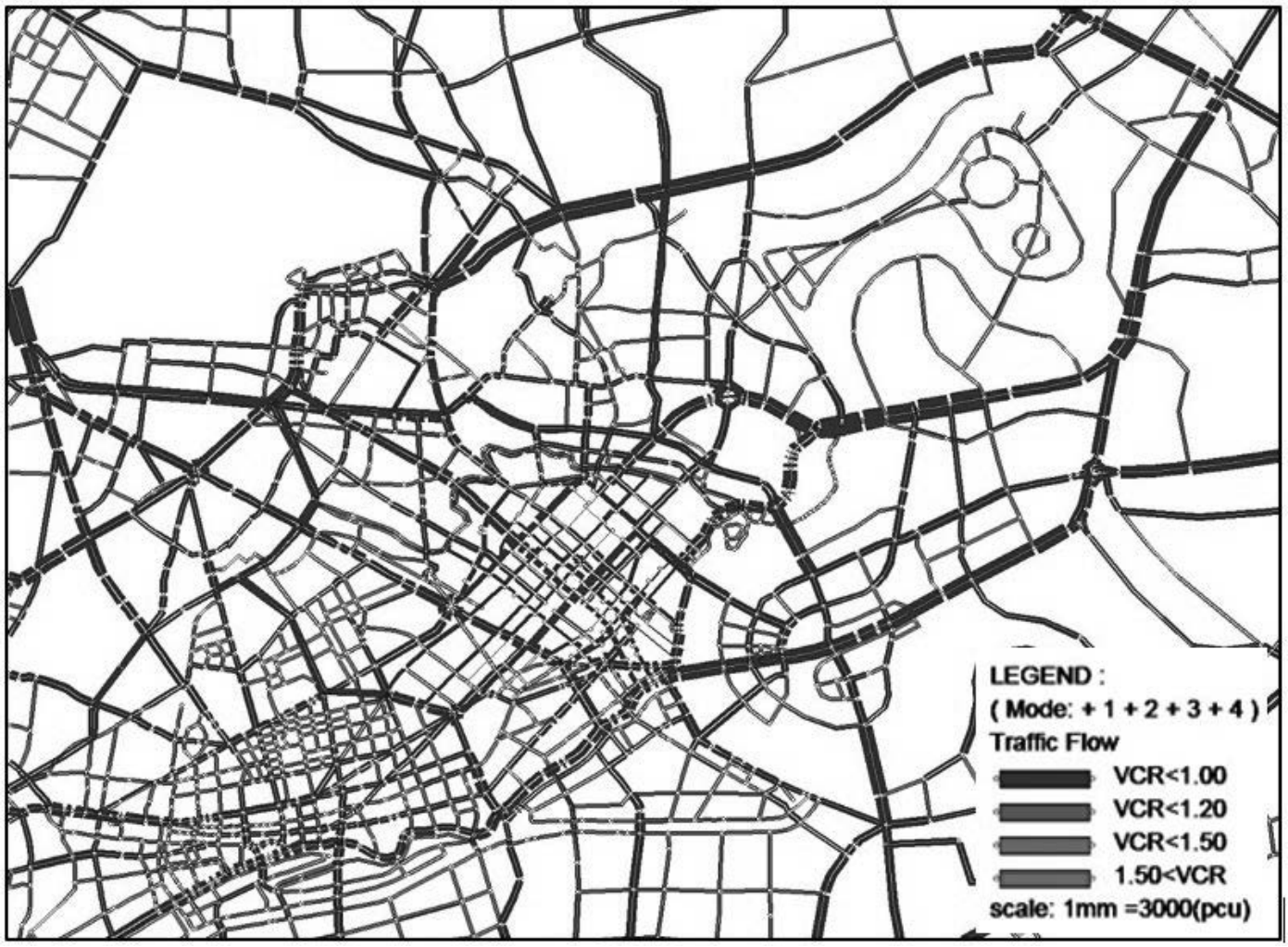
*3.2.2. Kết quả đánh giá hệ thống giao thông vận tải khu vực*

Xây dựng mô hình hiện trạng và quy hoạch mạng lưới giao thông đô thị trên địa bàn TP.HCM và các tỉnh lân cận, thông tin về báo cáo đầu tư các dự án đầu tư phát triển đô thị: vị trí, diện tích xây dựng, diện tích sàn, chức năng sử dụng đất [6].

Bảng 2. Kết quả ứng dụng mô hình dự báo lưu lượng một số tuyến đường chính năm 2030

| TT | Tuyến đường | Kịch bản 1 | | | Kịch bản 2 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Lưu lượng (XCQĐ/h)* | V/C ** | MPV *** | Lưu lượng (XCQĐ/h) | V/C | MPV |
| 1 | Trường Chinh | 10.501 | 0,75 | D | 9.808 | 0,70 | C |
| 2 | Võ Nguyên Giáp | 11.370 | 0,72 | C | 10.620 | 0,67 | C |
| 3 | Trần Não | 5.815 | 0,6 | C | 5.431 | 0,56 | C |
| 4 | Phạm Văn Đồng | 6.759 | 0,68 | C | 6.313 | 0,64 | C |
| 5 | Quốc lộ 13 | 8.612 | 0,74 | C | 8.044 | 0,69 | C |
| 6 | Quốc lộ 1A (phía Đông) | 9.218 | 0,76 | D | 8.610 | 0,71 | C |
| 7 | Mai Chí Thọ | 7.623 | 0,68 | C | 7.120 | 0,64 | C |

*(*) XCQĐ: xe con quy đổi; (**)V/C: hệ số lưu lượng/khả năng thông hành; (***) MPV: mức phục vụ.*




Hình 1. Kết quả mô phỏng dự báo nhu cầu vận tải khu vực nghiên cứu

Mô hình phân bổ lưu lượng cân bằng dự báo nhu cầu đi lại [7] các kịch bản tương lai sẽ giúp thiết kế các giải pháp cho việc sử dụng phương tiện giao thông phù hợp, cải thiện và tối ưu hóa mạng lưới giao thông (Hình 4).

Trong kịch bản 1, chỉ bổ sung hạ tầng và tổ chức vận tải hiện tại. Theo mô phỏng, các tuyến đường trong kịch bản này có lưu lượng xe lớn (hàng nghìn xe mỗi giờ), dẫn đến tỷ lệ V/C khoảng 0.7 và MPV chủ yếu ở mức C và D [8]. Các tuyến chính đang vận hành ở ngưỡng tải cao: tốc độ xe bị giảm do mật độ lưu thông lớn.

Kịch bản 2 đề xuất tổ chức phát triển thành khu đô thị mật độ cao, đa chức năng. Hệ thống giao thông được liên kết đa phương tiện, chuyển đổi giữa tàu điện, xe buýt, xe đạp, đi bộ và các phương tiện khác. Kết quả mô hình tổ chức vận tải năm 2030 cho thấy các phương tiện có thể di chuyển ổn định, giao thông thông suốt, giảm số lượng chuyến đi, tránh số chuyến đi không cần thiết.

**3.3. So sánh các kịch bản**

Khi so sánh, kịch bản 2 tốt hơn kịch bản 1 trên hầu hết các tiêu chí đánh giá (Bảng 3). Về kỹ thuật vận tải, kịch bản 1 cho thấy lưu lượng xe đường bộ giảm và khả năng thông hành cải thiện: V/C các tuyến chính thấp hơn hoặc tương đương kịch bản 1, cho phép hệ

thống hoạt động ổn định hơn. Mức độ phục vụ (LOS) trên các trục chính trong kịch bản 2 duy trì ở mức C hoặc B, tương đương hoặc cao hơn so với kịch bản 1.

Bảng 3. So sánh hai kịch bản

| Tiêu chí | Kịch bản 1 | Kịch bản 2 |
|---|---|---|
| Mức độ can thiệp | Cải thiện hạ tầng | Tích hợp công nghệ số quản lý |
| V/C trung bình | ~0,6-0,76 | ~0,56-0,71 |
| Mức độ phục vụ (LOS) | Chủ yếu C và D | Chủ yếu C |
| Vận tốc đi lại trung bình [km/h] | 21,17 | 21,65 (giảm xung đột) |
| Thời gian trễ trung bình [s/phương tiện] | 19,74 | 18,67 (tổ chức luồng giao thông) |
| Hiệu quả vận tải công cộng | Thấp | Cao, kết nối và tổ chức lại |
| Nguy cơ ùn tắc | Trung bình - Cao | Giảm đáng kể |
| Tính bền vững | Thấp | Cao |

Trong kịch bản 1, khi hệ thống giao thông và không gian đô thị phát triển theo quán tính hiện trạng, thiếu sự hỗ trợ của các công cụ quản lý thông minh và tích hợp sử dụng đất, xu hướng gia tăng phương tiện cá nhân tiếp tục chiếm ưu thế. Điều này tiềm ẩn nguy cơ làm gia tăng ô nhiễm không khí, tiêu tốn năng lượng và kéo theo nhu cầu đầu tư hạ tầng giao thông lớn, gây áp lực lên ngân sách và phát triển đô thị bền vững của TP.HCM.

Về tính bền vững, mô hình ứng dụng công nghệ số trong quản lý giao thông tích hợp sử dụng đất góp phần kiểm soát xu hướng phát triển đô thị lan tỏa thông qua việc tối ưu hóa phân bố nhu cầu đi lại và sử dụng hiệu quả hạ tầng giao thông hiện hữu. Nhờ đó, mô hình giúp giảm sự phụ thuộc vào phương tiện cá nhân, hạn chế tiêu thụ năng lượng và phát thải khí ô nhiễm, đồng thời nâng cao hiệu quả khai thác hệ thống giao thông đô thị.

### 3.4. Giải pháp quản lý giao thông đô thị thông minh TP.HCM thích ứng BĐKH

Xây dựng nền tảng dữ liệu giao thông đô thị tích hợp, kết nối dữ liệu đa nguồn bao gồm lưu lượng, tốc độ, hệ số sử dụng năng lực thông hành (V/C), tình trạng sự cố giao thông, dữ liệu mưa, triều và các điểm ngập, đồng thời gắn kết với thông tin sử dụng đất như dân số, việc làm và chức năng đô thị. Việc tích hợp dữ liệu cho phép phản ánh đầy đủ mối quan hệ tương tác giữa giao thông và không gian đô thị, tạo cơ sở cho công tác phân tích, dự báo và hỗ trợ ra quyết định trong điều kiện biến đổi khí hậu.

Thông qua việc mô phỏng các tình huống mưa lớn, ngập cục bộ hoặc gián đoạn lưu thông, hệ thống có thể xác định các đoạn tuyến và nút giao nhạy cảm, từ đó xây dựng các kịch bản điều hành giao thông linh hoạt và chủ động. Các kịch bản này cho phép triển khai các biện pháp phân luồng, điều tiết giao thông hoặc hạn chế lưu thông cục bộ nhằm giảm thiểu ùn tắc và đảm bảo khả năng tiếp cận trong các tình huống khẩn cấp.

Ứng dụng các hệ thống điều khiển giao thông thông minh, điều khiển tín hiệu giao thông thích ứng nhằm nâng cao khả năng vận hành của mạng lưới giao thông trong điều kiện thời tiết bất lợi. Hệ thống tín hiệu có thể tự động điều chỉnh chu kỳ và pha đèn dựa trên lưu lượng thực tế, tốc độ dòng xe và mức độ ngập, qua đó giảm thời gian trễ và duy trì mức độ phục vụ chấp nhận được cho các hướng lưu thông chính.

Quản lý giao thông đô thị thông minh thích ứng BĐKH cần gắn với các biện pháp quản lý nhu cầu giao thông và định hướng sử dụng đất hợp lý. Việc kiểm soát phát triển đô thị lan tỏa, điều tiết mật độ xây dựng và phân bố chức năng đô thị phù hợp với năng lực hạ tầng giao thông giúp giảm khoảng cách đi lại và hạn chế sự phụ thuộc vào phương tiện cá nhân. Đồng thời, ưu tiên phát triển và nâng cao chất lượng vận tải hành khách công cộng, kết hợp với các hình thức giao thông xanh và phi cơ giới, góp phần giảm phát thải khí nhà kính và tăng tính bền vững của hệ thống giao thông đô thị.

## 4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã phân tích bối cảnh và những thách thức đặt ra đối với hệ thống giao thông đô thị TP.HCM trong điều kiện đô thị hóa nhanh và tác động ngày càng gia tăng của biến đổi khí hậu. Trên cơ sở đó, bài báo đã đề xuất và ứng dụng mô hình quản lý giao thông đô thị dựa trên công nghệ số, tích hợp giao thông và sử dụng đất. Việc áp dụng mô hình dự báo nhu cầu giao thông kết hợp mô phỏng mạng lưới cho phép đánh giá định lượng tác động của các kịch bản quản lý giao thông khác nhau đến hiệu quả vận hành hệ thống. Kết quả so sánh cho thấy kịch bản ứng dụng công nghệ số và quản lý tích hợp sử dụng đất giúp cải thiện hệ số V/C trên các trục giao thông chính và giảm nguy cơ ùn tắc trong bối cảnh nhu cầu đi lại tiếp tục gia tăng.

Mô hình quản lý giao thông đô thị thông minh dựa trên công nghệ số và tích hợp sử dụng đất là hướng tiếp cận phù hợp đối với TP.HCM trong giai đoạn tới. Mô hình hỗ trợ công tác quản lý và điều hành giao thông hiệu quả, góp phần thúc đẩy phát triển đô thị bền vững và nâng cao khả năng thích ứng với BĐKH.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Sở Giao thông vận tải TP.HCM, *Báo cáo tình hình hạ tầng giao thông TP.HCM*, pp. 1-3, Oct. 2022.

[2] Trung tâm Quản lý Giao thông công cộng, *Báo cáo kết quả hoạt động giai đoạn 2020-2024*, 2025.

[3] M. G. McNally, "The four-step model," 2000.

[4] UBND TP.HCM, *Quy hoạch Thành phố Hồ Chí Minh thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050*, 2025.

[5] Trung tâm Quản lý Hạ tầng giao thông, *Số liệu mô hình dự báo nhu cầu giao thông trên địa bàn Thành phố Hồ Chí Minh*, Ho Chi Minh City, Vietnam, 2020.

[6] G. Emberger, "Urban transport in Ho Chi Minh City, Vietnam," in *Urban Transport in Ho Chi Minh City*, Springer, 2016, pp. 175-191, doi: 10.1007/978-3-319-04615-0_10.

[7] J.-X. Zhu, Q.-Y. Luo, and X.-Y. Guan, "A traffic assignment approach for multimodal transportation networks considering capacity constraints and route correlations," *IEEE Access*, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3.

[8] Bộ Khoa học và Công nghệ, *TCVN 13592:2022 - Đường đô thị: Yêu cầu thiết kế*, 2022.

■Ngày nhận bài: 02/01/2026 ■Ngày sửa bài: 10/01/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 24/01/2026

# Đánh giá hiện trạng cấp nước sinh hoạt nông thôn tỉnh Quảng Ninh hướng tới phát triển bền vững

## Assessing rural domestic water supply in Quang Ninh province: Implications for sustainable development

**> TS NGUYỄN PHƯƠNG THẢO**
Khoa Kỹ thuật Môi trường, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội
Email: thaonp@huce.edu.vn

**TÓM TẮT**

Cấp nước sinh hoạt khu vực nông thôn có vai trò quan trọng trong bảo vệ sức khỏe cộng đồng và phát triển kinh tế - xã hội bền vững. Tuy nhiên, tại nhiều địa phương, hệ thống cấp nước nông thôn vẫn còn tồn tại những hạn chế về mức độ tiếp cận nước sinh hoạt đạt quy chuẩn, năng lực công trình và mô hình quản lý, vận hành. Bài báo này đánh giá một cách tổng hợp hiện trạng cấp nước sinh hoạt khu vực nông thôn tỉnh Quảng Ninh trên cơ sở phân tích tỷ lệ tiếp cận nước, hiện trạng công trình cấp nước tập trung, chất lượng nước sau xử lý và mô hình quản lý, vận hành hệ thống. Kết quả nghiên cứu cho thấy hệ thống cấp nước nông thôn của tỉnh đã có những cải thiện đáng kể trong những năm gần đây, đặc biệt tại các khu vực ven đô, nơi có điều kiện thuận lợi để đấu nối từ hệ thống cấp nước đô thị. Tuy nhiên, sự chênh lệch giữa các vùng, nhất là khu vực miền núi và hải đảo, cùng với hạn chế về công nghệ xử lý và mô hình quản lý tại một số công trình cấp nước tập trung, vẫn là những thách thức lớn. Trên cơ sở kết quả đánh giá, bài báo làm rõ các vấn đề cần ưu tiên trong phát triển cấp nước nông thôn, qua đó góp phần cung cấp cơ sở khoa học phục vụ công tác quy hoạch và đầu tư hệ thống cấp nước nông thôn tỉnh Quảng Ninh theo hướng bền vững.

**Từ khóa:** Cấp nước nông thôn; nước sinh hoạt; công trình cấp nước tập trung; mô hình quản lý; tỉnh Quảng Ninh.

**ABSTRACT**

Rural water supply plays a critical role in protecting public health and promoting sustainable socio-economic development. However, in many localities, rural water supply systems still face limitations in terms of access to standard-compliant domestic water, infrastructure capacity, and management and operation models. This paper presents a comprehensive assessment of the current status of rural domestic water supply in Quang Ninh province through the analysis of water access coverage, conditions of centralized water supply facilities, post-treatment water quality, and system management models. The results indicate that the rural water supply system in Quang Ninh province has shown significant improvements in recent years, particularly in peri-urban areas where integration with urban water supply systems is feasible. Nevertheless, considerable disparities remain among regions, especially in mountainous and island areas, along with constraints related to treatment technologies and management models at several centralized water supply facilities. Based on the findings, the study highlights key issues that should be prioritized in the development of rural water supply systems, providing a scientific basis for planning and investment toward sustainable rural water supply development in Quang Ninh province.

**Keywords:** Rural water supply; domestic water; centralized drinking water supply systems; management models; Quang Ninh Province, Vietnam.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cấp nước sạch nông thôn giữ vai trò then chốt trong bảo vệ sức khỏe cộng đồng, nâng cao chất lượng sống và thúc đẩy phát triển kinh tế - xã hội bền vững. Trong bối cảnh công nghiệp hóa và đô thị hóa diễn ra mạnh mẽ, yêu cầu đối với hệ thống cấp nước sinh hoạt ngày càng cao, không chỉ về khả năng cung cấp đủ nước mà còn về chất lượng, độ an toàn và tính ổn định lâu dài. Việc ban hành Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia QCVN 01-1:2024/BYT của Bộ Y tế về chất lượng nước sạch sử dụng cho mục đích sinh hoạt đã đặt ra những yêu cầu nghiêm ngặt hơn đối với các hệ thống cấp nước, đặc biệt tại khu vực nông thôn - nơi điều

kiện đầu tư, quản lý và vận hành còn nhiều hạn chế [2]. Tính đến cuối năm 2023, trên toàn quốc có 74,2% hộ gia đình nông thôn được sử dụng nước đạt quy chuẩn, trong đó có 55,1% số hộ sử dụng nước sạch đạt quy chuẩn từ công trình cấp nước tập trung và 19,1% số hộ sử dụng nước từ cấp nước hộ gia đình [10].

Trên thế giới, nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng các hệ thống cấp nước nông thôn thường đối mặt với những thách thức về quy mô công trình nhỏ, nguồn nước không ổn định và hạn chế về năng lực quản lý, dẫn đến hiệu quả vận hành và tính bền vững chưa cao [5,7,9]. Một số nghiên cứu nhấn mạnh vai trò quyết định của mô hình quản lý, trong đó các hệ thống do đơn vị chuyên nghiệp hoặc doanh nghiệp quản lý thường có khả năng duy trì chất lượng nước và vận hành ổn định tốt hơn so với mô hình cộng đồng tự quản [4,8]. Đối với các khu vực miền núi và hải đảo, yếu tố địa hình phức tạp, dân cư phân tán và chi phí đầu tư cao được xác định là rào cản lớn trong việc mở rộng và duy trì hệ thống cấp nước tập trung [6].

Tại Việt Nam, các nghiên cứu về cấp nước nông thôn chủ yếu tập trung vào đánh giá hiện trạng tiếp cận nước sạch, hiệu quả đầu tư công trình và mô hình quản lý tại một số địa phương hoặc vùng sinh thái cụ thể [1,11]. Kết quả cho thấy mặc dù tỷ lệ người dân nông thôn được tiếp cận nước sạch đã được cải thiện đáng kể trong những năm gần đây, song chất lượng nước, tính ổn định của nguồn cấp và hiệu quả vận hành công trình vẫn còn nhiều bất cập, đặc biệt tại các vùng miền núi và ven biển. Tuy nhiên, các nghiên cứu mang tính tổng hợp ở quy mô cấp tỉnh, kết hợp đồng thời đánh giá hiện trạng cấp nước, chất lượng nước và mô hình quản lý vận hành, vẫn còn tương đối hạn chế.

Quảng Ninh là tỉnh thuộc vùng kinh tế trọng điểm Bắc Bộ, có tốc độ phát triển kinh tế cao và tỷ lệ đô thị hóa thuộc nhóm dẫn đầu cả nước. Bên cạnh các khu vực đô thị phát triển mạnh, khu vực nông thôn của tỉnh có đặc điểm địa hình đa dạng, bao gồm miền núi, trung du, ven biển và hải đảo, với dân cư phân bố không đồng đều. Những đặc thù này làm gia tăng chi phí đầu tư và gây khó khăn cho việc xây dựng, quản lý và vận hành các công trình cấp nước nông thôn tập trung. Mặc dù tỉnh đã triển khai nhiều chương trình và dự án nhằm cải thiện điều kiện cấp nước sinh hoạt cho khu vực nông thôn, hiệu quả đầu tư và mức độ đáp ứng yêu cầu của QCVN 01-1:2024/BYT giữa các vùng vẫn còn chênh lệch đáng kể.

Xuất phát từ những vấn đề trên, bài báo này tập trung đánh giá một cách tổng hợp hiện trạng cấp nước sinh hoạt khu vực nông thôn tỉnh Quảng Ninh thông qua phân tích tỷ lệ tiếp cận nước sạch, hiện trạng nguồn nước và công trình cấp nước tập trung, chất lượng nước sau xử lý và mô hình quản lý, vận hành hệ thống. Trên cơ sở kết quả nghiên cứu, bài báo làm rõ các tồn tại chính và đề xuất định hướng phát triển hệ thống cấp nước nông thôn theo hướng bền vững, phù hợp với điều kiện tự nhiên, kinh tế - xã hội và định hướng phát triển hạ tầng của tỉnh, qua đó cung cấp cơ sở khoa học cho công tác quy hoạch và đầu tư trong giai đoạn tới.

## 2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là hệ thống cấp nước sinh hoạt khu vực nông thôn tỉnh Quảng Ninh, bao gồm các công trình cấp nước tập trung và bán tập trung đã được đầu tư xây dựng và đang vận hành đến năm 2025. Phạm vi nghiên cứu bao phủ khu vực nông thôn thuộc 13 đơn vị hành chính cấp huyện của tỉnh, với các điều kiện địa hình đặc thù như miền núi, ven biển và hải đảo.

### 2.2. Nguồn số liệu

Số liệu nghiên cứu được tổng hợp từ Đề án cấp nước sạch nông thôn tỉnh Quảng Ninh đến năm 2025, các báo cáo chuyên ngành của cơ quan quản lý nhà nước và đơn vị cấp nước tại địa phương, cùng hệ thống quy chuẩn, tiêu chuẩn kỹ thuật và văn bản pháp luật hiện hành liên quan đến lĩnh vực cấp nước. Các số liệu được rà soát, đối chiếu nhằm bảo đảm tính thống nhất và độ tin cậy trước khi sử dụng trong phân tích.

### 2.3. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu sử dụng kết hợp các phương pháp phân tích, tổng hợp số liệu; so sánh theo quy chuẩn QCVN 01-1:2024/BYT; đánh giá kỹ thuật công trình cấp nước theo các tiêu chí về nguồn nước, công nghệ xử lý, công suất thiết kế và khả năng vận hành ổn định; đồng thời phân tích các mô hình quản lý, vận hành hệ thống cấp nước nông thôn nhằm đánh giá hiệu quả và tính bền vững.

### 2.4. Tiêu chí đánh giá

Hiện trạng cấp nước nông thôn được đánh giá dựa trên các tiêu chí chính gồm: (i) tỷ lệ dân cư nông thôn được sử dụng nước sinh hoạt từ hệ thống cấp nước tập trung; (ii) mức độ đáp ứng chất lượng nước theo QCVN 01-1:2024/BYT; (iii) tình trạng hoạt động của các công trình cấp nước; và (iv) hiệu quả, tính bền vững của mô hình quản lý, vận hành.

## 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

### 3.1. Hiện trạng tiếp cận nước sạch khu vực nông thôn

Kết quả tổng hợp và phân tích số liệu cho thấy hệ thống cấp nước sinh hoạt khu vực nông thôn tỉnh Quảng Ninh đã có những cải thiện đáng kể trong giai đoạn 2021 - 2024, thể hiện qua việc mở rộng phạm vi cấp nước và gia tăng tỷ lệ dân cư nông thôn được tiếp cận nước sạch từ các hệ thống cấp nước tập trung. Kết quả này chủ yếu đạt được nhờ đầu tư xây dựng mới, cải tạo các công trình cấp nước hiện có và mở rộng mạng lưới, đấu nối từ các hệ thống cấp nước đô thị. Tuy nhiên, mức độ tiếp cận nước sạch đáp ứng QCVN 01-1:2024/BYT giữa các địa phương vẫn còn sự chênh lệch rõ rệt (Hình 1).

Hình 1. Tỷ lệ cấp nước sạch nông thôn tại các huyện/thành phố của tỉnh Quảng Ninh [3]

Xét theo đặc điểm không gian và điều kiện tự nhiên, các địa phương nông thôn của tỉnh có thể phân thành ba nhóm chính: (i) khu vực ven đô và đồng bằng; (ii) khu vực miền núi; và (iii) khu vực hải đảo. Nhóm các địa phương ven đô và đồng bằng, tiêu biểu như thị xã Quảng Yên và một số xã giáp đô thị, có tỷ lệ tiếp cận nước sạch cao hơn so với mặt bằng chung. Nguyên nhân là do mật độ dân cư tương đối cao, phân bố tập trung và thuận lợi cho việc tích hợp cấp nước nông thôn với hệ thống cấp nước đô thị có công suất và công nghệ xử lý ổn định.

Ngược lại, tại các huyện miền núi như Bình Liêu, Đầm Hà, tỷ lệ tiếp cận nước sạch còn thấp và thiếu ổn định. Địa hình đồi núi chia cắt, dân cư phân tán làm gia tăng chi phí đầu tư mạng lưới, trong khi nguồn nước cấp chủ yếu từ suối, khe nhỏ có lưu lượng biến động mạnh theo mùa, đặc biệt trong mùa khô. Những yếu tố này làm hạn chế khả năng mở rộng hệ thống cấp nước tập trung và ảnh hưởng đến việc đáp ứng yêu cầu của QCVN 01-1:2024/BYT.

Đối với các khu vực hải đảo và ven biển như Cô Tô, Vân Đồn, mặc dù đã được quan tâm đầu tư các công trình cấp nước tập trung, khả năng tiếp cận nước sạch vẫn chịu tác động lớn của điều kiện tự nhiên đặc thù. Việc thiếu nguồn nước ngọt ổn định, cùng với chi phí đầu tư và vận hành cao, khiến việc duy trì cấp nước bền vững gặp nhiều khó khăn, đặc biệt tại các khu vực có quy mô dân cư nhỏ và phân tán.

Nhìn chung, sự khác biệt về tỷ lệ tiếp cận nước sạch giữa các địa phương nông thôn trong tỉnh phản ánh rõ mối quan hệ giữa điều kiện địa hình, mật độ và phân bố dân cư, cũng như mức độ gắn kết giữa quy hoạch cấp nước nông thôn và quy hoạch phát triển hạ tầng đô thị. Các khu vực có điều kiện thuận lợi và dân cư tập trung đạt hiệu quả cấp nước cao hơn, trong khi các khu vực miền núi và hải đảo đòi hỏi cách tiếp cận linh hoạt, phù hợp với đặc thù không gian và nguồn nước.

**3.2. Hiện trạng công trình cấp nước tập trung, công nghệ xử lý và chất lượng nước sinh hoạt**

Hệ thống công trình cấp nước sinh hoạt nông thôn trên địa bàn tỉnh Quảng Ninh có sự đa dạng về quy mô, loại hình và điều kiện khai thác, phản ánh rõ đặc thù phân hóa không gian lãnh thổ của tỉnh. Phần lớn các công trình cấp nước tập trung nông thôn có quy mô nhỏ và trung bình, sử dụng nguồn nước mặt từ khe, suối, hồ chứa nhỏ; một số khu vực sử dụng nước ngầm hoặc kết hợp nhiều nguồn nước khác nhau. Các công trình này chủ yếu được đầu tư từ các giai đoạn trước, với công suất thiết kế hạn chế và công nghệ xử lý đơn giản, và khả năng vận hành không ổn định, đặc biệt trong mùa khô hoặc khi lưu lượng nguồn nước suy giảm (Hình 2).

Kết quả đánh giá cho thấy nhiều công trình cấp nước nông thôn hiện hữu vẫn áp dụng dây chuyền xử lý truyền thống, mức độ tự động hóa thấp, khả năng thích ứng với biến động chất lượng và lưu lượng nguồn nước còn hạn chế. Trong điều kiện mùa khô hoặc khi nguồn nước mặt suy giảm, một số công trình không bảo đảm đủ công suất cấp nước, đồng thời chất lượng nước sau xử lý thiếu ổn định. Những hạn chế này bộc lộ rõ hơn khi đối chiếu với các yêu cầu nghiêm ngặt của QCVN 01-1:2024/BYT về chất lượng nước sạch sử dụng cho mục đích sinh hoạt.

Ở các khu vực ven đô và đồng bằng, việc mở rộng, đấu nối mạng lưới từ các nhà máy nước đô thị được đánh giá là giải pháp hiệu quả, giúp nâng cao độ bao phủ cấp nước và cải thiện đáng kể chất lượng nước sinh hoạt. Các hệ thống này thường có công nghệ xử lý đồng bộ, công suất lớn và quy trình kiểm soát chất lượng chặt chẽ, qua đó bảo đảm ổn định các chỉ tiêu chất lượng nước theo quy chuẩn. Ngược lại, tại các huyện miền núi và hải đảo, giải pháp đấu nối gặp nhiều hạn chế do địa hình chia cắt, khoảng cách xa và chi phí đầu tư mạng lưới lớn, khiến các công trình cấp nước độc lập quy mô nhỏ vẫn đóng vai trò chủ đạo.

Hình 2. Công trình cấp nước tập trung huyện Bình Liêu [3]

Đánh giá chất lượng nước sau xử lý cho thấy sự khác biệt rõ rệt giữa các nhóm công trình, gắn liền với mô hình quản lý và năng lực vận hành hệ thống. Các công trình do doanh nghiệp hoặc đơn vị chuyên ngành quản lý nhìn chung đáp ứng tốt hơn các yêu cầu của QCVN 01-1:2024/BYT, nhờ áp dụng công nghệ xử lý phù hợp, duy trì chế độ vận hành ổn định và thực hiện kiểm soát chất lượng nước định kỳ. Trong khi đó, nhiều công trình do cộng đồng hoặc chính quyền cấp xã quản lý còn gặp khó khăn trong việc duy trì chất lượng nước ổn định, chủ yếu do hạn chế về nhân lực kỹ thuật, kinh phí vận hành và công tác bảo trì, nâng cấp thiết bị.

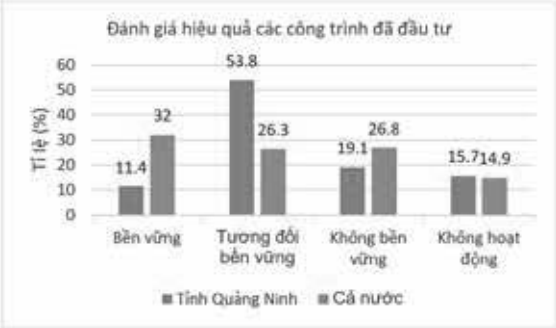
Kết quả này cho thấy chất lượng nước sinh hoạt nông thôn không chỉ phụ thuộc vào công nghệ xử lý mà còn chịu tác động mạnh mẽ từ mô hình quản lý và năng lực tổ chức vận hành. Công nghệ xử lý đơn giản, nếu không đi kèm với mô hình quản lý phù hợp và nguồn lực vận hành ổn định, sẽ khó bảo đảm chất lượng nước lâu dài. Ngược lại, các mô hình quản lý chuyên nghiệp có khả năng khai thác hiệu quả hơn năng lực công trình, nâng cao độ tin cậy của hệ thống cấp nước và kéo dài tuổi thọ đầu tư.

Như vậy, hiện trạng cấp nước nông thôn tỉnh Quảng Ninh cho thấy mối quan hệ chặt chẽ giữa lựa chọn công nghệ, mô hình quản lý và chất lượng nước sinh hoạt. Đây là cơ sở quan trọng để định hướng các giải pháp phát triển cấp nước nông thôn theo hướng bền vững, trong đó cần tiếp cận đồng bộ giữa đầu tư hạ tầng kỹ thuật và hoàn thiện cơ chế quản lý, vận hành hệ thống.

**3.3. Đánh giá hiệu quả các công trình đã đầu tư**

Kết quả đánh giá hiệu quả vận hành các công trình cấp nước sinh hoạt nông thôn trên địa bàn tỉnh Quảng Ninh cho thấy phần lớn các công trình được đầu tư từ nguồn vốn ngân sách nhà nước, bao gồm các chương trình mục tiêu như Chương trình 135 và các chương trình hỗ trợ phát triển nông thôn. Mặc dù nhiều công trình vẫn duy trì được hoạt động trong một khoảng thời gian nhất định, hiệu quả đầu tư nhìn chung còn thấp, thể hiện qua khả năng thu không đủ bù chi và phụ thuộc lớn vào hỗ trợ ngân sách cho công tác vận hành, bảo trì.

Một trong những nguyên nhân chính dẫn đến hiệu quả khai thác thấp là quy mô nhỏ và hạn chế về năng lực quản lý, vận hành tại các trạm cấp nước nông thôn. Phần lớn các công trình không có đội ngũ cán bộ chuyên trách được đào tạo bài bản về kỹ thuật cấp nước, vận hành hệ thống và kiểm soát chất lượng nước. Việc thiếu hụt nhân lực chuyên môn, cùng với nguồn kinh phí hạn chế cho bảo trì, sửa chữa định kỳ, đã ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng duy trì hoạt động ổn định của công trình cũng như chất lượng nước sau xử lý, đặc biệt khi đối chiếu với các yêu cầu của QCVN 01-1:2024/BYT.




Hình 3. Đánh giá hiệu quả các công trình cấp nước đã đầu tư

Thống kê tổng hợp tại tỉnh Quảng Ninh năm 2024 cho thấy, trong tổng số 262 công trình và hệ thống công trình cấp nước sinh hoạt nông thôn trên địa bàn tỉnh, chỉ có 30 công trình được đánh giá là hoạt động hiệu quả và bền vững, chiếm tỷ lệ 11,4%. Đây là một con số rất thấp, phản ánh rõ ràng tính thiếu bền vững của hệ thống cấp nước nông thôn hiện nay. Phần lớn các công trình còn lại chỉ đạt mức tương đối bền vững (53,8%), trong khi 19,1% công trình được đánh giá là không bền vững và 15,7% đã tạm dừng hoạt động do hư hỏng, thiếu nguồn nước hoặc bị thay thế bởi các hệ thống cấp nước khác (Hình 3) [3]. Theo số liệu thống kê của Bộ Nông nghiệp và Môi trường, trong năm 2024, trong số hơn 18.000 công trình thì chỉ có 32% số công trình hoạt động bền vững, 26,3% số công trình hoạt động tương đối bền vững, 41,8% số công trình hoạt động kém bền vững và không hoạt động. Một số tỉnh có tỷ lệ sử dụng nước sạch đạt quy chuẩn từ công trình cấp nước tập trung rất thấp như một số tỉnh (trước khi sáp nhập): Hà Giang, Gia Lai là 7,7%, Yên Bái 11,4%, Cao Bằng 12,6%, Lâm Đồng 12,8%..(Hình 3) [11].

Tỷ lệ công trình bền vững của tỉnh Quảng Ninh chỉ đạt 11,45% cho thấy rằng hiệu quả đầu tư công trình cấp nước nông thôn không chỉ phụ thuộc vào việc xây dựng mới mà còn chịu tác động mạnh mẽ từ mô hình quản lý, năng lực vận hành và khả năng duy trì tài chính của hệ thống. Nhiều công trình được đầu tư nhưng không đi kèm với cơ chế quản lý phù hợp, thiếu nguồn lực cho vận hành dài hạn, dẫn đến tình trạng xuống cấp nhanh hoặc ngừng hoạt động sau một thời gian khai thác. Điều này đặt ra thách thức lớn đối với mục tiêu phát triển cấp nước nông thôn bền vững, đặc biệt trong bối cảnh các yêu cầu về chất lượng nước ngày càng được nâng cao.

Như vậy, kết quả đánh giá hiệu quả công trình cho thấy cần có sự thay đổi căn bản trong cách tiếp cận đầu tư và quản lý hệ thống cấp nước nông thôn. Thay vì tập trung chủ yếu vào gia tăng số lượng công trình, cần ưu tiên nâng cao chất lượng đầu tư, lựa chọn công nghệ phù hợp với điều kiện địa phương, đồng thời hoàn thiện mô hình quản lý, vận hành nhằm nâng cao tỷ lệ công trình hoạt động bền vững và bảo đảm hiệu quả sử dụng nguồn lực đầu tư công.

**3.4. Mô hình quản lý và vận hành hệ thống cấp nước nông thôn**

Hiện nay, các công trình cấp nước sinh hoạt nông thôn trên địa bàn tỉnh Quảng Ninh được quản lý và vận hành theo nhiều mô hình khác nhau, bao gồm mô hình do chính quyền địa phương hoặc cộng đồng dân cư quản lý, mô hình giao cho doanh nghiệp hoặc đơn vị sự nghiệp công lập vận hành, và mô hình kết hợp giữa các chủ thể. Sự đa dạng về mô hình quản lý phản ánh quá trình đầu tư, phát triển hệ thống cấp nước nông thôn qua nhiều giai đoạn và chịu ảnh hưởng trực tiếp từ điều kiện kinh tế - xã hội, quy mô dân cư và đặc điểm không gian từng địa phương.

Kết quả khảo sát cho thấy mô hình quản lý do cộng đồng hoặc chính quyền cấp xã trực tiếp vận hành vẫn chiếm tỷ lệ lớn, đặc biệt tại các khu vực miền núi và hải đảo. Ưu điểm của mô hình này là tính linh hoạt và khả năng huy động sự tham gia của người dân địa phương; tuy nhiên, hạn chế lớn nằm ở năng lực kỹ thuật và nguồn lực tài chính cho công tác vận hành, bảo trì và kiểm soát chất lượng nước. Việc thiếu đội ngũ chuyên môn và cơ chế tài chính ổn định khiến nhiều công trình hoạt động không liên tục, chất lượng nước sau xử lý khó duy trì ổn định theo yêu cầu của QCVN 01-1:2024/BYT.

Ngược lại, các công trình được giao cho doanh nghiệp hoặc đơn vị chuyên ngành quản lý, vận hành thường đạt hiệu quả cao hơn và có tính bền vững tốt hơn. Các đơn vị này có khả năng tổ chức vận hành chuyên nghiệp, áp dụng quy trình quản lý kỹ thuật và tài chính rõ ràng, đồng thời thực hiện kiểm soát chất lượng nước định kỳ. Nhờ đó, hệ thống có khả năng khai thác hiệu quả công suất thiết kế, giảm sự cố kỹ thuật và duy trì ổn định các chỉ tiêu chất lượng nước trong thời gian dài.

Đáng chú ý, mối quan hệ giữa mô hình quản lý và hiệu quả công trình thể hiện rõ thông qua khả năng duy trì hoạt động và mức độ đáp ứng yêu cầu về chất lượng nước. Các công trình có cùng quy mô và công nghệ xử lý nhưng được vận hành theo các mô hình quản lý khác nhau cho thấy sự khác biệt đáng kể về hiệu quả khai thác và tính bền vững. Điều này cho thấy mô hình quản lý đóng vai trò then chốt trong việc phát huy hiệu quả đầu tư hạ tầng kỹ thuật, đặc biệt đối với các hệ thống cấp nước nông thôn có quy mô nhỏ và điều kiện khai thác phức tạp.

Trên cơ sở phân tích hiện trạng, có thể nhận định rằng việc lựa chọn mô hình quản lý phù hợp với điều kiện địa phương là yếu tố quyết định nhằm nâng cao hiệu quả và tính bền vững của hệ thống cấp nước nông thôn tỉnh Quảng Ninh. Trong giai đoạn tới, cần từng bước chuyển đổi từ mô hình quản lý phân tán, thiếu chuyên môn sang các mô hình quản lý tập trung hoặc bán tập trung, có sự tham gia của các đơn vị chuyên nghiệp, đồng thời tăng cường cơ chế hỗ trợ kỹ thuật và tài chính cho các địa phương có điều kiện đặc thù.

**3.5. Đánh giá tổng hợp cho phát triển cấp nước nông thôn**

Tổng hợp kết quả nghiên cứu cho thấy hệ thống cấp nước nông thôn tỉnh Quảng Ninh đã đạt được những kết quả tích cực trong việc mở rộng phạm vi cấp nước và từng bước nâng cao tỷ lệ người dân được sử dụng nước sạch đạt quy chuẩn. Tuy nhiên, các tồn tại chính vẫn tập trung vào sự thiếu đồng đều giữa các vùng, hạn chế về năng lực và công nghệ của một số công trình cấp nước tập trung, cũng như bất cập trong mô hình quản lý, vận hành.

Các kết quả này cho thấy việc phát triển cấp nước nông thôn cần được tiếp cận theo hướng tổng hợp, kết hợp giữa giải pháp kỹ thuật, tổ chức quản lý và cơ chế chính sách, nhằm bảo đảm mục tiêu nâng cao tỷ lệ tiếp cận nước sạch và tính bền vững của hệ thống cấp nước trong giai đoạn tiếp theo.

## 4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Bài báo đã đánh giá một cách tổng hợp hiện trạng cấp nước sinh hoạt khu vực nông thôn tỉnh Quảng Ninh trên cơ sở phân tích mức độ tiếp cận nước sạch, hiện trạng công trình cấp nước, chất lượng nước sau xử lý và mô hình quản lý, vận hành hệ thống. Đóng góp chính của nghiên cứu là làm rõ mối quan hệ giữa điều kiện không gian, công nghệ và mô hình quản lý với hiệu quả và tính bền vững của hệ thống cấp nước nông thôn trong bối cảnh áp dụng QCVN 01-1:2024/BYT.

Kết quả nghiên cứu cho thấy sự chênh lệch về mức độ tiếp cận nước sạch giữa các vùng là vấn đề cốt lõi, chịu ảnh hưởng mạnh mẽ của điều kiện địa hình, mật độ và phân bố dân cư cũng như mức độ tích hợp giữa quy hoạch cấp nước nông thôn và hạ tầng đô thị. Bên cạnh đó, mô hình quản lý được xác định là yếu tố quyết định khả năng duy trì hoạt động ổn định và tính bền vững của các công trình cấp nước, thể hiện qua tỷ lệ công trình hoạt động bền vững còn thấp.

Trên cơ sở đó, nghiên cứu nhấn mạnh sự cần thiết của cách tiếp cận tích hợp trong phát triển cấp nước nông thôn, kết hợp đồng bộ giữa quy hoạch không gian, lựa chọn công nghệ phù hợp và mô hình quản lý hiệu quả, thay vì chỉ tập trung đầu tư xây dựng công trình. Kết quả nghiên cứu có thể làm cơ sở khoa học cho công tác quy hoạch, đầu tư và hoàn thiện chính sách cấp nước nông thôn tại tỉnh Quảng Ninh và các địa phương có điều kiện tương đồng.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

[1]. Bộ NN&PTNT, Báo cáo tổng kết Chương trình mục tiêu quốc gia Nước sạch và vệ sinh môi trường nông thôn, Hà Nội, (2022)

[2]. Bộ Y tế, QCVN 01-1:2024/BYT - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về Chất lượng nước sạch sử dụng cho mục đích sinh hoạt, Hà Nội, (2024)

[3]. Đề án cấp nước nông thôn tỉnh Quảng Ninh đến năm 2025

[4]. Bakker, K., Privatizing Water: Governance Failure and the World's Urban Water Crisis. Water Alternatives 4(3), 252-256, (2010)

[5]. Harvey, P.A., Reed, R.A., Community-managed water supplies in Africa: Sustainable or dispensable? Community Development Journal, 42, 365-378. DOI:10.1093/cdj/bsl001, (2007)

[6]. Jiménez, A., Pérez-Foguet, A., Challenges for water governance in rural water supply: Lessons Learned from Tanzania. International Journal of Water Resources Development 26(2):235-248. DOI:10.1080/07900621003775763, (2011)

[7]. Lockwood, H., Smits, S., Supporting rural water supply: Moving towards a service delivery approach, Practical Action Publishing, (2011)

[8]. OECD, Water Governance in Rural Areas, OECD Publishing, (2016)

[9]. WHO & UNICEF, Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000–2020, Five years into the SDGs. https://www.who.int/publications/i/item/9789240030848, (2021)

[10]. https://sohuutritue.net.vn/gan-42-cong-trinh-nuoc-sach-nong-thon-khong-hoat-dong-kem-hieu-qua-d249880.html

[11]. https://vawr.org.vn/hien-trang-cap-nuoc-vung-mien-nui-phia-bac-va-cac-tieu-chi-lua-chon-dia-diem-xay-dung-bao-dam-tinh-ben-vung

■Ngày nhận bài: 23/01/2026 ■Ngày sửa bài: 02/3/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 11/3/2026

# Tổ chức hệ thống phương tiện giao thông bổ trợ cho đường sắt đô thị tại Hà Nội: Những thuận lợi và khó khăn

## Organizing the feeder transport system for urban railways in Hanoi: Opportunities and challenges

> **THS ĐẶNG THỊ NGA*, THS VŨ HUYỀN THANH**
GV Khoa Kỹ thuật hạ tầng và Môi trường đô thị, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội
*Email: dangngaksdt@gmail.com

### TÓM TẮT

Phát triển vận tải hành khách công cộng, đặc biệt là đường sắt đô thị (ĐSĐT), là giải pháp hữu hiệu nhằm hạn chế ùn tắc giao thông, đáp ứng nhu cầu đi lại và đảm bảo phát triển đô thị bền vững tại Hà Nội. Kết nối ĐSĐT với các loại hình vận tải khác như xe buýt và phương tiện cá nhân góp phần phát huy tối đa năng lực vận tải của hệ thống, đồng thời đáp ứng nhu cầu đi lại của hành khách tại những khu vực mà ĐSĐT chưa phục vụ trực tiếp. Bài báo này tìm hiểu những thuận lợi và khó khăn trong việc tổ chức kết nối giao thông, từ đó đề xuất một số giải pháp tổ chức hệ thống phương tiện giao thông bổ trợ cho các tuyến ĐSĐT tại Hà Nội nhằm phát huy hiệu quả của mạng lưới ĐSĐT.

**Từ khóa:** Đường sắt đô thị; giao thông công cộng; phương tiện bổ trợ.

### ABSTRACT

The development of public passenger transport, particularly urban railways, is an effective solution to mitigate traffic congestion, satisfy travel demand, and ensure sustainable urban development in Hanoi. Integrating urban railways with other modes of transport such as buses and personal vehicles contributes to maximizing the system's transport capacity as well as meeting passenger needs in areas inaccessible by the UR network. This study analyzes the associated opportunities and challenges, thereby proposing solutions for organizing feeder transport systems for UR lines in Hanoi to fully leverage the advantages of the urban railway network.

**Keywords:** Urban railway; public transport; feeder transport.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Thủ đô Hà Nội, với diện tích khoảng 3.358,6 km² và dân số tính đến hết năm 2024 khoảng 8,5 triệu người, được xác định là một trong những đô thị có quy mô dân số và mật độ dân cư lớn của cả nước. Hệ thống giao thông của thành phố có vai trò quan trọng trong việc đáp ứng nhu cầu đi lại cũng như vận chuyển hành khách và hàng hóa. Theo định hướng quy hoạch, đến năm 2030, Hà Nội dự kiến có khoảng 12 triệu người với diện tích đất xây dựng đô thị khoảng 90.000 ha; đến năm 2045, dân số dự kiến đạt 14,6 triệu người với diện tích đất xây dựng đô thị khoảng 120.000 ha [1]. Với vai trò là Thủ đô và trung tâm kinh tế, văn hóa của cả nước, đô thị này đang trải qua quá trình đô thị hóa và tăng trưởng kinh tế nhanh chóng. Sự phát triển đó kéo theo sự gia tăng dân số và đặc biệt là số lượng phương tiện giao thông cá nhân, gây áp lực lớn lên hệ thống hạ tầng giao thông vốn đã hạn chế [2], [3]. Nhằm hạn chế các tác động tiêu cực lên hệ thống giao thông, Hà Nội chủ trương phát triển mạng lưới ĐSĐT. Hiện nay, một số tuyến ĐSĐT đã được đưa vào khai thác, trong khi nhiều tuyến khác đang trong quá trình xây dựng. Kinh nghiệm quốc tế cho thấy, để đạt hiệu quả tối ưu trong việc chuyển đổi từ đô thị phụ thuộc vào giao thông cá nhân sang đô thị sử dụng giao thông công cộng (GTCC), việc chỉ xây dựng các tuyến ĐSĐT là chưa đủ. Trong khi đó, tình trạng ùn tắc giao thông tại Hà Nội không chỉ bắt nguồn từ hệ thống hạ tầng còn hạn chế, vai trò mờ nhạt của hệ thống GTCC, mà còn do sự thiếu bổ trợ và kết nối giữa các loại hình giao thông [3], [4].

Năm 2011, Thủ tướng Chính phủ đã ban hành Quyết định số 1259/QĐ-TTg phê duyệt Quy hoạch chung xây dựng Thủ đô Hà Nội đến năm 2030 và tầm nhìn đến năm 2050 và Quy hoạch Giao thông vận tải Thủ đô cũng được phê duyệt tại Quyết định số 519/QĐ-TTg ngày 31/03/2016. Mới đây, Thủ tướng Chính phủ tiếp tục phê duyệt Điều chỉnh Quy hoạch chung Thủ đô Hà Nội đến năm 2045, tầm nhìn đến năm 2065 tại Quyết định số 1668/QĐ-TTg ngày 27/12/2024. Bên cạnh đó, quy hoạch chung xây dựng ngầm đô thị trung tâm TP Hà Nội đến năm 2030, tầm nhìn 2050 đã xác định: "Các đầu mối giao thông lớn của thành phố (ga ĐSĐT, ga đường sắt quốc gia) là hạt nhân phát triển không gian xây dựng công trình ngầm, phát triển đô thị theo mô hình TOD; tạo lập các đầu mối giao thông, lấy ga ĐSĐT làm hạt nhân liên kết các trạm dừng nghỉ, bến đầu cuối của các tuyến GTCC…" [5]. Trong năm 2022, nhiều nội dung liên quan đến phát triển Thủ đô đã được đặt ra với những định hướng mới, trong đó phát triển đô thị theo mô hình TOD được đề cập rất nhiều, đã được khẳng định cả trong lý thuyết và thực tiễn.

Phát triển vận tải hành khách công cộng, đặc biệt là ĐSĐT là giải pháp hữu hiệu nhằm hạn chế ùn tắc giao thông, đáp ứng nhu cầu đi lại

và đảm bảo phát triển đô thị bền vững. Khi các tuyến ĐSĐT hoạt động sẽ làm thay đổi một phần phương thức đi lại của người dân, ảnh hưởng trực tiếp tới các loại hình GTCC hiện trạng [3], [4]. Có những khu vực có thể xảy ra tình trạng cạnh tranh khách giữa ĐSĐT và hệ thống xe buýt. Kết nối ĐSĐT với các loại hình vận tải góp phần phát huy hết năng lực vận tải của hệ thống cũng như đáp ứng nhu cầu của hành khách tại những nơi mà ĐSĐT không với tới được. Đồng thời, tối đa hóa lợi ích, giảm thiểu chi phí xây dựng cho hệ thống GTCC.

Để tăng cường năng lực phục vụ của ĐSĐT, cần thiết phải bố trí hệ thống các phương tiện giao thông bổ trợ. Hệ thống các phương tiện giao thông hỗ trợ bao gồm: Xe buýt, các phương tiện cá nhân như: xe con; taxi; xe máy; xe đạp [3], [4]. Trong đó, xe buýt là loại hình phương tiện hỗ trợ thích hợp nhất vì nó có khả năng chuyên chở lớn và hành trình dài… Vì vậy, tìm hiểu những thuận lợi và khó khăn khi tổ chức các phương tiện bổ trợ cho các tuyến đường sắt đô thị tại Hà Nội có ý nghĩa khoa học và thực tiễn, nhằm góp phần nâng cao năng lực của toàn hệ thống ĐSĐT.

## 2. TỔNG QUAN VỀ ĐSĐT VÀ HỆ THỐNG CÁC PHƯƠNG TIỆN BỔ TRỢ

Trong hệ thống vận tải đô thị, vận tải hành khách giữ vai trò quan trọng nhất. Căn cứ vào đặc điểm phương tiện sử dụng trong vận tải hành khách, có thể chia thành hai loại chủ yếu: GTCC và giao thông cá nhân.

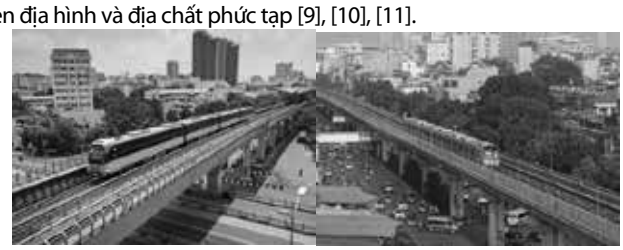
GTCC là hình thức vận tải hành khách bằng các phương tiện chạy theo tuyến cố định, được quy hoạch trước và có lộ trình xác định (bao gồm điểm đầu và điểm cuối), nhằm phục vụ nhu cầu đi lại của người dân trong toàn đô thị, như ô tô buýt, xe buýt nhanh, tàu điện trên cao, tàu điện ngầm… [6], [7], [8].

Ngược lại, các phương tiện giao thông cá nhân bao gồm ô tô con, xe mô tô, xe đạp…, được sử dụng linh hoạt theo nhu cầu đi lại riêng của từng cá nhân.

### 2.1. Các loại hình ĐSĐT

ĐSĐT là phương tiện vận tải hành khách công cộng khối lượng lớn. ĐSĐT có các các đặc điểm như: Có sức chuyên chở lớn từ 200 đến 1000 hành khách/chuyến; 10 ngàn đến 30 ngàn khách/h/hướng. Yêu cầu đường riêng ở trên mặt đất, trên cao hay ngầm dưới đất (tàu điện ngầm), toa tàu điện có thể đặt trên 2 ray hoặc trên 1 ray hay treo dưới 1 ray. Tuyến ĐSĐT là cố định, nối các khu vực trong nội thị, nối nội thị và ngoại thị, nối các bến xe, bến tàu, nhà ga, sân bay. Có trung tâm điều hành ĐSĐT [8]. ĐSĐT bao gồm nhiều loại hình, phổ biến nhất đó là:

Tàu điện ngầm, là phương tiện vận tải hành khách mà cơ sở hạ tầng (đường sắt) phần lớn được đặt ngầm dưới mặt đất, không có giao cắt với đường bộ hoặc với phương tiện vận tải khác. Tàu điện ngầm được xây dựng ở tại các thành phố có quy mô dân số > 1 triệu dân, có công suất luồng hành khách từ 12.000 - 60.000 người trong một giờ theo 1 hướng vào giờ cao điểm. Tàu điện ngầm có các ưu điểm như tiết kiệm đất đai xây dựng cho thành phố; giải quyết được ách tắc giao thông do điều tiết được khối lượng và mật độ phương tiện, đảm bảo cảnh quan môi trường; tốc độ giao thông cao. Tuy nhiên, tàu điện ngầm cũng có hạn chế là yêu cầu vốn đầu tư rất lớn, đặc biệt tại những khu vực có điều kiện địa hình và địa chất phức tạp [9], [10], [11].



Hình 1. Các tuyến ĐSĐT đã đưa vào khai thác tại Hà Nội

Tàu điện nhẹ thành phố (Light Rail Transit - LRT), là phương tiện vận hành lấy đường ray dẫn hướng cho tàu chạy và lấy việc chở khách làm chính. Hội liên hiệp giao thông công cộng quốc tế (UITP) đã định nghĩa giao thông đường ray nhẹ: Toa xe phải tương đối nhẹ so với tàu điện ngầm và xe lửa, tải trọng của nó cũng tương đối nhẹ; tốc độ cao; năng lực chở khách một giờ một hướng cao khoảng 8.000 - 30.000 lượt người/giờ [9], [11].

Tàu điện 1 ray (Monorail) - tàu điện chạy trên một ray có đặc điểm, diện tích chiếm dụng chỉ giới đường nhỏ; dễ hoà hợp với cảnh quan đô thị; có thể sử dụng KGCC phía trên đường bộ để xây dựng; chi phí thấp hơn đường sắt, không tốn nhiều thời gian xây dựng, không cồng kềnh chiếm đất và khoảng không phía trên mặt đường, tiện lợi, tiện nghi, có thể áp dụng cho đường có độ dốc đứng và bán kính cong nhỏ, mang lại sự thoải mái và tiếng ồn nhỏ [9].

Hệ thống vận chuyển đường sắt tự động dẫn hướng (ATG) có đặc điểm: Đây là một hệ thống hoàn chỉnh tiện lợi hơn hệ thống đường sắt nói chung và monorail; nó có thể sử dụng KGCC phía trên đường bộ để xây dựng. Tự vận hành với sự điều khiển bằng máy tính, tiện lợi, tiện nghi, an toàn và mức ồn nhỏ. Công suất vận chuyển đạt 1000 người/giờ/hướng, tốc độ ghi trong lịch trình 20 - 30 km/h [9].

### 2.2. Hệ thống các phương tiện bổ trợ cho ĐSĐT

Trong các loại hình phương tiện giao thông thu gom hành khách cho ĐSĐT thì xe buýt là loại hình phương tiện hỗ trợ thích hợp nhất vì nó có khả năng chuyên chở lớn và hành trình dài [3], [4], [12]. Tổ chức các tuyến xe buýt nhằm kết nối các ga của tuyến đường sắt với các điểm hấp dẫn trong khu vực và các tuyến xe buýt này sẽ thu gom hành khách cho ĐSĐT.

Việc tiếp cận ĐSĐT bằng xe đạp mang lại lợi ích cho cả 2 loại hình phương tiện. Phương thức di chuyển này có ưu điểm thuận lợi nhờ khả năng tiếp cận từ cửa đến cửa, lịch trình linh hoạt, phạm vi hoạt động rộng và thân thiện với môi trường. Hơn nữa, chi phí đầu tư ban đầu tương đối thấp cũng là một lợi thế để tăng lượng hành khách. Do đó, nếu có các giải pháp bố trí hạ tầng phù hợp như tổ chức làn đường an toàn cho xe đạp và xây dựng các bãi đỗ xe gần các ga ĐSĐT, thì đây có thể trở thành một loại hình phương tiện thu gom hành khách hiệu quả cho ĐSĐT.

Đi bộ trong khoảng cách ngắn *(≤ 500m)* đến điểm dừng xe công cộng là khá phổ biến tại đô thị [8]. Đi bộ là một hợp phần cần thiết cho mỗi chuyến đi, là nền tảng đảm bảo khả năng tiếp cận và di chuyển bền vững trong đô thị. Khuyến khích đi bộ là một sự đảm bảo cho thành công của việc phát triển giao thông đô thị bền vững và phát huy triệt để vai trò vận chuyển hành khách khối lượng lớn của ĐSĐT [13]. Hành trình đi bộ tiếp cận ga ĐSĐT cần được nghiên cứu cho đầy đủ các đối tượng, đặc biệt cần chú ý đến người già, người khuyết tật và trẻ em.

Các phương tiện cá nhân khác như ô tô cá nhân, taxi, xe máy… cũng chiếm một tỷ phần không nhỏ trong các loại hình phương tiện mà người dân đô thị sử dụng trong lưu thông [3], [4]. Các phương tiện này cũng cần được kết nối hợp lý nhằm đáp ứng nhu cầu dừng, đỗ xe khi người dân chuyển đổi sang sử dụng ĐSĐT cho chuyến đi của mình.

Như vậy, các ga tàu điện chính là điểm chuyển đổi phương thức vận tải hành khách trong đô thị. Ga tàu điện là nơi kết nối các loại hình GTCC (metro - metro; metro - xe buýt) và kết nối với loại hình giao thông cá nhân tạo thành các đầu mối giao thông đô thị [3], [4]. Việc phát triển quanh các nhà ga theo mô hình TOD, tăng cường sử dụng GTCC tổng thể (bao gồm đường sắt và phương tiện bổ trợ) giúp giảm lượng khí thải carbon, cải thiện chất lượng không khí, góp phần vào mục tiêu phát triển bền vững. Ngoài ra, việc kết hợp các loại hình giao thông giúp tăng cường khả năng phục hồi của hệ thống giao thông khi ĐSĐT gặp sự cố. Các phương tiện bổ trợ có thể

được huy động để cung cấp dịch vụ thay thế, đảm bảo tính liên tục của việc di chuyển và giảm thiểu tác động đến hành khách.

### 3. KINH NGHIỆM TỔ CHỨC HỆ THỐNG CÁC PHƯƠNG TIỆN BỔ TRỢ CHO ĐSĐT

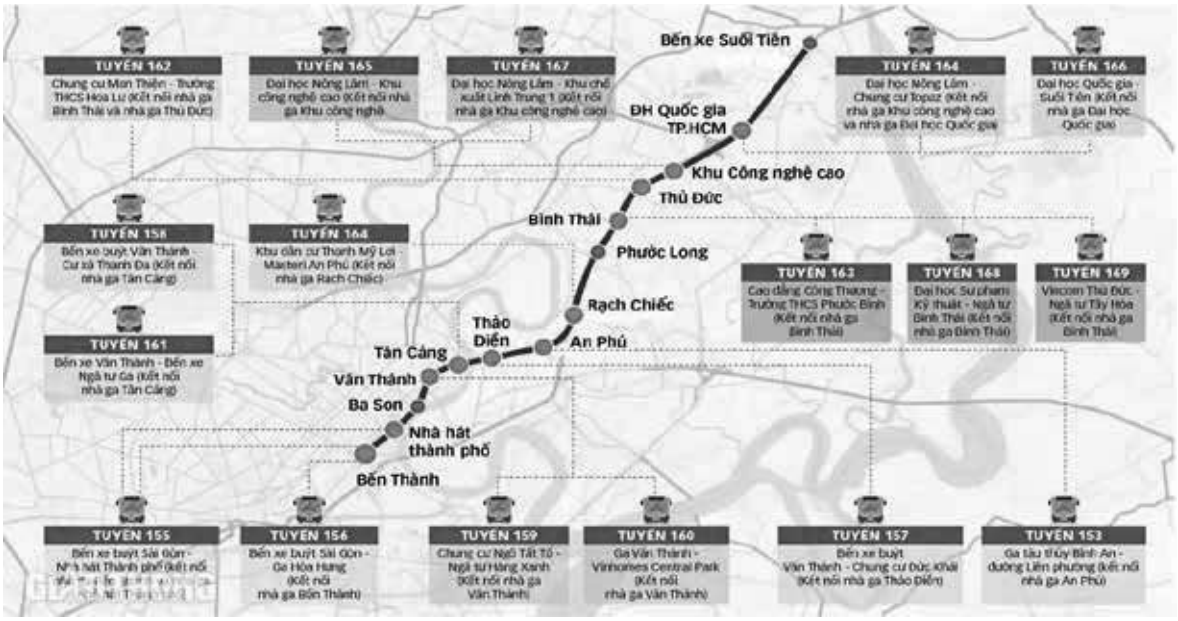
Canada nổi tiếng với kinh nghiệm sâu rộng trong phát triển và quản lý các hệ thống kết nối tầng hầm và không gian ngầm đô thị, đặc biệt tại các thành phố lớn như Toronto và Montreal. Đây được xem là một giải pháp hiệu quả nhằm thích ứng với điều kiện thời tiết khắc nghiệt, quỹ đất hạn chế và nhu cầu giao thông ngày càng gia tăng. Tại Canada, các ga tàu điện ngầm thường được lựa chọn làm hạt nhân của hệ thống kết nối không gian ngầm. Việc sử dụng các ga tàu điện ngầm làm điểm kết nối cốt lõi góp phần hình thành mạng lưới giao thông ngầm hiệu quả, đồng thời khuyến khích người dân sử dụng phương tiện GTCC. Các lối đi ngầm không chỉ đóng vai trò giao thông đơn thuần mà còn được tích hợp nhiều chức năng như mua sắm, ăn uống, giải trí và văn phòng, tạo nên một "thành phố dưới lòng đất" với các hoạt động đa dạng. Việc phát triển không gian ngầm đòi hỏi tầm nhìn chiến lược và quy hoạch tổng thể, đồng thời cần được tích hợp chặt chẽ với quy hoạch đô thị trên mặt đất. Điển hình là mạng lưới đường ngầm PATH tại Toronto, Ontario (Canada), có chiều dài hơn 30 km (18 dặm) dành cho người đi bộ. Hệ thống này kết nối trực tiếp với hơn 70 tòa nhà văn phòng, 6 khách sạn lớn cùng hàng nghìn cửa hàng, nhà hàng và các dịch vụ khác. Đồng thời, mạng lưới PATH cũng liên thông với hệ thống tàu điện ngầm của Toronto Transit Commission (TTC) và nhà ga xe lửa Union Station (một trong những trung tâm giao thông lớn nhất Canada).

Hình 2. Hệ thống tàu điện ngầm tại Tokyo, Nhật Bản *(Nguồn: Internet)*

Để giải quyết vấn đề ùn tắc giao thông, Nhật Bản đã xây dựng một hệ thống GTCC hiện đại (chủ yếu là metro) và áp dụng chính sách "tái phát triển đô thị", hợp tác "công - tư" (PPP) giữa nhà nước và tư nhân, đã huy động được một nguồn vốn rất lớn để xây dựng hạ tầng và phát triển đô thị. Tại Nhật Bản phát triển mô hình liên minh giữa các nhà đầu tư, kinh doanh đường sắt kết hợp với các loại hình kinh doanh khác, đặc biệt là địa ốc, thương mại, nhờ đó việc kinh doanh đường sắt đem lại lợi nhuận cho các loại hình kinh doanh khác, đồng thời lợi nhuận đó dùng để bù đắp hỗ trợ chi phí cho vận hành hệ thống đường sắt. Tokyo là một trong những đô thị có sức cạnh tranh, sống tốt và thân thiện với môi trường bậc nhất trên thế giới. Đạt được điều đó chủ yếu là nhờ Tokyo có được mạng lưới ĐSĐT trải rộng, mật độ cao cho phép 64% dân có thể đi bộ đến điểm dừng/đón trong 5 phút và 100% trong 10 phút với chi phí phải chăng. Việc chuyển đổi giữa các loại hình phương tiện giao thông dễ dàng do xung quanh nhà ga thường bố trí các cơ sở hạ tầng liên hợp như bãi đỗ xe, bến xe buýt [13].

Với một mật độ dân số rất lớn, Singapore nổi tiếng với quá trình phát triển đô thị được quy hoạch có chiến lược, được thực hiện từ những năm 60 của thế kỷ trước. Những khu đô thị mới tại đây được kết nối với khu vực trung tâm bằng hệ thống tàu điện ngầm hiện đại. Hệ thống thu gom hành khách bổ trợ cho tàu điện ngầm bằng xe buýt và hệ thống vận tải có đường dẫn hướng tự động (AVG) hoạt động nhờ vào sự điều khiển của máy tính trung tâm. Singapore liên tục được xếp hạng là đô thị năng động, phát triển bền vững và sống tốt trên toàn cầu. Chính phủ Singapore đã xây dựng và phát triển hệ thống MRT (Mass Rapid Transit) nhằm giải quyết các khó khăn về khan hiếm đất đai và phát triển dân cư tập trung với mật độ cao. Chính phủ đã áp dụng các biện pháp khuyến khích sử dụng phương tiện công cộng, hạn chế phương tiện cá nhân, như thu phí đường bộ qua hệ thống thu phí điện tử, đấu giá giấy phép sở hữu xe, tăng thuế phí đăng ký, đỗ xe… [13].

Hệ thống ĐSĐT TP.HCM là một dự án GTCC trọng điểm, được kỳ vọng sẽ thay đổi diện mạo giao thông của thành phố. Theo quy hoạch, thành phố sẽ có 12 tuyến ĐSĐT với tổng chiều dài khoảng 510 km. Hiện nay, tuyến metro số 1 (Bến Thành - Suối Tiên) đã được đưa vào khai thác. Để phát huy tối đa năng lực vận tải trên tuyến, TP.HCM đã bố trí 17 tuyến buýt thu gom hành khách cho tuyến ĐSĐT số 1.




Hình 3. Sơ đồ 17 tuyến xe buýt thu gom hành khách cho tuyến ĐSĐT Bến Thành - Suối Tiên *(Nguồn: Internet)*

Ga Bến Thành được xây dựng như trung tâm kết nối chính của toàn bộ hệ thống metro TP.HCM. Nhà ga có chiều dài khoảng 236 m, rộng 60 m và độ sâu khoảng 32 m, bao gồm 4 tầng ngầm. Trong đó, các tầng B1 và B2 phục vụ tuyến metro số 1, trong khi các tầng B3 và B4 dự kiến được sử dụng cho tuyến metro số 2 (Bến Thành - Tham Lương). Đây là nhà ga lớn nhất trong tổng số 14 nhà ga của tuyến metro số 1, là điểm kết nối quan trọng của các tuyến metro số 2, 4 và 3A, góp phần tạo nên mạng lưới giao thông liền mạch. Tại ga, còn tích hợp trung tâm thương mại rộng 18.100 $m^2$, cùng hành lang và quảng trường ngầm rộng 21.500 $m^2$, tạo nên không gian đa chức năng kết hợp giữa giao thông công cộng và các hoạt động dịch vụ, tiện ích đô thị. Ga Nhà hát Thành phố của tuyến metro số 1 được đặt tại trung tâm Quận 1 (cũ). Tại đây, nhà ga được thiết kế với sự kết nối chặt chẽ với không gian đô thị xung quanh. Ga Nhà hát Thành phố có 5 lối lên xuống; trong đó lối số 5 nằm tại Công viên Lam Sơn, phía trước Nhà hát Thành phố. Lối số 4, nằm đối diện, được kết nối trực tiếp với tầng hầm của tòa nhà Union Square Tower.

## 4. NHỮNG THUẬN LỢI VÀ KHÓ KHĂN KHI TỔ CHỨC HỆ THỐNG CÁC PHƯƠNG TIỆN BỔ TRỢ CHO ĐSĐT TẠI HÀ NỘI

### 4.1. Giới thiệu hệ thống GTCC TP Hà Nội

Giao thông vận tải Thủ đô Hà Nội là một bộ phận quan trọng trong kết cấu hạ tầng kinh tế - xã hội, cần được ưu tiên đầu tư phát triển đi trước một bước với tốc độ cao và bền vững nhằm tạo tiền đề cho phát triển, củng cố an ninh, quốc phòng và phục vụ sự nghiệp CNH - HĐH Thủ đô [14]. Chiến lược phát triển giao thông Thủ đô được cụ thể hóa như sau: xây dựng mạng lưới giao thông trung chuyển khối lượng lớn kết hợp với phát triển đô thị mật độ cao theo mô hình TOD; tập trung phát triển GTCC, hạn chế phương tiện cá nhân có động cơ; phát triển các đầu mối giao thông trung chuyển nhằm liên kết các phương thức vận tải, đáp ứng nhu cầu vận tải hành khách và hàng hóa ngày càng tăng [2],[14].

Đồ án "Điều chỉnh quy hoạch chung Thủ đô Hà Nội đến năm 2045, tầm nhìn 2065" xác định: Xây dựng mạng lưới ĐSĐT gồm 14 tuyến (trong đó 10 tuyến đã quy hoạch được rà soát, điều chỉnh hướng tuyến hoặc kéo dài và bổ sung mới 04 tuyến). Bố trí, điều chỉnh các tuyến xe buýt nhanh khối lượng lớn (BRT), mạng lưới xe buýt đô thị đảm bảo tính khả thi về hướng tuyến, kết nối đồng bộ với hệ thống đường sắt quốc gia và giữa các tuyến ĐSĐT [15].

.TP Hà Nội đã xác định phát triển hoàn chỉnh hệ thống vận tải hành khách công cộng với ba hợp phần cơ bản: hệ thống vận tải khối lượng lớn (ĐSĐT và xe buýt nhanh); hệ thống xe buýt thông thường; và hệ thống bổ trợ với các phương tiện giao thông quy mô nhỏ. Hệ thống vận tải hành khách công cộng khối lượng lớn dự kiến gồm các tuyến chính đã và đang lập dự án đầu tư, bao gồm: tuyến số 1, tuyến số 2, tuyến số 2A, tuyến số 3, tuyến số 5 và tuyến số 6. Các tuyến này được khai thác dưới nhiều hình thức như tàu điện ngầm, đường sắt trên cao, đường sắt đi nổi và hệ thống xe buýt nhanh khối lượng lớn (BRT) [14].

### 4.2. Những thuận lợi và khó khăn khi tổ chức hệ thống các phương tiện bổ trợ cho ĐSĐT tại Hà Nội

Việc tổ chức hệ thống phương tiện bổ trợ cho ĐSĐT tại Hà Nội hiện nay đang có nhiều yếu tố thuận lợi. Trước hết, thành phố đã phê duyệt các đồ án quy hoạch và xác định rõ mô hình phát triển đô thị theo định hướng giao thông công cộng (TOD), tạo tiền đề vững chắc để ưu tiên nguồn lực cho hạ tầng kết nối. Một số tuyến ĐSĐT đã đi vào hoạt động (như tuyến số 2A; tuyến số 1) và hệ thống ĐSĐT đang được triển khai xây dựng một số tuyến đang được đầu tư xây dựng sẽ là chất xúc tác mạnh mẽ, mở ra cơ hội lớn trong việc gắn kết các loại hình giao thông trong toàn thành phố.

Hình 4. Hệ thống các tuyến ĐSĐT tại Hà Nội đến năm 2030 tầm nhìn 2050

Bên cạnh đó, Hà Nội có mạng lưới xe buýt hiện trạng với độ phủ rộng khắp các quận huyện và kinh nghiệm vận hành dày dặn; việc điều chỉnh các tuyến này thành hệ thống xe buýt gom là khả thi và kinh tế nhất để thu gom khách về các nhà ga. Giải pháp này không chỉ tận dụng tối đa nguồn lực sẵn có, giảm thiểu chi phí đầu tư mới mà còn tạo ra sự kết nối liên hoàn, giúp thu gom và trung chuyển hành khách từ các khu dân cư sâu trong nội đô về các nhà ga đường sắt đô thị một cách nhanh chóng và hiệu quả.

Phát triển không gian ngầm cũng là cơ hội đầy hứa hẹn cho việc kết nối ĐSĐT, nhất là ở khu vực trung tâm thành phố nơi mật độ xây dựng hiện tại lớn và chiều cao công trình bị hạn chế. Không gian ngầm có thể gắn kết theo nghĩa đen với các nhà ga đường sắt ngầm cho mục đích thương mại (ví dụ như mua sắm) và công ích (bãi đỗ ngầm). Nếu bố trí mạng lưới rộng rãi các lối đi bộ ngầm có điều hòa không khí thì có thể nối các điểm quan trọng trong trung tâm thành phố một cách hiệu quả và khuyến khích người dân đi bộ, tiếp cận nhà ga. Việc liên kết, vận hành toàn bộ hệ thống GTCC của các đô thị cũng gặp nhiều trở ngại. Tại Hà Nội, theo quy hoạch mạng lưới vận tải hành khách công cộng có sức chuyên chở lớn sẽ tạo nên nhiều điểm giao cắt, kết nối và đều là những điểm rất phức tạp. Bên cạnh đó còn có các nhà ga trung gian và nhiều điểm dừng đỗ xe buýt. Các dự án xây dựng ĐSĐT có chi phí xây dựng rất lớn, thi công phức tạp, chủ yếu sử dụng hình thức vay vốn ODA nước ngoài. Khi sử dụng vốn ODA của nước nào thì sẽ dùng khung tiêu chuẩn, công nghệ xây dựng của nước đó. Hơn nữa mỗi tuyến ĐSĐT có phân kỳ đầu tư xây dựng khác thời điểm nên việc kết nối các tuyến là rất khó khăn [3], [4], [12].

Mật độ xây dựng của thành phố, đặc biệt tại khu vực trung tâm, rất lớn, trong khi diện tích đất dành cho giao thông tĩnh (bãi đỗ xe) còn thiếu hụt. Điều này trở thành rào cản đáng kể đối với người dân khi chuyển từ phương tiện cá nhân sang sử dụng ĐSĐT. Sự thiếu đồng bộ giữa hạ tầng giao thông tĩnh và mạng lưới ĐSĐT đã làm giảm tính kết nối của hệ thống, từ đó ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu quả khai thác và mục tiêu giảm thiểu phương tiện cá nhân của thành phố.

Trong thời gian qua, việc đầu tư xây dựng GTCC, mở rộng các tuyến đường đã gặp nhiều khó khăn đặc biệt trong công tác giải phóng mặt bằng và giải quyết những vấn đề phát sinh trong quá trình quản lý. Một số dự án trọng điểm tại Hà Nội bị chậm tiến độ do không có mặt bằng để thi công.. Đây cũng là một trở ngại lớn khi thành phố muốn xây dựng hệ thống vận tải hành khách công cộng và thực hiện việc cấu trúc lại đô thị.

## 5. MỘT SỐ GIẢI PHÁP TỔ CHỨC HỆ THỐNG CÁC PHƯƠNG TIỆN BỔ TRỢ CHO ĐSĐT TẠI HÀ NỘI

Để hệ thống các phương tiện bổ trợ cho ĐSĐT thị tại Hà Nội được tổ chức tốt, cần triển khai một số giải pháp sau:

Hoàn thiện hệ thống văn bản quy phạm pháp luật và thể chế về vận tải hành khách công cộng. Cần xác định rõ mối tương quan giữa các loại hình giao thông và ban hành hướng dẫn xây dựng cụ thể. Xây dựng một khung pháp lý phù hợp, tạo môi trường thuận lợi, khuyến khích các doanh nghiệp tư nhân đầu tư phát triển dịch vụ vận tải hành khách công cộng và kết nối hệ thống này với các loại hình khác.

Việc đẩy nhanh tiến độ đầu tư xây dựng các tuyến ĐSĐT là yêu cầu cấp thiết để giải quyết triệt để bài toán ùn tắc và ô nhiễm tại các đô thị lớn. Tuy nhiên, tốc độ xây dựng hạ tầng phải luôn đi đôi với việc nâng cao năng lực quản lý và vận hành toàn hệ thống để đảm bảo tính an toàn, chính xác và hiệu quả lâu dài. Để hiện thực hóa mục tiêu này, cần chủ động tăng cường học tập, chuyển giao kinh nghiệm quy hoạch và kỹ thuật từ các quốc gia có hệ thống ĐSĐT tiên tiến, đặc biệt là các nước có điều kiện kinh tế - xã hội tương đồng. Sự kết hợp chặt chẽ giữa việc tăng tốc thi công, làm chủ công nghệ vận hành hiện đại và tiếp thu tinh hoa quản lý quốc tế sẽ là "chìa khóa" để tạo nên một mạng lưới GTCC bền vững.

Tăng cường công tác truyền thông nhằm khuyến khích người dân sử dụng GTCC. Hoạt động truyền thông có thể góp phần biến việc sử dụng xe buýt hay ĐSĐT thành biểu tượng của lối sống văn minh và hiện đại, từ đó người dân sẽ tự nguyện lựa chọn GTCC như một giải pháp di chuyển ưu tiên trong sinh hoạt hằng ngày.

## 6. KẾT LUẬN

Việc phát triển ĐSĐT là bước đi chiến lược để Hà Nội giải quyết tình trạng ùn tắc giao thông, hướng tới mục tiêu xây dựng một Thủ đô hiện đại. Qua nghiên cứu thực tiễn và kinh nghiệm quốc tế, có thể thấy hiệu quả của ĐSĐT không chỉ phụ thuộc vào bản thân các tuyến mà còn gắn chặt với khả năng kết nối với các hệ thống phương tiện bổ trợ như xe buýt, phương tiện cá nhân và mạng lưới đường đi bộ. Mặc dù Hà Nội có nhiều thuận lợi từ định hướng quy hoạch, thành phố vẫn phải đối mặt với không ít thách thức trong việc xây dựng một hệ thống GTCC đồng bộ và hiệu quả.

Do đó, cần triển khai đồng bộ các giải pháp như: thu hút hành khách sử dụng GTCC; tăng cường kết nối giữa các thành phần của hệ thống GTCC; tận dụng hiệu quả các nguồn lực cho phát triển hạ tầng; xây dựng cơ chế, chính sách linh hoạt; và đảm bảo sự phối hợp chặt chẽ giữa các cơ quan quản lý nhà nước. Đây là những yếu tố quan trọng nhằm phát huy tối đa hiệu quả của mạng lưới ĐSĐT đang được xây dựng và khai thác tại Thủ đô.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO


[1] UBND TP Hà Nội, *Quyết định số 6369/QĐ-UBND phê duyệt Đề án giao thông thông minh trên địa bàn thành phố Hà Nội*, Hà Nội, 2024.

[2] Cơ quan Hợp tác Quốc tế Nhật Bản (JICA), UBND TP Hà Nội, *Chương trình phát triển đô thị tổng thể Thủ đô Hà Nội, nước CHXHCN Việt Nam (HAIDEP)*, Hà Nội, 2007.

[3] Cơ quan Hợp tác Quốc tế Nhật Bản (JICA), UBND TP Hà Nội, *Dự án phát triển UMRT gắn kết với phát triển đô thị tại Hà Nội, nước CHXHCN Việt Nam (HAIMUD1)*, Hà Nội, 2010.

[4] Cơ quan Hợp tác Quốc tế Nhật Bản (JICA), UBND TP Hà Nội, *Dự án nghiên cứu thực hiện phát triển đường sắt đô thị gắn kết với phát triển đô thị tại Hà Nội, Việt Nam (HAIMUD2)*, Hà Nội, 2015.

[5] UBND TP Hà Nội, *Quyết định số 913/QĐ-UBND phê duyệt Quy hoạch chung không gian xây dựng ngầm đô thị trung tâm thành phố Hà Nội đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050 (tỷ lệ 1/10.000)*, Hà Nội, 2022.

[6] PGS.TS Nguyễn Ngọc Châu, *Giao thông công cộng thành phố*, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội, 2014.

[7] PGS.TS Vũ Thị Vinh, *Giao thông thành phố*, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội, 1978.

[8] PGS.TS Phạm Trọng Mạnh, Nguyễn Mạnh Hùng, Thân Đình Vinh, *Giáo trình Quy hoạch giao thông đô thị*, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội, 2017.

[9] PGS.TS Nguyễn Hồng Tiến, *Quy hoạch và hạ tầng kỹ thuật đô thị*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2011.

[10] PGS.TS Hồ Ngọc Hùng, ThS Hồ Thu Phương, *Giao thông hành khách công cộng tốc độ cao, sức chở lớn trong phát triển đô thị*, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội, 2016.

[11] Carlos F. Daganzo, *Public Transportation Systems*, University of California, Berkeley, USA, 2010.

[12] Bộ Xây dựng Việt Nam, Bộ Đất đai, Hạ tầng, Giao thông và Du lịch Nhật Bản, *Kỷ yếu hội thảo mô hình phát triển đô thị tại các đầu mối trung chuyển giao thông*, Hà Nội, 2014.

[13] Lê Chính Trực, *Tổ chức không gian tại khu vực phát triển theo định hướng giao thông (TOD) đối với đô thị trung tâm Hà Nội*, Luận án Tiến sĩ, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội, 2023.

[14] Thủ tướng Chính phủ, *Quyết định số 1259/QĐ-TTg phê duyệt Quy hoạch chung xây dựng Thủ đô Hà Nội đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050*, Hà Nội, 2008.

[15] Thủ tướng Chính phủ, *Quyết định số 1668/QĐ-TTg phê duyệt Điều chỉnh Quy hoạch chung Thủ đô Hà Nội đến năm 2045, tầm nhìn đến năm 2065*, Hà Nội, 2024.

■Ngày nhận bài: 02/01/2026 ■Ngày sửa bài: 11/01/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 23/01/2026

# Thiết lập cường độ mưa - thời đoạn - tần suất theo hàm Gumbel cho thoát nước mưa khu vực Hà Nội

## Development of rainfall intensity-duration-frequency (IDF) curves using the Gumbel probability distribution for urban drainage design in Hanoi, Vietnam

**> TS HÀ XUÂN ÁNH**
Khoa Kỹ thuật hạ tầng và Môi trường đô thị, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội
Email: haxuananh.hau@gmail.com

**TÓM TẮT**

Trong tính toán thiết kế hệ thống thoát nước mưa nói chung, cường độ mưa có ý nghĩa quan trọng và được sử dụng phổ biến trong việc tính toán lưu lượng mưa thiết kế. Do chịu sự chi phối của các yếu tố khí hậu địa phương, việc lựa chọn phân phối xác suất để phân tích tần suất mưa và phương pháp xác định tham số khiến cho các công thức cường độ mưa được thiết lập sẽ có những đáp ứng khác nhau so với số liệu cường độ mưa - thời đoạn - tần suất (IDF) thực nghiệm. Nghiên cứu này tập trung vào việc thiết lập mối quan hệ cường độ mưa - thời đoạn - tần suất dựa trên cơ sở chuỗi quan trắc số liệu mưa của trạm khí tượng thuộc TP Hà Nội theo phân phối Gumbel. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng quan hệ IDF được thiết lập phản ánh khả quan hơn với số liệu IDF thực nghiệm. Các phương pháp sử dụng trong nghiên cứu này có thể ứng dụng tốt trong việc xây dựng mối quan hệ cường độ mưa - thời đoạn - tần suất cho các khu vực đô thị khác, phục vụ có hiệu quả cho việc thiết kế hệ thống tiêu thoát nước mưa đô thị.

**Từ khóa:** Cường độ mưa; IDF; Gumbel; thống kê khí tượng; phân phối xác suất; phân phối thực nghiệm.

**ABSTRACT**

In the design and calculation of stormwater drainage systems, the design rainfall intensity plays a crucial role and is widely used in runoff calculations. Due to the influence of local climatic factors, the selection of probability distributions for rainfall frequency analysis and the methods used to determine parameters for empirical equations result in a variety of equations compared to traditional Rainfall Intensity-Duration-Frequency curves. This paper focuses on developing the relationship between rainfall intensity - duration - frequency, commonly referred to as the IDF relationship based on observed rainfall data from the meteorological station in Hanoi and Gumbel distribution. The results indicate that the proposed aligns more closely with Rainfall Intensity-Duration-Frequency curves. The methods introduced in this paper can be effectively applied to develop design rainfall intensity equations for other urban areas, providing valuable support for the design of urban stormwater drainage systems.

**Keywords:** Rainfall intensity; IDF; Gumbel; meteorological statistics; probability distribution; empirical distribution.

### 1. MỞ ĐẦU

Thông thường, một trận mưa rào thiết kế được sử dụng, trong đó xét đến quan hệ giữa cường độ mưa, thời đoạn và tần suất, hay thời kỳ lặp lại, gọi tắt là quan hệ IDF. Ý tưởng xây dựng quan hệ cường độ mưa - thời đoạn - tần suất đã có từ thời Bernard (1932) [11] và được phát triển rộng rãi trên toàn thế giới, trong đó sản phẩm của các nghiên cứu được thể hiện dưới các dạng sau: (1) bản đồ phân bố cường độ mưa; (2) biểu đồ quan hệ đường cong IDF; (3) công thức xác định cường độ mưa tính toán. Nhìn chung, khi có đủ số liệu mưa, các đường cong IDF có thể được xây dựng bằng phương pháp thống kê và phân tích tần suất.

Tại Việt Nam, tiêu chuẩn quốc gia về Thoát nước - Mạng lưới và công trình bên ngoài - TCVN 7957:2023 [2] đã chỉ rõ việc tính toán cường độ mưa có thể được xác định bằng biểu đồ theo quan hệ cường độ - thời đoạn - tần suất cho từng vùng lãnh thổ. Ở nước ta, việc xây dựng hệ thống kết cấu hạ tầng, đặc biệt là hệ thống tiêu thoát nước trước đây được xây dựng với chuỗi số liệu mưa, lũ quá ngắn, đặc biệt là thiếu các số liệu về mưa, lũ lịch sử đã gây nên hiện tượng lũ vượt thiết kế, nhất là mưa với cường độ quá lớn xảy ra trong thời gian ngắn, gây nên tình trạng gập úng khi có mưa lớn, đặc biệt là TP Hà Nội. Trong những năm gần đây, biến đổi mưa cực trị cho TP Hà Nội [6] sử dụng hai chỉ tiêu là độ lệch chuẩn và biến suất lượng mưa cho thấy lượng mưa cực trị đang có xu hướng gia tăng. Điều

này được chứng minh qua các trận mưa lịch sử liên tiếp xảy ra trong các năm gần đây tại Hà Nội. Trong 50 năm qua lượng mưa một ngày lớn nhất có xu thế tăng với tốc độ tăng khoảng 0,6% đến 0,9% cho mỗi thập kỷ.

Trong hai thập kỷ vừa qua, đã có một số tác giả thực hiện các nghiên cứu sử dụng mối quan hệ cường độ mưa - thời đoạn - tần suất trong thiết kế hệ thống tiêu thoát nước mưa đô thị. Ứng Quốc Dũng (1996) [3] đã nghiên cứu về việc hoàn thiện phương pháp xác định lưu lượng nước mưa tính toán khi thiết kế hệ thống thoát nước mưa cho các đô thị Việt Nam. Nguyễn Thị Việt Hồng (2018) [5] nghiên cứu về cải tiến phương pháp xác định mô hình mưa và lưu lượng tiêu thiết kế cho các hệ thống tiêu thoát nước vùng Đồng bằng Bắc Bộ. Lê Song Giang và các cộng sự (2023) [4] đã thực hiện nghiên cứu xây dựng đường cong tổ hợp lượng mưa - mực nước phục vụ thiết kế hệ thống thoát nước mặt ở TP.HCM. Bùi Thị Thu Trang và cộng sự (2018) [13] đã thực hiện một nghiên cứu về phân tích các mô hình mưa phục vụ thiết kế hệ thống tiêu thoát nước mưa đô thị cho các khu vực chịu ảnh hưởng của gió mùa ở Việt Nam. Qua phân tích cường độ mưa tính toán thường sử dụng ở Việt Nam có thể nhận thấy, các công thức đều có các tham số phụ thuộc vào tính chất đặc thù của từng địa phương như đặc điểm khí hậu, vị trí địa lý, đặc trưng mưa. Tuy nhiên cũng không thể phủ nhận rằng các tham số này cũng cần được cập nhật do những biến động của các yếu tố chi phối đến giá trị các tham số này như đã phân tích ở trên. Để khắc phục những tồn tại này, một trong những mục tiêu cụ thể mà bài báo này đưa ra là thiết lập mối quan hệ cường độ mưa - thời đoạn - tần suất dựa trên việc phân tích lựa chọn hàm phân phối xác xuất với chuỗi số liệu mưa các thời đoạn được cập nhật bổ sung gần nhất cho TP Hà Nội. Tại đây, các đường cong quan hệ IDF được xây dựng cho trạm khí tượng có sô liệu đo mưa đủ dài sẽ là cơ sở quan trọng để thiết lập công thức cường độ mưa cho tính toán tiêu thoát nước mưa đô thị sau này.

## 2. CƠ SỞ VỀ LÝ THUYẾT XÁC SUẤT VÀ THỐNG KÊ TRONG TÍNH TOÁN THIẾT LẬP MỐI QUAN HỆ CƯỜNG ĐỘ MƯA - THỜI ĐOẠN - TẦN SUẤT

Một số kiến thức cơ sở về thống kê và xác suất ứng dụng trong khí tượng được tham khảo trong [7], [12], [15].

### 2.1. Cơ sở về lý thuyết xác suất

Trong toán học, *hàm mật độ xác suất* dùng để biểu diễn một phân bố xác suất theo tích phân. Một cách trực quan, hàm mật độ xác suất có thể được coi là phiên bản được *làm mịn* của một biểu đồ tần số. *Hàm phân phối tích lũy* mô tả đầy đủ phân phối xác suất của một đại lượng ngẫu nhiên giá trị thực $X$. Với mỗi số thực $x$, hàm phân phối tích lũy được định nghĩa như sau $F(x) = P(X \le x)$. trong đó vế phải biểu diễn xác suất mà đại lượng ngẫu nhiên $X$ lấy giá trị nhỏ hơn hay bằng $x$.

Giá trị kỳ vọng của một đại lượng ngẫu nhiên là trung bình có trong số của tất cả các giá trị cụ thể của biến đó, hay là được tính bằng tổng các tích giữa xác suất xảy ra của mỗi giá trị có thể của biến với giá trị đó. Giá trị kỳ vọng này được chứng minh xấp xỉ giá trị trung bình thực nghiệm khi số lượng được quan sát đủ lớn.

### 2.2. Cơ sở về thống kê

*Tần số* là số lần xuất hiện một giá trị nào đó trên tổng số lần thử nghiệm hay quan sát. *Tần suất luỹ tích* là tỷ số giữa tổng số lần xuất hiện một trị số lớn hơn hoặc bằng một trị số nào đó so với tổng số lần thử nghiệm. Trong khí tượng thủy văn, tần suất luỹ tích được tính bằng $\frac{m}{n}$, nghĩa là trong $n$ năm quan trắc có $m$ lần xuất hiện trị số lớn hơn hoặc bằng một trị số mà ta đang xét. Đường tần suất kinh nghiệm là đường cong biểu thị quan hệ giữa tần suất $P_i$ với giá trị $x_i$ tương ứng, trong đó:

$$P_i = P(X \ge x_i). \quad (1)$$

*Số trung bình* $\overline{x}$ là giá trị trung bình số học của chuỗi số liệu. Số trung bình là một trong những số đặc trưng cơ bản và quan trọng nhất của chuỗi số liệu. Khi số lần quan sát đủ lớn, số trung bình có xu hướng tiến sát đến kỳ vọng toán học của đại lượng ngẫu nhiên được quan tâm.

*Phương sai mẫu* là trung bình của bình phương độ lệch của các giá trị xung quanh giá trị trung bình. *Độ lệch mẫu* là một đại lượng thống kê mô tả dùng để đo mức độ phân tán của một tập dữ liệu đã được lập thành bảng tần số. *Độ thiên lệch* (còn gọi là *độ xiên, hệ số bất đối xứng*) là số dùng để đo độ bất đối xứng của chuỗi số liệu. Đối với hiện tượng thuỷ văn, do thường có chuỗi số liệu không dài, người ta thường sử dụng các công thức sau để tính độ lệch mẫu $s$ và độ thiên lệch $C_s$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \overline{x})^2}{n-1}}, C_s = \frac{\frac{1}{n-2}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \overline{x})^3}{s^3} \quad (2)$$

Khi cường độ của một sự kiện thủy khí hậu khác biệt đáng kể so với mức trung bình hoặc phạm vi cường độ thông thường, thì các sự kiện như vậy được gọi là các sự kiện cực đoan. Cái này có thể diễn ra trong một ngày hoặc một khoảng thời gian, ví dụ: bão lớn, lũ quét, hạn hán. Các loại sự kiện khí hậu cực đoan này ảnh hưởng đến hệ thống mức độ lớn. Phân tích tần suất được thực hiện để xác định tần suất xảy ra (hoặc xác suất xảy ra) của các sự kiện cực đoan như vậy.

### 2.3. Quan hệ cường độ mưa - thời đoạn - tần suất

Trong thiết kế thoát nước mưa, một trong những yếu tố đầu tiên là cần phải xác định được cường độ mưa $q$ của khu vực thiết kế.

Thông thường người ta sử dụng một trận mưa rào thiết kế hoặc biến cố trong đó có xét tới quan hệ giữa cường độ mưa, thời gian mưa và tần suất hay còn gọi là thời kỳ lặp lại, gọi tắt là quan hệ IDF. Thông thường quan hệ IDF được biểu thị dưới dạng đồ thị, trong đó thời gian mưa được đặt trên trục hoành, cường độ mưa trên trục tung và một họ đường cong IDF, mỗi đường tương ứng với một chu kỳ lặp lại. Khi có đủ các số liệu về mưa, các đường cong IDF có thể được xây dựng bằng phân tích tần suất. Ứng với mỗi thời đoạn mưa lựa chọn, lượng mưa lớn nhất năm được thống kê từ tập số liệu mưa thực đo, sau đó tiến hành phân tích tần suất đối với chuỗi số liệu năm.

## 3. THIẾT LẬP MỐI QUAN HỆ CƯỜNG ĐỘ MƯA - THỜI ĐOẠN - TẦN SUẤT THEO PHÂN PHỐI XÁC SUẤT THỰC NGHIỆM

### 3.1. Khu vực nghiên cứu và số liệu

Có thể nói, một trong những hạn chế lớn nhất của việc thiết lập mối quan hệ IDF là sự hạn chế về độ dài và mức độ chi tiết của số liệu mưa tự động có độ phân giải không gian và thời gian cao trong khu vực Hà Nội. Các số liệu này cần có chuỗi số liệu đủ dài (ít nhất 20-30 năm) để nắm bắt được các chu kỳ nền trong đặc trưng biến đổi lượng mưa. Thông qua việc thu thập và phân tích chuỗi số liệu đo mưa từ các trạm khí tượng và trạm đo mưa trong khu vực TP Hà Nội, nghiên cứu này sử dụng chuỗi số liệu mưa của trạm khí tượng Hà Đông (Hình 1). Đây là trạm khí tượng thuộc khu vực nội đô, có vai trò đặc biệt quan trọng và được đánh giá là có chuỗi số liệu mưa dài, đồng bộ và chi tiết, phù hợp cho việc nghiên cứu và tính toán xác định công thức cường độ mưa.

Chuỗi số liệu quan trắc mưa được sử dụng tính từ năm 1973 đến năm 2023, tương đương 50 năm [1]. Cũng như các khu vực đã đô thị

hóa khác, hệ thống thoát nước mưa đô thị hiện tại là hệ thống thoát nước chung cho cả nước mưa, nước thải. Hệ thống cống thoát nước này phần lớn được xây dựng từ thời Pháp và được xây dựng bổ sung trong những năm gần đây. Khi không có mưa lớn việc thoát nước cho Hà Đông và các vùng lân cận đều tốt, song những năm gần đây do mực nước sông Nhuệ có xu hướng dâng cao, mưa lớn thường xuyên xảy ra, tốc độ phát triển đô thị nhanh nên tại khu vực Hà Đông cũng thường bị úng ngập cục bộ.

**3.2. Lựa chọn hàm phân bố xác suất**

Chương trình Thủy văn quốc tế (International Hydrological Program - IHP) khu vực châu Á - Thái Bình Dương thuộc Cơ quan thường trực UNESCO có trụ sở tại Jakarta. Năm 2005, chương trình này đã khuyến nghị các nước thành viên, trong đó có Việt Nam, xây dựng các hệ thống đường cong IDF nhằm thúc đẩy phát triển bền vững cơ sở hạ tầng [9], [10]. Thời đoạn mưa được lựa chọn để tính toán phổ biến tại các quốc gia trong khu vực gồm nhiều khoảng thời gian khác nhau, như: 5 p, 10 p, 15 p, 30 p, 45 p, 60 p, 90 p, 120 p, 150 p, 180 p, 360 p, 720 p và 1440 p. Theo đó, các hàm phân phối tần suất được khuyến nghị sử dụng để tính toán tần suất bao gồm: Pearson III (Trung Quốc, Hàn Quốc, Việt Nam), Log-Pearson III (Indonesia, Hàn Quốc, Việt Nam), và Gumbel (EV1) (Australia, New Zealand, Nhật Bản, Philippines, Malaysia, Việt Nam). Các công thức xác định quan hệ cường độ mưa - thời đoạn - tần suất được sử dụng phổ biến trong khu vực bao gồm các công thức Talbot, Bernard, Kimijima, Wenzel và Sherman [14].

Việc sử dụng phân phối xác suất để xấp xỉ các số liệu thực nghiệm mang lại nhiều ưu điểm [8]. Thêm vào đó, do hạn chế của dung lượng mẫu, đặc biệt số liệu khí tượng thuỷ văn thường có dung lượng nhỏ, số liệu thực nghiệm chỉ phản ảnh được sự biến đổi của đặc trưng yếu tố trong phạm vi biến đổi của tập mẫu. Việc sử dụng phân phối lý thuyết cho phép chúng ta ước lượng xác suất cho những sự kiện nằm ngoài phạm vi của tập mẫu, đặc biệt là ước lượng xác suất xảy ra các tình huống cực đoan.

Nghiên cứu sẽ tiến hành so sánh 3 phân phối được kiến nghị sử dụng là Person-III, Log-Person-III và Gumbel để xác định hàm phân phối phản ánh gần nhất với số liệu thực nghiệm, từ cơ sở đó thiết lập mối quan hệ cường độ mưa - thời đoạn - tần suất phù hợp.

**3.3. Tính toán cho trạm Hà Đông với thời đoạn 5 phút theo ba phân phối đề nghị**

Nghiên cứu sử dụng số liệu lượng mưa lớn nhất thời đoạn của Viện Khí tượng Thủy văn Việt Nam (VNIMH) tại trạm Hà Đông giai đoạn 1973-2023 [1]. Bảng 1 là dữ liệu đo mưa cực đại trong 5 phút tại trạm Hà Đông.

Bảng 1. Dữ liệu đo mưa cực đại trong 5 phút tại trạm Hà Đông (1973-2023)

| Năm | Dữ liệu | Ngày đo | Năm | Dữ liệu | Ngày đo | Năm | Dữ liệu | Ngày đo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1973 | 7.2 | 17-IX | 1990 | 13.5 | 19-II | 2007 | 18.6 | 21-VIII |
| 1974 | 14.5 | 19-V | 1991 | 15.3 | 21-VI | 2008 | 22.5 | 31-X |
| 1975 | 14.6 | 7-X | 1992 | 19.6 | 10-V | 2009 | 14.5 | 2-VI |
| 1976 | 15.0 | 22-V | 1993 | 22.6 | 23-VI | 2010 | 17.9 | 15-VIII |
| 1977 | 10.6 | 8-IV | 1994 | 15.4 | 30-VIII | 2011 | 8.6 | 11-V |
| 1978 | 17.5 | 22-IX | 1995 | 13.2 | 22-VIII | 2012 | 12.4 | 22-V |
| 1979 | 11.5 | 7-VII | 1996 | 14.2 | 22-VII | 2013 | 7.4 | 9-VIII |
| 1980 | 16.5 | 23-VI | 1997 | 19.5 | 16-VIII | 2014 | 19.8 | 21-IX |
| 1981 | 13.2 | 3-VIII | 1998 | 20.9 | 16-V | 2015 | 20.0 | 26-VIII |
| 1982 | 8.5 | 15-XI | 1999 | 13.5 | 15-VII | 2016 | 14.9 | 25-V |
| 1983 | 12.5 | 29-IV | 2000 | 13.1 | 25-VI | 2017 | 11.0 | 13-VII |
| 1984 | 19.5 | 18-V | 2001 | 12.9 | 4-VI | 2018 | 19.8 | 12-V |
| 1985 | 16.5 | 8-IX | 2002 | 17.5 | 30-VI | 2019 | 12.8 | 19-IX |
| 1986 | 11.5 | 4-IX | 2003 | 26.5 | 3-V | 2020 | 15.5 | 3-III |
| 1987 | 14.5 | 21-VI | 2004 | 11.4 | 27-VI | 2021 | 10.0 | 17-IV |
| 1988 | 10.5 | 2-VIII | 2005 | 12.8 | 21-VII | 2022 | 19.8 | 5-VII |
| 1989 | 11.5 | 4-VI | 2006 | 12.1 | 9-IX | 2023 | 19.8 | 31-VII |

Với việc sử dụng phân phối Pearson III, dựa trên số liệu đo mưa trong Bảng 1, từ bảng số liệu đo mưa tính được trung bình mẫu $\overline{x} = 15.0$, độ lệch mẫu $s = 4.201$, độ xiên $C_s = 0.405$. Sử dụng bảng hệ số tần suất và hệ số bất đối xứng để tìm các giá trị $K_T$ cho các thời gian lặp lại 2 năm, 5 năm, 10 năm, 25 năm, 50 năm, và 100 năm.

$$K_T\left(C_s = 0.405\right) = 0.95K_T\left(C_s = 0.4\right) + 0.05K_T\left(C_s = 0.5\right). \quad (3)$$

Tính được giá trị $K_T$ ứng với các thời gian lặp lại $T$ năm và hệ số $C_s = 0.405$. Từ đó tính được cường độ mưa tương ứng các thời gian lặp lại $T$ tại Bảng 2.

Bảng 2. Cường độ mưa quy đổi tính theo phân phối Pearson III

| Thời gian lặp lại (năm) | $K_T$ tại $C_s = 0.5$ | $K_T$ tại $C_s = 0.4$ | $K_T$ tại $C_s = 0.405$ | Lượng mưa trong 5 phút (mm) | Cường độ mưa (mm/h) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | -0.083 | -0.066 | -0.068 | 15.875 | 190.5 |
| 5 | 0.808 | 0.816 | 0.815 | 20.116 | 241.4 |
| 10 | 1.323 | 1.317 | 1.318 | 22.530 | 270.4 |
| 25 | 1.91 | 1.88 | 1.884 | 25.249 | 303.0 |
| 50 | 2.311 | 2.261 | 2.268 | 27.091 | 325.1 |
| 100 | 2.686 | 2.615 | 2.625 | 28.804 | 345.7 |

Để sử dụng phân phối Log-Pearson III, trước hết tính log của số liệu đo mưa trong 5 phút và có được các số đặc trưng ứng với bộ số liệu đã được lôgarit hoá này là mẫu $\bar{y} = 1.2$, độ lệch mẫu $s = 0.125$ độ xiên $C_s = -0.313$. Từ đó tính được giá trị của $\log x$ tương ứng các thời gian lặp lại $T$. Mũ hoá $x = 10^{\log x}$ thu được cường độ mưa tại Bảng 3.

Bảng 3. Cường độ mưa quy đổi tính theo phân phối Log-Pearson III

| Thời gian lặp lại (năm) | $K_T$ tại $C_s = -0.3$ | $K_T$ tại $C_s = -0.4$ | $K_T$ tại $C_s = -0.313$ | Giá trị của $\log x$ | Lượng mưa trong 5 phút (mm) | Cường độ mưa (mm/h) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 0.05 | 0.066 | 0.052 | 1.165 | 14.634 | 175.6 |
| 5 | 0.853 | 0.855 | 0.853 | 1.266 | 18.441 | 221.3 |
| 10 | 1.245 | 1.231 | 1.243 | 1.315 | 20.638 | 247.7 |
| 25 | 1.643 | 1.606 | 1.638 | 1.364 | 23.130 | 277.6 |
| 50 | 1.89 | 1.834 | 1.882 | 1.395 | 24.821 | 297.8 |
| 100 | 2.104 | 2.029 | 2.094 | 1.421 | 26.383 | 316.6 |

Tiếp theo, áp dụng công thức tính theo phân phối Gumbel

$$x = \bar{x} + K_T.s. \quad (4)$$

trong đó $K_T$ là hệ số ứng với thời gian lặp lại $T$ và dung lượng của mẫu số liệu $n = 51$. Từ đó tính được cường độ mưa trong thời đoạn 5 phút theo phân phối Gumbel tương ứng các thời gian lặp lại $T$ tại Bảng 4.

Bảng 4. Cường độ mưa quy đổi tương ứng các thời gian lặp lại tính theo phân phối Gumbel

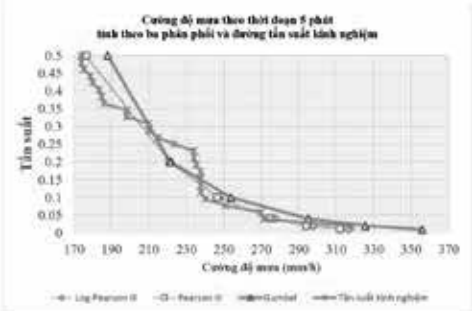
| Thời gian lặp lại (năm) | $K_T$ | Lượng mưa thời đoạn 5 phút (mm) | Cường độ mưa (mm/h) |
|---|---|---|---|
| 2 | 0.160 | 15.670 | 188.0 |
| 5 | 0.819 | 18.439 | 221.3 |
| 10 | 1.464 | 21.149 | 253.8 |
| 25 | 2.281 | 24.581 | 295.0 |
| 50 | 2.885 | 27.119 | 325.4 |
| 100 | 3.486 | 29.644 | 355.7 |

Từ các Bảng 2, 3 và 4 thu được bảng tính cường độ mưa ứng với thời đoạn 5 phút (Bảng 5) theo các phân phối tương ứng.

Bảng 5. Cường độ mưa của trạm Láng trong thời đoạn 5 phút theo ba phân phối

| Chu kỳ lặp lặp (năm) | Tần suất lặp lại | Cường độ mưa (mm/h) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Log-Pearson III | Pearson III | Gumbel |
| 2 | 0.5 | 175.6 | 190.5 | 188.0 |
| 5 | 0.2 | 221.3 | 241.4 | 221.3 |
| 10 | 0.1 | 247.7 | 270.4 | 253.8 |
| 25 | 0.04 | 277.6 | 303.0 | 295.0 |
| 50 | 0.02 | 297.8 | 325.1 | 325.4 |
| 100 | 0.01 | 316.6 | 345.7 | 355.7 |

Từ đó nghiên cứu thiết lập cường độ mưa tính theo ba phân phối với đường tần suất kinh nhiệm. Hình 1 dưới đây thể hiện phần biểu đồ ứng với xác suất từ 0.5 trở xuống.




Hình 1. So sánh cường độ mưa tại trạm Hà Đông ứng với thời đoạn 5 phút

Kết quả từ Hình 1chỉ ra rằng các phân phối đã chọn gồm Pearson III, Log-Pearson III, Gumbel đều phản ánh tương đối sát đường tần suất kinh nghiệm. Điều này chứng tỏ các phân phối lý thuyết này đều là những xấp xỉ tốt cho số liệu đo mưa. Tuy nhiên, nhận định ban đầu cho thấy phân phối Gumbel phản ánh sát hơn đường tần suất kinh nghiệm.

Để kiểm tra tính phù hợp với của các phân phối đã chọn với số liệu quan sát, phân phối Chi-bình phương $\chi^2$ được sử dụng theo công thức như sau:

$$\chi^2 = \Sigma \frac{(O_f - E_f)^2}{E_f}. \quad (5)$$

trong đó $O_f$ là tần số thực nghiệm (là số giá trị quan trắc thuộc khoảng đang xét), $E_f$ là tần số kỳ vọng. Các kết quả thu được được thể hiện trong Bảng 6, 7 và 8 tương ứng với các phân phối Gumbel, Pearson III và Log Pearson III.

Bảng 6. Kết quả kiểm tra $\chi^2$ phân phối Gumbel

| Khoảng giá trị | Xác suất lý thuyết | $E_f$ | $O_f$ | $\chi^2$ |
|---|---|---|---|---|
| <10.4 | 0.102 | 5.19 | 5 | 0.007 |
| 10.4 - 13.6 | 0.321 | 16.38 | 18 | 0.159 |
| 13.6 - 16.9 | 0.307 | 15.68 | 12 | 0.862 |
| 16.9 - 20.1 | 0.158 | 8.06 | 12 | 1.926 |
| 20.1 - 23.3 | 0.068 | 3.47 | 3 | 0.063 |
| > 23.3 | 0.044 | 2.22 | 1 | 0.672 |
| | 1.000 | 51 | 51 | 3.688 |

Bảng 7. Kết quả kiểm tra $\chi^2$ phân phối Pearson III

| Khoảng giá trị | Xác suất lý thuyết | $E_f$ | $O_f$ | $\chi^2$ |
|---|---|---|---|---|
| <10.4 | 0.129 | 6.58 | 5 | 0.379 |
| 10.4 - 13.6 | 0.256 | 13.04 | 18 | 1.883 |
| 13.6 - 16.9 | 0.295 | 15.05 | 12 | 0.620 |
| 16.9 - 20.1 | 0.186 | 9.49 | 12 | 0.665 |
| 20.1 - 23.3 | 0.081 | 4.12 | 3 | 0.305 |
| > . 23.3 | 0.053 | 2.71 | 1 | 1.083 |
| | 1.000 | 51 | 51 | 4.935 |

Bảng 8. Kết quả kiểm tra $\chi^2$ phân phối Log-Pearson III

| Khoảng giá trị | Xác suất lý thuyết | $E_f$ | $O_f$ | $\chi^2$ |
|---|---|---|---|---|
| < 10.4 | 0.126 | 6.45 | 5 | 0.325 |
| 10.4 - 13.6 | 0.251 | 12.78 | 18 | 2.130 |
| 13.6 - 16.9 | 0.289 | 14.75 | 12 | 0.514 |
| 16.9 - 20.1 | 0.182 | 9.30 | 12 | 0.785 |
| 20.1 - 23.3 | 0.108 | 5.49 | 3 | 1.128 |
| > 23.3 | 0.044 | 2.23 | 1 | 0.680 |
| | 1.000 | 51 | 51 | 5.561 |

Từ các Bảng 6, 7 và 8, có thể thấy rằng giá trị kiểm định theo phân phối Gumbel là nhỏ nhất, là cơ sở xác định phân phối Gumbel là phù hợp nhất khi xấp xỉ số liệu đo mưa. Từ đó, nghiên cứu sử dụng hàm phân phối Gumbel để thiết lập mối quan hệ cường độ mưa - thời đoạn - tần suất.

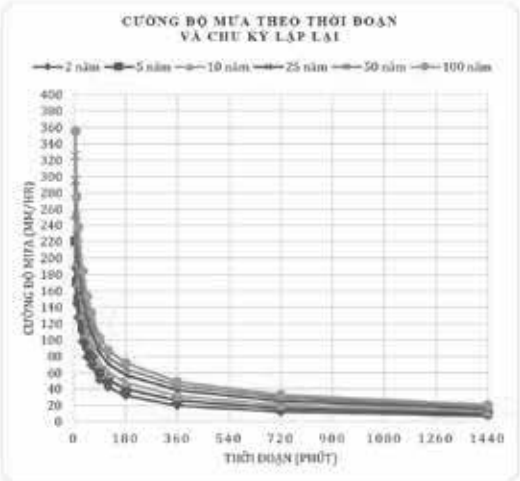
**3.4. Thiết lập mối quan hệ cường độ mưa - thời đoạn - tần suất theo phân phối Gumbel**

Dựa theo phương pháp đã thực hiện ở tiểu mục 3.3, nghiên cứu thu được bảng số liệu cường độ mưa các thời đoạn với thời gian lặp lại theo phân phối Gumbel tại Bảng 9.

Bảng 9. Bảng IDF cho trạm Hà Đông

| Thời đoạn | Cường độ mưa (mm/h) các thời đoạn ứng chu kỳ lặp lại | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2 năm | 5 năm | 10 năm | 25 năm | 50 năm | 100 năm |
| 5 | 188 | 221.3 | 253.8 | 295 | 325.4 | 355.7 |
| 10 | 144.7 | 170.5 | 195.9 | 227.9 | 251.6 | 275.2 |
| 15 | 127.6 | 149.5 | 170.9 | 198.1 | 218.1 | 238.1 |
| 30 | 97.6 | 114.7 | 131.5 | 152.7 | 168.4 | 184.1 |
| 45 | 79.3 | 94 | 108.4 | 126.7 | 140.2 | 153.6 |
| 60 | 69.2 | 81.9 | 94.3 | 110 | 121.6 | 133.2 |
| 90 | 51.1 | 61.3 | 71.2 | 83.8 | 93.1 | 102.4 |
| 120 | 42.3 | 51.1 | 59.8 | 70.8 | 78.9 | 87 |
| 180 | 32.1 | 40 | 47.6 | 57.4 | 64.6 | 71.7 |
| 360 | 20.2 | 25.8 | 31.4 | 38.5 | 43.7 | 48.9 |
| 720 | 12.5 | 16.6 | 20.5 | 25.5 | 29.1 | 32.8 |
| 1440 | 7.5 | 10.1 | 12.6 | 15.9 | 18.3 | 20.6 |

Từ đó vẽ được đường cong IDF tương ứng với các thời gian lặp lại là 2 năm, 5 năm, 10 năm, 25 năm, 50 năm, 100 năm và 200 năm (Hình 2).




Hình 2. Mối quan hệ cường độ mưa - thời đoạn - tần suất cho trạm Hà Đông

Căn cứ vào các kết quả trên có thể thấy rằng, qua việc phân tích lựa chọn hàm phân bố xác xuất dựa trên các dữ liệu mưa được cập nhật bổ sung và cơ sở chỉ tiêu kiểm định thống kê Chi-bình phương $\chi^2$, nghiên cứu đã sử dụng hàm Gumbel để xây dựng đường tần suất mưa có giá trị tương quan phù hợp nhất với quy luật biến đổi của các chuỗi số liệu quan trắc mưa thời đoạn ngắn tại trạm khí tượng Hà Đông.

## 4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã phân tích cơ sở lựa chọn các phân phối lý thuyết để xây dựng được mối quan hệ cường độ mưa - thời đoạn - tần suất theo chuỗi số liệu quan trắc mưa tại trạm khí tượng Hà Đông - Hà Nội trong giai đoạn 1973-2023. Với các kết quả nghiên cứu đã thể hiện, bài báo cũng chỉ ra rằng quan hệ IDF được thiết lập dựa trên hàm phân phối Gumbel phản ánh tốt hơn với các số liệu IDF thực nghiệm, đem lại cơ sở tính toán tốt hơn trong việc giải quyết các bài toán thiết kế hệ thống tiêu thoát nước mưa khu dân cư, đô thị.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Hà Xuân Ánh, "*Xác định cường độ mưa tính toán trong thiết kế thoát nước mưa thành phố Hà Nội*", Luận án tiến sĩ, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội, Hà Nội, 2025.

[2] Bộ Xây dựng, TCVN 7957:2023, "*Thoát nước - Mạng lưới và công trình bên ngoài - Yêu cầu thiết kế*", 2023.

[3] Ứng Quốc Dũng, "*Nghiên cứu hoàn thiện phương pháp xác định lưu lượng nước mưa tính toán khi thiết kế hệ thống thoát nước cho các đô thị Việt Nam*", Luận án tiến sĩ, Trường Đại học Xây dựng, Hà Nội, 1996.

[4] Lê Song Giang, Nguyễn Hoàng Thanh Bình, Nguyễn Thị Thanh Hoa, Diệp Nguyên Thịnh, "*Nghiên cứu xây dựng đường cong tổ hợp lượng mưa - mực nước phục vụ thiết kế hệ thống thoát nước mặt ở Thành phố Hồ Chí Minh*", *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, tập 59, số chuyên đề, tr. 213-220, 2023.

[5] Nguyễn Thị Việt Hồng, "*Nghiên cứu cải tiến phương pháp xác định mô hình mưa và lưu lượng tiêu thiết kế cho các hệ thống tiêu vùng Đồng bằng Bắc Bộ*", Luận án tiến sĩ, Trường Đại học Thuỷ lợi, Hà Nội, 2018.

[6] Liên danh Liên đoàn Quy hoạch và Điều tra Tài nguyên nước Miền Bắc, Viện Thuỷ văn, Môi trường và Biến đổi khí hậu, "*Xây dựng bản đồ nguy cơ ngập Thành phố Hà Nội có xét đến ảnh hưởng của biến đổi khí hậu*", Báo cáo tổng hợp, 2012.

[7] Phan Văn Tân, *Phương pháp thống kê trong khí hậu*, Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Hà Nội, 2005.

[8] Viện Khoa học Khí tượng Thuỷ văn và Biến đổi khí hậu, "*Xây dựng đường cong cường độ mưa - thời đoạn - tần suất (IDF) để tăng cường công tác quản lý nhà nước về thông tin khí tượng thuỷ văn phục vụ phát triển kinh tế - xã hội*", Báo cáo tổng kết, 2019.

[9] Anh T.N., Kha D.D., Duc D.D., Son N.T., "*Hydraulic modelling for flood vulnerability assessment: Case study in river basins in North Central Vietnam*", Conference on Integrated Water Resource Management, Management Policy and Decision Making Supports Jacques Cartier, Ho Chi Minh City, 2014.

[10] Bell F.C., "Generalized rainfall duration-frequency relationships", *Journal of the Hydraulics Division*, 95(1), 311-327, 1969.

[11] Bernard M.M., "Formulas for rainfall intensities of long durations", *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 96(1), 592-624, 1932.

[12] Maity R., *Statistical Methods in Hydrology and Hydroclimatology*, Springer Transactions in Civil and Environmental Engineering, Springer, Singapore, 2018.

[13] Trang B.T.T., Hanh N.T.H., Thuong N.T.H., Thuan N.V., "Analysis of Storm Pattern for Design Urban Drainage System in the Monsoon Areas of Vietnam", *Journal of Environmental Science and Engineering*, 7, 49-68, 2018.

[14] Wenzel H.G., "Rainfall for Stormwater Urban Design", in: Kibler D.F. (Ed.), *Urban Storm Water*, 1982.

[15] Uyen T.H., "Rainwater Collection and Use", Doctoral Thesis of Science, Moscow, 1990.

■Ngày nhận bài: 23/01/2026 ■Ngày sửa bài: 02/3/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 11/3/2026

# Nghiên cứu khoảng cách tối thiểu giữa nút giao liên thông và vị trí cửa hầm đường bộ trên các tuyến đường cao tốc

A Study on the Minimum spacing requirements between expressway interchanges and Road tunnel portals

**> TS NGUYỄN HỮU DŨNG**
Bộ môn Đường bộ, Khoa Công trình, Trường Đại học Giao thông vận tải
Email: dungnh@utc.edu.vn

## TÓM TẮT

Khoảng cách tối thiểu giữa nút giao khác mức liên thông và vị trí cửa hầm trên các tuyến đường bộ cao tốc đã được đề cập trong nhiều tiêu chuẩn thiết kế trên thế giới nhằm đảm bảo an toàn giao thông và tính hợp lý trong kết nối liên vùng, tổ chức khai thác và vận hành tuyến. Tuy nhiên, các quy định về tiêu chí và giá trị khoảng cách này hiện vẫn chưa thống nhất giữa các tiêu chuẩn trong và ngoài nước, gây khó khăn trong quá trình thiết kế, quy hoạch và bố trí công trình trong điều kiện thực tế.

Vì vậy, nghiên cứu này tập trung làm rõ cơ sở xác định khoảng cách tối thiểu giữa nút giao và vị trí cửa hầm đường bộ, đồng thời đề xuất các khuyến nghị phục vụ công tác thiết kế.

**Từ khóa:** Khoảng cách tối thiểu; nút giao khác mức liên thông; cửa hầm đường bộ.

## ABSTRACT

Minimum spacing between grade-separated interchanges and tunnel portals on expressways is addressed in numerous international highway design standards to ensure traffic safety and the rational integration of regional connectivity, corridor operations, and facility management. However, the criteria and recommended values for this spacing remain inconsistent across both domestic and international guidelines, creating significant challenges for practical geometric design, planning and infrastructure layout under real-world constraints.

Therefore, this study aims to clarify the underlying basis for defining the minimum required length between interchanges and tunnel portals and to provide design-oriented recommendations for engineering practice.

**Keywords**: Minimum spacing; grade-separated interchanges; tunnel portals.

## 1. NGUYÊN TẮC THIẾT KẾ

Quy định khoảng cách tối thiểu giữa nút giao khác mức liên thông và vị trí cửa hầm trên các tuyến đường bộ cao tốc nhằm đảm bảo đủ chiều dài cho quá trình nhận thức - phản ứng của lái xe, quá trình di chuyển nhập và tách dòng an toàn, cũng như đủ chiều dài để bố trí hệ thống biển báo hợp lý và vận hành hiệu quả trong các tình huống thông thường cũng như các tình huống khẩn cấp.

### 1.1. Tiêu chuẩn thiết kế của Việt Nam

**Điều 8.4.4 của Tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN 5729:2012)** quy định**:** Khoảng cách giữa vị trí chỗ giao khác mức liên thông với cửa công trình hầm tối thiểu nên từ 1,5 km đến 4,0 km.

### 1.2. Các tiêu chuẩn thiết kế trên thế giới

**Tiêu chuẩn Hoa Kỳ, *AASHTO - A Policy on Geometric Design of Highways and Streets (Green Book-2018):*** không đưa ra khoảng cách tối thiểu cố định giữa vị trí cửa hầm và nút giao khác mức liên thông như Tiêu chuẩn Việt Nam.

Theo đó, Tiêu chuẩn AASHTO khuyến nghị vị trí nút giao nên bố trí trên đoạn đường thẳng, có tầm nhìn tốt và tránh bố trí trên các đường cong hay tránh bố trí nằm sát trước/sau các công trình đặc biệt: như hầm đường bộ, cầu lớn, để không gây nhầm lẫn cho người lái xe. Khi đó khoảng cách giữa vị trí cửa hầm và nút giao được xác định bởi nhiều yếu tố, bao gồm: tốc độ thiết kế, độ dốc dọc, tầm nhìn, khoảng cách bố trí biển báo, địa hình và các yêu cầu thao tác lái xe an toàn trong quá trình khai thác, vận hành.

**Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD-2023):** Sổ tay về biển báo và tổ chức giao thông của Hoa Kỳ do *FHWA (Federal Highway Administration)* ban hành: không quy định một khoảng cách hình học tối thiểu cụ thể giữa vị trí cửa hầm và nút giao liên thông; tuy nhiên, Sổ tay **MUTCD** yêu cầu cần phải đảm bảo đủ chiều dài đoạn tuyến để bố trí hệ thống các biển chỉ dẫn *(Advance Guide Signs)* trước nút giao; Do đó để bố trí đảm bảo hệ thống biển báo chỉ dẫn yêu cầu khoảng cách khoảng *0,8 - 1,6 km đối với tốc độ khai thác vào khoảng 80 km/h.*

**Tiêu chuẩn của CHLB Đức** *(Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln (RABT-2016)* - Hướng dẫn về trang bị và vận hành hầm đường bộ; và Hướng dẫn thiết kế hình học đường cao tốc Autobahn của Đức *(RAA-2008) tại Điều 8.5.4 có quy định: "Trên các tuyến cao tốc Autobahn cấp EKA 1 và EKA 2, phải tránh bố trí nhánh ra/vào ngay trong khu vực hầm hoặc cửa hầm".* Điều này có nghĩa: vị trí nút giao trên tuyến cao tốc cấp EKA 1 và EKA 2 của CHLB Đức phải

nằm ngoài vùng ảnh hưởng cửa hầm, có khoảng cách đủ xa để đảm bảo an toàn vận hành. Tuy nhiên tiêu chuẩn cao tốc của CHLB Đức (RAA-2008) cũng không đưa ra con số cố định về chiều dài giữa hầm và nút giao; đồng thời lưu ý đối với đường cao tốc cấp EKA 1 (V=130 km/h, là tuyến đường cao tốc được thiết kế không áp dụng giới hạn tốc độ bắt buộc) và cấp EKA 2 (V=100 km/h) cần bố trí vị trí nút giao có khoảng cách nằm ngoài vùng ảnh hưởng cửa hầm.

**Quy chuẩn thiết kế tuyến đường cao tốc của Trung Quốc** *(JTG D20-2017, Design Specification for Highway Alignment) và (JTG/T D21-2014, Guidelines for Design of Highway Grade-Separated Intersections),* quy định rằng: *"Khoảng cách giữa lối ra hầm và nút giao phía trước phải đáp ứng các yêu cầu về việc đặt biển cảnh báo chỉ dẫn lối ra; khi điều kiện bị hạn chế, khoảng cách từ lối ra cửa hầm đến điểm bắt đầu của lối ra của nút giao phía trước không được nhỏ hơn 1,0 km, và trường hợp nhỏ hơn 1,0 km, phải đặt biển cảnh báo chỉ dẫn khoảng cách ở phía trước cửa hầm hoặc bên trong hầm".* Do đó tiêu chuẩn Trung Quốc không nêu trực tiếp một con số tối thiểu cố định giữa hầm và nút giao như tiêu chuẩn Việt Nam, mà khuyến khích phân tích thiết kế chi tiết tùy theo đặc điểm của từng tuyến cao tốc, vận tốc thiết kế, điều kiện địa hình và sự phối hợp giữa các biển báo chỉ dẫn.

## 2. SỰ KHÁC NHAU GIỮA TIÊU CHUẨN VIỆT NAM VỚI TIÊU CHUẨN QUỐC TẾ

Qua đó cho thấy, hiện nay Tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN 5729:2012) đang đưa ra con số cụ thể về khoảng cách giữa vị trí chỗ giao khác mức liên thông với cửa công trình hầm tối thiểu từ 1,5 km đến 4,0 km.

Trong khi các Tiêu chuẩn, các Sổ tay thiết kế và Chỉ dẫn kỹ thuật của các nước khác trên thế giới như Hoa Kỳ (AASHTO), CHLB Đức (RAA) & (RABT), Trung Quốc (JTG D20-2017) & (JTG/T D21-2014) đều không quy định một khoảng cách hình học tối thiểu giữa vị trí cửa hầm và nút giao liên thông. Các kỹ sư thiết kế sẽ quyết định lựa chọn khoảng cách an toàn tối thiểu dựa trên mô hình tính toán. Trong đó, tiêu chuẩn kỹ thuật chỉ đưa ra nguyên tắc thiết kế, các kỹ sư sẽ phân tích và đưa ra giá trị khoảng cách phù hợp theo đặc thù của địa hình và tốc độ thiết kế.

## 3. PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH KHOẢNG CÁCH AN TOÀN

Để đảm bảo an toàn giao thông tại các nút giao, điều quan trọng là phải cung cấp cho người lái xe sự chỉ dẫn rõ ràng và đủ sớm, nhằm giúp họ có thể điều khiển phương tiện một cách phù hợp.

Vì vậy, các nút giao cần được thiết kế cho phép người lái điều chỉnh hành vi lái xe, thích nghi với sự thay đổi của đặc điểm tuyến đường và giảm tốc độ khi cần thiết. Theo đó, các yếu tố phân tách và kết nối trong nút giao phải có khả năng được nhận biết từ khoảng cách đủ xa.

Ngoài ra, các thành phần của nút giao cần phải: được chỉ dẫn trước một cách đầy đủ thông qua hệ thống biển báo hướng dẫn, rõ ràng và dễ hiểu, đảm bảo điều kiện lưu thông an toàn, và đáp ứng năng lực thông hành phù hợp.

Khoảng cách an toàn (L) là khoảng cách giữa vị trí cửa hầm và điểm bắt đầu của đoạn chuyển tiếp vào nút giao. Chiều dài (L) này bao gồm: Khoảng cách thích ứng ánh sáng ($L_1$) + Khoảng cách tăng tốc của xe ($L_2$) + Khoảng cách đọc biển báo ($L_3$) và Khoảng cách chuyển làn của xe ($L_4$), đồng thời cũng xem xét ảnh hưởng của các làn đường phụ.

**Cụ thể:** ***Khoảng cách an toàn*** $L = L_1 + L_2 + L_3 + L_4$.

Tuy nhiên, khoảng cách an toàn (L) có thể được tính toán thu hẹp ngắn hơn với 3 điều kiện sau đây: (1) Khi sự khác biệt về độ chiếu sáng giữa bên trong và bên ngoài cửa hầm được kiểm soát trong một phạm vi nhất định, trong trường hợp này người lái xe có thể trực tiếp nhìn thấy điều kiện ánh sáng đường phía trước và lúc này khoảng cách thích ứng ($L_1$) không cần xét đến; (2) Khi người lái xe đã biết thông tin về điều kiện đường sau khi ra khỏi cửa hầm, nên không cần thao tác tăng tốc và lúc này khoảng cách tăng tốc $L_2$=0; (3) Khi các biển cảnh báo được bố trí trước khi phương tiện ra khỏi cửa hầm, và lúc này khoảng cách đọc hiểu biển báo không cần xét đến ($L_3$=0). *Do đó, trong một số điều kiện có thể tính toán thu hẹp khoảng cách an toàn, khi đó chỉ cần xem xét giá trị khoảng cách chuyển làn của xe ($L_4$).*

**3.1. Khoảng cách thích ứng ánh sáng ($L_1$):** Cho phép mắt người lái xe phục hồi về trạng thái bình thường sau một khoảng cách nhất định trong một khoảng thời gian nhất định; Tức là cho phép thực hiện các hành động tiếp theo như tăng tốc xe và nhận diện biển báo. Xe đang di chuyển với tốc độ không đổi trong giai đoạn này. Công thức để tính khoảng cách thích ứng ánh sáng cho người lái xe tại lối ra đường hầm là:

$$L_1 = \frac{V_x}{3,6} \cdot t_1$$

Trong công thức: $L_1$ là khoảng cách thích ứng; $V_x$ là tốc độ vận hành của đoạn cửa ra đường hầm, được lấy từ Bảng 2; $t_1$ là thời gian thích ứng, được lấy từ Bảng 3.

**3.2. Khoảng cách tăng tốc của xe ($L_2$):** Do yếu tố hình học của đường hầm được bố trí tối thiểu để tối ưu chi phí đầu tư, nên tốc độ chạy xe bên trong đường hầm thường được vận hành mức độ thấp; do đó việc chạy xe trong đường hầm là quá trình thích nghi nhẹ; Nếu khoảng cách đến cửa hầm khá xa, khả năng thích nghi của người lái xe với sự thay đổi từ môi trường ngột ngạt bên trong đường hầm sang môi trường bên ngoài dần tăng lên. Lúc này, người lái xe hình thành tâm lý muốn thích nghi nhanh hơn với môi trường lái xe trên đoạn đường bình thường phía trước cửa hầm; Vì vậy người lái sẽ có nhu cầu tăng tốc. Phân tích tốc độ chạy xe thực tế tại cửa vào và cửa ra đường hầm cũng nhận thấy điều này. Theo một số nghiên cứu, sau khi xe đã trải qua quá trình thích nghi nhẹ, gia tốc của xe ô tô con là 1 m/s$^2$ và gia tốc của xe lớn là 0,44 m/s$^2$. Công thức tính khoảng cách tăng tốc của xe là:

$$L_2 = \frac{V_{85}^2 - V_x^2}{25,92a}$$

Trong đó, $L_2$ là khoảng cách tăng tốc của xe; $V_x$ là tốc độ chạy của xe, lấy từ Bảng 1; a là gia tốc của xe.

**3.3. Khoảng cách đọc biển báo ($L_3$):** Khoảng cách đọc biển báo bao gồm khoảng cách nhận biết của người lái xe ($L_{3a}$) và khoảng cách phán đoán để ra quyết định của người lái xe ($L_{3b}$).

Khoảng cách nhận biết của người lái xe đề cập đến khoảng cách mà người lái xe di chuyển sau khi đi qua lối ra đường hầm, khi nhận thấy và đọc biển báo đường vòng phía trước. Công thức tính toán là:

$$L_{3a} = \frac{V_{85}}{3,6} \cdot t_{3a} + \sqrt{\frac{H^2 + (B\ /\ 2)^2}{tan(\theta\ /\ 2)}}$$

Trong công thức trên, $L_{3a}$ là khoảng cách nhận biết bằng mắt của người lái xe; $V_{85}$ là tốc độ khai thác *(là giá trị phân vị 85% của tập hợp tốc độ đo được);* H là chênh lệch chiều cao giữa biển báo và chiều cao nhìn thấy của xe ô tô *(cụ thể: chiều cao nhìn thấy của xe ô tô chở khách là 1,2 m; chiều cao nhìn thấy của xe tải là 2,0 m và chiều cao của biển báo là 7,5 m)*; θ là giới hạn tầm nhìn của người lái xe. Theo một số nghiên cứu, góc lý tưởng của chuyển động mắt của người lái xe khi đọc biển báo là θ=5°, vì vậy trong các nghiên cứu có thể lấy θ=5°; B là khoảng cách từ điểm nhìn của người lái xe đến giữa biển báo chỉ dẫn đạt một khoảng nhìn một cánh tay, và được lấy với khoảng cách B là 10,5 m; $t_{3a}$ là thời gian phản ứng nhận biết bằng mắt của người lái xe, là thời gian cần thiết để người lái xe đọc nội dung biển báo.

Thời gian này phụ thuộc vào loại ngôn ngữ và số lượng ký tự trên biển báo, và công thức tính toán là:

$$t_{3a} = t'_{3a} \cdot \omega_1 \cdot \omega_2$$

Trong công thức trên, $t'_{3a}$ là thời gian cần thiết để người lái xe đọc một lượng văn bản tiếng Latinh nhất định, được lấy là 1,5 giây; $\omega_1$ là hệ số hiệu chỉnh loại ngôn ngữ, được lấy là 2; $\omega_2$ là hệ số hiệu chỉnh độ phức tạp của chữ bản địa được lấy là 1,1.

Sau khi đọc thông tin trên biển báo, người lái xe cần phán đoán để ra quyết định xem có nên chuyển làn phía trước hay không. Theo kết quả nghiên cứu từ các tài liệu nước ngoài, thời gian phán đoán để ra quyết định của người lái xe khi có kỳ vọng về con đường phía trước là:

$$t_{3b} = 1{,}237554e^{0{,}258913x}$$

Trong công thức trên: $t_{3b}$ biểu thị thời gian phán đoán để ra quyết định của người lái xe khi phán đoán về con đường phía trước; x biểu thị khả năng tiếp nhận thông tin. Khi đó: Công thức để tính khoảng cách phán đoán của người lái xe là:

$$L_{3b} = \frac{V_{85}}{3{,}6} t_{3b}$$

Trong công thức trên: $L_{3b}$ biểu thị khoảng cách phán đoán để ra quyết định của người lái xe.

**3.4. Khoảng cách chuyển làn của xe ($L_4$):** Quãng đường chuyển làn được chia thành quãng đường chờ ($L_{4a}$) và quãng đường chuyển làn thực tế ($L_{4b}$). Quá trình phân tích, giả thiết rằng xe ô tô con được phân bổ di chuyển ở cả hai làn xe trên đường dẫn, trong khi xe tải và xe khách phần lớn sẽ di chuyển ở làn ngoài.

***(a.) Khoảng cách chờ đợi để có khoảng trống có thể chèn xe:*** Khi một phương tiện chuẩn bị thực hiện thao tác chuyển làn, nó thường duy trì tốc độ ở làn đường ban đầu và chờ đợi khoảng trống chèn xe ở làn đường phía trước. Hiện nay, các nghiên cứu trong và ngoài nước thường sử dụng mô hình phân phối Erlang "Erlang distribution", để mô tả phân phối khoảng cách trong các điều kiện khác nhau. Khi đó X ~ Erlang (k, λ); ở đây giá trị X = khoảng cách (hoặc thời gian chờ) kể từ thời điểm bắt đầu quan sát đến khi xuất hiện khoảng trống phù hợp thứ $k$; với hàm mật độ xác suất:

$$f(x) = \frac{\lambda^k x^{k-1} e^{-\lambda x}}{(k-1)!} \quad với \;\; x \geq 0$$

*Mô hình này cho phép mô tả linh hoạt phân phối khoảng cách chờ trong các điều kiện mật độ và hành vi lái xe khác nhau.*

*Tham số: k phản ánh mức độ lựa chọn khoảng trống của người lái, trong khi λ đặc trưng cho điều kiện lưu lượng phương tiện giao thông.*

*Khi mật độ giao thông cao → λ lớn → khoảng cách (thời gian chờ) trung bình giảm.*

*Khi người lái thận trọng hơn → k tăng → khoảng cách (thời gian chờ) trung bình tăng.*

***(b.) Khi trục đường chính là đường hai làn xe trên mỗi hướng xe chạy,*** nếu không có làn phụ ở lối ra (khi các làn đường cân bằng), hành vi bất lợi nhất cho việc chuyển làn là xe nhỏ ở phía trong trục đường chính sẽ chuyển làn một lần sang làn ngoài cùng; nếu có làn phụ ở lối ra (khi các làn đường không cân bằng), hành vi bất lợi nhất cho việc chuyển làn là xe nhỏ ở phía trong trục đường chính sẽ chuyển làn một lần sang làn ngoài cùng hoặc xe lớn ở phía ngoài sẽ chuyển làn một lần sang làn phụ.

***(c.) Khi trục đường chính là đường ba làn xe trên mỗi hướng xe chạy,*** nếu các làn đường cân bằng, hành vi bất lợi nhất khi chuyển làn là xe nhỏ ở làn trong cùng sẽ chuyển làn hai lần sang làn ngoài cùng hoặc xe lớn ở làn giữa sẽ chuyển làn một lần sang làn ngoài cùng; khi các làn đường không cân bằng, hành vi bất lợi nhất khi chuyển làn là xe nhỏ ở làn trong cùng sẽ chuyển làn hai lần sang làn ngoài cùng hoặc xe lớn ở làn giữa chuyển làn hai lần sang làn phụ.

***(d.) Khi trục đường chính là đường bốn làn xe trên mỗi hướng xe chạy***, nếu các làn đường ở lối ra cân bằng, hành vi bất lợi nhất cho các phương tiện khi chuyển làn là xe nhỏ ở làn trong cùng sẽ chuyển làn 3 lần sang làn ngoài cùng hoặc làn thứ hai từ ngoài vào và xe lớn sẽ chuyển làn một lần sang làn ngoài cùng; Khi các làn đường không cân bằng, hành vi bất lợi nhất đối với các phương tiện khi chuyển làn là xe nhỏ ở làn trong cùng sẽ chuyển làn 3 lần lên làn ngoài cùng hoặc làn áp chót, và xe lớn sẽ chuyển làn 2 lần lên làn phụ.

Bảng 1. Kết quả nghiên cứu bởi (AN Xin et al., 2021): Khoảng cách an toàn khuyến cáo giữa vị trí lối ra cửa hầm đến vị trí nút giao liên thông trong điều kiện thông thường (đơn vị khoảng cách: m)

| Tốc độ thiết kế | Xét điều kiện cân bằng làn đường | | | Xét điều kiện không cân bằng làn đường | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 04 làn ô tô / mỗi hướng | 03 làn ô tô / mỗi hướng | 02 làn ô tô / mỗi hướng | 04 làn ô tô / mỗi hướng | 03 làn ô tô / mỗi hướng | 02 làn ô tô / mỗi hướng |
| 120 km/h | 1.670 m | 1.280 m | 920 m | 1.670 m | 1.280 m | 1.100 m |
| 100 km/h | 1.160 m | 880 m | 630 m | 1.160 m | 880 m | 680 m |
| 80 km/h | 860 m | 660 m | 530 m | 860 m | 660 m | 550 m |

Bảng 2. Kết quả nghiên cứu bởi (AN Xin et al., 2021): Khoảng cách an toàn khuyến cáo giữa vị trí lối ra cửa hầm đến vị trí nút giao liên thông trong điều kiện địa hình khó khăn (đơn vị khoảng cách: m)

| Tốc độ thiết kế | Xét điều kiện cân bằng làn đường | | | Xét điều kiện không cân bằng làn đường | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 04 làn ô tô / mỗi hướng | 03 làn ô tô / mỗi hướng | 02 làn ô tô / mỗi hướng | 04 làn ô tô / mỗi hướng | 03 làn ô tô / mỗi hướng | 02 làn ô tô / mỗi hướng |
| 120 km/h | 1.190 m | 790 m | 430 m | 1.190 m | 790 m | 430 m |
| 100 km/h | 860 m | 580 m | 310 m | 860 m | 580 m | 310 m |
| 80 km/h | 610 m | 410 m | 230 m | 610 m | 410 m | 230 m |

## 4. THỰC TIỄN VÀ CÁC VÍ DỤ ĐIỂN HÌNH

Theo Nghị quyết Đại hội đại biểu toàn quốc lần thứ XIII của Đảng Cộng sản Việt Nam (ban hành tháng 2/2021), Việt Nam đặt mục tiêu phát triển hệ thống kết cấu hạ tầng giao thông chiến lược, trong đó tập trung mở rộng mạng lưới đường bộ cao tốc quốc gia. Cụ thể, văn kiện xác định mục tiêu đưa vào khai thác khoảng 3.000 km đường cao tốc vào năm 2025 và phấn đấu đạt khoảng 5.000 km vào năm 2030 trên phạm vi toàn quốc.

Quá trình triển khai thực tiễn các dự án đường cao tốc, đặc biệt khi tuyến đường qua địa hình khu vực miền núi, trong Giai đoạn 2025 - 2030 cho thấy nhiều thách thức xuất hiện trong việc tuân thủ các yêu cầu hình học tuyến theo quy định hiện hành. Cụ thể, tại một số đoạn tuyến có bố trí hầm đường bộ, khoảng cách thực tế giữa cửa hầm và nút giao liên thông liền kề thường khó đáp ứng so với giá trị tối thiểu quy định trong *Tiêu chuẩn thiết kế cao tốc Việt Nam (TCVN 5729:2012).*

Tình huống này phản ánh mâu thuẫn phổ biến trong thiết kế cao tốc khu vực miền núi, nơi điều kiện địa hình phức tạp, hạn chế về không gian tuyến và yêu cầu kết nối liên vùng; đặt ra những ràng buộc nghiêm ngặt đối với việc bố trí đồng thời công trình hầm và vị trí nút giao. Trong nhiều trường hợp, việc điều chỉnh kéo dài khoảng cách theo đúng quy định tiêu chuẩn có thể dẫn đến dịch chuyển vị trí nút giao ra khỏi khu vực tối ưu về yếu tố kết nối. Điều này không chỉ làm suy giảm khả năng tiếp cận và hiệu quả khai thác mạng lưới, mà còn kéo theo những hệ quả đáng kể về mặt kỹ thuật và kinh tế, như làm gia tăng khối lượng công trình cầu cạn, tăng khối lượng đào đắp nền đường, phát sinh chi phí xử lý mái dốc và ổn định địa chất phức tạp, từ đó làm tăng chi phí đầu tư và tác động môi trường trong khu vực miền núi nhạy cảm.

Thực tiễn quốc tế cũng cho thấy đây không phải là vấn đề riêng của Việt Nam. Tại một số quốc gia châu Âu có địa hình đồi núi phức tạp và mật độ công trình hầm trên cao tốc lớn, nhiều tuyến đường được ghi nhận có khoảng cách giữa cửa hầm và nút giao liên thông tương đối ngắn do hạn chế không gian tuyến kèm theo yêu cầu đảm bảo tính kết nối khu vực.

**Ví dụ 1:** Điển hình là tuyến cao tốc VE2 trên đảo Madeira (Bồ Đào Nha), nơi nút giao thông gần khu vực hầm Ribeira da Janela được bố trí ở khoảng cách rất ngắn so với cửa hầm. Cách tổ chức hình học

này phản ánh xu hướng thiết kế vận dụng thực tế trong điều kiện địa hình đặc biệt phức tạp, trong đó việc đảm bảo kết nối liên vùng và tính khả thi thi công đôi khi đòi hỏi sự linh hoạt nhất định so với các giá trị tối thiểu mang tính quy định.

**Ví dụ 2:** Kan-Etsu Tunnel (Nhật Bản) là một trong những đường hầm cao tốc dài nhất Nhật Bản (hầm dài 11.055 m), nằm trên tuyến cao tốc Kan-Etsu Expressway, nối giữa tỉnh Gunma và tỉnh Niigata xuyên qua vùng núi Honshu. Vị trí cửa hầm Kan-Etsu Tunnel được bố trí nút giao tách/nhập kết hợp với khu vực quảng trường, bãi đỗ xe ngay trước cửa hầm.

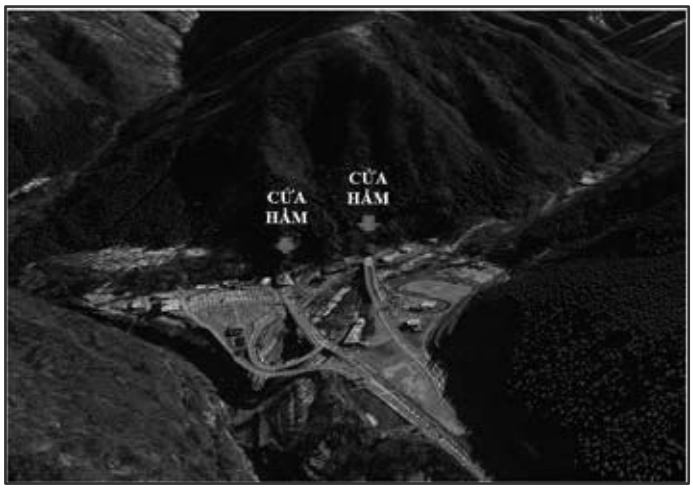
**Ví dụ 3:** Enasan Tunnel (Nhật Bản) là hầm đường bộ dài khoảng 8.650 m trên tuyến cao tốc E19 Chūō Expressway, xuyên qua núi Ena nối TP. Nakatsugawa (tỉnh Gifu) với làng Achi (tỉnh Nagano) ở miền Trung Nhật Bản. Tốc độ giới hạn trong hầm là 80 km/h *(theo tiêu chuẩn tốc độ an toàn trong đường hầm cao tốc ở Nhật Bản),* hầm được lắp đặt hệ thống thông gió, chiếu sáng và an toàn hiện đại. Trước cửa hầm *(cả hai phía tỉnh Nagano và tỉnh Gifu)* là các nút giao / nhánh ramps của cao tốc, được bố trí gần cửa hầm trong khoảng cách 250 m nhằm phục vụ giao thông địa phương và kết nối với đường chính nhưng đều có biển báo giảm tốc rõ ràng trước khi vào hầm. Đây là công trình quan trọng trên trục cao tốc Tokyo-Nagoya, góp phần rút ngắn thời gian và cải thiện an toàn di chuyển qua dãy núi Kiso.

Do đó, vấn đề xác định khoảng cách hợp lý giữa cửa hầm và nút giao liên thông trong điều kiện địa hình miền núi cần được xem xét như một bài toán tối ưu đa mục tiêu, nhằm cân bằng giữa yêu cầu an toàn giao thông, năng lực vận hành, đáp ứng điều kiện kết nối, tính khả thi thi công và hiệu quả kinh tế - xã hội của dự án.

**Tóm lại:** Nên bố trí linh hoạt các nhánh Ramp kết nối tại khu vực cửa hầm, khi địa hình đồi núi bị chia cắt và chênh lệch cao trình. Tốc độ tối đa trong hầm thường khoảng 80 km/h trong hầu hết các hầm đường bộ, và lái xe phải bật đèn chiếu sáng kể cả ban ngày khi đi qua hầm.

Hình 1. Nút giao liên thông bố trí ngay sát cửa hầm cao tốc kết nối với khu nghỉ dưỡng Ribeira da Janela, Porto Moniz, phía Bắc đảo Madeira (Bồ Đào Nha)

Hình 2. Hai cửa hầm được bố trí cách nhau với khoảng cách L<100 m trên tuyến đường cao tốc ven biển Madeira (Bồ Đào Nha)




Hình 3. Cửa hầm phía Tây-Bắc "Kan-Etsu Tunnel" (Nhật Bản) trên cao tốc E17 *(thị trấn Yuzawa, Minamiuonuma District, tỉnh Niigata);* được bố trí nút giao & khu vực quảng trường, bãi đỗ xe ngay trước cửa hầm

Hình 4. Cửa hầm phía Đông-Nam "Kan-Etsu Tunnel" (Nhật Bản) trên cao tốc E17 *(thị trấn Minakami, Tone District, tỉnh Gunma);* được bố trí nút giao & khu vực quảng trường, đỗ xe ngay trước cửa hầm

Hình 5. Cửa hầm "Enasan Tunnel" (Nhật Bản) nằm phía Đông-Nam trên cao tốc E19 - Chūō Expressway *(làng Achi, Shimoina District, tỉnh Nagano)* được bố trí nút giao với khoảng cách 250 m ngay trước cửa hầm

Hình 6. Một thiết kế điển hình khi bố trí nút giao và phân tách dòng xe tại vị trí trước cửa hầm trong điều kiện địa hình đồi núi bị chia cắt và chênh lệch cao trình

## 5. KẾT LUẬN

Quy định khoảng cách cố định trong TCVN 5729:2012 tuy thuận tiện trong công tác quản lý, nhưng có thể thiếu linh hoạt trong quá trình thiết kế đối với điều kiện địa hình miền núi bị chia cắt, nơi các tuyến cao tốc thường phải bố trí hầm và nút giao trong phạm vi không gian hạn chế.

Do đó, cần tiếp tục phát triển những nghiên cứu chuyên sâu về vấn đề đã nêu tại bài báo này, đồng thời tham khảo cách tiếp cận của Hoa Kỳ (AASHTO), CHLB Đức (RAA) & (RABT), Trung Quốc (JTG D20) & (JTG/T D21) và các hướng dẫn thiết kế khác trong Tiêu chuẩn quốc tế, nên chuyển từ quy định khoảng cách cứng sang tiêu chí dựa trên tốc độ thiết kế, tầm nhìn, và yêu cầu bố trí hệ thống biển chỉ dẫn trước nút giao và vị trí cửa hầm nhằm đảm bảo thao tác lái xe an toàn trong quá trình vận hành.

Khoảng cách giữa cửa hầm và nút giao liên thông nên được xác định trên cơ sở tốc độ thiết kế và yêu cầu bố trí hệ thống biển chỉ dẫn trước nút giao. Trong mọi trường hợp, phải đảm bảo đủ chiều dài để người lái xe nhận biết, phản ứng và chuyển làn an toàn trước khi vào hầm hoặc trước khi đến lối ra.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] TCVN 5729-2012: Tiêu chuẩn Việt Nam về đường ô tô cao tốc - Yêu cầu và thiết kế.

[2] JTG D20-2017: Tiêu chuẩn Trung Quốc về thiết kế tuyến đường bộ - *Design Specification for Highway Alignment*.

[3] JTG/T D21-2014: Tiêu chuẩn Trung Quốc về thiết kế nút giao khác mức liên thông - *Guidelines for Design of Highway Grade-Separated Intersections*.

[4] RAA-2008: Tiêu chuẩn CHLB Đức về đường ô tô cao tốc - *Richtlinien für die Anlage von Autobahnen*.

[5] RABT-2016: Tiêu chuẩn CHLB Đức về thiết bị và vận hành hầm đường bộ - *Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln - Perspektiven für die Sicherheit in Straßentunneln*.

[6] AASHTO (Green Book - 2018): *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, 7th Edition, 2018.

[7] MUTCD-2023: *Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD)*, 11th Edition, dated December 2023.

[8] AN Xin, SUN Yi, LI Tao, PAN Bing-hong, LIN Xuan-cai: *Study on Minimum Clear Distance between Expressway Tunnel Exit and Interchange Exit*; Journal of Highway and Transportation Research and Development, , 38(9): 132-140, 2021.

■Ngày nhận bài: 04/02/2026 ■Ngày sửa bài: 9/02/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 15/02/2026

# Nhu cầu sử dụng điểm trung chuyển giao thông công cộng trong hành trình đô thị tại TP Hồ Chí Minh

## Demand for Public Transport Interchanges in Urban Travel Chains in Ho Chi Minh City

**> VÕ TRỌNG NGHĨA[1,2], TRẦN THỊ VIỆT HÀ[3,*], ĐÀO DUY TOÀN[1]**
[1]Trường Đại học Khoa học xã hội và Nhân văn TP.HCM
[2]Đại học Quốc gia TP.HCM
[3]Trường Đại học Kiến trúc TP.HCM
[*]Email: ha.tranthiviet@uah.edu.vn

**TÓM TẮT**

Trong định hướng phát triển giao thông công cộng (GTCC) của TP.HCM, kết nối và trung chuyển giữa các loại hình vận tải có vai trò quyết định đối với hiệu quả vận hành hệ thống. Tuy nhiên, trong thực tiễn quy hoạch đô thị, điểm trung chuyển GTCC vẫn chủ yếu được tiếp cận như một hạng mục hạ tầng kỹ thuật, trong khi nhu cầu sử dụng của người dân trong hành trình di chuyển hằng ngày chưa được xem xét đầy đủ. Trên cơ sở khảo sát xã hội học đô thị và phân tích định lượng, nghiên cứu cho thấy nhu cầu sử dụng điểm trung chuyển gắn chặt với các hành trình thiết yếu như đi học và đi làm. Các yếu tố như khả năng tiếp cận, thời gian chờ và chuyển tuyến, thông tin di chuyển, mức độ an toàn và điều kiện không gian chờ có ảnh hưởng trực tiếp đến quyết định sử dụng GTCC. Sự chưa phù hợp giữa nhu cầu sử dụng và cách thức tổ chức hệ thống trung chuyển hiện nay đang làm giảm hiệu quả khai thác GTCC, cho thấy cần tiếp cận điểm trung chuyển như một thành phần chức năng trong quy hoạch đô thị tích hợp.

**Từ khóa**: Điểm trung chuyển; nhu cầu sử dụng; hành trình đô thị; giao thông công cộng; quy hoạch đô thị tích hợp; TP.HCM.

**ABSTRACT**

In Ho Chi Minh City's strategy to develop public transport and reduce dependence on private vehicles, connectivity and transfer between transport modes play a key role in system performance. However, in urban planning practice, public transport interchanges are still mainly treated as technical infrastructure, while user demand within daily travel patterns has not been sufficiently examined. Based on an urban sociological survey and quantitative analysis, this study shows that interchange demand is closely linked to essential travel such as commuting to work and school. Factors including accessibility, waiting and transfer time, travel information, safety, and the quality of waiting spaces directly influence public transport use. The current mismatch between user demand and the organisation of interchange facilities reduces the effectiveness of public transport, indicating the need to consider interchanges as functional components of integrated urban planning.

**Keywords:** Interchange; user demand; urban travel chains; public transport; integrated urban planning; Ho Chi Minh City.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

GTCC từ lâu được xem là công cụ quan trọng trong giải quyết các vấn đề cốt lõi của đô thị hiện đại, bao gồm ùn tắc giao thông, phát thải môi trường và bất bình đẳng trong tiếp cận không gian đô thị (Newman & Kenworthy, 2015; UN-HABITAT, 2013; World Bank, 1975). Trong thực tiễn quy hoạch và tổ chức giao thông đô thị, hiệu quả của hệ thống GTCC thường được đánh giá thông qua cấu trúc mạng lưới tuyến, năng lực phương tiện và tần suất vận hành. Cách tiếp cận này, dù cần thiết, lại có xu hướng bỏ qua các cấu phần trung gian của hành trình đô thị, đặc biệt là khâu kết nối và trung chuyển giữa các loại hình vận tải.

Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng hiệu quả sử dụng GTCC không chỉ phụ thuộc vào từng tuyến hay từng phương thức riêng lẻ, mà chịu tác động mạnh từ mức độ liên thông của toàn bộ hệ thống (Curtis et al., 2009; Vuchic, 2007). Tuy nhiên, trong thực tiễn quy hoạch đô thị, tầng trung chuyển liên phương thức vẫn chủ yếu được tiếp cận như một hạng mục hạ tầng kỹ thuật phục vụ vận hành, hơn là một không gian sử dụng gắn với hành trình di chuyển hằng ngày của người dân (Curtis et al., 2009). Việc xem nhẹ yếu tố không gian

và trải nghiệm tại điểm trung chuyển có thể làm đứt đoạn chuỗi hành trình, kéo dài thời gian chờ và gia tăng chi phí chuyển tuyến, từ đó làm giảm mức độ chấp nhận GTCC, đặc biệt đối với các hành trình có tính lặp lại cao (Gehl, 2010; Newman & Kenworthy, 2015).

Trong bối cảnh đó, TP.HCM là một trường hợp điển hình, nơi các hành trình GTCC chủ yếu gắn với nhu cầu thiết yếu như đi học và đi làm. Các hành trình này có tính ổn định cao, đồng thời rất nhạy cảm với khoảng cách tiếp cận, thời gian chờ và khả năng chuyển tuyến. Đối với nhóm hành trình này, điểm trung chuyển không chỉ đóng vai trò là nơi thay đổi phương tiện, mà trực tiếp ảnh hưởng đến tính liên tục và độ tin cậy của toàn bộ quá trình di chuyển, qua đó chi phối hiệu quả khai thác hệ thống GTCC (Calthorpe, 2011). Trên cơ sở đó, nghiên cứu này tập trung phân tích nhu cầu sử dụng điểm trung chuyển GTCC trong hành trình đô thị tại TP.HCM, dựa trên khảo sát xã hội học đô thị và phân tích định lượng, nhằm làm rõ cấu trúc nhu cầu sử dụng và cung cấp cơ sở khoa học cho việc tiếp cận điểm trung chuyển như một thành phần chức năng trong quy hoạch đô thị tích hợp.

## 2. CƠ SỞ LÝ LUẬN, NGUỒN TÀI LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Cơ sở lý luận về điểm trung chuyển GTCC và nhu cầu sử dụng

Trong nghiên cứu GTCC, điểm trung chuyển GTCC được xác định là nút hạ tầng đa phương thức cho phép hành khách chuyển đổi giữa hai hay nhiều loại hình vận tải một cách liên tục, an toàn và thuận tiện (Asian Development Bank, 2015; Moskvichev & Leonova, 2021). Theo tiếp cận kỹ thuật, điểm trung chuyển là một công trình thuộc kết cấu hạ tầng giao thông, nơi giao cắt các tuyến và phương thức vận tải, phục vụ quá trình chuyển tuyến trong mạng lưới GTCC (Hằng & Dũng, 2024). Tuy nhiên, các nghiên cứu gần đây cho thấy việc tiếp cận điểm trung chuyển thuần túy như một hạng mục kỹ thuật là chưa đủ để giải thích hiệu quả sử dụng GTCC trong thực tiễn đô thị.

Dưới góc độ quy hoạch đô thị, điểm trung chuyển đồng thời là một không gian sử dụng, nơi diễn ra các hoạt động chờ đợi, chuyển tuyến và tương tác xã hội, qua đó ảnh hưởng trực tiếp đến tính liên tục và độ tin cậy của hành trình di chuyển hằng ngày (Heddebaut & Di Ciommo, 2018; Monzón et al., 2016). Sự khác biệt cốt lõi giữa "ga" và "điểm trung chuyển" nằm ở mức độ liên thông đa hệ thống: trong khi ga chủ yếu đóng vai trò tiếp cận và phân tán hành khách cho một hệ thống vận tải cụ thể, điểm trung chuyển tổ chức kết nối giữa nhiều hệ thống và phương thức vận tải khác nhau, bao gồm cả các hình thức gom khách trong chuỗi tiếp cận và rời điểm trung chuyển (Asian Development Bank, 2015; Risimati & Gumbo, 2018).

Từ góc độ hành vi và trải nghiệm, nhu cầu sử dụng điểm trung chuyển không phải là hiện tượng ngẫu nhiên mà mang tính cấu trúc, gắn với các hành trình di chuyển thiết yếu và lặp lại, đặc biệt là đi học và đi làm. Các nghiên cứu đánh giá dựa trên trải nghiệm hành khách cho thấy mức độ chấp nhận và duy trì sử dụng điểm trung chuyển phụ thuộc vào các yếu tố có thể quan sát và đo lường, bao gồm khả năng tiếp cận, thời gian chờ và chuyển tuyến, thông tin di chuyển, an toàn, an ninh và điều kiện không gian chờ (Bryniarska & Zakowska, 2017; Monzón et al., 2016). Đáng chú ý, các nghiên cứu về thái độ hành khách chỉ ra rằng các yếu tố liên quan trực tiếp đến thông tin, an toàn và thiết kế không gian thường được ưu tiên hơn so với các yếu tố thuần kỹ thuật về tổ chức tuyến hay lịch trình vận hành (Lois et al., 2018). Kết quả khảo sát cho thấy điểm trung chuyển trong thực tế sử dụng không còn vận hành như một nút chuyển tuyến thuần túy, mà đã trở thành một không gian trung gian mà tại đó người sử dụng phải thích nghi với sự đứt đoạn, chờ đợi và tái tổ chức hành trình.

### 2.2. Nguồn tài liệu và cách tiếp cận tổng hợp

Nghiên cứu kế thừa có chọn lọc các nhóm tài liệu quốc tế và trong nước liên quan đến GTCC đa phương thức, điểm trung chuyển và quy hoạch đô thị tích hợp. Nhóm tài liệu quốc tế cung cấp cơ sở khái niệm, khung phân loại và phương pháp đánh giá dựa trên trải nghiệm hành khách, đồng thời làm rõ mối quan hệ giữa điểm trung chuyển, môi trường đô thị và phát triển đô thị theo định hướng GTCC (Cervero & Kockelman, 1997; Daudén et al., 2014; Monzón et al., 2016). Các nghiên cứu về phát triển đô thị theo định hướng GTCC nhấn mạnh vai trò của mật độ, sự đa dạng chức năng và thiết kế đô thị trong việc hình thành nhu cầu di chuyển và điều kiện tiếp cận (Calthorpe, 2011; Cervero & Kockelman, 1997; Dittmar & Ohland, 2004).

Song song đó, các nghiên cứu trong nước tập trung vào bối cảnh phát triển GTCC tại Việt Nam và TP.HCM, phản ánh những hạn chế về quy hoạch, thể chế và quỹ đất trong triển khai điểm trung chuyển, qua đó cung cấp cơ sở thực tiễn để đối chiếu giữa tiếp cận lý luận và điều kiện địa phương (Hằng & Dũng, 2024). Việc tổng hợp hai nhóm tài liệu cho phép nghiên cứu xây dựng cách tiếp cận vừa đảm bảo nhất quán lý luận, vừa phù hợp với bối cảnh đô thị đang chuyển đổi nhanh của TP.HCM.

### 2.3. Phương pháp nghiên cứu và khung phân tích

Nghiên cứu sử dụng khảo sát xã hội học đô thị kết hợp với phân tích định lượng nhằm phân tích nhu cầu sử dụng điểm trung chuyển GTCC tại TP.HCM từ góc nhìn người sử dụng. Dữ liệu được thu thập thông qua bảng hỏi đối với hành khách GTCC, tập trung vào các hành trình di chuyển thiết yếu hằng ngày và trải nghiệm tại các điểm trung chuyển. Trên cơ sở tổng hợp cơ sở lý luận và nguồn tài liệu, nghiên cứu xây dựng khung phân tích theo hai nhóm yếu tố chính gồm liên thông hành trình và điều kiện không gian sử dụng, được cụ thể hóa thành hệ thống biến khảo sát đo lường bằng thang Likert nhiều mức (Bảng 1). Dữ liệu được xử lý theo hướng nghiên cứu khám phá, tập trung vào kiểm định độ tin cậy thang đo và phân tích so sánh nhằm nhận diện cấu trúc nhu cầu sử dụng điểm trung chuyển và sự khác biệt giữa các nhóm hành khách.

Bảng 1. Khung phân tích nhu cầu sử dụng điểm trung chuyển GTCC

| Nhóm yếu tố | Nội dung phân tích | Biểu hiện đo lường |
|---|---|---|
| Liên thông hành trình | Khả năng tiếp cận điểm trung chuyển | Mức độ thuận tiện khi tiếp cận từ nơi ở hoặc nơi làm việc |
| | Thời gian chờ và chuyển tuyến | Thời gian chờ, mức độ gián đoạn khi chuyển đổi tuyến |
| | Thông tin di chuyển | Mức độ đầy đủ và dễ hiểu của thông tin tuyến và hướng dẫn hành trình |
| Điều kiện không gian sử dụng | An toàn và an ninh | Cảm nhận an toàn cá nhân và trật tự tại điểm trung chuyển |
| | Chất lượng không gian chờ | Mức độ thoải mái, che chắn thời tiết và điều kiện sử dụng không gian |

*(Nguồn: Nhóm tác giả, 2025)*

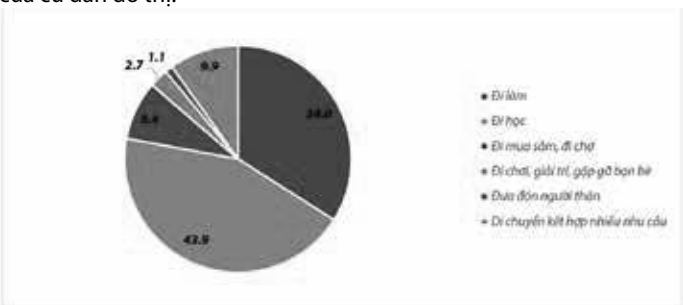
## 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu được thực hiện trên 547 phiếu khảo sát hợp lệ, thu thập trong năm 2025 tại TP.HCM. Quy mô mẫu đáp ứng yêu cầu phân tích định lượng đối với các biến liên quan đến hành vi di chuyển, mức độ sử dụng GTCC và nhu cầu sử dụng điểm trung chuyển trong bối cảnh một đô thị có cường độ di chuyển cao. Mẫu khảo sát tập trung chủ yếu vào nhóm dân cư trong độ tuổi học tập và lao động, là nhóm phát sinh nhu cầu di chuyển thường xuyên và có ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu quả khai thác hệ thống GTCC.

### 3.1. Nhu cầu di chuyển và mục đích hành trình của người dân đô thị

Kết quả khảo sát cho thấy nhu cầu di chuyển của người dân TP.HCM có cấu trúc rõ ràng và tập trung chủ yếu vào các hành trình thiết yếu, lặp lại hằng ngày. Theo Hình 1, mục đích đi học chiếm 43,9% và đi làm chiếm 34,0%, tổng cộng 77,9% tổng nhu cầu di chuyển, phản ánh đặc điểm di chuyển đô thị mang tính ổn định cao và phụ thuộc trực tiếp vào khả năng duy trì tính liên tục của hành trình. Các mục đích còn lại chiếm tỷ trọng thấp hơn, bao gồm mua sắm (8,4%), di chuyển kết hợp nhiều mục đích (9,9%), giải trí (2,7%) và đưa đón người thân (1,1%).

Cấu trúc nhu cầu này cho thấy phần lớn các hành trình đô thị không mang tính tùy chọn mà gắn chặt với các hoạt động thiết yếu liên quan đến giáo dục và lao động. Trong bối cảnh đó, điểm trung chuyển GTCC giữ vai trò then chốt đối với các hành trình đi học và đi làm, khi người sử dụng có mức độ chấp nhận thấp đối với gián đoạn hành trình, thời gian chờ kéo dài hoặc chuyển tuyến phức tạp. Điểm trung chuyển vì vậy không chỉ là nơi thay đổi phương tiện, mà là mắt xích quyết định khả năng duy trì nhịp sinh hoạt hằng ngày của cư dân đô thị.

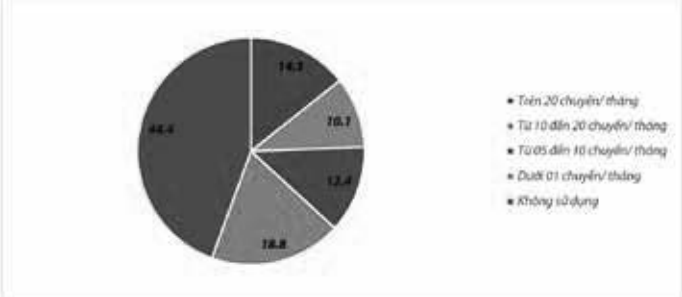



Hình 1. Tỉ lệ nhu cầu di chuyển thường xuyên nhất của người tham gia khảo sát *(Nguồn: Kết quả khảo sát, nhóm tác giả, 2025)*

### 3.2. Tần suất sử dụng GTCC và mức độ tiếp cận hệ thống hiện hữu

Mặc dù nhu cầu di chuyển thiết yếu chiếm tỷ trọng lớn, kết quả khảo sát cho thấy mức độ tiếp cận GTCC tại TP.HCM vẫn còn hạn chế. Cụ thể, 44,4% số người được khảo sát cho biết chưa từng sử dụng GTCC và 18,8% chỉ sử dụng với tần suất dưới một chuyến mỗi tháng, tương ứng hơn 63% mẫu thuộc nhóm rất ít hoặc chưa từng sử dụng (Hình 2). Ngược lại, các nhóm sử dụng với tần suất cao chiếm tỷ lệ thấp hơn, gồm 12,4% sử dụng 5-10 chuyến/tháng, 10,1% sử dụng 10-20 chuyến/tháng và 14,3% sử dụng trên 20 chuyến/tháng.

Sự phân hóa này phản ánh một nghịch lý trong cấu trúc di chuyển đô thị: trong khi nhu cầu di chuyển hằng ngày mang tính bắt buộc và có cường độ cao, GTCC vẫn chưa trở thành phương thức chủ đạo đối với đa số cư dân. Kết quả cho thấy hạn chế cốt lõi không nằm ở thiếu nhu cầu đi lại, mà ở khả năng đáp ứng của hệ thống, đặc biệt tại khâu kết nối và trung chuyển. Khi điểm trung chuyển không đảm bảo tính liên tục của hành trình, chi phí thời gian và tâm lý của việc sử dụng GTCC gia tăng so với phương tiện cá nhân, khiến người dân duy trì các lựa chọn di chuyển hiện hữu.




Hình 2. Tỉ lệ tần suất sử dụng phương tiện GTCC *(Nguồn: Kết quả khảo sát, nhóm tác giả, 2025)*

### 3.3. Mối liên hệ giữa hành trình đô thị, phương tiện cá nhân và nhu cầu trung chuyển

Kết quả phân tích phương sai một yếu tố (ANOVA) cho thấy các đặc điểm của hành trình đô thị và mức độ sử dụng GTCC có mối liên hệ có ý nghĩa thống kê với nhu cầu sử dụng điểm trung chuyển, được đo lường thông qua thang biến D1-D10. Các biến độc lập phản ánh cấu trúc hành trình và cách thức tiếp cận hệ thống, bao gồm thời gian di chuyển (A8), phương tiện sử dụng (A9) và tần suất sử dụng giao thông công cộng (B1), cho thấy sự khác biệt rõ rệt giữa các nhóm hành khách trong việc đánh giá vai trò của điểm trung chuyển trong chuỗi hành trình hằng ngày (Bảng 2).

Bảng 2. Kết quả ANOVA và phân tích hậu nghiệm Tukey về mối liên hệ giữa hành trình đô thị, phương tiện sử dụng và nhu cầu trung chuyển

| Biến độc lập | Biến nhu cầu (D) | F | Sig. | Kết quả Tukey HSD (Mean Difference) |
|---|---|---|---|---|
| A8. Thời gian di chuyển | D8. Tính liên tục của hành trình | 4,810 | 0,001 | Nhóm thời gian dài > Nhóm thời gian ngắn |
| | D10. Cảm nhận sự cần thiết của điểm trung chuyển | 65,788 | 0,000 | +1,306 |
| A9. Phương tiện sử dụng | D6. Điều kiện không gian chờ | 2,744 | 0,028 | Nhóm phụ thuộc GTCC > Nhóm dùng phương tiện cá nhân |
| | D10. Cảm nhận sự cần thiết của điểm trung chuyển | 50,083 | 0,000 | Chênh lệch có ý nghĩa |
| B1. Tần suất sử dụng GTCC | D5. Mức độ an toàn | 15,754 | 0,000 | Nhóm tần suất cao > Nhóm tần suất thấp |
| | D7. Sự thoải mái khi chờ | 15,754 | 0,000 | Nhóm tần suất cao > Nhóm tần suất thấp |
| | D10. Cảm nhận sự cần thiết của điểm trung chuyển | 15,754 | 0,000 | +1,015 |

** Ghi chú: Các nhóm được xác định theo mã hóa trong bảng hỏi khảo sát.*

*(Nguồn: Kết quả khảo sát, nhóm tác giả, 2025)*

Kết quả trong Bảng 2 cho thấy nhu cầu sử dụng điểm trung chuyển gia tăng khi hành trình đô thị trở nên dài và phức hợp hơn, đặc biệt thể hiện ở các biến phản ánh tính liên tục của hành trình và cảm nhận về sự cần thiết của điểm trung chuyển. Các nhóm hành khách có thời gian di chuyển kéo dài hoặc mức độ phụ thuộc cao vào GTCC có xu hướng đánh giá cao hơn vai trò của điểm trung chuyển trong việc duy trì sự liền mạch của chuỗi di chuyển trong bối cảnh đô thị đa phương thức.

Bên cạnh đó, mối liên hệ giữa việc sử dụng phương tiện cá nhân và nhu cầu trung chuyển được thể hiện thông qua các biến liên quan đến điều kiện không gian chờ và mức độ an toàn. Những hành khách ít phụ thuộc vào phương tiện cá nhân hoặc thường xuyên kết hợp nhiều hình thức di chuyển trong một chuyến đi thể hiện nhu cầu cao hơn đối với các điều kiện trung chuyển thuận lợi, cho thấy điểm trung chuyển không chỉ là nút chuyển tuyến, mà còn đóng vai trò như một không gian trung gian hỗ trợ người sử dụng thích nghi với cấu trúc giao thông đô thị phức hợp tại TP.HCM.

**3.4. Kết quả phân tích định lượng về nhu cầu sử dụng điểm trung chuyển**

Trước khi tiến hành phân tích sự khác biệt giữa các nhóm hành khách, độ tin cậy của thang đo nhu cầu sử dụng điểm trung chuyển được kiểm định thông qua hệ số Cronbach's Alpha. Kết quả cho thấy thang đo D1-D10 đạt mức độ tin cậy chấp nhận được cho nghiên cứu khám phá, với hệ số Cronbach's Alpha tổng đạt 0,684. Hệ số tương quan biến tổng hiệu chỉnh của các biến đều lớn hơn 0,2, cho phép giữ lại toàn bộ các biến cho các phân tích tiếp theo (Bảng 3).

Bảng 3. Kết quả kiểm định độ tin cậy thang đo nhu cầu sử dụng điểm trung chuyển (Cronbach's Alpha)

| Biến | Nội dung đo lường | Corrected Item-Total Correlation | Cronbach's Alpha if Item Deleted |
|---|---|---|---|
| D1 | Khả năng tiếp cận điểm trung chuyển | 0,329 | 0,675 |
| D2 | Thời gian chờ | 0,382 | 0,666 |
| D3 | Mức độ thuận tiện khi chuyển tuyến | 0,459 | 0,653 |
| D4 | Khả năng tiếp cận thông tin di chuyển | 0,401 | 0,662 |
| D5 | Mức độ an toàn tại điểm trung chuyển | 0,358 | 0,670 |
| D6 | Điều kiện không gian chờ | 0,374 | 0,668 |
| D7 | Sự thoải mái trong thời gian chờ | 0,343 | 0,672 |
| D8 | Tính liên tục của hành trình | 0,392 | 0,665 |
| D9 | Mức độ thuận tiện tổng thể | 0,367 | 0,669 |
| D10 | Cảm nhận chung về sự cần thiết của điểm trung chuyển | 0,215 | 0,725 |

* Kết quả Cronbach's Alpha tổng = **0,684**.

*(Nguồn: Kết quả khảo sát, nhóm tác giả, 2025)*

Trên cơ sở thang đo đã được kiểm định, kết quả phân tích cho thấy nhu cầu sử dụng điểm trung chuyển là một hiện tượng đa chiều, trong đó các biến thuộc nhóm liên thông hành trình và điều kiện không gian sử dụng đều ghi nhận sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nhóm hành khách. Đặc biệt, các biến mức độ thuận tiện khi chuyển tuyến (D3), tính liên tục của hành trình (D8) và cảm nhận chung về sự cần thiết của điểm trung chuyển (D10) liên tục ghi nhận giá trị F cao và mức ý nghĩa thống kê nhỏ, phản ánh vai trò trung tâm của các yếu tố này trong cấu trúc nhu cầu trung chuyển.

Đáng chú ý, biến D10 thể hiện mức độ phân hóa rõ giữa các nhóm hành khách, cho thấy nhu cầu sử dụng điểm trung chuyển không chỉ gắn với các điều kiện cụ thể của hành trình, mà còn phản ánh mức độ chấp nhận và nhận thức của người dân đô thị đối với vai trò của điểm trung chuyển trong hệ thống GTCC.

## 4. THẢO LUẬN

Các kết quả nghiên cứu cho thấy nhu cầu sử dụng điểm trung chuyển GTCC tại TP.HCM là một cấu phần chức năng mang tính hệ thống của cấu trúc hành trình đô thị, gắn trực tiếp với các hành trình thiết yếu có tần suất cao. Khoảng cách giữa nhu cầu di chuyển và mức độ sử dụng GTCC hiện nay cho thấy hiệu quả hệ thống không chỉ phụ thuộc vào năng lực tuyến, mà chịu chi phối đáng kể bởi cách thức tổ chức tầng trung gian của hành trình, trong đó điểm trung chuyển giữ vai trò quyết định.

Sự khác biệt về nhu cầu trung chuyển giữa các nhóm hành khách, cùng với xu hướng tập trung tại các khu vực có cường độ phát sinh hành trình cao, phản ánh mối liên hệ chặt chẽ giữa nhu cầu trung chuyển, đặc điểm hành trình và cấu trúc không gian đô thị. Điều này làm rõ giới hạn của cách tiếp cận quy hoạch GTCC thiên về các chỉ tiêu vận hành, vốn chưa phản ánh đầy đủ trải nghiệm di chuyển liên tục của người sử dụng trong toàn bộ chuỗi hành trình.

Từ góc nhìn chuỗi hành trình, điểm trung chuyển trực tiếp quyết định tính liên tục và độ tin cậy của di chuyển hằng ngày. Các gián đoạn tại khâu trung chuyển làm suy giảm khả năng chấp nhận GTCC là một lựa chọn ổn định, ngay cả khi các yếu tố chi phí hoặc khoảng cách có lợi so với phương tiện cá nhân. Theo nghĩa này, rào cản cốt lõi đối với việc mở rộng sử dụng GTCC nằm ở sự đứt gãy chức năng tại tầng trung gian của hành trình đô thị.

Dưới góc độ quy hoạch đô thị, các phát hiện này cho thấy việc tiếp cận điểm trung chuyển như hạng mục kỹ thuật riêng lẻ là không còn phù hợp. Hệ thống trung chuyển cần được tổ chức theo hướng phân cấp và phân hóa, gắn với cấu trúc hành trình và điều kiện không gian cụ thể, qua đó chuyển dịch tư duy quy hoạch từ tiếp cận thuần vận hành sang tiếp cận dựa trên hành trình nhằm tăng cường khả năng thích ứng của GTCC trong thực tiễn sử dụng.

Tuy nhiên, nghiên cứu vẫn còn giới hạn ở việc phân tích nhu cầu trung chuyển dựa trên trải nghiệm tự báo cáo của người sử dụng, chưa đi sâu vào quan sát hành vi thực địa tại các điểm trung chuyển cụ thể. Điều này đặt ra yêu cầu cho các nghiên cứu tiếp theo kết hợp dữ liệu hành vi không gian và thời gian thực.

## 5. KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ

Nghiên cứu khẳng định rằng nhu cầu sử dụng điểm trung chuyển GTCC tại TP.HCM mang tính cấu trúc và gắn chặt với các hành trình thiết yếu có tần suất cao. Khoảng cách giữa nhu cầu di chuyển và mức độ sử dụng GTCC hiện nay không bắt nguồn từ sự thiếu hụt nhu cầu, mà từ sự chưa tương thích giữa cấu trúc nhu cầu sử dụng và cách thức tổ chức hệ thống trung chuyển, làm suy giảm tính liên tục và độ tin cậy của hành trình đô thị.

Từ góc độ quy hoạch đô thị, điểm trung chuyển cần được tiếp cận như một thành phần không gian chức năng của cấu trúc đô thị, thay vì chỉ là một hạng mục kỹ thuật phục vụ vận hành tuyến. Việc tích hợp hệ thống điểm trung chuyển vào quy hoạch giao thông và quy hoạch đô thị theo hướng phân cấp và phân hóa, đồng thời coi khả năng tiếp cận, thời gian chờ, chuyển tuyến, thông tin di chuyển, an toàn và điều kiện không gian chờ là các tiêu chí cốt lõi, là điều kiện cần để nâng cao hiệu quả thực tế của GTCC và tăng cường khả năng tích hợp GTCC vào quy hoạch đô thị tại TP.HCM.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO


[1] Asian Development Bank. *Improving Interchanges: Toward Better Multimodal Railway Hubs in the People's Republic of China*. Asian Development Bank, 2015.

[2] Bryniarska, Z.; Zakowska, L. Multi-criteria evaluation of public transport interchanges. *Transportation Research Procedia*, 24, 25-32, 2017. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.063.

[3] Calthorpe, P. *Urbanism in the Age of Climate Change*. Island Press/Center for Resource Economics, 2011. https://doi.org/10.5822/978-1-61091-005-7.

[4] Cervero, R.; Kockelman, K. Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2(3), 199-219, 1997. https://doi.org/10.1016/S1361-9209(97)00009-6.

[5] Curtis, C.; Renne, J. L.; Bertolini, L. (Eds.). *Transit Oriented Development: Making It Happen*. Ashgate, 2009.

[6] Daudén, F. J. L.; Carpio-Pinedo, J.; García-Pastor, A. Transport interchange and local urban environment integration. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 160, 215-223, 2014. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.12.133.

[7] Dittmar, H.; Ohland, G. (Eds.). *The New Transit Town: Best Practices in Transit-Oriented Development*. Island Press, 2004.

[8] Gehl, J. *Cities for People*. Island Press, 2010.

[9] Hằng, N. T. B.; Dũng, N. V. Giải pháp phát triển điểm trung chuyển hành khách công cộng tại TP.HCM. *Transport and Communications Science Journal*, 75(3), 1348-1358, 2024. https://doi.org/10.47869/tcsj.75.3.3

[10] Heddebaut, O.; Di Ciommo, F. City-hubs for smarter cities: The case of Lille "EuraFlandres" interchange. *European Transport Research Review*, 10(1), 10, 2018. https://doi.org/10.1007/s12544-017-0283-3.

[11] Lois, D.; Monzón, A.; Hernández, S. Analysis of satisfaction factors at urban transport interchanges: Measuring travellers' attitudes to information, security and waiting. *Transport Policy*, 67, 49-56, 2018. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.04.004.

[12] Monzón, A.; Hernández, S.; Di Ciommo, F. Efficient urban interchanges: The City-HUB model. *Transportation Research Procedia*, 14, 1124-1133, 2016. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.183.

[13] Moskvichev, O. V.; Leonova, S. A. Development of a system of transport-interchange hubs in urban transport network. *SHS Web of Conferences*, 112, 00015, 2021. https://doi.org/10.1051/shsconf/202111200015.

[14] Newman, P.; Kenworthy, J. *The End of Automobile Dependence: How Cities Are Moving Beyond Car-Based Planning*. Island Press/Center for Resource Economics, 2015. https://doi.org/10.5822/978-1-61091-613-4.

[15] Risimati, B.; Gumbo, T. Examining the role of public transport interchange hubs in supportive public transport integration in City of Johannesburg. *REAL CORP 2018 – Expanding Cities - Diminishing Space: Proceedings of the 23rd International Conference on Urban Planning, Regional Development and Information*, 207-214, 2018.

[16] UN-HABITAT (Ed.). *Planning and Design for Sustainable Urban Mobility: Global Report on Human Settlements 2013*. Routledge, 2013.

[17] Vuchic, V. R. *Urban Transit Systems and Technology*. John Wiley & Sons, 2007.

[18] World Bank. *Urban Transport (Sector Policy Paper No. 11024)*. The World Bank, 1975.

■Ngày nhận bài: 23/01/2026 ■Ngày sửa bài: 02/3/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 11/3/2026

# Nghiên cứu áp dụng các công nghệ tiên tiến trong đánh giá sức khỏe và mức độ an toàn cây xanh để quản lý cây xanh đô thị tại Việt Nam

## Research on applying advanced technologies to assess the health and safety of trees for urban greenery management in Vietnam

> **THS MAI VŨ DUY[1], THS NGUYỄN HUY[2], THS NGUYỄN HUY LONG[2], THS NGUYỄN THẾ VĂN[3], TS LÊ BỬU THẠCH[3], PGS.TS LƯU HỒNG TRƯỜNG[3], THS TRẦN QUANG ĐIỂN[4], THS NGUYỄN ĐÌNH PHÚC[3,*]**

[1]Đại học Cần Thơ
[2]Công ty TNHH Thương mại dịch vụ xây dựng An Hưng Phát
[3]Viện Công nghệ Tiên tiến, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam
[4]Viện Sinh thái Miền Nam; *Email: ndphuc167@gmail.com

### TÓM TẮT

Hiện nay, việc đánh giá tình trạng cây xanh chủ yếu dựa vào quan sát ngoại quan. Mặc dù nhanh, ít tốn kém nhưng phương pháp này phụ thuộc lớn vào khả năng quan sát và kinh nghiệm của người thực hiện và không thể đưa ra kết luận có cơ sở về tình trạng gỗ bên trong. Trong khi đó, trên thế giới, các công nghệ hiện đại (công nghệ đánh giá rủi ro cây xanh) như sóng âm (Sonic Tomography), Electrical Resistivity Tomography (ERT), Ground Penetrating Radar (GPR) và trí tuệ nhân tạo (AI) đã chứng minh khả năng hiệu quả trong việc phát hiện sớm các khiếm khuyết và rủi ro ở cây xanh (kiểm tra không phá hủy). Bước đầu ở Việt Nam, ứng dụng công nghệ sóng âm đã cho thấy các kết quả khả quan và có triển vọng ứng dụng rộng rãi. Các kết quả thực nghiệm sẽ giúp các đơn vị quản lý cây xanh nhận biết sớm các rủi ro về cây xanh và có các biện pháp phù hợp và kịp thời. Tham luận này trình bày thực trạng sức khỏe cây xanh đô thị, phân tích cơ sở khoa học của các phương pháp cổ điển và hiện đại, so sánh với kinh nghiệm quốc tế, thảo luận về thách thức và cơ hội cho Việt Nam, đồng thời đề xuất định hướng quản lý cây xanh đô thị theo hướng an toàn, bền vững và thích ứng biến đổi khí hậu.

**Từ khóa:** Quản lý cây xanh đô thị; sức khỏe cây xanh đô thị; công nghệ đánh giá rủi ro cây xanh; kiểm tra không phá hủy; công nghệ sóng âm.

### ABSTRACT

Currently, tree condition assessment relies primarily on visual inspection. Although rapid and cost-effective, this method depends heavily on the assessor's observation skills and experience, failing to provide definitive conclusions regarding the internal wood condition. Conversely, advanced technologies (tree risk assessment technologies) such as Sonic Tomography, Electrical Resistivity Tomography (ERT), Ground Penetrating Radar (GPR), and Artificial Intelligence (AI) have proven effective globally in the early detection of defects and risks in trees. Initial applications of sonic tomography in Vietnam have yielded promising results, demonstrating potential for widespread adoption. These empirical findings will assist greenery management agencies in identifying risks early and implementing appropriate and timely interventions. This paper presents the current status of urban tree health, analyzes the scientific basis of both conventional and modern methods, compares them with international practices, discusses challenges and opportunities for Vietnam, and proposes urban tree management directions oriented towards safety, sustainability, and climate change adaptation.

**Keywords:** Urban tree management; urban tree health; tree risk assessment technologies; non-destructive testing; sonic tomography.

### 1. MỞ ĐẦU

Trong hệ sinh thái đô thị, cây xanh góp phần cải thiện môi trường sống và nâng cao chất lượng sức khỏe cộng đồng. Các nghiên cứu trên thế giới cho thấy tán cây có khả năng giảm nhiệt độ bề mặt đô thị từ 0,5 - 6,7°C (McDonald và cộng sự, 2016) [6], lọc bụi mịn và khí độc, hấp thụ $CO_2$ và tạo cảnh quan sinh thái. Bên cạnh đó, cây xanh còn mang dấu ấn văn hoá, biểu tượng gắn bó với ký ức và bản sắc đô thị. Tuy nhiên, tốc độ đô thị hóa nhanh chóng, biến

đổi khí hậu, hiện tượng thời tiết cực đoan và hạ tầng phát triển dày đặc đã gia tăng áp lực lên hệ thống cây xanh. Trong những năm gần đây, các sự cố cây xanh ngã đổ gây thiệt hại lớn về người và tài sản ngày càng xảy ra nhiều hơn. Các sự cố này đặt ra vấn đề cấp thiết là phải xây dựng hệ thống đánh giá và quản lý sức khỏe cây xanh (SKCX) một cách khoa học, đồng bộ, nhằm giảm thiểu tối đa rủi ro có thể xảy ra. Cây xanh đô thị (CXĐT) mang lại nhiều lợi ích cho xã hội nhưng cũng gây ra một số chi phí liên quan hoặc "tổn hại hệ sinh thái". Nghiên cứu của Lyytimäki và cộng sự (2008), Escobedo và cộng sự (2011) cho thấy: Cần phải hiểu cả lợi ích (thường được gọi là dịch vụ hệ sinh thái) và chi phí (thường được gọi là dịch vụ hệ sinh thái bất lợi) khi quản lý và lập kế hoạch cho một khu rừng đô thị.

Ở các đô thị lớn như Singapore hay Tokyo, cây xanh được quản lý bằng cơ sở dữ liệu số hóa, gắn với công nghệ hiện đại như cảm biến sóng âm, radar xuyên đất, drone và trí tuệ nhân tạo. Trong khi đó, ở các đô thị tại Việt Nam, việc áp dụng công nghệ mới vẫn còn hạn chế. Do đó, bài viết này tập trung phân tích thực trạng SKCX tại một số đô thị ở Việt Nam, lấy ví dụ chủ yếu tại TP.HCM thuộc khu vực Nam Bộ, đồng thời tổng hợp và so sánh các phương pháp đánh giá truyền thống và hiện đại, từ đó đề xuất định hướng quản lý cây xanh bền vững trong bối cảnh biến đổi khí hậu.

## 2. THỰC TRẠNG SKCX ĐÔ THỊ Ở VIỆT NAM

Tại Việt Nam, CXĐT có lịch sử lâu đời. Tại Hà Nội và TP.HCM, nhiều cây được trồng từ thời Pháp thuộc và tồn tại đến nay, hình thành nên các tuyến phố đặc trưng với nhiều cá thể thuộc nhóm cây cổ thụ. Tuy nhiên, sự thiếu đồng bộ trong quy hoạch, cùng với tốc độ gia tăng dân số và phát triển hạ tầng đô thị nhanh chóng, đã làm thu hẹp không gian dành cho cây xanh. Theo Tổ chức Y tế Thế giới (WHO), tiêu chuẩn diện tích CXĐT đạt 10 - 15 $m^2$/người. Trong khi đó, theo thống kê của Bộ Xây dựng, tỷ lệ đất cây xanh công cộng tại TP.HCM chỉ khoảng 0,55 $m^2$/người - thấp nhất trong các đô thị cả nước. Tại Hà Nội, con số này đạt 2,06 $m^2$/người; Đà Nẵng 2,4 $m^2$/người; Hải Phòng 3,41 $m^2$/người. Các giá trị này đều thấp hơn đáng kể so với tiêu chuẩn quy định tại TCVN 9257:2012, trong đó đô thị đặc biệt yêu cầu khoảng 12 - 15 $m^2$/người, còn đô thị loại I và II khoảng 10 - 12 $m^2$/người [11]. Những số liệu này phản ánh rõ sự thiếu hụt cây xanh cũng như áp lực lớn mà hệ thống cây hiện hữu đang phải gánh chịu.

Ở Nam Bộ, đặc thù nền đất yếu, tầng phèn - mặn và chế độ ngập - khô xen kẽ đã làm suy giảm đáng kể khả năng phát triển của rễ cây. Trong mùa khô, cây chịu stress do thiếu nước, trong khi mùa mưa kéo dài khiến đất úng, thiếu oxy cho rễ. Tuy nhiên, trong những năm trở lại đây, mùa khô có xu hướng kéo dài và nhiệt độ cực đoan càng làm trầm trọng thêm tình trạng stress nước và sức khỏe chung của cây xanh. Hiện tượng "gió đường hầm" (wind tunnel) ở các trục phố cao tầng cũng làm tăng tác động cơ học lên cây xanh, khiến nguy cơ đổ ngã càng lớn. Trong khi đó, cây xanh trồng ở đô thị thường bị hạn chế không gian phát triển hệ rễ neo, đồng thời có xu hướng phát triển cành tán rộng do không bị cạnh tranh ánh sáng. Các yếu tố này đã khiến các sự cố về cây xanh xảy ra thường xuyên hơn trong các trận mưa lớn tại các đô thị trong những năm gần đây nhất là trên địa bàn TP.HCM (Trung tâm quản lý hạ tầng kỹ thuật - Sở Xây dựng TP.HCM, 2025) [10].

Hiện nay, việc đánh giá SKCX ở Việt Nam chủ yếu dựa vào quan sát ngoại quan. Cán bộ quản lý kỹ thuật thường dựa vào các dấu hiệu bất thường xuất hiện trên thân, gốc, vỏ, cành, để "chẩn đoán" sức khỏe cho cây. Đây là phương pháp nhanh gọn, chi phí thấp, nhưng mang tính chủ quan cao và dễ dẫn đến sai lệch. Thực tế ghi nhận nhiều cây có ngoại quan bình thường nhưng bên trong đã mục ruỗng nghiêm trọng nhưng không được phát hiện kịp thời, trong khi một số cây mặc dù có dấu hiệu bất thường bên ngoài nhưng cấu trúc vẫn an toàn lại bị loại bỏ. Việc thiếu cơ sở dữ liệu đồng bộ và quy trình đánh giá chuẩn hóa là hạn chế lớn nhất trong công tác quản lý cây xanh hiện nay. [1]

**Thống kê sự cố cây xanh trên địa bàn TP.HCM trong những năm gần đây**

| TT | Trường hợp | 2022 | 2023 | 2024 | Tháng 1, 2, 3, 4/2025 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Cây ngã | 409 | 597 | 459 | 46 |
| 2 | Cây nghiêng | 211 | 272 | 190 | 16 |
| 3 | Nhánh gãy | 526 | 732 | 670 | 39 |
| | **Tổng cộng** | **1.146** | **1.601** | **1.319** | **101** |

*(Nguồn: Trung tâm quản lý hạ tầng kỹ thuật - Sở Xây dựng TP.HCM, 2025) [8]*

## 3. PHƯƠNG PHÁP CỔ ĐIỂN VÀ HIỆN ĐẠI ĐÁNH GIÁ SỨC KHỎE CÂY

### 3.1. Phương pháp cổ điển

Quan sát trực quan là phương pháp đã được sử dụng lâu đời và phổ biến nhất, dựa vào hình thái bên ngoài để phán đoán tình trạng cây. Ưu điểm của phương pháp này là dễ triển khai, không cần thiết bị phức tạp, nhưng nhược điểm là thiếu tính định lượng và phụ thuộc nhiều vào kinh nghiệm (Hình 1). Các chỉ số bên ngoài của sự phân hủy thân và rễ thường khó diễn giải, và sức sống thực sự của cây rất khó đánh giá nếu không chặt cây (Liu và cộng sự, 2018 [4]; Heineman và cộng sự, 2015) [3]. Phương pháp khoan thăm dò (resistograph) (Hình 2) giúp xác định tình trạng mục ruỗng bằng cách đo lực kháng khi khoan xuyên qua vỏ cây vào mạch gỗ (Smiley và Fraedrich 1992 [9]; Costello và Quarles 1999) [1]. Mặc dù cho kết quả định lượng, song đây là phương pháp xâm lấn, có thể có một số nhược điểm liên quan đến việc khoan (Harris và cộng sự 1999) [2], có thể gây thêm tổn thương cho cây nếu không có phương án xử lý lỗ khoan phù hợp sau khi khoan. Việc kéo/nghiêng cây là một phương pháp cơ học, áp dụng lực để kiểm tra độ ổn định của hệ rễ. Phương pháp này mang lại kết quả trực tiếp về khả năng chống đổ ngã, nhưng khó áp dụng rộng rãi do cần thiết bị lớn và có thể gây ảnh hưởng đến hạ tầng đô thị.

Hình 1. Quan sát trực quan nhằm phát hiện các dấu hiệu bất thường bên ngoài cây

Hình 2. Phương pháp khoan thăm dò (resistograph) vùng mục ruỗng bên trong thân cây (IML, 2026) [7]

### 3.2. Phương pháp hiện đại trên thế giới

Các công nghệ tiên tiến đánh giá sức khỏe & an toàn CXĐT bao gồm kết hợp UAV (drone) chụp ảnh độ phân giải cao, Trí tuệ nhân tạo (AI) & Deep Learning (DL) (mô hình U-Net) để phân tích, nhận dạng vấn đề, và hệ thống WebGIS trực quan hóa dữ liệu, cho phép phát hiện sớm sâu bệnh, nấm mốc, vết nứt, hoặc rủi ro gãy đổ, từ đó quản lý cây xanh thông minh và bảo vệ an toàn công cộng hiệu quả hơn. Các công nghệ chính gồm: Trinh sát trên không (UAV), Trí tuệ nhân tạo (AI), Hệ thống Thông tin địa lý (WebGIS) và cảm biến (Sensor);

- Ứng dụng công nghệ hiện đại kiểm tra SKCX, giúp phát hiện sớm rủi ro gãy đổ, bảo vệ an toàn cho người dân, góp phần giữ gìn môi trường sống;

- Việc ứng dụng công nghệ vào quản lý cây xanh giúp số hóa toàn bộ dữ liệu về cây xanh trong đô thị, từ đó tối ưu hóa công tác quản lý và bảo vệ cảnh quan đô thị;

- Khi cần kiểm tra sâu hơn, SKCX cũng được "chẩn đoán" bằng máy đo dòng nhựa để xác định đặc tính dòng nhựa luân chuyển bên trong mạch cây. Liệu pháp sử dụng các loại thiết bị đo dòng nhựa, chất dinh dưỡng cũng là phương án đáng lưu ý;

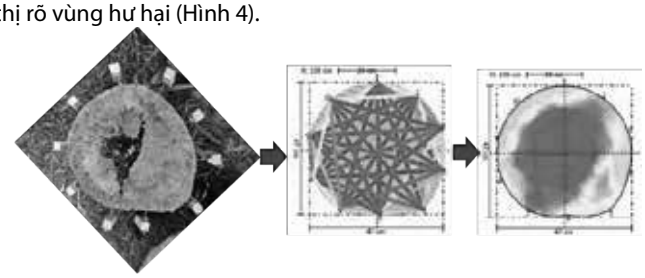
- Tại Cộng hòa Áo ứng dụng giải pháp thành phố thông minh dựa trên AI để tạo ra bản sao số (Digital Twin) giúp chính quyền thành phố quản lý dân số trực tuyến cũng như giám sát và dự đoán các diễn biến của hệ sinh thái bằng cách sử dụng mô phỏng máy tính; khi áp dụng đối với bản sao số cây xanh, sẽ giúp việc quản lý CXĐT hiệu quả hơn và ứng phó với biến đổi khí hậu tốt hơn.

Electrical Resistivity Tomography (ERT) dựa trên nguyên lý điện trở của gỗ, trong đó vùng ẩm hoặc mục ruỗng có điện trở thấp hơn, cho phép phát hiện tình trạng bất thường bên trong cây (Hình 3). Ground Penetrating Radar (GPR) là công nghệ radar xuyên đất, giúp khảo sát hệ rễ ngầm, xác định sự phát triển bất cân đối của rễ - nguyên nhân tiềm ẩn dẫn đến bật gốc (Hình 4). Ngoài ra, sự phát triển của drone và trí tuệ nhân tạo đang mở ra hướng mới trong giám sát cây xanh. Drone gắn cảm biến quang phổ có thể chụp ảnh tán cây và phân tích stress sinh lý thông qua các chỉ số như NDVI, PRI. Kết hợp với GIS, các công nghệ này cho phép lập bản đồ rủi ro và dự báo sự cố cây đổ theo không gian và thời gian.

Sonic Tomography, hay còn gọi là công nghệ sóng âm, là một trong những phương pháp hiện đại phổ biến nhất hiện nay để đánh giá tình trạng cây xanh. Các cảm biến được gắn xung quanh thân cây để ghi nhận tốc độ truyền sóng âm (Hình 3).

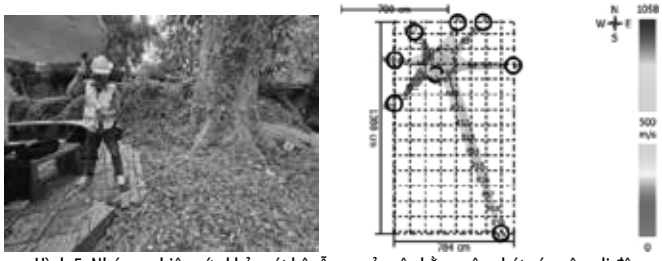
Hình 3. Nhóm nghiên cứu kiểm tra tình trạng gỗ ở phần thân gốc bằng vòng cảm biến sóng âm được gắn trên cây

Những vùng gỗ mục ruỗng hoặc khoang rỗng sẽ làm chậm tốc độ truyền sóng, từ đó, phần mềm sẽ dựng ảnh mặt cắt thân cây, hiển thị rõ vùng hư hại (Hình 4).



Hình 4. Nhóm nghiên cứu đánh giá độ chính xác hệ thống sóng âm đối với mẫu gỗ hư hại (màu xanh, vàng đối với phần gỗ có tình trạng tốt, đỏ đối với phần gỗ có sự hư hại và tím đối với vùng mục rỗng)

Ngoài ra, khi kết hợp cùng gậy phát sóng âm di động, hệ thống sóng âm còn giúp đánh giá tình trạng phân bố hệ rễ neo của cây, nhằm phát hiện các cây có hệ rễ kém, có nguy cơ bật gốc ngã đổ cao (Hình 5).



Hình 5. Nhóm nghiên cứu khảo sát hệ rễ neo của cây bằng gậy phát sóng âm di động

Tại các đô thị lớn như Singapore, cây xanh được quản lý bằng hệ thống dữ liệu số hóa, trong đó mỗi cây có một "hồ sơ sức khỏe" lưu trữ các thông tin về loài, tuổi, tình trạng và lịch sử chăm sóc. Tại Nhật Bản, công nghệ sóng âm và radar xuyên đất được sử dụng thường xuyên trong kiểm tra cây xanh tại các công viên lớn. Ở châu Âu, nhiều thành phố như Berlin hay Paris áp dụng hệ thống drone và AI để giám sát tán cây trên diện rộng. Những kinh nghiệm quốc tế này là minh chứng rõ ràng cho hiệu quả của việc kết hợp các công nghệ hiện đại trong quản lý CXĐT.

**3.3. Ứng dụng tại Việt Nam**

Tại Việt Nam, việc áp dụng công nghệ hiện đại nhằm kiểm tra, đánh giá tình trạng cây xanh chỉ vừa mới được triển khai trên phạm vi nhỏ. TP.HCM là nơi tiên phong sử dụng thiết bị Arbotom ABT06-S dựa trên công nghệ sóng âm (Sonic Tomography). Các khảo sát đã được thực hiện tại Thảo Cầm Viên Sài Gòn, công viên, trường học và Côn Đảo (Hình 6) cho thấy nếu không được quan tâm, chăm sóc, cắt tỉa định kỳ, sức khỏe các cây (đặc biệt là các cây cổ thụ, di sản) sẽ bị suy giảm nghiêm trọng đến mức không thể cứu vãn. Các kết quả khảo sát thực tế còn cho thấy nhiều cây bên ngoài hoàn toàn bình thường nhưng bên trong thân đã mục ruỗng nghiêm trọng, tiềm ẩn nguy cơ ngã đổ cao. Ngược lại, một số cây có dấu hiệu bất thường bên ngoài nhưng cấu trúc bên trong vẫn ổn định, không cần đốn hạ. Điều này chứng minh công nghệ sóng âm không chỉ giúp phát hiện sớm rủi ro mà còn tránh được việc xử lý quá mức không cần thiết, góp phần giữ gìn và duy trì những lợi ích mà cây xanh cung cấp.

Hình 6. Nhóm nghiên cứu ứng dụng công nghệ sóng âm kiểm tra cây xanh trong trường học (trái) và cây di sản (phải)

## 4. THÁCH THỨC VÀ HƯỚNG TIẾP CẬN MỚI ĐỐI VỚI VIỆC QUẢN LÝ CÂY XANH ĐÔ THỊ

**4.1. Thách thức quản lý cây xanh đô thị Việt Nam bao gồm:**

1) Áp lực đô thị hóa nhanh làm thiếu đất và không gian

- Thiếu quỹ đất: Tốc độ xây dựng cao làm thu hẹp diện tích đất quy hoạch cho cây xanh, đặc biệt khó khăn ở các khu đô thị cũ, chật hẹp.

- Không gian hạn chế: Vỉa hè hẹp, công trình xây dựng gần đường làm cây phát triển lệch tán, nghiêng ra đường, dễ gãy.

2) Vấn đề quy hoạch và lựa chọn cây xanh chưa đồng bộ

- Sự thiếu đồng bộ trong quy hoạch dẫn đến lựa chọn sai loại cây, cây phát triển lệch tán, xung đột hạ tầng (điện, nhà cao tầng) gây gãy đổ, nguy hiểm.

- Lựa chọn sai: Chọn cây không phù hợp với điều kiện sinh thái, điều kiện gió, hoặc có nguy cơ cao gãy đổ (phượng vĩ, lim xẹt).

- Bên cạnh đó, quy hoạch cây xanh chưa theo kịp tốc độ đô thị hóa, thiếu tính liên kết, thiếu không gian công viên xanh.

3) Xung đột với hạ tầng và môi trường (Sự xâm hại do ý thức kém và do quá trình thi công)

- Xung đột lưới điện: Cây xanh vướng dây điện, phải cắt tỉa nhiều lần, dẫn đến lệch tán, dễ đổ, gây nguy hiểm.

- Hiệu ứng gió: Nhà cao tầng tạo hiệu ứng gió đường hầm, làm gió mạnh hơn, tăng nguy cơ cây đổ, đặc biệt mùa mưa bão.

4) Quản lý và chăm sóc

- Chăm sóc cây lâu năm/cổ thụ phức tạp: Cần có quy trình, phương pháp chuyên biệt, nhưng hiện nay thiếu thông tin và chưa được nghiên cứu.

- Xâm hại cây xanh: Ý thức bảo vệ cây xanh thấp, thi công công trình gây tổn thương, phá hoại cây xanh.

5) Thiếu hụt diện tích xanh: Tỷ lệ cây xanh/người nhiều đô thị Việt Nam rất thấp (<1 $m^2$/người) so với tiêu chuẩn quốc tế (7 - 10 $m^2$/người), đòi hỏi giải pháp di dời, quy hoạch quỹ đất hiệu quả.

Những thách thức này đòi hỏi giải pháp tổng thể từ quy hoạch, đầu tư hạ tầng, chọn giống cây, ứng dụng công nghệ đến nâng cao ý thức cộng đồng để xây dựng đô thị xanh bền vững hơn.

**4.2. Những hướng tiếp cận mới đối với việc quản lý CXĐT**

Việc kết hợp giữa phương pháp cổ điển và hiện đại không chỉ mang ý nghĩa kỹ thuật mà còn thể hiện bước tiến trong quản lý dựa trên khoa học. Sonic Tomography là ví dụ điển hình cho việc ứng dụng nguyên lý vật lý vào nghiên cứu thực vật ứng dụng. Công nghệ này kết hợp với cơ học cây, đặc biệt là tỉ số t/R được Mattheck và Breloer (1994) [5] đề xuất, cho phép đánh giá định lượng mức độ rủi ro gãy đổ. Bên cạnh đó, các nghiên cứu và công bố về vùng rễ an toàn của CXĐT đã được Sở Xây dựng TP.HCM tổng hợp và đề xuất cũng tạo cơ sở để đánh giá rủi ro về ngã đổ của cây xanh (Sở Xây dựng TP.HCM, 2023). Điều này đánh dấu sự thay đổi căn bản từ đánh giá ngoại quan sang dựa trên bằng chứng khoa học. Việt Nam hoàn toàn có thể áp dụng mô hình quản lý thông minh nếu có sự đầu tư đúng hướng. Từ những kết quả trên nhóm tác giả đề xuất những hướng tiếp cận mới đối với việc quản lý CXĐT:

1) Quy hoạch tích hợp & bền vững: Lồng ghép cây xanh và hạ tầng xanh (HTX) vào quy hoạch tổng thể đô thị, quy hoạch chống chịu với biến đổi khí hậu, ưu tiên không gian xanh đa chức năng (công viên, vườn, hành lang xanh).

2) Khoa học & Công nghệ (Big Data, GIS): Ứng dụng hệ thống thông tin địa lý (GIS) để quản lý cây xanh, thu thập dữ liệu, mô phỏng và đánh giá sức khỏe cây, sử dụng công nghệ để giám sát, dự báo rủi ro. Sinh học sẽ đóng vai trò nghiên cứu stress sinh lý và bệnh hại của cây; khoa học vật liệu có thể cung cấp giải pháp trám bít hoặc tăng cường khả năng chịu lực cho cây suy yếu.

3) Quản lý dựa trên dữ liệu & chuyên môn hóa: Xây dựng quy trình quản lý khoa học, tiêu chuẩn hóa việc chăm sóc, cắt tỉa theo khoa học (Shigo), phân tích tác động môi trường, lựa chọn loài cây bản địa phù hợp. Ban hành tiêu chuẩn quốc gia cho quy trình kiểm tra bằng công nghệ mới, có thể tích hợp vào hệ thống quản lý chính thức.

4) Xã hội hóa & cơ chế khuyến khích: Tăng cường tuyên truyền, giáo dục để nâng cao nhận thức người dân; có chính sách hỗ trợ (tín dụng, giảm phí) và cơ chế khen thưởng để người dân, doanh nghiệp tham gia phát triển HTX.

5) Đổi mới công tác đầu tư & vận hành: Đào tạo nhân lực bài bản về công nghệ đo đạc và phân tích dữ liệu, có sự phối hợp liên ngành. Huy động đa dạng nguồn vốn, chuyển đổi mô hình quản lý khai thác, kết hợp bảo tồn cây lâu năm với phát triển cây mới, tạo không gian xanh đa dạng, hiệu quả.

**5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ**

Công tác quản lý CXĐT tại Việt Nam đang đứng trước nhu cầu cấp thiết phải kết hợp từ cách truyền thống dựa trên kinh nghiệm với hướng tiếp cận hiện đại dựa trên khoa học và công nghệ. Các phương pháp cổ điển vẫn có những giá trị nhất định, nhưng cần được kết hợp với công nghệ phi xâm lấn để đảm bảo độ chính xác và tính toàn diện trong kết quả đánh giá. Lồng ghép cây xanh và HTX vào quy hoạch tổng thể đô thị, quy hoạch chống chịu với biến đổi khí hậu. Xây dựng cơ sở dữ liệu SKCX, được cập nhật định kỳ và tích hợp với GIS, là giải pháp quan trọng để dự báo rủi ro và hỗ trợ ra quyết định. Đồng thời, cần thúc đẩy nghiên cứu liên ngành, kết nối sinh học, vật liệu, công nghệ thông tin và quy hoạch đô thị, nhằm đưa ra giải pháp tổng thể từ chăm sóc cây khỏe mạnh đến giải pháp giảm thiểu rủi ro cho cây suy yếu.

Ở cấp độ chính sách, việc ban hành tiêu chuẩn kỹ thuật và quy chuẩn quốc gia cho đánh giá rủi ro CXĐT là cần thiết để tạo hành lang pháp lý cho ứng dụng công nghệ hiện đại. Tăng cường tuyên truyền, giáo dục để nâng cao nhận thức người dân; có chính sách hỗ trợ (tín dụng, giảm phí) và cơ chế khen thưởng. Huy động đa dạng nguồn vốn, chuyển đổi mô hình quản lý khai thác, kết hợp bảo tồn cây lâu năm với phát triển cây mới. Nếu thực hiện đồng bộ các giải pháp này, hệ thống CXĐT Việt Nam, đặc biệt tại Nam Bộ, có thể hướng tới chiến lược quản lý an toàn - bền vững - thích ứng khí hậu, đáp ứng đồng thời yêu cầu bảo tồn cảnh quan, bảo vệ môi trường và đảm bảo an toàn cộng đồng.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

[1] Costello, L.R.; Quarles, S.L., *Detection of wood decay in blue gum and elm: An evaluation of the Resistograph and the portable drill*, Journal of Arboriculture, Vol. 25, No. 6, pp. 311-317, 1999.

[2] Harris, R.W.; Clark, J.R.; Matheny, N.P., *Arboriculture: Integrated Management of Landscape Trees, Shrubs, and Vines*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1999.

[3] Heineman, K.D.; Russo, S.E.; Baillie, I.C.; Mamit, J.D.; Chai, P.P.-K.; Chai, L.; Hindley, E.W.; Lau, B.-T.; Tan, S.; Ashton, P.S., *Evaluation of Stem Rot in 339 Bornean Tree Species: Implications of Size, Taxonomy, and Soil-Related Variation for Aboveground Biomass Estimates*, Biogeosciences, Vol. 12, No. 19, pp. 5735-5751, 2015.

[4] Liu, L.; Li, G., *Acoustic Tomography Based on Hybrid Wave Propagation Model for Tree Decay Detection*, Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 151, pp. 276–285, 2018.

[5] Mattheck, C.; Bethge, K.; West, P.W., *Breakage of hollow tree stems*, Trees, Vol. 9, No. 1, pp. 47–50, 1994.

[6] McDonald, R.; Kroeger, T.; Boucher, T.; Wang, L.Z.; Salem, R., *Planting healthy air: A global analysis of the role of urban trees in addressing particulate matter pollution and extreme heat* , 2016.

[7] IML, *IML-RESI F-Series*, IML North America (Website), 2026. Available online: https://iml-na.com/product/iml-resi-f-serie/ (accessed on 12/01/2026).

[8] Sở Xây dựng TP.HCM, *Hướng dẫn ứng xử khi cây xanh nằm trong phạm vi ảnh hưởng của công trình*, 2023.

[9] Smiley, E.T.; Fraedrich, B.R., *Determining strength loss from decay*, Journal of Arboriculture, Vol. 18, No. 4, pp. 201-204, 1992.

[10] Trung tâm Quản lý Hạ tầng Kỹ thuật, Sở Xây dựng TP.HCM, *Thống kê sự cố cây xanh trên địa bàn TP.HCM trong những năm gần đây*, 2025.

[11] TCVN 9257:2012, *Quy hoạch cây xanh sử dụng công cộng trong các đô thị - Tiêu chuẩn thiết kế*, NXB Xây dựng, 2012.

■Ngày nhận bài: 06/01/2026 ■Ngày sửa bài: 19/01/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 28/01/2026

# Nghiên cứu xác định các tiêu chí kỹ thuật làm cơ sở lựa chọn cấp kỹ thuật đường sắt

## Research on determining technical criteria for the selection of railway technical grading

**> PGS.TS TRẦN ANH DŨNG[1,*], THS NGUYỄN ĐỨC PHƯƠNG[2]**
[1]Trường Đại học Giao thông vận tải
[2]Bộ Xây dựng
[*]Email: trananhdung@utc.edu.vn

**TÓM TẮT**

Việc lựa chọn cấp kỹ thuật đường sắt có vai trò quyết định đến quy mô đầu tư, tiêu chuẩn thiết kế, năng lực vận chuyển và hiệu quả khai thác lâu dài của tuyến. Trong bối cảnh Việt Nam đang đẩy mạnh đầu tư mới và nâng cấp mạng lưới đường sắt quốc gia, nhu cầu xây dựng phương pháp xác định các tiêu chí kỹ thuật làm cơ sở lựa chọn cấp kỹ thuật là hết sức cấp thiết. Bài báo tổng hợp cơ sở lý luận và thực tiễn về phân cấp kỹ thuật đường sắt trên thế giới và tại Việt Nam; phân tích nội dung tiêu chuẩn TCVN 8893:2020; đề xuất hệ tiêu chí kỹ thuật cốt lõi gồm: Tốc độ thiết kế, độ dốc hạn chế, bán kính đường cong nằm tối thiểu, kích thước mặt nền đường, hệ thống thông tin, hệ thống tín hiệu gắn với điều kiện năng lực vận chuyển. Bài báo đồng thời trình bày quy trình xác định tiêu chí kỹ thuật và lựa chọn cấp kỹ thuật theo hướng định lượng, phục vụ công tác lập dự án và thiết kế đường sắt.

**Từ khóa:** Tiêu chí kỹ thuật; cấp kỹ thuật; tốc độ thiết kế; độ dốc hạn chế; bán kính đường cong; nền đường; thông tin; tín hiệu.

**ABSTRACT**

The selection of a railway technical grading plays a decisive role in determining investment scale, design standards, transport capacity and the long-term operational efficiency of a railway line. In the context of Vietnam's ongoing expansion and upgrading of the national railway network, the usage need to develop a method for identifying technical criteria as a basis for selecting the appropriate technical grading is highly urgent. This paper compiles theoretical and practical foundations for railway technical grading worldwide and in Vietnam; analyzes the content of Standard TCVN 8893:2020 and proposes a core set of technical criteria including design speed, ruling grade, minimum horizontal curve radius, embankment width, information and signaling systems linked with transport capacity requirements. The paper also presents a quantitative-oriented procedure for determining technical criteria and selecting the technical grading, serving project preparation and railway design activities.

**Keywords:** Technical criteria; technical grading; design speed; limiting gradient; horizontal curve radius; embankment width; information; signaling.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Theo định hướng phát triển kết cấu hạ tầng giao thông, đường sắt Việt Nam đang bước vào giai đoạn đầu tư mới với quy mô lớn, bao gồm tuyến đường sắt tốc độ cao Bắc - Nam, các tuyến kết nối quốc tế, cảng biển, khu công nghiệp, đường sắt đô thị tại các thành phố lớn và nâng cấp các tuyến hiện hữu. Quy hoạch mạng lưới đường sắt quốc gia thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến 2050 đặt ra yêu cầu mở rộng mạnh mẽ quy mô và nâng cao chất lượng kỹ thuật toàn hệ thống [1].

Trong quá trình chuẩn bị đầu tư, một trong những quyết định có ảnh hưởng nền tảng là xác định cấp kỹ thuật tuyến đường sắt. Cấp kỹ thuật quyết định trực tiếp đến các thông số chủ yếu như tốc độ thiết kế, độ dốc hạn chế, bán kính đường cong nằm tối thiểu, kích thước mặt nền đường, hệ thống thông tin, hệ thống tín hiệu. Nếu lựa chọn cấp kỹ thuật quá thấp tuyến đường sẽ nhanh chóng quá tải, kém cạnh tranh; nếu lựa chọn cấp kỹ thuật quá cao sẽ gây lãng phí nguồn lực.

Tại Việt Nam đã ban hành tiêu chuẩn phân cấp kỹ thuật đường sắt (TCVN 8893:2020) [6], tuy nhiên tiêu chuẩn này chủ yếu đưa ra bảng thông số theo từng cấp, chưa hướng dẫn đầy đủ phương pháp xác định tiêu chí đầu vào để lựa chọn cấp cho một tuyến cụ thể. Do đó, cần xây dựng một khung phương pháp luận và hệ tiêu chí kỹ thuật làm cơ sở lựa chọn cấp kỹ thuật phù hợp với nhu cầu vận tải.

### 2. TỔNG QUAN VỀ PHÂN CẤP KỸ THUẬT ĐƯỜNG SẮT

Kinh nghiệm quốc tế cho thấy phân cấp kỹ thuật đường sắt

được thực hiện theo hai hướng chính: Phân cấp theo một chỉ tiêu chủ đạo: Như tải trọng trục (Đức, Anh, Pháp và Hiệp hội Đường sắt quốc tế), tốc độ khai thác (Mỹ). Phân cấp theo nhiều chỉ tiêu tổng hợp: Như tốc độ thiết kế, vai trò tuyến trong mạng lưới, khối lượng vận tải, loại hình vận chuyển (Nhật Bản, Nga, Trung Quốc).

Một số xu hướng đáng chú ý: Các nước châu Âu thường gắn cấp tuyến đường với tải trọng trục phục vụ thiết kế kết cấu. Nhật Bản phân biệt rõ giữa mạng lưới tuyến Shinkansen (tốc độ cao) và mạng lưới tuyến khổ hẹp truyền thống theo lưu lượng, tốc độ, tải trọng. Trung Quốc xây dựng hệ thống phân cấp đa tầng: Đường sắt tốc độ cao, tốc độ nhanh, hỗn hợp nhanh, hỗn hợp thường và đường sắt hàng nặng gắn với vai trò mạng lưới và khối lượng vận chuyển quy đổi.

**2.2. Hệ thống phân cấp kỹ thuật đường sắt Việt Nam**

Hệ thống tiêu chuẩn Việt Nam về phân cấp kỹ thuật đường sắt đã phát triển qua nhiều giai đoạn: Quy phạm thiết kế đường sắt khổ 1.000 mm [2]: Chia thành cấp chủ yếu, thứ yếu, xí nghiệp. Tiêu chuẩn thiết kế đường sắt khổ 1.435 mm [3]: Phân cấp theo cường độ vận tải hướng nặng và số đôi tàu khách ở mỗi ngày đêm. Tiêu chuẩn cấp kỹ thuật đường sắt [4]: Phân cấp theo năng lực tuyến, tốc độ thiết kế, bán kính đường cong nằm, độ dốc tối đa, kích thước mặt nền đường. Tiêu chuẩn cấp kỹ thuật đường sắt [5]: Phân cấp theo năng lực của tuyến, tốc độ thiết kế, bán kính đường cong nằm, độ dốc dọc tối đa, kích thước mặt nền đường, thông tin, tín hiệu. Tiêu chuẩn cấp kỹ thuật đường sắt quốc gia [6]: Các tiêu chí kỹ thuật chủ yếu dùng để đặc trưng cấp tuyến đường gồm: Tốc độ thiết kế, độ dốc hạn chế, bán kính đường cong nằm tối thiểu, kích thước mặt nền đường, hệ thống thông tin, hệ thống tín hiệu.

Tuy nhiên, tiêu chuẩn hiện tại [6] chưa chỉ rõ quy trình xác định các tiêu chí này từ nhu cầu vận tải và điều kiện khai thác cụ thể - đây chính là khoảng trống phương pháp cần được bổ sung.

## 3. PHÂN TÍCH, TÍNH TOÁN XÁC ĐỊNH CÁC TIÊU CHÍ KỸ THUẬT

**3.1. Phân tích, tính toán xác định các tiêu chí kỹ thuật tốc độ thiết kế ($V_{tk}$) và độ dốc hạn chế ($i_p$) [7]**

Tốc độ thiết kế và độ dốc hạn chế cần phải đảm bảo các điều kiện về đáp ứng khối lượng vận chuyển yêu cầu năm tương lai. Tức là:

$$G_{ct} \geq G_{yc} \quad (1)$$

Trong đó:

$G_{ct}$ - Khối lượng vận chuyển có thể của tuyến (triệu tấn quy đổi/năm);

$G_{yc}$ - Khối lượng vận chuyển yêu cầu của tuyến (triệu tấn quy đổi/năm).

Khối lượng vận chuyển yêu cầu của tuyến:

$$G_{yc} = G_{yc}^{h} + \frac{G_{yc}^{g}}{A} \quad (2)$$

Trong đó:

- Khối lượng vận chuyển hành khách yêu cầu;
- Khối lượng vận chuyển hàng hóa yêu cầu;

A - Định biên số lượng hành khách/đoàn tàu.

Khối lượng vận chuyển có thể của tuyến:

$$G_{ct} = \left(365.\frac{24.V_c.\alpha}{2.L_{kg}}.2.\left(\frac{F_k}{g.(\omega_0+i_p)} - P\right)\right).\Psi \quad (3)$$

Trong đó:

$2.L_{kg}$ - 2 lần chiều dài khu gian (km), xác định theo khoảng cách giữa vị trí hai ga quy hoạch liền kề;

$V_c$ - Vận tốc chạy tàu bình quân trên khu gian (km/h);

α - Hệ số sử dụng năng lực của tuyến/đoạn tuyến đường sắt (0,75 - 0,80);

$F_K$ - Sức kéo đoàn tàu tính toán (N);

g - Gia tốc trọng trường (m/s$^2$);

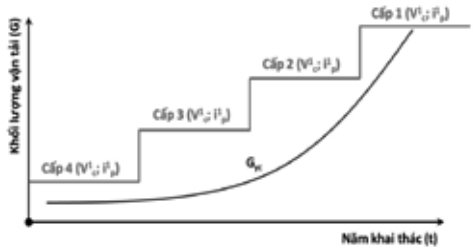
P - Khối lượng đầu máy (Tấn);

$\omega_0$ - Lực cản đơn vị cơ bản của đoàn tàu (N/kN);

$i_p$ - Độ dốc hạn chế (‰);

Ψ - Hệ số bình quân tải trọng (0,65 - 0,85).

Các tham số đã biết: $L_{kg}$, $F_K$, P, $\omega_0$, Ψ, α, g. Các tham số cần tìm: $V_c$, $i_p$. Thay các giá trị $V_c = 0,5.V_{tk}$, $i_p$ của từng cấp đã quy định trong tiêu chuẩn TCVN 8893:2020 vào công thức (3), ta xây dựng biểu đồ phân tích để lựa chọn cấp kỹ thuật theo điều kiện đảm bảo đáp ứng năng lực yêu cầu như sau:




Hình 1. Biểu đồ phân tích lựa chọn cấp kỹ thuật

**3.2. Phân tích, tính toán lựa chọn tiêu chí bán kính đường cong nằm tối thiểu ($R_{min}$) [8]**

Để đoàn tàu chuyển động an toàn, hành khách không cảm thấy khó chịu khi đoàn tàu chạy vào đường cong nằm, cần đảm bảo điều kiện sau:

$$R_{min} \geq \frac{S_1^2.V_{max}^2}{g.(h_{max}+h_{thiếu})} \quad (4)$$

Trong đó:

$S_1$ - Khoảng cách tim hai ray (mm);

$V_{max}$ - Vận tốc đoàn tàu lớn nhất (mm);

$h_{max}$ - Siêu cao lớn nhất (mm);

$h_{thiếu}$ - Siêu cao thiếu cho phép (mm).

Ngoài ra, trường hợp trên tuyến khai thác nhiều loại tàu khai thác với tốc độ khác nhau, để tàu chuyển động an toàn, hai ray mòn đều nhau, cần đảm bảo điều kiện sau:

$$R_{min} \geq \frac{S_1^2.(V_{max}^2-V_{min}^2)}{g.(h_{thừa}+h_{thiếu})} \quad (5)$$

Trong đó:

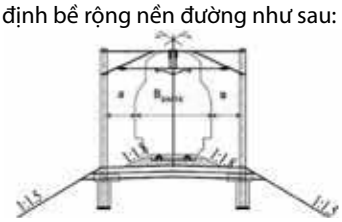
$V_{min}$ - Vận tốc đoàn tàu nhỏ nhất, đối với tuyến khai thác hỗn hợp, lấy theo tốc độ thiết kế của tàu hàng (km/h);

$h_{thừa}$ - Siêu cao thừa cho phép (mm).

Như vậy, tiêu chí bán kính đường cong nằm nhỏ nhất được xác định theo hai điều kiện theo công thức (4) và (5).

**3.3. Phân tích, tính toán lựa chọn tiêu chí kích thước mặt nền đường ($B_{nen}$) [9, 10]**

Bề rộng của mặt nền đường được xác định để đảm bảo an toàn cho công nhân, đảm bảo an toàn vận hành cho đoàn tàu... có xét đến bề rộng của toa xe và kết cấu đường ray. Tuy nhiên, sự khác biệt lớn giữa các cấp đường sắt là khoảng an toàn để khai thác, bảo trì. Theo đó, ta xác định bề rộng nền đường như sau:



Hình 2. Mặt cắt ngang điển hình bề rộng nền đường

$$B_{nen} \geq \left(\frac{B_{ĐMTX}}{2} + a\right).2 \text{ (m)} \quad (6)$$

Trong đó:

$B_{nen}$ - Bề rộng nền đường (m);

$B_{ĐMTX}$ - Chiều rộng đầu máy toa xe (m), xác định theo khổ giới

hạn đầu máy, toa xe.

a - Khoảng an toàn để khai thác, bảo trì, xác định theo loại tàu và tốc độ chạy tàu lớn nhất (m).

**3.4. Phân tích, tính toán lựa chọn tiêu chí hệ thống thông tin, hệ thống tín hiệu**

Trong mọi hệ thống đường sắt, nguyên tắc cơ bản là: Tàu phải nhìn thấy (hoặc nhận được) lệnh "dừng" sớm hơn hoặc bằng cự ly hãm an toàn của chính nó. Cự ly hãm $S_h$(m) là khoảng cách được tính từ lúc bắt đầu hãm đến khi đoàn tàu dừng hẳn.

Cự ly hãm $S_h$ bao gồm cự ly chuẩn bị hãm $S_{cb}$ và cự ly hãm thực tế $S_{tt}$ [11]:

$$S_h = S_{cb} + S_{tt} \quad (m) \qquad (7)$$

Cự ly chuẩn bị hãm phụ thuộc thời gian chuẩn bị hãm. Thời gian chuẩn bị $t_{cb}$ hãm là khoảng thời gian bắt đầu thao tác hãm đến khi bắt đầu giảm tốc độ, trong khoảng thời gian này, lực hãm được coi như chưa xuất hiện và đoàn tàu đã đi được một đoạn $S_{cb}$.

$$S_{cb} = v_d.\ t_{cb}\ .\frac{1000}{60.60} = \frac{v_{đ}.t_{cb}}{3,6} = 0,278 v_d.t_{cb}\ \ (m) \qquad (8)$$

Vận tốc đoàn tàu mà ở đó sự hãm bắt đầu gọi là vận tốc bắt đầu hãm, còn vận tốc xác lập do kết quả của hãm gọi là vận tốc kết thúc hãm. Khi dừng đoàn tàu thì vận tốc kết thúc hãm bằng 0.

Cự ly hãm thực tế $S_{tt}$ được xác định theo công thức:

$$S_{tt} = \sum_{v_{đ}}^{v_c} \frac{4,17\left(v_c^2 - v_{đ}^2\right)}{-\left(\omega_{o đ} + b + i_t\right)} = \sum_{v_{đ}}^{v_c} \frac{4,17\left(v_{đ}^2 - v_c^2\right)}{\omega_{o đ} + b + i_t}\ \ (m) \qquad (9)$$

Trong đó: $i_t$ - Độ dốc được nắn thẳng;

b - Lực hãm đơn vị ứng với vận tốc bắt đầu hãm $v_d$;

$\omega_{0d}$ - Lực cản đơn vị ứng với vận tốc bắt đầu hãm $v_d$.

**4. ÁP DỤNG PHÂN TÍCH, TÍNH TOÁN CÁC TIÊU CHÍ KỸ THUẬT VÀ LỰA CHỌN CẤP KỸ THUẬT TUYẾN ĐƯỜNG SẮT**

**4.1. Đường sắt khổ 1.000 mm**

*a) Xác định tốc độ thiết kế và độ dốc hạn chế*

Xác định theo điều kiện đảm bảo đáp ứng khối lượng vận tải yêu cầu:

Bảng 1. Khối lượng vận tải yêu cầu và khối lượng vận tải có thể

| Cấp đường sắt | Tốc độ thiết kế Vtk (km/h) | Độ dốc hạn chế $i_p$ (‰) | Khu gian 1 | | Khu gian 2 | | Khu gian 3 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Khối lượng yêu cầu $G_{yc}$ (triệu tấn/năm) | Khối lượng có thể $G_{ct}$ (triệu tấn/năm) | Khối lượng yêu cầu $G_{yc}$ (triệu tấn/năm) | Khối lượng có thể $G_{ct}$ (triệu tấn/năm) | Khối lượng yêu cầu $G_{yc}$ (triệu tấn/năm) | Khối lượng có thể $G_{ct}$ (triệu tấn/năm) |
| Cấp 1 | 120 | 9 | 24,33 | 37,7 | 23,9 | 43,5 | 23,3 | 51,4 |
| Cấp 2 | 100 | 12 | 24,33 | 25,2 | 23,9 | 29,1 | 23,3 | 34,4 |
| Cấp 3 | 60 | 20 | 24,33 | 9,7 | 23,9 | 11,2 | 23,3 | 13,3 |

*b) Xác định bán kính đường cong nằm tối thiểu*

Bán kính đường cong nằm tối thiểu theo điều kiện đảm bảo đoàn tàu chuyển động an toàn, tính tiện nghi cho hành khách:

$$R_{min} \geq \frac{G.V_{max}^2}{g.(h_{max}+h_{thiếu})} = \frac{8,42.100^2}{(95+55)} \approx 561 \text{ m (làm tròn 600 m)}$$

Bán kính đường cong nằm để các đoàn tàu chuyển động an toàn, hai ray mòn đều nhau:

$$R_{min} \geq \frac{G.(V_{max}^2-V_b^2)}{g.(h_{thiết}+h_{thiếu})} = \frac{8,42.(100^2-60^2)}{(90+55)} \approx 371 \text{ m (làm tròn 400 m)}$$

Từ hai điều kiện nêu trên ta có bán kính đường cong nằm tối thiểu là: $R_{min}$ = 600 m.

*c) Xác định kích thước mặt nền đường*

Bề rộng nền đường tối thiểu là:

$$B_{nen} \geq (\frac{B_{ĐMTX}}{2} + a).2 = (\frac{3100}{2} + 1300).2 = 5.700 \text{ mm} = 5,7 \text{ m}$$

*d) Xác định hệ thống thông tin, hệ thống tín hiệu*

Cự ly hãm chuẩn bị $S_{cb}$: $S_{cb} = 0,278.v_d.t_{cb}$ = 0,278.100.2=55,60 (m).

Cự ly hãm thực tế $S_{tt}$: $S_{tt} = \sum_{v_d}^{v_c} \frac{4,17(V_đ^2-V_c^2)}{\omega_o+b+i_t}$ (m) $= \frac{4,17.100^2}{(3,9+50+12)}$=632,78 (m).

Cự ly hãm $S_h$: $S_h = S_{cb} + S_{tt}$ =55,60+632,78=688,38 (m).

Với cự ly hãm như trên có thể lựa chọn hệ thống tín hiệu đèn màu. Hệ thống thông tin cần hỗ trợ hiệu quả cho việc quản lý, khai thác đường sắt và thuận lợi cho người sử dụng dịch vụ đường sắt.

Như vậy, với các tiêu chí kỹ thuật đã xác định nêu trên thì tuyến đường sắt cần thiết kế với tiêu chuẩn đường sắt cấp 2.

**4.2. Đường sắt khổ 1.435 mm**

*a) Xác định tốc độ thiết kế và độ dốc hạn chế*

Xác định theo điều kiện đảm bảo đáp ứng khối lượng vận tải yêu cầu:

Bảng 2. Khối lượng vận tải yêu cầu và khối lượng vận tải có thể

| Cấp đường sắt | Tốc độ thiết kế $V_{tk}$ (km/h) | Độ dốc hạn chế $i_p$ (‰) | Khu gian 1 | | Khu gian 2 | | Khu gian 3 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Khối lượng yêu cầu $G_{yc}$ (triệu tấn/năm) | Khối lượng có thể $G_{ct}$ (triệu tấn/năm) | Khối lượng yêu cầu $G_{yc}$ (triệu tấn/năm) | Khối lượng có thể $G_{ct}$ (triệu tấn/năm) | Khối lượng yêu cầu $G_{yc}$ (triệu tấn/năm) | Khối lượng có thể $G_{ct}$ (triệu tấn/năm) |
| Cấp 2 | 160 | 12 | 44,7 | 46,2 | 53,3 | 64,5 | 49,9 | 62,6 |
| Cấp 3 | 120 | 15 | 44,7 | 28,9 | 53,3 | 40,1 | 49,9 | 39,3 |
| Cấp 4 | 80 | 20 | 44,7 | 14,9 | 53,3 | 21,1 | 49,9 | 20,5 |

*b) Xác định bán kính đường cong nằm tối thiểu*

Bán kính đường cong nằm tối thiểu theo điều kiện đảm bảo đoàn tàu chuyển động an toàn, tính tiện nghi cho hành khách:

$$R_{min} \geq \frac{S_đ^2.V_{max}^2}{g.(h_{max}+h_{thiếu})} = \frac{11,8.160^2}{(125+75)} \approx 1.510 \text{ m (làm tròn 1.600 m)}$$

Bán kính đường cong nằm để các đoàn tàu chuyển động an toàn, hai ray mòn đều nhau:

$$R_{min} \geq \frac{S_đ^2.(V_{max}^2-V_b^2)}{g.(h_{thiết}+h_{thiếu})} = \frac{11,8.(160^2-120^2)}{(130+75)} \approx 645 \text{ m (làm tròn 650 m)}$$

Từ hai điều kiện nêu trên ta có bán kính đường cong nằm tối thiểu là: $R_{min}$ = 1.600 m.

*c) Xác định kích thước mặt nền đường*

Bề rộng nền đường tối thiểu là:

$$B_{nen} \geq (\frac{B_{ĐMTX}}{2} + a).2 = (\frac{3600}{2} + 1800).2 = 7.200 \text{ mm} = 7,2 \text{ m}$$

*d) Xác định hệ thống thông tin, hệ thống tín hiệu*

Cự ly hãm chuẩn bị $S_{cb}$: $S_{cb} = 0,278.v_d.t_{cb}$ = 0,278.160.2=88,96 (m).

Cự ly hãm thực tế $S_{tt}$: $S_{tt} = \sum_{v_d}^{v_c} \frac{4,17(V_đ^2-V_c^2)}{\omega_o+b+i_t}$ (m) $= \frac{4,17.160^2}{(4,4+50+12)}$=1607,71 (m).

Cự ly hãm $S_h$: $S_h = S_{cb} + S_{tt}$ =88,96+1607,71=1696,67 (m).

Với cự ly hãm như trên có thể lựa chọn hệ thống tín hiệu tự động, trường hợp chưa trang bị được hệ thống tín hiệu tự động thì có thể sử dụng tín hiệu đèn màu. Hệ thống thông tin đảm bảo chức năng thông tin liên tục.

Như vậy, với các tiêu chí kỹ thuật đã xác định nêu trên thì tuyến đường sắt cần thiết kế với tiêu chuẩn đường sắt cấp 2.

**4.3. Đường sắt khổ lồng (1.000 mm và 1.435 mm)**

*a) Xác định tốc độ thiết kế và độ dốc hạn chế*

Xác định theo điều kiện đảm bảo đáp ứng khối lượng vận tải yêu cầu:

Bảng 3. Khối lượng vận tải yêu cầu và khối lượng vận tải có thể

| Cấp đường sắt | Tốc độ thiết kế $V_{tk}$ (km/h) | Độ dốc hạn chế $i_p$ (‰) | Khu gian 1 | | Khu gian 2 | | Khu gian 3 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Khối lượng yêu cầu $G_{yc}$ (triệu tấn/ năm) | Khối lượng có thể $G_{ct}$ (triệu tấn/ năm) | Khối lượng yêu cầu $G_{yc}$ (triệu tấn/ năm) | Khối lượng có thể $G_{ct}$ (triệu tấn/ năm) | Khối lượng yêu cầu $G_{yc}$ (triệu tấn/ năm) | Khối lượng có thể $G_{ct}$ (triệu tấn/ năm) |
| Cấp 1 | 120 | 15 | 14,37 | 15,7 | 16,5 | 23,4 | 12,5 | 28,9 |
| Cấp 2 | 80 | 20 | 14,37 | 8,1 | 16,5 | 12,1 | 12,5 | 14,9 |

b) Xác định bán kính đường cong nằm tối thiểu

Bán kính đường cong nằm tối thiểu theo điều kiện đảm bảo đoàn tàu chuyển động an toàn, tính tiện nghi cho hành khách:

$$R_{min} \geq \frac{G.V_{max}^2}{g.(h_{max}+h_{thiếu})} = \frac{11,8.120^2}{(125+75)} \approx 850 \text{ m}$$

Bán kính đường cong nằm để các đoàn tàu chuyển động an toàn, hai ray mòn đều nhau:

$$R_{min} \geq \frac{G.(V_{max}^2-V_h^2)}{g.(h_{thiếu}+h_{thiếu})} = \frac{11,8.(120^2-80^2)}{(130+75)} \approx 460 \text{ m (làm tròn 500 m)}$$

Từ hai điều kiện nêu trên ta có bán kính đường cong nằm tối thiểu là: $R_{min}$ = 850 m.

c) Xác định kích thước mặt nền đường

Bề rộng nền đường tối thiểu là:

$$B_{nền} \geq (\frac{B_{ĐMTX}}{2} + a).2 = (\frac{3600}{2} + 1.400).2 = 6.400 \text{ mm} = 6,4 \text{ m}$$

d) Xác định hệ thống thông tin, hệ thống tín hiệu

Cự ly hãm chuẩn bị $S_{cb}$: $S_{cb} = 0,278.v_d.t_{cb} = 0,278.120.2 = 66,72$ (m).

Cự ly hãm thực tế $S_{tt}$: $S_{tt} = \sum_{V_d}^{V_c} \frac{4,17(V_d^2-V_c^2)}{\omega_0+b+i_k}$ (m) $= \frac{4,17.120^2}{(4,4+50+15)} = 865,24$ (m).

Cự ly hãm $S_h$: $S_h = S_{cb} + S_{tt} = 66,72+865,24 = 931,96$ (m).

Với cự ly hãm như trên có thể lựa chọn hệ thống tín hiệu tự động, trường hợp chưa trang bị được hệ thống tín hiệu tự động thì có thể sử dụng tín hiệu đèn màu. Hệ thống thông tin đảm bảo chức năng thông tin liên tục.

Như vậy, với các tiêu chí kỹ thuật đã xác định nêu trên thì tuyến đường sắt cần thiết kế với tiêu chuẩn đường sắt cấp 1.

## 5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

- Việc xác định tiêu chí kỹ thuật làm cơ sở lựa chọn cấp kỹ thuật đường sắt là khâu then chốt trong chuẩn bị đầu tư và thiết kế. Các tiêu chí quyết định là tốc độ thiết kế và độ dốc hạn chế phải được xác định qua điều kiện năng lực vận chuyển. Các tiêu chí hình học - an toàn là bán kính đường cong nằm tối thiểu, kích thước mặt nền đường, hệ thống thông tin, hệ thống tín hiệu cần được xác định theo nguyên lý động lực học chạy tàu và yêu cầu an toàn khai thác.

- Hiện nay, tại Việt Nam đã ban hành tiêu chuẩn phân cấp kỹ thuật đường sắt (TCVN 8893:2020), tuy nhiên tiêu chuẩn này chủ yếu đưa ra bảng thông số theo từng cấp, chưa hướng dẫn đầy đủ phương pháp xác định tiêu chí đầu vào để lựa chọn cấp cho một tuyến cụ thể. Do đó, để đảm bảo đủ cơ sở khoa học để lựa chọn phân cấp kỹ thuật đường sắt, kiến nghị bổ sung thêm tiêu chí năng lực vận chuyển trong tiêu chuẩn phân cấp kỹ thuật đường sắt.

- Kiến nghị cập nhật, bổ sung, chỉnh sửa tiêu chuẩn phân cấp kỹ thuật đường sắt để phù hợp với Luật Đường sắt hiện hành.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Xây dựng trong Đề tài mã số DT25315.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

[1] Thủ tướng Chính phủ. Quyết định số 2404/QĐ-TTg phê duyệt điều chỉnh Quy hoạch mạng lưới đường sắt thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050, 2025.

[2] Bộ Giao thông vận tải. Quy phạm kỹ thuật thiết kế đường sắt khổ 1.000 mm, 1976.

[3] Bộ Xây dựng. Đường sắt khổ 1.435 mm - tiêu chuẩn thiết kế. *TCVN 4117:1985, 1985.*

[4] Bộ Giao thông vận tải. Cấp kỹ thuật đường sắt. *22TCN 362-2007*, 2007.

[5] Bộ Khoa học và Công nghệ. Cấp kỹ thuật đường sắt quốc gia. *TCVN 8893:2011,* 2011.

[6] Bộ Khoa học và Công nghệ. Cấp kỹ thuật đường sắt quốc gia. *TCVN 8893:2020,* 2020.

[7] Lê Xuân Quang. Thiết kế đường sắt-Tập II, *NXB. Trường Đại học giao thông vận tải,* 1996.

[8] S Yi. Principles of Railway Location and Design. *Academic Press,* 2017.

[9] Bộ Giao thông vận tải. Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về khai thác đường sắt. QCVN 08:2018/BGTVT, 2018.

[10] Safety Distances on Platforms Danger Zone - Safety Zone. *Bundesamt für Verkehr BAV, Office fédéral des transports, OFT Ufficio federale dei trasporti UFT, Federal Office of Transport FOT,* 2011.

[11] Lê Hải Hà, Phạm Văn Ký. Khảo sát và thiết kế đường sắt, tập I. *NXB. Giao thông vận tải,* 2010.

■Ngày nhận bài: 12/01/2026 ■Ngày sửa bài: 22/01/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 03/02/2026

# Hoàn thiện hệ thống cơ sở hạ tầng giao thông nhằm nâng cao hiệu quả khai thác của sân bay Long Thành

## Enhancing the efficiency of Long Thanh international airport operations through the improvement of transport infrastructure systems

**> THS VÕ TẤN ĐỨC[1], TS TRẦN THỊ QUỲNH NHƯ[2], PGS.TS TRẦN QUANG PHÚ[2,*]**
[1]Ủy ban nhân dân tỉnh Đồng Nai
[2]Trường Đại học Giao thông vận tải TP Hồ Chí Minh
[*]Email: phu.tran@ut.edu.vn

**TÓM TẮT**

Cảng Hàng không quốc tế Long Thành được định hướng trở thành trung tâm trung chuyển hàng không quy mô lớn của Việt Nam và khu vực, đóng vai trò quan trọng trong việc giảm tải cho sân bay Tân Sơn Nhất và thúc đẩy phát triển kinh tế - xã hội vùng kinh tế trọng điểm phía Nam. Hiệu quả khai thác của sân bay không chỉ phụ thuộc vào hạ tầng hàng không nội khu mà còn chịu tác động trực tiếp từ mức độ hoàn thiện và đồng bộ của hệ thống cơ sở hạ tầng giao thông kết nối bên ngoài. Bài báo đánh giá thực trạng giao thông kết nối phục vụ Cảng Hàng không Long Thành, chỉ ra các hạn chế chủ yếu về năng lực thông hành và tính đồng bộ của hệ thống. Nghiên cứu áp dụng mô hình dự báo nhu cầu giao thông để phân tích, lượng hóa nhu cầu giao thông tiếp cận sân bay theo các kịch bản. Kết quả nghiên cứu là cơ sở đề xuất quy hoạch hệ thống giao thông kết nối sân bay Long Thành theo hướng đồng bộ, đa phương thức và bền vững, góp phần nâng cao khả năng tiếp cận và nâng cao hiệu quả khai thác sân bay.

**Từ khóa:** Sân bay Long Thành; giao thông kết nối; tỉnh Đồng Nai.

**ABSTRACT**

Long Thanh international airport is envisaged as a major aviation hub of Viet Nam and the wider region, playing a critical role in relieving congestion at Tan Son Nhat airport while fostering socio-economic development in the Southern key economic region. The operational efficiency of the airport depends not only on its internal aviation infrastructure but also, to a significant extent, on the level of completeness and integration of the external transport connectivity system. This paper assesses the current conditions of transport connections serving Long Thanh international airport, identifying key constraints related to network capacity and system integration. A transport demand forecasting model is employed to analyse and quantify airport access travel demand under different development scenarios. The research findings provide a scientific basis for proposing a transport connectivity plan for Long Thanh international airport that is integrated, multimodal and sustainable, thereby enhancing accessibility and improving the overall efficiency of airport operations.

**Keywords:** Long Thanh international airport; transport connectivity; Dong Nai province.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tỉnh Đồng Nai (sau sáp nhập) giữ vị trí quan trọng trong cấu trúc phát triển không gian kinh tế phía Nam, được xem là cửa ngõ chiến lược kết nối các vùng kinh tế lớn như Đông Nam Bộ, Nam Trung Bộ, Tây Nguyên và có mối liên kết với khu vực đồng bằng sông Cửu Long. Với diện tích khoảng 12.737,18 km$^2$ và quy mô dân số xấp xỉ 4,5 triệu người, Đồng Nai hiện là địa phương có dân số đứng thứ 5 cả nước. Trong những năm gần đây, tỉnh là một trong những trung tâm kinh tế lớn, với quy mô GRDP đạt trên 690.000 tỷ đồng, xếp thứ 4 toàn quốc, chỉ sau TP.HCM, Hà Nội và Hải Phòng [1]. Sự phát triển của công nghiệp, dịch vụ và logistics đã và đang làm gia tăng nhanh chóng nhu cầu giao thông vận tải, đặc biệt là nhu cầu vận chuyển hành khách và hàng hóa bằng đường hàng không.

Việc đầu tư xây dựng Cảng Hàng không quốc tế Long Thành tại tỉnh Đồng Nai được xác định là giải pháp chiến lược nhằm giảm tải cho sân bay Tân Sơn Nhất, đồng thời hình thành một trung tâm trung chuyển hàng không quy mô lớn, có khả năng cạnh tranh trong khu vực và quốc tế. Với quy mô công suất lớn, sân bay Long Thành sẽ thu hút lưu lượng hành khách, hàng hóa và phương tiện giao thông từ TP.HCM, Đồng Nai và các tỉnh, thành trong vùng kinh

tế trọng điểm phía Nam cũng như các vùng lân cận. Do đó, để sân bay Long Thành có thể phát huy đầy đủ vai trò và hiệu quả khai thác như kỳ vọng, vấn đề quan trọng không chỉ dừng lại ở việc đầu tư hạ tầng hàng không nội khu mà còn nằm ở mức độ hoàn thiện, đồng bộ và hiệu quả của hệ thống cơ sở hạ tầng giao thông kết nối bên ngoài, bao gồm đường bộ, đường sắt, giao thông công cộng và các trung tâm logistics liên quan. Nếu hệ thống giao thông kết nối không được quy hoạch và đầu tư phù hợp, nguy cơ tái diễn tình trạng quá tải hệ thống giao thông tiếp cận, làm giảm hiệu quả khai thác sân bay và gia tăng chi phí xã hội [2].

Xuất phát từ thực tiễn trên, việc nghiên cứu "*Hoàn thiện hệ thống cơ sở hạ tầng giao thông nhằm nâng cao hiệu quả khai thác của sân bay Long Thành*" có ý nghĩa quan trọng cả về mặt lý luận và thực tiễn. Nghiên cứu nhằm làm rõ vai trò của hạ tầng giao thông kết nối đối với hiệu quả vận hành sân bay, phân tích những yêu cầu và thách thức đặt ra trong bối cảnh phát triển mới, từ đó đề xuất các giải pháp góp phần nâng cao khả năng tiếp cận, giảm áp lực giao thông vùng, bảo đảm khai thác hiệu quả sân bay Long Thành.

## 2. THỰC TRẠNG GIAO THÔNG KẾT NỐI PHỤC VỤ DỰ ÁN CẢNG HÀNG KHÔNG QUỐC TẾ LONG THÀNH

Hệ thống giao thông kết nối phục vụ Cảng Hàng không quốc tế Long Thành hiện nay chủ yếu dựa trên mạng lưới giao thông đường bộ hiện hữu. Các tuyến kết nối chính giữa TP.HCM và khu vực sân bay Long Thành bao gồm cao tốc TP.HCM - Long Thành - Dầu Giây, QL51 cùng một số trục giao thông hướng Đông và Đông Nam. Đây là các tuyến có lưu lượng phương tiện rất lớn, vừa phục vụ hành khách đi sân bay, vừa đảm nhiệm chức năng giao thông liên vùng giữa TP.HCM với Đồng Nai và các tỉnh lân cận (Bảng 1) [3].

Thực trạng giao thông kết nối Cảng Hàng không quốc tế Long Thành cho thấy hệ thống hiện hữu chưa thật sự tương xứng với vai trò của một cảng hàng không quốc tế quy mô lớn. Sự phụ thuộc vào giao thông đường bộ, áp lực lưu lượng cao trên các tuyến kết nối, cùng với hạn chế trong giao thông công cộng và hạ tầng phụ trợ đang là những thách thức lớn. Đây là cơ sở thực tiễn quan trọng đặt ra yêu cầu cấp thiết phải hoàn thiện hệ thống cơ sở hạ tầng giao thông kết nối, nhằm bảo đảm khả năng tiếp cận thuận lợi, ổn định, nâng cao hiệu quả khai thác và phát huy tối đa vai trò động lực phát triển của sân bay Long Thành.

## 3. MÔ HÌNH DỰ BÁO VÀ ĐÁNH GIÁ HỆ THỐNG GIAO THÔNG KẾT NỐI CẢNG HÀNG KHÔNG QUỐC TẾ LONG THÀNH

Để đánh giá nhu cầu vận tải khu vực Cảng Hàng không quốc tế Long Thành, nghiên cứu sử dụng các công cụ phân tích, dự báo và đánh giá nhu cầu giao thông tiếp cận khu vực. Mô hình được xây dựng trên cơ sở các kịch bản quy hoạch đô thị và giao thông vận tải [2].

Nhằm ứng dụng các mô hình dự báo nhu cầu giao thông trong hoạch định và tổ chức vận tải đô thị, đề tài tiến hành mô phỏng các kịch bản phát triển giao thông [4]. Nghiên cứu xây dựng ba kịch bản mô phỏng đại diện cho các hướng phát triển khác nhau, bao gồm: (i) Duy trì theo xu thế hiện tại, (ii) phát triển đầy đủ theo định hướng quy hoạch tỉnh và (iii) hướng tới một kịch bản tiếp cận cân bằng giữa hạ tầng cứng, quản lý nhu cầu và mục tiêu môi trường - xã hội. Cả 3 kịch bản đều sử dụng chung bộ dữ liệu dự báo kinh tế - xã hội đến năm 2030 (dân số, GRDP, quy mô phương tiện), nhằm đảm bảo tính so sánh trực tiếp của kết quả mô phỏng [5].

** Phát sinh - thu hút chuyến đi:*

Nghiên cứu phát sinh - thu hút chuyến đi nhằm ước lượng số

Bảng 1. Đánh giá thực trạng giao thông kết nối phục vụ sân bay Long Thành

| **Nội dung đánh giá** | **Thực trạng** | **Tác động đến hiệu quả khai thác sân bay Long Thành** |
|---|---|---|
| **Hệ thống giao thông đường bộ kết nối** | Chủ yếu dựa vào cao tốc TP.HCM - Long Thành - Dầu Giây, QL51 và một số tuyến đường tỉnh. Lưu lượng phương tiện lớn, đặc biệt là xe cá nhân và xe tải. | Nguy cơ quá tải cao khi lưu lượng hành khách và hàng hóa tăng; ảnh hưởng đến khả năng tiếp cận ổn định và đúng giờ của sân bay. |
| Kết nối giao thông với TP.HCM | Phụ thuộc lớn vào một số trục giao thông chính; thường xuyên chịu áp lực lưu lượng cao vào giờ cao điểm, lễ, tết. | Thời gian di chuyển không ổn định, làm giảm tính hấp dẫn và năng lực cạnh tranh của sân bay. |
| Năng lực thông hành của các tuyến kết nối | Một số tuyến có mặt cắt hạn chế, đi qua khu vực đô thị và khu công nghiệp với mật độ phương tiện cao. | Dễ phát sinh ùn tắc cục bộ, ảnh hưởng đến dòng hành khách và hàng hóa ra vào sân bay. |
| Giao thông công cộng phục vụ sân bay | Chưa phát huy vai trò chủ đạo; hành khách chủ yếu sử dụng phương tiện cá nhân, taxi, xe hợp đồng. | Gia tăng áp lực lên đường bộ, chi phí đi lại cao, giảm tính bền vững của hệ thống giao thông sân bay. |
| Hạ tầng phụ trợ giao thông | Bãi đỗ xe, điểm trung chuyển và tổ chức giao thông tại một số nút giao còn hạn chế. | Nguy cơ hình thành "điểm nghẽn" giao thông, đặc biệt trong giờ cao điểm và khi lưu lượng tăng đột biến. |
| Tính đồng bộ của hệ thống kết nối | Các loại hình vận tải chưa phối hợp hiệu quả; thiếu sự liên kết giữa giao thông đường bộ và vận tải công cộng. | Hạn chế hiệu quả khai thác tổng thể và khả năng phát triển bền vững của sân bay Long Thành. |

chuyến đi phát sinh và thu hút tại mỗi vùng. Phương pháp sử dụng là hồi quy đa biến, trong đó biến phụ thuộc là số chuyến đi, biến độc lập là đặc trưng nhân khẩu - kinh tế (dân số, việc làm theo ngành, thu nhập, mật độ cư trú, diện tích đất sử dụng…) [6]. Nhu cầu phát sinh và thu hút của khu vực nghiên cứu được tính theo hàm số hồi quy theo các biến dân số, lao động và học sinh, sinh viên. Phương trình phát sinh (Pi) và thu hút (Aj) chuyến đi là các hàm hồi quy tuyến tính. Cụ thể như sau:

Mô hình phát sinh chuyến đi:

Pi = (0,92*Population) + (2,95*Workers) + (1,85*Students)

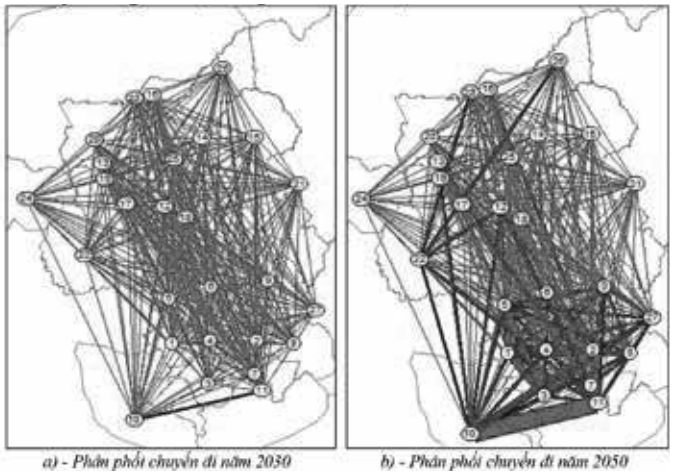
Mô hình thu hút chuyến đi:

Aj = (0,88*Population) + (3,1*Workers) + (1,78*Students)

Để có cơ sở phục vụ quy hoạch, mạng lưới đường được mô phỏng với các thông số chính được cập nhật bao gồm chiều dài, năng lực thông hành, vận tốc.

** Phân phối chuyến đi:*

Mô hình phân phối chuyến đi ước tính số chuyến giữa mỗi cặp vùng nghiên cứu giao thông bằng cách sử dụng các chuyến thu hút và phát sinh đã được tính toán như dữ liệu đầu vào. Để mô phỏng các lựa chọn điểm đến của những người thực hiện chuyến đi, đề xuất mô hình phân bổ mà rõ ràng có liên quan giữa các vùng với các yếu tố ngăn trở nội vùng đối với việc đi lại.




Hình 1. Mô hình phân phối chuyến đi sân bay Long Thành và khu vực lân cận

Quy trình phân phối chuyến đi được xây dựng trên cơ sở kết quả của mô hình phát sinh và thu hút chuyến đi. Trong đó, mô hình phát sinh ước tính số lượng chuyến đi xuất phát từ mỗi vùng phân tích giao thông (TAZ) dựa trên các biến kinh tế - xã hội đặc trưng cho khu vực cư trú như dân số, số lao động cư trú và số học sinh - sinh viên. Các biến này phản ánh nhu cầu đi lại phát sinh từ các hoạt động sinh hoạt, lao động và học tập của người dân trên địa bàn tỉnh.

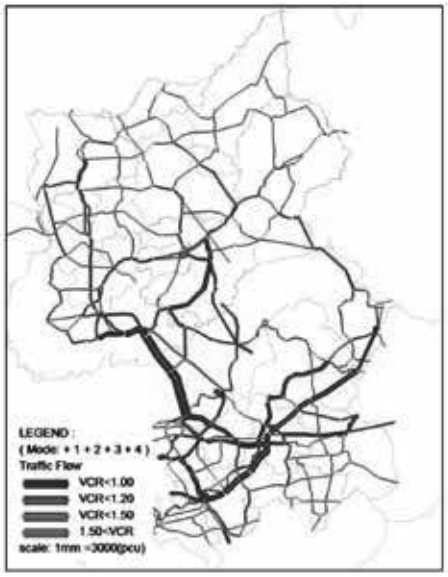
** Lựa chọn phương thức:*

Lựa chọn phương thức nhằm phân tách các chuyến đi trong ma trận O-D theo từng loại phương tiện vận tải. Đối với tỉnh Đồng Nai, bước này có vai trò then chốt trong việc phản ánh đúng cơ cấu phương tiện, vốn chịu ảnh hưởng mạnh bởi đặc điểm đô thị hóa chưa đồng đều và sự phụ thuộc lớn vào phương tiện cá nhân.

Trong nghiên cứu này, mô hình lựa chọn phương thức được xây dựng trên cơ sở lý thuyết lựa chọn rời rạc, với dạng mô hình phổ biến là logit. Xác suất một chuyến đi từ một vùng phụ thuộc vào các thuộc tính như thời gian đi lại, chi phí, mức độ tiện nghi, độ tin cậy và khả năng tiếp cận.

** Phân bổ lưu lượng giao thông lên mạng lưới đường bộ:*

Trong nghiên cứu này, nguyên lý ấn định tuyến được áp dụng theo cân bằng người dùng (User Equilibrium). Theo nguyên lý này, mỗi người tham gia giao thông lựa chọn tuyến đường có chi phí đi lại thấp nhất đối với mình và tại trạng thái cân bằng, không có người dùng nào có thể giảm chi phí hành trình bằng cách đơn phương chuyển sang một tuyến khác. Các yếu tố được sử dụng đánh giá năng lực thông hành đường bộ theo TCVN 13592:2022 "Đường đô thị - Yêu cầu thiết kế" [7]. Phân bổ lưu lượng giao thông khu vực nghiên cứu được thể hiện như sau:




Hình 2. Lưu lượng giao thông trên các tuyến đường tỉnh Đồng Nai năm 2030

Quá trình ấn định tuyến được thực hiện theo cơ chế lặp có phản hồi giữa các bước của mô hình. Khi lưu lượng phương tiện gia tăng trên các đoạn tuyến, thời gian và chi phí đi lại tăng theo, dẫn đến sự thay đổi chi phí tổng quát giữa các cặp vùng đi - đến. Quá trình lặp được tiếp tục cho đến khi mô hình đạt trạng thái hội tụ, đảm bảo tính nhất quán giữa nhu cầu giao thông và năng lực cung ứng của mạng lưới hạ tầng giao thông tỉnh Đồng Nai.

## 4. ĐỀ XUẤT HỆ THỐNG GIAO THÔNG KẾT NỐI CẢNG HÀNG KHÔNG QUỐC TẾ LONG THÀNH

Trên cơ sở đánh giá thực trạng hệ thống giao thông kết nối và tổng hợp các tài liệu nghiên cứu liên quan [3], nghiên cứu sử dụng mô hình dự báo giao thông kết nối sân bay Long Thành nhằm đánh giá nhu cầu. Trên cơ sở đó, đề xuất quy hoạch giao thông kết nối theo hướng đồng bộ, đa phương thức và hiệu quả, đáp ứng yêu cầu khai thác bền vững của sân bay trong tương lai.

Quy hoạch giao thông kết nối phục vụ sân bay Long Thành được xây dựng với tầm nhìn dài hạn, phạm vi liên kết rộng và cấu trúc đa phương thức, trong đó giao thông đường bộ và đường sắt được định hướng phát triển song song, bổ trợ lẫn nhau. Hệ thống các tuyến kết nối trực tiếp, cao tốc liên vùng, đường vành đai, đường tỉnh cùng với các tuyến đường sắt tạo nên mạng lưới giao thông tương đối toàn diện, phù hợp với vai trò của một cảng hàng không quốc tế quy mô lớn.

Hiệu quả của quy hoạch này phụ thuộc vào tiến độ triển khai, sự đồng bộ giữa các loại hình giao thông và khả năng phối hợp giữa các địa phương trong vùng. Việc bảo đảm hoàn thành các tuyến kết nối đúng tiến độ, đồng thời khai thác hiệu quả các tuyến đường sắt và metro trong tương lai, sẽ quyết định khả năng phát huy tối đa vai trò và hiệu quả khai thác của Cảng Hàng không quốc tế Long Thành.

Bảng 2. Đề xuất hệ thống giao thông kết nối sân bay Long Thành

| Loại hình | Tuyến/Dự án | Chiều dài | Vai trò trong kết nối sân bay Long Thành |
|---|---|---|---|
| **Đường bộ - cao tốc liên vùng** | Cao tốc TP.HCM - Long Thành | 21,92 km | Trục kết nối chủ đạo giữa TP.HCM và sân bay Long Thành, phục vụ hành khách và hàng hóa. |
| | Cao tốc Biên Hòa - Vũng Tàu | 53,7 km | Kết nối sân bay với Biên Hòa, Bà Rịa - Vũng Tàu và cụm cảng biển Cái Mép - Thị Vải. |
| | Cao tốc Bến Lức - Long Thành | 58 km | Kết nối vùng Tây Nam Bộ với sân bay Long Thành, giảm áp lực cho các tuyến đi qua nội đô TP.HCM. |
| | Cao tốc Dầu Giây - Phan Thiết | 99 km | Kết nối sân bay với khu vực Nam Trung Bộ, mở rộng vùng ảnh hưởng của sân bay. |
| | Cao tốc Dầu Giây - Tân Phú | 60,24 km | Kết nối sân bay với khu vực phía Bắc tỉnh Đồng Nai và Tây Nguyên. |
| | Cao tốc Tân Phú - Bảo Lộc | 66 km | Tăng cường kết nối sân bay với Lâm Đồng và Tây Nguyên. |
| Đường bộ - vành đai đô thị | Vành đai 3 qua Đồng Nai | 11,26 km | Phân luồng giao thông, tăng khả năng tiếp cận sân bay từ nhiều hướng khác nhau. |
| | Vành đai 4 | Qua Đồng Nai 46 km | Kết nối liên vùng quy mô lớn, giảm tải cho hệ thống giao thông trung tâm. |
| Đường tỉnh | ĐT.25B | 13 km | Kết nối Vành đai 3 với QL51, tăng khả năng tiếp cận sân bay từ phía Đông. |
| | ĐT.25C | 9 km | Kết nối Vành đai 3 với tuyến T1, hỗ trợ tiếp cận trực tiếp sân bay. |
| | ĐT.769E, ĐT.773, ĐT.769, ĐT.770B | | Giảm áp lực cho khu vực phía Nam sân bay, kết nối khu công nghiệp - đô thị lân cận. |
| Cầu vượt sông | Cầu Cát Lái | | Kết nối trực tiếp TP.HCM với Đồng Nai và sân bay Long Thành. |
| | Cầu Long Hưng (Đồng Nai 2) | | Kết nối Vành đai 3 với QL51 và cao tốc Biên Hòa - Vũng Tàu. |
| | Cầu Phú Mỹ 2 | | Kết nối từ phía Nam TP.HCM đến sân bay Long Thành. |
| Đường sắt quốc gia | Đường sắt tốc độ cao Bắc - Nam | Đoạn qua Đồng Nai 82 km | Kết nối sân bay Long Thành với các vùng kinh tế lớn trên cả nước. |
| Đường sắt đô thị | Suối Tiên - Long Thành | 41,4 km | Kết nối trực tiếp sân bay với TP.HCM bằng vận tải công cộng khối lượng lớn. |
| | Thủ Thiêm - Long Thành | | Hình thành trục kết nối nhanh giữa Thủ Thiêm và Long Thành. |

## 5. KẾT LUẬN

Trong bối cảnh phát triển tỉnh Đồng Nai, nhu cầu vận chuyển hành khách và hàng hóa bằng đường hàng không ngày càng gia tăng, Cảng Hàng không quốc tế Long Thành giữ vai trò đặc biệt quan trọng trong hệ thống hạ tầng giao thông quốc gia. Tuy nhiên, thực trạng giao thông kết nối hiện nay vẫn còn nhiều hạn chế, phụ thuộc lớn vào giao thông đường bộ, áp lực lưu lượng cao trên các tuyến kết nối chính, giao thông công cộng chưa phát huy vai trò và hạ tầng phụ trợ còn thiếu tính đồng bộ. Những tồn tại này nếu không được giải quyết kịp thời sẽ làm giảm hiệu quả khai thác sân bay và gia tăng chi phí xã hội.

Trên cơ sở phân tích thực trạng, tổng hợp các nghiên cứu và mô hình hóa dự báo nhu cầu giao thông, nghiên cứu đã đề xuất quy hoạch hệ thống giao thông kết nối Cảng Hàng không quốc tế Long Thành với phạm vi liên kết rộng, cấu trúc hợp lý và tầm nhìn dài hạn, bao gồm các tuyến cao tốc liên vùng, đường vành đai, đường tỉnh và các tuyến đường sắt. Việc triển khai đồng bộ và đúng tiến độ các giải pháp này sẽ góp phần bảo đảm khả năng tiếp cận thuận lợi, nâng cao hiệu quả khai thác sân bay Long Thành, đồng thời thúc đẩy phát triển kinh tế - xã hội bền vững cho tỉnh Đồng Nai và vùng kinh tế trọng điểm phía Nam.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Chính phủ, Nghị quyết số 202/2025/QH15 về sắp xếp đơn vị hành chính cấp tỉnh, 2025.

[2] UBND tỉnh Đồng Nai, Quy hoạch tỉnh Đồng Nai thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến 2050, 2024.

[3] Sở Giao thông vận tải tỉnh Đồng Nai, Báo cáo thống kê giao thông đường bộ giai đoạn 2020 - 2024, 2024.

[4] Patrizia Franco, Ryan Johnston and Ecaterina McCormick, Demand responsive transport: Generation of activity patterns from mobile phone network data to support the operation of new mobility services, *Elsevier Ltd.*, 2019.

[5] Institute of Transport Engineering (ITE), *Trip Gerneration Manual Institute of Transport Engineering*, 2016.

[6] J.-P. Rodrigue. Four Stages Transportation/Land Use Model. *The Geography of Transport Systems*, 2023.

[7] Bộ Khoa học và Công nghệ. Đường đô thị - yêu cầu thiết kế, *TCVN 13592:2022*, 2022.

■Ngày nhận bài: 23/02/2026 ■Ngày sửa bài: 02/3/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 11/3/2026

# Nghiên cứu ảnh hưởng của độ chặt đến mô-đun đàn hồi cát biển dùng trong xây dựng nền đường cấp thấp

## Study on the effect of dry density on the elastic modulus of sea sand for low-standard road applications

> **PGS.TS NGUYỄN ĐỨC TRỌNG**
Phân hiệu tại TP Hồ Chí Minh, Trường Đại học Giao thông vận tải
Email: trongnd@utc.edu.vn

**TÓM TẮT**

Sự khan hiếm nguồn cát sông trong xây dựng nền đường đã thúc đẩy nhu cầu tìm kiếm vật liệu thay thế và cát biển nổi lên như một giải pháp khả thi. Tuy nhiên, hiện nay các thông số kỹ thuật trong tính toán cường độ nền đường dùng cát biển ở Việt Nam đã công bố còn khá khiêm tốn. Bài báo tập trung vào việc nghiên cứu làm rõ mối quan hệ giữa độ chặt và mô-đun đàn hồi cát biển khi sử dụng làm vật liệu trong xây dựng nền đường cấp thấp. Kết quả nghiên cứu cho thấy mô-đun đàn hồi cát biển đủ điều kiện cho xây dựng nền đường ô tô các loại này. Thông số mô-đun đàn hồi vật liệu bổ sung thêm chỉ tiêu kỹ thuật cần thiết dùng tính toán cường độ mặt đường trong xây dựng hạ tầng giao thông ở Việt Nam.

**Từ khóa:** Cát biển; vật liệu thay thế; xây dựng nền đường; mô-đun đàn hồi cát biển.

**ABSTRACT**

The depletion of river sand resources for road embankment construction has necessitated the use of alternative materials, among which sea sand has emerged as a potential substitute. However, in Vietnam, standardized technical parameters for evaluating the mechanical performance of sea sand are still limited. This study investigates the relationship between dry density and the elastic modulus of sea sand for application in low-standard road structures. The experimental results indicate that the elastic modulus of sea sand meets the structural performance requirements for these road categories. The findings provide important technical data to support pavement thickness design and contribute to the development of transport infrastructure in Vietnam.

**Keywords:** Sea sand; alternative material; embankment construction, elastic modulus of sea sand.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh nhu cầu phát triển cơ sở hạ tầng giao thông tại Việt Nam ngày càng tăng cao thì việc đảm bảo nguồn cung vật liệu đắp nền đường, đặc biệt là cát đang trở thành một thách thức lớn. Tại các khu vực phía Nam nói riêng và cả nước nói chung đang đối mặt với tình trạng thiếu hụt nguồn cát sông trầm trọng, dẫn đến chậm tiến độ và tăng chi phí xây dựng cho nhiều dự án giao thông quan trọng. Thực tế này đã thúc đẩy mạnh mẽ việc tìm kiếm và ứng dụng các loại vật liệu khác để thay thế, trong đó sử dụng cát biển với trữ lượng dồi dào dọc bờ biển Việt Nam là một giải pháp đầy tiềm năng và đúng hướng.

Mặc dù, các nghiên cứu ban đầu đã chỉ ra rằng cát biển có thể đáp ứng một số yêu cầu kỹ thuật cơ bản cho xây dựng nền đường, tuy nhiên còn nhiều khía cạnh cần được làm rõ, đặc biệt là các thông số kỹ thuật quan trọng của cát biển cho việc tính toán cường độ của nền, mặt đường theo tiêu chuẩn Việt Nam còn khá hạn chế. Mô-đun đàn hồi vật liệu đắp nền đường là một chỉ tiêu liên quan trực tiếp đến tính toán mô-đun đàn hồi chung mặt đường, đóng vai trò then chốt trong việc đảm bảo cường độ và tuổi thọ công trình.

Hiện nay, việc sử dụng cát biển cho xây dựng các công trình giao thông không còn là điều mới lạ. Nhiều quốc gia và vùng lãnh thổ như Nhật Bản, Singapore, Hà Lan, Hồng Kông, Anh, Mỹ và các nước Trung Đông đã chủ động đưa cát biển vào làm vật liệu đắp nền đường và kết cấu hạ tầng khác. Còn ở Việt Nam, đặc biệt là tại khu vực phía Nam, việc ứng dụng cát biển cho các dự án đầu tư công trong lĩnh vực giao thông vận tải đường bộ vẫn còn những ý kiến

trái chiều và chưa được triển khai đại trà, ngoại trừ một số công trình đường trong nội bộ khu đô thị. Tại khu vực phía Nam, Bộ Giao thông vận tải (Nay là Bộ Xây dựng) đang nghiên cứu phương án mở rộng thí điểm sử dụng cát biển làm vật liệu san lấp cho một số dự án giao thông trọng điểm [1], cũng như Ban Quản lý dự án Mỹ Thuận phối hợp UBND tỉnh Sóc Trăng tổ chức khởi công khai thác mỏ cát biển trên vùng biển Sóc Trăng để làm vật liệu thi công dự án cao tốc [2]. Hiện nay, Bộ Xây dựng và các cơ quan chuyên môn đang cân nhắc sử dụng đại trà cát biển vào xây dựng nền đường cao tốc và các dự án trọng điểm tại khu vực phía Nam.

Về mặt khoa học, các nghiên cứu đã làm rõ những khác biệt cơ bản giữa cát biển và cát sông. Nghiên cứu của Gutt và cộng sự [3] cho rằng nguồn gốc địa chất của hai loại cát có nhiều điểm tương đồng nhưng cấu tao bề mặt hạt của cát biển lại có những đặc trưng riêng biệt, dẫn đến sự thay đổi về góc ma sát trong, ảnh hưởng đến các đặc tính cơ học của vật liệu. Nghiên cứu của Văn.V.T.A và các cộng sự [4] cho thấy chỉ số CBR và khối lượng thể tích đầm chặt lớn nhất của cát sông và cát biển là tương đương, nhưng độ ẩm tối ưu để đầm chặt của cát sông lại cao hơn so với cát biển. Nghiên cứu của Trọng.N.Đ và cộng sự [5] cho rằng các mẫu cát biển trong nghiên cứu thuộc nhóm A-2 và A-3 theo AASHTO M145-91 và có các chỉ tiêu cơ lý, hóa đủ điều kiện đắp nền đường theo TCVN 9436:2012.

Hiện nay chưa có công bố khoa học nào ở Việt Nam làm rõ mối quan hệ giữa độ chặt và mô-đun đàn hồi ($E_{vl}$) khi sử dụng cát biển trong xây dựng nền đường cấp thấp (từ cấp III trở xuống). Các nghiên cứu ở nước ngoài không sử dụng chỉ tiêu này để tính toán cường độ nền, mặt đường nên nghiên cứu này có thể cung cấp dữ liệu khoa học cần thiết giúp các tư vấn thiết kế, chủ đầu tư tham khảo nhằm đưa ra chỉ dẫn kỹ thuật phù hợp cho dự án, phát huy tối đa hiệu quả sử dụng, đóng góp vào sự phát triển bền vững trong xây dựng hạ tầng giao thông ở Việt Nam. Việc nghiên cứu, đánh giá mô-đun đàn hồi của cát biển tùy thuộc vào độ chặt để xem vật liệu này có phù hợp trong xây dựng nền đường cấp thấp hay không và đưa ra các kiến nghị sử dụng phù hợp.

## 2. CÁC YÊU CẦU KỸ THUẬT CÁT ĐẮP NỀN ĐƯỜNG

Cát biển có thể sử dụng làm vật liệu đắp nền đường nếu như có các chỉ tiêu cơ lý, hóa thỏa mãn các tiêu chuẩn hiện hành theo TCVN 9436:2012 [6], với các yêu cầu kỹ thuật như sau:

- Không được sử dụng trực tiếp các loại vật liệu sau để đắp bất cứ bộ phận nào của nền đường:

+ Đất/cát lẫn bùn (nhóm A-8 theo AASHTO M145);

+ Đất/cát có thành phần hữu cơ quá 10,0%;

+ Đất/cát lẫn các thành phần muối dễ hòa tan quá 5%;

+ Đất/cát lẫn sét có độ trương nở vượt quá 3,0%;

- Không được dùng đất cát bụi nhóm A-4 và A-5 (theo phân loại ở AASHTO M145) để xây dựng các bộ phận nền đường dưới mức nước ngập hoặc mức nước ngầm và không nên dùng chúng trong phạm vi khu vực tác dụng của nền đường.

- CBR thoả mãn Bảng 1.

Bảng 1. Quy định về sức chịu tải (CBR) nhỏ nhất [6]

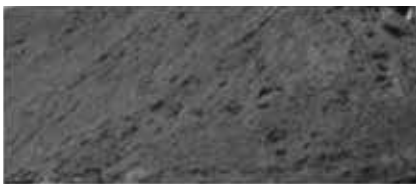
| Phạm vi nền đường tính từ đáy áo đường trở xuống | Sức chịu tải (CBR%) tối thiểu | | |
|---|---|---|---|
| | Nền cho đường cao tốc, cấp I, cấp II | Nền cho đường cấp III, cấp IV có sử dụng mặt đường cấp cao A1 | Nền cho đường các cấp khác không sử dụng mặt đường cấp cao A1 |
| **Nền đắp** | | | |
| - 30 cm trên cùng | 8 | 6 | 5 |
| - Từ 30 cm đến 80 cm | 5 | 4 | 3 |
| - Từ 80 cm đến 150 cm | 4 | 3 | 3 |
| - Từ 150cm trở xuống | 3 | 2 | 2 |
| **Nền không đào, không đắp và nền đào** | | | |
| - 30 cm trên cùng | 8 | 6 | 5 |
| - Từ 30 cm đến 100 cm với đường cao tốc, cấp I, cấp II, cấp III và đến 80 cm với đường các cấp khác | 5 | 4 | 3 |

- Hiện nay không có quy định về $E_{vl}$ tối thiểu cho vật liệu đất/cát dùng để đắp nền đường nhưng trong TCCS38:2022 có tương quan thực nghiệm giữa mô-đun đàn hồi vật liệu đất nền với chỉ số sức chịu tải CBR: $E_0$ = 4,68.CBR+12,48 ($R^2$=0,89). Như vậy, nếu CBR yêu cầu 30 cm trên cùng của nền đường từ cấp III trở xuống là 5 - 6% thì $E_o$ yêu cầu tối thiểu là 35,9 - 40,6 MPa.

- Ngoài ra, có thể sử dụng các quy định về độ mặn của nước/đất trong Tiêu chuẩn TCVN9167:2012 để đánh giá ảnh hưởng độ mặn của cát biển sử dụng đắp nền đường tới môi trường đất và nước trong khu vực thi công.

## 3. KẾ HOẠCH THỰC NGHIỆM

Mẫu cát biển (Hình 1) lấy tại 3 cụm khai thác ở bờ biển tỉnh Sóc Trăng (nay thuộc TP Cần Thơ). Mỗi cụm lấy 3 mẫu (cụm 1: M1, M2, M3; cụm 2: M4, M5, M6; cụm 3: M7, M8, M9) được đóng gói, niêm phong và mang về thí nghiệm các chỉ tiêu kỹ thuật được trình bày ở Bảng 2.



Hình 1. Cát biển tập kết ở bãi

Hình 2. Thí nghiệm $E_{vl}$

Bảng 2. Các chỉ tiêu và tiêu chuẩn thí nghiệm

| Số thứ tự | Chỉ tiêu thí nghiệm | Số lượng mẫu thí nghiệm | Tiêu chuẩn thí nghiệm |
|---|---|---|---|
| 1 | Thành phần hạt và mô-đun độ lớn của cát | 09 | TCVN 4198:2014 |
| 2 | Đầm nén tiêu chuẩn (Theo phương pháp I-A) | 09 | TCVN 12790:2020 |
| 3 | $E_{vl}$ (K95) | 09 | TCCS 38:2022 |
| | $E_{vl}$ (K98) | 09 | " |

Sau đó, xử lý kết quả thí nghiệm và đưa ra nhận xét, kết luận.

## 4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

### 4.1. Kết quả thí nghiệm

Kết quả thí nghiệm một số chỉ tiêu cơ lý được tổng hợp và đánh giá như sau:

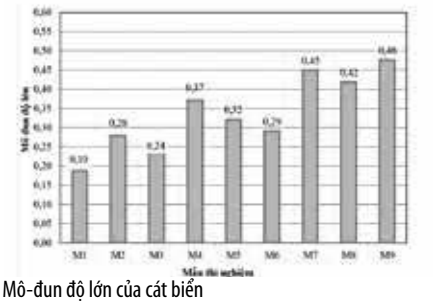
*4.1.1. Thành phần hạt và mô-đun độ lớn*

Trong đó, kết quả phân tích thành phần hạt được trình bày ở Bảng 3.

Bảng 3. Phân tích thành phần hạt của cát biển

| Tên mẫu | Lượng lọt sàng (%) ở các mắt sàng (mm) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2,50 | 1,25 | 0,63 | 0,425 | 0,315 | 0,140 | 0,075 | < 0,075 |
| M1 | 100 | 100 | 99,8 | 99,7 | 98,9 | 82,5 | 9,8 | 0 |
| M2 | 100 | 99,9 | 99,6 | 99,5 | 97,0 | 75,6 | 7,0 | 0 |
| M3 | 100 | 100 | 99,7 | 99,6 | 97,6 | 78,9 | 8,6 | 0 |
| M4 | 100 | 100 | 99,7 | 99,5 | 99,2 | 64,0 | 5,8 | 0 |
| M5 | 100 | 100 | 99,8 | 99,7 | 99,4 | 68,6 | 7,2 | 0 |
| M6 | 100 | 100 | 99,9 | 99,8 | 99,5 | 71,4 | 7,5 | 0 |
| M7 | 100 | 99,8 | 99,6 | 99,5 | 98,9 | 56,7 | 6,8 | 0 |
| M8 | 100 | 99,9 | 99,8 | 99,6 | 98,8 | 59,6 | 8,1 | 0 |
| M9 | 100 | 99,8 | 99,7 | 99,5 | 97,6 | 55,2 | 6,3 | 0 |

Từ kết quả phân tích thành phần hạt của cát cho giá trị mô-đun độ lớn được thể hiện ở Hình 3.




Hình 3. Mô-đun độ lớn của cát biển

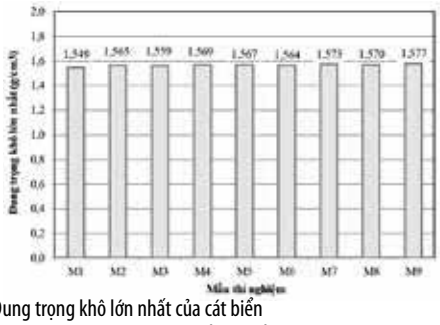
Kết quả thí nghiệm cho thấy cát biển đã khảo sát có thành phần hạt chủ yếu ở các mắt sàng từ 0,315 mm đến 0,075 mm. Các mẫu cát này có lượng lọt sàng 0,075 mm dưới 10% thuộc nhóm A-3 theo AASHTO M145-91 [7] và có mô-đun độ lớn $M_{dl}$ = 0,19 - 0,48 thuộc nhóm cát hạt mịn.

*4.1.2. Độ ẩm tốt nhất và dung trọng khô lớn nhất*

Kết quả thí nghiệm độ ẩm tốt nhất và dung trọng khô lớn nhất của cát biển được thể hiện ở Bảng 4 và Hình 4.

Bảng 4. Kết quả thí nghiệm đầm nén tiêu chuẩn (phương pháp I-A)

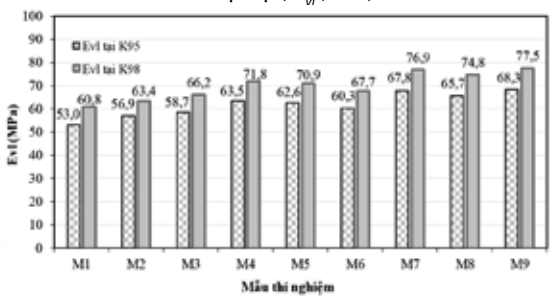
| Chỉ tiêu thí nghiệm | Tên mẫu | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 | M9 |
| Dung trọng khô lớn nhất (g/cm³) | 1,549 | 1,565 | 1,559 | 1,569 | 1,567 | 1,564 | 1,573 | 1,570 | 1,577 |
| Độ ẩm tốt nhất (%) | 19,3 | 18,8 | 19,0 | 18,8 | 18,7 | 18,9 | 19,0 | 19,2 | 18,9 |




Hình 4. Dung trọng khô lớn nhất của cát biển

Kết quả đầm nén tiêu chuẩn thể hiện ở Bảng 4 cho thấy cát biển cho giá trị dung trọng khô lớn nhất khi đầm nén (theo phương pháp I-A) là 1,549 - 1,577 g/cm³ và độ ẩm tốt nhất tương ứng là 18,7 - 19,3%. Từ kết quả trên cho thấy, theo phương pháp đầm nén tiêu chuẩn (dùng chày 2,5 kg) thì dung trọng khô lớn nhất của cát biển nhỏ hơn so với cát sông khi cùng mô-đun độ lớn nhưng giá trị chênh lệch không đáng kể, còn độ ẩm tốt nhất đầm nén thì tương đồng so với cát sông. Số liệu thực nghiệm cho thấy độ chặt tỷ lệ thuận với mô-đun độ lớn của cát.

*4.1.3. Mô-đun đàn hồi vật liệu, $E_{vl}$ (MPa)*




Hình 5. $E_{vl}$ của cát biển

Kết quả thí nghiệm $E_{vl}$ của cát biển ở hệ số đầm chặt (K=0,95 và K=0,98) được thể hiện ở Hình 5.

Kết quả thí nghiệm $E_{vl}$ cho thấy khi mô-đun độ lớn của cát càng lớn cho giá trị dung trọng khô lớn nhất (độ chặt) và mô-đun đàn hồi ($E_{vl}$) của cát biển càng cao. Độ chặt (dung trọng khô) của cát biển càng lớn cho giá trị $E_{vl}$ càng cao. Ở hệ số đầm chặt K=0,95 (K95) thì $E_{vl}$ của cát đạt từ 53,0 - 68,3%, còn ở hệ số đầm chặt K=0,98 (K98) thì $E_{vl}$ của cát đạt từ 60,8 - 77,5%. Kết quả này cho thấy $E_{vl}$ mẫu thấp nhất của cát biển (ở hệ số đầm chặt K=0,95) lớn hơn $E_o$ yêu cầu tối thiểu của nền đường từ cấp III trở xuống khoảng 1,5 - 1,7 lần.

**4.2. Thảo luận**

Các kết quả thí nghiệm ở trên cho thấy cát biển nghiên cứu có thành phần hạt thuộc nhóm A-3 theo AASHTO M145-91 [7]. Tuy nhiên, các mẫu cát biển có mô-đun độ lớn thấp, chỉ đạt từ $M_{dl}$= 0,19 - 0,48. Kết quả đầm nén theo phương pháp I-A (dùng chày 2,5 kg) cho thấy dung trọng khô lớn nhất của cát biển nhỏ hơn so với cát sông khi cùng mô-đun độ lớn nhưng giá trị chênh lệch không đáng kể, điều này có thể giải thích là do các hạt cát biển tròn trơn, đều hạt và ít hàm lượng hữu cơ nên khó dính kết khi đầm nén đã làm cho độ chặt kém hơn so với cát sông. $E_{vl}$ của cát biển ở hệ số đầm chặt K=0,98 lớn hơn 13,5 - 14,7% so với ở hệ số đầm chặt K=0,95. Mặc dù vậy, giá trị $E_{vl}$ ứng với hệ số đầm chặt K95, K98 của cát biển đều thỏa mãn làm 30 cm trên cùng của nền đường từ cấp III trở xuống.

## 5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Từ kết quả nghiên cứu có thể đưa ra một số kết luận và kiến nghị như sau:

- Độ chặt (dung trọng khô) tỷ lệ thuận với mô-đun đàn hồi và mô-đun độ lớn của cát biển;
- Các mẫu cát biển trong nghiên cứu này thuộc nhóm A-3 theo AASHTO M145-91 và có mô-đun đàn hồi thỏa mãn dùng để đắp nền đường tử cấp III trở xuống;
- Cát biển cho dung trọng khô lớn nhất nhỏ hơn so với cát sông khi có cùng mô-đun độ lớn nên khi triển khai thi công đại trà cần làm đoạn thí điểm và cân nhắc tăng thêm số lượt lu so với dùng cát sông truyền thống.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

[1] https://vneconomy.vn/nghien-cuu-phuong-an-mo-rong-thi-diem-su-dung-cat-bien-lam-vat-lieu-san-lap-cho-mot-so-du-an-giao-thong-trong-diem.htm. Accessed: 12/05/2024.

[2] https://dantri.com.vn/xa-hoi/lan-dau-tien-khoi-cong-khai-thac-cat-bien-lam-duong-cao-toc-20240629081133302.htm. Accessed: 29/06/2024.

[3] W. Gutt, R.J. Collins, Sea-dredged aggregates in concrete, *Build. Res.Establish Watford,* UK (7), 1987.

[4] Văn. V. T. A., Nguyễn. V. P., Bùi. P. D., Hoàng. T. Vật liệu đắp nền đường và khả năng sử dụng cát nhiễm mặn để đắp nền đường ô tô tại Việt Nam, *Tạp chí Khoa học Công nghệ Đại học Kiến trúc,* 45, tr. 29-33, 2022.

[5] Trọng. N.Đ., Nhân. T.T. Nghiên cứu một số chỉ tiêu cơ lý của cát biển dùng trong xây dựng nền đường ô tô ở khu vực Phía Nam, *Tạp chí Giao thông vận tải,* 64, tr. 30-33, 9/2024.

[6] Tiêu chuẩn Việt Nam: "Nền đường ô tô - Thi công và nghiệm thu". *TCVN 9436:2012,* Việt Nam.

[7] Standard Specification for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes. *AASHTO M145-91*, 2021.

■Ngày nhận bài: 24/02/2026 ■Ngày sửa bài: 04/3/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 11/3/2026

# Nghiên cứu ảnh hưởng của vị trí cần cẩu đến sự ổn định của sà lan trong quá trình thi công công trình cầu

## Study on the influence of crane position on the stability of barges during bridge construction operations

**> TS NGUYỄN TRỌNG CHỨC*, KS LÊ QUÝ BÔN**
Học viện Kỹ thuật Quân sự
*Email: trongchuc.nguyen@lqdtu.edu.vn

**TÓM TẮT**

Trên thực tế tại Việt Nam, quá trình lựa chọn và bố trí sà lan trong thi công cầu rất phổ biến nhưng vẫn chủ yếu dựa vào kinh nghiệm thực địa, thiếu các cơ sở khoa học và mô hình tính toán chuyên sâu. Điều này không chỉ tiềm ẩn rủi ro về mất an toàn kỹ thuật mà còn dẫn đến những hạn chế trong việc tối ưu hóa hiệu quả thi công và chi phí đầu tư. Việc nghiên cứu, tính toán sự ổn định của sà lan khi thay đổi vị trí đặt cần cẩu trong quá trình thi công công trình cầu là cần thiết và có giá trị thực tiễn cao. Cơ sở lý thuyết tính toán sà lan phục vụ thi công công trình cầu dựa trên TCVN 11815:2017 nhằm đảm bảo an toàn tuyệt đối cho sà lan trước các tác động của tải trọng đặt trên sà lan. Kết quả nghiên cứu sẽ làm cơ sở cho các đơn vị thi công lựa chọn giải pháp thi công phù hợp.

**Từ khóa:** TCVN 11815:2017; độ ổn định sà lan, độ chìm sà lan; góc nghiêng sà lan; vị trí cần cẩu; bán kính làm việc cần cẩu.

**ABSTRACT**

In Vietnam, the selection and placement of barges in bridge construction is common but still primarily relies on field experience, lacking scientific basis and in-depth calculation models. This not only poses risks to technical safety but also leads to limitations in optimizing construction efficiency and investment costs. Research and calculation of barge stability when changing crane positions during bridge construction is necessary and highly valuable in practice. The theoretical basis for calculating barge stability for bridge construction is based on TCVN 11815:2017, aiming to ensure absolute safety for barges under the impact of loads placed on them. The research results will serve as a basis for construction units to select appropriate construction solutions.

**Keywords:** TCVN 11815:2017; barge stability; barge buoyancy; barge inclination angle; crane position; crane working radius.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

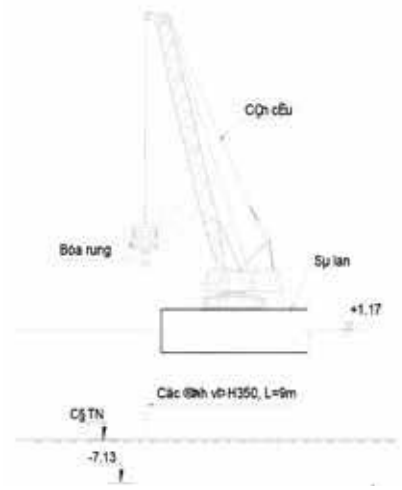
Việt Nam có mạng lưới sông ngòi dày đặc với các lưu vực lớn như sông Hồng, sông Mê Kông, sông Đồng Nai và bờ biển dài ven biển Đông, với điều kiện tự nhiên phân hóa phức tạp, làm tăng khó khăn trong thiết kế và thi công cầu. Trước nhu cầu phát triển hạ tầng giao thông ngày càng lớn, việc lựa chọn giải pháp thi công phù hợp với địa hình, mặt bằng và yêu cầu khai thác hiện hữu trở nên cấp thiết [1-3].

Thi công bằng sà lan là giải pháp hiệu quả trong điều kiện mặt bằng hạn chế, cho phép tận dụng mặt nước, giảm khối lượng đào đắp và tác động đến khu dân cư. Nhờ tính cơ động cao, sà lan đáp ứng linh hoạt các công tác như khoan cọc, lắp đặt dầm, góp phần duy trì tiến độ và tính liên tục thi công (Hình 1). Đồng thời, giải pháp này rút ngắn thời gian xây dựng, giảm chi phí công trình tạm và hạn chế ảnh hưởng đến giao thông, phù hợp với điều kiện tự nhiên Việt Nam [4].

So với thi công trên bờ, sà lan làm việc trong điều kiện phức tạp hơn do hoạt động trên môi trường nước và chịu đồng thời nhiều loại tải trọng. Hệ sà lan - thiết bị phải chịu tải trọng tĩnh (trọng lượng bản thân, cần cẩu, vật nâng), tải trọng lệch tâm do phân bố không đối xứng và tải trọng động như gió, dòng chảy, sóng và dao động khi vận hành [5-7].

Sự tổ hợp bất lợi của các tải trọng, đặc biệt khi tải trọng thi công lớn và biến thiên theo thời gian có thể làm suy giảm cân bằng và ổn định của sà lan. Nếu không được tính toán và kiểm soát chặt

chẽ có thể phát sinh các nguy cơ như giảm mớn nước tự do, mất ổn định chống lật, trượt neo hoặc trôi dạt [8-10].




Hình 1. Sử dụng sà lan trong quá trình đóng cọc thi công công trình cầu

Do đó, việc xác định chính xác khả năng nổi và ổn định tổng thể của sà lan khi bố trí cần cẩu và thiết bị thi công là yêu cầu bắt buộc trong lập và thẩm tra biện pháp thi công theo TCVN 11815:2017. Đây là cơ sở kỹ thuật then chốt nhằm bảo đảm an toàn trong quá trình thi công cầu trên sông và ven biển [1].

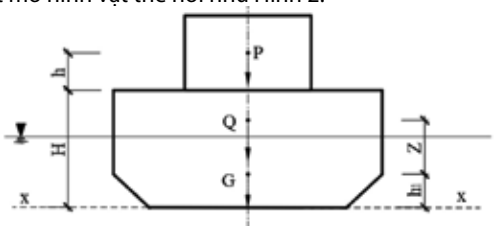
Nhiều yếu tố như tải trọng, vị trí đặt tải và tải trọng gió ảnh hưởng đến tính nổi và ổn định của sà lan. Mặc dù TCVN 11815:2017 đã quy định đầy đủ yêu cầu kỹ thuật đối với hệ nổi phục vụ thi công cầu, việc áp dụng trong thực tế còn hạn chế, chủ yếu dựa trên kinh nghiệm, thiếu cơ sở tính toán chuyên sâu. Điều này tiềm ẩn rủi ro an toàn và hạn chế hiệu quả kinh tế. Vì vậy, nghiên cứu tập trung đánh giá ảnh hưởng của vị trí cần cẩu đến ổn định sà lan, làm cơ sở đề xuất giải pháp thi công phù hợp.

## 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT TÍNH TOÁN TÍNH NỔI, SỰ ỔN ĐỊNH CỦA SÀ LAN

Cơ sở lý thuyết để tính toán tính nổi, độ ổn định sà lan trong quá trình thi công cầu dựa theo TCVN 11815:2017 [1].

### 2.1. Xác định trọng tâm hợp lực của sà lan

Xét mô hình vật thể nổi như Hình 2.




Hình 2. Sơ đồ minh họa trọng tâm hợp lực tác dụng lên sà lan

Trong đó: P - Tải trọng đặt trên sà lan (T); G - Trọng lượng của bản thân sà lan (T); V - Thể tích choán nước tính toán của sà lan ($m^3$); Q - Tổng tải trọng theo phương đứng tác dụng lên sà lan (T); h - Khoảng cách từ điểm đặt trọng tâm tải trọng đặt trên sà lan tới mặt sà lan (m); H - Chiều cao sà lan (m); $h_1$ - Khoảng cách từ điểm đặt trọng lượng bản thân của sà lan đến đáy sà lan (m); Z - Khoảng cách từ điểm đặt trọng tâm của hợp lực Q đến đáy sà lan (m); xx - Trục đối xứng theo phương ngang sà lan; yy - Trục đối xứng theo phương dọc sà lan.

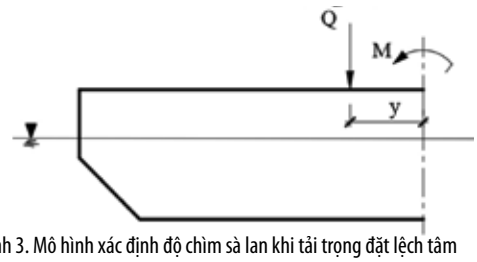
Xác định vị trí điểm đặt của hợp lực Q lên sà lan bằng cách lấy mô-men của các lực đối với trục xx [1,2].

$$\Sigma M_x = Z.Q - P.(h+H) - G.h_1 = 0 \quad (1)$$

$$Z = \frac{P(h+H)+G.h_1}{Q} \text{ (m)} \quad (2)$$

### 2.2. Xác định độ chìm của sà lan

Mô hình xác định độ chìm của sà lan khi tải trọng đặt lệch tâm (Hình 3).




Hình 3. Mô hình xác định độ chìm sà lan khi tải trọng đặt lệch tâm

- Xác định độ chìm của sà lan trường hợp có tải trọng đặt lệch tâm được xác định theo công thức (3) [1, 2, 5]:

$$T = T_1 + T_2 \text{ (m)} \quad (3)$$

+ Độ chìm do tải trọng đúng tâm $T_1$ xác định theo công thức (4) [1, 2, 5].

$$T_1 = \frac{Q}{\gamma.B.L} \text{ (m)} \quad (4)$$

Trong đó: γ - Tỉ trọng của nước (γ=1T/$m^3$).

+ Độ chìm $T_2$ do mô-men lệch tâm xác định theo công thức (5) [1, 2, 5].

$$T_2 = \frac{M}{\gamma\mu J} = \frac{Q.x}{\gamma\mu J} \text{ (m)} \quad (5)$$

Trong đó: M - Mô-men do tải trọng lệch tâm (T.m); x - Khoảng cách từ trọng tâm của tải trọng Q đến trục đối xứng của sà lan (m); μ - Hệ số phụ thuộc hình dạng sà lan: phao đầu bằng hệ số μ=1,0 và phao đầu tròn hệ số μ=1,5 [1,2]; F=B.L là diện tích đường nước của sà lan ($m^2$).

### 2.3. Xác định vị trí tâm nổi E của sà lan

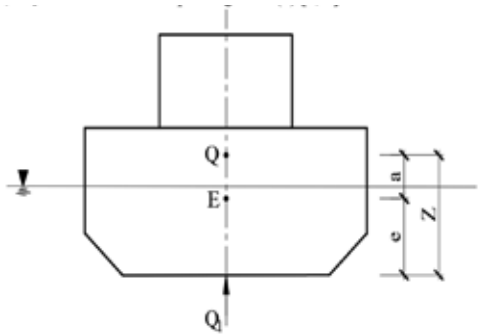
Vị trí tâm nổi được xác định theo công thức (6) [1, 2]:

$$e = \frac{T}{3}(2,5-\beta) \text{ (m)} \quad (6)$$

Trong đó: e - Khoảng cách từ vị trí tâm nổi E đến đáy sà lan (m); β - Hệ số đầy thể tích của lượng nước choán (đối với sà lan chạy trên sông lấy β=0,9 [2]).

### 2.4. Xác định khoảng cách từ trọng tâm hợp lực đến tâm nổi của sà lan

Mô hình xác định vị trí trọng tâm tải trọng và tâm nổi sà lan (Hình 4). Khoảng cách từ trọng tâm hợp lực Q đến tâm nổi E như phương trình (7) [1, 2]:




Hình 4. Mô hình xác định vị trí trọng tâm tải trọng và tâm nổi của sà lan

$$a = Z - e \quad (m) \tag{7}$$

Trong đó: a - Khoảng cách từ vị trí trọng tâm hợp lực Q đến vị trí tâm nổi E (m); Z - Khoảng cách từ vị trí trọng tâm hợp lực Q đến đáy sà lan (m.

**2.5. Xác định bán kính ổn định của sà lan**

Bán kính ổn định theo phương dọc, ngang sà lan được thể hiện như phương trình (8-9) [1, 2]:

$$\rho_x = \frac{J_x}{V} = \frac{\gamma.J_x}{Q} \quad (m) \tag{8}$$

$$\rho_y = \frac{J_y}{V} = \frac{\gamma.J_y}{Q} \quad (m) \tag{9}$$

Trong đó: $\rho_x$, $\rho_y$, $J_x$, $J_y$ - Lần lượt bán kính ổn định và mô-men quán tính của sà lan theo phương dọc, ngang sà lan.

**2.6. Xác định độ nghiêng của sà lan**

Mô hình xác định mô-men lật và độ nghiêng của sà lan (Hình 5). Theo nguyên lý cộng tác dụng tổng cộng mô-men lật đối với tâm nổi như phương trình (10) [1, 2]:

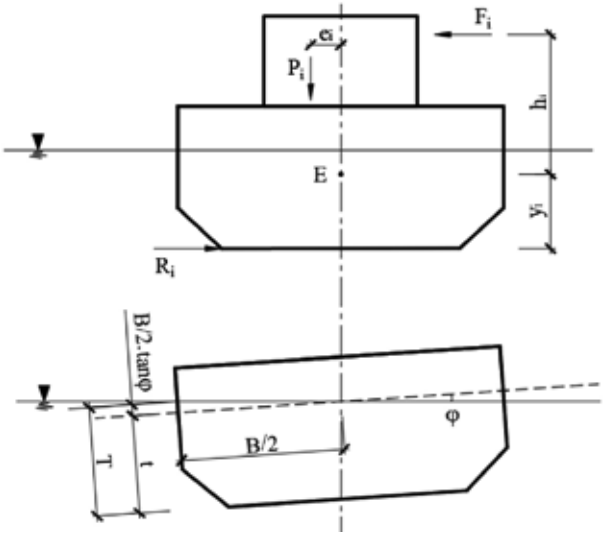
$$M_{lat} = M_1 + M_2 + M_3 \quad (T.m) \tag{10}$$

Trong đó: M1, M2, M3 - Lần lượt là mô-men của các lực dọc, ngang, áp lực nước đối với trục tâm E trên sà lan.

Độ nghiêng của phao được xác định như phương trình (11):

$$tg\varphi = \frac{M_{lat}}{\gamma.V.(\rho - a)} \tag{11}$$

Trong đó: φ - Góc nghiêng của sà lan (độ).




Hình 5. Mô hình xác định mô-men lật và độ nghiêng của sà lan

Điều kiện ổn định của sà lan [1]:

$$\rho_x - a \geq 0 \text{ và } \rho_y - a \geq 0 \tag{12}$$

**2.7. Xác định độ chìm của sà lan do nghiêng**

Từ TCVN 11815:2017 ta xác định được điều kiện về độ chìm của sà lan do nghiêng như sau [1]:

* Theo phương dọc sà lan:

- Độ chìm thêm do nghiêng dọc: $\Delta t_d = 0,5.L.tg\varphi_d$ (m).
- Độ chìm tổng cộng mũi sà lan: $T_{1d} = T + \Delta t_d$ (m).
- Độ chìm tổng cộng đuôi sà lan: $T_{2d} = T - \Delta t_d$ (m).

Trong đó: $\varphi_d$ - Góc nghiêng theo phương dọc sà lan (độ); L - Chiều dài sà lan (m); T - Độ chìm bình quân của sà lan (m).

- Điều kiện làm việc an toàn: $0 < T_{1d} < C$ và $0 < T_{2d} < C$ với C là mức nước thiết kế của sà lan.

* Theo phương ngang sà lan:

- Độ chìm thêm do nghiêng ngang: $\Delta t_n = 0,5.B.tg\varphi_n$ (m).
- Độ chìm tổng cộng mạn trái sà lan: $T_{1n} = T + \Delta t_n$ (m).
- Độ chìm tổng cộng mạn phải sà lan: $T_{2n} = T - \Delta t_n$ (m).

Trong đó: $\varphi_d$ - Góc nghiêng theo phương ngang sà lan (độ); B - Chiều rộng sà lan (m); T - Độ chìm bình quân của sà lan (m).

- Điều kiện làm việc an toàn: $0 < T_{1n} < C$ và $0 < T_{2n} < C$ với C là mức nước thiết kế của sà lan.

## 3. KẾT QUẢ

**3.1. Tham số đầu vào**

** Kích thước sà lan 400 T:*

Chiều dài sà lan: L = 32 m; chiều rộng sà lan: B = 12 m; chiều cao sà lan: H = 2,5 m; trọng lượng sà lan: $P_{sl}$ = 150 T; chiều cao mạn khô: $h_{mk}$ = 0,3; mức nước thiết kế của sà lan: C = 2,2 m.

** Thông số kỹ thuật cần cẩu HITACHI CX-500*

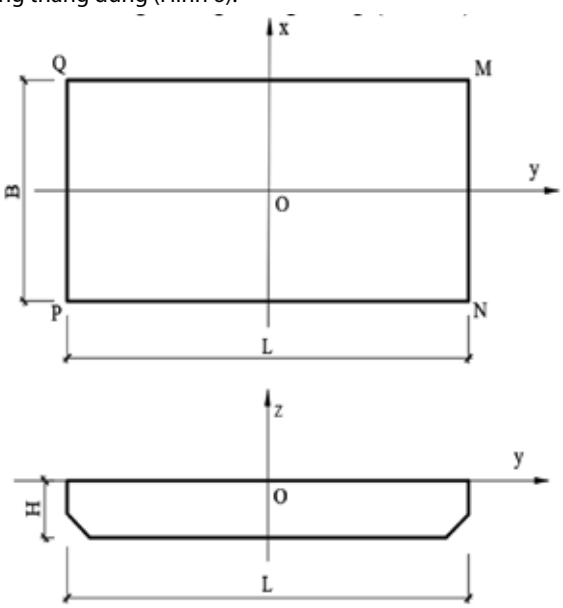
Sức nâng lớn nhất theo thiết kế: 50 T; dài x rộng x cao: (7,5x3,3x3,2)m; trọng lượng máy cơ sở: $P_c$ = 50 T.

** Thông số tải trọng đặt trên sà lan:*

Lồng thép cọc khoan nhồi có đường kính 1,5 m, chiều dài 11,7 m được ghép bởi các thanh thép chủ có đường kính 32 mm, 25 mm và 22 mm đặt cố định trên sà lan với số lượng 21 lồng thép có trọng lượng 57,48 T. Cần cẩu làm việc nâng hạ 1 lồng thép với hệ số xung kích k = 1,2 là 3,72 T.

**3.2. Khảo sát ảnh hưởng của vị trí cần cẩu đến độ nổi, độ ổn định sà lan**

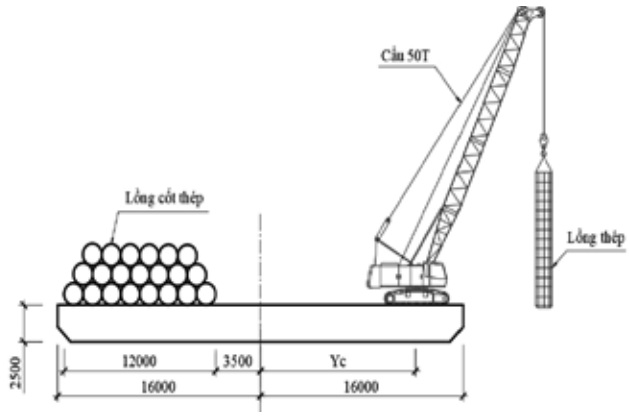
Hệ trục Oxyz được gắn cố định vào thân sà lan, với O tại tâm đối xứng; Ox, Oy lần lượt theo phương ngang và dọc; Oz theo phương thẳng đứng (Hình 6).




Hình 6. Hệ trục tọa độ Oxyz trên thân sà lan

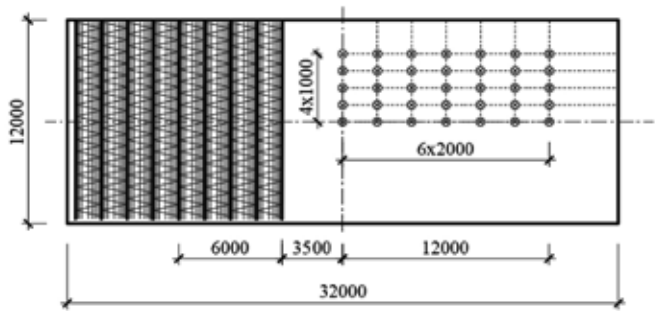
Các tham số được chia thành hai nhóm: Cố định và nhóm thay đổi. Nhóm cố định gồm đặc trưng hình học sà lan và cần cẩu; 21 lồng cốt thép (57,48 T) bố trí cố định; tải nâng một lồng có kể hệ số xung kích k = 1,2 là 3,72 T; bán kính làm việc 14 m, cần chính 25 m, chiều cao nâng 22,31 m, tải nâng cho phép 8,1 T. Điều kiện môi trường ($q_0$ = 155 kg/m$^2$, v = 2 m/s) được giả thiết không đổi. Nhóm thay đổi khảo sát bao gồm các kịch bản sau:

** Kịch bản 1: Thay đổi vị trí đặt cần cẩu theo phương dọc sà lan với $X_c$ = 0 và $Y_c$ thay đổi từ 0 đến 12 m (Hình 7):*




Hình 7. Thay đổi vị trí đặt cần cẩu theo phương dọc sà lan

** Kịch bản 2: Thay đổi vị trí đặt cần cẩu theo phương ngang sà lan với $X_c$ từ 0 đến 4 m tại mỗi vị trí $Y_c$ (Hình 8).*




Hình 8. Các vị trí khảo sát cần cẩu trên sà lan

*3.2.1. Độ ổn định của sà lan*

Kết quả khảo sát ảnh hưởng của vị trí cần cẩu đến độ ổn định sà lan được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Độ ổn định theo phương dọc và phương ngang của sà lan khi thay đổi vị trí cần cẩu

| $X_c$ \ $Y_c$ | | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | $\rho_x$ - a (m) | 122,913 | 122,913 | 122,913 | 122,913 | 122,913 | 122,913 | 122,913 |
| | $\rho_y$ - a (m) | 15,103 | 15,103 | 15,103 | 15,103 | 15,103 | 15,103 | 15,103 |
| 1 | $\rho_x$ - a (m) | 122,913 | 122,913 | 122,913 | 122,913 | 122,913 | 122,913 | 122,913 |
| | $\rho_y$ - a (m) | 15,103 | 15,103 | 15,103 | 15,103 | 15,103 | 15,103 | 15,103 |
| 2 | $\rho_x$ - a (m) | 122,913 | 122,913 | 122,913 | 122,913 | 122,913 | 122,913 | 122,913 |
| | $\rho_y$ - a (m) | 15,103 | 15,103 | 15,103 | 15,103 | 15,103 | 15,103 | 15,103 |
| 3 | $\rho_x$ - a (m) | 122,913 | 122,913 | 122,913 | 122,913 | 122,913 | 122,913 | 122,913 |
| | $\rho_y$ - a (m) | 15,103 | 15,103 | 15,103 | 15,103 | 15,103 | 15,103 | 15,103 |
| 4 | $\rho_x$ - a (m) | 122,913 | 122,913 | 122,913 | 122,913 | 122,913 | 122,913 | 122,913 |
| | $\rho_y$ - a (m) | 15,103 | 15,103 | 15,103 | 15,103 | 15,103 | 15,103 | 15,103 |

Tại các vị trí cần cẩu khác nhau theo phương dọc và phương ngang thì độ ổn định sà lan không thay đổi đáng kể. Điều kiện về độ ổn định: $\rho_x$ - a > 0 và $\rho_y$ - a > 0 thỏa mãn.

*3.2.2. Độ chìm và góc nghiêng của sà lan*

a) Khảo sát ảnh hưởng của vị trí cần cẩu đến độ chìm và góc nghiêng theo phương dọc sà lan

Kết quả tính toán độ chìm, góc nghiêng sà lan theo phương dọc được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Độ chìm và góc nghiêng khi thay đổi vị trí cần cẩu theo phương dọc sà lan

| $X_c$ \ $Y_c$ | | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | $T_{1d}$ (m) | 0,402 | 0,455 | 0,508 | 0,562 | 0,615 | 0,669 | 0,723 |
| | $T_{2d}$ (m) | 0,959 | 0,906 | 0,852 | 0,798 | 0,745 | 0,691 | 0,638 |
| | $\varphi_d$ (độ) | -0,999 | -0,807 | -0,615 | -0,423 | -0,232 | -0,040 | 0,152 |
| 1 | $T_{1d}$ (m) | 0,402 | 0,455 | 0,509 | 0,562 | 0,616 | 0,669 | 0,723 |
| | $T_{2d}$ (m) | 0,959 | 0,905 | 0,852 | 0,798 | 0,745 | 0,691 | 0,638 |
| | $\varphi_d$ (độ) | -0,998 | -0,806 | -0,614 | -0,423 | -0,231 | -0,039 | 0,153 |
| 2 | $T_{1d}$ (m) | 0,402 | 0,455 | 0,509 | 0,562 | 0,616 | 0,669 | 0,723 |
| | $T_{2d}$ (m) | 0,959 | 0,905 | 0,852 | 0,798 | 0,745 | 0,691 | 0,638 |
| | $\varphi_d$ (độ) | -0,998 | -0,806 | -0,614 | -0,423 | -0,231 | -0,039 | 0,153 |
| 3 | $T_{1d}$ (m) | 0,402 | 0,455 | 0,509 | 0,562 | 0,616 | 0,669 | 0,723 |
| | $T_{2d}$ (m) | 0,959 | 0,905 | 0,852 | 0,798 | 0,745 | 0,691 | 0,638 |
| | $\varphi_d$ (độ) | -0,998 | -0,806 | -0,614 | -0,423 | -0,231 | -0,039 | 0,153 |
| 4 | $T_{1d}$ (m) | 0,402 | 0,455 | 0,509 | 0,562 | 0,616 | 0,669 | 0,723 |
| | $T_{2d}$ (m) | 0,959 | 0,905 | 0,852 | 0,798 | 0,745 | 0,691 | 0,638 |
| | $\varphi_d$ (độ) | -0,998 | -0,806 | -0,614 | -0,423 | -0,231 | -0,039 | 0,153 |

Dấu (-) thể hiện sà lan nghiêng về phía đuôi PQ; dấu (+) thể hiện sà lan nghiêng về phía mũi MN.

Kết quả tại Bảng 2 cho thấy, khi thay đổi vị trí cần cẩu theo phương dọc sà lan (Yc tăng từ 0 đến 12 m), độ chìm đầu (T1d), độ chìm đuôi (T2d) và góc nghiêng dọc (φd) biến thiên, phản ánh đặc trưng nghiêng dọc do tải trọng lệch tâm theo chiều dài. Cụ thể, T1d tăng từ 0,402 m lên 0,723 m, trong khi T2d giảm từ 0,959 m xuống 0,638 m, cho thấy sự thay đổi mô-men lệch tâm làm mũi chìm sâu hơn và đuôi nổi tương đối, tức sà lan chuyển trạng thái chúi dọc thay vì tăng độ chìm tổng thể. Đồng thời, φd giảm dần khi Yc tăng, thể hiện xu hướng cải thiện cân bằng dọc. Ngược lại, khi thay đổi vị trí theo phương ngang (Xc từ 0 đến 4 m), các giá trị gần như không biến đổi, chứng tỏ ảnh hưởng của Xc trong phạm vi khảo sát là không đáng kể so với Yc. Điều kiện an toàn 0 < T1d, T2d < 2,2 m (mực nước thiết kế) đều được thỏa mãn cho toàn bộ miền khảo sát.

b) Khảo sát ảnh hưởng của vị trí cần cẩu đến độ chìm và góc nghiêng theo phương ngang sà lan

Kết quả tính toán độ chìm, góc nghiêng sà lan phương ngang được trình bày trong Bảng 3.

Bảng 3. Độ chìm và góc nghiêng khi thay đổi vị trí cần cẩu theo phương ngang sà lan

| Xc \ Yc | | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | $T_{1n}$ (m) | 0,736 | 0,736 | 0,736 | 0,736 | 0,736 | 0,736 | 0,736 |
| | $T_{2n}$ (m) | 0,625 | 0,625 | 0,625 | 0,625 | 0,625 | 0,625 | 0,625 |
| | $\varphi_n$ (độ) | 0,531 | 0,531 | 0,531 | 0,531 | 0,531 | 0,531 | 0,531 |
| 1 | $T_{1n}$ (m) | 0,818 | 0,818 | 0,818 | 0,818 | 0,818 | 0,818 | 0,818 |
| | $T_{2n}$ (m) | 0,543 | 0,543 | 0,543 | 0,543 | 0,543 | 0,543 | 0,543 |
| | $\varphi_n$ (độ) | 1,311 | 1,311 | 1,311 | 1,311 | 1,311 | 1,311 | 1,311 |
| 2 | $T_{1n}$ (m) | 0,899 | 0,899 | 0,899 | 0,899 | 0,899 | 0,899 | 0,899 |
| | $T_{2n}$ (m) | 0,461 | 0,461 | 0,461 | 0,461 | 0,461 | 0,461 | 0,461 |
| | $\varphi_n$ (độ) | 2,090 | 2,090 | 2,090 | 2,090 | 2,090 | 2,090 | 2,090 |
| 3 | $T_{1n}$ (m) | 0,981 | 0,981 | 0,981 | 0,981 | 0,981 | 0,981 | 0,981 |
| | $T_{2n}$ (m) | 0,380 | 0,380 | 0,380 | 0,380 | 0,380 | 0,380 | 0,380 |
| | $\varphi_n$ (độ) | 2,869 | 2,869 | 2,869 | 2,869 | 2,869 | 2,869 | 2,869 |
| 4 | $T_{1n}$ (m) | 1,063 | 1,063 | 1,063 | 1,063 | 1,063 | 1,063 | 1,063 |
| | $T_{2n}$ (m) | 0,298 | 0,298 | 0,298 | 0,298 | 0,298 | 0,298 | 0,298 |
| | $\varphi_n$ (độ) | 3,647 | 3,647 | 3,647 | 3,647 | 3,647 | 3,647 | 3,647 |

Dấu (-) thể hiện sà lan nghiêng về phía mạn phải PN; dấu (+) thể hiện sà lan nghiêng về phía mạn trái QM.

Kết quả tại Bảng 3 cho thấy, khi thay đổi vị trí cần cẩu theo phương ngang sà lan ($X_c$ từ 0 đến 4 m), các thông số $T_{1n}$, $T_{2n}$ và $\varphi_n$ hầu như không phụ thuộc vào $Y_c$ tại từng giá trị $X_c$. Khi $X_c$ tăng, độ chìm mạn trái $T_{1n}$ tăng từ 0,736 m lên 1,063 m, trong khi độ chìm mạn phải $T_{2n}$ giảm từ 0,625 m xuống 0,298 m, thể hiện quy luật biến thiên đơn điệu. Điều này cho thấy tải trọng lệch tâm theo phương ngang làm thay đổi phân bố độ chìm giữa hai mạn thay vì làm tăng độ chìm tổng thể. Điều kiện an toàn $0 < T_{1n}, T_{2n} < 2,2$ m (mực nước thiết kế) đều được thỏa mãn trong toàn bộ miền khảo sát.

c) Khảo sát ảnh hưởng của vị trí cần cẩu đến độ chìm góc của sà lan (vị trí Q)

Độ chìm lớn nhất tại góc Q của sà lan theo nguyên lý cộng tác dụng được trình bày trong Bảng 4.

Bảng 4. Độ chìm tại góc Q của sà lan khi thay đổi vị trí cần cẩu

| Xc \ Yc | | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | $T_{max}$ (m) | 1,015 | 0,961 | 0,908 | 0,854 | 0,801 | 0,747 | 0,693 |
| 1 | $T_{max}$ (m) | 1,096 | 1,043 | 0,989 | 0,936 | 0,882 | 0,828 | 0,775 |
| 2 | $T_{max}$ (m) | 1,178 | 1,124 | 1,071 | 1,017 | 0,964 | 0,910 | 0,857 |
| 3 | $T_{max}$ (m) | 1,260 | 1,206 | 1,152 | 1,099 | 1,045 | 0,992 | 0,938 |
| 4 | $T_{max}$ (m) | 1,341 | 1,288 | 1,234 | 1,181 | 1,127 | 1,074 | 1,020 |

Kết quả tại Bảng 4 cho thấy, độ chìm lớn nhất tại góc sà lan ($T_{max}$) tăng khi cần cẩu dịch chuyển lệch tâm theo cả phương dọc và phương ngang, đặc biệt rõ khi lệch về phía mạn. Giá trị $T_{max}$ lớn nhất đạt 1,341 m tại vị trí $X_c = 4$ m, $Y_c = 0$ m. Tuy nhiên, toàn bộ $T_{max}$ đều nhỏ hơn mực nước thiết kế C = 2,2 m, do đó các trường hợp khảo sát đều thỏa mãn điều kiện an toàn về độ chìm.

## 4. KẾT LUẬN

Từ các kết quả thu được ta có nhận xét sau:

- Trong điều kiện tham số đầu vào khảo sát, có thể cho phép cần cẩu làm việc trong miền $0 \le Yc \le 12$ m và $0 \le Xc \le 4$ m.

- Khi cần cẩu dịch chuyển theo phương dọc sà lan thì làm thay đổi phân bố độ chìm mũi, đuôi sà lan nhưng không làm tăng đáng kể $T_{max}$, đồng thời $\varphi_d$ tiến dần về 0 cho thấy trạng thái cân bằng dọc sà lan được cải thiện.

- Khi cần cẩu lệch về phía mạn tạo mô-men gây nghiêng lớn hơn so với dịch chuyển theo phương dọc trong miền khảo sát, do đó nên ưu tiên bố trí cần cẩu gần trục đối xứng dọc sà lan, hạn chế làm việc lệch về phía mạn sà lan nếu không cần thiết.

- Để tăng độ tin cậy trong ứng dụng thực tế, tiếp tục nghiên cứu các tham số: Bán kính làm việc của cần cẩu, tải nâng và hệ số động, cấp gió, vận tốc dòng chảy… và tổ hợp tải khác nhau nhằm xây dựng được biểu đồ vùng an toàn cho từng trường hợp thi công.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO


[1] Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 11815:2017 về Thiết kế công trình phụ trợ trong thi công cầu. *TCVN 11815:2017,* 2017.

[2] Phạm Huy Chính. Tính toán thiết kế các công trình phụ tạm để thi công cầu, tập 1. *NXB. Xây dựng*.

[3] Phạm Huy Chính. Tính toán thiết kế các công trình phụ tạm để thi công cầu, tập 2. *NXB. Xây dựng,* 2004.

[4] Nguyễn Viết Trung. *Sổ tay thi công cầu cống,* 2004.

[5] Đinh Sơn Hùng. Các phương tiện vượt sông. *Học viện Kỹ thuật Quân sự,* 1998.

[6] Tran Van Tao & Nguyen Chi Luy. *The Effect of the Change in the Position of Load on the Inclination Angle of Floating Crane*, 2020.

[7] Nguyễn Viết Trung. Các công nghệ thi công cầu. *NXB. Xây dựng,* 2012.

[8] Phạm Huy Chính. Tính toán thiết kế thi công cầu. *NXB. Xây dựng,* 2006.

[9] D G Musca (Anghelache). Static and dynamic stability for floating cranes. *Materials Science and Eng.,* 400, 082015, 2018.

[10] Osman Özen, Bekir Şener. Comparative investigation of crane effect on intact stability criteria for ships. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT),* vol 67 Issue 6, 2019.

■Ngày nhận bài: 01/01/2026 ■Ngày sửa bài: 12/01/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 21/01/2026

# Nghiên cứu tham số ảnh hưởng đến ứng xử của dầm cao bê tông cốt thép nhiều nhịp có lỗ mở bằng mô phỏng số

## Parametric study on the behavior of multi-span reinforced concrete deep beams with openings using numerical simulation

**> THS LÊ THỊ THANH HÀ**
Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội; Email: haltt@hau.edu.vn

**TÓM TẮT**

Ứng xử của dầm cao bê tông cốt thép (BTCT) nhiều nhịp có nhiều điểm khác biệt so với dầm thường, đặc biệt trong các trường hợp có bố trí lỗ mở; khi đó, ứng xử chịu lực của dầm trở nên phức tạp hơn. Hiện nay, các quy định thiết kế cũng như các công bố nghiên cứu phân tích đối với dầm cao BTCT nhiều nhịp có lỗ mở còn hạn chế. Trong bài báo này, phần mềm ABAQUS được sử dụng để nghiên cứu ảnh hưởng của một số yếu tố, bao gồm cấp bền chịu nén của bê tông (B) và tỷ lệ bố trí cốt thép, đến ứng xử của dầm cao BTCT nhiều nhịp có lỗ mở. Các mẫu dầm được khảo sát có cùng kích thước hình học và chiều dài nhịp. Kết quả phân tích cho thấy sự tồn tại của lỗ mở gây bất lợi cho khả năng chịu lực của dầm cao nhiều nhịp. Nghiên cứu đồng thời làm rõ các giai đoạn ứng xử dẫn đến phá hoại của dầm cao nhiều nhịp có lỗ mở và đưa ra một số nhận xét về ảnh hưởng của các tham số khảo sát.

**Từ khóa:** Dầm cao; dầm nhiều nhịp; lỗ mở; bê tông cốt thép; mô phỏng số; ABAQUS.

**ABSTRACT**

The load-carrying behavior of multi-span reinforced concrete deep beams differs significantly from that of conventional beams, particularly when web openings are introduced, which leads to a more complex force transfer mechanism. At present, design provisions and published studies addressing multi-span reinforced concrete deep beams with openings remain limited, especially in terms of quantitative numerical investigations. In this study, the finite element software ABAQUS is employed to investigate the influence of several key parameters, including the compressive strength of concrete and the reinforcement ratio, on the structural behavior of multi-span reinforced concrete deep beams with openings. All beam models considered in the analysis have identical geometric dimensions, span lengths, and loading configurations, while the investigated parameters are varied systematically to evaluate their individual effects. The numerical results indicate that the presence of web openings significantly reduces the load-carrying capacity and stiffness of multi-span deep beams and alters their failure mechanisms. In addition, increasing the concrete strength and adopting appropriate reinforcement arrangements are shown to enhance the ultimate load capacity, improve ductility, and effectively control the development of diagonal cracking. The study clarifies the different behavioral stages leading to failure and provides valuable insights for the design and assessment of multi-span reinforced concrete deep beams with openings.

**Keywords:** Deep beam; continuous deep beam; web opening; reinforced concrete; numerical simulation; ABAQUS.

### 1. GIỚI THIỆU

Trong các công trình yêu cầu không gian vượt nhịp lớn nhằm đáp ứng yêu cầu về công năng và thẩm mỹ, giải pháp kết cấu không bố trí cột trung gian thường được lựa chọn. Trong đó, dầm cao BTCT nhiều nhịp (continuous deep beam) là một phương án phù hợp nhờ tính kinh tế và khả năng thi công thuận lợi. Ngoài ra, để bố trí các hệ thống kỹ thuật như đường ống và cáp kỹ thuật, dầm cao thường được thiết kế với các lỗ mở nhằm tiết kiệm chiều cao thông thủy và tạo ra giải pháp kết cấu gọn nhẹ. Tuy nhiên, sự tồn tại của các lỗ mở có thể làm gián đoạn cơ chế truyền lực trong dầm, từ đó ảnh hưởng bất lợi đến khả năng chịu lực và độ bền của kết cấu. Vì vậy, việc nghiên cứu ứng xử của dầm cao BTCT nhiều nhịp có lỗ mở là cần thiết trong thực tiễn thiết kế.

Đặc trưng của dầm cao nhiều nhịp là tỷ lệ giữa nhịp chịu cắt và chiều cao dầm (a/h) nhỏ, dẫn đến ứng xử chịu lực khác biệt đáng kể so với dầm mảnh thông thường. Trong các cấu kiện này, lực thường

được truyền trực tiếp từ điểm đặt tải đến gối tựa, kèm theo sự phân bố biến dạng phi tuyến theo chiều cao tiết diện ngay cả trong giai đoạn đàn hồi. Đồng thời, biến dạng do cắt chiếm tỷ trọng đáng kể so với biến dạng do uốn [1]. Khi có lỗ mở, ứng xử chịu lực của dầm cao nhiều nhịp trở nên phức tạp hơn do sự thay đổi đường truyền lực và sự tập trung ứng suất tại vùng xung quanh lỗ mở [2].

Theo các tiêu chuẩn thiết kế hiện hành, dầm cao nhiều nhịp được xác định dựa trên các tiêu chí hình học khác nhau. Tiêu chuẩn Canada (1984) quy định cấu kiện chịu uốn được thiết kế như dầm cao khi tỷ số giữa nhịp thông thủy và chiều cao dầm nhỏ hơn 2,5 [1]. Theo ACI 318-19 [3], dầm được xem là dầm cao khi tỷ số giữa chiều cao dầm và chiều dài nhịp thông thủy lớn hơn 2/5. Tiêu chuẩn IS 456-2000 [4] cũng đưa ra các tiêu chí phân loại tương tự. Cơ chế chịu tải đặc trưng của dầm cao nhiều nhịp được minh họa trong Hình 1.

Hiện nay, các phương pháp thiết kế dầm cao nhiều nhịp chủ yếu được phát triển dựa trên kết quả nghiên cứu đối với dầm cao đơn nhịp. Tuy nhiên, cách tiếp cận này chưa phản ánh đầy đủ ứng xử thực tế của dầm cao nhiều nhịp do sự tồn tại của các vùng D rộng và cơ chế truyền lực mang tính chất giàn hoặc vòm rõ rệt. Trong bối cảnh đó, phương pháp thanh chống - giằng được xem là một công cụ hiệu quả để phân tích và thiết kế dầm cao, dựa trên việc mô hình hóa cơ chế truyền lực thông qua hệ thống các thanh chống bê tông và thanh giằng cốt thép giao nhau tại các nút [6]. Tuy nhiên, số lượng nghiên cứu thí nghiệm về dầm cao nhiều nhịp, đặc biệt là dầm có lỗ mở, vẫn còn hạn chế. Với sự phát triển của các phương pháp mô phỏng số và các phần mềm phân tích phi tuyến như ABAQUS, việc nghiên cứu ứng xử của dầm cao nhiều nhịp có lỗ mở trở nên khả thi hơn. Trên cơ sở đó, bài báo này tập trung khảo sát ảnh hưởng của một số tham số, bao gồm cường độ chịu nén của bê tông và cách bố trí cốt thép, đến ứng xử chịu lực của dầm cao BTCT nhiều nhịp có lỗ mở. Nghiên cứu được thực hiện thông qua việc xây dựng và kiểm chứng mô hình số dựa trên các kết quả thí nghiệm đã công bố, sau đó sử dụng mô hình này để phân tích ảnh hưởng của các tham số đến ứng xử và cơ chế phá hoại của dầm.

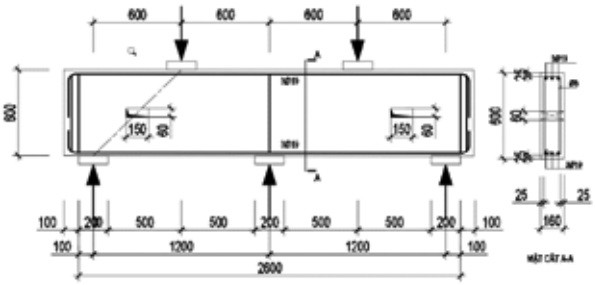
Theo các nghiên cứu trước [8-11], hình dạng và kích thước lỗ mở có ảnh hưởng đáng kể đến khả năng chịu lực của dầm cao BTCT. Tuy nhiên, trong phạm vi bài báo này, kích thước và hình dạng lỗ mở được giữ không đổi nhằm tập trung làm rõ ảnh hưởng của cường độ bê tông và phương án bố trí cốt thép. Việc khảo sát tối ưu kích thước và hình dạng lỗ mở sẽ được xem xét trong các nghiên cứu tiếp theo.

## 2. MÔ HÌNH SỐ VÀ KIỂM CHỨNG

### 2.1. Mô hình thí nghiệm và kiểm chứng

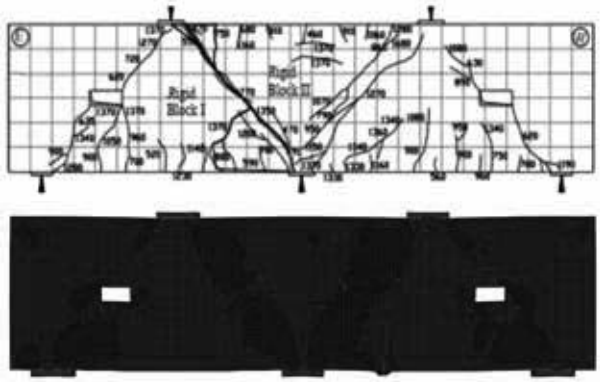
Để đảm bảo độ tin cậy của mô hình số, nghiên cứu sử dụng kết quả thí nghiệm dầm cao BTCT nhiều nhịp có lỗ mở đã được công bố bởi Yang và cộng sự [5] làm cơ sở kiểm chứng. Các mẫu thí nghiệm là dầm cao hai nhịp, có kích thước tiết diện bxh = 160×600 mm, chiều dài nhịp L = 1000 mm, chịu tải tập trung đặt tại giữa các nhịp. Hai dạng kích thước lỗ mở được khảo sát, trong đó nghiên cứu này lựa chọn mẫu có kích thước lỗ mở 150×60 mm (tương ứng 0,25a×0,1h), nằm trong vùng nhịp chịu cắt bên ngoài, với tỷ số a/h = 1.

Trên cơ sở các thông số hình học, vật liệu và bố trí cốt thép của mẫu thí nghiệm, một mô hình tương ứng được xây dựng trong phần mềm ABAQUS. Trên Hình 1 thể hiện các thông số và bố trí cốt thép trong mẫu dầm dùng mô phỏng kiểm chứng, Hình 3 so sánh kết quả vết nứt gây phá hoại dầm thí nghiệm và kết quả vết nứt gây phá hoại dầm mô phỏng số.




Hình 1. Bố trí cốt thép dầm thí nghiệm và dầm mô phỏng kiểm chứng

Kết quả mô phỏng được so sánh với kết quả thí nghiệm thông qua sự hình thành vết nứt và tải trọng phá hoại của dầm. Kết quả cho thấy mô hình số tái hiện tốt quá trình hình thành và phát triển vết nứt. Các vết nứt xuất hiện đầu tiên tại các góc lỗ mở và gần điểm đặt tải, sau đó lan truyền về phía điểm đặt tải khi tải trọng tăng lên. Tiếp theo, các vết nứt cắt phát triển từ vùng gối đến điểm đặt tải qua khu vực lỗ mở, tạo thành cơ chế phá hoại dạng thanh chống nén tương tự quan sát trong thí nghiệm.



Hình 2. So sánh vết nứt gây phá hoại của dầm thí nghiệm và dầm mô phỏng kiểm chứng

Giá trị tải trọng tại thời điểm xuất hiện vết nứt uốn đầu tiên từ mô hình số là 451 kN, trong khi giá trị thí nghiệm là 460 kN (sai số 1,96%). Tải trọng xuất hiện vết nứt xiên do cắt đầu tiên từ mô hình số là 469 kN, so với 480 kN trong thí nghiệm (sai số 4,57%). Sự tương đồng về quá trình phát triển vết nứt và vị trí phá hoại giữa mô phỏng và thí nghiệm cho thấy mô hình số có độ tin cậy cao và có thể sử dụng để dự đoán ứng xử của dầm cao nhiều nhịp có lỗ mở trong các nghiên cứu tiếp theo.

### 2.2. Xây dựng mô hình số trong ABAQUS

Các thông số vật liệu được sử dụng trong mô phỏng khảo sát:

*Mô hình hóa cốt thép*

Mối quan hệ ứng suất - biến dạng của cốt thép dọc và cốt thép đai trong các mô hình khảo sát được mô hình hóa theo đường cong ứng suất - biến dạng lý tưởng hóa (mô hình đàn - dẻo lý tưởng), phù hợp với quy định của TCVN 5574:2018 [6]. Các tham số vật liệu của cốt thép được khai báo trong phần mềm ABAQUS được trình bày trong Bảng 1. Đối với bê tông, quan hệ ứng suất - biến dạng khi chịu nén và chịu kéo được xác định theo tiêu chuẩn Eurocode 2 [7].

Bảng 1. Các tham số của cốt thép trong ABAQUS

| Loại thép | Giới hạn chảy | Biến dạng không đàn hồi | Mô đun đàn hồi | Hệ số poat xông |
|---|---|---|---|---|
| Thép CB300-T | 300 | 0 | 20000 | 0,3 |
| | 300 | 0,01 | | |
| | 300 | 0,16 | | |
| Thép CB400-V | 400 | 0 | 20000 | 0,3 |
| | 400 | 0,01 | | |
| | 400 | 0,14 | | |

*Mô hình hóa bê tông*

Các tham số vật liệu của bê tông trong mô hình CDP, bao gồm các tham số phá hoại, biến dạng không đàn hồi và quan hệ ứng suất - biến dạng khi chịu kéo và chịu nén, được xác định cho các cấp bền chịu nén bê tông B30, B35 và B40. Các tham số này được tính toán bằng chương trình xây dựng trên phần mềm Matlab. Bảng 2 trình bày bộ tham số CDP của bê tông được sử dụng trong ABAQUS.

Bảng 2. Các thông số CDP của bê tông trong ABAQUS

| Dilation angle | Eccentricity | $f_{bo} / f_{co}$ | Kc | Viscosity parameter |
|---|---|---|---|---|
| 360 | 0.1 | 1.15 | 0.6667 | 0.0001 |

Các quan hệ ứng suất - biến dạng và các tham số phá hoại của bê tông trong mô hình CDP được xác định theo Eurocode 2 và được nội suy, hiệu chỉnh phù hợp với từng cấp cường độ chịu nén của bê tông; các tham số chi tiết được sử dụng để khai báo trong ABAQUS không trình bày trong bài báo do giới hạn dung lượng.

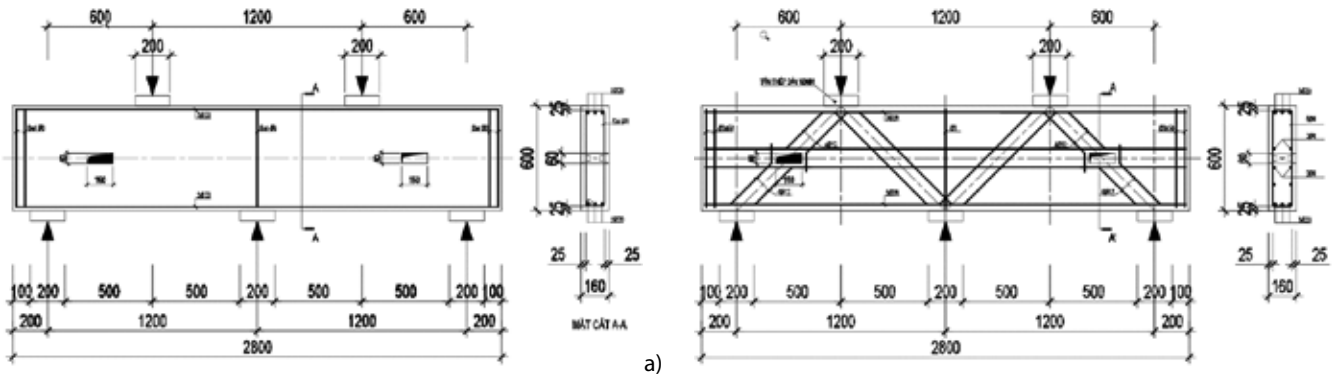
**2.3. Mô hình khảo sát và các tham số nghiên cứu**

Trên cơ sở mô hình số đã được kiểm chứng ở mục 2.1, nghiên cứu xây dựng các mô hình khảo sát nhằm đánh giá ảnh hưởng của một số tham số đến ứng xử của dầm cao BTCT nhiều nhịp có lỗ mở. Trong các mô hình này, kích thước và hình dạng lỗ mở được giữ không đổi nhằm loại trừ ảnh hưởng của yếu tố hình học, qua đó đánh giá tác động của các tham số vật liệu và phương án bố trí cốt thép. Tổng cộng có 9 mô hình dầm được phân tích; các thông số hình học như chiều dài nhịp, bề rộng, chiều cao dầm và kích thước lỗ mở được giữ không đổi, đồng thời tỷ số nhịp chịu cắt trên chiều cao dầm được cố định ở a/h = 1. Các mô hình được khảo sát theo hai tham số: cấp cường độ chịu nén của bê tông và phương án bố trí cốt thép trong dầm có lỗ mở. Sơ đồ bố trí cốt thép được trình bày trong Hình 3. Trong đó, Hình 3a minh họa mô hình khảo sát cường độ bê tông (mẫu LBC), còn Hình 3b thể hiện mô hình khảo sát sự thay đổi bố trí cốt thép (mẫu LN) và bố trí cốt thép nghiêng gia cường quanh lỗ mở (mẫu LDNC). Các mô hình này có cùng hình học và điều kiện biên như mẫu cơ sở.

**3. KẾT QUẢ PHÂN TÍCH VÀ THẢO LUẬN**

**3.1. Khảo sát ảnh hưởng của tham số cấp bền chịu nén của bê tông**

Để đánh giá ảnh hưởng của cấp bền chịu nén của bê tông đến ứng xử của dầm cao BTCT nhiều nhịp có lỗ mở, các mô hình dầm LBC-B30 và LBC-B40, được xây dựng và phân tích. Các mô hình này có cùng kích thước hình học, bố trí cốt thép dọc và cốt đai như nhau; chỉ thay đổi cấp bền chịu nén của bê tông trong khoảng từ B30 đến B40. Tất cả các mô hình khảo sát đều là dầm cao hai nhịp, có bề rộng và chiều cao tiết diện bxh = 160×600 mm, chiều dài nhịp L = 1,2 m, với tỷ số nhịp chịu cắt trên chiều cao dầm a/h = 1,0. Các dầm được gia tải tăng dần cho đến khi xảy ra phá hoại nhằm đánh giá ứng xử chịu lực và cơ chế phá hoại của dầm. Các thông số hình học, vật liệu và bố trí cốt thép của các mô hình khảo sát được tổng hợp trong Bảng 3.




Hình 3. Bố trí cốt thép trong mô hình khảo sát: *a) mẫu LBC; b) mẫu LDN và LDNC*

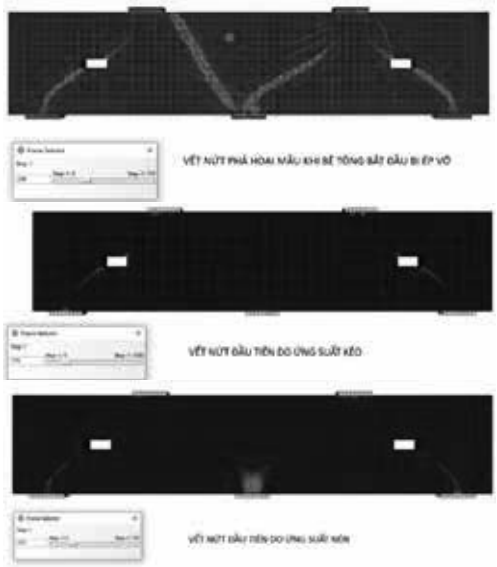
Bảng 3. Các thông số của dầm khảo sát ảnh hưởng cấp cường độ chịu nén bê tông

| Số TT | Tên mô hình | Cấp bền chịu nén bê tông (B) | bxh (mm) | Kích thước lỗ mở (mm) | Cốt thép dọc trên | Cốt cốt thép dọc dưới |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | LBC-B30 | B30 | 160x600 | 150x60 | 3d20 | 3d20 |
| 2 | LBC-B40 | B40 | 160x600 | 150x60 | 3d20 | 3d20 |

Hình 4 và 5 thể hiện trạng thái vết nứt khi bê tông bắt đầu bị ép vỡ cũng như sự hình thành vết nứt đầu tiên của các mẫu LBC. Trong tất cả các mẫu khảo sát, vết nứt uốn xuất hiện trước tại mép lỗ mở và vùng giữa nhịp, sau đó các vết nứt cắt phát triển theo phương xiên từ gối tựa về phía lỗ mở và điểm đặt tải, hình thành cơ chế thanh chống chéo đặc trưng của dầm cao nhiều nhịp có lỗ mở. Đối với các dầm sử dụng bê tông B30, B35 và B40, sau khi xuất hiện vết nứt uốn, các vết nứt cắt phát triển nhanh và dẫn đến phá hoại chủ yếu do cắt. Bê tông bị phá vỡ tại vùng gối, đặc biệt là gối giữa, theo phương thanh chống chéo trong nhịp trong; đồng thời cốt thép đai chảy dẻo trước cốt thép dọc, cho thấy vai trò chi phối của lực cắt trong cơ chế phá hoại.

Kết quả cho thấy phá hoại của các dầm LBC chủ yếu do cắt, trong đó lỗ mở làm thay đổi đường truyền lực và gây tập trung ứng suất tại vùng gối và mép lỗ mở. Việc tăng cường độ chịu nén của bê tông giúp nâng cao độ cứng, làm chậm sự xuất hiện vết nứt uốn và hạn chế sự phát triển của các vết nứt xiên. Mô phỏng cũng cho thấy sự tập trung ứng suất rõ rệt tại các góc lỗ mở (ứng suất kéo) và dọc theo đường truyền lực từ điểm đặt tải đến gối tựa (ứng suất nén), phù hợp với cơ chế làm việc dạng thanh chống - giằng của dầm cao.

*a) LBC-B30*




Hình 4. So sánh ứng xử các mẫu khảo sát LBC-30

*b) LBC-B40*

Hình 5. So sánh ứng xử các mẫu khảo sát LBC -40

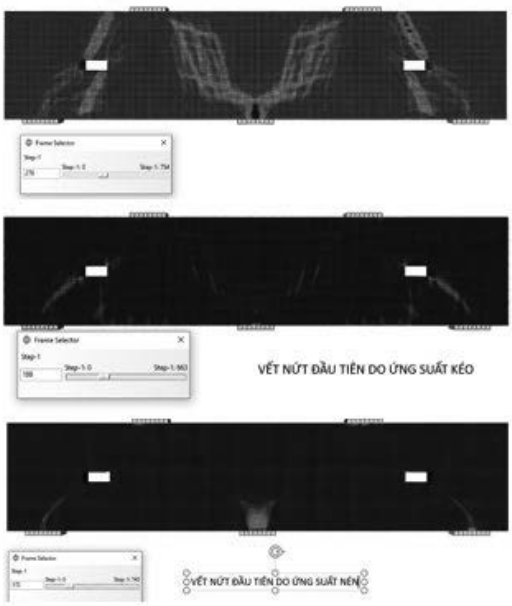
### 3.2. Khảo sát ảnh hưởng của cốt thép

Tiếp theo, để nghiên cứu ảnh hưởng của một số phương án bố trí cốt thép đến ứng xử của dầm cao nhiều nhịp có lỗ mở, nghiên cứu sử dụng mẫu BC-B35 trong mục 3.1 làm mẫu cơ sở. Trên cơ sở đó, sáu mô hình dầm được xây dựng và chia thành hai nhóm khảo sát. Nhóm thứ nhất gồm các mẫu LDNC-01, LDNC-02, trong đó ngoài cốt thép dọc và cốt đai đứng, dầm được bố trí thêm cốt thép nghiêng với hàm lượng thay đổi. Nhóm thứ hai gồm các mẫu LN-a01, LN-a02, có bố trí cốt đai ngang cố định nhưng thay đổi hàm lượng cốt thép dọc. Các thông số của hai nhóm dầm khảo sát được tổng hợp trong Bảng 4.

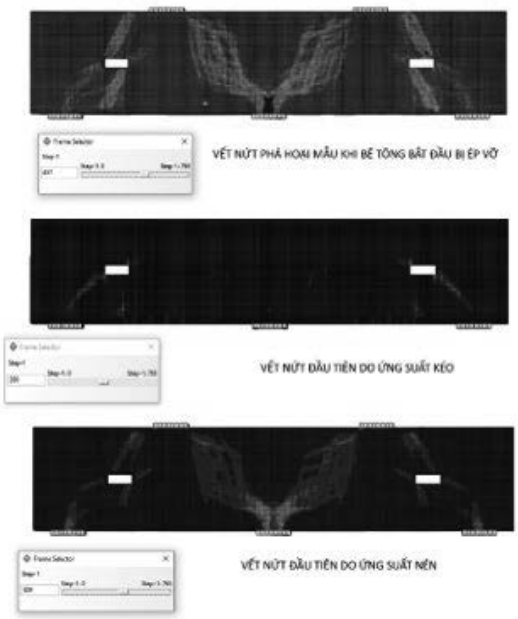
Bảng 4. Các thông số của dầm khảo sát ảnh hưởng của cốt thép

| Số TT | Tên mô hình | bxh (mm) | Kích thước lỗ mở (mm) | Cốt đai đứng | Cốt thép ngang và gia cường xiên chéo |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | LDCN-01 | 160X600 | 150X60 | 25 d8 | Ngang 4d10 xiên d12 |
| 2 | LDCN-02 | 160X600 | 150X60 | 25 d8 | Ngang 4d10 xiên d16 |
| 3 | LDN-01 | 160X600 | 150X60 | 19 d8 | Ngang 2d10 |
| 4 | LDN-02 | 160X600 | 150X60 | 19 d8 | Không |

*a) LDCN-01*




*b) LDCN-02*

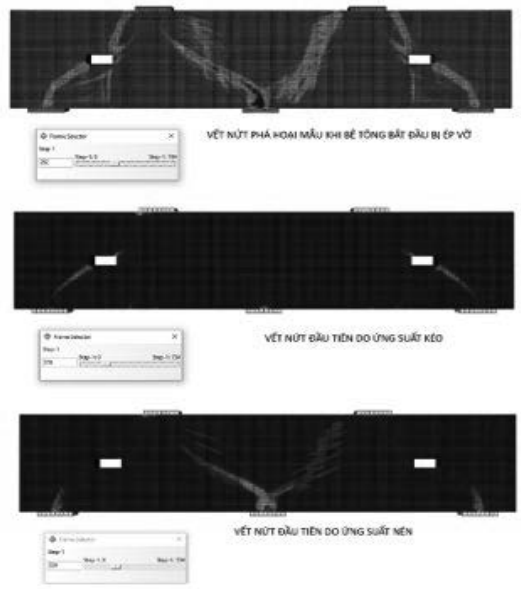



Hình 6. So sánh ứng xử các mẫu khảo sát LDCN

Kết quả trên Hình 6 cho thấy trong giai đoạn đầu chịu tải, phá hoại do kéo (DamageT) xuất hiện trước tại mép lỗ mở, đặc biệt ở các góc lỗ gần điểm đặt tải và gối tựa. Khi tải trọng tăng, các vùng DamageT phát triển theo phương nghiêng từ gối tựa về phía lỗ mở, thể hiện sự tương tác uốn-cắt. Ở giai đoạn sau, phá hoại do nén (DamageC) phát triển dọc theo đường truyền lực từ điểm đặt tải đến gối tựa, hình thành thanh chống bê tông và chi phối trạng thái phá hoại cuối cùng của dầm. Đối với nhóm mẫu LDCN có bố trí cốt thép nghiêng quanh lỗ mở, các vết nứt uốn và cắt xuất hiện gần như đồng thời. Nhờ cốt thép nghiêng tham gia chịu lực, các vết nứt chéo phân bố rộng hơn, hình thành dạng thanh chống chéo trước khi phá hoại tại vùng gối giữa. Khi tăng hàm lượng cốt thép nghiêng, chiều rộng và tốc độ phát triển của vết nứt chéo giảm, đồng thời cốt thép đai và cốt thép nghiêng thường chảy dẻo trước cốt thép dọc, cho thấy khả năng phân phối nội lực và độ dẻo của dầm được cải thiện.

*a) LDN-01*

*b) LDN-02*




Hình 7. So sánh ứng xử các mẫu khảo sát LDN

Ngược lại, ở nhóm mẫu LDN không bố trí cốt thép nghiêng, vết nứt uốn xuất hiện trước, sau đó là các vết nứt cắt phát triển theo phương xiên từ gối tựa đến lỗ mở và điểm đặt tải, dẫn đến phá hoại chủ yếu tại vùng gối giữa. Việc tăng hàm lượng cốt thép dọc và cốt đai ngang không làm thay đổi đáng kể cơ chế phá hoại. Kết quả cho thấy sự tồn tại của lỗ mở làm thay đổi đường truyền lực và thúc đẩy phá hoại cắt trong dầm cao nhiều nhịp. So với việc chỉ tăng cốt thép dọc hoặc cốt đai, bố trí cốt thép nghiêng quanh lỗ mở hiệu quả hơn trong việc phân tán ứng suất, kiểm soát vết nứt và cải thiện độ dẻo của kết cấu.

## 4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, mô hình số dầm cao BTCT nhiều nhịp có lỗ mở được xây dựng và kiểm chứng thông qua so sánh với kết quả thí nghiệm, cho thấy sự phù hợp tốt về ứng xử và cơ chế phá hoại. Trên cơ sở đó, ảnh hưởng của một số tham số đến ứng xử của dầm được khảo sát bằng phương pháp mô phỏng số. Kết quả cho thấy sự tồn tại của lỗ mở làm thay đổi đáng kể đường truyền lực trong dầm cao nhiều nhịp, khiến ứng xử chịu lực phức tạp hơn so với dầm không có lỗ mở.

Đối với các mẫu khảo sát với cấp bền chịu nén của bê tông từ B30 đến B40, phá hoại do cắt chiếm ưu thế so với phá hoại do uốn, với các vết nứt chéo phát triển từ gối tựa hướng về lỗ mở và điểm đặt tải. Việc tăng cường độ chịu nén của bê tông giúp nâng cao độ cứng, khả năng chịu lực và cải thiện khả năng làm việc sau nứt của dầm cao có lỗ mở.

Ngoài ra, việc bố trí cốt thép nghiêng gia cường quanh lỗ mở cho thấy hiệu quả rõ rệt trong việc kiểm soát sự phát triển của vết nứt chéo, điều chỉnh đường truyền lực và nâng cao khả năng chịu lực của dầm. Kết quả cho thấy giải pháp gia cường bằng cốt thép nghiêng quanh lỗ mở hiệu quả hơn so với việc chỉ tăng cường độ bê tông hoặc thay đổi hàm lượng cốt thép dọc và cốt đai ngang. Mặc dù lỗ mở hình tròn có thể giúp phân bố ứng suất đều hơn so với lỗ mở hình chữ nhật, việc gia cường quanh lỗ mở vẫn đóng vai trò quan trọng trong việc đảm bảo an toàn chịu lực, đặc biệt khi lỗ mở nằm trong vùng truyền lực nén chính hoặc có kích thước lớn. Vì vậy, bố trí cốt thép nghiêng quanh lỗ mở được xem là một giải pháp hiệu quả trong thực tiễn thiết kế.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] M. Asin, *The behavior of reinforced concrete continuous deep beams*, Delft University Press, 2001.

[2] A. R. Mohamed, M. S. Shoukry, J. M. Saeed, Prediction of the behavior of reinforced concrete deep beams with web openings using the finite element method, *Alexandria Engineering Journal*, Alexandria University, 2014.

[3] ACI Committee 318, *Building code requirements for reinforced concrete (ACI 318-19)*, American Concrete Institute, 2019.

[4] Bureau of Indian Standards, *IS 456: Plain and Reinforced Concrete - Code of Practice*, New Delhi, 2000.

[5] K. H. Yang, A. F. Ashour, A. Ashraf, Structural behaviour of reinforced concrete continuous deep beams with web openings, Magazine of Concrete Research, 59(10), 699-711, 2007.

[6] TCVN 5574:2018, *Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép – Tiêu chuẩn thiết kế*, Bộ Xây dựng, Hà Nội, 2018.

[7] European Committee for Standardization, *Eurocode 2: Design of Concrete Structures - Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings*, EN 1992-1-1, 2005.

[8] G. Campione, G. Minafò, Behaviour of concrete deep beams with openings and low shear span-to-depth ratio, *Engineering Structures*, 41, 294-306, 2012.

[9] A. Ashour, G. Rishi, Tests of reinforced concrete continuous deep beams with web openings, *ACI Structural Journal*, 97(3), 418-426, 2000.

[10] M. A. Mansur, K. H. Tan, *Concrete beams with openings: Analysis and design*, National University of Singapore, 1999.

[11] M. A. Mansur, Effect of openings on the behavior and strength of reinforced concrete beams in shear, *Cement and Concrete Composites*, 20(6), 477-486, 1998.

■Ngày nhận bài: 12/01/2026 ■Ngày sửa bài: 22/01/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 05/02/2026

# Hiệu chỉnh công thức xác định khả năng kháng cắt của tấm FRP cho dầm bê tông ứng suất trước

## Calibration of the Formula for determining the shear resistance contribution of frp sheets in prestressed concrete beams

**> TS TRẦN VĂN PHÚC**
Trường Đại học Kiến trúc TP.HCM
Email: phuc.tranvan@uah.edu.vn

**TÓM TẮT**

Cho đến hiện nay, số lượng các nghiên cứu về khả năng kháng cắt của tấm FRP trong dầm bê tông ứng suất trước (BTƯST) vẫn còn rất hạn chế. Bài báo đề xuất hiệu chỉnh công thức xác định biến dạng hữu hiệu của tấm gia cường kháng cắt FRP phục vụ cho việc dự đoán khả năng kháng cắt của tấm FRP cho dầm BTƯST. Công thức hiệu chỉnh được đề xuất dựa trên công thức đã có trên dầm bê tông cốt thép (BTCT) truyền thống có xét đến ảnh hưởng của độ cứng dọc trục của cốt đai và tấm FRP đến bề rộng làm việc hiệu quả của tấm FRP kháng cắt nhằm giúp xác định khả năng kháng cắt của tấm FRP cho dầm BTƯST được chính xác hơn. Công thức hiệu chỉnh được kiểm chứng dựa trên kết quả thực nghiệm của các nghiên cứu liên quan đến dầm BTƯST gia cường tấm FRP đã có. Kết quả kiểm chứng cho thấy công thức đề xuất cho kết quả gần với thực nghiệm và có tính ổn định, có thể dùng để dự đoán tốt khả năng kháng cắt của tấm FRP cho trường hợp dầm BTƯST.

**Từ khóa:** Công thức hiệu chỉnh; biến dạng hiệu quả; tấm FRP; khả năng kháng cắt; dầm bê tông ứng suất trước.

**ABSTRACT**

To date, the number of studies on the shear resistance of FRP strengthening sheet in prestressed concrete beams (PCBs) remains very limited. This paper proposes a modified formula for determining the effective strain of FRP shear strengthening sheets to predict the shear resistance of FRP strengthening sheets for PCBs. The modified formula is based on existing formulas for traditional reinforced concrete (RC) beams, taking into account the influence of the axial stiffness of the stirrups and FRP sheets on the effective working width of the FRP sheets, in order to more accurately determine the shear resistance of FRP sheets for PCBs. The modified formula is validated based on experimental results from existing studies related to PCBs strengthened with FRP sheets. The validation results show that the proposed formula yields results close to experimental values and is stable, making it suitable for predicting the shear resistance of FRP sheets for PCBs.

**Keywords:** Modified formula; effective strain; FRP sheets; shear resistance; prestressed concrete beam.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Việc đánh giá khả năng kháng cắt của dầm BTCT được gia cường bằng tấm FRP rất phức tạp bởi sự tương tác của các yếu tố như hàm lượng cốt đai, hàm lượng tấm FRP gia cường, sơ đồ gia cường, kích thước tiết diện dầm, cường độ bê tông, và tỷ số nhịp cắt trên chiều cao làm việc của tiết diện dầm như đã được đề cập trong nhiều nghiên cứu trước đây (Khalifa và Nanni, 2000; Deniaud và Cheng, 2002, Bousselham và Chaallal, 2006, Pellegrino và Modena, 2013, Perera và cộng sự, 2010, Chen và cộng sự, 2012, 2013; Dias và Barros, 2013; Nguyen-Minh và Rovnak, 2015; Mostofinejad và cộng sự, 2016; Colotti, 2016, Li và Leung, 2015, 2017; Do-Dai và cộng sự, 2025). Đối với dầm BTƯST, việc đánh giá khả năng kháng cắt của dầm được gia cường bằng tấm FRP lại càng khó khăn hơn nữa do sự rất hạn chế của các nghiên cứu liên quan (Nguyen-Minh và cộng sự, 2017). Sự thiếu hụt về dữ liệu thực nghiệm của các nghiên cứu kháng cắt trên loại dầm BTƯST gia cường tấm FRP khiến cho những hướng dẫn và tiêu chuẩn thiết kế kết cấu gia cường vật liệu FRP hiện tại chưa cung cấp được tường minh các điều khoản cho việc ước tính khả năng kháng cắt của loại dầm này. Trong các hướng dẫn và tiêu chuẩn thiết kế hiện nay, các điều khoản tính toán khả năng kháng cắt của tấm FRP gia cường được xây dựng chủ yếu dựa trên kết quả nghiên cứu của dầm BTCT. So với dầm BTCT, cáp trong dầm BTƯST giúp giảm ứng suất kéo xiên trong nhịp cắt, tăng khả năng kháng vết nứt xiên và làm chậm sự phát triển của nó (Naaman and Chao, 2022); nhờ đó, cáp có thể làm thay đổi kiểu phá hoại, ảnh hưởng đến khả năng làm việc của tấm FRP gia cường và khả năng

kháng cắt của dầm so với trường hợp dầm BTCT. Việc sử dụng các điều kiện tính toán gia cường kháng cắt của tấm FRP trên cấu kiện BTCT cho cấu kiện BTƯST mà không có sự điều chỉnh hợp lý có thể tiềm ẩn những rủi ro do sự khác biệt về mặt ứng xử giữa hai loại dầm này. Vì vậy, các nghiên cứu liên quan đến việc đề xuất các điều khoản tính toán kháng cắt mới hoặc hiệu chỉnh cho cấu kiện BTƯST được gia cường tấm FRP là thật sự cần thiết.

Bài báo này trình bày một nghiên cứu về việc xác định khả năng kháng cắt của tấm FRP cho trường hợp của dầm BTƯST. Dựa trên công thức tính khả năng kháng cắt của tấm FRP của Modifi và cộng sự (2011), công thức hiệu chỉnh có xét đến ảnh hưởng của độ cứng dọc trục của cốt đai và tấm FRP đến bề rộng làm việc hiệu quả của tấm FRP kháng cắt để phục vụ cho việc xác định khả năng kháng cắt của tấm FRP cho dầm BTƯST.

## 2. CÔNG THỨC TÍNH KHẢ NĂNG KHÁNG CẮT CỦA TẤM FRP CỦA MỘT SỐ TÁC GIẢ ĐIỂN HÌNH

### 2.1. Công thức của Cheng và Teng (2003)

Công thức của Cheng và Teng (2003) được sử dụng rộng rãi để đánh giá khả năng kháng cắt của tấm FRP ($V_f$). Công thức này đánh giá khả năng kháng cắt của tấm FRP theo hai dạng phá hoại tấm FRP và bong tách tấm FRP khỏi bê tông:

$$V_f = 2 f_{frp,e} t_{frp} w_{frp} \frac{h_{frp,e}\left(\cot\theta + \cot\beta\right)\sin\beta}{s_{frp}} \quad (2.1)$$

$$f_{frp,e} = D_{frp}.\sigma_{frp,\max} \quad (2.2)$$

Phá hoại bong tách tấm FRP:

$$\sigma_{frp,\max} = \min\left\{ \begin{array}{c} f_{frp} \\ 0.315\beta_w.\beta_L.\sqrt{\dfrac{E_{frp}.\sqrt{f_c^{'}}}{t_{frp}}} \end{array} \right\} \quad (2.3)$$

Phá hoại kéo đứt tấm FRP:

$$\sigma_{frp,\max} = \min\left\{ \begin{array}{ll} 0.8 f_{frp} & khi\ \dfrac{f_{frp}}{E_{frp}} \le \varepsilon_{\max} \\ 0.8\varepsilon_{\max} E_{frp} & khi\ \dfrac{f_{frp}}{E_{frp}} > \varepsilon_{\max} \end{array} \right\} \quad (2.4)$$

$$L_{\max} = \left\{ \begin{array}{ll} \dfrac{h_{frp}}{\sin\beta} & dán\ \ dang\ \ U \\ \dfrac{h_{frp}}{2\sin\beta} & dán\ \ bên \end{array} \right\} \quad (2.5)$$

$$h_{frp,e} = z_b - z_t \quad (2.6)$$

$$z_t = d_{frp,t} \quad (2.7)$$

$$z_b = 0.9d - (h - d_{frp}) \quad (2.8)$$

$$\beta_L = \left\{ \begin{array}{ll} 1 & khi\ \ \lambda \ge 1 \\ \sin\dfrac{\pi\lambda}{2} & khi\ \ \lambda < 1 \end{array} \right\} \quad (2.9)$$

$$L_e = \sqrt{\frac{E_{frp}.t_{frp}}{\sqrt{f_c^{'}}}} \quad (2.10)$$

$$\beta_w = \sqrt{\frac{2 - w_f / \left(s_f.\sin\beta\right)}{1 + w_f / \left(s_f.\sin\beta\right)}} \quad (2.11)$$

Trong đó: $f_{frp,e}$ là ứng suất hữu hiệu trong tấm FRP ứng với thời điểm hình thành vết nứt cắt tới hạn tại trạng thái giới hạn; $f_{frp}$ là cường độ chịu kéo đứt của tấm FRP; $\beta$ là góc giữa phương chính định hướng sợi tấm FRP và trục cấu kiện; $\theta$ là góc giữa vết nứt nghiêng và trục cấu kiện; $\sigma_{frp,max}$ là ứng suất lớn nhất trong tấm FRP và $D_{frp}$ là hệ số đóng góp ứng suất; $h_{frp,e}$ là chiều cao hữu hiệu của tấm FRP; $z_b$ và $z_t$ là tọa độ định vị tại đỉnh và đáy của tấm FRP; $d_{frp,t}$ là khoảng cách từ mặt chịu nén của bê tông đến cạnh đỉnh của tấm FRP; $h$ là chiều cao của dầm; và $d_{frp}$ là khoảng cách từ mặt chịu nén của bê tông đến cạnh thấp hơn của tấm FRP ($d_{frp} = h$ cho dán dạng U). Cheng và Teng (2003) đề nghị giá trị $\varepsilon_{max}$ = 1.5% nếu các khuyến nghị cụ thể không có sẵn.

### 2.2. Công thức của Carolin và Taljsten (2005)

Công thức của Carolin và Taljsten (2005) xác định khả năng kháng cắt của tấm FRP ($V_f$) như sau:

$$V_f = \eta.\varepsilon_f.E_f.t_f.z\left(\frac{\cos\theta}{\sin\alpha}\right).\sin\beta \quad (2.12)$$

Trong đó: $\eta$ là hệ số giảm khả năng kháng cắt ($\eta = 0.6$); $\varepsilon_f$ là biến dạng cực hạn của tấm FRP; $E_f$ là mô đun đàn hồi của tấm FRP; $t_f$ là chiều dày của tấm FRP; và $z$ là chiều dài của thanh chống trong giàn, cho cốt thép đai thường bằng cánh tay đòn hoặc 0.9$d$. Giá trị $\alpha$, $\beta$ và $\theta$ lần lượt là góc nghiêng của vết nứt, phương chính của sợi FRP so với trục dầm, góc chênh giữa chúng.

### 2.3. Công thức của Pellegrino và Modena (2008)

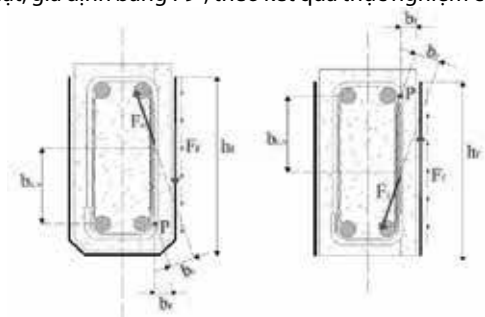
Khả năng kháng cắt của tấm FRP ($V_f$) được xác định theo Pellegrino và Modena (2008) như sau:

$$V_f = \frac{2.n_f.t_f.w_f.\varepsilon_{fe}.E_f.h_f}{s_f} \quad (2.13)$$

Trong đó: $n_f$ là số lớp FRP; $t_f$ là chiều dày của tấm FRP (một lớp); $w_f$ là bề rộng của tấm FRP; $E_f$ là mô đun đàn hồi của tấm FRP; $h_f$ là khoảng cách theo phương đứng từ đỉnh cạnh FRP đến mặt dưới của tiết diện bê tông; $s_f$ là khoảng cách của dải FRP và $\varepsilon_{fe}$ là biến dạng hữu hiệu:

$$\varepsilon_{fe} = \frac{2.f_{ct}.A_c.\cos^2\phi.b_{c,v}}{n_f.t_f.L_f.E_f.\dfrac{h_f - l_e}{h_f}.b_f} \quad (2.14)$$

Trong đó: $f_{ct}$ là cường độ chịu kéo của bê tông; $A_c$ là diện tích của tiết diện dầm; $L_f$ là chiều dài hình chiếu đứng của mặt phá hoại; $L_e$ là chiều dài bám dính hữu hiệu; ý nghĩa của ký hiệu $b_{c,v}$ và $b_f$ được thể hiện trong Hình 1; và $\phi$ là góc đặc trưng cho độ nhám thông thường của bề mặt, giả định bằng 79°, theo kết quả thực nghiệm của tác giả.



(a) (b)

Hình 1: Lực tác dụng trên tiết diện gia cường tấm FRP theo Pellegrino và Modena (2008): (a) dán dạng U; và (b) dán mặt bên.

### 2.4. Công thức của Bukhari và cộng sự (2010)

Bukhari và cộng sự (2010) xác định sức kháng cắt của tấm FRP như sau:

$$V_{Rd,FRP} = C z_f b_w E_f \left(\cot\theta + \cot\beta\right)\sin\beta \quad (2.15)$$

$$C = \min\left[\rho_f.\varepsilon_{fe,1}; \rho_f^{*}.\varepsilon_{fe,2}\right] \quad (2.16)$$

Dán dạng mặt bên:

$$\varepsilon_{fe,1} = 0.7\left\{40.25\left(\rho_f.E_f / f_c^{2/3}\right)^{-0.7}\right\}.10^{-3} \le 0.1\varepsilon_{fu} \le 0.004 \quad (2.17)$$

Dán dạng U:

$$\varepsilon_{fe,1} = 0.8\left\{29.14\left(\rho_f.E_f / f_c^{2/3}\right)^{-0.48}\right\}.10^{-3} \le 0.1\varepsilon_{fu} \le 0.004 \quad (1.18)$$

$$\varepsilon_{fe,2} = \min\left\{\frac{\varepsilon_{fu}}{2}; 0.64\sqrt{\frac{f_{ct}}{E_{fd}.t_f}}; 0.004\right\} \quad (2.19)$$

$$\rho_f^* = \rho_f.\left(d_f - n.l_{\max}/3\right)/z_f \quad (2.20)$$

$$l_{\max} = 0.7\sqrt{\frac{E_f.t_f}{f_{ctm}}} \quad (2.21)$$

Trong đó: $\rho_f$ là hàm lượng tấm FRP; $n = 0$ cho tiết diện dán toàn bộ, $n = 1.0$ cho tiết diện dán dạng U, và $n = 2.0$ cho tiết diện dán dạng mặt bên; $z_f = 0.9d_f$ và $l_{max}$ là chiều dài neo cần thiết để phát triển khả năng neo tối đa.

**2.5. Công thức của Modifi và Chaallal (2011)**

Theo Modifi và Chaallal (2011), đóng góp của tấm FRP vào khả năng kháng cắt của cấu kiện được tính như sau:

$$V_f = \rho_v.E_f.\varepsilon_{fe}.b.d_f.\left(\cot\theta + \cot\alpha\right).\sin\alpha \quad (2.22)$$

Và $\lambda = \dfrac{L_{\max}}{L_e}$ (2.23)

$$L_e = \sqrt{\frac{E_f.t_f}{2.f_{ct}}} \quad (2.24)$$

$$\beta_w = \sqrt{\frac{2 - w_f/s_f}{1 + w_f/s_f}} \quad (2.25)$$

Trong đó: $\rho_v$ là hàm lượng tấm FRP; $E_f$ là mô đun đàn hồi của tấm FRP; $d_f$ là chiều cao hữu hiệu; $\alpha$ là góc giữa phương chính định hướng sợi tấm FRP và trục cấu kiện; $\theta$ là góc giữa vết nứt nghiêng và trục cấu kiện; trong trường hợp tấm FRP được dán liên tục, bề rộng tấm ($w_f$) và khoảng cách giữa các tấm ($s_f$) có thể giả định bằng 1.0; $\varepsilon_{fe}$ là biến dạng hữu hiệu; $f_c'$ là cường độ chịu nén của bê tông; $\beta_c$ là hệ số hiệu chỉnh vết nứt; $\beta_L$ là hệ số giảm (tỷ lệ chiều dài neo hiệu quả) đại diện cho ảnh hưởng của các tấm FRP có chiều dài neo ngắn hơn $L_e$, $\beta_L$ - 1 cho $\lambda \ge 1$ hoặc $\beta_L = (2 - \lambda)\lambda$ cho $\lambda < 1$; $L_{max}$ là chiều dài bám dính lớn nhất, được tính bằng công thức $d_f/\sin\alpha$ cho dán dạng U hoặc $2d_f/\sin\alpha$ cho dán mặt bên; $L_e$ là chiều dài bám dính hữu hiệu.

**2.6. Một vài nhận xét về các công thức hiện có**

Có thể thấy rằng, công thức của các tác giả nêu trên đều được xây dựng dựa trên dữ liệu của dầm BTCT gia cường; do đó, ảnh hưởng của ứng suất trước lên sự lan truyền của vết nứt và giảm biến dạng kéo trong tấm FRP đã chưa được tính đến. Bên cạnh đó, ứng suất nén trước trong bê tông làm tăng thành phần ứng suất nén chính trong phân tố ứng suất. Thực tế này làm cho quá trình hình thành vết nứt nghiêng trong bê tông của cấu kiện BTƯST xảy ra nhanh hơn so với cấu kiện BTCT, dẫn đến quá trình bong tách tấm FRP cũng xảy ra nhanh hơn và do đó biến dạng hữu hiệu tấm FRP cũng giảm đáng kể. Vì vậy, khi tính toán khả năng kháng cắt của tấm FRP trong dầm BTƯST cần xem xét yếu tố ứng suất trước ảnh hưởng đến biến dạng hữu hiệu của tấm FRP. Thêm nữa, khả năng kháng cắt của tấm FRP gia cường không chỉ được quyết định bởi chính nó mà còn chịu ảnh hưởng bởi tổ hợp của các cơ chế kháng cắt và của sự tương tác giữa cốt đai và tấm FRP gia cường; nói cách khác là sự tổng hòa độ cứng dọc trục của cốt đai và tấm FRP gia cường. Việc xem xét ảnh hưởng của vấn đề này đến biến dạng hữu hiệu của tấm FRP là thật sự cần thiết.

**3. ĐỀ XUẤT CÔNG THỨC HIỆU CHỈNH VÀ KIỂM CHỨNG**

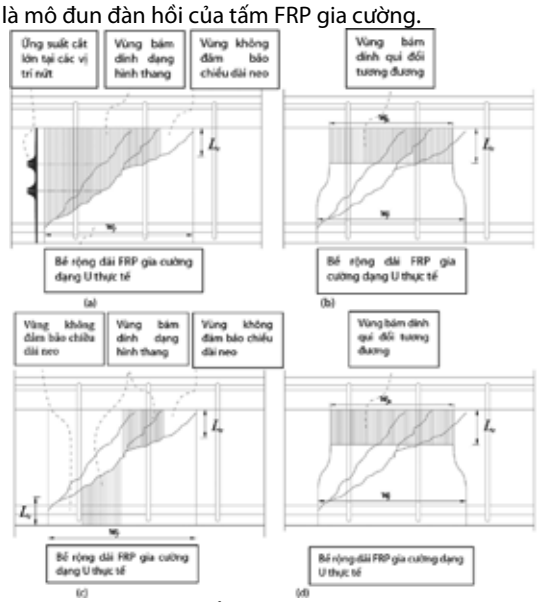
**3.1. Đề xuất hiệu chỉnh**

Hình 2a thể hiện hình thức gia cường điển hình của một dầm chịu cắt với tấm FRP dạng U. Kết quả thực nghiệm cho thấy rằng vùng bám dính hiệu quả của tấm FRP với bê tông có dạng hình thang, như thể hiện bằng vùng tô đậm trên Hình 2a với kiểu gia cường U và Hình 2c với kiểu gia cường bó hoàn toàn. Vùng bám dính này có thể mô phỏng gần đúng bằng vùng bám dính tương đương hình chữ nhật với chiều dài hữu hiệu ($L_e$) và bề rộng hiệu quả ($w_{fe}$) (Hình 2b và 2d).

Chiều dài bám dính hiệu quả, $L_e$ (mm), có thể được tính toán theo ACI 440 (2017):

$$L_e = \frac{23{,}300}{\left(nt_f E_f\right)^{0.58}} \quad (3.1)$$

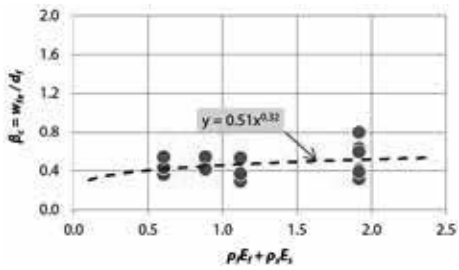
với $f_{ct}$ (MPa) là cường độ chịu kéo của bê tông; $n$ là số lớp tấm FRP gia cường; $t_f$ (mm) là chiều dày của một lớp FRP gia cường; và $E_f$ (MPa) là mô đun đàn hồi của tấm FRP gia cường.



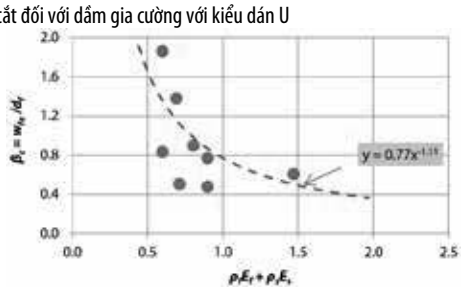

*(a) vùng bám dính thật sự của kiểu dán U; (b) vùng bám dính tương đương của kiểu dán U; (c) vùng bám dính thật sự của kiểu dán bọc hoàn toàn; và (d) vùng bám dính tương đương của kiểu dán hoàn toàn.*

Hình 2: Vùng làm việc hữu hiệu của tấm FRP gia cường kháng cắt dạng liên tục theo Modifi và Chaallal (2011):

Bề rộng bám dính hiệu quả, $w_{fe}$, của tấm FRP gia cường phụ thuộc vào hình thái vết nứt và thay đổi theo hàm lượng thép đai của dầm và hàm lượng tấm FRP gia cường. Ngoài ra, hình thái của vết nứt ảnh hưởng đến chiều dài neo của tấm gia cường FRP. Khi các vết nứt trở nên phân tán hơn, bề rộng bám dính hiệu quả cần đủ lớn để đảm bảo chiều dài neo hiệu quả. Trong phân tích này, bề rộng bám dính hiệu quả, $w_{fe}$, được đề xuất tính toán dựa trên mô hình thanh chống - giằng với giả thiết góc nứt xiên ($\theta$) bằng 45° kết hợp với điều kiện cân bằng (lực trong tấm FRP bằng với lực bám dính lớn nhất giữa tấm FRP và bề mặt bê tông). Bousselham và Chaalal (2004) chỉ ra rằng bề rộng bám dính hiệu quả phụ thuộc vào tổng độ cứng dọc trục của cốt đai và tấm FRP kháng cắt ($\rho_f E_f + \rho_s E_s$). Dựa trên kết quả này, bề rộng bám dính hiệu quả, $w_{fe}$, được hiệu chỉnh bằng hệ số kể đến ảnh hưởng của vết nứt $\beta_c = w_{fe} / d_f$ được xác định dựa trên phương pháp hồi quy từ kết quả thực nghiệm trên các dầm bê tông ứng suất trước từ nghiên cứu của Kang và Ary (2012), Murphy và cộng sự (2012), Nguyen và cộng sự (2015, 2016) và Nguyen-Minh và cộng sự (2017). Kết quả hồi quy được thể hiện trên Hình 3 và 4.




Hình 3: Quan hệ giữa tham số $\beta_c = w_{fe}/d_f$ theo tổng độ cứng dọc trục của cốt đai và tấm FRP kháng cắt đối với dầm gia cường với kiểu dán U




Hình 4: Quan hệ giữa tham số $\beta_c = w_{fe}/d_f$ theo tổng độ cứng dọc trục của cốt đai và tấm FRP kháng cắt đối với dầm gia cường với kiểu dán bọc toàn bộ

Từ kết quả hồi quy, hệ số hiệu chỉnh bề rộng bám dính hiệu quả kể đến ảnh hưởng của vết nứt $\beta_c$ có thể được xác định như sau:

$$\beta_c = 0.51\left(\rho_f E_f + \rho_{sw} E_s\right)^{0.32} \text{ đối với dạng dán U} \quad (3.2)$$

$$\beta_c = 0.77\left(\rho_f E_f + \rho_s E_s\right)^{-1.11} \text{ đối với dạng dán hoàn toàn} \quad (3.3)$$

Biến dạng hữu hiệu của tấm FRP gia cường kháng cắt có thể được xác định từ điều kiện cân bằng giữa lực kéo và lực bám dính của tấm FRP theo Modifi và Chaallal (2011) có xét đến ảnh hưởng của vết nứt $\beta_c$ đến bề rộng bám dính hiệu quả như sau:

$$\varepsilon_{fe} = 0.31\beta_c\beta_L\beta_w\sqrt{\frac{\sqrt{f_c'}}{t_f E_f}} \le \varepsilon_{fu} \quad (3.4)$$

Trong đó, hệ số chiết giảm chiều dài neo $\beta_L$ và hệ số phân bố biến dạng trên bề rộng biến dạng tấm $\beta_w$ có thể được xác định theo Modifi và Chaallal (2011):

$$\beta_L = \begin{Bmatrix} 1 & if \quad \lambda \ge 1 \\ (2-\lambda)\lambda & if \quad \lambda < 1 \end{Bmatrix}; \ \lambda = \frac{L_{max}}{L_e} \quad (3.5)$$

$$\beta_w = \sqrt{\frac{2 - w_f/s_f}{1 + w_f/s_f}} \quad (3.6)$$

Khả năng kháng cắt của tấm gia cường FRP, $V_f$, có thể được tính toán theo *fib* (2001):

$$V_{f,theory} = \rho_f E_f \varepsilon_{fe} b d_f \left(\cot\theta + \cot\alpha\right)\sin\alpha \quad (3.7)$$

với $\theta$ và $\alpha$ lần lượt là góc của vết nứt cắt gây phá hoại và của cốt đai.

Trong trường hợp tấm FRP liên tục, bề rộng FRP, $w_f$, và khoảng cách, $s_f$, được giả thiết bằng 1.0. Đối với hình thức gia cường tấm FRP không liên tục (theo dải FRP), bề rộng của tấm FRP có thể được tính toán như tổng chiều rộng của dải FRP trong vùng bề rộng hữu hiệu. Do sự giới hạn của dữ liệu dùng trong hồi quy, nên công thức hiệu chỉnh được đề xuất chỉ nên dùng cho dầm bê tông ứng suất trước gia cường kháng cắt bằng tấm FRP theo kiểu dán trong nhịp cắt (gia cường không toàn dầm).

**3.2. Kiểm chứng**

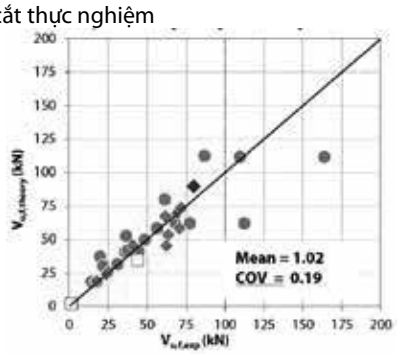
Công thức hiệu chỉnh được kiểm chứng dựa trên kết quả thực nghiệm của 33 dầm, gồm 02 dầm BTƯST tiết diện chữ I [dầm IB5 và IB10 của Kang và Ary (2012)], 02 dầm BTƯST tiết diện chữ I (dầm T3-12-S90-NA và T3-12-S90-NA-PC# của Murphy et al. (2012)], 10 dầm BTƯST tiết diện chữ nhật của Nguyen và cộng sự (2016) và 19 dầm BTƯST tiết diện chữ T của Nguyen-Minh và cộng sự (2017). Trong đó, 12 dầm BTƯST được gia cường tấm FRP dạng bọc hoàn toàn và 21 dầm BTƯST được gia cường tấm FRP dạng U. Kết quả kiểm chứng được tổng hợp trong Bảng 1. Kết quả kiểm chứng cho thấy công thức hiệu chỉnh đã dự đoán khả năng kháng cắt của tấm FRP rất gần với thực nghiệm với độ ổn định chấp nhận được, thể hiện qua giá trị trung bình (Mean) và hệ số biến thiên (COV) của tỉ số khả năng kháng cắt dự đoán trên thực nghiệm ($V_{u,f,theory}$ / $V_{u,f,exp}$) lần lượt là 1.02 và 0.19 (Bảng 1). Kết quả kiểm chứng còn được thể hiện qua Hình 5.

Bảng 1. Kết quả kiểm chứng công thức hiệu chỉnh

| Tác giả | Tên dầm | $b_w$ | a | $d_s$ | $d_p$ | $d_e$ | $a/d_e$ | L | $f'_c$ | $\rho_s$ | $\rho_{sw}$ | $\rho_p$ | $f_{pc}$ | $\rho_f$ | $V_{u,f,theory}$ | $V_{f,theory}/V_{f,exp}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | mm | mm | mm | mm | mm | | mm | MPa | % | % | % | MPa | % | kN | |
| Kang và Ary (2012) | Dầm đối chứng | 102 | 1143 | 425 | 457 | 435 | 2.63 | 4572 | 61 | 2.15 | 0.2 | 0.27 | 3.42 | - | | |
| | IB5 | 102 | 1143 | 425 | 457 | 435 | 2.63 | 4572 | 61 | 2.15 | 0.2 | 0.27 | 3.32 | 1.47 | 34.00 | 0,76 |
| | IB10 | 102 | 1143 | 425 | 457 | 435 | 2.63 | 4572 | 61 | 2.15 | 0.2 | 0.27 | 3.32 | 0.74 | 1.21 | 0,68 |
| Murphy và cộng sự (2012) | T3-12 | 152 | 3683 | 1130 | 978 | 1083 | 3.40 | 9748 | 61.3 | 3.53 | 0.31 | 0.68 | 9.56 | - | | |
| | T3-12-S90-NA | 152 | 3683 | 1130 | 914 | 1076 | 3.40 | 9748 | 61.4 | 3.53 | 0.31 | 0.68 | 9.56 | 0.29 | 90.00 | 1.12 |
| | T3-12-S90-NA-PC# | 152 | 3683 | 1130 | 914 | 1076 | 3.40 | 9748 | 61.5 | 3.53 | 0.31 | 0.68 | 9.56 | 0.29 | | |
| Nguyễn Thị Thu Dung và cộng sự (2016) | B0 | 150 | 730 | 258 | 200 | 238 | 3 | 1660 | 50 | 1.69 | 0.23 | 0.44 | 3.44 | - | | |
| | B1 | 150 | 730 | 258 | 200 | 238 | 3 | 1660 | 50 | 1.69 | 0.23 | 0.44 | 3.97 | - | | |
| | B0-1.1SF | 150 | 730 | 258 | 200 | 238 | 3 | 1660 | 50 | 1.69 | 0.23 | 0.44 | 3.32 | 0.11 | 19.30 | 1.11 |
| | B0-1.9SF | 150 | 730 | 258 | 200 | 238 | 3 | 1660 | 50 | 1.69 | 0.23 | 0.44 | 3.60 | 0.19 | 25.65 | 1.01 |
| | B0-0.6SF | 150 | 730 | 258 | 200 | 238 | 3 | 1660 | 50 | 1.69 | 0.23 | 0.44 | 3.55 | 0.06 | 24.15 | 1.00 |
| | B0-1.0CF | 150 | 730 | 258 | 200 | 238 | 3 | 1660 | 50 | 1.69 | 0.23 | 0.44 | 3.58 | 0.10 | 53.28 | 0.84 |
| | B0-1.5CF | 150 | 730 | 258 | 200 | 238 | 3 | 1660 | 50 | 1.69 | 0.23 | 0.44 | 3.47 | 0.15 | 67.35 | 1.09 |
| | B0-4.4CF | 150 | 730 | 258 | 200 | 238 | 3 | 1660 | 50 | 1.69 | 0.23 | 0.44 | 3.44 | 0.44 | 58.37 | 0.83 |
| | B1-0.6SF | 150 | 730 | 258 | 200 | 238 | 3 | 1660 | 50 | 1.69 | 0.23 | 0.44 | 4.41 | 0.06 | 69.50 | 1.01 |
| | B1-1.9CF | 150 | 730 | 258 | 200 | 238 | 3 | 1660 | 50 | 1.69 | 0.23 | 0.44 | 4.37 | 0.19 | 46.18 | 1.13 |
| | B1-0.6SFw | 150 | 730 | 258 | 200 | 238 | 3 | 1660 | 50 | 1.69 | 0.23 | 0.44 | 4.10 | 0.06 | 45.63 | 0.73 |
| | B1-0.9SFb | 150 | 730 | 258 | 200 | 238 | 3 | 1660 | 50 | 1.69 | 0.23 | 0.44 | 3.82 | 0.09 | 73.49 | 1.02 |
| Nguyễn Minh Long và | P-A0-2.3 | 120 | 950 | 455 | 363 | 406.6 | 2.34 | 3200 | 30.6 | 1.32 | 0.16 | 0.38 | 4.41 | | | |
| | P-B0-2.3 | 120 | 950 | 455 | 363 | 406.6 | 2.34 | 3200 | 44.4 | 1.32 | 0.16 | 0.38 | 4.41 | | | |
| | P-C0-2.3 | 120 | 950 | 455 | 363 | 406.6 | 2.34 | 3200 | 58.7 | 1.32 | 0.16 | 0.38 | 4.41 | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| cộng sự (2017) | P-A1-2.3-C | 120 | 950 | 455 | 363 | 406.6 | 2.34 | 3200 | 30.6 | 1.32 | 0.16 | 0.38 | 4.41 | 0.83 | 36.51 | 1.40 |
| | P-A1-2.3-G | 120 | 950 | 455 | 363 | 406.6 | 2.34 | 3200 | 30.6 | 1.32 | 0.16 | 0.38 | 4.41 | 1.08 | 17.83 | 1.19 |
| | P-A1-2.3G-Cont. | 120 | 950 | 455 | 363 | 406.6 | 1.97 | 3200 | 30.6 | 1.32 | 0.16 | 0.38 | 4.41 | 2.17 | 40.33 | 1.10 |
| | P-A1-2.3C-Cont. | 120 | 950 | 455 | 363 | 406.6 | 1.60 | 3200 | 30.6 | 1.32 | 0.16 | 0.38 | 4.41 | 1.67 | 49.02 | 1.00 |
| | P-A2-2.3-C | 120 | 950 | 455 | 363 | 406.6 | 2.34 | 3200 | 30.6 | 1.32 | 0.16 | 0.38 | 4.41 | 1.67 | 30.68 | 0.97 |
| | P-A2-1.9-C | 120 | 800 | 455 | 363 | 406.6 | 1.97 | 3200 | 30.6 | 1.32 | 0.16 | 0.38 | 4.41 | 1.67 | 61.35 | 0.79 |
| | P-A2-1.5-C | 120 | 650 | 455 | 363 | 406.6 | 1.60 | 3200 | 30.6 | 1.32 | 0.16 | 0.38 | 4.41 | 1.67 | 61.35 | 0.55 |
| | P-B1-2.3-C | 120 | 950 | 455 | 363 | 406.6 | 2.34 | 3200 | 44.4 | 1.32 | 0.16 | 0.38 | 4.41 | 0.83 | 25.53 | 1.00 |
| | P-B1-2.3-G | 120 | 950 | 455 | 363 | 406.6 | 2.34 | 3200 | 44.4 | 1.32 | 0.16 | 0.38 | 4.41 | 1.08 | 17.83 | 0.99 |
| | P-B1-2.3G-Cont. | 120 | 950 | 455 | 363 | 406.6 | 2.34 | 3200 | 44.4 | 1.32 | 0.16 | 0.38 | 4.41 | 2.17 | 40.33 | 0.90 |
| | P-B1-2.3C-Cont. | 120 | 950 | 455 | 363 | 406.6 | 2.34 | 3200 | 44.4 | 1.32 | 0.16 | 0.38 | 4.41 | 1.67 | 57.84 | 1.01 |
| | P-B2-2.3-C | 120 | 950 | 455 | 363 | 406.6 | 2.34 | 3200 | 44.4 | 1.32 | 0.16 | 0.38 | 4.41 | 1.67 | 40.90 | 1.08 |
| | P-C1-2.3-C | 120 | 950 | 455 | 363 | 406.6 | 2.34 | 3200 | 58.7 | 1.32 | 0.16 | 0.38 | 4.41 | 0.83 | 52.30 | 1.41 |
| | P-C1-2.3-G | 120 | 950 | 455 | 363 | 406.6 | 2.34 | 3200 | 58.7 | 1.32 | 0.16 | 0.38 | 4.41 | 1.08 | 29.55 | 1.31 |
| | P-C1-2.3G-Cont. | 120 | 950 | 455 | 363 | 406.6 | 2.34 | 3200 | 58.7 | 1.32 | 0.16 | 0.38 | 4.41 | 2.17 | 60.87 | 0.89 |
| | P-C1-2.3C-Cont. | 120 | 950 | 455 | 363 | 406.6 | 2.34 | 3200 | 58.7 | 1.32 | 0.16 | 0.38 | 4.41 | 1.67 | 111.84 | 1.28 |
| | P-C2-2.3-C | 120 | 950 | 455 | 363 | 406.6 | 2.34 | 3200 | 58.7 | 1.32 | 0.16 | 0.38 | 4.41 | 1.67 | 79.08 | 1.29 |
| | P-C2-1.9-C | 120 | 800 | 455 | 363 | 406.6 | 1.97 | 3200 | 58.7 | 1.32 | 0.16 | 0.38 | 4.41 | 1.67 | 111.38 | 1.01 |
| | P-C2-1.5-C | 120 | 650 | 455 | 363 | 406.6 | 1.60 | 3200 | 58.7 | 1.32 | 0.16 | 0.38 | 4.41 | 1.67 | 111.38 | 1.10 |
| | | | | | | | | | | | | | | | **Mean** | **1.02** |
| | | | | | | | | | | | | | | | **CoV** | **0.19** |

Trong đó: $V_{u,f,theory}$ là khả năng kháng cắt dự đoán; $V_{u,f,exp}$ là khả năng kháng cắt thực nghiệm




Hình 5. Kết quả khả năng kháng cắt của tấm FRP theo công thức hiệu chỉnh và theo thực nghiệm

## 4. KẾT LUẬN

Bài báo hiệu chỉnh công thức tính toán khả năng kháng cắt của tấm FRP cho dầm BTƯST thông qua điều chỉnh công thức tính biến dạng hữu hiệu của tấm gia cường kháng cắt FRP. Công thức được hiệu chỉnh dựa trên công thức đã có trên dầm bê tông cốt thép (BTCT) truyền thống có xét đến ảnh hưởng của độ cứng dọc trục của cốt đai và tấm FRP đến bề rộng làm việc hiệu quả của tấm FRP kháng cắt. Công thức hiệu chỉnh được kiểm chứng dựa trên kết quả thực nghiệm của 33 dầm BTƯST gia cường tấm FRP từ các nghiên cứu liên quan. Kết quả kiểm chứng cho thấy công thức đề xuất cho kết quả gần với thực nghiệm và có tính ổn định, có thể dùng để dự đoán tốt khả năng kháng cắt của tấm FRP cho trường hợp dầm BTƯST.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO


[1] ACI Committee 440.. "Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems (ACI 440.2R-17)", *Farmington Hills, MI: American Concrete Institute (ACI)*. 2017

[2] Bousselham A, Chaallal O. "Effect of transverse steel and shear span on the performance of RC beams strengthened in shear with CFRP". *Compos B*, 37(1):37-46, 2006.

[3] Bukhari, I. & Vollum, Robert & Ahmad, Saeed & Sagaseta, Juan. "Shear strengthening of reinforced concrete beams with CFRP". *Magazine of Concrete Research - MAG CONCR RES*. 62. 65-77, 2010, 10.1680/macr.2008.62.1.65.

[4] Carolin, A., and Taljsten, B. "Experimental study of strengthening for increased shear bearing capacity." *Journal of Composites for Construction*, 9(6), pp. 488-496. 2005.

[5] Colotti V. "Effectiveness factors for bond strength in FRP shear-strengthened RC beams". *Mater Struct*, 49(12):5031-49. 2016.

[6] Chen GM, Teng JG, Chen JF. "Process of debonding in RC beams shear-strengthened with FRP U-strips or side strips". *Int J Solids Struct*, 49(10):1266-82, 2012.

[7] Chen GM, Teng JG, Chen JF. "Shear strength model for FRP-strengthened RC beams with adverse FRP-steel interaction". *J Compos Constr*, 17(1):50–66, 2013.

[8] Deniaud C, Cheng JR. "Shear behavior of reinforced concrete T-beams with externally bonded fiber-reinforced polymer sheets". *ACI Struct J*, 98(3):386-94, 2001.

[9] Dias SJE, Barros JAO. "Shear strengthening of RC beams with NSM CFRP laminates: experimental research and analytical formulation". *Compos Struct*, 99:477-90, 2013.

[10] Do-Dai, Thang, Chu-Van, Tu, Tran-Van, Phuc, Nguyen-Minh, Long, Le-Nguyen, Khuong, Pham, Thong M. "Influence of stirrup corrosion on the shear strength of reinforced Concrete beams strengthened with FRP U-Wraps', *Journal of Composites for Construction*, vol. 29, no. 2, pp. 1-15, 2025.

[11] fib. "Externally Bonded FRP Reinforcement for RC Structures, fib Bulletin No.14", *International Federation for Structural Concrete (fib)*, Lausanne, Switzerland. 2001.

[12] Kang THK, Ary MI. "Shear-strengthening of reinforced & prestressed concrete beams using FRP: Part II-Experimental investigation". *Int J Concr Struct Mater*, 6(1):49-57, 2012.

[13] Khalifa A, Nanni A. "Improving shear capacity of existing RC T-section beams using CFRP composites". *Cement Concr Compos*, 22(3):165-74, 2000.

[14] Li W, Leung CK. "Effect of shear span-depth ratio on mechanical performance of RC beams strengthened in shear with U-wrapping FRP strips". Compos *Struct*. 177:141-57, 2017.

[15] Li W, Leung CK. "Shear span–depth ratio effect on behavior of RC beam shear strengthened with full-wrapping FRP strip". *J Compos Constr*, 20(3):1-14, 2015.

[16] Long Nguyen-Minh, Dien Vo-Le, Duong Tran-Thanh, Thong M. Pham, Chinh Ho-Huu, Marián Rovňák. "Shear capacity of unbonded post-tensioned concrete T-beams strengthened with CFRP and GFRP U-wraps". *Composite Structures*, volume 184, 1011-1029. 2018.

[17] Mofidi, Amir & Chaallal, Omar. "Shear Strengthening of RC Beams with EB FRP: Influencing Factors and Conceptual Debonding Model". *Journal of Composites for Construction*. 10.1061/ASCECC.1943-5614.0000153. 2011.

[18] Mostofinejad D, Hosseini SA, Razavi SB. "Influence of different bonding and wrapping techniques on performance of beams strengthened in shear using CFRP reinforcement". *Constr Build Mater*,116: 310-20, 2016.

[19] Murphy M, Belarbi A, Bae SW. "Behavior of prestressed concrete I-girders strengthened in shear with externally bonded fiber-reinforced-polymer sheets". *PCI J*, 57(3):63-82, 2012.

[20] Naaman, Antoine & Chao, Shih-Ho. "Prestressed Concrete Analysis and Design: Fundamentals, 4th Ediiton". 2022.

[21] Nguyen-Minh L, Rovňák M. "Size effect in uncracked and pre-cracked reinforced concrete beams shear-strengthened with composite jackets". *Compos B*, 78:361-76.

[22] Pellegrino C, Modena C. "An experimentally based analytical model for shear capacity of FRP strengthened reinforced concrete beams". Mech *Compos Mater*, 44(3):231-44, 2008.

[23] Perera R, Arteaga A, Diego DA. "Artificial intelligence techniques for prediction of the capacity of RC beams strengthened in shear with external FRP reinforcement". *Compos Struct*, 92(5):1169-75, 2010.

■Ngày nhận bài: 10/02/2026 ■Ngày sửa bài: 27/02/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 06/3/2026

# Xây dựng và hoàn thiện hệ thống kết cấu hạ tầng giao thông đa phương thức theo tinh thần Đại hội XIV của Đảng

## Building and improving a multimodal transport infrastructure system in alignment with the spirit of the 14th National Party Congress

**> TS ĐỖ VĂN THUẬN[1,*], TS PHẠM HOÀI CHUNG[2]**
[1]Học viện Chiến lược, bồi dưỡng cán bộ xây dựng
[2]Tổng công ty Công nghiệp tàu thủy
[*]Email: thuanqlcb@gmail.com

**TÓM TẮT**

Nghị quyết Đại hội đại biểu toàn quốc lần thứ XIV Đảng Cộng sản Việt Nam đã khẳng định một trong ba đột phá chiến lược phát triển đất nước ở kỷ nguyên mới là xây dựng và hoàn thiện: "kết cấu hạ tầng giao thông đa phương thức" [1]. Đây là bước đi chiến lược để Việt Nam hiện đại hóa hạ tầng, hội nhập quốc tế và phát triển bền vững. Bài báo khái quát tầm quan trọng của kết cấu hạ tầng giao thông đa phương thức, thực trạng hạ tầng giao thông ở nước ta hiện nay, giải pháp hoàn thiện kết cấu hạ tầng giao thông đa phương thức theo tinh thần Đại hội XIV của Đảng trong kỷ nguyên mới.

**Từ khóa:** Kết cấu hạ tầng giao thông đa phương thức; Đại hội XIV của Đảng.

**ABSTRACT**

The Resolution of the 14th National Congress of the Communist Party of Vietnam identifies, as one of the three strategic breakthroughs for national development in the new era, the task of developing and improving a multimodal transport infrastructure system. This represents a strategic step for Vietnam to modernize its infrastructure, integrate internationally and achieve sustainable development. This article provides an overview of the significance of multimodal transport infrastructure, examines the current state of transport infrastructure in Vietnam and proposes policy directions and solutions to improve the multimodal transport infrastructure system in accordance with the orientations of the 14th National Party Congress in the new era.

**Keywords:** Multimodal transport infrastructure; 14th National Congress of the Communist Party.

### 1. TẦM QUAN TRỌNG CỦA KẾT CẤU HẠ TẦNG GIAO THÔNG ĐA PHƯƠNG THỨC

Giao thông đóng vai trò then chốt trong phát triển kinh tế, xã hội và an ninh quốc gia, thậm chí, nó được ví là "mạch máu" của nền kinh tế. Hệ thống giao thông hiệu quả sẽ thúc đẩy thương mại, kết nối vùng miền, thu hút đầu tư và nâng cao chất lượng cuộc sống. Hạ tầng giao thông hiện đại là cơ hội để phát triển du lịch, dịch vụ, tạo việc làm và tăng thu nhập cho người dân. Hạ tầng giao thông phát triển giúp kết nối vùng sâu, vùng xa, hải đảo với trung tâm, góp phần bảo đảm công bằng xã hội và phát triển bền vững. Nhận thức rõ tầm quan trọng này, trong quá trình lãnh đạo cách mạng và phát triển đất nước, Đảng Cộng sản Việt Nam trong các kỳ Đại hội, đặc biệt là Đại hội XIII và XIV coi giao thông là một trong những lĩnh vực hạ tầng trọng yếu, giữ vai trò "đột phá chiến lược" để thúc đẩy phát triển kinh tế - xã hội, bảo đảm quốc phòng - an ninh và nâng cao đời sống nhân dân.

Kết cấu hạ tầng giao thông đa phương thức là hệ thống hạ tầng giao thông được thiết kế và xây dựng để kết nối, phối hợp nhiều loại hình vận tải khác nhau (đường bộ, đường sắt, hàng không, đường thủy nội địa, cảng biển) một cách đồng bộ nhằm tối ưu hóa việc vận chuyển hàng hóa và hành khách. Nói cách khác, kết cấu hạ tầng giao thông đa phương thức là toàn bộ mạng lưới đường sá, cầu cảng, ga tàu, sân bay, trung tâm logistics… được quy hoạch và xây dựng để các phương thức vận tải có thể liên kết, chuyển đổi

thuận lợi. Đại hội XIV xác định phát triển hệ thống kết cấu hạ tầng đồng bộ, hiện đại là một trong ba đột phá chiến lược, có ý nghĩa đặc biệt quan trọng đối với tiến trình phát triển nhanh và bền vững của đất nước.

Bước vào kỷ nguyên mới, Đảng ta khẳng định, phát triển: "Kinh tế số, kinh tế xanh, kinh tế tuần hoàn, các vùng động lực, cực tăng trưởng, hành lang kinh tế, đặc khu kinh tế, đặc khu công nghệ, khu thương mại tự do, trung tâm tài chính quốc tế, trung tâm dữ liệu quốc gia" [2]. Để đạt được mục tiêu này, giao thông đa phương thức cần đi trước một bước. Bởi, muốn phát triển các vùng động lực và cực tăng trưởng kết nối với thị trường trong và ngoài nước cần phát triển đường cao tốc, sân bay, cảng biển. Trên thực tế, các cực tăng trưởng thường hình thành tại nơi có nút giao thông chiến lược (ví dụ: Hà Nội, TP.HCM, Hải Phòng). Đặc biệt, để phát triển các hành lang kinh tế thì giao thông không chỉ là nền tảng mà còn định hình không gian của các hành lang đó. Thực tế, các trục giao thông đường bộ, đường sắt, đường thủy, hàng không đã mở đường cho phát triển các đô thị, khu công nghiệp, dịch vụ.

Để phát triển các đặc khu kinh tế, đặc khu công nghệ, khu thương mại tự do cần phát triển hạ tầng giao thông hiện đại để thuận lợi cho xuất nhập khẩu, logistics, di chuyển nhân lực chất lượng cao. Hiện nay, các đặc khu kinh tế thường gắn với cảng biển hoặc sân bay quốc tế; đặc khu công nghệ cần kết nối nhanh với đô thị lớn để thu hút chuyên gia. Với các trung tâm tài chính quốc tế, dù trọng tâm là dịch vụ tài chính nhưng vẫn cần giao thông hàng không và đô thị để kết nối toàn cầu, thu hút các doanh nhân, các chuyên gia. Các trung tâm tài chính lớn (Singapore, Hồng Kông) đều gắn với sân bay quốc tế và hệ thống metro hiện đại. Thậm chí, với các trung tâm dữ liệu quốc gia ít phụ thuộc vào giao thông hàng hóa, nhưng vẫn cần hạ tầng giao thông đô thị để đảm bảo nhân lực vận hành, bảo trì. Quan trọng hơn nữa là để vận hành hạ tầng số - cáp quang, mạng lưới viễn thông vẫn cần đến giao thông vật lý để hỗ trợ vận hành.

Theo đó, với mục tiêu Việt Nam phát triển chuỗi cung ứng toàn cầu và sớm trở thành vùng động lực, cực tăng trưởng, hành lang kinh tế, đặc khu kinh tế, đặc khu công nghệ, khu thương mại tự do, trung tâm tài chính quốc tế, trung tâm dữ liệu quốc gia đòi hỏi phải xây dựng và hoàn thiện kết cấu hạ tầng giao thông đa phương phức. Hơn nữa, xây dựng và hoàn thiện kết cấu hạ tầng giao thông đa phương thức sẽ giúp giảm chi phí logistics, nâng cao năng lực cạnh tranh quốc gia, kết hợp nhiều phương thức vận tải giúp giảm phụ thuộc vào đường bộ, hạn chế phát thải. Tăng cường vận tải thủy và đường sắt - vốn có chi phí thấp và thân thiện môi trường nhằm phát triển giao thông xanh và bền vững. Bên cạnh đó, hạ tầng đa phương thức góp phần bảo đảm khả năng cơ động, tiếp cận nhanh các khu vực biên giới, hải đảo, góp phần giữ vững chủ quyền và phát triển đồng đều các vùng miền, nhất là an ninh - quốc phòng và vùng sâu, vùng xa.

## 2. THỰC TRẠNG HẠ TẦNG GIAO THÔNG Ở NƯỚC TA HIỆN NAY

Giai đoạn 2021 - 2025 chứng kiến sự thay đổi rõ nét trong tư duy đầu tư hạ tầng, với việc tập trung nguồn lực cho các công trình then chốt, có tính liên kết vùng và tác động lan tỏa lớn. Trục cao tốc Bắc - Nam đã thông suốt từ Lạng Sơn đến Cà Mau, với hơn 3.000 km đường bộ cao tốc được hoàn thành [3], góp phần kết nối các vùng kinh tế trọng điểm. Cảng Hàng không quốc tế Long Thành giai đoạn 1 được khánh thành, đánh dấu bước tiến quan trọng trong phát triển hàng không. Trong lĩnh vực hàng hải, các dự án cảng biển cửa ngõ và luồng hàng hải trọng điểm được đưa vào khai thác nhất là hai cảng biển cửa ngõ quốc tế Lạch Huyện, Cái Mép - Thị Vải hoàn thành đã nâng năng lực thông qua của hệ thống cảng biển lên khoảng 900 triệu tấn mỗi năm [4].

Ở lĩnh vực đường sắt, nhiều "điểm nghẽn" kéo dài được tháo gỡ để đưa vào khai thác các tuyến đường sắt đô thị quan trọng. Một điểm nổi bật trong bức tranh hạ tầng giao thông năm 2025 là sự thay đổi rõ nét về cơ cấu nguồn vốn đầu tư, với tỷ trọng vốn tư nhân ngày càng lớn. Trước đây, hạ tầng giao thông chủ yếu dựa vào vốn công. Tuy nhiên, từ năm 2020 - 2025, ngân sách hạn chế khiến Nhà nước phải đẩy mạnh xã hội hóa. Các dự án cao tốc Bắc - Nam, sân bay Long Thành, nhiều tuyến đường vành đai, cầu lớn… đều có sự tham gia của doanh nghiệp tư nhân. Ngoài vốn tư nhân trong nước, còn có vốn FDI, vốn vay ODA và trái phiếu công trình. Sự dịch chuyển sang vốn tư nhân cho thấy hạ tầng giao thông đã trở thành lĩnh vực hấp dẫn đầu tư, đồng thời phản ánh xu hướng tất yếu, Nhà nước giữ vai trò kiến tạo, còn doanh nghiệp đóng vai trò chủ lực trong triển khai.

Thành tựu nổi bật nhất trong xây dựng và hoàn thiện hệ thống kết cấu hạ tầng giao thông đa phương thức ở Việt Nam hiện nay là ngày 19/12/2025 cả nước đã tổ chức một đợt khởi công, khánh thành và thông xe kỹ thuật các công trình giao thông quy mô lớn để chào mừng Đại hội đại biểu toàn quốc lần thứ XIV của Đảng. Cụ thể, có 234 công trình, dự án hạ tầng giao thông tại 34 tỉnh, thành phố đủ điều kiện triển khai. Trong đó có 148 dự án khởi công mới, 86 dự án khánh thành, thông xe kỹ thuật với tổng mức đầu tư hơn 3,4 triệu tỷ đồng. Trong năm 2025, Trung ương và địa phương đã khởi công, khánh thành 564 công trình, dự án với tổng mức đầu tư trên 5,14 triệu tỷ đồng, nguồn vốn tư nhân 3,84 triệu tỷ chiếm 74,6%, nguồn vốn Nhà nước 1,3 triệu tỷ, chiếm 25,4% [5]. Lần đầu tiên Việt Nam hoàn thành Quy hoạch tổng thể kế cấu hạ tầng Chiến lược quốc gia thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến 2050. Trên cơ sở đó, các quy hoạch ngành, vùng, tỉnh và hệ thống đô thị - nông thôn được phê duyệt đồng bộ, tạo hành lang pháp lý thống nhất, minh bạch để phát triển kinh tế - xã hội trong kỷ nguyên mới.

Bên cạnh những thành tựu đạt được về kết cấu hạ tầng giao thông, hiện nay Việt Nam cũng đang còn nhiều hạn chế, bất cập. Cụ thể:

*Một là*, mạng lưới đường bộ chưa đồng bộ, đường cao tốc mới chỉ phủ được một phần, nhiều tuyến quốc lộ xuống cấp gây mất an toàn. Đặc biệt, tại các thành phố lớn như Hà Nội, TP.HCM thường xuyên quá tải do thiếu đường vành đai, cầu vượt, bãi đỗ xe. Việc vận tải đường bộ chiếm tỷ trọng quá lớn tạo ra áp lực nặng nề lên cơ sở hạ tầng, đồng thời làm tăng chi phí logistics, chưa đạt được mục tiêu tái cân đối thị phần vận tải đa phương thức. Các loại hình vận tải mới như xe công nghệ và xe hợp đồng điện tử còn nhiều bất cập, dẫn đến sự chồng chéo và thiếu thống nhất trong quản lý. Khoảng 82% các đơn vị vận tải có quy mô vừa và nhỏ, hoạt động manh mún và thiếu sự liên kết cần thiết để tạo thành chuỗi cung ứng hiệu quả.

*Hai là*, đường hàng không tại các sân bay lớn thường xuyên bị quá tải vượt công suất thiết kế như Nội Bài và Tân Sơn Nhất; chưa có trung tâm hàng không tầm khu vực như Singapore hay Bangkok. Sự tăng trưởng nhanh của nhu cầu vận chuyển khiến cơ sở vật chất không theo kịp, dẫn đến ùn tắc, chậm chuyến và hạn chế mở rộng tuyến bay. Ngoài ra, sự thiếu đồng bộ trong quy hoạch vùng, hạn chế công nghệ quản lý không lưu hiện đại và áp lực môi trường cũng là thách thức đáng kể. Việc phát triển các phương tiện bay mới như UAV và máy bay tầm thấp cũng đặt ra yêu cầu về khung pháp lý và an toàn bay chưa được hoàn thiện.

*Ba là*, hệ thống đường sắt vẫn đang trong tình trạng lạc hậu cả về hạ tầng, tốc độ, thông tin tín hiệu và đầu máy toa xe. Từ năm 2010 trở lại đây, khối lượng vận chuyển hàng hóa bằng đường

sắt ngày càng giảm. Vận tải hàng hóa bằng đường sắt chiếm tỷ trọng rất nhỏ trong tổng khối lượng hàng hóa vận chuyển của các ngành đường: Năm 1990, khối lượng vận chuyển hàng hóa bằng đường sắt chiếm 4,3% thì đến năm 2010 giảm xuống còn 1% và từ năm 2019 đến nay chỉ còn chiếm khoảng 0,3% [6]. Trong nhiều năm trở lại đây, vận tải đường sắt chưa thật sự đóng góp nhiều cho phát triển kinh tế của đất nước. Hệ thống đường sắt chưa gắn với cảng biển, sân bay, khu công nghiệp và chưa có kết nối liên vùng đồng bằng sông Cửu Long.

*Bốn là*, đường thủy và cảng biển khai thác chưa hiệu quả. Hệ thống cảng biển lớn nhưng kết nối hậu phương yếu, thiếu đường sắt và đường bộ chuyên dụng. Tình trạng tắc nghẽn trên các tuyến đường bộ kết nối với cảng biển lớn đang ngày càng nghiêm trọng, nhất là tại cảng khu cảng Cát Lái - TP.HCM, cảng biển Bà Rịa - Vũng Tàu. Đường thủy nội địa chưa phát huy, nhiều tuyến sông có tiềm năng nhưng chưa được đầu tư hạ tầng bến bãi, luồng lạch.

## 3. GIẢI PHÁP HOÀN THIỆN KẾT CẤU HẠ TẦNG GIAO THÔNG ĐA PHƯƠNG THỨC THEO TINH THẦN ĐẠI HỘI XIV CỦA ĐẢNG TRONG KỶ NGUYÊN MỚI

*Một là*, quy hoạch tổng thể quốc gia về hạ tầng giao thông đa phương thức theo nguyên tắc đồng bộ trên cả nước giữa đường bộ, đường sắt, hàng không, đường thủy và cảng biển; ưu tiên hạ tầng giao thông để gắn kết các hành lang kinh tế, vùng động lực, cực tăng trưởng và tạo liên kết vùng; tích hợp quy hoạch đô thị với kết cấu hạ tầng giao thông đa phương thức nhằm giảm ùn tắc gắn với phát triển giao thông công cộng như metro, BRT, xe buýt điện.

*Hai là*, phát triển đồng bộ hạ tầng giao thông, ưu tiên hoàn thiện mạng lưới đường bộ cao tốc Bắc - Nam, các tuyến vành đai đô thị lớn như Đại hội XIV đã khẳng định: "đường sắt tốc độ cao, đường sắt đô thị Hà Nội và TP.HCM" [7]; đẩy mạnh kết nối liên vùng, đặc biệt là vùng kinh tế trọng điểm Bắc Bộ, miền Trung và Nam Bộ. Phát triển mạnh đường sắt, hàng không, giao thông thủy và cảng biển.

Với đường sắt, đầu tư tuyến tốc độ cao Bắc - Nam, đây là dự án then chốt, tạo trục vận tải xương sống. Hiện đại hóa đường sắt hiện hữu trên cơ sở nâng cấp khổ đường, tăng tốc độ khai thác, cải tạo ga và kho bãi; kết nối hệ thống đường sắt gắn với logistics vận chuyển hàng hóa; xây dựng tuyến nhánh vào cảng biển, khu công nghiệp, sân bay để giảm chi phí vận tải hàng hóa.

Với đường hàng không: Nâng cấp và mở rộng sân bay lớn như Nội Bài, Tân Sơn Nhất, Đà Nẵng, Cam Ranh để đáp ứng nhu cầu tăng trưởng; đẩy nhanh tiến độ xây dựng sân bay Long Thành để trở thành trung tâm trung chuyển quốc tế, cạnh tranh với Singapore, Bangkok; tích cực ứng dụng công nghệ số trong quản lý không lưu, dịch vụ hành khách thông minh, giảm ùn tắc và chấm dứt tình trạng trễ giờ.

Đối với giao thông thủy nội địa cần tiến hành nạo vét luồng lạch, nâng cấp tuyến sông chính như sông Hồng, sông Đồng Nai, hệ thống sông Mekong. Phát triển cảng thủy nội địa kết nối với đường bộ và đường sắt để hình thành mạng logistics đa phương thức. Đối với cảng biển, khẩn trương xây dựng các đường dẫn vào cảng cửa ngõ quốc tế như Lạch Huyện (Hải Phòng), Cái Mép - Thị Vải (Bà Rịa - Vũng Tàu); hiện đại hóa công nghệ xếp dỡ trên cơ sở công nghệ tự động hóa, số hóa quản lý cảng; gắn kết nối với đường bộ và đường sắt chuyên dụng để giảm chi phí logistics, tăng năng lực cạnh tranh.

*Ba là*, phát triển hệ thống giao thông xanh và thông minh; khuyến khích phát triển phương tiện giao thông sử dụng năng lượng sạch, giảm phát thải; ứng dụng công nghệ số, trí tuệ nhân tạo trong quản lý giao thông đô thị, logistics và vận tải công cộng; phát triển hạ tầng số song song với đầu tư hạ tầng giao thông; phát triển trung tâm dữ liệu, hệ thống viễn thông hỗ trợ giao thông thông minh; khuyến khích phương tiện xanh, hạ tầng giảm phát thải; thiết kế công trình chống ngập, sạt lở, nước biển dâng; nâng cao chất lượng bảo trì các công trình giao thông hiện có; sử dụng công nghệ dự báo hư hỏng, quản lý vòng đời công trình.

Theo đó, cần đa dạng hóa các nguồn vốn đầu tư cho hạ tầng giao thông; kết hợp ngân sách nhà nước, vốn tư nhân, PPP, ODA và trái phiếu công trình; ưu tiên vốn cho dự án trọng điểm như cao tốc Bắc - Nam, sân bay Long Thành, các tuyến vành đai, cửa ngõ vào các thành phố lớn như Hà Nội và TP.HCM; xây dựng cơ chế minh bạch, chia sẻ rủi ro trong đầu tư cho hạ tầng giao thông, tạo niềm tin cho nhà đầu tư tư nhân.

## 4. KẾT LUẬN

Theo tinh thần Đại hội XIV của Đảng, xây dựng và hoàn thiện kết cấu hạ tầng giao thông đa phương thức không chỉ là nhiệm vụ trọng tâm mà còn là động lực chiến lược để đưa Việt Nam phát triển nhanh, bền vững và hội nhập sâu rộng hơn. Hạ tầng giao thông hiện đại, đồng bộ giữa đường bộ, đường sắt, hàng không, đường thủy và cảng biển sẽ tạo nên mạng lưới vận tải hiệu quả, giảm chi phí logistics, nâng cao năng lực cạnh tranh quốc gia. Đây cũng là nền tảng để phát triển các vùng động lực, cực tăng trưởng, hành lang kinh tế và kết nối quốc tế. Trong kỷ nguyên mới, việc huy động đa dạng nguồn lực, ứng dụng công nghệ số, gắn kết quy hoạch liên ngành và chú trọng yếu tố bền vững, thích ứng biến đổi khí hậu là những giải pháp then chốt. Phát triển hạ tầng giao thông đa phương thức không chỉ đáp ứng nhu cầu đi lại, vận tải hàng hóa mà còn góp phần khẳng định vị thế Việt Nam như một trung tâm sản xuất, logistics và thương mại trong khu vực. Đây chính là bước đi hiện thực hóa khát vọng phát triển đất nước phồn vinh, hùng cường trong thế kỷ XXI.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Nghị quyết Đại hội đại biểu toàn quốc lần thứ XIV. *Đảng Cộng sản Việt Nam*. Internet: https://www.msn.com/vi-vn/news/national/toàn-văn-nghị-quyết-và-văn-kiện-đại-hội-đại-biểu-toàn-quốc-lần-thứ-xiv-của-đảng.

[2] Báo cáo Chính trị của Ban Chấp hành Trung ương Đảng khóa XIII tại Đại hội Đại biểu toàn quốc lần thứ XIV của Đảng. *Đảng Cộng sản Việt Nam*. Internet:https://xdcs.cdnchinhphu.vn/446259493575335936/2026/2/6/bao-cao-ctri-1770388021284212356725 9-1770393360541137259055 6.pdf.

[3] Nguyễn Thanh Nghị. Đánh giá 5 năm thực hiện chiến lược phát triển kinh tế - xã hội 10 năm và kế hoạch phát triển kinh tế - xã hội 2026 - 2030, *Chuyên đề của Ban CSCLTW*.

[4] Nguyễn Thanh Nghị. Đánh giá 5 năm thực hiện chiến lược phát triển kinh tế - xã hội 10 năm và kế hoạch phát triển kinh tế - xã hội 2026 - 2030, *Chuyên đề của Ban CSCLTW*.

[5] Phan Trang. Năm 2025, cả nước đã khởi công, khánh thành 564 công trình, dự án hạ tầng. *Baochinhphu.vn*. Internet: https://baochinhphu.vn/nam-2025-ca-nuoc-da-khoi-cong-khanh-thanh-564-cong-trinh-du-an-ha-tang-102251219125005812.htm.

[6] Đường sắt Việt Nam qua một số chỉ tiêu thống kê. *Cục Thống kê*. Internet: https://www.nso.gov.vn/du-lieu-va-so-lieu-thong-ke/2023/06/duong-sat-viet-nam-qua-mot-so-chi-tieu-thong-ke/.

[7] Báo cáo Chính trị của Ban Chấp hành Trung ương Đảng khóa XIII tại Đại hội Đại biểu toàn quốc lần thứ XIV của Đảng. *Đảng Cộng sản Việt Nam*. Internet: https://xdcs.cdnchinhphu.vn/446259493575335936/2026/2/6/bao-cao-ctri-1770388021284212356725 9-1770393360541137259055 6.pdf.

■Ngày nhận bài: 12/02/2026 ■Ngày sửa bài: 22/02/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 05/03/2026

# Ảnh hưởng của xi măng xỉ lò cao PCBBFs 40% đến nhiệt thủy hóa của bê tông khối lớn

## Effect of PCBBFs 40% blast furnace slag cement on the heat of hydration of mass concrete

> **HOÀNG TRỌNG LÂM[1,*], VÕ DUY HÙNG[1], PHẠM NGỌC NAM[2]**
[1]Khoa Xây dựng Cầu đường, Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng
[2]Trung tâm Kỹ thuật vận hành đường cao tốc Đà Nẵng - Quảng Ngãi
[*]Email: htlam@dut.udn.vn

**TÓM TẮT**

Việc kiểm soát nhiệt thủy hóa trong bê tông khối lớn là một thách thức kỹ thuật quan trọng nhằm hạn chế nguy cơ nứt nhiệt trong giai đoạn đầu sau khi đổ bê tông. Nghiên cứu này đánh giá ảnh hưởng của việc thay thế 40% xi măng PCB40 bằng xỉ lò cao (PCBBFs 40%) đến sự phát triển nhiệt độ, ứng suất nhiệt và chuyển vị trong bê tông khối lớn. Phân tích được thực hiện bằng phương pháp phần tử hữu hạn thông qua phần mềm Midas Civil, với mô hình bệ trụ cầu có kích thước thực tế 8 m × 4 m × 2 m. Kết quả cho thấy việc sử dụng PCBBFs 40% giúp giảm nhiệt độ tối đa tại tâm khối bê tông từ 70,08°C xuống 52,1°C (giảm 25,66%), ứng suất kéo lớn nhất tại bề mặt giảm từ 7,94 MPa xuống 4,76 MPa (giảm 40,05%) và chuyển vị giảm khoảng 0,5 mm. Những phát hiện này khẳng định hiệu quả của xi măng xỉ lò cao trong việc kiểm soát nhiệt thủy hóa, giảm ứng suất kéo và nâng cao tính ổn định cấu kiện. Kết quả nghiên cứu này cung cấp cơ sở khoa học quan trọng cho việc thiết kế và thi công bền vững các công trình bê tông khối lớn trong điều kiện khí hậu nóng ẩm của Việt Nam.

**Từ khóa:** Nhiệt thủy hóa; bê tông khối lớn; ứng suất thủy nhiệt; xi măng xỉ lò cao; PCBBFs 40%.

**ABSTRACT**

Controlling the heat of hydration in mass concrete is a critical engineering challenge to minimize the risk of early-age thermal cracking. This study investigates the effects of replacing 40% of PCB40 cement with blast furnace slag cement (PCBBFs 40%) on the development of temperature, thermal stress, and displacement in mass concrete. The analysis was conducted using the finite element method via Midas Civil software, with a full-scale bridge pier footing model (8 m × 4 m × 2 m). The results show that the use of PCBBFs 40% reduced the peak core temperature from 70,08°C to 52,1°C (a 25,66% decrease), the maximum surface tensile stress from 7,94 MPa to 4,76 MPa (a 40,05% decrease), and displacement by approximately 0,5 mm. These findings confirm the effectiveness of blast furnace slag cement in controlling heat of hydration, reducing tensile stress, and enhancing the structural stability of mass concrete. The results of this study provide a valuable scientific basis for the sustainable design and construction of mass concrete structures, especially under hot and humid climate conditions in Vietnam.

**Keywords:** Hydration heat; mass concrete; stress; blast furnace slag cement; PCBBFs 40%.

### 1. GIỚI THIỆU CHUNG

Sự phát triển nhanh chóng của ngành Xây dựng, đặc biệt trong lĩnh vực cầu đường và các công trình hạ tầng quy mô lớn, đã đặt ra yêu cầu ngày càng cao đối với việc sử dụng bê tông khối lớn trong những kết cấu quan trọng như bệ trụ cầu, đập thủy điện, móng công trình cao tầng và các công trình giao thông. Tuy nhiên, một trong những thách thức kỹ thuật quan trọng khi thi công bê tông khối lớn là kiểm soát nhiệt thủy hóa, tức quá trình sinh nhiệt trong bê tông do phản ứng hóa học giữa xi măng và nước. Sự chênh lệch nhiệt độ giữa lõi và bề mặt bê tông có thể tạo ra ứng suất nhiệt lớn, dẫn đến nguy cơ xuất hiện các vết nứt trong kết cấu, làm suy giảm độ bền lâu dài và khả năng chịu tải của công trình [1], [2]. Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng các vết nứt do nhiệt không chỉ làm giảm độ bền kết cấu mà còn làm tăng khả năng thấm nước, từ đó thúc đẩy sự xâm thực của các ion có hại như $Cl^-$ và $SO_4^{2-}$, ảnh hưởng tiêu cực đến tuổi thọ của công trình [3], [4].

Để kiểm soát nhiệt thủy hóa trong bê tông khối lớn, nhiều giải pháp đã được đề xuất. Một số phương pháp phổ biến bao gồm sử dụng hệ thống làm mát trong khối bê tông bằng các ống nước luân chuyển, giúp giảm nhiệt độ lõi trong quá trình đóng rắn [5]; điều chỉnh thành phần hỗn hợp bê tông bằng cách giảm tỷ lệ xi măng hoặc sử dụng cốt liệu có kích thước lớn hơn nhằm hạn chế nhiệt sinh [6]; ứng dụng phương pháp thi công theo giai đoạn nhằm kiểm soát sự gia tăng nhiệt độ một cách có kiểm soát [7]; và thay thế một phần xi măng poóc lăng bằng các vật liệu bổ sung như tro bay, silica fume, metakaolin hoặc xỉ lò cao [8[, [9]. Ngoài ra, phương pháp làm lạnh vật liệu trước khi trộn, như sử dụng cốt liệu hoặc nước trộn đã được làm lạnh, cũng được áp dụng nhằm giảm nhiệt độ ban đầu của hỗn hợp bê tông, nhằm hạn chế đỉnh nhiệt độ trong quá trình thủy hóa và giảm nguy cơ nứt nhiệt. Trong các

giải pháp kể trên, việc thay thế xi măng poóc lăng bằng xỉ lò cao được xem là một trong những phương án tối ưu để kiểm soát nhiệt thủy hóa mà vẫn đảm bảo tính chất cơ học và độ bền lâu dài của bê tông [10].

Xi măng poóc lăng xỉ lò cao được chế tạo bằng cách nghiền mịn hỗn hợp clanhke xi măng poóc lăng với xỉ hạt lò cao và một lượng thạch cao thích hợp; hoặc trộn đều xỉ hạt lò cao đã nghiền mịn với xi măng poóc lăng. Xỉ lò cao là sản phẩm phụ của quá trình luyện gang thép, với thành phần chủ yếu gồm CaO, $SiO_2$ và $Al_2O_3$. Việc sử dụng xỉ lò cao không chỉ giúp giảm hàm lượng clanhke trong xi măng, giảm nhiệt thủy hóa, mà còn cải thiện khả năng chống xâm thực, tăng độ bền sunfat và giảm tính thấm nước của bê tông [11], [12]. Các nghiên cứu trên thế giới đã chỉ ra rằng khi thay thế một phần xi măng poóc lăng bằng xỉ lò cao, nhiệt độ tối đa trong bê tông có thể giảm đáng kể, giúp hạn chế ứng suất nhiệt và giảm nguy cơ nứt [13], [14]. Ngoài ra, bê tông sử dụng xi măng poóc lăng xỉ lò cao còn có tính bền vững cao hơn so với bê tông thông thường nhờ vào khả năng giảm phát thải $CO_2$ trong quá trình sản xuất, góp phần vào xu hướng phát triển vật liệu xây dựng thân thiện với môi trường [15], [16].

Mặc dù các nghiên cứu trên thế giới đã đánh giá tác động của xỉ lò cao đến nhiệt thủy hóa bê tông khối lớn, tại Việt Nam, số lượng nghiên cứu thực nghiệm và mô phỏng [17] về ảnh hưởng của xi măng xỉ lò cao đến sự phát triển nhiệt độ, ứng suất nhiệt và nguy cơ nứt trong bê tông khối lớn vẫn còn rất hạn chế [18], [19]. Phần lớn các nghiên cứu trong nước tập trung vào ảnh hưởng của tro bay hoặc các phụ gia khoáng đến tính chất cơ học của bê tông, trong khi đó, tác động của xi măng xỉ lò cao đến nhiệt thủy hóa và ứng suất nhiệt trong bê tông khối lớn chưa được phân tích chi tiết [20], [21]. Điều này tạo ra một khoảng trống trong nghiên cứu và thực tiễn ứng dụng tại Việt Nam, đặc biệt trong điều kiện khí hậu nóng ẩm, nơi nguy cơ nứt nhiệt trong bê tông khối lớn có thể xảy ra ở mức độ cao hơn so với các khu vực có khí hậu ôn đới [22], [23].

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá ảnh hưởng của việc thay thế 40% xi măng poóc lăng bằng xỉ lò cao đối với sự phát triển nhiệt độ, ứng suất nhiệt và chuyển vị trong bê tông khối lớn. Tỷ lệ thay thế 40% được lựa chọn dựa trên cơ sở thư viện vật liệu hiện có trong phần mềm Midas Civil và xi măng poóc lăng xỉ lò cao thương phẩm có trên thị trường, trong đó tỷ lệ này là mức sẵn có để mô phỏng, đồng thời cũng là tỷ lệ phổ biến được khuyến nghị trong thực tế nhằm cân bằng giữa hiệu quả giảm nhiệt thủy hóa và duy trì các đặc tính cơ học cần thiết của bê tông [24]. Phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) được áp dụng để mô phỏng và phân tích quá trình này thông qua phần mềm Midas Civil, với mô hình mô phỏng bệ trụ cầu có kích thước thực tế. Kết quả nghiên cứu không chỉ giúp xác định mức giảm nhiệt độ lớn nhất trong bê tông khi sử dụng xi măng xỉ lò cao, mà còn cung cấp dữ liệu chi tiết về sự phân bố ứng suất nhiệt trong kết cấu, giúp đánh giá mức độ giảm ứng suất kéo - yếu tố chính gây ra nứt nhiệt [26]. Đồng thời, nghiên cứu cũng đưa ra các khuyến nghị kỹ thuật nhằm tối ưu hóa việc sử dụng xi măng xỉ lò cao trong thi công bê tông khối lớn tại Việt Nam [27-31].

Những kết quả đạt được từ nghiên cứu này không chỉ làm rõ thêm về ảnh hưởng của xi măng xỉ lò cao đến nhiệt thủy hóa trong bê tông khối lớn, mà còn cung cấp cơ sở khoa học quan trọng để tối ưu hóa thiết kế và thi công các công trình hạ tầng tại Việt Nam. Việc sử dụng xi măng xỉ lò cao trong bê tông khối lớn hứa hẹn sẽ là một giải pháp kỹ thuật hiệu quả giúp giảm thiểu rủi ro nứt nhiệt, nâng cao tuổi thọ công trình, đồng thời góp phần vào xu hướng phát triển bền vững trong ngành xây dựng.

## 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT TÍNH TOÁN THUỶ HOÁ

### 2.1. Phân tích truyền nhiệt [32]

*2.1.1. Dẫn nhiệt:* là một dạng truyền nhiệt có quan hệ với sự trao đổi năng lượng từ vùng có nhiệt độ cao đến vùng có nhiệt độ thấp. Tốc độ dẫn nhiệt tỷ lệ với diện tích vuông góc với phương dẫn, gradient nhiệt theo phương đó. Theo định luật Fourier:

$$Q_x = -kA\frac{\partial \mathrm{T}}{\partial x} \quad (1)$$

Với: $Q_x$ là lượng nhiệt được truyền, đơn vị là kcal/h.m.ºC; $k$ là hệ số dẫn nhiệt, đối với bêtông bão hòa, $k$ = 1,21-3,11; $A$ là diện tích dẫn nhiệt, vuông góc phương dẫn nhiệt; $\frac{\partial T}{\partial x}$: là gradient nhiệt

*2.1.2. Đối lưu nhiệt:* nhiệt được trao đổi từ bề mặt các khối rắn lên môi trường chất lỏng hay chất khí thông qua chuyển động của các phân tử chất lỏng hay khí. Lượng nhiệt được truyền q do đối lưu trên một đơn vị diện tích khối rắn được tính toán như sau:

$$q = h_c(T - T_\infty) \quad (2)$$

Với: $h_c$ là hệ số truyền nhiệt giữa chất rắn và chất lỏng/chất khí. $h_c$ phụ thuộc vào nhiều yếu tố như cấu tạo hình học của bề mặt, tính chất vật lý của chất lỏng/chất khí, nhiệt độ trung bình của bề mặt chất lỏng, v.v… khi tính toán các khối bê tông trong không khí, $h_c$ có thể được tính toán như sau: $h_c$ = 5,2+3,5v (v là vận tốc gió; được tính bằng m/s). $T$ là nhiệt độ bề mặt chất rắn và $T_\infty$ là nhiệt độ môi trường chất lỏng/khí.

*2.1.3. Nguồn nhiệt:* nguồn nhiệt thể hiện lượng nhiệt phát sinh trong quá trình thủy hóa. Lượng nhiệt bên trong bê tông phát sinh do quá trình thủy hóa trong một đơn vị thời gian và đơn vị thể tích là:

$$g = \frac{1}{24}.\rho.C.K.\alpha.\mathrm{e}^{-at/24} \quad (3)$$

Phương trình tăng nhiệt độ đoạn nhiệt là:

$$T = K(1 - e^{-at}) \quad (4)$$

Trong đó: $T$ là nhiệt độ đoạn nhiệt (ºC); $K$ là sự tăng nhiệt độ đoạn nhiệt lớn nhất (ºC); $\alpha$ là hệ số tốc độ phản ứng; $\rho$ là khối lượng thể tích của bê tông (kg/m$^3$); $t$ là thời gian (ngày); $C$: tỷ nhiệt của bê tông (kcal/(kg·ºC)).

### 2.2. Phân tích ứng suất nhiệt [32]

Ứng suất trong bê tông khối lớn tại mỗi giai đoạn thi công được tính toán với việc sử dụng các kết quả của phân tích truyền nhiệt, sự phân bố nhiệt độ theo nút, cũng như xét đến sự thay đổi các thuộc tính vật liệu theo thời gian và nhiệt độ, sự co ngót theo thời gian, từ biến phụ thuộc thời gian và ứng suất, v.v…

Cường độ chịu nén của bê tông tính theo tuổi tương đương và nhiệt độ cộng dồn, được tính theo công thức sau:

Theo AIC: $$f_c^{'}(t) = \frac{t}{a + bt_{eq}} f_c^{'}(28) \quad (5)$$

Với: $f_c^{'}(t)$ là cường độ bê tông tại thời điểm tính toán; $f_c^{'}(28)$ : là cường độ bê tông tại tuổi 28 ngày; $a, b$ : là các hệ số phụ thuộc vào loại xi măng; $t$ là thời gian tính toán (ngày); $t_{eq}$ là tuổi tương đương của bê tông.

## 3. PHÂN TÍCH NHIỆT THỦY HÓA TRONG BÊ TÔNG KHỐI LỚN

### 3.1. Xác thực mô hình

Để đảm bảo độ tin cậy của mô hình phân tích, nghiên cứu này tiến hành xác thực mô hình mô phỏng nhiệt thủy hóa và ứng suất nhiệt của bê tông khối lớn bằng phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) thông qua phần mềm Midas Civil. Mô hình được kiểm tra bằng cách so sánh kết quả phân tích số với dữ liệu thực nghiệm thu thập từ các nghiên cứu trước đây, trong đó có nghiên cứu của Hồ Ngọc Khoa và Vũ Chí Công về phân tích trường nhiệt độ và ứng suất nhiệt trong bê tông khối lớn bằng phương pháp phần tử hữu hạn [1]. Chi tiết các tính chất cơ lý của bê tông và môi trường xung quanh được trình bày ở Bảng 1.

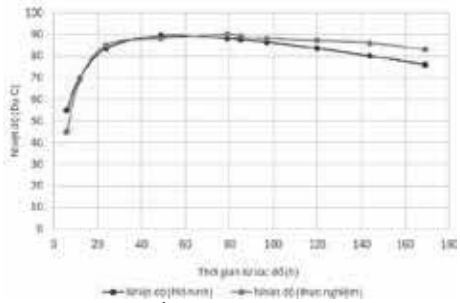
Mô hình bê tông được xây dựng với kích thước 4,6 m × 4,6 m × 4 m. Mô hình sử dụng các thông số vật liệu thực tế của bê tông bệ trụ, trong

đó xi măng poóc lăng được dùng làm chất kết dính chính. Phương pháp xác thực được thực hiện thông qua các bước sau: (i) Thiết lập mô hình phần tử hữu hạn với các thông số nhiệt và cơ lý phù hợp; (ii) Tiến hành phân tích nhiệt độ và ứng suất nhiệt trong bê tông khối lớn; và (iii) So sánh kết quả mô phỏng với dữ liệu thực nghiệm để đánh giá độ chính xác của mô hình.

Bảng 1. Các thông số tính toán vật liệu sử dụng trong phân tích [1]

| Đặc điểm \ Phần | Bê tông B40 | Nền đất |
|---|---|---|
| Tỷ lệ nhiệt C, [kcal/kg.°C] | 0,27 | 0,2 |
| Khối lượng thể tích, [kG/m$^3$] | 2400 | 1800 |
| Hệ số dẫn nhiệt, [kcal/m.h.°C] | 2,5 | 1,7 |
| Hệ số trao đổi nhiệt, [kcal/m$^2$ h.°C] | 12 | 12 |
| Cường độ chịu nén, [kG/ m$^2$] | 6000000 | |
| Hệ số giãn nở nhiệt | 1,0x10$^{-5}$ | |
| Hệ số Poisson | 0,2 | 0,2 |
| Loại xi măng | Tỏa nhiệt thấp | |
| Hàm lượng xi măng, [kG.m$^3$] | 445 | |
| Tỷ lệ N/X | 0,375 | |
| Nhiệt độ bê tông khi đổ, [°C] | 30 | |
| Mô đun đàn hồi, [GPa] | 35,2 | |
| Hằng số hàm tăng nhiệt độ đoạn nhiệt | K=59,6 °C<br>α = 1,113 | |
| Nhiệt độ môi trường, [°C] | 28,7 | |

Hình 1 thể hiện so sánh giữa kết quả thực nghiệm và mô phỏng. Kết quả so sánh giữa mô hình và dữ liệu thực nghiệm [1] cho thấy mô hình có độ chính xác cao, với các chỉ số thống kê đánh giá sai số bao gồm hệ số tương quan $R^2$ = 0,9616, sai số trung bình bình phương (RMSE) = 2,19°C, sai số tuyệt đối trung bình (MAE) = 1,44°C; và sai số phần trăm trung bình (MER) = 1,96%. Những giá trị này chứng minh rằng mô hình mô phỏng có khả năng dự đoán chính xác sự phát triển của trường nhiệt độ và ứng suất nhiệt trong bê tông khối lớn theo thời gian, qua đó đảm bảo độ tin cậy khi áp dụng vào các phân tích tiếp theo. Việc xác thực mô hình không chỉ đảm bảo tính chính xác của phương pháp phân tích mà còn cung cấp cơ sở khoa học vững chắc để áp dụng mô hình vào việc đánh giá ảnh hưởng của xi măng xỉ lò cao trong kiểm soát nhiệt thủy hóa. Kết quả thu được từ quá trình xác thực cho phép mở rộng nghiên cứu bằng cách mô phỏng và so sánh hai trường hợp: Bê tông sử dụng xi măng poóc lăng thông thường PCB40 và bê tông sử dụng $PCB_{BFs}$ 40%.



Hình 1. Kết quả so sánh sự thay đổi nhiệt độ tại tâm giữa thực nghiệm và mô hình

### 3.2. Phân tích ảnh hưởng của xỉ lò cao đến nhiệt thủy hóa trong bê tông khối lớn

*3.2.1. Thiết lập mô hình*

Mô hình phân tích được thiết lập nhằm đánh giá ảnh hưởng của nhiệt thủy hóa đến bê tông khối lớn khi sử dụng $PCB_{BFs}$ 40%. Phương pháp phần tử hữu hạn được áp dụng thông qua phần mềm Midas Civil để mô phỏng quá trình phát triển nhiệt độ, ứng suất nhiệt và chuyển vị trong bê tông bệ trụ cầu có kích thước thực tế 8 m × 4 m × 2 m, với tổng khối lượng bê tông khoảng 64 m$^3$. Kích thước này được lựa chọn dựa trên thực tiễn thi công của các công trình có kết cấu tương tự, như bệ trụ cầu Giao Thủy Quảng Nam (cũ), nhằm đảm bảo mô hình phản ánh chính xác điều kiện thực tế. Mô phỏng được thực hiện với hai trường hợp: bê tông sử dụng xi măng poóc lăng thông thường PCB40 và bê tông sử dụng $PCB_{BFs}$ 40%. Các đặc tính cơ lý của vật liệu được xác định dựa trên các tiêu chuẩn thiết kế và kết quả nghiên cứu thực nghiệm trước đây [1], [32].

Bảng 2. Thông số đầu vào mô hình FEM

| Đặc trưng cơ lý \ Bộ phận kết cấu | | Bệ trụ |
|---|---|---|
| Loại bê tông | | C3000 |
| Nhiệt dung riêng, [kcal.g/kg.$^0$C] | | 0,25 |
| Khối lượng riêng, [kg/m$^3$] | | 2400 |
| Hệ số đối lưu nhiệt, [kcal/m$^2$.$^0$C] | Ván khuôn thép | 12 |
| | Không khí có gió | 15 |
| Nhiệt độ môi trường, [$^0$C] | | 25 |
| Nhiệt độ lúc đổ bê tông, [$^0$C] | | 20 |
| Cường độ chịu nén bê tông 28 ngày, [kG/m$^2$] | | 3.e$^6$ |
| Mô đun đàn hồi của bê tông 28 ngày, [kG/m$^2$] | | 2,8.e$^9$ |
| Hệ số giãn nở nhiệt | | 1,0.e$^{-5}$ |
| Hệ số Poisson | | 0,18 |
| Hàm lượng xi măng, [kg/m$^3$] | | 400 |

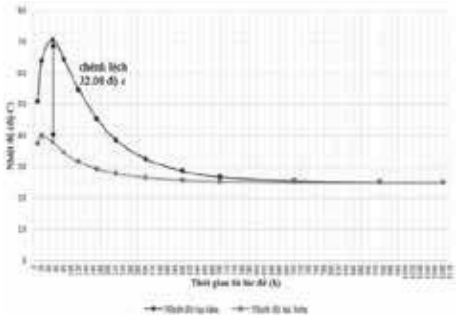
Các thông số quan trọng bao gồm: cường độ chịu nén bê tông 30 MPa, hệ số dẫn nhiệt 2,5 kcal/m.h.°C đối với bê tông thông thường và 2,0 kcal/m.h.°C. Đối với bê tông xỉ lò cao, hệ số giãn nở nhiệt 1,0 × $10^{-5}$/°C, nhiệt độ môi trường 25°C, nhiệt độ bê tông khi đổ 20°C, hệ số đối lưu nhiệt 12 kcal/m$^2$.h.°C đối với ván khuôn thép và 15 kcal/m$^2$.h.°C đối với không khí có gió [1]. Bê tông trong mô hình được chia thành các phần tử hữu hạn nhỏ nhằm đảm bảo tính chính xác trong mô phỏng quá trình truyền nhiệt và phát triển ứng suất nhiệt. Quá trình phân tích được thực hiện theo các bước gồm thiết lập mô hình 3D của bệ trụ cầu với các đặc tính vật liệu phù hợp, gán các điều kiện nhiệt độ ban đầu vào mô hình, xác định nguồn nhiệt phát sinh do phản ứng thủy hóa của xi măng thông qua hàm tăng nhiệt độ đoạn nhiệt, thiết lập điều kiện biên mô phỏng sự truyền nhiệt qua bề mặt bê tông ra môi trường xung quanh, tính toán sự thay đổi nhiệt độ theo thời gian, xác định vùng có nguy cơ xuất hiện ứng suất kéo lớn nhất và so sánh hai mô hình để đánh giá hiệu quả của xi măng xỉ lò cao trong việc giảm nhiệt độ cực đại và ứng suất nhiệt trong bê tông khối lớn.

*3.2.2. Nhiệt thủy hóa và ứng suất nhiệt của bê tông thông thường*

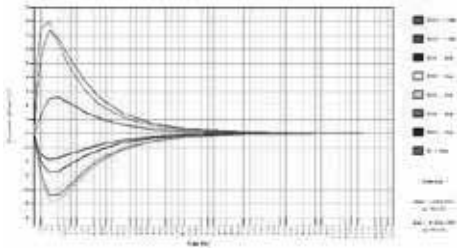
Hình 2 minh họa quá trình phát triển nhiệt độ theo thời gian trong khối bê tông sử dụng xi măng poóc lăng thông thường. Kết quả cho thấy nhiệt độ tại tâm khối bê tông tăng nhanh chóng và đạt giá trị cực đại 70,08°C sau khoảng 50 giờ kể từ thời điểm đổ bê tông, trong khi nhiệt độ tại bề mặt chỉ đạt 38,0°C. Sự chênh lệch nhiệt độ giữa lõi và bề mặt lên tới 32,08°C đã tạo nên một độ dốc nhiệt lớn trong khối bê tông. Đây là nguyên nhân chính dẫn đến ứng suất kéo đáng kể tại bề mặt và làm tăng nguy cơ nứt nhiệt trong giai đoạn đầu đóng rắn. Đường cong nhiệt độ cho thấy hơn 85% nhiệt độ cực đại được hình thành trong 30 giờ đầu tiên, phản ánh tốc độ thủy hóa nhanh và cường độ phát nhiệt lớn của xi măng poóc lăng.

Kết quả mô phỏng ứng suất do thủy nhiệt được trình bày trong Hình 3. Sự chênh lệch nhiệt độ giữa lõi và bề mặt khiến bê tông giãn nở không đều, dẫn đến ứng suất nén trong lõi và ứng suất kéo tại bề mặt. Tại thời điểm 50 giờ, ứng suất kéo cực đại tại bề mặt đạt 7,94 MPa - vượt quá khả năng chịu kéo sớm của bê tông, tạo điều kiện phát sinh các vết nứt nhiệt. Các vị trí chịu ứng suất kéo lớn nhất thường xuất hiện tại các cạnh và góc bệ trụ, nơi khả năng tản nhiệt cao hơn. Sau giai đoạn đỉnh nhiệt, ứng suất có xu hướng giảm dần nhưng vẫn tồn tại ở mức đáng kể trong suốt quá trình làm nguội.

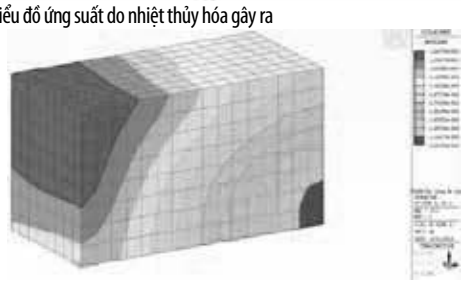
Hình 4 cho thấy chuyển vị lớn nhất của khối bê tông xảy ra trong giai đoạn phát triển nhiệt mạnh nhất, với giá trị lên đến 1,26 mm tại các vị trí biên và góc bề mặt bê tông trong khoảng thời gian từ 20 đến 50 giờ sau khi đổ. Chuyển vị này là hệ quả trực tiếp của biến dạng nhiệt không đồng đều, chủ yếu do sự chênh lệch nhiệt độ giữa lõi và bề mặt. Khi nhiệt độ giảm, chuyển vị cũng giảm theo. Kết quả này cho thấy biến thiên nhiệt độ trong quá trình thủy hóa ảnh hưởng đáng kể đến biến dạng cấu trúc, đặc biệt tại các khu vực dễ tổn thương như bề mặt và góc cạnh kết cấu.



Hình 2. Thay đổi nhiệt độ tại tâm bệ trụ và tại biên bệ trụ



Hình 3. Biểu đồ ứng suất do nhiệt thủy hóa gây ra



Hình 4. Biểu đồ chuyển vị bệ trụ lúc 50 giờ

**3.3. Phân tích ảnh hưởng của xi măng xỉ lò cao hàm lượng thay thế 40%**

*3.3.1. Mô hình hoá khối BTCT sử dụng $PCB_{BFs}$ 40%*

Để phân tích ảnh hưởng của việc sử dụng xi măng xỉ lò cao với hàm lượng thay thế 40% xi măng PCB40 đến quá trình phát triển nhiệt độ, ứng suất nhiệt và chuyển vị trong bê tông khối lớn, một mô hình phần tử hữu hạn đã được thiết lập trên phần mềm Midas Civil (2004) phiên bản 7.0.1. Mô hình mô phỏng bệ trụ cầu có kích thước thực tế 8 m × 4 m × 2 m, với các điều kiện biên và tải nhiệt tương tự như trong trường hợp mô phỏng sử dụng xi măng PCB40 thông thường. Các thông số đầu vào như hệ số dẫn nhiệt, hệ số giãn nở nhiệt, nhiệt dung riêng, hệ số đối lưu và điều kiện môi trường đều được giữ nguyên, nhằm đảm bảo tính so sánh giữa hai phương án vật liệu. Khác biệt duy nhất nằm ở việc thay thế thành phần xi măng trong mô hình bằng PCBBFs 40%, với hàm đặc trưng nhiệt thủy hóa phản ánh đúng đặc tính sinh nhiệt thấp và phản ứng chậm của xi măng xỉ lò cao. Cách tiếp cận này cho phép đánh giá một cách toàn diện hiệu quả của PCBBFs 40% trong việc kiểm soát nhiệt thủy hóa, giảm ứng suất kéo và hạn chế biến dạng sớm trong bê tông khối lớn.

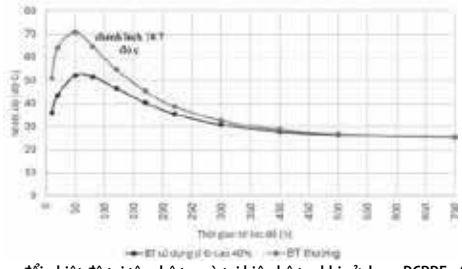
*3.3.2. Kết quả phân tích*

a. Nhiệt thủy hóa

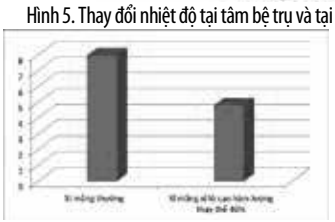
Hình 5 thể hiện quá trình phát triển nhiệt độ trong khối bê tông sử dụng xi măng xỉ lò cao PCBBFs 40%. Kết quả cho thấy phản ứng thủy hóa diễn ra chậm hơn và nhiệt độ cực đại thấp hơn đáng kể so với trường hợp sử dụng xi măng PCB40. Cụ thể, tại thời điểm 50 giờ, nhiệt độ lớn nhất tại tâm khối bê tông chỉ đạt 52,1°C (so với bê tông sử dụng xi măng poóc lăng thông thường là 70,08 °C), trong khi tại bề mặt là 33,1°C, tạo ra độ chênh lệch nhiệt độ là 19,0°C - thấp hơn 40,8% so với mức chênh lệch 32,08°C ở mô hình sử dụng xi măng thông thường. Sự giảm cả về giá trị nhiệt độ cực đại lẫn độ chênh lệch nhiệt độ giữa tâm và bề mặt cho thấy khả năng kiểm soát tốt hơn của PCBBFs 40% đối với hiện tượng tích nhiệt trong khối bê tông. Trong 30 giờ đầu tiên, nhiệt độ trong bê tông chỉ đạt khoảng 70% giá trị cực đại, phản ánh quá trình thủy hóa diễn ra chậm - đặc điểm điển hình của xi măng xỉ lò cao do hàm lượng Clanhke thấp và phản ứng pozzolanic chậm. Ngoài ra, việc bề mặt bê tông có nhiệt độ thấp hơn (33,1°C so với 38,0°C ở bê tông poóc lăng thông thường) cho thấy hiện tượng tản nhiệt ra môi trường diễn ra hiệu quả hơn và không bị cản trở bởi tốc độ phát nhiệt nội tại quá nhanh. Kết quả này khẳng định rằng việc sử dụng PCBBFs 40% không chỉ giúp giảm nhiệt độ tối đa trong khối bê tông, mà còn góp phần giảm độ dốc nhiệt, từ đó hạn chế phát sinh ứng suất nhiệt và nguy cơ nứt trong giai đoạn đầu sau khi thi công.

b. Ứng suất thủy nhiệt

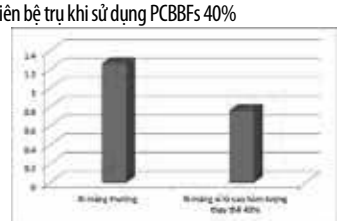
Hình 6 thể hiện so sánh giá trị ứng suất kéo lớn nhất do thủy nhiệt giữa hai loại bê tông sau 50 giờ kể từ thời điểm đổ. Với bê tông sử dụng xi măng poóc lăng thông thường, ứng suất kéo cực đại tại bề mặt đạt 7,94 MPa. Trong khi đó, khi sử dụng xi măng xỉ lò cao với hàm lượng thay thế 40% (PCBBFs 40%), ứng suất kéo giảm còn 4,76 MPa, tương ứng mức giảm khoảng 3,18 MPa (giảm 40,05%). Kết quả này cho thấy rằng PCBBFs 40% có hiệu quả rõ rệt trong việc làm giảm ứng suất kéo phát sinh trong quá trình thủy hóa, từ đó hạn chế nguy cơ xuất hiện nứt nhiệt.



Hình 5. Thay đổi nhiệt độ tại tâm bệ trụ và tại biên bệ trụ khi sử dụng PCBBFs 40%



Hình 6. So sánh ứng suất kéo lớn nhất trong khối bê tông



Hình 7. So sánh chuyển vị lớn nhất trong khối bê tông

Nguyên nhân chính là do PCBBFs có tốc độ phát nhiệt chậm và giá trị nhiệt độ cực đại thấp hơn, giúp làm giảm sự chênh lệch nhiệt độ giữa tâm và bề mặt khối bê tông - yếu tố trực tiếp gây ứng suất kéo nội bộ. Sự suy giảm rõ rệt về ứng suất kéo cho thấy tiềm năng ứng dụng của xi măng xỉ lò cao trong việc cải thiện độ bền, độ ổn định và tuổi thọ của các kết cấu bê tông khối lớn, đặc biệt trong môi trường nhiệt độ cao và độ ẩm lớn như ở Việt Nam.

c. Chuyển vị do nhiệt thủy hóa

Kết quả phân tích chuyển vị tại thời điểm 50 giờ sau khi đổ bê tông được thể hiện trong Hình 7. Theo đó, khi sử dụng xi măng poóc lăng thông thường, chuyển vị lớn nhất trong khối bê tông đạt giá trị

1,26 mm. Trong khi đó, với trường hợp sử dụng xi măng PCBBFs 40%, chuyển vị lớn nhất giảm xuống còn 0,76 mm, tương ứng với mức giảm khoảng 0,5 mm. Sự giảm này phản ánh rõ hiệu quả của việc sử dụng PCBBFs 40% trong việc hạn chế biến dạng tổng thể của kết cấu bê tông trong giai đoạn đầu sau khi thi công. Nguyên nhân chủ yếu đến từ khả năng kiểm soát nhiệt độ tốt hơn của xi măng xỉ lò cao, làm giảm chênh lệch nhiệt độ giữa lõi và bề mặt khối bê tông, từ đó giảm ứng suất nội sinh và biến dạng nhiệt. Điều này có ý nghĩa quan trọng trong việc nâng cao độ ổn định ban đầu của công trình và giảm thiểu nguy cơ xuất hiện các khe nứt do chuyển vị không đều trong quá trình đóng rắn.

## 4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã tiến hành mô phỏng quá trình phát triển nhiệt thủy hóa, ứng suất nhiệt và chuyển vị trong bê tông khối lớn khi thay thế 40% xi măng PCB40 bằng xi măng xỉ lò cao (PCBBFs 40%) thông qua phương pháp phần tử hữu hạn bằng phần mềm Midas Civil. Mô hình mô phỏng được thiết lập với các thông số thực tế, phản ánh đúng điều kiện thi công và đặc tính vật liệu, cho phép đánh giá hiệu quả của việc sử dụng xi măng xỉ lò cao trong việc kiểm soát hiện tượng nứt nhiệt - một trong những vấn đề thường gặp trong thi công bê tông khối lớn. Kết quả cho thấy bê tông sử dụng PCBBFs 40% có nhiều ưu điểm vượt trội so với bê tông sử dụng xi măng poóc lăng thông thường. Nhiệt độ cực đại tại tâm khối bê tông giảm từ 70,08°C xuống 52,1°C, tương ứng mức giảm 25,66%. Đồng thời, chênh lệch nhiệt độ giữa lõi và bề mặt giảm đáng kể từ 32,08°C xuống còn 19,0°C, góp phần làm giảm độ dốc nhiệt trong kết cấu - nguyên nhân chính gây ra ứng suất kéo nguy hiểm tại bề mặt. Ứng suất kéo lớn nhất tại bề mặt bê tông sử dụng PCBBFs 40% cũng giảm 40,05% (từ 7,94 MPa xuống còn 4,76 MPa), cho thấy khả năng hạn chế rủi ro nứt nhiệt rất rõ rệt. Về biến dạng kết cấu, chuyển vị lớn nhất giảm 39,7% (từ 1,26 mm xuống còn 0,76 mm), phản ánh hiệu quả của vật liệu trong việc kiểm soát biến dạng và duy trì tính ổn định của khối bê tông trong giai đoạn đầu đóng rắn.

Các kết quả đạt được khẳng định rằng việc sử dụng xi măng xỉ lò cao không chỉ giúp kiểm soát tốt hơn quá trình phát triển nhiệt độ bên trong kết cấu mà còn góp phần giảm ứng suất nội sinh và hạn chế chuyển vị, từ đó nâng cao tuổi thọ và độ bền của công trình. Đây là một giải pháp vật liệu phù hợp cho các kết cấu bê tông khối lớn, đặc biệt trong điều kiện khí hậu nhiệt đới nóng ẩm như tại Việt Nam, nơi mà nguy cơ nứt nhiệt và biến dạng sớm là rất cao nếu không có biện pháp kiểm soát hiệu quả. Ngoài giá trị ứng dụng thực tiễn, nghiên cứu còn đóng vai trò làm cơ sở khoa học cho việc đề xuất các giải pháp thiết kế kết cấu, lựa chọn vật liệu và kỹ thuật thi công phù hợp nhằm giảm thiểu rủi ro do nhiệt thủy hóa gây ra trong các công trình quy mô lớn. Trong thời gian tới, việc kết hợp mô phỏng số với các thí nghiệm thực nghiệm là cần thiết để hiệu chuẩn, xác thực mô hình và mở rộng khả năng ứng dụng của xi măng xỉ lò cao trong các loại kết cấu khác như đập bê tông, móng trụ cầu, hay khối móng nhà cao tầng. Đồng thời, nghiên cứu cũng mở ra hướng tiếp cận tích hợp giữa mô hình nhiệt - cơ và mô phỏng nứt nhằm dự báo chính xác hơn sự phát triển vết nứt trong bê tông khối lớn theo thời gian.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO


[1] Hồ Ngọc Khoa, *Nghiên cứu biến dạng lớp của kết cấu bê tông, thi công theo phương pháp toàn khối trong thời gian đầu đóng rắn*, Báo cáo tổng kết đề tài NCKH cấp Trường, Trường Đại học Xây dựng, 2011.

[2] Nguyễn Tiến Đích, *Công tác bê tông trong điều kiện khí hậu nóng ẩm Việt Nam*, Nhà Xuất bản Xây dựng, Hà Nội, 2010.

[3] Bazenov I.U.M., Bạch Đình Thiên, Trần Ngọc Tính, *Công nghệ bê tông*, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội, 2004.

[4] Đoàn Viết Long, Nguyễn Văn Hướng, Võ Thị Thu Hiền, "Nghiên cứu ảnh hưởng của tro bay đến nhiệt thủy hóa và cường độ nén của vữa", *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Đà Nẵng*, số 1(98), 2016.

[5] Nguyễn Thanh Bằng, Nguyễn Tiến Trung, Đinh Hoàng Quân, "Nghiên cứu đánh giá chất lượng tro bay, xỉ lò cao của nhà máy nhiệt điện và luyện kim ở Việt Nam", *Tạp chí Khoa học Công nghệ Thủy lợi*, số 57, 2019.

[6] Hoàng Minh Đức, Trần Quốc Toán, "Nghiên cứu ảnh hưởng của xỉ hạt lò cao nghiền mịn và tro bay đến tính chất của hỗn hợp bê tông", *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng*, số 3, 2020.

[7] ACI Committee 318, *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-05) and Commentary (ACI 318R-05)*, American Concrete Institute, 2005.

[8] ASTM C150-02, *Standard Specification for Portland Cement*, Annual Book of ASTM Standards, vol. 4.02, 2002.

[9] ASTM C305-02, *Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency*, Annual Book of ASTM Standards, vol. 4.02, 2002.

[10] ASTM C204-02, *Standard Test Method for Fineness of Hydraulic Cement by Air-Permeability Apparatus*, Annual Book of ASTM Standards, vol. 4.02, 2002.

[11] Abdllah I. Husein Malkawi et al., "Thermal-Structural Modeling and Temperature Control of Roller Compacted Concrete Gravity Dam", *Journal of Performance of Constructed Facilities*, vol. 17, no. 4, pp. 177–187, 2003.

[12] M. Ahmaruzzaman, "A review on the utilization of fly ash", *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 36, pp. 327–363, 2010.

[13] M. Broda, E. Wirquin, B. Duthoit, "Conception of an isothermal calorimeter for concrete - Determination of the apparent activation energy", *Materials and Structures*, vol. 35, pp. 389–394, 2002.

[14] G. Baert, S. Hoste et al., "Reactivity of fly ash in cement paste studied by thermogravimetry and isothermal calorimetry", *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 94, no. 2, pp. 485–492, 2008.

[15] Y. Ballim, P.C. Graham, "Early-age heat evolution of clinker cements in relation to microstructure and composition", *Cement and Concrete Composites*, vol. 26, pp. 417–426, 2004.

[16] J.E. Akin, *Finite Element for Analysis and Design*, Academic Press, 1994.

[17] Hồ Ngọc Khoa, Vũ Chí Công, "Phân tích trường nhiệt độ và ứng suất nhiệt trong bê tông khối lớn bằng phương pháp phần tử hữu hạn", *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng*, số 14, 12/2012.

[18] B. Gebhart, *Heat Conduction and Mass Diffusion*, McGraw-Hill, 1993.

[19] JCI, VCA, *Hướng dẫn kiểm soát nứt trong bê tông khối lớn - Phiên bản 2008*, VCA, Hà Nội, 2011.

[20] JSCE, *Standard Specifications for Concrete Structures - 2007 "Materials and Construction"*, Japan Society of Civil Engineers, 2007.

[21] P.P. Bamforth, D. Chisholm, J. Gibbs, T. Harrison, *Properties of Concrete for Use in Eurocode 2*, The Concrete Centre, 2008.

[22] MIDAS Information Technology, *Heat of Hydration Analysis Manual*, Version 7.0.1, 2004.

[23] A. Oner, S. Akyuz, R. Yildiz, "An experimental study on strength development of concrete containing fly ash", *Cement and Concrete Research*, vol. 35, no. 6, pp. 1165–1171, 2005.

[24] TCVN 4316:2007 – *Xi măng poóc lăng xỉ lò cao*, Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng Việt Nam, 2007.

[25] V.G. Papadakis, "Effect of fly ash on Portland cement systems: Part I", *Cement and Concrete Research*, vol. 29, no. 11, pp. 1727–1736, 1999.

[26] M. Thomas, *Supplementary Cementing Materials in Concrete*, CRC Press, p. 179, 2013.

[27] M. Shariq, J. Prasad, A. Masood, "Effect of GGBFS on time dependent compressive strength of concrete", *Construction and Building Materials*, vol. 24, no. 8, pp. 1469–1478, 2010.

[28] V.G. Papadakis, S. Tsimas, "Supplementary cementing materials in concrete: Part I", *Cement and Concrete Research*, vol. 32, no. 10, pp. 1525–1532, 2002.

[29] H.S. Chore, M.P. Joshi, "Strength evaluation of concrete with fly ash and GGBFS", *Advances in Concrete Construction*, vol. 3, no. 3, pp. 223–236, 2015.

[30] Y. Jin, N. Yazdani, "Substitution of Fly Ash, Slag, and Chemical Admixtures in Concrete Mix Designs", *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 15, no. 6, pp. 602–608, 2003.

[31] N. Bouzoubaâ, S. Foo, *Use of Fly Ash and Slag in Concrete: A Best Practice Guide*, MTL (TR-R), p. 40, 2005.

[32] *Mô hình hóa và phân tích kết cấu cầu với MIDAS/Civil*, Ngô Đăng Quang (chủ biên); Trần Ngọc Linh, Bùi Công Độ, Nguyễn Trọng Nghĩa, Tập 2.

■Ngày nhận bài: 21/01/2026 ■Ngày sửa bài: 30/01/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 09/02/2026

# Nghiên cứu hệ số giảm lún của hệ trụ vật liệu rời xử lý nền đất yếu trên mô hình thực nghiệm

## Study on settlement reduction factor of stone columns in soft ground treatment using physical model

**> THS NGUYỄN HẢI HÀ*, TS NGUYỄN THÁI LINH**
**PGS.TS NGUYỄN ĐỨC MẠNH, PGS.TS ĐẶNG HỒNG LAM**
Trường Đại học Giao thông vận tải
*Email: haihadkt@utc.edu.vn

**TÓM TẮT**

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm trên mô hình vật lý về ứng xử của hệ trụ vật liệu hạt rời (SC - trụ đá dăm) trong xử lý nền đất yếu. Mô hình thí nghiệm sử dụng nhóm 2x2 SC đường kính D = 0,04 m, chiều dài L = 0,6 m thi công bằng đầm kết hợp rung trong thùng thí nghiệm kích thước (1,0x0,5x1,0)m. Ba trường hợp khảo sát tương ứng với các tỷ lệ khoảng cách trụ s/D = 2,5; 3,0 và 3,5, tương ứng tỷ lệ diện tích thay thế as lần lượt là 12,57%; 8,73% và 6,41%. Kết quả phân tích cho thấy, độ lún giảm khi giảm khoảng cách trụ: Trường hợp s/D = 2,5 cho độ lún nhỏ nhất (8,21 mm tại p = 120 kPa), giảm 52,6% so với phương án s/D = 3,5. Hệ số tập trung ứng suất n dao động trong khoảng 2,00 - 3,64, giảm dần theo tải trọng và hội tụ về giá trị 2,0 - 2,1 ở trạng thái tải trọng cao. Hệ số giảm lún β tính theo công thức Aboshi dao động từ 0,885 đến 0,940.

**Từ khóa:** Trụ vật liệu rời; hệ số giảm lún; hệ số tập trung ứng suất; mô hình vật lý; đất yếu.

**ABSTRACT**

This paper presents experimental results on a physical model investigating the behavior of stone columns in soft ground treatment. The experimental model uses a 2x2 group of stone columns with diameter D = 40 mm, length L = 600 mm, constructed by vibro-compaction method in a test tank of (1,000x500x1,000)mm. Three column spacing configurations were studied with s/D ratios of 2.5, 3.0 and 3.5, corresponding to area replacement ratios of 12.57%, 8.73% and 6.41% respectively. The soft clay has liquidity index IL = 0.78. Results show that when reducing s/D from 3.5 to 2.5, settlement decreases by 52.6% (from 17.32 mm to 8.21 mm at p = 120 kPa). The stress concentration ratio n ranges from 2.00 to 3.64, decreasing with increasing load and converging to 2.0 - 2.1 at high load levels. The settlement reduction factor β calculated by Aboshi's formula ranges from 0.885 to 0.940.

**Keywords:** Stone column; settlement reduction factor; stress concentration ratio; physical model; soft soil.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nền đất yếu phân bố rộng rãi ở các khu vực đồng bằng và ven biển Việt Nam, đặc biệt tại các vùng đồng bằng sông Hồng và sông Cửu Long. Theo phân loại của TCCS 41:2022/TCĐBVN, đất yếu có sức chịu tải thấp ($c_u$ < 25 kPa), tính nén lún cao và hệ số rỗng tự nhiên lớn, luôn là thách thức lớn cho xây dựng hạ tầng giao thông ở nước ta [1]. Với các công trình giao thông yêu cầu cao về kiểm soát lún, sức chịu tải và ổn định, việc xử lý nền đất yếu hay giải pháp xây dựng phù hợp, trở thành yêu cầu bắt buộc để đảm bảo ổn định và tuổi thọ công trình.

Trong số các giải pháp xử lý nền đất yếu sâu, SC được sử dụng khá rộng rãi bởi những ưu điểm của chúng [2]. SC hoạt động theo nguyên lý "chia sẻ ứng suất" với đất nền, do trụ có độ cứng cao hơn sẽ tiếp nhận phần lớn tải trọng, từ đó giảm ứng suất tác dụng lên đất yếu, tăng sức chịu tải chung và hạn chế biến dạng lún. Cùng với đó, trụ đá còn đóng vai trò như "giếng" thoát nước thẳng đứng, tăng tốc độ cố kết của nền đất [3].

Dù đã có nhiều nghiên cứu về SC trên thế giới [2-10], nhưng ảnh hưởng của tỷ lệ s/D đến độ lún và sự phân bố ứng suất trong điều kiện đất yếu Việt Nam chưa được nghiên cứu đầy đủ và thiếu hệ thống. Nghiên cứu này được thực hiện nhằm: (i) Đánh giá ảnh hưởng của tỷ lệ s/D đến độ lún nền gia cố bằng SC; (ii) xác định quy luật phân bố ứng suất và hệ số tập trung ứng suất; (iii) xác định hệ số giảm lún và đề xuất khuyến nghị về bố trí SC phù hợp cho điều kiện đất yếu Việt Nam.

## 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

### 2.1. Hệ số tập trung ứng suất và cơ chế chia tải trong hệ trụ-đất

Khi tải trọng tác dụng lên móng trên nền đất yếu được xử lý bằng SC, sự khác biệt về độ cứng giữa trụ và đất nền dẫn đến hiện tượng tập trung ứng suất, đặc trưng bởi hệ số tập trung ứng suất n [2, 3]. Hệ số n là tỷ số giữa ứng suất thẳng đứng trung bình trong trụ ($\sigma_c$) và với phần ứng suất đất nền ($\sigma_s$), như công thức (1):

$$n = \frac{\sigma_c}{\sigma_s} \quad (1)$$

Theo Priebe (1995), mối quan hệ cân bằng ứng suất được biểu diễn:

$$\sigma_v = \mu_c.a_s.\sigma_c + \mu_s.(1-a_s).\sigma_s \quad (2)$$

Trong đó: $\sigma_v$ - Ứng suất thẳng đứng trung bình tác dụng; $\mu_s$ và $\mu_c$ - Lần lượt là hệ số giảm ứng suất của đất nền và của trụ đá; $a_s = A_c/A$ - Tỷ lệ diện tích thay thế.

Nhiều nghiên cứu thực nghiệm và phân tích số đã xác nhận sự tồn tại của hiện tượng tập trung ứng suất này trong những trường hợp nền đất yếu được gia cố bằng vật liệu hay kết cấu khác nhau, tiêu biểu như Hughes và Withers (1974), Balaam và Booker (1981), Charles và Watts (1983), Bell và cộng sự (1986), Hu (1995), McKelvey và cộng sự (2004), Ambily và Gandhi (2007) [3-5], [7, 9, 11, 12].

Có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến hệ số tập trung ứng suất, đáng chú ý có:

- *Tỷ số mô-đun trụ với đất nền $E_c/E_s$:* Balaam và Booker (1981, 1985) hay Ambily và Gandhi (2007) đã chỉ ra rằng khi độ cứng trụ tăng, mức độ tập trung ứng suất trong trụ tăng theo [5, 11, 13]. Trong FHWA (1983) đề xuất mối quan hệ tuyến tính như công thức (3) [2]:

$$n = 1 + \alpha.\left(\frac{E_c}{E_s} - 1\right) \quad (3)$$

Với α = 0,2-0,4 là hệ số thực nghiệm phụ thuộc vào mức độ nén chặt của trụ.

- *Kích thước hình học:* Hughes và Withers (1974), Charles và Watts (1983) chỉ ra rằng đường kính trụ kiểm soát mức độ tập trung ứng suất - trụ đường kính nhỏ có xu hướng phá hoại và giãn nở thể tích nhiều hơn [3, 12]. McKelvey và cộng sự (2004) nhận định, trụ dài hơn chuyển ma sát xuống độ sâu lớn hơn, tạo ra độ lún nhỏ hơn [4].

- *Phạm vi giá trị n:* Một số nghiên cứu chỉ ra rằng, n thường có biến thiên ở một khoảng giá trị nhất định, được khuyến nghị bởi nhiều tác giả như Barksdale và Bachus (1983) n = 2,5-5; Bell và cộng sự (1986) n = 1,24-3; Hu (1995) n = 0,5-5 cho móng băng trên nền gia cố SC [2, 7, 9].

### 2.2. Các phương pháp dự báo độ lún và hệ số giảm lún

** Phương pháp hệ số cải thiện nền Priebe (1995)*: Được công nhận rộng rãi nhất, dựa trên khái niệm "ô đơn vị" - xem xét trụ đơn trong mạng lưới vô hạn với diện tích ảnh hưởng A chứa trụ có diện tích mặt cắt Ac [10]. Trụ được giả định tựa trên lớp cứng, không xảy ra phá hoại đâm thủng và phình nở xảy ra đều trên toàn chiều dài. Hệ số cải thiện cơ bản $n_0$ được xác định với giả thiết trụ là vật liệu không nén được, ứng xử theo cắt dẻo từ khi bắt đầu chịu tải, đất phản ứng đàn hồi với $K_0$ = 1 và ν = 1/3:

$$n_o = 1 + \frac{A_c}{A}\left[\frac{5 - A_c/A}{4K_a(1 - A_c/A)} - 1\right] \quad (4)$$

Với $K_{ac} = \tan^2(45^\circ - \varphi_c/2)$ là hệ số áp lực đất chủ động của vật liệu trụ.

Hệ số $n_1$ bổ sung tính nén được của trụ.

$$n_1 = 1 + \frac{A_c}{A}\left[\frac{\frac{1}{2} + f(\nu, \frac{A_c}{A})}{K_o.f(\nu, \frac{A_c}{A})} - 1\right] \quad (5)$$

Khi đó, hệ số chiều sâu $f_d$ tính đến chênh lệch áp lực ban đầu và sự phụ thuộc vào độ sâu:

$$f_d = \frac{1}{1 + \frac{K_o - 1}{K_o}.\frac{\sum(\gamma_s.\Delta d)}{p_c}} \quad (6)$$

Hệ số cải thiện cuối cùng: $n_2 = f_d \times n_1$. Độ lún nền gia cố: $S_t = S_0/n_2$.

** Phương pháp cân bằng ứng suất Aboshi (1979):* Áp dụng lý thuyết cố kết một chiều với giả thiết ô đơn vị, từ phương trình cân bằng ứng suất, hệ số giảm lún β được định nghĩa là tỷ số giữa độ lún nền đã gia cố S và độ lún nền chưa gia cố S', được xác định theo công thức sau [14]:

$$\beta = \frac{S}{S'} = \frac{1}{1 + (n-1) \times a_s} \quad (7)$$

Trong đó: S và S' - Lần lượt là độ lún cố kết của nền chưa và đã xử lý. Bachus và Barksdale (1984) khuyến cáo phương pháp này là tiếp cận giới hạn trên, có độ tin cậy khi n = 3-5 [2].

Hệ số β < 1 thể hiện hiệu quả giảm lún của SC. Khi β càng nhỏ, hiệu quả giảm lún càng cao.

** Phương pháp Balaam và Booker (1981, 1985):* Sử dụng phân tích phần tử hữu hạn đối xứng trục kết hợp lý thuyết mở rộng lỗ rỗng và khái niệm ô đơn vị. Phiên bản 1985 bổ sung ứng xử chảy dẻo của trụ theo tiêu chuẩn Mohr-Coulomb với quy luật chảy không liên kết, khắc phục hạn chế ước tính quá cao hiệu quả giảm lún của phiên bản 1981 [11, 13].

## 3. MÔ HÌNH VÀ PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM

### 3.1. Lựa chọn tỷ lệ mô hình

Mô hình tỷ lệ 1:20 ở điều kiện trọng trường bình thường (1g) được lựa chọn để nghiên cứu cơ chế phá hoại và quy luật phân bố ứng suất. Các giá trị tuyệt đối về độ lún và ứng suất được hiệu chỉnh khi áp dụng vào thực tế do ảnh hưởng của hiệu ứng tỷ lệ.

Bảng 1. Quy đổi thông số từ nguyên mẫu sang mô hình tỷ lệ 1:20

| Thông số | Nguyên mẫu | Mô hình | Hệ số tỷ lệ |
|---|---|---|---|
| Đường kính trụ D | 0,8 m | 40 mm | 1:20 |
| Chiều dài trụ L | 12 m | 600 mm | 1:20 |
| Khoảng cách trụ s | 2,0 - 2,8 m | 100 - 140 mm | 1:20 |

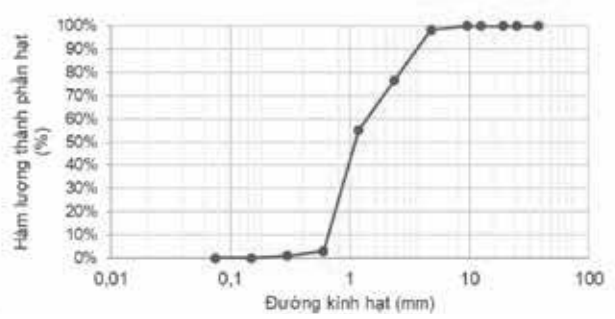
### 3.2. Vật liệu sử dụng

- Đất nền: Sử dụng đất sét yếu lấy đại diện vùng đồng bằng sông Hồng. Đất được chế bị trong thùng mô hình thí nghiệm với các chỉ tiêu: giới hạn chảy $W_L$ = 48%; giới hạn dẻo $W_P$ = 26%; chỉ số dẻo $I_P$ = 22%; hệ số rỗng $e_0$ = 1,2 - 1,4; sức kháng cắt không thoát nước $c_u$ = 15 - 20 kPa. Độ sệt của đất nền trong các thí nghiệm được kiểm soát ở mức $I_L$ = 0,7=8, tương ứng với trạng thái dẻo chảy cận dẻo mềm

- Vật liệu trụ: Sử dụng đá dăm cỡ hạt 3 - 5 mm, được rửa sạch và phơi khô. Các chỉ tiêu: trọng lượng riêng $\gamma_s$ = 26,5 kN/m$^3$; góc ma sát trong φ = 40 - 42°; hệ số rỗng ban đầu e = 0,6 - 0,65. Thành phần hạt của vật liệu được xác định theo TCVN 4198:2014 và thể hiện trên Hình 1.

### 3.3. Sơ đồ bố trí thí nghiệm

Hệ thống SC được bố trí theo sơ đồ nhóm 2×2 trụ với ba phương án khoảng cách trụ được nghiên cứu: s = 2,5D = 100 mm; s = 3,0D = 120 mm và s = 3,5D = 140 mm, tương ứng với tỷ lệ diện tích thay thế $a_s = A_c/A$ lần lượt là 12,57%; 8,73% và 6,41%.




Hình 1. Thành phần hạt của vật liệu hạt rời

Hình 2. Gia tải thí nghiệm trên mô hình vật lý

**3.4. Phương pháp gia tải và khảo sát**

SC được thi công bằng thiết bị đầm rung từng lớp, quá trình tạo trụ được kiểm soát để đạt trọng lượng thể tích khô của vật liệu trụ đạt 18,3 kN/m$^3$ như thiết kế. Thí nghiệm được tiến hành theo phương pháp gia tải từng cấp với các cấp áp lực: 18, 36, 54, 72, 90, 108 và 120 kPa. Mỗi cấp tải được duy trì đến khi đạt độ lún ổn định quy ước (< 0,01 mm/phút trong 30 phút liên tục).

Hệ thống đo đạc bao gồm: (1) Cảm biến LVDT đo độ lún tại đỉnh trụ và mặt đất nền với độ chính xác ±0,01 mm; (2) Cảm biến áp lực đo ứng suất phân bố trên đỉnh trụ và áp lực đất nền giữa các trụ. Tất cả số liệu được thu thập tự động bằng hệ thống Data logger chuyên dụng.

**4. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM VÀ PHÂN TÍCH**

**4.1. Kết quả đo độ lún**

Bảng 2 trình bày kết quả đo độ lún đất nền theo các cấp tải trọng và tỷ lệ khoảng cách s/D.

Bảng 2. Độ lún đất nền (mm) theo các cấp áp lực

| s/D | $a_s$ (%) | 18 kPa | 36 kPa | 54 kPa | 72 kPa | 90 kPa | 108 kPa | 120 kPa |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2,5 | 12,57 | 0,845 | 1,92 | 2,86 | 4,136 | 5,45 | 6,68 | 8,21 |
| 3,0 | 8,73 | 1,249 | 2,65 | 4,23 | 6,12 | 8,11 | 10,41 | 12,56 |
| 3,5 | 6,41 | 1,49 | 3,42 | 5,80 | 8,82 | 11,65 | 14,48 | 17,32 |

Trường hợp s/D = 2,5 khi mật độ trụ cao nhất ($a_s$ = 12,57%) cho độ lún nhỏ nhất, đạt 8,21 mm tại p = 120 kPa. Còn s/D = 3,5 có độ lún lớn nhất (17,32 mm). Kết quả khảo sát cho thấy khi giảm tỷ lệ s/D từ 3,5 xuống 2,5, độ lún giảm 52,6%, phù hợp với kết luận của Ambily và Gandhi (2007) rằng độ lún giảm đáng kể khi tăng tỷ lệ diện tích thay thế, đặc biệt trong phạm vi $a_s$ = 6 - 13% [5].

Hiệu quả giảm lún này được giải thích bởi ba yếu tố: (i) Tỷ lệ diện tích thay thế $a_s$ tăng từ 6,41% lên 12,57%, nghĩa là tỷ lệ thể tích đất yếu có tính nén cao bị thay thế bởi đá dăm có độ cứng lớn hơn so với đất nền; (ii) vùng ảnh hưởng của các trụ lân cận chồng lấn nhiều hơn, tạo hiệu ứng nhóm hỗ trợ lẫn nhau, giảm biến dạng phình nở ở trụ phía trong nhóm; (iii) với khoảng cách giữa các trụ giảm, ứng suất được phân bố tập trung hơn qua các trụ cứng, giảm ứng suất nén lún tác dụng lên đất yếu giữa các trụ.

Phân tích chi tiết cho thấy tốc độ lún có xu hướng tăng ở giai đoạn tải trọng cao, phản ánh đặc tính phi tuyến của quan hệ tải trọng-độ lún. Với s/D = 2,5, tốc độ lún tăng từ 0,056 mm/kPa (giai đoạn 18 - 54 kPa) lên 0,092 mm/kPa (giai đoạn 90 - 120 kPa).

Bảng 3. Tổng hợp phân tích độ lún theo tỷ lệ s/D

| s/D | $a_s$ (%) | S (mm) tại p=120 kPa | Tỷ lệ giảm với s/D=3,5 | Tốc độ lún (mm/kPa) |
|---|---|---|---|---|
| 2,5 | 12,57 | 8,21 | 52,6% | 0,072 |
| 3,0 | 8,73 | 12,56 | 27,5% | 0,111 |
| 3,5 | 6,41 | 17,32 | — | 0,155 |

**4.2. Kết quả đo ứng suất phân bố**

Bảng 4 trình bày kết quả đo ứng suất phân bố trên đỉnh trụ $\sigma_c$ và áp lực đất nền $\sigma_s$. Khi s/D tăng từ 2,5 lên 3,5, ứng suất đỉnh trụ $\sigma_c$ tại p = 120 kPa tăng từ 199,02 kPa lên 216,05 kPa (tăng 8,6%). Hiện tượng này được giải thích bởi nguyên lý cân bằng ứng suất trong ô đơn vị: khi khoảng cách trụ tăng, diện tích vùng ảnh hưởng A = s$^2$ (với bố trí vuông) tăng trong khi diện tích mặt cắt trụ $A_c$ không đổi, dẫn đến tỷ lệ diện tích thay thế $a_s$ giảm từ 12,57% xuống 6,41%. Để thỏa mãn điều kiện cân bằng lực:

$$\sigma_v.A = \sigma_c.A_c + \mu_s(A - A_c) \quad (8)$$

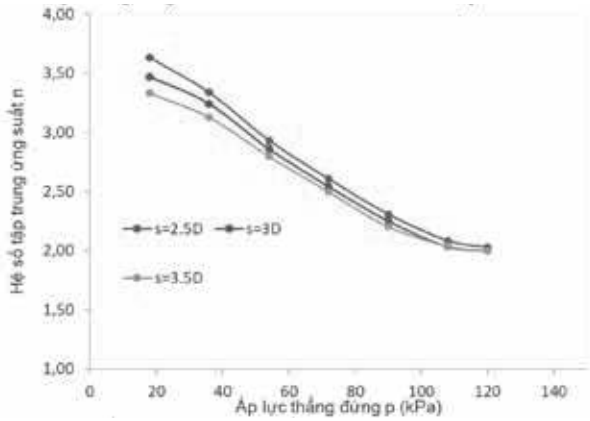
Với tổng tải trọng tác dụng không đổi nhưng diện tích trụ $A_c$ chiếm tỷ lệ nhỏ hơn so với tổng diện tích A, ứng suất trong trụ $\sigma_c$ phải tăng lên để bù đắp.

Bảng 4. Ứng suất đỉnh trụ $\sigma_c$ và áp lực đất nền $\sigma_s$ (kPa)

| s/D | Thông số | 18 kPa | 36 kPa | 54 kPa | 72 kPa | 90 kPa | 108 kPa | 120 kPa |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2,5 | $\sigma_c$ | 56,02 | 100,02 | 132,03 | 161,97 | 180,11 | 193,98 | 199,02 |
| 2,5 | $\sigma_s$ | 15,41 | 29,97 | 45,02 | 62,12 | 78,09 | 93,14 | 98,06 |
| 3,0 | $\sigma_c$ | 56,12 | 101,86 | 137,95 | 170,04 | 188,01 | 201,96 | 207,23 |
| 3,0 | $\sigma_s$ | 16,17 | 31,42 | 48,21 | 66,88 | 83,52 | 99,33 | 103,31 |
| 3,5 | $\sigma_c$ | 57,02 | 103,93 | 147,01 | 176,24 | 197,07 | 208,89 | 216,05 |
| 3,5 | $\sigma_s$ | 17,11 | 33,23 | 52,52 | 70,54 | 89,42 | 102,41 | 108,07 |

**4.3. Hệ số tập trung ứng suất**

Hệ số tập trung ứng suất n được tính toán từ kết quả đo và được thể hiện trong Hình 3.




Hình 3. Hệ số tập trung ứng suất trong mô hình thực nghiệm

Kết quả thí nghiệm cho thấy n dao động trong khoảng 2,00 - 3,64, với xu hướng giảm dần theo sự gia tăng tải trọng. Ở cấp tải trọng thấp (p = 18 kPa), giá trị n đạt cao nhất: 3,64 với s/D = 2,5. Khi tải trọng tăng lên 120 kPa, giá trị n giảm xuống còn khoảng 2,00 - 2,1 ở cả ba tỷ lệ khoảng cách. Giá trị n = 2,0 - 2,1 ở tải trọng cao thấp hơn nghiên cứu của McKelvey và cộng sự (2004) [4]. Sự khác biệt này có thể do tỷ số mô-đun thấp ($E_c/E_s$) ≈10 -12) và hiệu ứng tỷ lệ mô hình, dẫn đến biến dạng phình nở trụ lớn hơn. Xu hướng giảm của n theo tải trọng phản ánh sự thay đổi độ cứng tương đối giữa trụ đá và đất nền trong quá trình gia tải.

**4.4. Hệ số giảm lún**

Từ giá trị n tại trạng thái tải trọng cao (n ≈ 2,0 - 2,1), hệ số giảm lún lý thuyết β được tính theo công thức (7) và trình bày trong Bảng 5.

Bảng 5. Hệ số giảm lún β theo các tỷ lệ s/D tại p = 120 kPa

| s/D | $a_s$ (%) | n | $\beta = 1/[1+(n-1)\cdot a_s]$ | S (mm) |
|---|---|---|---|---|
| 2,5 | 12,57 | 2,03 | 0,885 | 8,21 |
| 3,0 | 8,73 | 2,01 | 0,919 | 12,56 |
| 3,5 | 6,41 | 2,00 | 0,940 | 17,32 |

Khi tăng tỷ lệ diện tích thay thế $a_s$ từ 6,41% lên 12,57% (giảm s/D từ 3,5 xuống 2,5), β giảm từ 0,940 xuống 0,885, tương ứng hiệu quả giảm lún tăng thêm khoảng 6%. Tuy nhiên, tỷ lệ giảm lún thực tế đo được giữa các trường hợp (52,6% giữa s/D = 2,5 và s/D = 3,5) cao hơn so với dự báo lý thuyết, có thể do hiệu ứng nhóm trụ và sự thay đổi của n theo quá trình gia tải.

**5. KẾT LUẬN**

Từ kết quả nghiên cứu thực nghiệm trên mô hình vật lý tỷ lệ 1:20 về ứng xử của hệ trụ vật liệu rời trong xử lý nền đất yếu, có thể rút ra các kết luận sau:

- Tỷ lệ khoảng cách trụ s/D có ảnh hưởng lớn đến độ lún của nền gia cố. Khi giảm s/D từ 3,5 xuống 2,5, độ lún giảm 52,6% tại tải trọng 120 kPa. Quan hệ tải trọng-độ lún có tính phi tuyến với tốc độ lún tăng ở giai đoạn tải trọng cao, phù hợp với mô hình ứng xử hyperbolic của đất

- Hệ số tập trung ứng suất n = 2,00 - 3,64, nằm trong phạm vi các nghiên cứu quốc tế. Giá trị n giảm dần theo tải trọng và hội tụ về khoảng 2,0 - 2,1 ở trạng thái tải trọng cao, phản ánh quá trình tái phân bố ứng suất giữa trụ và đất nền khi đất được nén chặt và trụ có thể xuất hiện biến dạng phình nở cục bộ.

- Hệ số giảm lún β tính theo công thức Aboshi (1979) dao động từ 0,885 đến 0,940 với n =2,0 - 2,1 tại trạng thái tải trọng cao. Công thức lý thuyết cho kết quả thiên về an toàn, trong khi hiệu quả giảm lún thực tế cao hơn do hiệu ứng nhóm trụ.

- Nghiên cứu này thực hiện trên mô hình vật lý 1g với các hạn chế về hiệu ứng tỷ lệ. Các nghiên cứu tiếp theo cần kiểm chứng kết quả bằng mô hình số và quan trắc hiện trường để hoàn thiện cơ sở khoa học cho thiết kế trụ vật liệu rời trong điều kiện Việt Nam.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Giao thông vận tải trong Đề tài mã số T2026-CT-017.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

[1] Bộ Giao thông vận tải. Tiêu chuẩn thiết kế nền đường trên đất yếu. *TCCS 41:2022,* 2022.

[2] Barksdale R.D. and Bachus R.C., Design and Construction of Stone Columns. *Federal Highway Administration,* 1983.

[3] Hughes J.M.O. and Withers N.J. Reinforcing of soft cohesive soils with stone columns. *Géotechnique,* 24(1), 42-49, 1974.

[4] McKelvey D., Sivakumar V., Bell A., et al. Modelling vibrated stone columns in soft clay. *Proc ICE - Geotech Eng,* 157(3), 137-149, 2004.

[5] Ambily A.P. and Gandhi S.R. Behavior of stone columns based on experimental and FEM analysis. *J Geotech Geoenvironmental Eng*, 133(4), 405-415, 2007.

[6] Law S. Numerical Modelling of the behaviour of stone and composite column in soft soils. *PhD Thesis, University of Sheffield, Sheffield, UK*, 2015.

[7] Bell A.L., Greenwood D.A. and Besford M. Settlement of stone column foundations. *Proceedings of the International Conference on Deep Foundations, Beijing,* 2.11-2.25, 2.11-2.25, 1986.

[8] Han J. and Ye S.-L. Simplified method for consolidation rate of stone column reinforced foundations. *J Geotech Geoenvironmental Eng,* 127(7), 597-603, 2001.

[9] Hu W. Physical Modelling of Group Behaviour of Stone Column Foundations. *PhD Thesis, University of Glasgow, Glasgow, UK,* 1995.

[10] Priebe H.J. The design of vibro replacement. *Ground Eng,* 28(10), 31-37, 1995.

[11] Balaam N.P. and Booker J.R. Analysis of rigid rafts supported by granular piles. *Int J Numer Anal Methods Geomech,* 5(4), 379-403, 1981.

[12] Charles J.A. and Watts K.S. Compressibility of soft clay reinforced with granular columns. *Proceedings of the 8th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Helsinki,* 347-352, 347-352, 1983.

[13] Balaam N.P. and Booker J.R. Effect of stone column yield on settlement of rigid foundations in stabilised clay. *Int J Numer Anal Methods Geomech,* 9(4), 331-351, 1985.

[14] Aboshi H., Ichimoto E., Enoki M., et al. The Compozer - A method to improve characteristics of soft clay by inclusion of large diameter sand columns. *Proc. Int. Conf. Soil Reinforcement, Paris,* 211-216, 211-216, 1979.

■Ngày nhận bài: 12/01/2026 ■Ngày sửa bài: 22/01/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 31/01/2026

# Nghiên cứu thí nghiệm trong phòng phương pháp gia cố nền đường bê tông xi măng

## Laboratory experimental study on methods for reinforcing cement concrete pavement foundations

**> THS.NCS TRẦN THỊ THU HIỀN*, PGS.TS NGUYỄN CHÂU LÂN**
**PGS.TS NGUYỄN TRỌNG HIỆP, GS.TS PHẠM HUY KHANG**
Trường Đại học Giao thông vận tải
*Email: tranhiennxht@utc.edu.vn

### TÓM TẮT

Hiện nay, nhiều công nghệ cải tạo nền đất mới đã được nghiên cứu và ứng dụng dựa trên phương pháp phun - bơm hóa chất. Bài báo này trình bày nghiên cứu thí nghiệm trong phòng sử dụng phương pháp bơm vữa silica sol nhằm gia cố nền đất và phục hồi kết cấu mặt đường bê tông xi măng (BTXM) bị hư hỏng do lún. Phương pháp bơm hóa chất sử dụng vữa nhằm tạo cấu trúc gia cố, góp phần nâng cao khả năng chịu tải, giảm lún và đồng thời điều chỉnh, nâng cao cao độ mặt đường BTXM. Kết quả thí nghiệm nén một trục có nở hông cho thấy, sau 28 ngày cường độ vữa và cường độ cát trộn với silica sol đạt yêu cầu cho kết cấu gia cố. Kết quả vi mô cũng cho thấy bề mặt của cát trộn silica sol có thêm các chất mới tạo ra và độ rỗng giảm đi làm gia tăng cường độ nén một trục nở hông.

**Từ khóa:** Silica sol; sửa chữa mặt đường; mặt đường sân bay; thí nghiệm nén một trục.

### ABSTRACT

Currently, various innovative ground improvement technologies based on chemical injection and grouting methods are under research and implementation. This paper presents an experimental laboratory study of silica sol grouting for soil stabilization and the restoration of cement concrete pavement structures damaged by settlement. The chemical injection method uses grout to create a reinforced structure that enhances bearing capacity, reduces settlement and simultaneously adjusts and restores the elevation of concrete pavement slabs. Unconfined Compressive Strength (UCS) test results indicate that after 28 days, the strength of both the grout and the silica sol-sand mixture met the requirements for reinforcement soil. Furthermore, microstructural analysis revealed the formation of new cementitious products on the surface of the sand particles and a reduction in porosity, both of which contributed to the increase in unconfined compressive strength.

**Keywords:** Silica sol; rigid pavement reparation; airport pavement; UCS.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trên thế giới đã nghiên cứu các công nghệ mới nhằm gia cường nền đất yếu, sửa chữa hư hỏng của mặt đường cho các tuyến đường cao tốc, cho đường BTXM trong sân bay [1-9]. Các nghiên cứu sử dụng phương pháp trộn hóa chất gần đây được áp dụng và cho hiệu quả tốt. Tại dự án cải tạo đường cao tốc khu vực Tokyo, Nhật Bản (2018) do lún và nứt do bên dưới có lớp đất yếu, công nghệ khoan phụt và bơm vữa Natri Silicat ở độ sâu 2 - 6 m dưới kết cấu mặt đường cho thấy giá trị CBR tăng từ 3% lên đến hơn 15%. Sau 3 năm, tốc độ lún giảm 85% so với các đoạn không được xử lý [8].

Tại Mỹ, một phần đường băng sân bay Sea-Tac được xây dựng trên đất bùn có khả năng hóa lỏng. Thay vì tiến hành tái thiết hoàn toàn, phương pháp bơm gel silica đã được áp dụng để giảm khả năng hóa lỏng. Việc bơm gel silica được tiến hành trong khoảng 45 - 60 phút và độ sâu xử lý lên đến 8 m. Các thí nghiệm xuyên tĩnh sau khi xử lý cho thấy sức kháng mũi xuyên tăng từ 5 - 8 MPa lên 12 - 18 MPa. Đường băng được đưa vào sử dụng lại trong vòng 72 giờ sau khi hoàn thành xử lý, tiết kiệm ước tính 4,2 triệu USD so với phương pháp xử lý thông thường.

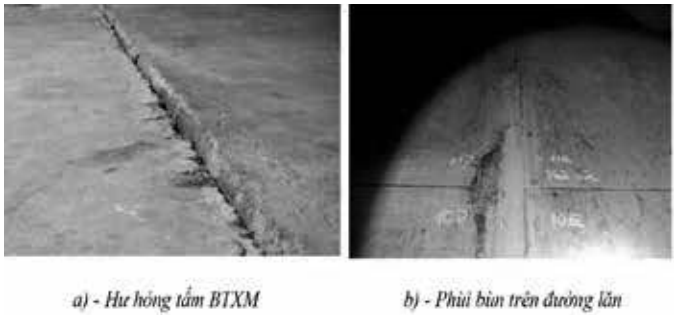
Đối với Trung Quốc, khi sử dụng công nghệ Rada xuyên đất đã phát hiện được các lỗ rỗng dưới đường băng, có khu vực xuất hiện lỗ rỗng rất lớn như tại đường khảo sát nhánh Tây của sân bay Vũ Hán có 64% lỗ rỗng dưới đường băng, gây ảnh hưởng lớn đến khai thác [5].

Gần đây, tại dự án thi công đường cao tốc ở Bangkok, Thái Lan (2020), phương pháp bơm vữa silica gel kết hợp với chất phản ứng

hữu cơ đã được áp dụng ở độ sâu 10 - 15 m. Cường độ nén không nở hông của đất tăng từ 15 - 20 kPa lên 120 - 180 kPa. Sự gia tăng của giá trị cường độ nén nở hông này cho phép giảm chiều dài cọc khoảng 30%, dẫn đến tiết kiệm chi phí đáng kể và rút ngắn tiến độ xây dựng [10].

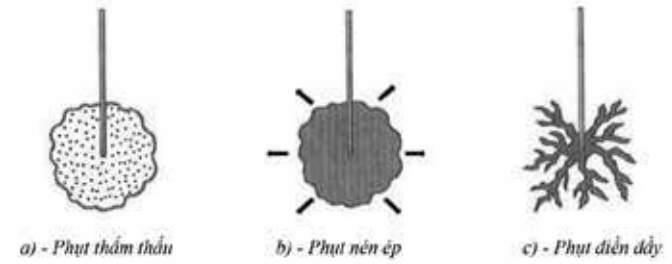
Các dự án tương tự cũng được thực hiện ở Hàn Quốc, công nghệ gia cố này đã được các tập đoàn xây dựng lớn sử dụng để gia cố đất nền và phục hồi các tòa nhà bị lún gần khu vực tàu điện ngầm, gia cố nền và phục hồi đường cống hộp dẫn nước khu vực đường cao tốc, gia cố và khôi phục đường cao tốc [11].

Hiện nay đã có nhiều giải pháp khác nhau để sửa chữa các hư hỏng của mặt đường BTXM do nguyên nhân lún võng nền móng mặt đường. Tuy nhiên, các giải pháp sẽ phải căn cứ vào yêu cầu đảm bảo an toàn khai thác khi sửa chữa, chi phí thực hiện và thời gian thực hiện, yêu cầu về độ bền của giải pháp. Có những biện pháp chỉ duy trì được một thời gian ngắn, sau đó tình trạng lún hư hỏng vẫn tiếp tục. Do vậy, lựa chọn giải pháp đảm bảo tính kinh tế kỹ thuật, có thời gian thi công nhanh, độ tin cậy cao là mong muốn của các đơn vị quản lý, bảo trì. Chúng ta cần nghiên cứu đưa ra các giải pháp sửa chữa căn cơ, dựa vào nghiên cứu đầy đủ từ nền móng, mặt đường, từ các thí nghiệm trong phòng đến thử nghiệm hiện trường để đánh giá mức độ hiệu quả của giải pháp đưa ra.




Hình 1. Hư hỏng kết cấu mặt đường bằng dưới tác dụng của tải trọng nặng

Các công nghệ gia cố nền đất yếu thường được áp dụng tại Việt Nam là phương pháp cọc xi măng theo công nghệ CDM và công nghệ Jet-grouting. Ngoài ra, một số phương pháp gia cố xử dụng trộn hóa chất gia cố nền đất cũng được áp dụng. Các phương pháp liên quan đến trộn hóa chất theo công nghệ tương tự như công nghệ Jet-grouting có thể kể đến các công nghệ khoan phụt dạng thẩm thấu (Hình 2a), khoan phụt nén ép (Hình 2b) và phụt điền đầy (Hình 2c).

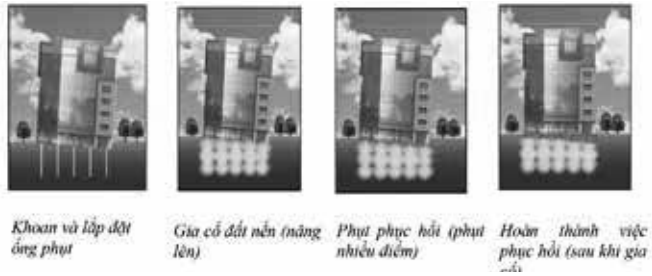



Hình 2. Các hình thức khoan phụt gia cố nền đất

Phương pháp Silica Sol được phát triển ở Nhật Bản và Hàn Quốc, ý tưởng là sử dụng hệ thống bơm phụt nhiều lần vữa silica hạt siêu mịn (độ mịn 13.000 $cm^2/g$) bằng một thiết bị loại nhỏ nhằm gia cường cho nền đất hoặc có thể làm nâng tấm bê tông lên bằng với cao độ ban đầu do việc tạo ra áp lực dưới đáy tấm và lấp đầy khe hở bên dưới tấm bằng vữa silica. Như vậy, công nghệ này có thể áp dụng theo hai hướng như sau:

- Gia cố đất nền: Cải thiện sức chịu tải của nền đất bằng cách phụt nén ép/thẩm thấu vữa có thời gian keo hóa trung bình.

- Phục hồi công trình bị lún: Phụt tại nhiều điểm sử dụng vữa có thời gian keo hóa trung bình, phụt liên lục với lượng vữa nhỏ (phục hồi chính xác đến đơn vị mm) làm tấm bê tông hoặc nền công trình trở lại cao độ ban đầu.




Hình 3. Các giai đoạn gia cố của phương pháp silica sol

Bài báo này tập trung vào thí nghiệm trong phòng nhằm xác định cường độ nén một trục không nở hông cho loại vữa silica sol và silica sol-cement-cát để đánh giá khả năng áp dụng cho gia cố, sửa chữa mặt đường BTXM.

## 2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Vật liệu

a) Xi măng PCB40

Xi măng được sử dụng là loại xi măng PCB 40, tính chất vật lý và cơ học của loại xi măng này được chỉ ra ở Bảng 1.

Bảng 1. Chỉ tiêu của xi măng

| TT | Tên chỉ tiêu | Đơn vị | Phương pháp thử | Yêu cầu |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Độ nghiền mịn:<br>*Phần sót lại trên sàng 0,09 mm*<br>*Bề mặt riêng (P.P Blaine)* | <br>%<br>$cm^2/g$ | TCVN 4030:2003 | <br>≤10<br>≥2.800 |
| 2 | Thời gian đông kết<br>Bắt đầu<br>Kết thúc | <br>Phút<br>Phút | TCVN 6017:2015 | <br>≥ 45<br>≤ 420 |
| 3 | Cường độ nén<br>3 ngày±45'<br>28 ngày±8h | <br>MPa<br>MPa | TCVN 6016:2011 | <br>≥ 18<br>≥ 40 |
| 4 | Độ ổn định thể tích | mm | TCVN 6017:2015 | ≤ 10 |
| 5 | Hàm lượng $SO_3$ | % | TCVN 141:2008 | ≤ 3,5 |
| 6 | Khối lượng riêng | $g/cm^3$ | | 3,05 |

b) Thủy tinh lỏng

Trong số các nguyên vật liệu (hóa chất) được sử dụng trong phương pháp phụt hóa chất, nước thủy tinh là vật liệu quan trọng nhất. Hiện nay, vật liệu có thể được sử dụng cho phương pháp phun hóa chất thông thường đều được gọi là nước thủy tinh. Nước thủy tinh được biết đến với những tên khác như [natri silicat, silicat soda] và công thức phân tử được biểu thị là $Na_2O * nSiO_2$. Thủy tinh lỏng ở trong thí nghiệm này được sử dụng là loại Natri silicat có các chỉ tiêu được thể hiện ở Bảng 2.

Bảng 2. Chỉ tiêu của thủy tinh lỏng

| TT | Tên chỉ tiêu | ĐVT | Kết quả |
|---|---|---|---|
| 1 | Hình ảnh nhận biết | | Dạng dung dịch trong suốt, sánh đặc |
| 2 | Khối lượng riêng | $g/cm^3$ | 1,364 |
| 3 | Độ nhớt | giây | 88 |
| 4 | Hàm lượng $SiO_2$ | % | 29,6 |
| 5 | Hàm lượng $Na_2O$ | % | 10,5 |
| 6 | Modul | - | 2,85 |

c) Cát

Cát thí nghiệm được lựa chọn là loại cát tiêu chuẩn, thường được sử dụng trong các nghiên cứu và công trình xây dựng. Các chỉ tiêu được thể hiện ở Bảng 3.

Bảng 3. Chỉ tiêu của cát

| STT | Chỉ tiêu | Đơn vị | Kết quả thí nghiệm |
|---|---|---|---|
| 1 | Khối lượng riêng | g/cm³ | 2,64 |
| 2 | Khối lượng thể tích xốp | g/cm³ | 1,25 |
| 3 | Khối lượng thể tích khô | g/cm³ | 1,29 |
| 4 | Khối lượng thể tích chặt | g/cm³ | 1,55 |
| 5 | Hệ số rỗng tự nhiên | - | 1,047 |
| 6 | Hệ số rỗng lớn nhất | - | 1,112 |
| 7 | Hệ số rỗng nhỏ nhất | - | 0,703 |
| 8 | Độ rỗng n | % | 51,15 |
| 9 | Góc ma sát trong của cát khô | độ | 29,3 |
| 10 | Góc ma sát trong của cát bão hòa | độ | 28,1 |

Hình 4. Vật liệu và hóa chất sử dụng cho thí nghiệm

**2.2. Phương pháp nghiên cứu**

*2.2.1. Xác định thành phần và tỉ lệ phối trộn*

Trong quá trình gel hóa: Loại bỏ các thành phần kiềm trong nước thủy tinh, hình thành silica sol được điều chỉnh trong vùng axit, tạo thành thuộc tính gel hóa khi bản thân nó bị trung hòa.

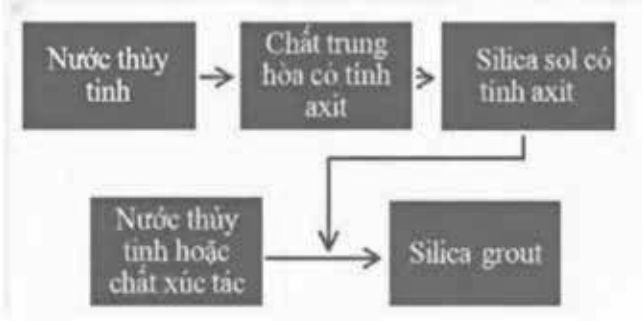
- Nồng độ axit tham gia phản ứng: Nồng độ axit được lựa chọn phù hợp để khống chế độ pH trước khi phản ứng gel xảy ra.

- Trong nghiên cứu này, các vật liệu sử dụng bao gồm A là dung dịch silica sol; dung dịch B sử dụng thủy tinh lỏng hoặc xi măng porland thông thường và chất phụ gia.

- Đúc mẫu thí nghiệm: Silica sol được sử dụng với dạng dung dịch tinh khiết và dạng huyền phù kết hợp với xi măng. Trong nghiên cứu này, các mẫu huyền phù được đúc để kiểm tra đặc tính của chúng và tỉ lệ pha trộn cho dạng cứng nhanh và cứng chậm. Kích thước mẫu là mẫu trụ đường kính 50 mm chiều cao 100 mm.

- Thời gian gel (Gel-time) được xác định bằng cách đổ 50 ml A và 50 ml B vào mỗi cốc 200 ml, sau đó trộn đều trái sang phải liên tục cho đến khi độ lỏng của cốc ngừng. Mẫu được chế tạo ngay trước khi thời gian gel xảy ra và bảo dưỡng 28 ngày. Tiến hành bảo dưỡng và thử nghiệm nén vào các thời điểm 3 ngày, 7 ngày, 14 ngày và 28 ngày.

- Mẫu cát được trộn với silica sol bằng cách trộn 5 phút bằng máy trộn cơ học có tốc độ quay 150 rpm. Các thí nghiệm này silica sol được trộn với cát theo khác nhau theo khối lượng thể tích khô của cát. Mẫu được cho vào cối hình trụ theo 3 lớp để đạt được độ chặt tương đối. Thời gian bảo dưỡng mẫu là 3 ngày, 7 ngày, 14 ngày và 28 ngày.




Hình 5. Sơ đồ trình tự thực hiện thí nghiệm

Bảng 4. Tỉ lệ pha trộn của vữa cho 1 m³ vữa

| Loại Vữa | Silicasol-cement | Silica sol-cement-cát |
|---|---|---|
| **Dung dịch A** | | |
| Silicasol dùng cho vữa (l) | 90 | 90 |
| Nước (l) | 410 | 410 |
| Tổng thể tích (l) | 500 | 500 |
| **Dung dịch B** | | |
| Xi măng Portland thường (kg) | 254 | 254 |
| Phụ gia (kg) | 10 | 10 |
| Nước (l) | 411 | 411 |
| Tổng thể tích (l) | 500 | 500 |
| Cát (kg) | | 3.029 |

Tỷ lệ trộn thể tích: (A) : (B) = 1:1.

Thời gian gel (Gel-time): 6 - 8 giây.

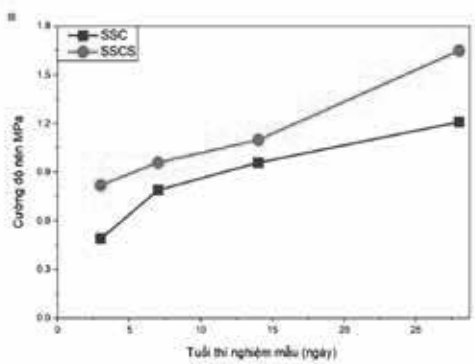
*2.2.2. Thí nghiệm nén một trục có nở hông*

Đối với mẫu, thí nghiệm nén được thực hiện theo Tiêu chuẩn ASTM D2166.

*a) - Chuẩn bị mẫu (5x10)cm* *b) - Thí nghiệm nén mẫu*

Hình 6. Hình ảnh thí nghiệm máy nén một trục có nở hông (máy thí nghiệm của Nhật Bản)

**3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU**



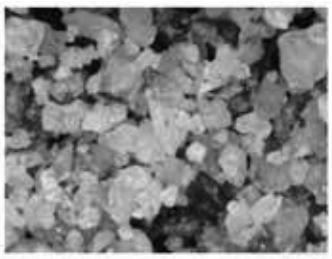

Hình 7. Cường độ nén của vữa silica sol xi măng và silica sol xi măng-cát

Phương pháp nén một trục có nở hông đã được tiến hành. Cường độ của mỗi mẫu được đo vào các độ tuổi 3 ngày 7 ngày, 14 ngày, 28 ngày, với 3 mẫu vữa silica sol-cement (SSC) và silica sol-cement-cát (SSCS) và cường độ trung bình được xác định là cường độ của mẫu. Kết quả thí nghiệm nén một trục có nở hông cho thấy, silica sol phát triển cường độ mạnh từ ngày thứ 3 (Hình 7), từ biểu đồ cũng cho thấy cường độ của SSCS đều cao hơn so với cường độ của SSC tại tất cả các ngày tuổi.

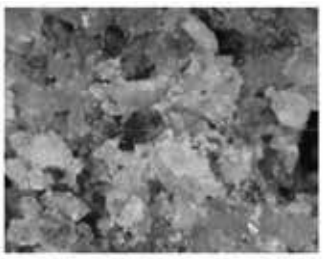
Trong thí nghiệm này, mối quan hệ giữa sự thay đổi cường độ của vữa silica sol-cement (SSC) và silica sol-cement-cát (SSCS) khi chế tạo các mẫu thử từ silica sol đã được khảo sát, với mục đích sử dụng dữ liệu thí nghiệm để chứng minh mức độ hiệu quả của gia cố đất thực tế, từ đó cung cấp cơ sở cho thiết kế và thi công. Thử nghiệm nén SSC là thử nghiệm trong phòng, không phải thử nghiệm bơm vào đất thực tế và mục đích của nó là đánh giá theo loại vật liệu và tỷ lệ phối trộn. Thử nghiệm SSCS có thể coi là thử nghiệm hiện trường, nơi một mô hình đất được tạo ra để thực hiện bơm vào.

Như thể hiện trong Hình 7, khi so sánh cường độ nén đơn trục tại thời điểm 28 ngày, mẫu SSCS là 1,645Mpa có cường độ cao hơn khoảng 1,36 lần so với SSC là 1,207 Mpa. Điều này có thể là do silica sol có tính năng phát huy cường độ cao khi được bơm vào nền đất thực tế.

Hình 8 chỉ ra hình ảnh vi mô của mẫu cát sau khi trộn với dung dịch Silica-sol, chất mới hình thành tạo thành loại vật liệu mới làm giảm kích thước lỗ rỗng so với ban đầu. Rõ ràng có sự thay đổi về các chất so với ban đầu và lỗ rỗng giảm đi làm gia tăng cường độ cho cát sau khi trộn.



*a) - Hình ảnh cát trước khi gia cố*



*b - Hình ảnh cát sau khi gia cố*

Hình 8. Hình ảnh vi mô của mẫu khi trộn với dung dịch silica-sol

## 4. KẾT LUẬN

Kết quả so sánh độ bền nén của SSCS và SSC: So với độ bền nén của SSCS và SSC sau 28 ngày, vật liệu silica sol cho thấy SSCS có độ bền cao hơn khoảng 1,36 lần so với SSC, cho thấy có thể sử dụng vật liệu này cho các công trình xây dựng yêu cầu độ bền cao.

Phương pháp gia cố nền bằng vữa silica sol cho thấy khả năng thẩm thấu tốt vào đất, phù hợp với điều kiện nền yếu và các vị trí khó gia cố bằng phương pháp truyền thống. Sau khi bơm, vữa tạo thành cấu trúc gel liên kết các hạt đất, góp phần cải thiện đáng kể tính chất cơ học của nền.

Kết quả thí nghiệm cho thấy việc gia cố bằng silica sol giúp nâng cao khả năng chịu tải của nền, giảm biến dạng và độ lún, từ đó góp phần phục hồi và ổn định kết cấu nền móng mặt đường BTXM.

Từ các kết quả nghiên cứu, có thể khẳng định rằng phương pháp gia cố nền đường BTXM bằng silica sol là khả thi, có tiềm năng ứng dụng cao trong thực tiễn nhằm sửa chữa, nâng cao cao độ và kéo dài tuổi thọ công trình mặt đường.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đề tài cấp Nhà nước mã số ĐTĐL.CN-11/24.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] S. Arasan, F. Işik, R. K. Akbulut, A. S. Zaimoğlu and O. Nasirpur. Rapid Stabilization of Sands with Deep Mixing Method Using Polyester. *Periodica Polytechnica Civil Engineering,* vol. 59, no. 3, pp. 405-411, 2015.

[2] Z. Bonić et al. Chemical Stabilisation of Clayey Soil-Comparison of a Variety of Additives with Respect to Their Effects on the Soil Compressive Strength and Shear Strength. *Buildings,* vol. 15, no. 4, 2025.

[3] S. A. Khanday, M. Hussain and A. K. Das. A Review on Chemical Stabilization of Peat. G*eotechnical and Geological Engineering,* vol. 39, no. 8, pp. 5429-5443, 2021.

[4] Z. G. Luo, X. P. Lei, Z. F. Zhou, Y. Liu and Y. Lai. Testing Research on Application of Rapid-Hardening Sulphoaluminate Concrete in Rapid Repair Engineering for Airport Pavement. *Applied Mechanics and Materials,* vol. 405-408, pp. 1028-1031, 2013.

[5] J. Su, W. Zhang, H. Xiang and X. Guo. Application and Analysis of Ground Penetrating Radar in Non-destructive Testing and Evaluation of Civil Airport Runway. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science,* vol. 153, no. 3, 2018.

[6] B. Świerzewski and M. Wesołowski. Reconstruction of the Technical Condition of Concrete Airfield Pavements with the Use of Prefabricated Slab Technology. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 960, no. 2, 2020.

[7] Y. F. Tan, D. Q. Wu, C. H. Lim and E. Arasu. Chemilink in-situ rehabilitations for various pavements in Malaysia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering,* vol. 512, 2019.

[8] H. Tanaka, T. Yamamoto and S. Shibata. Field application of sodium silicate grout for highway subgrade improvement in Tokyo metropolitan area. *Soils and Foundations,* vol. 59, no. 4, pp. 967-979, 2019.

[9] G. Zhu, Q. Zhang, X. Lin, R. Liu, L. Zhang and J. Zhang. Analysis of the Sealing Mechanism of Cement-Sodium Silicate Grout in Rock Fractures with Flowing Water. *Water,* vol. 12, no. 7, 2020.

[10] D. o. H. Thailand. Innovative Ground Improvement Techniques for Transportation Infrastructure in Soft Soil Regions of Thailand. *Technical Report DHT-2021-156,* 2021.

[11] C. Geotech. Silicasol Jacking of Grouting Method (S-JOG Method), 2021.

[12] N. T. Hiep, Pham Huy Khang, Tran Thi Thuy, Pham Quang Thong and H. T. Trung. Application of georadar method for detecting base and subgrade distresses of rigid pavement at Noibai international airport. *Science Journal of Transportation,* vol. 2022, 2021.

[13] T. T. T. Hiền, N. C. Lân, N. T. Hiệp, P. H. Khang và N. Q. Dũng. Nghiên cứu công nghệ S-Jog gia cố nền đất và phục hồi kết cấu bị hư hỏng do lún. *Tạp chí Giao thông vận tải*, số 3, 2025.

[14] C. Sogaard, J. Funehag and Z. Abbas. Silica sol as grouting material: *a physio-chemical analysis. Nano Converg,* vol. 5, no. 1, p. 6, 2018.

■Ngày nhận bài: 21/01/2026 ■Ngày sửa bài: 30/01/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 09/02/2026

# Bê tông tự lèn sử dụng cốt liệu tái chế từ phế thải xây dựng

## Self compacting concrete using recycled aggregates from construction waste

**> TS TRẦN ĐỨC TRUNG**
GV Khoa Vật liệu xây dựng, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội
Email: trungtd@huce.edu.vn

**TÓM TẮT**

Cốt liệu tái chế (CLTC) từ phế thải xây dựng đã được nghiên cứu sử dụng nhiều trên thế giới cũng như tại Việt Nam để làm móng đường giao thông, vật liệu gia cố nền đất, cốt liệu cho vữa và bê tông...Tuy nhiên do hạt CLTC có độ rỗng và độ hút nước lớn, cường độ cơ học thấp, khả năng liên kết với đá xi măng kém hơn so với cốt liệu tự nhiên (CLTN), vì thế bê tông chế tạo từ CLTC thường có chất lượng thấp hơn so với bê tông thông dụng, đặc biệt là khi sử dụng cốt liệu nhỏ là CLTC. Các nghiên cứu hiện nay thường tập trung vào việc sử dụng cốt liệu lớn từ phế thải bê tông trong khi ít quan tâm đến cốt liệu nhỏ tái chế với hàm lượng lớn. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu chế tạo bê tông tự lèn sử dụng hoàn toàn cốt liệu (cốt liệu lớn - CLL và cốt liệu nhỏ - CLN) từ CLTC để thay thế CLTN. Kết quả cho thấy hỗn hợp bê tông có khả năng tự lèn tốt, độ đồng nhất cao, cường độ nén ở tuổi 28 ngày đạt lớn hơn 30MPa.

**Từ khóa:** Bê tông tự lèn; cốt liệu tái chế; phế thải xây dựng; độ chảy loang; khả năng tự lèn; cường độ nén.

**ABSTRACT**

Recycled aggregates derived from construction waste have been extensively studied and applied in various fields, including road bases, stabilized materials, and fine and coarse aggregates, in Vietnam and globally. However, these aggregates have several drawbacks, including high porosity, high water absorption, low strength, and weak bonding strength compared to natural aggregates. Consequently, concrete containing recycled aggregates has lower performance than conventional concrete, particularly when fine recycled aggregates are used in concrete mixes. Moreover, most past studies have focused solely on the influence of coarse recycled aggregate, without considering the role of fine recycled aggregates on the properties of concrete. Therefore, this paper presents the evaluation of concrete produced by replacing natural aggregates with whole recycled aggregates. The results indicated that the concrete fresh had a high self-compacting capacity and good homogeneity, while the 28-day compressive strength attained over 30 MPa.

**Keywords:** Self-compacting concrete; recycle aggregate; construction waste; slump flow; self-compacting capacity; compressive strength.

### 1. GIỚI THIỆU

Phế thải của quá trình xây dựng, cải tạo, phá dỡ có thể được tái sử dụng vào các mục đích khác nhau tùy thuộc vào nguồn gốc và chất lượng của chúng [11]. Đối với phế thải xây dựng có chất lượng thấp, có nhiều tạp chất thì có thể sử dụng cho công trình san lấp mặt bằng, với hỗn hợp có chất lượng trung bình (tái chế từ tường gạch xây, hỗn hợp tường xây và kết cấu bê tông, gạch ốp lát) được sử dụng làm lớp nền móng đường giao thông, hỗn hợp có chất lượng tốt (như bê tông xi măng) thường được sử dụng cho lớp kết cấu móng trên hay mặt đường, sử dụng làm cốt liệu cho vữa và bê tông [1].

Hạt CLTC thường có hình dạng không xác định, bề mặt nhám ráp, góc cạnh và độ rỗng xốp lớn hơn so với CLTN [1], [3]. Do đó việc đánh giá ảnh hưởng của chúng đến tính chất của vữa và bê tông sẽ phức tạp hơn so với bê tông thông dụng sử dụng CLTN. Hiện nay đang có một số nghiên cứu đưa ra quan điểm khác nhau về ảnh hưởng của bề mặt hạt CLTC đến tính chất của vữa và bê tông. Theo Zaharrieva R [10] bề mặt hạt CLTC thường có nhiều vết nứt, làm tăng lượng nước và không khí hấp thụ vào bên trong hạt, nhưng lại tăng khả năng liên kết giữa đá xi măng và bề mặt hạt cốt liệu. Trong khi theo tác giả [1], CLTC có độ rỗng và độ hút nước lớn, cường độ cơ học thấp, khả năng liên kết với đá xi măng kém hơn so với cốt liệu tự nhiên. Nghiên cứu của Hansen T.C cũng cho rằng cốt liệu nhỏ được tạo ra từ phế thải bê tông thường thô, ráp và góc cạnh hơn so với cát tự nhiên. Điều này dẫn đến làm tăng nội ma sát, từ đó làm giảm tính công tác của hỗn hợp bê tông [12]. Đối với hỗn hợp bê tông tự lèn, do yêu cầu về độ chảy cao nên việc sử dụng cốt liệu nhỏ tái chế cần đặc biệt chú ý do cần lượng dùng nước lớn, điều này rất dễ xảy ra hiện tượng tách nước, phân tầng, đồng thời bê tông có cường độ thấp. Theo nghiên cứu của tác giả Tống Tôn Kiên đã chỉ ra rằng sử dụng CLTC sẽ làm tăng mức độ hao tổn tính công tác của hỗn hợp bê tông, đặc biệt là trong khoảng 60 phút đầu tiên, đồng thời để giữ nguyên tính công tác ban đầu thì hỗn hợp bê tông thì cứ sử dụng thay thế 25% CLTC cần bổ sung thêm từ 8-9 lít nước cho 1m$^3$ bê tông [1]. Đặc tính này cũng được các nghiên cứu [2], [12] chỉ ra với quy luật khá tương đồng, tuy nhiên lượng nước cần bổ sung là 5% trong trường hợp sử dụng cốt liệu lớn tái chế và ngưỡng này có thể lên đến 15% đối với sự thay thế bởi cốt liệu nhỏ tái chế, đồng

thời hỗn hợp bê tông cũng có xu hướng suy giảm độ sụt nhanh chóng. Điều này vô cùng bất lợi đối với hỗn hợp bê tông tự lèn vốn đòi hỏi tính linh động cao. Theo Kou S.C, độ hút nước, cường độ nén dập và thành phần hạt là những yếu tố ban đầu cần xem xét khi đánh giá chất lượng của CLTC và các yếu tố này cũng ảnh hưởng quyết định đến các tính chất của bê tông [4-7].

Cốt liệu nhỏ tái chế từ khối xây gạch đỏ đã được nghiên cứu sử dụng thay thế hoàn toàn cố liệu nhỏ tự nhiên để chế tạo bê tông tự lèn. Kết quả cho thấy so với bê tông tự lèn sử dụng cốt liệu tự nhiên, việc sử dụng 100% cốt liệu nhỏ tái chế từ khối gạch xây đỏ làm tăng lượng dùng phụ gia siêu dẻo, giảm 16,6% cường độ nén, cường độ uốn giảm 5,82%, độ thấm ion clorua tăng 164,6%, độ mài mòn tăng 22,9% [8]. Tác giả này cũng đã nghiên cứu đánh giá hiệu quả kinh tế và môi trường của bê tông tự lèn (BTTL) sử dụng CLLTC và tro bay hàm lượng cao trong điều kiện Việt Nam. Kết quả đánh giá cho thấy BTTL sử dụng 100%CLLTC và 50% tro bay theo khối lượng bột (xi măng + tro bay) có thể sản xuất BTTL có chi phí thấp hơn khoảng 3,44% so với bê tông truyền thống cùng mác (BT300).

## 2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Vật liệu sử dụng

Xi măng PC40 Bút Sơn được sử dụng trong nghiên cứu. Các tính chất cơ lý của XM được thể hiện tại Bảng 1 và thỏa mãn theo TCVN 2682-2020. Nước (N) dùng trong nghiên cứu là nước máy, thỏa mãn theo tiêu chuẩn TCVN 4506: 2012. Đề tài sử dụng phụ gia siêu dẻo (PGSD) kéo dài đông kết gốc polymer thế hệ mới có tên là XO-01.

Cốt liệu nhỏ tái chế (CLNTC) và cốt liệu lớn tái chế (CLLTC) sử dụng trong nghiên cứu được nghiền từ kết cấu bê tông phá dỡ tại các công trình. Bên cạnh đó còn sử dụng cốt liệu lớn là đá dăm (CLLTN) trong các mẫu đối chứng. Các tính chất cơ lý của CLNTC và CLLTC thể hiện tại Bảng 2, Bảng 3 và Hình 1. Cốt liệu thoả mãn tiêu chuẩn TCVN 7570:2006.

Phụ gia khoáng (PGK) sử dụng gồm: Tro bay (TB), Xỉ lò cao (XLC) và Silica fume (SF). Thành phần hoá và lượng MKN được thể hiện tại Bảng 4, các tính chất cơ lý của PGK thể hiện tại Bảng 5, trong đó chỉ số hoạt tính với xi măng được xác định ở tuổi 28 ngày. Hình ảnh PGK và cấu trúc bề mặt hạt được trình bày tại Hình 2 và Hình 3.

Bảng 1. Tính chất cơ lý của xi măng PC40 Bút Sơn

| STT | Chỉ tiêu thí nghiệm | Đơn vị | Kết quả | Phương pháp thí nghiệm |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Kích thước hạt trung bình | µm | 14,61 | Phương pháp lazer |
| 2 | Khối lượng riêng | g/cm$^3$ | 3,05 | TCVN 13605:2023 |
| 3 | Lượng sót sàng 90mm | % | 1,8 | TCVN 13605:2023 |
| 4 | Độ mịn Blaine | cm$^2$/g | 3550 | TCVN 13605:2023 |
| 5 | Độ dẻo tiêu chuẩn. | % | 29,5 | TCVN 6017:2015 |
| 6 | - Thời gian bắt đầu đông kết<br>- Thời gian kết thúc đông kết | Phút<br>Phút | 120<br>205 | TCVN 6017:2015 |
| 7 | Độ ổn định thể tích | mm | 1,5 | TCVN 6017:2015 |
| 8 | - Cường độ nén ở tuổi 3 ngày<br>- Cường độ nén ở tuổi 28 ngày | MPa<br>MPa | 25,4<br>46,8 | TCVN 6016:2011 |

Bảng 2. Tính chất cơ lý của CLNTC

| STT | Chỉ tiêu thí nghiệm | Đơn vị | CLNTC | Phương pháp thí nghiệm |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Khối lượng riêng | g/cm$^3$ | 2,61 | TCVN 7572-4:2006 |
| 2 | Khối lượng thể tích bão hòa | g/cm$^3$ | 2,57 | TCVN 7572-4:2006 |
| 3 | Khối lượng thể tích khô | g/cm$^3$ | 2,41 | TCVN 7572-4:2006 |
| 4 | Độ hút nước | % | 6,64 | TCVN 7572-4:2006 |
| 5 | Khối lượng thể tích xốp | kg/m$^3$ | 1420 | TCVN 7572-6:2006 |
| 6 | Mô đun độ lớn | - | 2,74 | TCVN 7572-2:2006 |
| 7 | Hàm lượng bụi, bùn, sét | % | 1,05 | TCVN 7572-8:2006 |

Bảng 3. Tính chất cơ lý của CLLTC

| STT | Chỉ tiêu thí nghiệm | Đơn vị | CLLTC | CLLTN | Phương pháp thí nghiệm |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Khối lượng riêng | g/cm$^3$ | 2,67 | 2,72 | TCVN 7572-5:2006 |
| 2 | Khối lượng thể tích bão hòa | g/cm$^3$ | 2,53 | 2,70 | TCVN 7572-5:2006 |
| 3 | Khối lượng thể tích khô | g/cm$^3$ | 2,40 | 2,68 | TCVN 7572-5:2006 |
| 4 | Độ hút nước | % | 5,42 | 0,76 | TCVN 7572-5:2006 |
| 5 | Khối lượng thể tích xốp | kg/m$^3$ | 1380 | 1470 | TCVN 7572-6:2006 |
| 6 | Hàm lượng bụi bùn sét | % | 0,84 | 0,25 | TCVN 7572-8:2006 |
| 7 | Hàm lượng hạt thoi dẹt | % | 2,63 | 5,47 | TCVN 7572-13:2006 |
| 8 | Độ nén dập trong xi lanh | % | 15,8 | 13,1 | TCVN 7572-11:2006 |
| 9 | Kích thước hạt cốt liệu ($D_{max}$) | mm | 20 | 20 | TCVN 7572-2:2006 |

*a. Nghiền cốt liệu từ bê tông phế thải* *b. Sàng phân loại cốt liệu*

Hình 1. Quy trình nghiền và sàng phân loại CLL

Bảng 4. Thành phần hoá của PGK

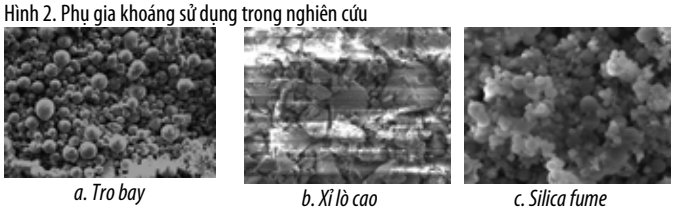
| Loại PGK | Hàm lượng các oxit (%) | | | | | | | | MKN |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | CaO | MgO | $K_2O$ | $Na_2O$ | MnO | |
| TB | 54,52 | 27,33 | 5,88 | 1,02 | 1,37 | 3,16 | 0,20 | - | 5,21 |
| XLC | 35,70 | 16,43 | 0,48 | 33,6 | 8,59 | 2,21 | 0,19 | 2,51 | 0,87 |
| SF | 94,01 | 0,15 | 1,04 | 0,97 | 0,74 | 1,39 | 0,09 | - | 1,24 |

Bảng 5. Tính chất cơ lý của PGK

| STT | Chỉ tiêu thí nghiệm | Đơn vị | Kết quả | | | Phương pháp thí nghiệm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | TB | XLC | SF | |
| 1 | Khối lượng riêng | g/cm$^3$ | 2,28 | 2,89 | 2,20 | TCVN 13605:2023 |
| 2 | Khối lượng thể tích xốp | kg/m$^3$ | 920 | 980 | 890 | TCVN 13605:2023 |
| 3 | Chỉ số hoạt tính với xi măng | % | 83 | 102 | 112 | TCVN 10302:2014<br>TCVN 4315: 2024<br>TCVN 8827:2020 |
| 4 | Kích thước hạt trung bình | µm | 7,87 | 9,38 | 0,24 | Phương pháp Lazer |

*a. Tro bay* *b. Xỉ lò cao* *c. Silica fume*

Hình 2. Phụ gia khoáng sử dụng trong nghiên cứu



*a. Tro bay* *b. Xỉ lò cao* *c. Silica fume*

Hình 3. Cấu trúc bề mặt hạt của phụ gia khoáng

### 2.2. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu đã sử dụng các phương pháp thí nghiệm dựa trên hệ thống tiêu chuẩn của Việt Nam gồm các thí nghiệm xác định các tính

chất cơ lý của XM (TCVN 13605:2023, TCVN 6017:2015, TCVN 6016:2011), cốt liệu cho vữa và bê tông (TCVN 7572:2006), phụ gia khoáng hoạt tính (TCVN 10302:2014, TCVN 4315: 2024, TCVN 8827:2020, các tính chất của hỗn hợp bê tông tự lèn (TCVN 12209:2018), cường độ chịu nén của bê tông (TCVN 3118:2022). Ngoài ra nghiên cứu còn sử dụng một số phương pháp thí nghiệm phi tiêu chuẩn để xác định sự phân bố kích thước hạt của XM, TB, XLC, SF (phương pháp tán xạ lazer), phương pháp chụp ảnh bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM) để xác định cấu trúc bề mặt hạt TB, XLC, SF.

## 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ BÀN LUẬN

### 3.1. Thiết kế thành phần cấp phối bê tông tự lèn

Hiện nay có khá nhiều phương pháp thiết kế thành phần hỗn hợp bê tông tự lèn [14]. Trong nghiên cứu sử dụng phương pháp EFNAR. Trình tự của phương pháp và kết quả thiết kế được thể hiện dưới đây và thống kê tại Bảng 6.

-Tổng lượng dùng bột theo khối lượng từ 380÷600kg/m$^3$ bê tông, nghiên cứu chọn hàm lượng XM là: 500kg và 550kg.

-Thể tích CLL từ 270÷360 lít (khoảng 750÷1000 kg), lựa chọn sử dụng hàm lượng là 280 lít; 320 lít và 350 lít.

-Tỷ lệ N/XM: trong nghiên cứu, tỷ lệ này được lựa chọn là 0,4 và 0,45.

-Hàm lượng CLN: thường chiếm từ 48-53% tổng thể tích cốt liệu.

-Hàm lượng PGSD: được sử dụng với mục đích điều chỉnh tính công tác của hỗn hợp bê tông theo yêu cầu.

-Tính toán theo phương pháp tính theo thể tích tuyệt đối, giả sử hàm lượng bọt khí và PGSD chiếm 3% (30 lít).

Bảng 6. Thành phần cấp phối bê tông tự lèn sử dụng CLTC

| Ký hiệu | Lượng vật liệu lựa chọn | | | Lượng vật liệu tính toán (kg/m$^3$) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | N/CKD | XM (kg) | CLL (lít) | CLLTC (kg) | CLNTC (kg) | N (kg) |
| CP1 | 0,40 | 500 | 280 | 748 | 851 | 200 |
| CP2 | | | 320 | 854 | 747 | 200 |
| CP3 | | | 350 | 935 | 668 | 200 |
| CP4 | | 550 | 280 | 748 | 756 | 220 |
| CP5 | | | 320 | 854 | 652 | 220 |
| CP6 | | | 350 | 935 | 573 | 220 |
| CP7 | 0,45 | 500 | 280 | 748 | 786 | 225 |
| CP8 | | | 320 | 854 | 681 | 225 |
| CP9 | | | 350 | 935 | 603 | 225 |
| CP10 | | 550 | 280 | 748 | 684 | 248 |
| CP11 | | | 320 | 854 | 580 | 248 |
| CP12 | | | 350 | 935 | 502 | 248 |

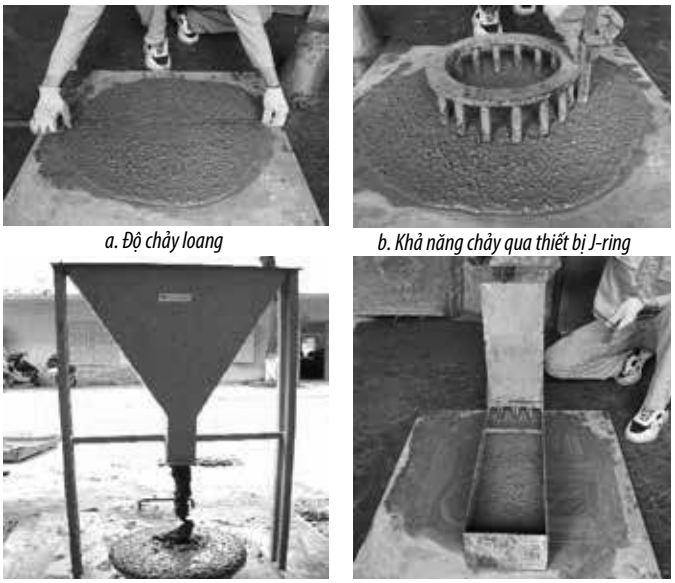
### 3.2. Quy trình chế tạo và thí nghiệm mẫu

CLLTC và CLNTC sẽ được trộn đều với nhau trước trong thời gian khoảng 4 phút, sau đó đưa vào trộn với 50% nước trong thời gia khoảng 2 phút với chế độ quay chậm. Sau đó XM (hoặc XM và PGK) được thêm vào trong hỗn hợp và trộn trong khoảng thời gian 2 phút. Dừng máy trộn để đảo trộn hỗn hợp bằng bay trong 1 phút, tiếp tục cho vào 50% còn lại cùng PGSD. Tổng thời gian trộn hỗn hợp là 9 phút.

Mẫu bê tông thí nghiệm tính chất cơ lý được đúc trong khuôn hình lập phương với kích thước cạnh là 100mm. Sau khi đúc 24h, mẫu được tháo khuôn, sau đó ngâm bảo dưỡng trong nước đến tuổi thí nghiệm. Cường độ nén được thí nghiệm ở tuổi 3 ngày, 7 ngày và 28 ngày. Khối lượng thể tích được thí nghiệm ở tuổi 28 ngày.

### 3.3. Khả năng tự lèn của hỗn hợp bê tông

Các thí nghiệm đối với khả năng tự lèn của hỗn hợp bê tông được đánh giá thông qua độ chảy loang (ĐCL), khả năng chảy qua thiết bị J-ring (PJ), V-box (TV) và L-box (PL). Kết quả được thống kê ở Bảng 7, Hình 4, Hình 5 và Hình 6.



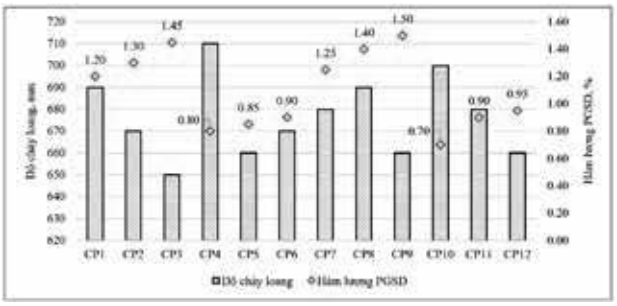
*a. Độ chảy loang* *b. Khả năng chảy qua thiết bị J-ring*

*c. Khả năng chảy qua V-box* *d. Khả năng chảy qua L-box*

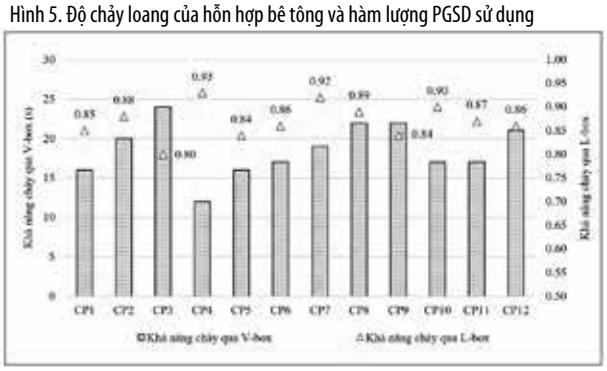
Hình 4. Thí nghiệm khả năng tự lèn của hỗn hợp bê tông

Bảng 7. Khả năng tự lèn của hỗn hợp bê tông

| Ký hiệu | ĐCL (mm) | PJ (mm) | TV (s) | PL (H2/H1) | PGSD (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| CP1 | 690 | 10 | 16 | 0,85 | 1,20 |
| CP2 | 670 | 7 | 20 | 0,88 | 1,30 |
| CP3 | 670 | 7 | 24 | 0,80 | 1,45 |
| CP4 | 710 | 8 | 12 | 0,93 | 0,80 |
| CP5 | 660 | 8 | 16 | 0,84 | 0,85 |
| CP6 | 670 | 9 | 17 | 0,86 | 0,90 |
| CP7 | 680 | 8 | 19 | 0,92 | 1,25 |
| CP8 | 690 | 10 | 22 | 0,89 | 1,40 |
| CP9 | 660 | 8 | 22 | 0,84 | 1,50 |
| CP10 | 700 | 9 | 17 | 0,90 | 0,70 |
| CP11 | 680 | 7 | 17 | 0,87 | 0,90 |
| CP12 | 660 | 9 | 21 | 0,86 | 0,95 |




Hình 5. Độ chảy loang của hỗn hợp bê tông và hàm lượng PGSD sử dụng




Hình 6. Khả năng chảy qua thiết bị V-box và L-box của hỗn hợp bê tông

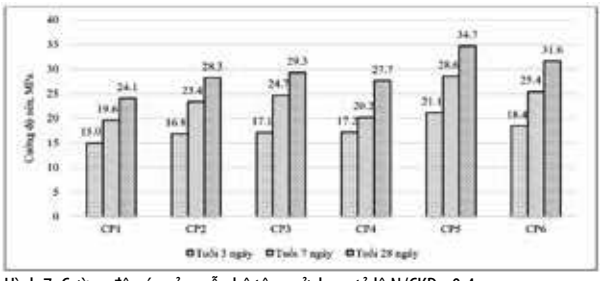
Kết quả nghiên cứu cho thấy: Hỗn hợp bê tông có độ chảy loang đạt SF2, khả năng chảy qua V-box đạt VF2 và khả năng chảy qua L-box đạt PL2 theo TCVN 12209:2018. Đánh giá bằng cảm quan, hỗn hợp bê tông có độ đồng nhất tốt, không có hiện tượng tách nước, phân tầng. Khi tăng lượng dùng chất kết dính từ 500 kg/m$^3$ lên 550 kg/m$^3$ đều làm giảm đáng kể lượng dùng PGSD. Quy luật này đúng với cả tỷ lệ N/CKD là 0.4 và 0.45. Với cùng lượng dùng chất kết dính và tỷ lệ N/CKD thì khi tăng hàm lượng CLLTC sẽ làm tăng đáng kể lượng dùng PGSD, đồng thời khả năng chảy qua thiết bị V-box và L-box cũng có xu hướng giảm. Mặt khác, với lượng dùng chất kết dính như nhau, khi tăng tỷ lệ N/CKD thường sẽ làm giảm lượng dùng PGSD để hỗn hợp bê tông đạt được khả năng tự lèn tương tự đương nhau. Tuy nhiên kết quả nghiên cứu lại cho thấy điều ngược lại. Cụ thể, hàm lượng PGSD sử dụng có xu hướng tăng chút ít khi tăng tỷ lệ N/CKD trong khi vẫn giữ nguyên lượng dùng chất kết dính. Nguyên nhân có thể là do ảnh hưởng của mức ngậm cát của các cấp phối. Rõ ràng với mức ngậm cát của các cấp phối giảm sẽ làm giảm lượng vữa sử dụng, từ đó ảnh hưởng đến khả năng tự lèn của hỗn hợp bê tông. Lượng tăng PGSD không lớn một phần là do tác động của tỷ lệ N/CKD.

**3.4. Cường độ nén của bê tông**

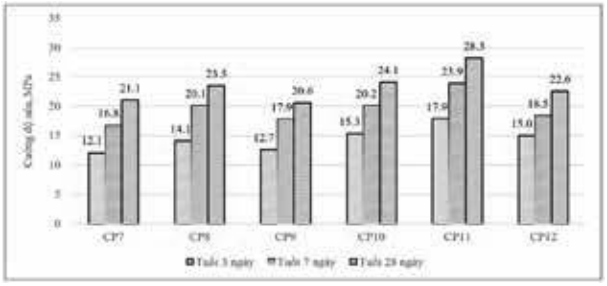
Hỗn hợp bê tông sau khi đạt yêu cầu về khả năng tự lèn được đúc mẫu thí nghiệm cường độ nén trong khuôn lập phương, cạnh 100mm. Kết quả nén thực hiện ở tuổi 3 ngày, 7 ngày và 28 ngày, thể hiện tại Bảng 8, Hình 7 và Hình 8.

Bảng 8. Cường độ nén của mẫu bê tông

| Ký hiệu | Lượng vật liệu lựa chọn | | Cường độ nén (MPa) | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | N/CKD | XM(kg) | R3 | R7 | R28 |
| CP1 | 0,40 | 500 | 14,99 | 19,56 | 24,06 |
| CP2 | | | 16,81 | 23,38 | 28,26 |
| CP3 | | | 17,06 | 24,69 | 29,33 |
| CP4 | | 550 | 17,16 | 22,15 | 27,65 |
| CP5 | | | 21,13 | 28,56 | 34,73 |
| CP6 | | | 18,42 | 25,44 | 31,62 |
| CP7 | 0,45 | 500 | 12,13 | 16,81 | 20,08 |
| CP8 | | | 14,12 | 20,14 | 23,51 |
| CP9 | | | 12,65 | 17,86 | 20,59 |
| CP10 | | 550 | 15,34 | 20,15 | 24,14 |
| CP11 | | | 17,91 | 23,94 | 28,25 |
| CP12 | | | 14,99 | 18,45 | 22,61 |




Hình 7. Cường độ nén của mẫu bê tông sử dụng tỷ lệ N/CKD=0,4




Hình 8. Cường độ nén của mẫu bê tông sử dụng tỷ lệ N/CKD=0,45

Kết quả nghiên cứu cho thấy: Ở tuổi 28 ngày, các cấp phối đều đạt cường độ trên 20MPa, trong đó mẫu sử dụng CP5 cho cường độ nén cao nhất đạt 34,7 MPa. Với tỷ lệ N/CKD = 0,4 khi tăng thể tích CLLTC từ 280 lít lên 320 lít sẽ làm tăng cường độ nén của mẫu bê tông ở tuổi 28 ngày lên khoảng 17,5÷25,6% tuỳ thuộc vào dùng chất kết dính là 500kg/m$^3$ hay 550 kg/m$^3$. Tuy nhiên khi thể tích CLLTC tiếp tục tăng lên mức 350 lít sẽ làm tăng không đáng kể, chỉ khoảng 4% cường độ nén của bê tông ở tuổi 28 ngày khi lượng dùng chất kết dính là 500 kg/m$^3$, thậm chí có xu hướng giảm khoảng 9% khi lượng dùng chất kết dính là 550 kg/m$^3$. Tương tự khi tỷ lệ N/CKD =0,45 khi tăng thể tích CLLTC từ 280 lít lên 320 lít làm tăng cường độ nén của mẫu bê tông ở tuổi 28 ngày lên khoảng khoảng 11,7÷17% tuỳ thuộc lượng dùng chất kết dính là 500 kg/m$^3$ hay 550 kg/m$^3$. Nếu tiếp tục tăng lượng CLLTC lên 350 lít sẽ làm giảm đáng kể (từ 12÷20%) cường độ nén của mẫu bê tông ở tuổi 28 ngày. Như vậy có thể thấy hàm lượng CLTC sử dụng có ảnh hưởng lớn đến cường độ nén của bê tông. Mức độ ảnh hưởng đối với tỷ lệ N/CKD = 0,4 là lớn hơn so với tỷ lệ N/CKD = 0,45. Bên cạnh đó khi tăng hàm lượng chất kết dính từ 500 kg/m$^3$ lên 55 0kg/m$^3$ có xu hướng cải thiện cường độ nén của mẫu bê tông từ 8÷22%.

**3.5. Nghiên cứu với mẫu đối chứng**

*3.5.1. Lựa chọn cấp phối nghiên cứu đối chứng*

Từ kết quả thí nghiệm khả năng tự lèn và cường độ nén, nghiên cứu chọn ra cấp phối CP5 là cấp phối hợp lý để đối chứng. Các cấp phối nghiên cứu đối chứng gồm: cấp phối sử dụng TB, XLC, SF với hàm lượng thay thế XM là 20% theo khối lượng, cấp phối sử dụng CLLTN thay thế CLLTC, trong khi vẫn giữ nguyên có tỷ lệ N/CKD, thể tích CLL, mức ngậm cát và hàm lượng chất kết dính tương tự như đối với cấp phối hợp lý (CP5). Sử dụng PGSD để điều chỉnh độ chảy loang của hỗn hợp bê tông ở mức SF2. Thành phần cấp phối được thể hiện tại Bảng 9.

Bảng 9. Thành phần các cấp phối sử dụng trong nghiên cứu đối chứng

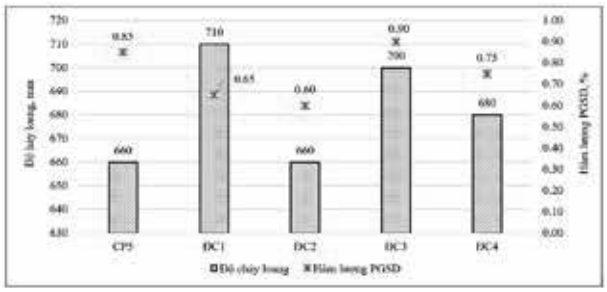
| Ký hiệu | Tỷ lệ N/CKD | Lượng vật liệu tính toán cho 1m$^3$ (kg) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | CKD | TB | XLC | SF | XM | CLLTC | CLLTN | CLNTC |
| CP5 | 0,4 | 550 | 0 | 0 | 0 | 550 | 854 | 0 | 652 |
| ĐC1 | | | 110 | 0 | 0 | 440 | 854 | 0 | 652 |
| ĐC2 | | | 0 | 110 | 0 | 440 | 854 | 0 | 652 |
| ĐC3 | | | 0 | 0 | 110 | 440 | 854 | 0 | 652 |
| ĐC4 | | | 0 | 0 | 0 | 550 | 0 | 870 | 652 |

*3.5.2. Khả năng tự lèn của hỗn hợp bê tông nghiên cứu đối chứng*

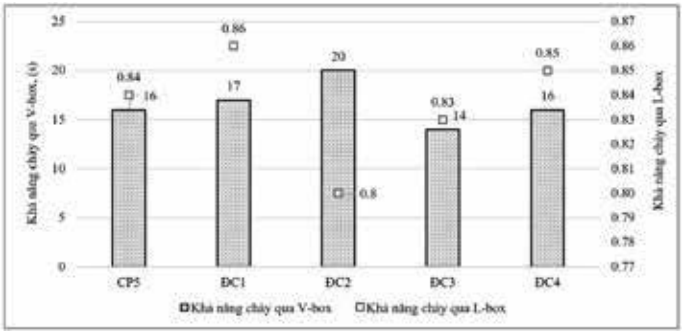
Quy trình trộn và chế tạo mẫu được thực hiện tương tự như đã trình bày tại mục 3.2. Kết quả nghiên cứu được trình bày tại Bảng 10, Hình 9 và Hình 10.

Bảng 10. Khả năng tự lèn của hỗn hợp bê tông nghiên cứu đối chứng

| Ký hiệu | ĐCL (mm) | PJ (mm) | TV (s) | PL (H2/H1) | PGSD (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| CP5 | 660 | 8 | 16 | 0,84 | 0,85 |
| ĐC1 | 710 | 9 | 17 | 0,86 | 0,65 |
| ĐC2 | 660 | 10 | 20 | 0,80 | 0,60 |
| ĐC3 | 700 | 8 | 14 | 0,83 | 0,95 |
| ĐC4 | 680 | 7 | 16 | 0,85 | 0,75 |




Hình 9. Độ chảy loang và hàm lượng PGSD sử dụng của cấp phối đối chứng




Hình 10. Khả năng chảy qua thiết bị V-box và L-box của cấp phối đối chứng

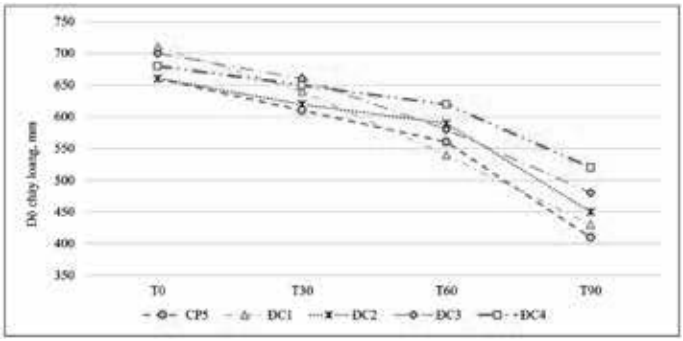
Hỗn hợp bê tông nghiên cứu đối chứng đều đạt yêu cầu về khả năng tự lèn, độ đồng nhất theo quan sát cảm quan tốt, không có hiện tượng tách nước, phân tầng. Sử dụng phụ gia khoáng hoạt tính TB và XLC làm giảm từ 24÷30% lượng dùng PGSD, trong khi SF lại làm tăng lượng dùng PGSD lên khoảng 12%. Sử dụng CLLTN làm giảm khoảng 11,5% hàm lượng PGSD so với cấp phối sử dụng CLLTC. Kết quả này hoàn toàn phù hợp với đặc tính cơ lý của CLLTN và CLLTC.

*3.5.3. Sự hao tổn độ chảy loang của hỗn hợp bê tông nghiên cứu đối chứng theo thời gian*

Sử dụng CLTC có thể ảnh hưởng đến khả năng duy trì độ chảy loang của hỗn hợp bê tông, từ đó ảnh hưởng lớn đến khả năng tự lèn của hỗn hợp bê tông. Kết quả nghiên cứu tiến hành thí nghiệm tại thời điểm ban đầu (T0), sau 30 phút (T30), 60 phút (T60) và 90 phút (T90), được trình bày tại Bảng 11 và Hình 11.

Bảng 11. Khả năng duy trì độ chảy loang của hỗn hợp bê tông nghiên cứu đối chứng

| Ký hiệu | Độ chảy loang (mm) | | | | PGSD (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| | T0 | T30 | T60 | T90 | |
| CP5 | 660 | 610 | 560 | 410 | 0,85 |
| ĐC1 | 710 | 640 | 540 | 430 | 0,65 |
| ĐC2 | 660 | 620 | 590 | 450 | 0,60 |
| ĐC3 | 700 | 660 | 580 | 480 | 0,95 |
| ĐC4 | 680 | 650 | 620 | 520 | 0,75 |




Hình 11. Sự suy giảm độ chảy loang của hỗn hợp bê tông theo thời gian

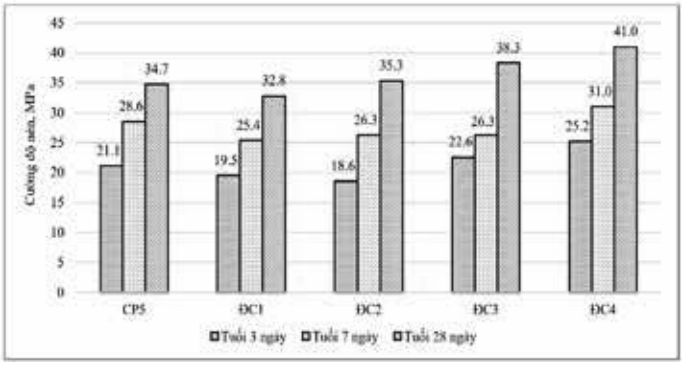
Hỗn hợp bê tông sử dụng phụ gia khoáng hoạt tính không có sự khác biệt nhiều so về độ chảy loang theo thời gian so với cấp phối hợp lý (CP5). Tuy nhiên khả năng duy trì độ chảy loang của cấp phối sử dụng CLLTN (ĐC4) lại tốt hơn so với cấp phối sử dụng CLTC, đặc biệt là sau 30 phút đầu tiên. Sau khoảng thời gian 90 phút, hỗn hợp bê tông của tất cả các cấp phối sử dụng CLLTC đều không duy trì được khả năng tự lèn do có độ chảy loang thấp hơn 550 mm. Như vậy nghiên cứu này cho thấy, CLLTC ảnh hưởng lớn đến sự suy giảm tính công tác của hỗn hợp bê tông tự lèn. Kết quả nghiên cứu này hoàn toàn phù hợp với nghiên cứu [13], đồng thời nghiên cứu cũng cho thấy việc sử dụng PGSD kéo dài đông kết gốc polymer thế hệ mới XO-01 là chưa thật sự phù hợp vì chỉ duy trì được tính công tác của hỗn hợp bê tông đến 30 phút.

*3.5.4. Cường độ nén của mẫu bê tông nghiên cứu đối chứng*

Quy trình chế tạo, bảo dưỡng và nén mẫu được thực hiện như mục 3.2. Kết quả thí nghiệm cường độ nén của mẫu bê tông đối chứng được thực hiện ở tuổi 3 ngày, 7 ngày và 28 ngày và thể hiện tại Bảng 12 và Hình 12.

Bảng 12. Cường độ nén mẫu bê tông nghiên cứu đối chứng

| Ký hiệu | Tỷ lệ N/CKD | Lượng vật liệu lựa chọn (kg) | | Cường độ nén (MPa) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | CKD | PGSD (%) | R3 | R7 | R28 |
| CP5 | 0,4 | 550 | 0,85 | 21,13 | 28,56 | 34,73 |
| ĐC1 | | | 0,65 | 19,49 | 25,41 | 32,82 |
| ĐC2 | | | 0,60 | 18,57 | 26,26 | 35,32 |
| ĐC3 | | | 0,95 | 22,57 | 26,26 | 38,32 |
| ĐC4 | | | 0,75 | 25,23 | 31,02 | 41,01 |




Hình 12. Cường độ nén của mẫu bê tông nghiên cứu đối chứng

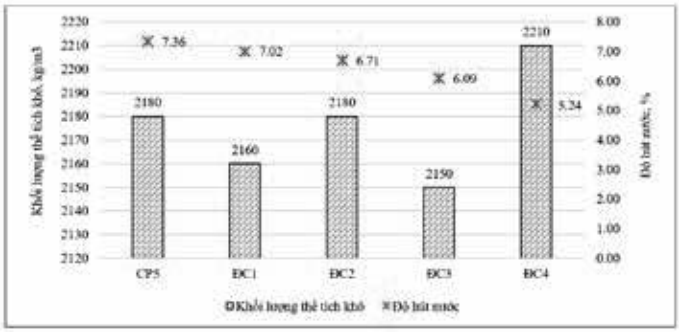
Kết quả nghiên cứu cho thấy: Ở tuổi 28 ngày, phụ gia khoáng TB và XLC làm tăng cường độ nén của mẫu bê tông khoảng 5÷8% so với mẫu CP5. Mức độ cải thiện cường độ nén như vậy là không lớn, trong khi sử dụng SF làm tăng cường độ nén của mẫu bê tông khoảng 14%. Như vậy có thể thấy hiệu quả sử dụng SF trong việc cải thiện cường độ nén của bê tông là lớn hơn so với TB và XLC. Điều này khá phù hợp với kết quả nghiên cứu về chỉ số hoạt tính của SF, TB và XLC so với xi măng. Đặc biệt, mẫu bê tông sử dụng CLLTN (ĐC4) thay thế CLLTC (CP5) cho cường độ nén ở tuổi 28 ngày đạt đến 41Mpa, giá trị này cao hơn so với mẫu sử dụng CP5 khoảng 18%. Kết quả này cũng thể hiện đúng bản chất của CLLTC và CLLTN thông qua kết quả đánh giá cường độ nén dập, độ hút nước.

*3.5.5. Khối lượng thể tích khô và độ hút nước của mẫu bê tông đối chứng*

Thí nghiệm khối lượng thể tích khô và độ hút nước của bê tông được thực hiện với mẫu lập phương, có kích thước cạnh là 100 mm ở tuổi 28 ngày. Kết quả được thể hiện tại Bảng 13 và Hình 13.

Bảng 13. Khối lượng thể tích khô và độ hút nước của mẫu bê tông nghiên cứu đối chứng

| Ký hiệu | Tỷ lệ N/CKD | Lượng vật liệu lựa chọn (kg) | | Khối lượng thể tích khô (kg/m$^3$) | Độ hút nước (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | CKD | PGSD (%) | | |
| CP5 | 0,4 | 550 | 0,85 | 2180 | 7,02 |
| ĐC1 | | | 0,65 | 2160 | 7,34 |
| ĐC2 | | | 0,60 | 2180 | 6,09 |
| ĐC3 | | | 0,95 | 2150 | 6,71 |
| ĐC4 | | | 0,75 | 2210 | 5,24 |




Hình 13. Khối lượng thể tích khô và độ hút nước của mẫu bê tông nghiên cứu đối chứng

Sử dụng phụ gia khoáng làm thay đổi không đáng kể khối lượng thể tích khô của mẫu bê tông. Bên cạnh đó mẫu bê tông sử dụng CLLTN (ĐC4) làm tăng khối lượng thể tích khô khoảng 14%, đồng thời làm giảm độ hút nước từ 7,36% xuống còn 5,24% so với mẫu sử dụng CCLTC (CP5). Kết quả này phù hợp với kết quả nghiên cứu về độ hút nước của CLLTN và CLLTC. tại Bảng 4.

## 4. KẾT LUẬN

- Hoàn toàn có thể sử dụng CLTC thay thế 100% CLTN để chế tạo hỗn hợp bê tông có khả năng tự lèn, độ đồng nhất cao, cường độ nén ở tuổi 28 ngày đạt lớn hơn 30MPa. Tuy nhiên để đạt được khả năng tự lèn gần tương đương thì hỗn hợp bê tông sử dụng CLLTC cần dùng lượng PGSD lớn hơn khoảng 11,5% đồng thời có xu hướng làm gia tăng sự hao tổn độ chảy loang theo thời gian so với hỗn hợp bê tông sử dụng CLTN, đặc biệt là sau 30 phút đầu tiên.

- Sử dụng CLLTC làm giảm khoảng 18% cường độ nén của mẫu bê tông ở tuổi 28 ngày, đồng thời cũng làm giảm 14% khối lượng thể tích khô, trong khi độ hút nước tăng so với mẫu bê tông dùng CLLTN.

- Phụ gia khoáng hoạt tính TB và XLC làm giảm từ 24÷30% lượng dùng PGSD, trong khi SF làm tăng lượng dùng PGSD lên khoảng 12% so với hỗn hợp bê tông không sử dụng phụ gia khoáng, tuy nhiên khả năng duy trì độ chảy loang theo thời gian của chúng lại gần tương đương nhau.

- Mẫu bê tông sử dụng phụ gia khoáng TB và XLC làm tăng khoảng 5÷8% cường độ nén ở tuổi 28 ngày, trong khi mức độ tăng đối với mẫu bê tông sử dụng SF là 14%. Đồng thời sử dụng phụ gia khoáng cũng làm giảm độ hút nước của bê tông so với cấp phối không sử dụng phụ gia khoáng.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] A. Domingo-Cabo et al., "Creep and shrinkage of recyeled aggregate concrete", Construction and Building Materials, 23, pp. 2545-2553, 2009.

[2] C.S. Pool, S. C. Kou and L. Lam, "Use of recyeled aggregates an molded concrete bricks and blocks", Construction and Building Materials, vol. 16, no. 5, pp. 281-289, 2002.

[3] Della M. Roy, "Alkali-activated cement. Opportunities and challenges", Cement Concrete Research, 29, pp. 249-254, 1999

[4] S.C. Kou, C.S Poon and D. Chan, "Influence of fly ash as a cement addition on the hardened properties of recycled aggregate concrete", Materials and Structure, vol. 41, no. 7, pp. 1191–1201, 2008.

[5] S.C. Kou, C.S. Poon and F. Agrela, "Comparisons of natural and recycled aggregate concretes prepared with the addition of different mineral admixtures", Cement & Concrete Composites, vol 33, no 8, pp. 788-795, 2011.

[6] S.C Kou and C.S. Poon "Enhancing the durability properties of concrete prepared with coarse recycled aggregate". Construction and Building Materials, 35, pp. 69-76, 2012.

[7] S.C. Kou and C.S. Poon, "Long-term mechanical and durability properties of recycled aggregate concrete prepared with the incorporation of fly ash", Cement & Concrete Composites, 37, pp. 12-19, 2013.

[8] Nguyễn Hùng Cường, "Nghiên cứu thực nghiệm sử dụng cốt liệu nhỏ tái chế từ khối xây gạch đỏ cho bê tông tự lèn có hàm lượng tro bay cao", Tạp chí Khoa học Công nghệ xây dựng, tập 18, (2V), tr. 30-41, 2024.

[9] Nguyễn Hùng Cường, Nguyễn Nhật Hùng, Nguyễn Ngọc Toàn, Nguyễn Hoàng Minh, Đỗ Xuân Cường, Đặng Hoàng Anh, Trần Quỳnh Trang, Nguyễn Nam Sơn, "Đánh giá hiệu quả kinh tế và môi trường của bê tông tự lèn sử dụng cốt liệu lớn tái chế và tro bay hàm lượng cao", Tạp chí Vật liệu & Xây dựng, tập 15, số 05, 2025.

[10] R. Zaharivea et al., "Assessment of surface permeation properties of recyled aggregate concrete", Cement and Concrete Composities, vol 25, no 2, pp. 223-232, 2003.

[11] H Shima et al., "An advanced concrete recycling technology and its applicability accessment through imput-output analysis", Journal of Advanced Concrete Technology, vol. 3, no. 1, pp. 53-67, 2005.

[12] T.C. Hansen, Demolition and Reuse of Concrete and Masonry: Recycling of Demolished Concrete and Masonry, RILEM Report 6, E&EN Spon, London, 1992.

[13] Tống Tôn Kiên, Nghiên cứu sử dụng phế thải xây dựng trong chế tạo bê tông. Luận án tiến sĩ kỹ thuật Vật liệu xây dựng, Trường Đại học Xây dựng, 2017.

[14] Trần Đức Trung, "Một số phương pháp thiết kế thành phần hỗn hợp bê tông tự lèn", Tạp chí kết cấu và công nghệ xây dựng, ISSN 1859.3194, số 27, tr 90-104, 2018.

■Ngày nhận bài: 12/01/2026 ■Ngày sửa bài: 22/01/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 31/01/2026

# Xây dựng thuật toán phát mẫu ngẫu nhiên theo phân phối Birnbaum-Saunders ba tham số và ứng dụng trong mô phỏng chiều dày bê tông phun

Developing a random sampling algorithm for the Three-parameter Birnbaum-Saunders distribution and its application in simulating shotcrete thickness

**> THS PHẠM THANH TÙNG, PGS.TS BÙI ĐỨC NĂNG*, TS TRẦN ANH BẢO**
Viện Kỹ thuật công trình đặc biệt, Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn
*Email: ducnangbui@lqdtu.edu.vn

## TÓM TẮT

Mô phỏng số Monte Carlo là một công cụ quan trọng trong phân tích độ tin cậy kết cấu, trong đó việc mô hình hóa chính xác các biến ngẫu nhiên đầu vào đóng vai trò quyết định. Đối với những đại lượng thực tế có miền giá trị dương và tồn tại ngưỡng tối thiểu, phân phối Birnbaum-Saunders ba tham số (BS(3P)) tỏ ra đặc biệt phù hợp. Tuy nhiên, hiện nay vẫn còn thiếu các thuật toán phát mẫu ngẫu nhiên dành riêng cho phân phối này, gây hạn chế trong các nghiên cứu ứng dụng. Bài báo này trình bày việc xây dựng một thuật toán phát biến ngẫu nhiên tuân theo phân phối BS(3P) dựa trên thuật toán phát mẫu của phân phối BS hai tham số đã có sẵn. Thuật toán được phát triển theo phương pháp biến đổi ngược và được kiểm chứng thông qua một bài toán thực tế: mô phỏng chiều dày bê tông phun trong kết cấu chống đỡ ban đầu của đường hầm. Dữ liệu thực nghiệm gồm 1.546 giá trị đo đạc cho thấy phân phối BS(3P) là mô hình phù hợp nhất. Kết quả mô phỏng với các cỡ mẫu khác nhau chứng minh thuật toán đề xuất có độ chính xác cao, sai số giảm dần theo cỡ mẫu và có khả năng hội tụ tốt về các tham số và đặc trưng thống kê lý thuyết, đáp ứng yêu cầu cho các bài toán phân tích độ tin cậy bằng mô phỏng Monte Carlo.

**Từ khóa:** Birnbaum-Saunders ba tham số; chiều dày bê tông phun; mô phỏng Monte Carlo; tạo số ngẫu nhiên; tuổi thọ mỏi.

## ABSTRACT

Monte Carlo simulation is a powerful tool in structural reliability analysis, in which accurate modeling of input random variables plays a crucial role. For practical quantities that are strictly positive and exhibit a minimum threshold, the three-parameter Birnbaum-Saunders distribution (BS(3P)) provides a particularly suitable probabilistic model. However, dedicated algorithms for generating random samples from this distribution are still limited, which restricts its application in reliability-based simulations. This paper presents the development of a random variate generation algorithm for the BS(3P) distribution based on an existing algorithm for the two-parameter Birnbaum-Saunders distribution. The proposed algorithm is constructed using the inverse transformation method and is validated through a real-world case study involving the modeling of shotcrete thickness in the initial support system of a tunnel. An experimental dataset consisting of 1,546 measurements indicates that the BS(3P) distribution provides the best fit among a wide range of theoretical distributions. Monte Carlo simulations conducted with increasing sample sizes demonstrate that the proposed algorithm achieves high accuracy, with decreasing relative errors and clear convergence of distribution parameters and statistical moments toward their theoretical values. These results confirm the effectiveness and applicability of the proposed algorithm for reliability analysis based on Monte Carlo simulation.

**Keywords:** Three-parameter Birnbaum-Saunders; shortcrete thickness; Monte Carlo simulation; random number generator; fatigue life.

## 1. GIỚI THIỆU

Mô phỏng số Monte Carlo (MCS) là một phương pháp rất hiệu quả trong phân tích và đánh giá độ tin cậy các kết cấu công trình. Phương pháp MCS bao gồm việc tạo phát số các biến và các hàm ngẫu nhiên, phân tích thống kê các thể hiện đầu ra và kỹ thuật giảm sai. Thủ tục tính toán của MCS khá đơn giản theo trình tự: 1) Chọn một dạng phân phối cho biến ngẫu nhiên; 2) Phát ra một tập mẫu (tập thể hiện) từ phân phối; và 3) Sử dụng tập mẫu được tạo ra để tiến hành mô phỏng [1]. Như vậy, tạo phát mẫu ngẫu nhiên theo một phân phối (còn gọi là phát biến ngẫu nhiên hay mô hình hóa biến ngẫu nhiên) là một nhiệm vụ rất quan trọng trong thực hành tính toán bằng phương pháp MCS.

Các biến đầu vào của mô hình bài toán phân tích độ tin cậy kết cấu công trình nói chung đều là các biến ngẫu nhiên. Trong số đó, thường gặp các biến ngẫu nhiên có phân phối là các phân phối lý thuyết tương đối phổ biến như phân phối đều, phân phối chuẩn, phân phối loga-chuẩn, phân phối mũ, phân phối Weibull... Việc tạo ra một tập mẫu từ các phân phối này được dựa trên các thuật toán mô hình hóa các biến ngẫu nhiên được cung cấp từ các tài liệu chuyên khảo hoặc các nghiên cứu đi trước [2]. Trong một số môi trường tính toán, các quá trình mô hình hóa các biến ngẫu nhiên được lập sẵn thành các hàm trong thư viện, tạo nên sự thuận tiện cho người sử dụng. Chẳng hạn, để phát biến ngẫu nhiên tuân theo luật phân phối chuẩn, trong Malab có hàm randn, trong R có hàm rnorm, trong Excel có hàm NORM.INV... Tuy nhiên, cũng có rất nhiều đại lượng vật lý hoặc hiện tượng tự nhiên tuân theo các luật phân phối không thông dụng, và do đó, chưa có thuật toán mô hình hóa phân phối đó. Trong những trường hợp như vậy, cần dựa trên các phân tích về toán học theo cách tiếp cận một trong các phương pháp cơ bản (phương pháp hàm ngược, phương pháp chồng hàm, phương pháp chồng biến, phương pháp chấp nhận - từ chối...) [2], hoặc dựa vào quan hệ đối với các phân phối phổ biến đã có sẵn các hàm gọi để xây dựng thuật toán mô hình hóa biến ngẫu nhiên [3].

Phân phối Birnbaum-Saunders (BS) hai tham số được Z. W. Birnbaum và S. C. Saunders giới thiệu năm 1969 [4]. Phân phối BS được xây dựng nhằm mô hình hóa thời gian đến khi hỏng của vật liệu chịu mỏi dưới tác động của các chu kỳ ứng suất ngẫu nhiên. Điểm đặc biệt là phân phối này không được xây dựng thuần túy từ yêu cầu toán học, mà từ một cơ chế vật lý cụ thể: sự tích lũy hư hỏng vi mô dẫn đến phá hủy. Nó còn được gọi là phân phối tuổi thọ mỏi (Fatigue Life - FL) và đã được ứng dụng rộng rãi trong các nghiên cứu về mỏi và độ tin cậy. Tuy nhiên, phạm vi ứng dụng của nó đã được mở rộng vượt ra ngoài bối cảnh ban đầu, với thuật ngữ "biến ngẫu nhiên tuổi thọ" được mở rộng để chỉ bất kỳ biến ngẫu nhiên liên tục dương nào. Phân phối BS hiện nay là một mô hình tự nhiên trong nhiều trường hợp mà sự tích lũy của một yếu tố nhất định buộc một đặc tính có thể định lượng vượt quá ngưỡng tới hạn, ở các lĩnh vực khác nhau (kỹ thuật, tài chính, y học, môi trường...) [3]. Nhờ nguồn gốc vật lý và cấu trúc linh hoạt, phân phối Birnbaum-Saunders đã thu hút sự quan tâm đáng kể trong hơn năm thập kỷ qua và dẫn đến sự hình thành của một họ phân phối Birnbaum-Saunders mở rộng. Nhiều biến thể đã được đề xuất nhằm tăng khả năng thích ứng của mô hình đối với các đặc trưng dữ liệu khác nhau, bao gồm các phiên bản tổng quát hóa [5], [6], các dạng lệch và đuôi dày [7], [8], [9], các mô hình hồi quy [10], [11], [12], cũng như các mở rộng đa biến để mô hình hóa sự phụ thuộc giữa nhiều thời gian tuổi thọ [13], [14], [15]. Tổng hợp các hướng nghiên cứu này đã góp phần hình thành một họ phân phối Birnbaum-Saunders phong phú, có nền tảng lý thuyết vững chắc và tính ứng dụng cao trong nhiều lĩnh vực khoa học và kỹ thuật [16].

Sự phát triển của biến thể ba tham số của phân phối Birnbaum-Saunders (tiếng Anh: Three-parameter Birnbaum-Saunders - ký hiệu là BS(3P)) là một bước tiến quan trọng để khắc phục hạn chế của mô hình hai tham số gốc. Trong khi phân phối hai tham số BS(2P) mặc định rằng sự phá hủy có thể xảy ra ngay từ thời điểm $t = 0$, biến thể ba tham số (tích hợp thêm tham số vị trí) cho phép tồn tại một "ngưỡng tuổi thọ" (threshold) - tức là khoảng thời gian an toàn mà vật liệu chắc chắn không bị hỏng. Nói một cách khác, phân phối BS(2P) có thể xem là một trường hợp riêng của phân phối BS(3P), khi tham số vị trí nhận giá trị bằng 0. Các nghiên cứu lý thuyết điển hình về BS(3P) có thể kể đến là của các tác giả Athayde và cộng sự [17], Shakil và cộng sự [18].

Các thuật toán tạo phát số ngẫu nhiên tuân theo phân phối Birnbaum-Saunders hai tham số đã được quan tâm nghiên cứu và được trình bày đầy đủ tại [3]. Tuy nhiên, thuật toán tạo phát số ngẫu nhiên tuân theo phân phối BS(3P) thì chưa có một tài liệu chính thức nào đề cập đến. Điều này gây khó khăn về cơ sở lý thuyết cho quá trình nghiên cứu ứng dụng phương pháp MCS để giải quyết các bài toán độ tin cậy kết cấu công trình mà trong đó, có biến ngẫu nhiên đầu vào tuân theo luật phân phối BS(3P). Trong bài báo này sẽ trình bày quá trình phát triển một thuật toán phát biến ngẫu nhiên theo phân phối BS(3P) dựa trên thuật toán phát biến ngẫu nhiên theo phân phối BS(2P) đã có sẵn. Một trường hợp cụ thể về biến ngẫu nhiên tuân theo phân phối BS(3P) biểu diễn chiều dày bê tông phun trong kết cấu chống đỡ ban đầu của đường hầm. Kết quả áp dụng thuật toán đề xuất để sinh ngẫu nhiên chiều dày bê tông phun cho thấy tính phù hợp và hiệu quả của thuật toán trong bài toán thực tế này.

## 2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

### 2.1. Phân phối Birnbaum-Saunders (Fatigue Life) hai tham số

Như đã đề cập ở trên, Phân phối Birnbaum-Saunders hai tham số, BS(2P), hay còn được gọi là Fatigue Life hai tham số, FL(2P), được xây dựng dựa trên hai giả thiết vật lý chính là vật liệu bị phá hoại khi xuất hiện vết nứt đầu tiên và sự phát triển của vết nứt theo từng chu kỳ. Trong mô hình gốc của Birnbaum và Saunders [4], giả thiết rằng mỗi lần gia tăng vết nứt là một biến ngẫu nhiên độc lập. Theo định lý giới hạn trung tâm, ảnh hưởng tổng hợp của các yếu tố ngẫu nhiên này sau nhiều chu kỳ có thể được xấp xỉ bằng một biến chuẩn tiêu chuẩn $Z \sim N(0,1)$. Khi đó, tuổi thọ mỏi $X$ của vật liệu tuân theo phân phối Birnbaum - Saunders, ký hiệu là $X \sim \mathrm{BS}(\alpha, \beta)$, với $\alpha > 0$, $\beta > 0$, trong đó $\alpha$ là tham số hình dạng (shape parameter), $\beta$ là tham số tỷ lệ (scale parameter). Quan hệ giữa $X$ và $Z$ được mô tả bởi phương trình sau đây [3]:

$$X = \beta\left(\frac{\alpha Z}{2} + \sqrt{\left(\frac{\alpha Z}{2}\right)^2 + 1}\right)^2 \tag{1}$$

Phân phối BS(2P) có ba đặc trưng quan trọng là chỉ nhận giá trị dương, có dạng lệch phải và có hàm mật độ xác suất đơn đỉnh (Hình 1) [3].

Hàm phân phối tích lũy (CDF) $F_X$, hàm mật độ xác suất (PDF) $f_X$ của phân phối BS(2P) được biểu diễn theo phương trình (2) và (3):

$$F_X(x,\alpha,\beta) = \Phi\left[\frac{1}{\alpha}\left(\sqrt{\frac{x}{\beta}} - \sqrt{\frac{\beta}{x}}\right)\right], x > 0 \tag{2}$$

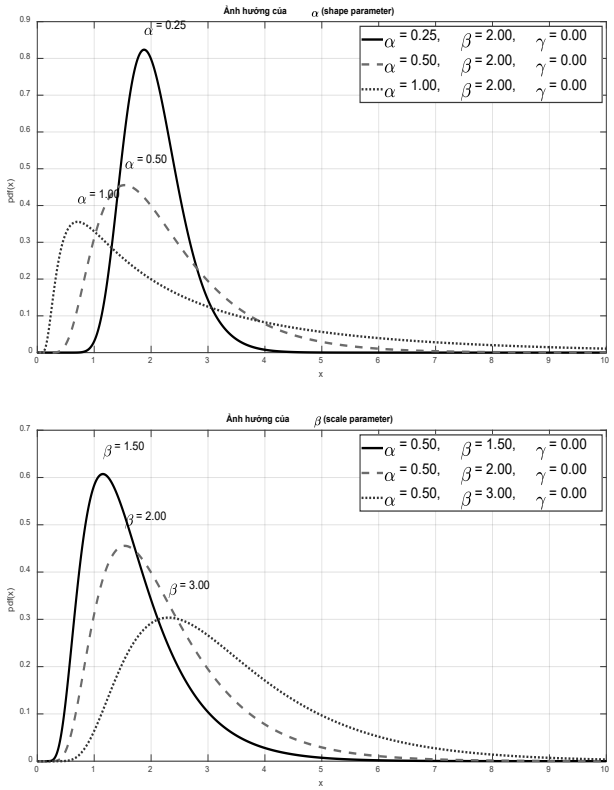
$$f_X(x,\alpha,\beta) = \frac{1}{2\alpha x}\left(\sqrt{\frac{x}{\beta}} - \sqrt{\frac{\beta}{x}}\right)\phi\left[\frac{1}{\alpha}\left(\sqrt{\frac{x}{\beta}} - \sqrt{\frac{\beta}{x}}\right)\right], x > 0 \tag{3}$$

trong đó: $\Phi(\cdot)$ và $\phi(\cdot)$ tương ứng là CDF và là PDF của phân phối chuẩn tiêu chuẩn $N(0,1)$.

Các đặc trưng số của phân phối gồm giá trị trung bình $E[X]$ và phương sai $Var[X]$:

$$E[X]=\beta\left(1+\frac{\alpha^2}{2}\right) \tag{4}$$

$$Var[X]=\frac{(\alpha\beta)^2}{2}\left(1+\frac{5\alpha^2}{4}\right) \tag{5}$$




Hình 1. Ảnh hưởng của tham số $\alpha$, $\beta$ đến biểu đồ PDF của phân phối

**2.2. Phân phối Birnbaum-Saunders (Fatigue Life) ba tham số**

Trong nhiều bài toán thực tế, đại lượng cần mô tả luôn dương nhưng không nhất thiết bắt đầu từ 0, ví dụ như: thời gian hỏng sớm nhất của một cấu kiện, hoặc các biến đo lường có giá trị xuất phát lớn hơn một ngưỡng nhất định, chẳng hạn, chiều dày tối thiểu cho phép của lớp bê tông phun (như sẽ trình bày sau đây). Để mô tả linh hoạt hơn loại dữ liệu này, tham số vị trí (location parameter) λ được thêm vào mô hình BS hai tham số, qua đó hình thành phân phối BS ba tham số, BS(3P) [18].

Giả sử rằng biến ngẫu nhiên dương $X\sim BS(\alpha,\beta)$, trong đó $\alpha>0$, $\beta>0$ là các tham số của BS(2P). Xét biến ngẫu nhiên liên tục dương *(Y)* được định nghĩa bởi phép tịnh tiến:

$$Y=X+\lambda \tag{6}$$

trong đó tham số vị trí λ là một hằng số cho trước, luôn thỏa điều kiện $\lambda\geq 0$ để biểu diễn thời gian hoặc các đại lượng vật lý dương. Khi ấy, ta có biến ngẫu nhiên $Y\sim BS(\alpha,\beta,\lambda)$.

Vì $X>0$, hiển nhiên phân phối của *Y* được xác định trên miền $Y>\lambda$. Khi $\lambda=0$, phân phối trở về BS(2P).

Từ (1) và (6), quan hệ giữa $Y\sim BS(\alpha,\beta,\lambda)$ và $Z\sim N(0,1)$ có dạng phương trình (7):

$$Y=\beta\left(\frac{\alpha Z}{2}+\sqrt{\left(\frac{\alpha Z}{2}\right)^2+1}\right)^2+\lambda \tag{7}$$

Dựa trên định nghĩa (6) và CDF, PDF của $X\sim BS(2P)$ được biểu diễn theo phương trình (2) và (3), bằng phương pháp biến đổi trực tiếp biến ngẫu nhiên, nhận được CDF, PDF của $Y\sim BS(\alpha,\beta,\lambda)$ như sau:

$$F_Y(y,\alpha,\beta,\lambda)=\Phi\left[\frac{1}{\alpha}\left(\sqrt{\frac{y-\lambda}{\beta}}-\sqrt{\frac{\beta}{y-\lambda}}\right)\right], y>\lambda \tag{8}$$

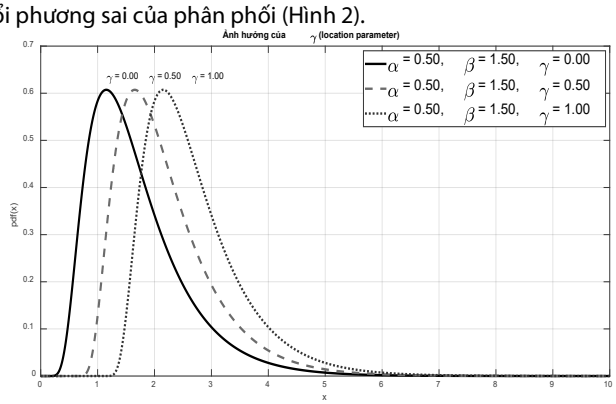
$$f_Y(y,\alpha,\beta,\lambda)=\frac{\sqrt{\frac{y-\lambda}{\beta}}-\sqrt{\frac{\beta}{y-\lambda}}}{2\alpha(y-\lambda)}\phi\left[\frac{1}{\alpha}\left(\sqrt{\frac{y-\lambda}{\beta}}-\sqrt{\frac{\beta}{y-\lambda}}\right)\right], y>\lambda \tag{9}$$

Giá trị trung bình và phương sai:

$$E[Y]=\beta\left(1+\frac{\alpha^2}{2}\right)+\lambda \tag{10}$$

$$Var[Y]=Var[X]=\frac{(\alpha\beta)^2}{2}\left(1+\frac{5\alpha^2}{4}\right) \tag{11}$$

Tham số $\lambda$ làm dịch chuyển giá trị trung bình nhưng không thay đổi phương sai của phân phối (Hình 2).




Hình 2. Ảnh hưởng của tham số $\lambda$ đến biểu đồ PDF của phân phối

**2.3. Xây dựng thuật toán phát biến ngẫu nhiên có phân phối Birnbaum-Saunders ba tham số**

Từ lý thuyết về phân phối BS(2P) và BS(3P) nêu trên, có thể thấy rằng hoàn toàn có thể dựa trên các thuật toán phát biến ngẫu nhiên có phân phối BS(2P) để phát triển một thuật toán phát biến ngẫu nhiên có phân phối BS(3P).

Trong tài liệu chuyên khảo của Leiva [3] đã trình bày tổng hợp bốn thuật toán phát biến ngẫu nhiên theo phân phối BS(2P), có thể tóm tắt như sau:

- Thuật toán thứ nhất do Michael, Schucany và Haas đề xuất năm 1976, thường được gọi là phương pháp đa nghiệm (Multiple Root Method). Thuật toán này khai thác mối liên hệ giữa biến ngẫu nhiên $T$ tuân theo phân phối BS và biến ngẫu nhiên $V$ tuân theo phân phối Chi-bình phương ($\chi^2$) với một bậc tự do. Quy trình thực hiện bao gồm việc giải một phương trình bậc hai để tìm hai nghiệm tiềm năng, sau đó sử dụng một biến ngẫu nhiên phân phối đều để chọn ngẫu nhiên một trong hai nghiệm đó làm giá trị mẫu cuối cùng.

- Thuật toán thứ hai được xây dựng dựa trên các nghiên cứu về phân phối log-Birnbaum-Saunders của Rieck và Nedelman (năm 1991). Các tác giả đã chứng minh rằng nếu một biến ngẫu nhiên tuân theo phân phối BS, thì logarit của nó sẽ tuân theo phân phối log-BS, vốn có mối quan hệ mật thiết với phân phối chuẩn. Thuật

toán này thực hiện sinh một số ngẫu nhiên từ phân phối chuẩn tiêu chuẩn, tính toán giá trị trong không gian logarit, sau đó dùng hàm mũ để đưa về mẫu ngẫu nhiên BS mong muốn.

- Thuật toán thứ ba tận dụng tính chất hòa trộn (mixture) được đề xuất bởi Jorgensen và các cộng sự (năm 1991). Nhóm tác giả này đã chỉ ra rằng phân phối BS có thể được biểu diễn dưới dạng sự kết hợp của hai biến ngẫu nhiên Gaussian ngược (Inverse Gaussian - IG). Thuật toán tiến hành sinh hai giá trị từ hai phân phối Gaussian ngược khác nhau và sử dụng một phép thử Bernoulli với xác suất 0,5 để quyết định chọn giá trị nào. Cách tiếp cận này rất hữu ích khi người nghiên cứu đã có sẵn các trình phát mẫu Gaussian ngược hiệu quả.

- Thuật toán thứ tư do Leiva giới thiệu năm 2016 là phương pháp biến đổi ngược (Inverse Transform Method), dựa trên các tính chất hàm phân vị được thiết lập từ công trình gốc của Birnbaum và Saunders [4]. Đây được coi là phương pháp trực tiếp và hiệu quả nhất về mặt tính toán. Thay vì giải phương trình hay chọn mẫu trung gian, thuật toán này sử dụng một công thức tường minh để biến đổi trực tiếp một số ngẫu nhiên chuẩn chuẩn hóa thành mẫu BS. Trong môi trường mô phỏng hiện đại (như ngôn ngữ R hay Python), đây là thuật toán thường được ưu tiên sử dụng nhờ tốc độ xử lý vượt trội.

Thuật toán thứ tư sẽ được chọn làm cơ sở để xây dựng thuật toán phát biến ngẫu nhiên theo phân phối BS(3P) có nội dung như sau (Bảng 1):

Bảng 1. Thuật toán phát số ngẫu nhiên có phân phối BS(2P)

1. Đặt các giá trị tham số $\alpha > 0, \beta > 0$ cho $X \sim \mathrm{BS}(\alpha, \beta)$.
2. Tạo một số ngẫu nhiên $z$ từ $Z \sim N(0,1)$.
3. Tính một số ngẫu nhiên $x$ cho $X \sim \mathrm{BS}(\alpha, \beta)$ bằng cách sử dụng phương trình (1), theo đó

$$x = \beta\left(\frac{\alpha Z}{2} + \sqrt{\left(\frac{\alpha Z}{2}\right)^2 + 1}\right)^2$$

4. Lặp lại các bước từ 1 đến 3 cho đến khi thu được đủ số mẫu ngẫu nhiên yêu cầu.

Từ lý thuyết về phân phối BS(3P) tại mục 2.2, phát triển thuật toán được trình bày trong bảng 1 để có thuật toán phát số ngẫu nhiên có phân phối BS(3P) như sau (Bảng 2):

Bảng 2. Thuật toán phát số ngẫu nhiên có phân phối BS(3P)

1. Đặt các giá trị tham số $\alpha > 0$, $\beta > 0$ và $\lambda > 0$ cho $Y \sim \mathrm{BS}(\alpha, \beta, \lambda)$.
2. Tạo một số ngẫu nhiên $z$ từ $Z \sim N(0,1)$.
3. Tính một số ngẫu nhiên $x$ cho $X \sim \mathrm{BS}(\alpha, \beta)$ bằng cách sử dụng phương trình (1), theo đó

$$x = \beta\left(\frac{\alpha Z}{2} + \sqrt{\left(\frac{\alpha Z}{2}\right)^2 + 1}\right)^2$$

4. Tính một số ngẫu nhiên $y$ cho Y$\sim$ BS$(\alpha, \beta, \lambda)$ bằng cách sử dụng phương trình (6), theo đó

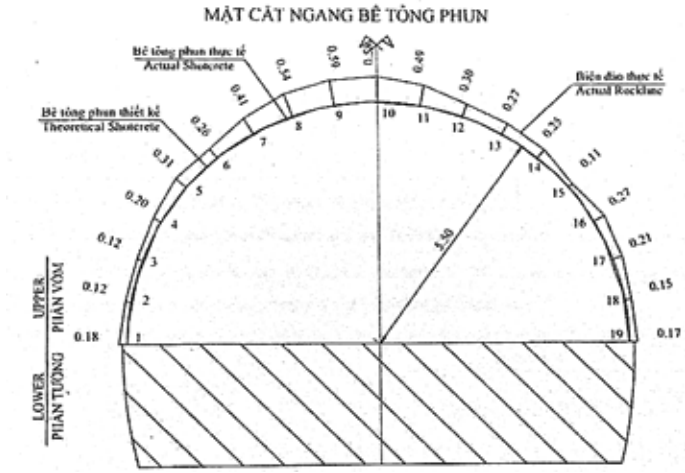
$$y = x + \lambda$$

5. Lặp lại các bước từ 1 đến 4 cho đến khi thu được đủ số mẫu ngẫu nhiên yêu cầu.

**2.4. Thu thập và xử lý dữ liệu chiều dày bê tông phun có phân phối BS(3P)**

Bộ dữ liệu được thu thập từ hồ sơ lưu trữ của nhà thầu xây dựng công trình hầm đường bộ qua Đèo Cả [19]. Đây là dự án hầm lớn tại miền Trung Việt Nam, nối hai tỉnh Phú Yên (cũ) và Khánh Hòa, được khởi công xây dựng năm 2012 và đưa vào khai thác năm 2017. Chủ đầu tư là Công ty Cổ phần Đầu tư Đèo Cả; tư vấn thiết kế gồm Công ty TNHH Nippon Koei (NK) và Công ty TNHH Nippon Koei Vietnam International (NKV). Liên danh các công ty Lũng Lô - VINAVICO - Quản Trung là nhà thầu chính thi công hạng mục hầm phía Bắc của hầm Đèo Cả thuộc Gói thầu 1A-2, có lý trình từ Km3+815 đến Km5+900 với chiều dài 2.085 m. Công trình hầm được thi công bằng công nghệ New Austrian Tunnelling Method (NATM), dựa trên các tiêu chuẩn thiết kế đường hầm của Việt Nam và Nhật Bản

Tổng cộng 1.546 giá trị chiều dày bê tông phun được thu thập, phản ánh độ biến thiên thực tế của lớp bê tông phun trong điều kiện địa chất phức tạp. Mặt cắt điển hình và các vị trí thu thập các số liệu chiều dày được minh họa tại Hình 3.




Hình 3. 19 vị trí được thu thập số liệu trên mặt cắt đường hầm [19]

Việc xử lý tập dữ liệu đã có được tiến hành như sau:

- Các mẫu được được tổng hợp thành 19 tập con, mỗi tập tương ứng với một vị trí đo đạc trên mặt cắt hầm (Hình 3).

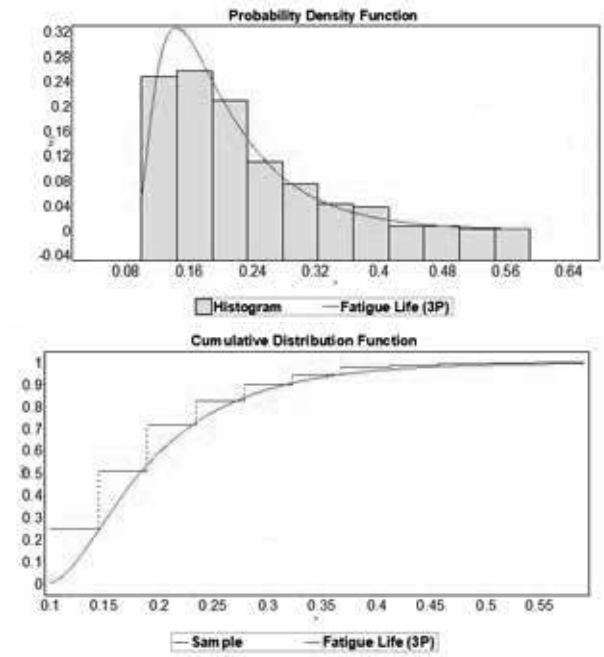
- Mỗi tập con được đưa vào phần mềm EasyFit 5.6 để đánh giá mức độ phù hợp với phân phối lý thuyết. Trong phần mềm, 65 phân phối lý thuyết được sử dụng để đánh giá thống kê và xếp hạng mức độ phù hợp của các tập dữ liệu thông qua ba kiểm định: Kolmogorov - Smirnov (K-S), Anderson - Darling (A-D) và Chi Square ($\chi^2$).

- Để xác định phân phối phù hợp nhất thông qua ba phép kiểm định, thực hiện tính tổng điểm thứ hạng của mỗi phân phối đối với từng phép kiểm định. Phân phối có tổng điểm xếp hạng bé nhất là phân phối có mức độ phù hợp tốt nhất [20]. Kết quả tổng hợp từ 19 tập con cho thấy phân phối BS(3P) có tổng điểm thấp nhất trong số 65 phân phối được đánh giá chứng tỏ mức độ phù hợp tốt nhất của phân phối đối với dữ liệu.

- Sau khi xác định được phân phối phù hợp nhất, toàn bộ 1.546 giá trị chiều dày được gộp lại thành một tập duy nhất và tiến hành phân tích thống kê bằng EasyFit 5.6 với phân phối BS(3P). Kết quả, giá trị các tham số và đặc trưng thống kê được cho trong Bảng 3, biểu đồ CDF và PDF thực nghiệm được biểu diễn trên Hình 4. Trên hình ảnh trích xuất từ phần mềm EasyFit 5.6, tên gọi Fatigue Life và viết tắt FL(3P) được sử dụng thay cho Birnbaum-Saunders và BS(3P).

Bảng 3. Giá trị các tham số và đặc trưng thống kê của tập dữ liệu chiều dày bê tông phun theo phân phối BS(3P)

| Tham số và đặc trưng thống kê | Giá trị |
|---|---|
| Tham số hình dạng α | 0,65732 |
| Tham số tỷ lệ β | 0,10534 |
| Tham số vị trí λ | 0,077553 |
| Giá trị trung bình (m) | 0,20568 |
| Phương sai ($m^2$) | 0,00659 |

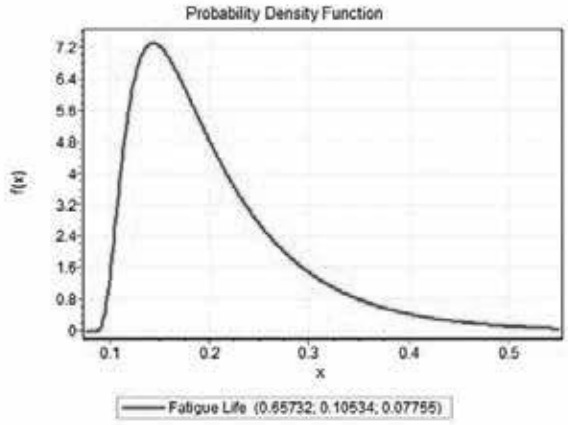



Hình 4. Biểu đồ PDF và CDF thực nghiệm của tập dữ liệu chiều dày bê tông phun

## 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 3.1. Xác định đặc trưng thống kê phân phối lý thuyết

Từ các giá trị tham số của phân phối xấp xỉ trong Bảng 3 nhờ vào phần mềm EasyFit 5.6, tiến hành xác định đặc trưng thống kê phân phối lý thuyết của phân phối BS(*0,65732; 0,10534; 0,077553*), nhận được giá trị trung bình $E[X] = 0{,}20565(m)$ và phương sai $\mathrm{Var}[X] = 0{,}00738(m^2)$. Biểu đồ hàm mật độ xác suất lý thuyết được biểu diễn trên Hình 5.




Hình 5. Biểu đồ PDF phân phối BS(*0,65732; 0,10534; 0,077553*)

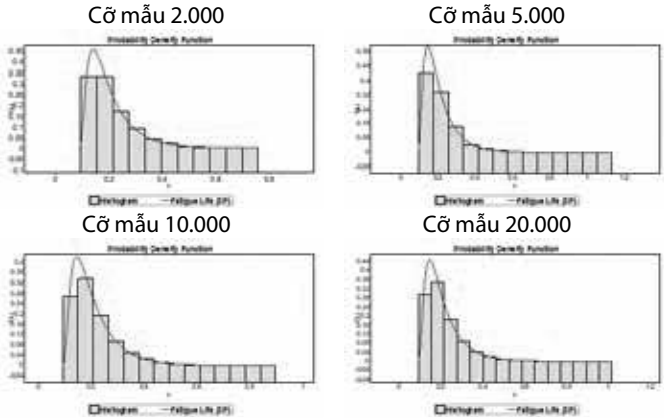
### 3.2. Phát biến ngẫu nhiên theo phân phối BS(3P)

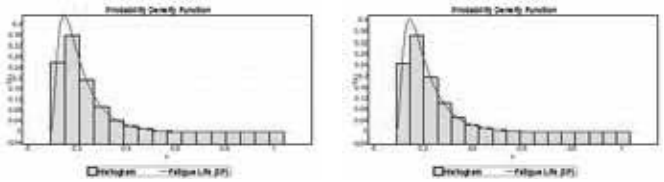
Dựa trên thuật toán tại Bảng 2, một chương trình phát ngẫu nhiên Generator_BS3P được lập trên môi trường Matlab. Sau đó sử dụng chương trình để phát các tập mẫu ngẫu nhiên theo phân phối BS(*0,65732; 0,10534; 0,077553*) với số lượng mẫu (cỡ mẫu) là 2.000, 5.000, 10.000, 20.000, 50.000 và 100.000.

Tiến hành xử lý thống kê các tập mẫu bằng phần mềm EasyFit 5.6 để nhận được giá trị của các tham số (hình dạng α, tỷ lệ β, vị trí λ), 2 đặc trưng thống kê (giá trị trung bình, phương sai). Kết quả được so sánh với các tham số và giá trị đặc trưng của phân phối lý thuyết (mục 3.1), thể hiện bằng % sai số và được trình bày trong Bảng 4. Biểu đồ tần suất thực nghiệm kết hợp đường cong mật độ xác suất lý thuyết được xấp xỉ (khớp) của các tập mẫu được trình bày trên Hình 6.

Bảng 4. Mô tả thống kê đối với 6 tập dữ liệu có cỡ mẫu tăng dần

| Cỡ mẫu | Các tham số và và đặc trưng thống kê | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Tham số hình dạng α | | Tham số tỷ lệ β | | Tham số vị trí λ | | Giá trị trung bình | | Phương sai | |
| | Giá trị | Sai số % | Giá trị | Sai số % | Giá trị | Sai số % | Giá trị | Sai số % | Giá trị | Sai số % |
| 2.000 | 0.67383 | 2,51 | 0.10092 | 4,20 | 0.07928 | 2,23 | 0.20313 | 1,22 | 0.00698 | 5,39 |
| 5.000 | 0.66675 | 1.43 | 0.10296 | 2.26 | 0.07857 | 1.31 | 0.20443 | 0.59 | 0.00753 | 2.05 |
| 10.000 | 0.66139 | 0.62 | 0.10483 | 0.48 | 0.07843 | 1.13 | 0.20621 | 0.27 | 0.00727 | 1.44 |
| 20.000 | 0.65939 | 0.31 | 0.10568 | 0.32 | 0.07722 | 0.43 | 0.20588 | 0.11 | 0.00746 | 1.05 |
| 50.000 | 0.65598 | 0.20 | 0.10584 | 0.47 | 0.07719 | 0.47 | 0.20580 | 0.07 | 0.00742 | 0.48 |
| 100.000 | 0.65806 | 0.11 | 0.10543 | 0.09 | 0.07751 | 0.06 | 0.20577 | 0.06 | 0.00740 | 0.30 |



Hình 6. Biểu đồ tần suất thực nghiệm kết hợp đường cong PDF lý thuyết các trường hợp phát mẫu ngẫu nhiên

### 3.3. Thảo luận

Kết quả mô phỏng phát biến ngẫu nhiên theo phân phối BS(*0,65732; 0,10534; 0,077553*) cho thấy thuật toán đề xuất hoạt động ổn định và hiệu quả. Đối với các cỡ mẫu nhỏ (2.000 và 5.000), các tham số phân phối và đặc trưng thống kê thu được vẫn tồn tại sai số nhất định so với giá trị lý thuyết, đặc biệt là đối với phương sai và tham số hình dạng. Điều này là phù hợp với bản chất ngẫu nhiên của quá trình phát mẫu và quy luật hội tụ thống kê khi số lượng mẫu còn hạn chế.

Khi cỡ mẫu tăng dần từ 10.000 đến 100.000, các sai số tương đối của cả ba tham số (α, β, λ) cũng như giá trị trung bình và phương sai đều giảm nhanh và tiến dần về 0. Xu hướng này phản ánh rõ ràng tính hội tụ của thuật toán phát mẫu và phù hợp với định luật số lớn trong xác suất thống kê. Đặc biệt, với cỡ mẫu từ 20.000 trở lên, sai số của các đặc trưng thống kê đều nhỏ hơn 1%, cho thấy mức độ chính xác cao đủ để sử dụng trong các bài toán mô phỏng Monte Carlo trong thực hành kỹ thuật.

Ngoài ra, sự trùng khớp tốt giữa các biểu đồ mật độ xác suất thực nghiệm và đường cong lý thuyết chứng minh rằng thuật toán không chỉ tái hiện đúng các đặc trưng thống kê mà còn bảo toàn được hình dạng phân phối. Điều này khẳng định tính đúng đắn về mặt lý thuyết và tính khả thi về mặt tính toán của thuật toán phát biến ngẫu nhiên theo phân phối BS(3P).

## 4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày một cách có hệ thống quá trình xây dựng và kiểm chứng thuật toán phát biến ngẫu nhiên tuân theo phân phối Birnbaum-Saunders ba tham số, dựa trên thuật toán phát mẫu của phân phối hai tham số đã được thiết lập trước đó. Việc bổ sung tham số vị trí cho phép mô hình hóa hiệu quả các đại lượng thực tế có ngưỡng giá trị tối thiểu, khắc phục hạn chế của mô hình BS hai tham số.

Thông qua bộ dữ liệu thực nghiệm về chiều dày bê tông phun trong kết cấu chống đỡ ban đầu của đường hầm, phân phối BS(3P) đã được chứng minh là mô hình phù hợp nhất trong số nhiều phân phối lý thuyết được xem xét. Kết quả mô phỏng Monte Carlo với các cỡ mẫu khác nhau cho thấy thuật toán đề xuất có độ chính xác cao, khả năng hội tụ tốt và tái hiện đúng các tham số cũng như đặc trưng thống kê của phân phối lý thuyết.

Những kết quả đạt được không chỉ cung cấp một công cụ phát mẫu ngẫu nhiên hữu hiệu cho phân phối BS(3P), mà còn mở rộng khả năng ứng dụng của phương pháp mô phỏng Monte Carlo trong các bài toán phân tích độ tin cậy kết cấu công trình, đặc biệt đối với các đại lượng vật lý có bản chất ngưỡng và phân bố lệch phải.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO


[1] Choi, S. K., Canfield, R. A., Grandhi, R. V., *Reliability-Based Structural Design*, Springer London, 2007.

[2] Law, A. M., Kelton, W. D., *Simulation Modeling and Analysis*, Vol. 3, New York: McGraw-Hill, 2007.

[3] Leiva, V., *The Birnbaum-Saunders Distribution*, Academic Press, 2015.

[4] Birnbaum, Z. W., Saunders, S. C., *A New Family of Life Distributions*, Journal of Applied Probability, vol. 6(2), pp. 319-327, 1969.

[5] Díaz-García, J. A., Leiva-Sánchez, V., *A New Family of Life Distributions Based on the Elliptically Contoured Distributions*, Journal of Statistical Planning and Inference, vol. 128(2), pp. 445-457, 2005.

[6] Vilca, F., Balakrishnan, N., Leiva, V., *Birnbaum-Saunders Distributions Based on Elliptical Distributions*, Journal of Statistical Planning and Inference, vol. 141(7), pp. 2301-2316, 2011.

[7] Galea, M., Paula, G. A., Leiva, V., *Influence Diagnostics in Log-Birnbaum–Saunders Regression Models*, Journal of Applied Statistics, vol. 31(9), pp. 1049-1064, 2004.

[8] Leiva, V., Barros, M., Paula, G. A., Sanhueza, A., *Generalized Birnbaum–Saunders Distributions Applied to Air Pollution Data*, Environmental and Ecological Statistics, vol. 17(2), pp. 241-257, 2010.

[9] Leiva, V., Marchant, C., Ruggeri, F., Saulo, H., *A Criterion for Environmental Assessment Using Birnbaum–Saunders Distributions*, Environmetrics, vol. 26(7), pp. 463-476, 2015.

[10] Rieck, J. R., Nedelman, J. R., *A Log-Linear Model for the Birnbaum–Saunders Distribution*, Technometrics, Vol. 33(1), pp. 51-60, 1991.

[11] Santos-Neto, M., Cysneiros, F. J. A., Leiva, V., *On New Parameterizations of the Birnbaum–Saunders Distribution*, Statistical Modelling, vol. 12(2), pp. 151-169, 2012.

[12] Leiva, V., Santos-Neto, M., Cysneiros, F. J. A., Barros, M., *Birnbaum–Saunders Statistical Modelling: A New Approach*, Statistical Modelling, vol. 14(1), pp. 21-48, 2014.

[13] Kundu, D., Balakrishnan, N., Jamalizadeh, A., *Generalized Multivariate Birnbaum–Saunders Distributions*, Journal of Multivariate Analysis, vol. 101(5), pp. 1132-1148, 2010.

[14] Kundu, D., Balakrishnan, N., Jamalizadeh, A., *Generalized Multivariate Birnbaum–Saunders Distributions and Related Inferential Issues*, Journal of Multivariate Analysis, vol. 116, pp. 230-244, 2013.

[15] Aykroyd, R. G., Leiva, V., Marchant, C., *Multivariate Birnbaum–Saunders Distributions: Modelling and Applications*, Risks, vol. 6(1), Article 21, 2018.

[16] Balakrishnan, N., Kundu, D., *Birnbaum–Saunders Distribution: A Review of Models, Analysis, and Applications*, Applied Stochastic Models in Business and Industry, vol. 35(1), pp. 4-49, 2019.

[17] Athayde, E., Azevedo, C., Leiva, V., Sanhueza, A., *About Birnbaum - Saunders Distributions Based on the Johnson System*, Communications in Statistics - Theory and Methods, vol. 41(11), pp. 2061-2079, 2012.

[18] Shakil, M., et al., *Some Inferences on Three-Parameter Birnbaum - Saunders Distribution: Statistical Properties, Characterizations and Applications*, Computational Journal of Mathematical and Statistical Sciences, vol. 2(2), pp. 197-222, 2023.

[19] Deo Ca Investment Joint Stock Company, *Detailed Design Report for the Northern Tunnel of Deo Ca Tunnel - East Tunnel*, Quality Document, 2015.

[20] Basaligheh, F., Keyhani, A., *Distribution Function of Random Variable of Shotcrete Lining Thickness in Temporary Tunnel Support*, Journal of Rock Mechanics, vol. 1(1), pp. 55-67, 2017.

■Ngày nhận bài: 12/02/2026 ■Ngày sửa bài: 22/02/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 31/02/2026

# Sản xuất gạch không nung từ bùn thải nhà máy nước cấp, tro bay nhà máy nhiệt điện và tro trấu

## Manufacturing of adobe bricks using waste sludge from water treatment, fly ash from power plant, and rice husk ash

**> HỒ NGÔ ANH ĐÀO[1,*], TRẦN THỊ KIM TUYẾN[1], NGUYỄN THỊ MINH TRANG[2]**
[1]Khoa Môi trường và Bảo hộ Lao động, Trường Đại học Tôn Đức Thắng, TP.HCM
[2]Khoa Kỹ thuật Hạ tầng Đô thị, Trường Đại học Kiến trúc TP.HCM
*Email: hongoanhdao@tdtu.edu.vn

### TÓM TẮT

Bùn thải nhà máy nước cấp, tro bay nhà máy nhiệt điện, tro trấu được sử dụng làm cốt liệu để thay thế cát và một phần xi măng trong các thí nghiệm sản xuất gạch không nung. Mẫu gạch thành phẩm thu được từ các thí nghiệm sẽ được phân tích cường độ chịu nén (sau 3, 7, 28, 91 ngày) và độ thấm nước (sau 28 ngày) để có cơ sở so sánh các tính chất cơ lý theo tiêu chuẩn quốc gia TCVN 6477:2016 về gạch bê tông. Kết quả cho thấy bùn thải và tro bay có tính khả thi để sử dụng phối trộn cùng các vật liệu cấp phối truyền thống, ngược lại, tro trấu không thể hiện tính hiệu quả do cường độ chịu nén của gạch thành phẩm đo được tương đối thấp. Cụ thể mẫu gạch M4 có cấp phối (theo tỷ lệ khối lượng) gồm bùn thải (20%) – xi măng (20%) – đá mi (60%) có cường độ chịu nén tốt, đạt 1.51 kN/cm$^2$ sau thời gian dưỡng hộ 91 ngày. Đối với tro bay, mẫu M8 tương ứng với tỷ lệ gồm 20% tro bay – 20% xi măng – 60% đá mi cho kết quả cường độ chịu nén cao hơn, đạt 3.30 kN/cm$^2$. Thí nghiệm đo độ thấm nước cho thấy các mẫu gạch có cốt liệu bùn thải có tính thấm tốt hơn so với các mẫu sử dụng tro bay. Những kết quả thu được từ nghiên cứu này sẽ là cơ sở khoa học cho việc tái sử dụng các nguồn chất thải nói trên trong sản xuất gạch không nung, góp phần đem lại lợi ích kinh tế và giảm thiểu ô nhiễm môi trường.

**Từ khóa:** Gạch không nung; bùn thải nhà máy nước cấp; tro bay, tro trấu; cường độ chịu nén

### ABSTRACT

Sludge generated from water treatment plant, plant fly ash from thermal power plant, and rice husk ash were utilized as aggregates to replace sand and a portion of cement in adobe brick production experiments. The resulting brick samples were analyzed for compressive strength (at 3, 7, 28, and 91 days) and water permeability (at 28 days) to compare their physical and mechanical properties against the national standard TCVN 6477:2016 for concrete bricks. The results indicate that sludge and fly ash are feasible for mixing with traditional materials; however, rice husk ash was not effective due to the relatively low compressive strength of the brick products. Specifically, sample M4, with a aggregate ratio (by weigth) of 20% sludge – 20% cement – 60% crushed stone, exhibited a good compressive strength of 1.51 kN/cm$^2$ after a 91-day curing period. Regarding fly ash, sample M8 (comprising 20% fly ash – 20% cement – 60% crushed stone) achieved a higher compressive strength of 3.30 kN/cm$^2$. Water permeability tests revealed that samples containing sludge aggregate possessed better permeability as compared to those using fly ash. The findings of this research provide a scientific database for the reuse of waste sources in adobe brick production field, contribute to economic benefits and mitigate environmental pollution.

**Keywords:** Adobe bricks; sludge from water treatment plant; fly ash; rice husk ash; compressive strength

### 1. TỔNG QUAN

Việc sản xuất vật liệu xây dựng thân thiện với môi trường, đặc biệt là thông qua tái chế chất thải công nghiệp và nông nghiệp, là một hướng nghiên cứu mang tính ứng dụng cao nhằm thay thế vật liệu xây dựng truyền thống (cát, đất sét, xi-măng).

Bùn thải từ quá trình xử lý nước cấp ở các nhà máy nước hiện nay là một nguồn tài nguyên có giá trị. Khối lượng lớn bùn cặn được tạo ra trong quá trình xử lý nước là rất lớn, trung bình khoảng 4-8% lưu lượng nước sạch sản xuất [1]. Nhờ sự tương đồng trong thành phần hóa học, với hàm lượng vô cơ cao, đặc biệt là khoáng chất Silic (chiếm hơn 50% thành phần hóa học) - là khoáng chất quan trọng quyết định đến cường độ chịu lực của gạch thành phẩm, nên việc tái sử dụng bùn thải từ nhà máy nước hoặc phối trộn với các vật liệu bổ sung khác (ví dụ, tro đáy lò đốt rác thải đô thị, tro trấu) để sản xuất gạch đã được một số nghiên cứu thực hiện [2-5]. Tuy nhiên, quá trình sản xuất gạch truyền thống này yêu cầu về nhiệt độ cao để đảm bảo độ cứng và độ bền của gạch nung, dẫn đến những vấn đề ô nhiễm không khí, là một trong những hạn chế của các nghiên cứu nói trên. Do đó, việc nghiên cứu sản xuất gạch không nung (GKN) không phát thải chất thải độc hại đang được nhiều sự quan tâm.

Bên cạnh đó, theo số liệu thống kê và ước tính của Liên hiệp các Hội Khoa học và Kỹ thuật Việt Nam (VUSTA), từ năm 2025 đến năm 2035, lượng tro xỉ thải phát sinh từ các nhà máy nhiệt điện than tại Việt Nam là khoảng 12,00-14,48 triệu tấn tro bay và 2,12-2,56 triệu tấn tro đáy lò [6]. Đây là nguồn chất thải được khuyến khích tái chế và tái sử dụng làm vật liệu xây dựng thứ cấp để giảm thiểu tác động đến môi trường [7]. Ngoài ra, các nghiên cứu cũng chỉ rõ hàm lượng kim loại nặng trong tro xỉ thấp (ví dụ, nồng độ Hg trong tro bay là 0,0005 mg/L thấp hơn mức tối đa được quy định theo tiêu chuẩn quốc gia về chất thải nguy hại là 0,2 mg/L) [8], do đó rất phù hợp cho việc tái chế loại hình chất thải này.

Một loại hình chất thải khác, phát sinh từ hoạt động nông nghiệp, là trấu và tro trấu, cũng là vấn đề môi trường cần quan tâm trong ngành sản xuất nông nghiệp [9]. Nhiều nghiên cứu trong thời gian qua đã chỉ ra những triển vọng ứng dụng tro trấu trong sản xuất vật liệu xây dựng [10, 11]. Tuy nhiên, hầu hết các nghiên cứu trước đây chỉ tập trung vào việc sử dụng tro trấu thu được sau khi đốt ở nhiệt độ được kiểm soát và nghiền thành kích thước tối ưu. Việc nghiên cứu sử dụng tro trấu thô mà không đốt hoặc nghiền để áp dụng trong sản xuất vật liệu xây dựng vẫn còn hạn chế. Do đó, giải pháp sử dụng tro trấu thô làm cốt liệu trong sản xuất GKN là một hướng tiếp cận có tính mới, cần nhiều nghiên cứu thử nghiệm cụ thể.

Về cơ bản, GKN được sản xuất thông qua quy trình định hình mà không qua xử lý nhiệt độ, từ đó liên kết cấu trúc của nó khác với quy trình sản xuất gạch thông thường. Độ bền của GKN phụ thuộc vào áp suất hoặc độ rung và các thành phần kết dính được áp dụng trong quá trình sản xuất. Ngoài ra, độ bền sẽ tăng theo thời gian thông qua phản ứng hóa đá của các cốt liệu khác nhau [5]. Do đó, thành phần cốt liệu với tỷ lệ thích hợp đóng vai trò quan trọng trong chất lượng gạch. Các nghiên cứu trước đây đã kiểm tra tính khả thi của việc sử dụng chất thải công nghiệp như tro đáy lò đốt [12], vôi đã qua sử dụng và bùn tráng men [13] và bùn thải [14] để làm nguyên liệu thô thay thế trong sản xuất gạch xây dựng và gạch *Terrazzo* (gạch men) cho vỉa hè.

Hầu hết các nghiên cứu đều chứng minh thành công rằng những vật liệu phế thải nói trên có thể được tái sử dụng để sản xuất gạch với các thông số kỹ thuật đạt yêu cầu theo các tiêu chuẩn quốc gia. Tuy nhiên, ảnh hưởng của các thành phần cốt liệu chưa được xem xét chi tiết. Chính vì vậy, nghiên cứu này được đề xuất thực hiện để giải quyết những vấn đề chưa được đề cập trong các nghiên cứu trước đây. Đề tài khi thực hiện thành công sẽ mở rộng cơ sở dữ liệu về tiềm năng sử dụng vật liệu tái chế trong lĩnh vực kỹ thuật xây dựng và cũng giải quyết các vấn đề về môi trường do việc tạo ra chất thải.

## 2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Chuẩn bị cốt liệu và phụ gia

*2.1.1 Cốt liệu*

Các cốt liệu chính được sử dụng trong nghiên cứu này bao gồm bùn thải Nhà máy nước ngầm Tân Phú (Thành phố Hồ Chí Minh); tro bay từ Nhà máy nhiệt điện Sông Hậu 1; tro trấu của nhà máy xay xát lúa Cái Bè (Tỉnh Đồng Tháp); đá mi từ nguồn cung cấp tại địa phương.

*(1) Bùn thải Nhà máy xử lý nước ngầm Tân Phú* (TP.HCM, Việt Nam): Mẫu bùn có độ ẩm dưới 10% sau khi tách nước tại chỗ được vận chuyển và lưu trữ tại phòng thí nghiệm. Sau đó, mẫu bùn được phân tích để xác định thành phần hóa học**.** Các mẫu bùn được xử lý bằng cách sấy khô để đạt độ ẩm 5% trước khi nghiền mịn và được tách bằng sàng tiêu chuẩn có kích thước lỗ 0.25 mm trước khi đưa đi phối trộn cốt liệu.

*(2) Tro bay Nhà máy nhiệt điện Sông Hậu 1:* Thành phần và tính chất của tro bay được phân tích XRF cho thấy tro than nhà máy nhiệt điện đạt tiêu chuẩn quốc gia (*TCVN 10302:2014 – Phụ gia hoạt tính tro bay dùng cho bê tông, vữa xây và xi măng*) để làm cốt liệu thay thế cho sản xuất vật liệu xây dựng.

*(3) Tro trấu:* nguồn nguyên liệu này thu trực tiếp từ tro thô phát sinh tại nhà máy xay xát gạo mà không qua quá trình nghiền trước. Tro trấu thô có màu đen, tỷ trọng 2.316 g/cm$^3$, được tách qua sàng tiêu chuẩn 0.180 mm để thu được tro trấu mịn trước khi phối trộn với các cốt liệu khác. Thành phần hóa học của tro trấu mịn được phân tích, kết quả cho thấy hàm lượng $SiO_2$ có trong tro trấu rất cao (91.4%), tương đương với hàm lượng $SiO_2$ trong silica fume (>90%) - một loại phụ gia khoáng có hoạt tính puzolan cao thường được sử dụng trong trộn bê tông và vữa.

*(4) Đá mi:* cốt liệu này có kích thước trung bình nhỏ hơn 5.0 mm, có vai trò tăng độ bền và khả năng chịu lực của gạch và cát xây dựng đồng thời giảm co ngót và nứt vữa, ổn định kết cấu phối trộn.

*2.1.2. Xi măng*

Xi măng PCB40 Hà Tiên, đóng vai trò là chất kết dính, được sử dụng trong các thí nghiệm.

### 2.2. Khuôn mẫu gạch thí nghiệm

Trong nghiên cứu này, các mẫu gạch thành phẩm được sản xuất theo 02 loại khuôn mẫu: khuôn gạch khối vuông, có kích thước B50 x L50 x H50mm, được sử dụng đo cường độ chịu nén và khuôn gạch hình trụ tròn D90 x H100mm, được sử dụng để đo độ hút nước của gạch thành phẩm.

### 2.3. Quy trình sản xuất gạch không nung

Gạch được sản xuất dựa trên phương pháp ép rung thủy lực, kết hợp giữa lực ép và rung động mạnh tạo ra sự phân bố đồng đều của nguyên liệu, giúp tăng độ bền và khả năng chịu lực của gạch. Các thí nghiệm được thiết kế theo từng tỷ lệ cấp phối, tương ứng với mục đích nghiên cứu cụ thể (Bảng 1). Sản phẩm gạchsẽ được phân tích cường độ chịu nén và đánh giá đặc điểm kỹ thuật của GKN theo các mốc thời gian dưỡng hộ mẫu: 3 ngày, 7 ngày, 28 ngày, và 91 ngày tính từ thời điểm tạo hình gạch.

Bảng 1. Tỷ lệ cấp phối (theo khối lượng) giữa các vật liệu trong các thí nghiệm

| Thí nghiệm | Mục đích | Tên mẫu | Bùn thải (%KL) | Tro bay (%KL) | Tro trấu (%KL) | Xi măng (%KL) | Đá mi (%KL) | Cát (%KL) | Nước |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mẫu đối chứng | | M0 | Không sử dụng | | | 20 | 64 | 16 | Tùy thuộc vào mỗi thí nghiệm, lượng nước được sử dụng phù hợp. Nước dư được loại bỏ khỏi khuôn gạch trong quá trình ép gạch |
| E1 | Xác định ảnh hưởng của bùn thải | M1 | 15 | Không sử dụng | Không sử dụng | 25 | 60 | Không sử dụng | |
| | | M2 | 30 | | | 10 | 60 | | |
| | | M3 | 25 | | | 15 | 60 | | |
| | | M4 | 20 | | | 20 | 60 | | |
| E2 | Xác định ảnh hưởng của tro bay | M5 | Không sử dụng | 15 | | 25 | 60 | | |
| | | M6 | | 30 | | 10 | 60 | | |
| | | M7 | | 25 | | 15 | 60 | | |
| | | M8 | | 20 | | 20 | 60 | | |
| E3 | Xác định ảnh hưởng của tro trấu | M9 | | Không sử dụng | 15 | 25 | 60 | | |
| | | M10 | | | 30 | 10 | 60 | | |
| | | M11 | | | 25 | 15 | 60 | | |
| | | M12 | | | 20 | 20 | 60 | | |

*Ghi chú: - %KL: tỷ lệ phần trăm theo khối lượng.*

Việc tạo hình GKN sẽ được thực hiện dựa trên khuôn có kích thước 50 x 50 x 50 mm (mẫu dùng để đánh giá cường độ chịu nén) và khuôn trụ có kích thước D90 x H100 (mẫu dùng để đánh giá khả năng thấm nước). Sau khi tạo hình mẫu GKN, mẫu sẽ được giữ trong khuôn trong 01 - 02 ngày nhằm đảm bảo mẫu gạch được ổn định, kết dính chặt chẽ hỗn hợp vật liệu với nhau. Tiếp theo đó, mẫu gạch sẽ được tháo khuôn, dưỡng hộ bằng cách ngâm trong nước nhằm giúp duy trì độ ẩm cho mẫu gạch để quá trình thủy hóa diễn ra dễ dàng hơn và gia tăng được cường độ nén của gạch. Bên cạnh đó, quá trình dưỡng hộ này sẽ giúp đẩy nhanh phản ứng pozzolan - là phản ứng hóa học giữa silic dioxit ($SiO_2$) hoạt tính và alumin oxit ($Al_2O_3$) hoạt tính có trong vật liệu pozzolan với canxi hydroxit $Ca(OH)_2$ – sản phẩm của quá trình thủy hóa xi măng, và do đó sẽ góp phần tăng độ bền cơ học của gạch thành phẩm.

**2.4. Phân tích cường độ chịu nén và đánh giá đặc điểm kỹ thuật của GKN.**

Trong giai đoạn này, nghiên cứu thực hiện các bước phân tích và đánh giá như sau:

(i) Xác định cường độ chịu nén của gạch thành phẩm tại các mốc thời gian xác định (sau 3 ngày, 7 ngày; 28 ngày; 91 ngày, tính từ ngày tạo hình gạch), nhằm đánh giá khả năng chịu lực và độ bền cơ học của sản phẩm;

(ii) Xác định khả năng thấm nước của gạch – yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến độ bền lâu dài của vật liệu cũng như tính ứng dụng GKN trong việc san lát nền vỉa hè, sân bãi;

**2.5 Phương pháp phân tích và tính toán**

*2.5.1. Xác định cường độ chịu nén của gạch thành phẩm*

Cường độ nén R của mẫu gạch thử được tính bằng N/ mm$^2$ theo công thức.

$$R = P/S \quad (1)$$

Trong đó: P: là lực nén phá huỷ mẫu, (kN); S: diện tích má ép, (cm$^2$); Lực nén phá hủy mẫu được đo trực tiếp bằng máy nén thủy lực (Digital Display Pressure Testing Machine), Model: DYE-2000, điện thế 220V, số seri: 210733, MFG 2021.07, Công ty TNHH TM Quốc tế Lianyungang Yuantai. Kết quả cường độ chịu nén của mẫu gạch thành phẩm sẽ được so sánh với tiêu chuẩn TCVN 6477:2016

*2.5.2. Xác định độ thấm nước*

Độ thấm nước bề mặt theo khối lượng, K (L/m$^2$.h) được xác định theo công thức (2). Mô hình thí nghiệm xác định hệ số thấm K (cm/s) với các mẫu trụ D90 x H100 được thể hiện như sau:

$$K = \frac{V}{S \times T} \quad (2)$$

Trong đó K (L/m$^2$.h): hệ số thấm của nước qua mẫu gạch (mẫu trụ), V (Lít): là thể tích nước thấm qua mẫu thử, S (m$^2$): diện tích tiết diện ngang của mẫu, S = $\pi D^2/4$, T (h): là thời gian nước thấm qua, (48h). Kết quả độ thấm nước của mẫu gạch thành phẩm sẽ được so sánh với tiêu chuẩn TCVN 6477:2016 để xác định mức độ đạt yêu cầu của thành phẩm.

**3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN**

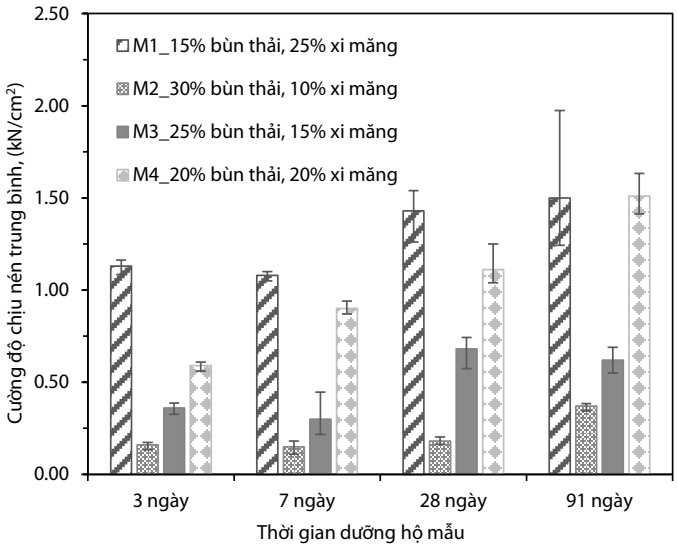
**3.1. Ảnh hưởng của thành phần chất thải đến cường độ chịu nén của gạch thành phẩm**

*3.1.1. Ảnh hưởng của bùn thải*

Các mẫu gạch của dãy thí nghiệm E1 sau thời gian dưỡng hộ được tiến hành đo cường độ chịu nén tại các mốc thời gian nhất định (sau 3 ngày, 7 ngày, 28 ngày, 91 ngày) với kết quả được trình bày trong Bảng 2 và Hình 2.

Bảng 5. Cường độ chịu nén và tốc độ thấm nước của các mẫu GKN sử dụng bùn thải

| *Tên mẫu* | *Cường độ nén trung bình sau thời gian dưỡng hộ, (kN/cm$^2$)* | | | | *Tốc độ thấm nước sau 28 ngày, (L/m$^2$.h)* |
|---|---|---|---|---|---|
| | *Sau 3 ngày* | *Sau 7 ngày* | *Sau 28 ngày* | *Sau 91 ngày* | |
| M1 (15% bùn, 25% xi măng) | 1.13 ± 0.03 | 1.08 ± 0.02 | 1.43 ± 0.12 | 1.50 ± 0.34 | 0.16 |
| M2 (30% bùn, 10% xi măng) | 0.16 ± 0.03 | 0.15 ± 0.03 | 0.18 ± 0.02 | 0.37 ± 0.02 | 25.20 |
| M3 (25% bùn, 15% xi măng) | 0.36 ± 0.02 | 0.30 ± 0.10 | 0.68 ± 0.08 | 0.62 ± 0.06 | 60.00 |
| M4 (20% bùn, 20% xi măng) | 0.59 ± 0.02 | 0.90 ± 0.03 | 1.11 ± 0.10 | 1.51 ± 0.09 | 180.00 |
| **Mẫu đối chứng M0** | **1.35 ± 0.35** | **1.28 ± 0.30** | **1.62 ± 0.16** | **1.95 ± 0.08** | **0.37** |
| TCVN 6477:2016 | **≥ 1.50 kN/cm$^2$** (mác gạch M15)<br>**≥ 2.0 kN/cm$^2$** (mác gạch M20) | | | | **0.35** (gạch xây không trát);<br>**16** (gạch xây có trát) |




Hình 2. Cường độ chịu nén của mẫu GKN sử dụng bùn thải theo thời gian

Tại các mốc thời gian, hầu hết M1 có kết quả cường độ chịu nén cao nhất tương ứng với tỷ lệ phối trộn bùn thải thấp (15%). Mẫu M2 và M3 có cấp phối bùn thải ở mức cao (25% và 30%) cho kết quả cường độ chịu nén thấp nhất trong nhóm, và cũng không có sự gia tăng đáng kể trong suốt thời gian dưỡng hộ. Mẫu M1 chứa hàm lượng xi măng cao nhất (25%) dẫn đến việc liên kết, đóng rắn các vật liệu khi kết hợp lại với nhau từ đó quá trình tạo ra sản phẩm thủy hóa diễn ra dày dặc hơn, giúp tăng độ rắn chắc GKN. Tuy nhiên khả năng gia tăng cường độ nén của M1 không tốt bằng M4. Cụ thể, mẫu M4 cho kết quả tốc độ phát triển cường độ nén vượt trội, đạt 1.51 kN/cm$^2$ sau 91 ngày.

Kết quả đo độ thấm nước của dãy mẫu E1 chịu ảnh hưởng từ vật liệu bùn thải bởi đặc tính ưu nước cũng như tính đóng rắn của vật liệu xi măng. M1 có hàm lượng bùn thải thấp nhất, hàm lượng xi măng cao nhất nên tính hút nước của mẫu hoàn toàn chậm hơn các mẫu còn lại bởi cấu trúc tạo thành rắn chắc. Đối với mẫu M2 và M3 tỷ lệ bùn thải chiếm phần lớn, lần lượt đạt tỷ lệ 30% và 25%, bùn trở thành vật liệu đặc, chứa nhiều nước. M4 là cấp phối có hàm lượng xi măng vừa đủ giúp mẫu tạo liên kết, đóng rắn ổn định cho mẫu GKN, tỷ lệ bùn không quá cao giúp giảm khả năng lấp kín mẫu do đó khả

năng thấm hút nước của M4 được diễn ra thuận lợi và đạt yêu cầu về độ thấm nước cho cả loại gạch bê tông xây không trát và xây có trát theo TCVN 6477:2016.

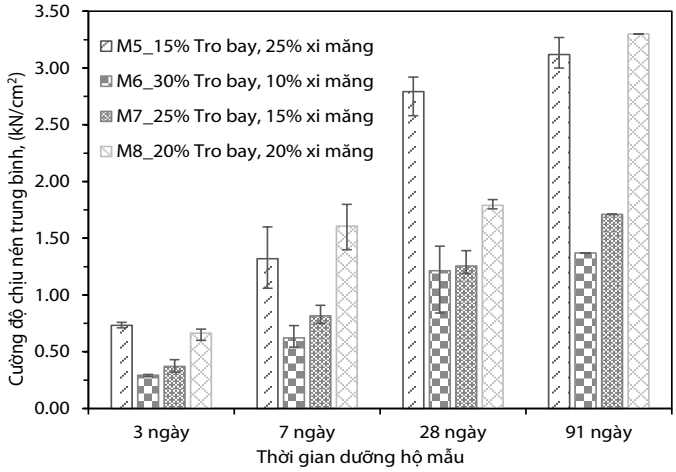
*3.1.2. Ảnh hưởng của tro bay*

Tro bay được sử dụng làm cốt liệu trong thí nghiệm E2. Kết quả cho thấy, nhóm cấp phối (M5 – M8) chịu ảnh hưởng rõ rệt từ tỷ lệ phối trộn xi măng và tro bay.

Bảng 6. Cường độ chịu nén và tốc độ thấm nước của các mẫu GKN sử dụng tro bay

| *Tên mẫu* | *Cường độ nén trung bình sau thời gian dưỡng hộ, (kN/cm²)* | | | | *Tốc độ thấm nước sau 28 ngày, (L/m².h)* |
|---|---|---|---|---|---|
| | *Sau 3 ngày* | *Sau 7 ngày* | *Sau 28 ngày* | *Sau 91 ngày* | |
| M5 (15% tro bay, 25% xi măng) | 0.73 ± 0.02 | 1.32 ± 0.22 | 2.79 ± 0.15 | 3.12 ± 0.11 | Không thấm hút |
| M6 (30% tro bay, 10% x măng) | 0.29 ± 0.01 | 0.62 ± 0.08 | 1.21 ± 0.27 | 1.37 ± 0.00 | |
| M7 (25% tro bay, 15% xi măng) | 0.37± 0.05 | 0.82 ± 0.07 | 1.26 ± 0.09 | 1.71 ± 0.00 | |
| M8 (20% tro bay, 20% xi măng) | 0.66 ± 0.04 | 1.61± 0.16 | 1.79 ± 0.04 | 3.30 ± 0.00 | |
| **Mẫu đối chứng M0** | **1.35 ± 0.35** | **1.28 ± 0.30** | **1.62 ± 0.16** | **1.95 ± 0.08** | **0.37** |
| TCVN 6477:2016 | **≥ 1.50 kN/cm²** (mác gạch M15)<br>**≥ 2.0 kN/cm²** (mác gạch M20) | | | | **0.35** (gạch xây không trát);<br>**16** (gạch xây có trát) |

Cụ thể, cường độ chịu nén của mẫu gạch tỷ lệ nghịch với sự gia tăng hàm lượng tro bay để thay thế cho một phần xi măng. Ở thời gian đầu (sau 3 ngày dưỡng hộ), cường độ chịu nén ở các mẫu không có sự khác biệt đáng kể, nhưng sau 7 ngày, kết quả đo đạc cho thấy cường độ nén giữa các mẫu có sự chênh lệch, đặc biệt mẫu M5 (3.12 kN/cm²) và M8 (3.30 kN/cm²) so với các mẫu còn lại. Lý do được giải thích như sau: ở mốc thời gian đầu, cường độ nén chủ yếu chịu ảnh hưởng bởi quá trình thủy hóa của xi măng. Đến giai đoạn 91 ngày, vật liệu tro bay (với thành phần chủ yếu các oxit $SiO_2$, $Al_2O_3$, CO, MgO) đã tham gia phản ứng pozzolan với $Ca(OH)_2$ từ quá trình thủy hóa xi măng, giúp GKN có cấu trúc rắn chắc hơn. Ở các mẫu M6, M7, hàm lượng tro bay (25 – 30%) ở mức cao hơn Xi măng (10 – 15%), kết quả cường độ nén đo được không cao, điều này cho thấy sự thiếu hụt của Xi măng sẽ không đủ khả năng liên kết, đóng rắn các thành phần vật liệu lại với nhau.




Hình 3. Cường độ chịu nén của mẫu GKN sử dụng tro bay theo thời gian

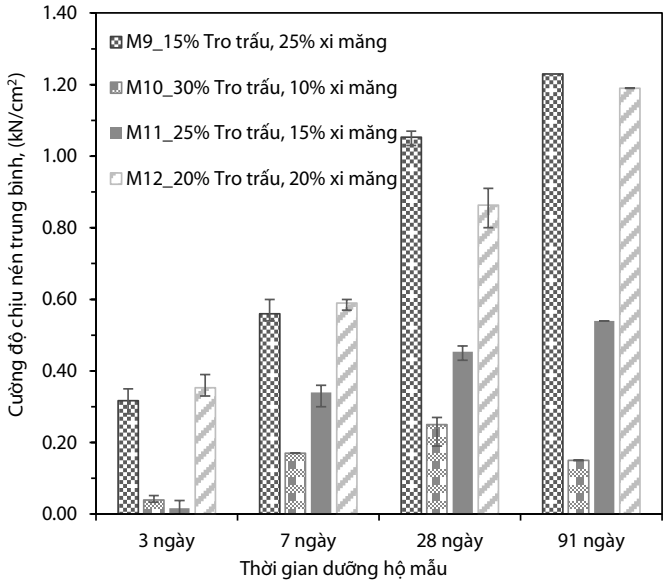
So sánh kết quả thí nghiệm của nhóm cấp phối (M5 – M8) với mẫu đối chứng M0 cho thấy tất cả 04 mẫu sử dụng tro bay này đều đạt yêu cầu về cường độ chịu nén của mác gạch bê tông từ M12.5 trở lên khi đối chiếu với TCVN 6477:2016. Tuy nhiên, kết quả đo độ thấm nước không khả quan khi tất cả các mẫu của cấp phối E2 đều không thể rút nước trong khoảng thời gian theo dõi (48 giờ). Điều này được giải thích là do khả năng vật liệu tro bay từ Nhà máy nhiệt điện sông Hậu 1 có độ mịn cao, đồng thời áp lực tạo mẫu trong nghiên cứu này cũng tương đối lớn nên khi vật liệu này kết hợp cùng xi măng đã thúc đẩy việc gia tăng khả năng kết dính hỗn hợp vật liệu thành 1 khối mẫu đặc, làm giảm đáng kể độ rỗng trong gạch thành phẩm. Bên cạnh đó, thời gian theo dõi thí nghiệm thấm nước ngắn (48 giờ), được áp dụng chung cho tất cả các mẫu trong nghiên cứu, do đó việc ghi nhận kết quả thấm nước sẽ bị giới hạn bởi ảnh hưởng của khoảng thời gian thử nghiệm.

*3.1.3. Ảnh hưởng của tro trấu*

Kết quả thí nghiệm trong cấp phối E3 với nguồn chất thải là tro trấu cho thấy ở thời điểm ổn định 3 ngày, cả 4 cấp phối đều thể hiện kết quả khá thấp, đặc biệt với các mẫu M10, M11 gần như không có khả năng chịu nén. Dãy cấp phối E3 cũng cho thấy xu hướng tương tự E2 khi khả năng chịu nén sau thời gian dưỡng hộ 91 ngày của mẫu M9 và M12 đạt kết quả cao so với các mẫu còn lại (M9 đạt 1.23 kN/cm² và M12 đạt 1.19 kN/cm²). So sánh với TCVN 6477:2016, khi tỷ lệ tro trấu dao động từ 15 ÷ 25% thì cường độ chiu nén của 3/4 các mẫu gạch trong nhóm E3 đều đạt mác gạch tương ứng là M10.0 – đối với mẫu M9, M12 và M5.0 – đối với mẫu M11. Mặc dù các kết quả dãy mẫu của cấp phối E3 ghi nhận đều có xu hướng phát triển cường độ chịu nén, tuy nhiên khả năng chịu nén đối với thử nghiệm tro trấu lại thấp hơn khoảng từ 1 đến 2 lần so với các dãy mẫu của cấp phối bùn thải (E1) và tro bay (E2). Bên cạnh đó, kết quả đo độ thấm nước của hầu hết các mẫu gạch đều không đạt.

Bảng 7. Cường độ chịu nén và tốc độ thấm hút nước của các mẫu GKN sử dụng tro trấu

| *Tên mẫu* | *Cường độ nén trung bình sau thời gian dưỡng hộ, (kN/cm²)* | | | | *Tốc độ thấm nước sau 28 ngày, (L/m².h)* |
|---|---|---|---|---|---|
| | *Sau 3 ngày* | *Sau 7 ngày* | *Sau 28 ngày* | *Sau 91 ngày* | |
| M9 (15% tro trấu, 25% xi măng) | 0.32 ± 0.03 | 0.56 ± 0.03 | 1.05 ± 0.02 | 1.23 ± 0.00 | Không thấm hút |
| M10 (30% tro trấu, 10% xi măng) | 0.04 ± 0.01 | 0.17 ± 0.00 | 0.25 ± 0.04 | 0.15 ± 0.00 | 0.22 |
| M11 (25% tro trấu, 15% xi măng) | 0.02 ± 0.02 | 0.34 ± 0.03 | 0.45 ± 0.02 | 0.54 ± 0.00 | Không thấm hút |
| M12 (20% tro trấu, 20% xi măng) | 0.35 ± 0.03 | 0.59 ± 0.01 | 0.86 ± 0.05 | 1.19 ± 0.08 | |
| **Mẫu đối chứng M0** | **1.35 ± 0.35** | **1.28 ± 0.30** | **1.62 ± 0.16** | **1.95 ± 0.08** | **0.37** |
| TCVN 6477:2016 | **≥ 1.50 kN/cm²** (mác gạch M15)<br>**≥ 2.0 kN/cm²** (mác gạch M20) | | | | **0.35** (gạch xây không trát);<br>**16** (gạch xây có trát) |




Hình 4. Cường độ chịu nén của mẫu GKN sử dụng tro trấu theo thời gian

Qua thử nghiệm đánh giá đặc điểm kỹ thuật của GKN, phế phẩm tro trấu chưa cho thấy tính khả thi rõ rệt nhất khi sử dụng thay thế vật liệu truyền thống. Kết quả thí nghiệm đối với nhóm gạch E3 một lần nữa cho thấy sự kết hợp giữa kết cấu mềm mịn của tro trấu cùng áp lực tạo mẫu tương đối cao trong nghiên cứu này đã ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng thấm hút nước của gạch thành phẩm.

## 4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Bài báo trình bày các kết quả thực nghiệm về cường độ chịu nén và độ thấm nước của gạch không nung được sản xuất từ bùn thải của Nhà máy nước, tro bay từ Nhà máy nhiệt điện và tro trấu. Kết quả nghiên cứu đã chứng minh khả năng thay thế một phần xi măng của các loại phế phẩm công và nông nghiệp này. Đặc biệt, các thành phần này đều đảm bảo an toàn môi trường với hàm lượng kim loại nặng nằm dưới ngưỡng nguy hại. Xét về sự vượt trội cường độ chịu nén thì tro bay chiếm ưu thế hơn bùn thải và tro trấu, điển hình là mẫu M8 (20% tro bay – 20% xi măng – 60% đá mi) đạt 3.30 kN/cm² sau 91 ngày. Điều này nhờ vào phản ứng pozzolan mạnh mẽ giữa các oxit kim loại trong tro bay và sản phẩm thủy hóa của xi măng, tạo nên cấu trúc vi mô đặc chắc. Bên cạnh đó thì bùn thải thể hiện sự tối ưu cho loại gạch tự chèn/lát nền, cụ thể với mẫu M4 (20% bùn thải – 20% xi măng – 60% đá mi) đạt cường độ chịu nén là 1.51 kN/cm² (tương đương mác M15.0) và có khả năng thấm hút nước vượt trội (180 L/m².h).

Dựa trên kết quả thực nghiệm, các hướng ứng dụng thực tế cho từng nhóm cấp phối được đề xuất như sau: Đối với nhóm cấp phối sử dụng bùn thải (E1), đặc biệt là mẫu M4 cho thấy khả năng ứng dụng làm vật liệu cho các giải pháp hạ tầng xanh như gạch tự chèn lát vỉa hè, sân bãi, công viên hoặc các khu vực cần thoát nước bề mặt nhanh để chống ngập úng cục bộ mà vẫn đảm bảo khả năng chịu lực cho người đi bộ và phương tiện nhẹ. Ngược lại, nhóm cấp phối sử dụng tro bay (E2), tiêu biểu là mẫu M8 thích hợp cho các cấu kiện xây dựng chịu lực cao, gạch xây tường cho các công trình dân dụng và công nghiệp, hoặc các vị trí yêu cầu độ bền cao và khả năng chống thấm tốt từ môi trường bên ngoài.

Nhằm nâng cao cơ sở khoa học của nghiên cứu, nhóm tác giả cũng đề xuất các bước nghiên cứu chuyên sâu tiếp theo về cơ chế vi mô, đánh giá cấu trúc của gạch thành phẩm thông qua các phân tích hình thái bề mặt và cấu trúc lỗ rỗng bằng máy hiển vi điện tử quét SEM và phương pháp đo diện tích bề mặt, độ rỗng của vật liệu (rắn, bột) thông qua quá trình hấp phụ vật lý khí $N_2$ dựa trên phương trình BET (Brunauer-Emmett-Teller).

Bên cạnh đó, việc phân tích hiệu quả kinh tế và đánh giá vòng đời của các mẫu gạch thành phẩm khi triển khai sản xuất ở quy mô công nghiệp và tính toán giảm thiểu lượng phát thải $CO_2$ so với gạch nung truyền thống để làm rõ giá trị "xanh" của gạch thành phẩm, cũng là hướng nghiên cứu tiềm năng tiếp theo. Ngoài ra, nhóm tác giả cũng đề xuất mở rộng hướng thực nghiệm đánh giá độ bền trong môi trường xâm thực đối với các mẫu gạch sử dụng bùn thải và tro bay nhằm đảm bảo tuổi thọ công trình. Việc kiểm định khả năng đóng rắn của các kim loại nặng bên trong cấu trúc gạch thành phẩm có đảm bảo an toàn và không phát thải ra môi trường xuyên suốt vòng đời của gạch cũng là một hướng nghiên cứu khả thi được đề xuất nghiên cứu từ kết quả bài báo này.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Tôn Đức Thắng trong Đề tài mã số FOSTECT.2025.14.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Crittenden J C et al 2012 MWH's water treatment: principles and design. (John Wiley & Sons)

[2] Hegazy B et al. Brick manufacturing from water treatment sludge and rice husk ash. 2012, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 6 (3)

[3] Lin C-F et al. Recovery of municipal waste incineration bottom ash and water treatment sludge to water permeable pavement materials., Waste Management, 26 (9). https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.09.014, 2006.

[4] Ramadan M O et al. Reuse of water treatment plant sludge in brick manufacturing., Journal of Applied Sciences Research, 4 (10), 2008.

[5] Trang N T M et al. Reuse of waste sludge from water treatment plants and fly ash for manufacturing of adobe bricks. 2021, Chemosphere, 284. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131367

[6] Truong D N 2019 trong Kỷ yếu Hội thảo Bảo vệ môi trường trong khai thác, chế biến, sử dụng Than, Khoáng sản và Dầu khí, Tháng 8.2019

[7] Luật Bảo vệ Môi trường 2020. Quốc hội nước Cộng hòa Xã hội Chủ nghĩa Việt Nam

[8] Nguyen T D et al. Effect of fly ash on the strength of cement paste at early age., Journal of Mining and Earth Sciences, 61 (6),2020. DOI: 10.46326/JMES.HTCS2020.02

[9] Ling I and Teo D. Reuse of waste rice husk ash and expanded polystyrene beads as an alternative raw material in lightweight concrete bricks. 2011, International Journal of Chemical and Environmental Engineering, 2 (5). http://ir.unimas.my/id/eprint/3118

[10] Hossain Z and Islam K T Prospects of rice husk ash as a construction material. Sustainable Concrete Made with Ashes and Dust from Different Sources (Elsevier), 2022. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824050-2.00009-7

[11] Peng G and Yang J 2016 International Forum on Energy, Environment and Sustainable Development (Atlantis Press)

[12] Huynh T P et al 2021 Proceedings of the 2nd International Conference on Sustainable Civil Engineering and Architecture (ICSCEA 2021); 2021 Oct 30

[13] Andreola F et al. Recycling of industrial wastes in ceramic manufacturing: State of art and lass case studies., Ceramics International, 42 (12), 2016. https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.05.205

[14] Al-Zboon K et al. Recycling of stone cutting sludge in formulations of bricks and terrazzo tiles., Waste Management & Research, 28 (6), 2010. DOI: 10.1177/0734242X09350246

■Ngày nhận bài: 12/01/2026 ■Ngày sửa bài: 22/01/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 31/01/2026

# Phát triển Chatbot tư vấn cho quản lý xây dựng - AI Build

## Developing a consultation Chatbot for the construction management industry - AI Build

> **BÙI VĂN TUYÊN**
Khoa Xây dựng, Trường Công nghệ Văn Lang, Trường Đại học Văn Lang
Email: tuyen.bv@vlu.edu.vn

**TÓM TẮT**

Quản lý xây dựng là một lĩnh vực rộng lớn, kết hợp kiến thức của nhiều chuyên ngành khác nhau như kỹ thuật xây dựng, quản lý tài chính và quản lý, vận hành dự án hiệu quả. Lĩnh vực này bao gồm tất cả các công việc trong một dự án xây dựng, bắt đầu từ giai đoạn lập kế hoạch, trải qua quá trình thi công, hoàn thiện và đưa công trình vào sử dụng. Vì vậy, ngành Quản lý xây dựng đòi hỏi sự hiểu biết sâu sắc về nhiều lĩnh vực như thiết kế công trình, các loại vật liệu sử dụng, phương án và công nghệ thi công xây dựng, cũng như các quy định pháp luật cần tuân thủ. Tuy nhiên, việc tìm kiếm thông tin chính xác và nhanh chóng vẫn còn khá khó khăn đối với sinh viên, người mới tốt nghiệp và thậm chí cả những người đã có kinh nghiệm trong ngành.

Nhận thấy Trí tuệ nhân tạo (AI) có khả năng giải quyết hiệu quả và chính xác các vấn đề nêu trên, đồng thời tiết kiệm thời gian và công sức trong quá trình tiếp cận tri thức, nhóm nghiên cứu đã khởi động dự án mang tên "Phát triển Chatbot tư vấn quản lý xây dựng (AI Build)". Bài viết này trình bày quá trình xây dựng một trợ lý ảo thông minh có khả năng cung cấp thông tin nhanh chóng, hỗ trợ học tập và công việc, đồng thời định hướng người dùng tập trung vào các lĩnh vực kiến thức chuyên sâu.

**Từ khóa:** Chatbot; giao diện người dùng; máy chủ; quản lý xây dựng.

**ABSTRACT**

Construction management is a broad field, combining knowledge from various disciplines such as civil engineering, financial management, and efficient project operation. It encompasses all aspects of a construction project, from the planning phase through construction, completion, and commissioning. Therefore, the field of construction management requires a deep understanding of many areas, including building design, materials used, construction methods, and regulations. Finding accurate and timely information remains challenging for students, recent graduates, and even experienced professionals in this field. Recognizing that Artificial Intelligence (AI) can effectively and accurately address these issues, saving time and effort in acquiring knowledge, a research project titled "Developing a Chatbot for Construction Management Consulting (AI Build)" has been launched. This article discusses the creation of an intelligent virtual assistant that can provide information quickly, support learning and work, and help focus on specific areas of knowledge.

**Keywords:** Chatbot; frontend; backend; construction management.

### 1. GIỚI THIỆU

Dựa trên mô hình truy xuất thông tin, hệ thống thực hiện cơ chế "Tìm kiếm và Trả về" nhằm cung cấp các thông tin phù hợp nhất từ các nguồn cơ sở dữ liệu đã được thiết lập trước đó. Trên cơ sở này, nhóm nghiên cứu xây dựng một Chatbot có khả năng hiểu truy vấn và sử dụng các thuật toán tìm kiếm để quét toàn bộ kho dữ liệu, từ đó lựa chọn những nội dung liên quan nhất với câu hỏi do người dùng nhập vào. Mô hình này không chỉ giúp nâng cao độ chính xác và tốc độ phản hồi mà còn giảm thiểu sai sót, cải thiện trải nghiệm người dùng khi tra cứu các thông tin đòi hỏi độ chính xác cao, đặc biệt trong lĩnh vực kỹ thuật như quản lý xây dựng.

### 2. TỔNG QUAN VỀ CÁC KHÁI NIỆM LÝ THUYẾT CƠ BẢN LIÊN QUAN ĐẾN CHỦ ĐỀ NGHIÊN CỨU

Website thương mại điện tử và vai trò của nó trong kinh doanh. Hệ thống AI Build được xây dựng dựa trên mô hình Client - Server, một kiến trúc tiêu chuẩn cho các ứng dụng web hiện đại. Client (Frontend - Svelte) chịu trách nhiệm về giao diện và trải nghiệm người dùng. Thành phần này không trực tiếp xử lý các nghiệp vụ phức tạp mà thực hiện các nhiệm vụ như: hiển thị giao diện trò chuyện trực quan, thân thiện với người dùng; tiếp nhận câu hỏi thông qua trường nhập liệu; gửi câu hỏi đến máy chủ thông qua các yêu cầu API (RESTful); nhận phản hồi từ máy chủ và hiển thị nội dung trả lời một cách trực quan, hấp dẫn.

Trong khi Client (Frontend - Svelte) được coi là "bộ mặt" của ứng dụng thì Server (Backend - Symfony) lại được coi là "bộ não" của hệ thống, nơi diễn ra tất cả các quá trình xử lý chính. Nó cung cấp các điểm cuối API để Client giao tiếp (ví dụ: POST /api/chat). Ngoài ra tiến hành tiếp nhận yêu cầu và xác thực chúng (nếu cần trong các phiên bản tương lai) và thực thi logic cốt lõi như truy vấn cơ sở tri thức để tìm câu trả lời. Sau đó thực hiện định dạng dữ liệu và trả về cho Client ở định dạng chuẩn (JSON).

Khung "Svelte": Công nghệ xây dựng giao diện hiện đại. Bài báo này trình bày việc xây dựng một Chatbot dựa trên mô hình truy xuất thông tin, theo đó hệ thống thực hiện cơ chế "Tìm kiếm và Trả về" nhằm cung cấp nội dung phù hợp nhất từ một cơ sở tri thức được xây dựng sẵn. Cốt lõi của Chatbot là cơ sở tri thức được lưu trữ trong thư mục dữ liệu của hệ thống,

Đây là các tệp văn bản (.txt) chứa thông tin chuyên ngành đã được số hóa và tổ chức ở dạng bán cấu trúc (sử dụng tiêu đề, danh sách), giúp thành phần phụ trợ có thể dễ dàng phân tích và trích xuất thông tin. Cơ chế hoạt động dựa trên tìm kiếm từ khóa, thông qua các hàm xử lý chuỗi cơ bản (ví dụ: str_contains trong PHP) hoặc sử dụng biểu thức chính quy để xác định mức độ tương đồng văn bản giữa câu hỏi của người dùng và nội dung trong cơ sở tri thức. Phương pháp này dễ triển khai và hoạt động hiệu quả đối với khối lượng dữ liệu nhỏ. Tuy nhiên, nhược điểm của cơ chế này là không có khả năng "hiểu" ngữ nghĩa. Chẳng hạn, nếu người dùng hỏi về "phương pháp đóng cọc" trong khi tài liệu sử dụng cụm từ "quy trình thi công cọc", Chatbot có thể không tìm thấy kết quả. Đây là hạn chế lớn nhất cần được cải thiện.

Hình 1. Các tệp dữ liệu được lưu trữ ở định dạng ".txt"

Quy trình Thu thập và trình bày dữ liệu: Một bộ dữ liệu toàn diện chuyên về lĩnh vực kỹ thuật xây dựng đã được thu thập. Tất cả dữ liệu được lưu trữ ở định dạng "*.txt*" trong thư mục data (Hình 1). Các tệp tiêu biểu bao gồm:

- *"TCVN_4447_2012_cong_tac_dat_thi_cong_va_nghiem_thu.txt"*: chứa các quy định và yêu cầu kỹ thuật, quy trình thi công và phương pháp nghiệm thu đối với các công tác đất trong xây dựng công trình;
- *"Thong_tu_12_2021_TT_BXD_huong_dan_xac_dinh_va_quan_ly_chi_phi_dau_tu_xay_dung.txt"*: bao gồm các hướng dẫn việc xác định và quản lý chi phí đầu tư xây dựng trong suốt vòng đời dự án;
- *"Luat_Dau_thau_43_2013_QH13.txt"*: tập hợp các nguyên tắc, hình thức và quy trình đấu thầu nhằm lựa chọn nhà thầu, nhà đầu tư trong hoạt động sử dụng vốn nhà nước;
- *"Nghi_dinh_63_2014_ND_CP_quy_dinh_chi_tiet_thi_hanh_mot_so_dieu_cua_Luat_Dau_thau.txt"*: quy định chi tiết việc thi hành một số điều của Luật Đấu thầu về lựa chọn nhà thầu;
- *"TCVN_4087_1985_may_xay_dung_yeu_cau_chung.txt"*: cung cấp các yêu cầu kỹ thuật cơ bản đối với máy và thiết bị sử dụng trong thi công xây dựng;
- *"QCVN_02_so_lieu_dieu_kien_tu_nhien_su_dung_trong_xay_dung.txt":* Cung cấp các loại số liệu cơ bản về điều kiện tự nhiên như khí hậu, địa chất, thủy văn và các yếu tố môi trường phục vụ cho công tác khảo sát, thiết kế và thi công xây dựng;
- *"QCVN_03_phan_cap_cong_trinh_phuc_vu_thiet_ke_xay_dung.txt":* Cung cấp các nguyên tắc và tiêu chí phân cấp công trình theo mức độ quan trọng, quy mô và yêu cầu kỹ thuật;
- *"QCVN_06_an_toan_chay_cho_nha_va_cong_trinh.txt":* Gồm các yêu cầu bắt buộc nhằm bảo đảm an toàn cháy trong quá trình thiết kế, xây dựng và sử dụng nhà ở và công trình xây dựng;
- *"QCVN_08_an_toan_trong_hoat_dong_xay_dung.txt"*: Cung cấp các yêu cầu bắt buộc nhằm bảo đảm an toàn lao động trong suốt quá trình thi công xây dựng công trình.

Người dùng tương tác với hệ thống thông qua giao diện tin nhắn, nhập câu hỏi vào mục trò chuyện trên giao diện ứng dụng và nhấp vào "Gửi". Khi người dùng gửi tin nhắn, hàm "*sendMessage*" được kích hoạt. Hàm này thu thập nội dung tin nhắn, thêm vào danh sách tin nhắn hiển thị trên giao diện, sau đó sử dụng API fetch để gửi yêu cầu POST đến API máy chủ. Ví dụ mã (dựa trên tệp "*bundle.js*" đã biên dịch):

```
async function sendMessage() {
  // ...
  const userMessage = userInput;
  // ...
  try {
    const res = await fetch('http://localhost:8001/api/chat', {
      method: 'POST',
      headers: { 'Content-Type': 'application/json' },
      body: JSON.stringify({ message: userMessage })
    });
    //
  } catch(e) {
    // ...
  }
}
```

Hình 2. Đoạn mã giao diện người dùng (frontend) gửi một đối tượng JSON

Giao diện người dùng "Svelte" lắng nghe các sự kiện, thu thập nội dung của câu hỏi và gửi yêu cầu API (yêu cầu HTTP) đến máy chủ (backend). Máy chủ Symfony nhận yêu cầu từ giao diện người dùng, bắt đầu quy trình xử lý và bộ điều khiển tương ứng được kích hoạt. Cách thức hoạt động của hệ thống như sau: Đầu tiên, hệ thống định tuyến của Symfony (được định nghĩa trong config/routes.yaml hoặc sử dụng thuộc tính trong bộ điều khiển) ánh xạ yêu cầu /api/chat đến một phương thức cụ thể trong ChatController. Tiếp theo, hệ thống xử lý logic, nhận dữ liệu JSON, giải mã để trích xuất câu hỏi, sau đó gọi một lớp dịch vụ (ví dụ: ChatService.php) để thực hiện tác vụ tìm kiếm. Hệ thống truy vấn cơ sở tri thức: ChatService đọc nội dung của tất cả các tệp "*.txt*" trong thư mục [*d:\Thuc_tap\Structure Chatbot\Structure Chatbot\backend\data*] (*d:\Thuc_tap\Structure Chatbot\Structure Chatbot\backend\data*) và thực hiện một thuật toán tìm kiếm (ví dụ: khớp từ khóa, độ tương đồng cụm từ) để xác định đoạn văn bản phù hợp nhất để trả lời câu hỏi. Sau khi tìm thấy câu trả lời, bộ điều khiển tạo một đối tượng JsonResponse và trả lại kết quả cho giao diện người dùng.

Bộ điều khiển gọi một lệnh dịch vụ chịu trách nhiệm xử lý logic. Dịch vụ này đọc và phân tích các tệp "*.txt*" trong cơ sở tri thức để tìm ra nội dung phù hợp nhất. Sau khi tìm thấy câu trả lời, phần backend sẽ định dạng nội dung (ví dụ: chuyển đổi Markdown sang HTML) và tập hợp nó vào một phản hồi JSON chuẩn hóa. Phần frontend nhận phản hồi từ backend, giải mã dữ liệu JSON và hiển thị câu trả lời của bot trong giao diện trò chuyện. Cách hoạt động như sau:

- Nhận dữ liệu: Lệnh gọi *"fetch"* ở Bước 1 nhận *"JsonResponse"* từ backend. Nội dung câu trả lời được trích xuất từ *"data.answer"*.
- Hiệu ứng gõ: Hàm *"typeBotMessage"* được gọi để mô phỏng hoạt ảnh gõ, tăng cường tương tác người dùng.

- Định dạng và hiển thị: Cuối cùng, câu trả lời hoàn chỉnh được thêm vào danh sách tin nhắn. Hàm *"formatMessage"* xử lý các định dạng đặc biệt như Markdown (ví dụ: dấu chấm *, -) và chuyển đổi chúng sang HTML trước khi hiển thị, đảm bảo câu trả lời được cấu trúc rõ ràng.

Do đó, hoạt động của hệ thống là sự hợp tác hài hòa giữa Frontend (Svelte) và Backend (Symfony), với trái tim của hệ thống là một cơ sở tri thức chuyên biệt được xây dựng tỉ mỉ. Nền tảng này cho phép chatbot cung cấp các câu trả lời chính xác và có giá trị.

## 3. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

### 3.1. Đặc tả yêu cầu bài toán

Bài toán đề ra với nhiệm vụ phát triển một ứng dụng chatbot hoàn chỉnh trên nền tảng web (nguyên mẫu) có khả năng tương tác với người dùng về các chủ đề liên quan đến ngành Xây dựng. Hệ thống của chatbot cần đáp ứng các chức năng:

- Cho phép người dùng đặt câu hỏi liên quan đến các chủ đề trong lĩnh vực xây dựng và nhận được câu trả lời phù hợp từ một cơ sở kiến thức chuyên ngành tích hợp.
- Chatbot sử dụng cơ chế tìm kiếm thông minh để truy xuất thông tin chính xác, cho phép người dùng truy cập kiến thức nhanh chóng và hiệu quả.
- Giao diện được thiết kế hiện đại, trực quan và thân thiện với người dùng.
- Tương tác thông minh: Chatbot hỗ trợ thẻ gợi ý, giúp người dùng dễ dàng điều hướng và đặt câu hỏi đặc biệt hữu ích cho những người chưa quen sử dụng chatbot hoặc không chắc chắn nên bắt đầu từ đâu.

Ngoài những tính năng nêu trên, hệ thống cũng cung cấp thêm các tính năng quản lý hội thoại, chẳng hạn như bắt đầu một cuộc hội thoại mới. Điều này cho phép người dùng thiết lập lại phiên khi thay đổi chủ đề hoặc làm mới cuộc thảo luận, giúp duy trì sự rõ ràng và mạch lạc trong suốt quá trình tương tác.

### 3.2. Phân tích hệ thống

Hệ thống mang tên "Chatbot Xây dựng bằng AI" được thể hiện qua sơ đồ phân rã chức năng (FDD) biểu diễn theo thứ bậc của các chức năng chính và chức năng phụ của hệ thống:

```
├──── 1.0 Tương tác trò chuyện
│  ├──── 1.1 Gửi câu hỏi bằng văn bản
│  ├──── 1.2 Hiển thị lịch sử trò chuyện hiện tại
│  └──── 1.3 Chọn câu hỏi được đề xuất
├──── 2.0 Quản lý giao diện
│  ├──── 2.1 Chuyển đổi giữa Chế độ Sáng/Tối
│  └──── 2.2 Hiển thị/Ẩn Menu
├──── 3.0 Quản lý cuộc trò chuyện
│  └──── 3.1 Bắt đầu một cuộc trò chuyện mới
└──── 4.0 Quản lý dữ liệu
├──── 4.1 Truy xuất kiến thức từ các tệp
└──── 4.2 (Dự kiến) Lưu/Tải lịch sử trò chuyện vào/từ cơ sở dữ liệu
```

Hình 3. Sơ đồ luồng dữ liệu (DFD) - Cấp độ ngữ cảnh

### 3.3. Triển khai hệ thống

Giao diện trò chuyện chính (ChatInterface.svelte): Đây là thành phần cốt lõi của ứng dụng, nơi người dùng tương tác trực tiếp với Chatbot. Giao diện được phát triển hoàn chỉnh, cho phép người dùng nhập câu hỏi của họ thông qua trường nhập liệu được thiết kế rõ ràng và thân thiện với người dùng. Sau khi gửi câu hỏi, hệ thống sẽ hiển thị phản hồi của chatbot dưới dạng hội thoại, giúp người dùng dễ dàng theo dõi cuộc đối thoại. Tin nhắn từ người dùng và chatbot được phân biệt rõ ràng bằng các màu sắc, vị trí và định dạng khác nhau. Ngoài ra, giao diện hỗ trợ cuộn tự động, đảm bảo người dùng luôn thấy các tin nhắn mới nhất mà không cần tương tác thủ công.

Màn hình chào mừng và gợi ý: Đây là giao diện ban đầu được hiển thị khi người dùng lần đầu truy cập ứng dụng. Màn hình chào mừng cung cấp tổng quan ngắn gọn về chức năng của chatbot, tạo ấn tượng đầu tiên thân thiện và chuyên nghiệp. Nó cũng có các thẻ gợi ý các câu hỏi mẫu hoặc các chủ đề phổ biến trong lĩnh vực xây dựng để giúp người dùng dễ dàng bắt đầu cuộc trò chuyện. Khi người dùng nhấp vào thẻ gợi ý, nội dung tương ứng sẽ tự động được gửi đến chatbot dưới dạng câu hỏi, giúp tiết kiệm thời gian và hướng dẫn cuộc hội thoại hiệu quả.

Hệ thống backend được phát triển bằng framework Symfony, một nền tảng mạnh mẽ và linh hoạt để xây dựng các ứng dụng web dựa trên PHP. Các API cốt lõi đã được triển khai thành công, cho phép giao diện người dùng gửi câu hỏi, thắc mắc của người dùng đến máy chủ thông qua phương thức POST. API nhận dữ liệu đầu vào, xử lý logic truy vấn và trả về kết quả ở định dạng JSON để giao diện người dùng hiển thị. Bằng cách sử dụng kiến trúc RESTful, hệ thống đảm bảo khả năng mở rộng, khả năng bảo trì và dễ dàng tích hợp với các hệ thống khác trong tương lai.

Cơ chế truy vấn dữ liệu từ kho tri thức: Phần backend đã được tích hợp khả năng đọc và tìm kiếm thông tin từ các tệp .txt nằm trong thư mục dữ liệu, nơi lưu trữ kho tri thức xây dựng chuyên ngành. Cơ chế truy vấn hiện tại hoạt động dựa trên tìm kiếm từ khóa, sử dụng các hàm xử lý chuỗi hoặc biểu thức chính quy để phát hiện sự tương đồng giữa câu hỏi của người dùng và nội dung trong các tệp. Khi tìm thấy một đoạn văn bản có liên quan, hệ thống sẽ trích xuất và định dạng nội dung trước khi trả về cho giao diện người dùng.

Các tính năng dự kiến và lộ trình phát triển: Hệ thống sẽ phát triển theo ba gia đoạn cụ thể, mỗi giai đoạn sẽ củng cố và nâng cấp thêm những tính năng để phù hợp với người dùng:

- Giai đoạn 1: Hoàn thiện các tính năng cốt lõi và hệ thống tài khoản. Trong giai đoạn này cho phép hệ thống tích hợp bảo mật Symfony, tức là xây dựng hệ thống đăng nhập/đăng ký cho người dùng. Người dùng cũng có thể sử dụng cơ sở dữ liệu (SQLite/MySQL) để lưu trữ tất cả các cuộc hội thoại và tin nhắn nhằm cho phép người dùng đã đăng nhập xem lại các cuộc hội thoại trước đó của họ.
- Giai đoạn 2: Phát triển bảng điều khiển quản trị. Hệ thống cài đặt gói EasyAdmin giúp xây dựng bảng điều khiển quản trị cho phép quản trị viên quản lý người dùng và xem lịch sử trò chuyện. Ngoài ra có thể quản lý cơ sở kiến thức, tức là phát triển giao diện cho phép quản trị viên chỉnh sửa, thêm hoặc xóa các tệp .txt trong cơ sở kiến thức mà không cần sửa đổi mã nguồn.
- Giai đoạn 3: Nâng cao những trải nghiệm của người dùng. Thêm các tính năng cho phép người dùng thay đổi hình nền và chuyển đổi ngôn ngữ (tiếng Việt/tiếng Anh) để tùy chỉnh giao diện người dùng. Hệ thống cũng hỗ trợ định dạng phản hồi của bot bằng Markdown để hiển thị danh sách, bảng và công thức một cách rõ ràng và có cấu trúc. Phản hồi trực tuyến nhằm triển khai cơ chế phản hồi trực tuyến để mô phỏng việc bot "viết" câu trả lời, tăng cường tính tương tác.

**3.4. Thiết kế cơ sở dữ liệu**

Hệ thống sẽ sử dụng Doctrine ORM từ Symfony để tương tác với cơ sở dữ liệu. Cấu trúc bảng được đề xuất cho các chức năng trong tương lai bao gồm:

- Bảng người dùng: Quản lý tài khoản người dùng dựa vào ID, Email đăng nhập, Roles vai trò của người dùng (ví dụ: ROLE_USER, ROLE_ADMIN), mật khẩu được mã hóa.
- Bảng hội thoại: Lưu trữ các phiên trò chuyện thông qua ID (khóa chính), User_id (khóa ngoại liên kết với người dùng), Title (tiêu đề của cuộc hội thoại), Created_at (thời gian tạo).
- Bảng tin nhắn: Lưu trữ các tin nhắn riêng lẻ được thông qua: ID (khóa chính), Conversation_ID (khóa ngoại liên kết với cuộc hội thoại), Sender (người dùng hoặc bot), Content (nội dung tin nhắn) và Created_at (thời gian tạo tin nhắn).

**3.5. Quan sát và đánh giá**

Kiến thức lý thuyết chuyên môn về xây dựng ứng dụng web bằng Svelte và Symfony đã được áp dụng thành công, và mô hình Client-Server đang hoạt động đáng tin cậy. Trên thực tế, việc xây dựng một cơ sở tri thức có cấu trúc tốt từ các tài liệu xây dựng thô tốn nhiều thời gian và công sức, ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng phản hồi của chatbot. Việc tích hợp giao diện người dùng và máy chủ thông qua API yêu cầu định dạng dữ liệu nhất quán và xử lý lỗi CORS, một vấn đề phổ biến trong thực tế đã được giải quyết thành công.

Bên cạnh đó những thách thức gặp phải trong thời gian thực hiện cần phải kể đên như: Việc đọc, hiểu và sắp xếp một lượng lớn nội dung liên quan đến kiến thức chuyên ngành Xây dựng đòi hỏi sự chú ý cẩn thận và thời gian đáng kể. Ngoài ra Chatbot hiện tại phụ thuộc rất nhiều vào việc khớp từ khóa và không thực sự "hiểu" các câu hỏi phức tạp hoặc sai ngữ pháp. Đây vẫn là hạn chế lớn nhất cần phải khắc phục.

**3.6. Các đề xuất cải tiến và nâng cấp**

Để phát triển AI Build từ nguyên mẫu thành một công cụ mạnh mẽ, các nỗ lực cải tiến nên tập trung vào "bộ não" của Chatbot - cơ chế tìm kiếm của nó. Để Chatbot không còn trả về các đoạn trích khô khan, trực tiếp từ tài liệu nữa, mà thay vào đó sẽ soạn thảo các câu trả lời hoàn chỉnh, chuyên nghiệp, giống như một chuyên gia trong lĩnh vực đó, một số các đề xuất có thể kể đến để cải tiến và nâng cấp hệ thống như sau:

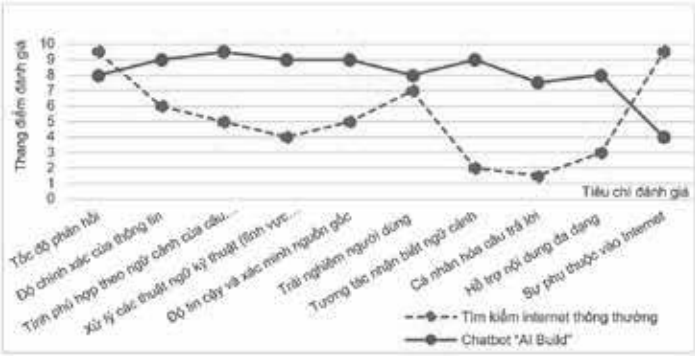
- Nâng cao tìm kiếm văn bản (ngắn hạn): Tích hợp thư viện cơ sở lý thuyết tìm kiếm toàn văn chuyên dụng bằng cách triển khai thư viện TNTSearch cho Symfony. Thư viện này xây dựng chỉ mục cho toàn bộ các tệp ".txt" trong hệ thống. Khi người dùng gửi truy vấn, việc tìm kiếm trong chỉ mục này sẽ nhanh hơn và thông minh hơn nhiều, với hỗ trợ tìm kiếm mờ và xếp hạng kết quả dựa trên mức độ liên quan.
- Triển khai tìm kiếm ngữ nghĩa (dài hạn): Đây là bước đột phá cho phép chatbot thực sự "hiểu" các truy vấn của người dùng. Sử dụng các mô hình AI/NLP để chuyển đổi câu hỏi của người dùng và các đoạn kiến thức thành dạng biểu diễn số.
- Sau đó, hệ thống sẽ tìm phân đoạn kiến thức có vectơ tương tự nhất với vectơ câu hỏi bằng cách sử dụng độ tương đồng Cosine bằng cách tạo câu trả lời dựa trên truy xuất (Retrieval-Augmented Generation - RAG): Đây là kỹ thuật tiên tiến nhất và là mục tiêu cuối cùng. Sử dụng tìm kiếm ngữ nghĩa để tìm các đoạn văn bản liên quan nhất từ cơ sở tri thức ".txt". Đưa các đoạn văn bản đó cùng với câu hỏi của người dùng vào một mô hình ngôn ngữ lớn (LLM) như Gemini API. Mô hình sau đó sẽ tạo ra một câu trả lời mạch lạc, tự nhiên và chính xác dựa trên ngữ cảnh được cung cấp.

Để đánh giá hiệu quả thực tiễn của Chatbot chuyên ngành xây dựng so với các công cụ tìm kiếm đa năng trên internet, một thí nghiệm so sánh đã được tiến hành dựa trên một số tiêu chí chính: độ chính xác, thời gian phản hồi, mức độ liên quan đến lĩnh vực và trải nghiệm người dùng. Bảng 1 thể hiện sự khác biệt giữa việc sử dụng Chatbot và Tìm kiếm internet thông thường:

Bảng 1. Bảng so sánh: Tìm kiếm internet thông thường so với Chatbot chuyên ngành Xây dựng

| Tiêu chí đánh giá | Tìm kiếm internet thông thường | Chatbot chuyên dụng cho ngành Xây dựng |
|---|---|---|
| Tốc độ phản hồi | Nhanh (1-3 giây) | Nhanh (dưới 2 giây), tùy thuộc vào kiểu máy và cơ sở hạ tầng. |
| Độ chính xác của thông tin | Tùy thuộc vào từ khóa; có thể gặp phải kết quả gây hiểu nhầm. | Cao hơn - được trích dẫn từ các nguồn đã được chọn lọc và xác minh. |
| Tính phù hợp theo ngữ cảnh của câu trả lời | Trung bình - người dùng thường cần lọc kết quả. | Cao - chatbot diễn giải và lựa chọn nội dung dựa trên ý nghĩa |
| Xử lý các thuật ngữ kỹ thuật (lĩnh vực xây dựng) | Thấp - yêu cầu truy vấn từ khóa chính xác | Trình độ cao - được đào tạo về các loại giấy tờ liên quan đến xây dựng. |
| Độ tin cậy và xác minh nguồn gốc | Biến đổi - tùy thuộc vào các trang web bên ngoài. | Ổn định - dữ liệu đầu vào được kiểm soát và tiêu chuẩn hóa. |
| Trải nghiệm người dùng | Giao diện quen thuộc nhưng không mang tính đối thoại. | Mang tính đối thoại, dễ tiếp cận hơn đối với người mới bắt đầu. |
| Tương tác nhận biết ngữ cảnh | Không có kết quả nào - mỗi tìm kiếm đều độc lập. | Có kết quả - chatbot duy trì ngữ cảnh xuyên suốt phiên giao tiếp. |
| Cá nhân hóa câu trả lời | Không cá nhân hóa | Có thể - dựa trên lịch sử và hồ sơ người dùng. |
| Hỗ trợ nội dung đa dạng (Markdown, biểu đồ, bảng biểu) | Nội dung hạn chế - chủ yếu là các liên kết và nội dung đơn giản. | Có thể tích hợp với nội dung hình ảnh (nếu hỗ trợ Markdown/HTML) |
| Sự phụ thuộc vào Internet | Cao - phụ thuộc vào kết nối mạng và quá trình tải trang đang diễn ra. | Có thể triển khai cục bộ (ngoại tuyến hoặc mạng nội bộ nếu được cấu hình đúng cách). |

Từ bảng so sánh trên, ta thấy Tìm kiếm internet thông thường phù hợp với các truy vấn rộng, đa ngành hoặc khi cần nhiều nguồn tham khảo khác nhau. Còn chatbot chuyên dụng cho ngành xây dựng hiệu quả hơn trong môi trường giáo dục, hỗ trợ kỹ thuật hoặc các tình huống yêu cầu phản hồi chính xác, phù hợp ngữ cảnh và chuyên ngành. Kết quả so sánh được cụ thể hóa bằng biểu đồ Hình 4.




Hình 4. Biểu đồ so sánh hiệu quả: Chatbot chuyên dụng theo lĩnh vực so với Tìm kiếm internet thông thường

Kết quả được tóm tắt và trực quan hóa trong biểu đồ trên, cho thấy: Chatbot chuyên dụng cho lĩnh vực xây dựng mang lại hiệu quả tổng thể, nhờ khả năng hiểu ngữ cảnh kỹ thuật, trích xuất kiến thức từ cơ sở dữ liệu được chọn lọc và cung cấp câu trả lời ngắn gọn và phù hợp. Trong khi đó, tìm kiếm internet thông thường chủ yếu là do người dùng phải tự lọc, đánh giá và tổng hợp thông tin từ nhiều nguồn khác nhau, đôi khi không nhất quán hoặc không chuyên ngành. So sánh này chứng minh rằng việc áp dụng Trí tuệ nhân tạo, cụ thể là Chatbot được thiết lập với kiến thức chuyên ngành không chỉ cải thiện tốc độ tìm kiếm mà còn nâng cao chất lượng và độ chính xác của việc truy xuất thông tin. Phát hiện này đóng vai trò là nền tảng quan trọng để triển khai các hệ thống hỗ trợ thông minh cho các kỹ sư, sinh viên và chuyên gia trong ngành Xây dựng.

## 4. KẾT LUẬN

Việc phát triển thành công một ứng dụng web hoàn chỉnh với kiến trúc Client-Server, sử dụng các công nghệ hiện đại như Svelte và Symfony là hoàn toàn cần thiết trong thời đại số. Số hóa và xây dựng cơ sở kiến thức chuyên ngành ban đầu, làm nền tảng cho việc phát triển chatbot giúp hiểu rõ và áp dụng quy trình phát triển phần mềm từ khâu ý tưởng, phân tích, thiết kế, lập trình đến kiểm thử. Để làm được việc đó cần đầu tư vào AI để nâng cao "trí thông minh", ưu tiên nâng cấp cơ chế tìm kiếm, sử dụng các mô hình ngôn ngữ lớn để cho phép chatbot hiểu ngữ nghĩa và phản hồi tự nhiên và hoàn thiện hệ sinh thái ứng dụng giúp phát triển nhanh chóng các tính năng còn lại như hệ thống tài khoản người dùng, lưu trữ lịch sử trò chuyện và bảng điều khiển quản trị để làm cho sản phẩm toàn diện hơn và dễ quản lý hơn. Từ đó sẽ cải thiện tự động hóa việc thu thập dữ liệu, giảm thiểu công sức thủ công và tạo điều kiện thuận lợi cho việc mở rộng cơ sở kiến thức đặc biệt cho các ngành kỹ thuật như quản lý xây dựng.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Jurafsky, D.; Martin, J.H., *Speech and Language Processing*, 3rd (draft) ed., Stanford University, Stanford, CA, 2023.

[2] Lewis, P.; et al., *Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks*, Advances in Neural Information Processing Systems, Vol. 33, pp. 9459-9474, 2020.

[3] Pytel, A.; Kiusalaas, J., *Mechanics of Materials*, Cengage Learning, Boston, 2012.

[4] Zhang, F.; et al., *Integrated Applications of Building Information Modeling and Artificial Intelligence Techniques in the AEC/FM Industry*, Automation in Construction, Vol. 139, p. 104289, 2022.

[5] Farshadfar, Z.; et al., *Machine Learning-Based Automated Waste Sorting in the Construction Industry: A Comparative Competitiveness Case Study*, Waste Management, Vol. 194, pp. 77-87, 2025.

[6] Murphy, K.P., *Machine Learning: A Probabilistic Perspective*, MIT Press, Cambridge, MA, 2012.

[7] Nguyễn, H.; et al., *Các yếu tố ảnh hưởng đến việc tích hợp mô hình thông tin thành phố (CIM) và trí tuệ nhân tạo (AI) trong quản lý quy hoạch đô thị*, Tạp chí Vật liệu và Xây dựng - Bộ Xây dựng, Vol. 13, no. 05, pp. 83-87, 2023.

[8] Giang, T.H.; et al., *Khám phá các khía cạnh về sự tác động của trí tuệ nhân tạo (AI) đến quy trình tuyển dụng trong các doanh nghiệp ngành Xây dựng Thành phố Hồ Chí Minh*, Tạp chí Khoa học Quản lý và Kinh tế - Trường Đại học Kinh tế, Đại học Huế, no. 30, 2024.

■Ngày nhận bài: 10/01/2026 ■Ngày sửa bài: 21/01/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 31/01/2026

# Công nghệ 4.0 trong giám sát thông minh công trình bê tông cốt thép cũ: Trường hợp các chung cư ở TP Hồ Chí Minh

## Industry 4.0 technology for intelligent monitoring of old reinforced concrete structures: The case of apartment buildings in Ho Chi Minh City

**> NGUYỄN KHẮC QUÂN[1,2,3], NGUYỄN THANH PHONG[1,2,*], NGUYỄN MẬU PHƯỚC[4], CHÂU ĐỨC HUỆ[4]**
[1]Nhóm nghiên cứu liên ngành về QLDA & Tri thức chuyên nghiệp (K2P), Trường Đại học Mở Thành phố Hồ Chí Minh
[2] Bộ môn QLXD, Khoa Xây dựng, Trường Đại học Mở Thành phố Hồ Chí Minh
[3]Trung tâm nghiên cứu ứng dụng và chuyển giao công nghệ xây dựng (REATTEC), Khoa Xây dựng, Trường Đại học Mở Thành phố Hồ Chí Minh
[4] Công ty Cổ phần Kỹ thuật Geoscan
*Corresponding author: Email: phong.nt@ou.edu.vn

### TÓM TẮT
Trong các công trình chung cư bê tông cốt thép (BTCT) cũ ở TP.HCM (được xây dựng từ giai đoạn 1960 - 1970, thời gian sử dụng khoảng 50 - 60 năm), quá trình cacbonat hóa đã tiến triển sâu rộng, đe dọa đến tuổi thọ kết cấu công trình. Các kết quả khảo sát hiện trường cho thấy chiều sâu cacbonat hóa phổ biến là 30 - 50 mm (có nơi lên tới gần 60 mm), thường lớn hơn hoặc xấp xỉ độ dày lớp bảo vệ bê tông (20 - 40 mm). Điều này cho thấy lớp lớp môi trường kiềm bảo vệ cốt thép đã bị phá hủy, thép bên trong mất tính thụ động và dễ bắt đầu quá trình ăn mòn (rỉ sét) nếu không được khắc phục. Kết quả nghiên cứu này có ý nghĩa quan trọng trong giám sát và quản lý công trình, chứng minh rằng nhiều vị trí trong kết cấu đã đạt hoặc vượt giới hạn an toàn do cacbonat hóa. Do đó, công tác giám sát bảo trì và quản lý rủi ro công trình BTCT cần chú trọng kiểm định định kỳ (như đo chiều sâu cacbonat, kiểm tra bề mặt bê tông), ưu tiên các cấu kiện có lớp bảo vệ mỏng hoặc đã bị phá hủy. Ngoài ra, các biện pháp bảo vệ bổ sung (ví dụ: sơn chống cacbonat hóa) và kế hoạch cải tạo chung cư cũ cũng cần được xem xét nhằm kéo dài tuổi thọ của công trình.
**Từ khóa**: Bê tông cốt thép; độ bền công trình; quản lý bảo trì; giám sát hiện trạng; mất thụ động; ăn mòn cốt thép; chung cư cũ.

### ABSTRACT
In old reinforced-concrete apartment buildings in Ho Chi Minh City (constructed between 1960 and 1970), carbonation has progressed extensively, posing a serious threat to structural service life. Field investigations indicate that carbonation depth commonly ranges from 30 to 50 mm (reaching nearly 60 mm at some locations), and is often greater than or comparable to the concrete cover thickness (20 - 40 mm). This implies that the alkaline environment protecting the reinforcement has been destroyed; the embedded steel has become depassivated and may readily initiate corrosion (rusting) if no remedial measures are taken. These findings have important implications for structural monitoring and asset management: they provide evidence that many structural locations have reached or exceeded safety thresholds due to carbonation. Therefore, maintenance monitoring and risk management should prioritize periodic inspections (e.g., measuring carbonation depth and checking concrete surface condition), with special attention to elements where the cover is thin or already compromised. In addition, supplementary protection measures (such as anti-carbonation coatings) and renovation plans for aging apartment buildings should be considered to extend the service life of the structures.
**Keywords:** Reinforced concrete; structural durability; maintenance management; condition monitoring; depassivation; reinforcement corrosion; aging apartment building.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

BTCT là vật liệu xây dựng được sử dụng rộng rãi trong các công trình nhà ở đô thị nhờ khả năng chịu lực tốt và hiệu quả kinh tế. Tuy nhiên, nhiều công trình BTCT được xây dựng vào giữa thế kỷ XX ở TP.HCM hiện nay đã tiến gần hoặc vượt quá tuổi thọ thiết kế ban đầu. Điều kiện khí hậu nhiệt đới ẩm (độ ẩm 50 - 75%) tại TP.HCM tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình cacbonat hóa bê tông diễn ra nhanh hơn (Papadakis, 1992; Chen, 2018). Cacbonat hóa là quá trình $CO_2$ trong không khí xâm nhập bê tông và phản ứng với canxi trong hồ xi măng, tạo thành canxi cacbonat và làm giảm pH bên trong bê tông. Khi pH giảm xuống mức khoảng 8-9, lớp màng thụ động bảo vệ cốt thép sẽ bị suy yếu và phá vỡ, khiến thép dễ bị rỉ sét và gây nứt vỡ bê tông (Tuutti, 1980; Angst, 2020; Song & Saraswathy, 2007).

Công nghệ 4.0 trong giám sát công trình có thể được hiểu là sự tích hợp giữa việc thu thập dữ liệu hiện trường và nền tảng mô hình hóa-đồng bộ dữ liệu kết hợp với việc phân tích dữ liệu hỗ trợ quyết định giúp đánh giá rủi ro và tối ưu kế hoạch bảo trì (Wei, 2025). Đối với chung cư BTCT cũ, dữ liệu cacbonat hóa và lớp bảo vệ trong nghiên cứu này đóng vai trò "dữ liệu nền" để thiết lập chỉ số suy giảm độ bền, từ đó kết nối vào quy trình giám sát thông minh theo thời gian, giúp cảnh báo sớm, và ưu tiên can thiệp theo mức rủi ro.

Trong bối cảnh đô thị hóa nhanh và điều kiện môi trường ngày càng khắc nghiệt do biến đổi khí hậu, suy thoái độ bền của các công trình BTCT cũ đang trở thành mối quan tâm lớn đối với công tác quản lý và cải tạo nhà ở. Mặc dù cacbonat hóa đã được nghiên cứu bằng các thí nghiệm trong phòng và các mô hình, các dữ liệu hiện trường dài hạn từ các công trình đã khai thác hàng chục năm vẫn còn hạn chế, đặc biệt trong điều kiện khí hậu nhiệt đới (Hu et al., 2020). Tại Việt Nam, nhiều khu chung cư BTCT xây dựng từ thập niên 1960 - 1970 hiện đang xuống cấp nghiêm trọng, tuy nhiên các nghiên cứu khoa học định lượng về vai trò của cacbonat hóa trong hiện tượng mất thụ động cốt thép vẫn còn rất ít.

Mặt khác, trong quy hoạch đô thị, TP.HCM đã xác định hàng trăm chung cư cũ cần được cải tạo: ví dụ năm 2025 có khoảng 474 chung cư (xây trước 1975) cần bảo trì hoặc tái thiết, trong đó nhiều toà ở mức độ hư hỏng nghiêm trọng (cấp độ D). Do đó, hiểu rõ tác động của cacbonat hóa là hết sức cần thiết để định hướng công tác bảo trì, đảm bảo an toàn và tính bền vững của các công trình chung cư này. Nghiên cứu này nhằm khảo sát sự phát triển chiều sâu cacbonat hóa và đánh giá hiện tượng mất thụ động cốt thép trong bảy chung cư BTCT đã cũ tại TP.HCM. Thông qua các phép đo hiện trường và so sánh với chiều dày lớp bê tông bảo vệ, nghiên cứu cung cấp bằng chứng khoa học về cơ chế suy thoái độ bền chi phối trong các công trình nhà ở đô thị trong điều kiện khí hậu nhiệt đới tại TP.HCM.

## 2. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU

Cacbonat hóa bê tông là một quá trình kết hợp giữa khuếch tán khí $CO_2$ và phản ứng hóa học trong hệ mao mạch của bê tông. Các mô hình phản ứng - khuếch tán đã chỉ ra rằng chiều sâu cacbonat hóa tăng theo căn bậc hai của thời gian trong điều kiện môi trường ổn định (Lele et. al., 2023). Theo mô hình hai giai đoạn của Tuutti (1980), cacbonat hóa đóng vai trò là cơ chế khởi phát ăn mòn, dẫn đến hiện tượng mất thụ động cốt thép khi mặt cacbonat hóa chạm đến bề mặt thép.

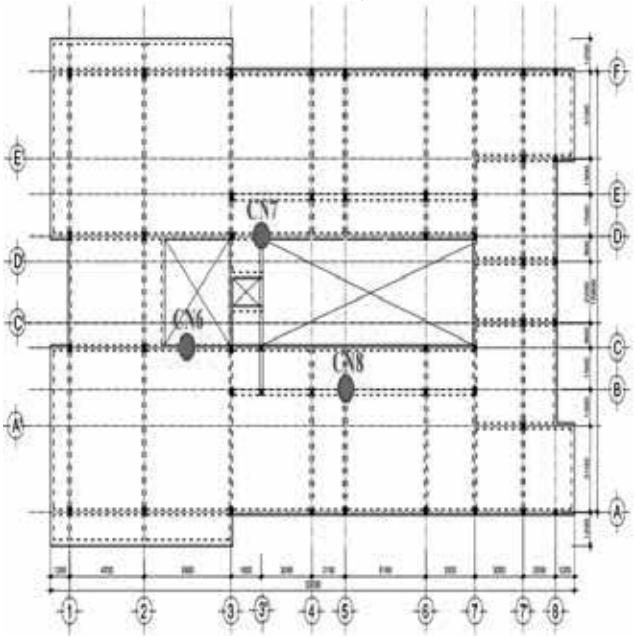
Nhiều nghiên cứu cho thấy độ ẩm tương đối, nhiệt độ và chu kỳ ướt - khô có ảnh hưởng quyết định đến tốc độ cacbonat hóa. Trong điều kiện khí hậu nhiệt đới, độ ẩm cao kéo dài, lượng mưa lớn và hiện tượng thấm ẩm thường xuyên sẽ tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình cacbonat hóa dài hạn. Các nghiên cứu hiện trường ở các khu vực nhiệt đới và cận nhiệt đới ghi nhận chiều sâu cacbonat hóa lớn hơn đáng kể so với các khu vực ôn đới đối với các công trình cùng tuổi. Độ ẩm duy trì ở mức 50 - 75% là ngưỡng tối ưu cho cacbonat hóa, trong khi độ ẩm rất cao (≥75%) có thể làm bão hòa hơi nước trong lỗ rỗng và hạn chế $CO_2$ xâm nhập.

Mặt khác, mất thụ động cốt thép xảy ra khi pH của dung dịch lỗ rỗng giảm xuống dưới ngưỡng cần thiết để duy trì lớp màng thụ động bảo vệ thép. Khi đã mất thụ động, cốt thép trở nên nhạy cảm với ăn mòn trong sự hiện diện của oxy và độ ẩm. Chiều dày lớp bê tông bảo vệ được xem là tham số quyết định thời gian đến mất thụ động, đặc biệt trong các công trình cũ có lớp bảo vệ mỏng. Thực tế cho thấy, chất lượng bê tông (đặc chắc, tỷ lệ nước/xi măng, độ bền), điều kiện thi công và môi trường xung quanh chung cư quyết định mức độ suy giảm nhiều hơn. Tóm lại, cacbonat hóa diễn biến chậm nhưng tích lũy, và khi nó chạm đến thép thì hậu quả lâu dài cho độ bền kết cấu là rất lớn.

## 3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Có 7 chung cư BTCT cũ của TP.HCM được lựa chọn cho trường hợp nghiên cứu này. Các công trình có quy mô từ 4 đến 8 tầng, được xây dựng trong giai đoạn từ thập niên 1960 - 1970, với hệ kết cấu khung BTCT. Các công trình đã được khai thác liên tục trong khoảng 50 - 60 năm và có nhiều biểu hiện xuống cấp.

Vị trí các điểm thí nghiệm được phân bố tại nhiều tầng và nhiều loại cấu kiện nhằm phản ánh các điều kiện môi trường sử dụng khác nhau trong công trình. Sơ đồ mặt bằng các tầng và vị trí thí nghiệm đại diện được trình bày trong Hình 1.




Hình 1. Vị trí các điểm thí nghiệm đo chiều sâu cacbonat hóa tại các tầng và cấu kiện chịu lực chính trong các chung cư khảo sát

Chiều sâu cacbonat hóa được xác định bằng dung dịch chỉ thị phenolphthalein 1% theo tiêu chuẩn TCVN 13933:2024. Bề mặt bê tông tại mỗi vị trí thí nghiệm được làm lộ phần bê tông mới, sau đó phun dung dịch chỉ thị để xác định ranh giới cacbonat hóa thông qua sự thay đổi màu sắc của bê tông. Quá trình thí nghiệm hiện trường và ranh giới cacbonat hóa được minh họa thông qua các hình ảnh thí nghiệm điển hình trong Hình 2.

Hiện tượng mất thụ động cốt thép được đánh giá gián tiếp thông qua so sánh chiều sâu cacbonat hóa đo được với chiều dày lớp bê tông bảo vệ. Khi chiều sâu cacbonat hóa vượt quá lớp bảo vệ, cốt thép được coi là đã mất môi trường kiềm bảo vệ và ở trạng thái mất thụ động.

Hình 2. Hình ảnh thí nghiệm hiện trường đo chiều sâu cacbonat hóa bằng dung dịch phenolphthalein 1% tại các cấu kiện dầm và cột

## 4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

### 4.1. Tổng hợp kết quả đo chiều sâu cacbonat hóa

Kết quả tổng hợp chiều sâu cacbonat hóa và chiều dày lớp bê tông bảo vệ của các cấu kiện cột BTCT tại các công trình khảo sát được trình bày trong Bảng 1. Dữ liệu thu thập từ 37 vị trí cột thuộc 7 chung cư BTCT cũ, phân bố trên nhiều tầng (từ tầng 1 đến tầng mái). Chiều dày lớp bê tông bảo vệ cốt thép đo được dao động trong khoảng từ 18 - 45 mm, với phần lớn các vị trí nằm trong khoảng 23 - 40 mm. Trong khi đó, chiều sâu cacbonat hóa đo được có giá trị khá lớn, dao động từ 13 - 59 mm. Phân tích sơ bộ cho thấy, trong số 37 vị trí khảo sát, phần lớn các cột có chiều sâu cacbonat hóa lớn hơn hoặc gần bằng lớp bê tông bảo vệ. Điều này phản ánh tình trạng suy giảm đáng kể khả năng bảo vệ cốt thép của bê tông.

Kết quả tổng hợp chiều sâu cacbonat hóa và chiều dày lớp bê tông bảo vệ của các cấu kiện dầm bê tông cốt thép tại các công trình khảo sát được trình bày trong Bảng 2. Dữ liệu được thu thập từ 35 vị trí dầm thuộc 07 chung cư BTCT cũ, phân bố trên nhiều tầng khác nhau, từ tầng 1 đến tầng mái. Chiều dày lớp bê tông bảo vệ cốt thép tại các dầm khảo sát dao động trong khoảng từ 10 - 74 mm, trong đó phần lớn các vị trí nằm trong khoảng 20 - 35 mm. Trong khi đó, chiều sâu cacbonat hóa ghi nhận được có giá trị tương đối lớn, dao động từ 7 - 57 mm. Phân tích sơ bộ cho thấy, tại phần lớn các vị trí dầm, chiều sâu cacbonat hóa đã vượt quá hoặc xấp xỉ chiều dày lớp bê tông bảo vệ, đặc biệt tại các dầm tầng cao và dầm tầng mái, cho thấy khả năng bảo vệ cốt thép của bê tông đã suy giảm đáng kể.

Dựa trên kết quả trong Bảng 1 và Bảng 2, có thể khẳng định hiện tượng mất thụ động của cốt thép đã xảy ra hoặc đang ở trạng thái cận kề tại phần lớn các vị trí cột và dầm được khảo sát.

Bảng 1. Tổng hợp kết quả đo chiều sâu cacbonat hóa và chiều dày lớp bê tông bảo vệ kết cấu Cột

| STT | Mã vị trí | Vị trí kiểm tra | Lớp bê tông bảo vệ cốt thép (mm) | Chiều sâu cacbonat hóa (mm) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | CN1 | Cột tầng 1 Trục 2/A | 40 | 33 |
| 2 | CN3 | Cột tầng 2 Trục 4/B | 33 | 47 |
| 3 | CN5 | Cột tầng 3 Trục 3/C | 36 | 30 |
| 4 | CN7 | Cột tầng 4 Trục 3'/D | 39 | 50 |
| 5 | CN8 | Cột tầng 4 Trục 5/B | 34 | 29 |
| 6 | CN1 | Cột tầng 1 Trục 5/D | 35 | 45 |
| 7 | CN3 | Cột tầng 2 Trục 3/D | 33 | 40 |
| 8 | CN5 | Cột tầng 3 Trục 6/D | 31 | 46 |
| 9 | CN7 | Cột tầng 4 Trục 7/D | 33 | 52 |
| 10 | CN9 | Cột tầng 5 Trục 6/D | 35 | 42 |
| 11 | CN11 | Cột tầng 6 Trục 4/C | 23 | 34 |
| 12 | CN12 | Cột tầng 6 Trục 3/E | 23 | 32 |
| 13 | CN14 | Cột tầng 7 Trục 7/B | 33 | 40 |
| 14 | CN16 | Cột tầng 8 Trục 2/B | 29 | 32 |
| 15 | CN1 | Cột tầng 1 Trục 11/B2 | 37 | 45 |
| 16 | CN2 | Cột tầng 1 Trục 13/B2 | 28 | 42 |
| 17 | CN3 | Cột tầng 1 Trục 12/E1 | 40 | 28 |
| 18 | CN6 | Cột tầng 2 Trục 13/B2 | 34 | 49 |
| 19 | CN7 | Cột tầng 2 Trục 10'/E1 | 18 | 32 |
| 20 | CN9 | Cột tầng 3 Trục 5/C1 | 40 | 51 |
| 21 | CN10 | Cột tầng 3 Trục 9/B2 | 34 | 45 |
| 22 | CN13 | Cột tầng 4 Trục 7/E1 | 30 | 15 |
| 23 | CN14 | Cột tầng 4 Trục 11/B2 | 30 | 44 |
| 24 | CN1 | Cột tầng 1 Trục 4/D | 28 | 18 |
| 25 | CN3 | Cột tầng 2 Trục 7/C | 22 | 31 |
| 26 | CN5 | Cột tầng 3 Trục 1/D | 23 | 14 |
| 27 | CN7 | Cột tầng 4 Trục 8/C | 23 | 15 |
| 28 | CN9 | Cột tầng 5 Trục 3/B | 23 | 13 |
| 29 | CN1 | Cột tầng mái Trục 4/C | 26 | 43 |
| 30 | CN4 | Cột tầng 3 Trục 3/C | 26 | 41 |
| 31 | CN6 | Cột tầng 2 Trục 5/D1 | 23 | 42 |
| 32 | CN1 | Cột tầng 1 Trục 1/A | 32 | 44 |
| 33 | CN2 | Cột tầng 1 Trục 2/A | 20 | 36 |
| 34 | CN4 | Cột tầng 2 Trục 1/A | 45 | 59 |
| 35 | CN6 | Cột tầng 3 Trục 1/B | 14 | 7 |
| 36 | CN8 | Cột tầng 4 Trục 2/A | 35 | 50 |
| 37 | CN10 | Cột tầng 5 Trục 2/A | 26 | 40 |

Bảng 2. Tổng hợp kết quả đo chiều sâu cacbonat hóa và chiều dày lớp bê tông bảo vệ kết cấu Dầm

| STT | Mã vị trí | Vị trí kiểm tra | Lớp bê tông bảo vệ cốt thép (mm) | Chiều sâu cacbonat hóa (mm) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | CN2 | Dầm tầng 2 Trục 2/D-F | 20 | 12 |
| 2 | CN4 | Dầm tầng 3 Trục C/3-4 | 35 | 43 |
| 3 | CN6 | Dầm tầng 4 Trục C/2-3 | 32 | 45 |
| 4 | CN2 | Dầm tầng 2 Trục 6/E-F | 26 | 32 |
| 5 | CN4 | Dầm tầng 3 Trục 6/E-F | 20 | 35 |
| 6 | CN6 | Dầm tầng 4 Trục 2/A-B | 33 | 45 |
| 7 | CN8 | Dầm tầng 5 Trục F/6-7 | 32 | 45 |
| 8 | CN10 | Dầm tầng 6 Trục F/6-7 | 46 | 57 |
| 9 | CBN13 | Dầm tầng 7 Trục 2/E-F | 33 | 45 |
| 10 | CN15 | Dầm tầng 8 Trục 2/E-F | 46 | 52 |
| 11 | CN4 | Dầm tầng 2 Trục 13/B2-C2 | 22 | 35 |
| 12 | CN5 | Dầm tầng 2 Trục 17/B2-B3 | 20 | 40 |
| 13 | CN8 | Dầm tầng 3 Trục B2/13-15 | 36 | 44 |
| 14 | CN11 | Dầm tầng 4 Trục 6/B1-B3 | 25 | 31 |
| 15 | CN12 | Dầm tầng 4 Trục 7/E-E1 | 52 | 30 |
| 16 | CN2 | Dầm tầng 2 Trục 3/A-B | 23 | 32 |
| 17 | CN4 | Dầm tầng 3 Trục 7/B-C | 25 | 16 |
| 18 | CN6 | Dầm tầng 4 Trục 4/C-D | 25 | 36 |
| 19 | CN8 | Dầm tầng 5 Trục 6-7/C | 25 | 37 |
| 20 | CN10 | Dầm tầng mái Trục 7/B-C | 25 | 36 |
| 21 | CN2 | Dầm tầng mái Trục 3-4/C | 14 | 32 |
| 22 | CN3 | Dầm tầng 4 Trục 3-4/C | 17 | 38 |
| 23 | CN5 | Dầm tầng 3 Trục 2/D-G | 15 | 34 |
| 24 | CN7 | Dầm tầng 2 Trục 3-4/C | 24 | 40 |
| 25 | CN8 | Dầm tầng 3 Trục 7-8/D | 26 | 47 |
| 26 | CN1 | Dầm tầng mái Trục 9/C′-D | 43 | 55 |
| 27 | CN2 | Dầm tầng mái Trục 2-3/E | 23 | 40 |
| 28 | CN3 | Dầm tầng mái Trục 2-3/A | 25 | 48 |
| 29 | CN4 | Dầm tầng mái Trục 3/C-D | 10 | 43 |
| 30 | CN5 | Dầm tầng 1 Trục 3-4/D′ | 40 | 56 |
| 31 | CN6 | Dầm tầng 1 Trục 2-3/A | 33 | 45 |
| 32 | CN3 | Dầm tầng 2 Trục 2/A-B | 32 | 48 |
| 33 | CN5 | Dầm tầng 3 Trục 2/B-C | 74 | 53 |
| 34 | CN7 | Dầm tầng 4 Trục 2/A-B | 32 | 47 |
| 35 | CN9 | Dầm tầng 5 Trục 1-2/C | 18 | 7 |

## 5. THẢO LUẬN

### 5.1. Mối quan hệ giữa chiều sâu cacbonat hóa và lớp bê tông bảo vệ

Kết quả khảo sát hiện trường cho thấy các chung cư cũ đều có chiều sâu cacbonat hóa lớn. Cụ thể, so sánh trực tiếp giữa chiều sâu cacbonat hóa và chiều dày lớp bê tông bảo vệ tại từng vị trí cho thấy một xu hướng nhất quán: lớp bê tông bảo vệ hiện hữu không còn đủ khả năng ngăn chặn quá trình cacbonat hóa tiếp cận cốt thép. Một số vị trí có chiều dày lớp bảo vệ tương đối lớn (từ 35 - 45 mm), chẳng hạn các cột tại chung cư L.C.T và chung cư P.N.T, vẫn ghi nhận chiều sâu cacbonat hóa vượt quá 45 - 50 mm. Điều này cho thấy, mặc dù lớp bê tông bảo vệ ban đầu đáp ứng yêu cầu thiết kế, dưới tác động của thời gian và môi trường, hiệu quả bảo vệ đã suy giảm rõ rệt.

Ngược lại, một số vị trí có chiều dày lớp bảo vệ nhỏ hơn (dưới 25 mm) thể hiện mức độ cacbonat hóa nhanh và sâu hơn, đặc biệt tại các cột tầng thấp và tầng trung gian. Điều này phản ánh vai trò quan trọng của chiều dày lớp bảo vệ, đồng thời cho thấy chiều dày lớp bê tông bảo vệ ban đầu không phải là yếu tố duy nhất quyết định mức độ cacbonat hóa. Các kết quả trên cho thấy, quá trình cacbonat hóa không chỉ phụ thuộc vào thiết kế ban đầu mà còn chịu ảnh hưởng mạnh mẽ của chất lượng bê tông, độ đặc chắc, mức độ thấm ẩm và điều kiện môi trường trong suốt vòng đời công trình.

### 5.2. Hiện tượng mất thụ động của cốt thép và ý nghĩa độ bền

Khi chiều sâu cacbonat hóa vượt quá lớp bê tông bảo vệ, môi trường kiềm cao của bê tông xung quanh cốt thép bị suy giảm, dẫn đến phá vỡ màng thụ động bảo vệ cốt thép. Dựa trên kết quả trong Bảng 1 và Bảng 2, có thể khẳng định rằng hiện tượng mất thụ động của cốt thép đã xảy ra hoặc đang ở trạng thái cận kề tại phần lớn các vị trí cột và dầm được khảo sát.

Đây là một kết quả có ý nghĩa quan trọng trong đánh giá độ bền của các chung cư cũ. Mặc dù không phải tất cả các vị trí đều đã xuất hiện biểu hiện ăn mòn rõ ràng trên bề mặt, nhưng việc lớp thụ động bị phá vỡ đồng nghĩa với việc cốt thép trở nên nhạy cảm hơn với sự xâm nhập của oxy và độ ẩm, từ đó làm gia tăng nguy cơ ăn mòn trong giai đoạn tiếp theo.

So sánh kết quả giữa các cấu kiện cột và dầm cho thấy xu hướng suy thoái do cacbonat hóa xuất hiện trên diện rộng và mang tính hệ thống, không giới hạn ở một loại cấu kiện hay một vị trí tầng cụ thể. Mức độ cacbonat hóa chịu ảnh hưởng tổng hợp của nhiều yếu tố như chất lượng bê tông ban đầu, chiều dày lớp bảo vệ, điều kiện thấm ẩm và môi trường khai thác trong suốt vòng đời công trình, thay vì chỉ phụ thuộc vào chiều dày lớp bê tông bảo vệ theo thiết kế.

## 6. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã trình bày các bằng chứng hiện trường về sự phát triển chiều sâu cacbonat hóa và hiện tượng mất tính thụ động của cốt thép trong bảy chung cư BTCT cũ tại TP.HCM, được xây dựng trong giai đoạn thập niên 1960 - 1970 và đã khai thác liên tục trong khoảng 50 - 60 năm.

Thông qua tổng cộng 72 phép đo hiện trường tại các cấu kiện chịu lực chính (cột và dầm), chiều sâu cacbonat hóa được xác định bằng dung dịch phenolphthalein 1% theo TCVN 13933:2024, và được so sánh trực tiếp với chiều dày lớp bê tông bảo vệ cốt thép.

Kết quả nghiên cứu cho thấy chiều sâu cacbonat hóa tại các công trình khảo sát có giá trị tương đối lớn, phổ biến trong khoảng 30 - 50 mm và đạt tới gần 60 mm tại một số vị trí. Trong khi đó, chiều dày lớp bê tông bảo vệ cốt thép đo được chủ yếu nằm trong khoảng 20 - 40 mm, phù hợp với các tiêu chuẩn thiết kế và thi công được áp dụng tại thời điểm xây dựng. Phân tích dữ liệu cho thấy tại phần lớn các vị trí cột và dầm được khảo sát, chiều sâu cacbonat hóa đã vượt quá hoặc xấp xỉ bằng chiều dày lớp bê tông bảo vệ, phản ánh sự suy

giảm rõ rệt khả năng bảo vệ cốt thép của bê tông sau thời gian sử dụng dài.

Chiều sâu cacbonat hóa vượt qua lớp bê tông bảo vệ cho thấy môi trường kiềm cao xung quanh cốt thép đã bị phá vỡ, dẫn đến hiện tượng mất thụ động của cốt thép tại nhiều cấu kiện. Mặc dù không phải tất cả các vị trí đều đã xuất hiện biểu hiện ăn mòn rõ ràng trên bề mặt, trạng thái mất thụ động làm gia tăng đáng kể nguy cơ ăn mòn cốt thép trong sự hiện diện của oxy và độ ẩm, đặc biệt trong điều kiện khí hậu nhiệt đới ẩm của TP.HCM.

Kết quả trên nhấn mạnh rằng cần kiểm tra định kỳ và bảo trì ở các chung cư BTCT cũ. Cụ thể, các cán bộ quản lý nên đưa kiểm tra cacbonat hóa bê tông vào quy trình bảo dưỡng định kỳ (ví dụ đo chiều sâu cacbonat, khảo sát vết nứt bê tông). Kết quả đo hiện trường có thể sử dụng để dự báo tuổi thọ còn lại của kết cấu, từ đó xác định thời điểm sửa chữa tiếp theo. Những phần bị cacbonat hóa sâu (cột, dầm tầng trệt/tầng thấp) nên được ưu tiên can thiệp: có thể gia cố, trám sửa phần bê tông hư hại và sử dụng vật liệu bịt kín chống xâm nhập. Ngoài ra, các biện pháp chống cacbonat hóa bổ sung (như sơn phủ chống $CO_2$ trên bề mặt mới) cũng được khuyến nghị. Những chung cư có rủi ro cao cần được lên kế hoạch cải tạo hoặc thay thế sớm, phù hợp với định hướng chung của TP.HCM.

Từ những kết quả trên, rõ ràng rằng cacbonat hóa bê tông là một trong các cơ chế chính làm suy giảm độ bền của chung cư cũ. Bằng chứng thực tế này cung cấp cơ sở khoa học để các nhà quản lý xây dựng lên kế hoạch kiểm định, bảo trì và cải tạo hợp lý, đảm bảo an toàn công trình. Việc áp dụng tư duy quản lý tài sản (asset management) và giải pháp kỹ thuật kịp thời sẽ giúp kéo dài tuổi thọ kết cấu và bảo vệ tốt hơn nguồn vốn hạ tầng đô thị.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được Bộ Giáo dục và Đào tạo tài trợ trong đề tài mã số B2025-MBS-03.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

[1]. Papadakis, V. G., Vayenas, C. G., & Fardis, M. N. Experimental investigation and mathematical modeling of the concrete carbonation problem. Chemical Engineering Science, 46(5-6), 1333-1338, (1991).

[2]. Papadakis, V. G., Fardis, M. N., & Vayenas, C. G. Effect of composition, environmental factors and cement-lime mortar coating on concrete carbonation. Materials and Structures, 25(5), 293-304, (1992).

[3]. Tuutti, K. Service life of structures with regard to corrosion of embedded steel. Special Publication, 65, 223-236, (1980).

[4]. Angst, U. M. Challenges and opportunities in corrosion of steel in concrete. Materials and Structures, 51(1), 4, (2018).

[5]. Chen, Y., Wang, J., Zhou, Z., & Chen, X. Effects of environmental factors on carbonation depth of concrete. Materials, 11(11), 2167, (2018).

[6]. Bastidas-Arteaga, E., Rianna, G., Gervasio, H., & Nogal, M. Multi-region lifetime assessment of reinforced concrete structures subjected to carbonation and climate change. In Structures (Vol. 45, pp. 886-899). Elsevier, (2022).

[7]. Lele, H. F., Beushausen, H., & Alexander, M. G. A practical carbonation model for service life design of reinforced concrete structures. Scientific African, 20, e01677, (2023).

[8]. Vu, Q. H., Pham, G., Huet, B., & Barbarulo, R. Natural carbonation of concrete: An Initiation model for service life prediction. International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development, 15(2), 176-197, (2024).

[9]. Phong Thanh Nguyen. Introduction to AI in Construction & Project Management (Internal circulation document), Ho Chi Minh City Open University, (2025).

[10]. Pugliese, F., Prescott, D. R., Andrews, J., & Calvert, G. An advanced Petri-Net Modelling Approach for Risk Asset Management of Reinforced Concrete Ageing Transportation Infrastructure Under Climate Change Effects. Reliability Engineering & System Safety, 112253, (2026).

[11]. Stewart, M. G., & Mullard, J. A. Spatial time-dependent reliability analysis of corrosion damage and the timing of first repair for RC structures. Engineering structures, 29(7), 1457-1464, (2007).

[12]. Luping, T., & Nilsson, L. O. Rapid determination of the chloride diffusivity in concrete by applying an electric field. Materials Journal, 89(1), 49-53, (1993).

[13]. Song, H. W., & Saraswathy, V. Corrosion monitoring of reinforced concrete structures-A review. International Journal of Electrochemical Science, 2, 1-28, (2007).

[14]. Andrade, C., & Alonso, C. On-site measurements of corrosion rate of reinforcements. Construction and Building Materials, 15(2-3), 141-145, (2001).

[15]. TCVN 13933:2024. Bê tông-Xác định chiều sâu cacbonat hóa. Bộ Khoa học và Công nghệ, (2024).

[16]. Chang, C. F., & Chen, J. W. The experimental investigation of concrete carbonation depth. Cement and Concrete research, 36(9), 1760-1767, (2006).

[17]. Torres-Acosta, A. A., Castro-Borges, P., de Rincón, O. T., Martín-Pérez, B., Martínez-Molina, W., Alonso-Guzmán, E., ... & Moreno-Herrera, J. A. Concrete carbonation in tropical urban and urban/marine environments after 20 years of natural exposure. Construction and Building Materials, 450, 138511, (2024).

[18]. Wei, H. U., Yifu, O. U., & Haiyi, L. I. U. Integrating digital twin technologies for maintenance 4.0 in the building industry: A review and conceptual framework. Building and Environment, 113997, (2025).

[19]. Hu, W., Lim, K. Y. H., & Cai, Y. Digital twin and industry 4.0 enablers in building and construction: a survey. Buildings, 12(11), 2004, (2022).

[20]. Jirawattanasomkul, T., Hang, L., Srivaranun, S., Likitlersuang, S., Jongvivatsakul, P., Yodsudjai, W., & Thammarak, P.. Digital twin-based structural health monitoring and measurements of dynamic characteristics in balanced cantilever bridge. Resilient Cities and Structures, 4(3), 48-66, (2025).

■Ngày nhận bài: 12/01/2026 ■Ngày sửa bài: 22/01/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 31/01/2026

# Nghiên cứu nâng cao chất lượng ảnh cho kính hiển vi quang học góc rộng bằng sử dụng thuật toán với mô hình vật lý

## Research on enhancing image quality for wide-field optical microscopy using algorithms with a Physical model

**> LÊ KIM THƯ, LÊ ANH TUẤN, TRẦN THANH SƠN, LÊ VĂN NHU***
Học viện Kỹ thuật quân sự
*Email: levannhuktq@gmail.com

**TÓM TẮT**

Nghiên cứu này tập trung vào việc nâng cao chất lượng ảnh của kính hiển vi quang học góc rộng. Nghiên cứu đề xuất một phương pháp dựa trên kỹ thuật học sâu sử dụng kiến trúc mạng dư (ResNet) để khôi phục ảnh từ vật kính có độ mở số thấp (NA = 0.25), đạt chất lượng tương đương với ảnh thu được từ vật kính có độ mở số cao (NA = 0.65). Quy trình thực hiện bao gồm mô phỏng tạo dữ liệu dựa trên nguyên lý Fourier, căn chỉnh dữ liệu bằng chỉ số SSIM và huấn luyện mạng ResNet với cơ chế tăng kích thước ảnh hai giai đoạn. Kết quả thực nghiệm cho thấy ảnh khôi phục đạt chất lượng tốt hơn, các chi tiết được tái tạo rõ ràng. Giải pháp đề xuất hướng tới việc tối ưu hóa thuật toán để triển khai trên các thiết bị phần cứng nhúng. Đồng thời, phương pháp này mở ra khả năng quan sát mẫu vật trên diện tích rộng nhưng vẫn đảm bảo độ phân giải chi tiết mà không cần nâng cấp phức tạp về phần cứng quang học.

**Từ khóa:** Kính hiển vi quang học góc rộng; kỹ thuật học sâu.

**ABSTRACT**

This study focuses on addressing the problem of enhancing image quality in wide-field optical microscopy. We propose a deep learning-based approach using a residual network (ResNet) architecture to restore images captured with a low numerical aperture objective (NA = 0.25) to a quality comparable to that of a high numerical aperture objective (NA = 0.65). The proposed pipeline includes data generation through simulation based on Fourier optics principles, data alignment and matching using the structural similarity index (SSIM), and training of the ResNet model with a two-stage image upscaling mechanism. Experimental results demonstrate that the restored images achieve superior quality, with fine details reconstructed more clearly. The proposed solution is optimized for deployment on embedded hardware platforms and opens up the possibility of observing specimens over a wide field of view while maintaining high spatial resolution, without the need for complex upgrades to optical hardware.

**Keywords:** Wide-field optical microscopy; deep learning.

### 1. GIỚI THIỆU

Kính hiển vi quang học góc rộng hay kính hiển vi quang học trường rộng (Wide-field Optical Microscopy) đóng vai trò thiết yếu trong các nghiên cứu y sinh và khoa học vật liệu, với nhiệm vụ chính là quan sát các cấu trúc vi mô bằng cách thu nhận ánh sáng từ toàn bộ mẫu lên mặt phẳng cảm biến. Để đáp ứng yêu cầu quan sát các quá trình động học của tế bào sống hoặc cấu trúc vật liệu dưới thang đo nanomet, hệ thống này thường sử dụng các vật kính có độ mở số (NA) lớn và các cảm biến camera nhạy sáng (CCD/sCMOS). Tuy nhiên, các hệ thống này luôn phải đối mặt với giới hạn vật lý kinh điển là giới hạn nhiễu xạ Abbe, khiến độ phân giải ngang bị giới hạn ở mức khoảng 200-300 nm (Abbe, E., 1873; Born, M. and Wolf, E., 2019). Sự giới hạn này, kết hợp với các nhiễu từ mặt phẳng ngoài tiêu điểm (out-of-focus), gây ra hiện tượng mờ nhòe và quang sai do hàm phân bố điểm (PSF) bị tán rộng. Đây chính là yếu tố chủ yếu làm suy giảm chất lượng ảnh và ngăn cản việc quan sát các chi tiết siêu hiển vi. Nhiều phương pháp đã được nghiên cứu nhằm bù trừ và nâng cao chất lượng ảnh cho kính hiển vi trường rộng, mỗi phương pháp đều có những ưu điểm và hạn chế riêng. Việc duy trì độ phân giải cao và tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu (SNR) ổn định là một thách thức quan trọng trong thiết kế các hệ thống hiển vi hiện đại, đặc biệt trong các lĩnh vực yêu cầu độ chính xác cao như chẩn đoán bệnh lý, kỹ thuật mô và công nghệ nano. Các giải pháp kỹ thuật truyền thống bao gồm: Phương pháp giải chập (Deconvolution) là một phương pháp hậu xử lý phổ biến, trong đó thuật toán toán học được sử dụng để "thu nhỏ" hàm PSF, từ đó khôi phục lại các chi tiết bị mờ. Tuy nhiên, nhược điểm lớn của phương pháp này là yêu cầu kiến thức chính xác về PSF của hệ thống và cực kỳ nhạy cảm với nhiễu. Nếu PSF bị ước lượng sai hoặc ảnh đầu vào có SNR thấp, quá trình giải chập sẽ tạo ra các lỗi giả (artifacts) nghiêm trọng (Sage, D. et al., 2017).

Các kỹ thuật hiển vi siêu phân giải phần cứng (như STED, PALM/STORM và SIM) có hai hướng tiếp cận chính. Hướng thứ nhất là biến đổi trạng thái vật lý của mẫu hoặc ánh sáng kích thích nhằm vượt qua giới hạn nhiễu xạ (Hell, S. W. and Wichmann, J., 1994), cho phép đạt độ phân giải ở thang nanomet. Tuy nhiên, khả năng ứng dụng của phương pháp này còn hạn chế do yêu cầu hệ thống quang học có độ phức tạp cao, chi phí lớn và thường gây ra hiện tượng quang độc (phototoxicity) hoặc tẩy màu huỳnh quang (photobleaching) do cường độ laser cao (Vollmer, M., 2010). Hướng tiếp cận thứ hai là chiếu sáng theo cấu trúc (SIM), trong đó các thông tin tần số cao của mẫu được chuyển vào dải thông của hệ thống. Tuy nhiên, phương pháp này đòi hỏi phải chụp nhiều khung hình và xử lý tính toán phức tạp, làm giảm tốc độ thu nhận ảnh thời gian thực.

Trong những năm gần đây, kỹ thuật học sâu (deep learning) đã trở thành một công cụ quan trọng trong việc giải quyết nhiều bài toán kỹ thuật phức tạp, đặc biệt trong lĩnh vực xử lý ảnh y sinh. Học sâu không chỉ cho phép khôi phục các ảnh bị suy giảm chất lượng mà còn tăng cường chi tiết và độ rõ nét, giúp tái tạo hình ảnh gần với thực tế hơn mà không cần thay đổi đáng kể phần cứng quang học (Wang, H. et al., 2019; Rivenson, Y. et al., 2017).

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đề xuất một phương pháp nhằm nâng cao chất lượng ảnh cho kính hiển vi quang học góc rộng bằng thuật toán học sâu gồm các bước như sau: gồm các bước: (1) thu thập dữ liệu mô phỏng quá trình tạo ảnh; (2) Xây dựng mạng ResNet; (3) Huấn luyện và đánh giá kết quả.

## 2. PHƯƠNG PHÁP

Trong các hệ thống kính hiển vi quang học, chất lượng hình ảnh và độ chi tiết thu được phụ thuộc chặt chẽ vào độ mở số (NA) của vật kính. Thông thường, quá trình quan sát mẫu được thực hiện theo hai bước. Bước một, sử dụng vật kính hiển vi với giá trị NA thấp (ví dụ NA = 0.25) để quan sát và tìm kiếm khu vực mẫu cần quan tâm. Vật kính NA thấp có ưu điểm là thị giới (FOV) rộng, giúp người quan sát dễ dàng bao quát toàn bộ mẫu vật. Tuy nhiên, do giới hạn vật lý về độ mở số, độ phân giải của nó thấp nên chưa thể nhìn rõ các cấu trúc chi tiết. Để nhìn rõ phần mẫu đã định vị, cần chuyển sang bước hai là sử dụng vật kính hiển vi với giá trị NA cao (ví dụ NA = 0.65). Vật kính NA cao cho phép quan sát rõ nét các chi tiết nhỏ của mẫu nhờ khả năng phân tách điểm tốt hơn, nhưng đồng thời nó lại có độ phóng đại lớn làm thị giới bị thu hẹp đáng kể.

Để chứng minh cho khả năng nâng cao chất lượng ảnh bằng kỹ thuật học sâu, trong bài báo này, nhóm tác giả xây dựng bộ dữ liệu thực nghiệm dựa trên hai loại vật kính có thông số như sau: vật kính NA = 0.25 (10x) và vật kính NA = 0.65 (40x). Mặc dù vật kính NA = 0.65 mang lại độ phân giải tối ưu, nhưng thị giới của vật kính NA = 0.25 lại lớn gấp bốn lần, cho phép quan sát phạm vi mẫu rộng hơn nhiều. Giải pháp của chúng tôi hướng đến việc kết hợp ưu điểm của cả hai: giữ được thị giới rộng của vật kính NA thấp nhưng đạt được độ phân giải chi tiết của vật kính NA cao thông qua 3 bước xử lý chính:

*Bước 1, thu thập dữ liệu mô phỏng quá trình tạo ảnh:* Để huấn luyện mạng nơ-ron phục hồi ảnh, nghiên cứu sử dụng phương pháp mô phỏng thuận toán học (forward simulation) dựa trên nguyên lý quang học Fourier. Dữ liệu được tạo ra nhằm mô phỏng sự chênh lệch giữa ảnh thu được từ hệ thống kính hiển vi cao cấp (HR - High Resolution) và hệ thống kính hiển vi phổ thông (LR - Low Resolution).

Quy trình tạo dữ liệu được thực hiện trên MATLAB và Python với các bước cụ thể như sau:

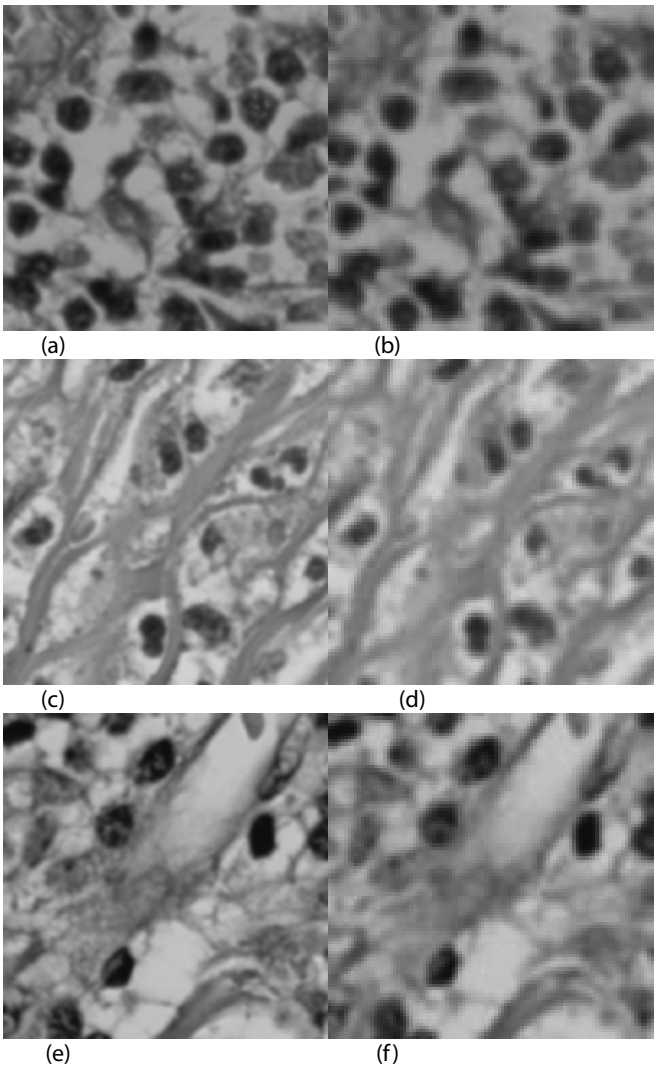
1. Thiết lập tham số quang học: Bước sóng ánh sáng: $\lambda = 0.65\mu m$ .Kích thước điểm ảnh mô phỏng (pixel): $0.11\mu m$. Kích thước lưới không gian gốc: 512x512 điểm ảnh.

2. Tạo dữ liệu Đích (Ground Truth - HR): Ảnh HR đại diện cho ảnh mục tiêu cần đạt được, mô phỏng hệ thống có độ mở số (Numerical Aperture) lớn. Thông số: $NA_{(HR)}$ = 0.65. Hàm lan truyền điểm $PSF_{HR}$: Được tính toán từ lý thuyết quang học Fourier với kích thước 512x512. Để tối ưu hóa tính toán, ma trận này được cắt (crop) lấy vùng năng lượng trung tâm kích thước 15x15. Tạo ảnh: Ảnh gốc (400x400) được tích chập với $PSF_{HR}$:

$$HR = O \otimes PSF_{HR(15x15)} \quad (1)$$

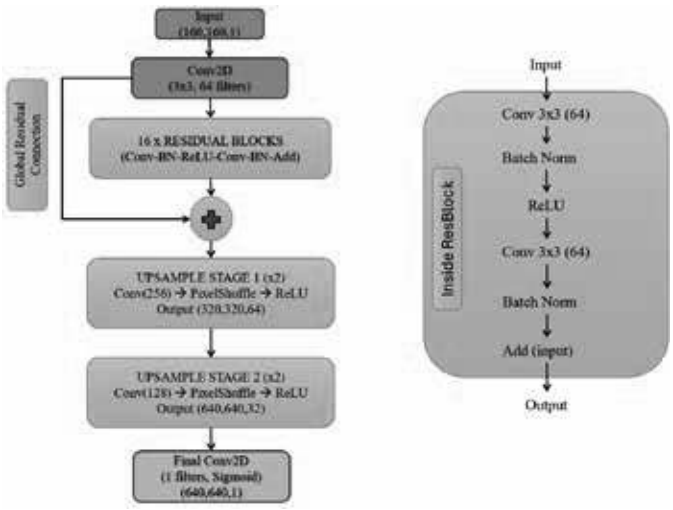
Kết quả là ảnh HR kích thước 400x400, có độ nét cao.

3. Tạo dữ liệu Đầu vào (Input - LR): Ảnh LR mô phỏng ảnh chất lượng thấp, bị mờ do nhiễu xạ và vỡ hạt do độ phân giải kém. Thông số: $NA_{LR}$= 0.25. Tích chập: Ảnh gốc (400x400) được tích chập với $PSF_{LR}$ (cũng được cắt kích thước 15x15 từ PSF gốc tương ứng với NA 0.25). Giảm mẫu (Downsampling): Ảnh sau tích chập được xử lý giảm kích thước bằng cách cộng gộp trung bình ma trận 4x4 điểm ảnh thành 1 điểm ảnh duy nhất. Khi đó ảnh nhận được ảnh LR kích thước 100x100.




Hình 1. Một số cặp ảnh dùng trong huấn luyện: Ảnh thu từ vật kính NA = 0.25 (trái) có chất lượng thấp; ảnh thu từ vật kính NA = 0.65 (phải) có độ phân giải cao hơn và thể hiện rõ các cấu trúc

*Bước 2, xây dựng và huấn luyện mạng học sâu:* Mạng nơ-ron dư (Residual Network - ResNet) là một kiến trúc mạng học sâu được đề xuất nhằm cải thiện hiệu quả huấn luyện các mạng nơ-ron tích chập có độ sâu lớn. Điểm đặc trưng của ResNet là việc sử dụng các kết nối dư (skip connections), cho phép thông tin được truyền trực tiếp giữa các tầng trong mạng. Cơ chế này giúp giảm hiện tượng mất mát gradient và tăng tốc độ hội tụ trong quá trình huấn luyện. Nhờ đó, ResNet có khả năng học các đặc trưng phức tạp một cách ổn định và hiệu quả. Hiện nay, ResNet được ứng dụng rộng rãi trong nhiều bài toán xử lý ảnh như phân loại, khôi phục ảnh và siêu phân giải.




Hình 2. Sơ đồ mạng nơ-ron dư

Trong nghiên cứu này sử dụng mô hình học sâu ResNet (Hình 2), được thiết kế xây dựng dựa trên kiến trúc mạng dư (Residual Network - ResNet) với cơ chế tăng kích thước ảnh qua hai giai đoạn (2-Stage Upsampling). Kiến trúc này được tối ưu hóa để chuyển đổi dữ liệu từ vật kính NA thấp (đầu vào 160x160) lên độ phân giải cao tương đương vật kính NA lớn (đầu ra 640x640). Mô hình bao gồm bốn thành phần cốt lõi được sắp xếp theo trình tự xử lý tuyến tính kết hợp với các đường kết nối tắt (skip connections). Khối tiền xử lý (Initial Processing ảnh đầu vào kích thước 160x160x1 được đưa qua lớp tích chập đầu tiên (Initial Conv2D) với 64 bộ lọc kích thước 3x3. Lớp này đóng vai trò trích xuất các đặc trưng cơ bản và tạo ra luồng dữ liệu cho kết nối tắt toàn cục (Global Residual Connection). Thân mạng dư (Residual Body), đây là trung tâm xử lý của mô hình, bao gồm 16 khối dư (Residual Blocks) lặp lại liên tiếp. Việc sử dụng 16 khối giúp mạng đủ sâu để học được các chi tiết hình thái phức tạp của mẫu hiển vi mà không gặp hiện tượng triệt tiêu gradient nhờ cơ chế cộng nối tắt trong mỗi khối. Cơ chế kết nối tắt toàn cục (Long Skip Connection), luồng thông tin từ lớp tích chập đầu tiên được cộng trực tiếp vào đầu ra của khối 16 sau cùng thông qua một nút cộng (Element-wise Addition). Cơ chế này giúp mạng bảo toàn được cấu trúc hình học tổng quát của ảnh gốc trong quá trình tái tạo chi tiết sâu. Giai đoạn tăng quy mô (Upsampling Stages), để nâng cao độ phân giải từ 160 lên 640, mạng thực hiện qua hai giai đoạn tăng quy mô độc lập. Giai đoạn 1 (x2): Tăng kích thước từ 160x160 lên 320x320. Giai đoạn 2 (x2): Tiếp tục tăng kích thước từ 320x320 lên mức tối đa 640x640. Lớp đầu ra (Final Layer): Sử dụng lớp tích chập cuối cùng (Final Conv2D) với 1 bộ lọc và hàm kích hoạt Sigmoid để xuất ra ảnh siêu phân giải định dạng 640x640x1. Đối với cấu trúc chi tiết của một Khối dư (ResBlock) mỗi khối dư trong thân mạng được thiết kế theo cấu trúc chuẩn để tối ưu hóa việc học đặc trưng dư thừa: Input-tiếp nhận dữ liệu từ khối trước đó. Xử lý tích chập: Dữ liệu đi qua hai lớp tích chập (Conv 3x3) xen kẽ với các lớp chuẩn hóa lô (Batch Norm) và hàm kích hoạt phi tuyến (ReLU). Trình tự cụ thể: Conv → Batch Norm → ReLU → Conv → Batch Norm. Cộng nối tắt (Add Input): Đầu vào của khối được cộng trực tiếp vào kết quả sau lớp chuẩn hóa cuối cùng trước khi đưa ra đầu ra (Output) của khối. Việc kết hợp giữa cấu trúc mạng dư sâu và cơ chế tăng quy mô từng bước giúp mô hình không chỉ phóng đại kích thước ảnh mà còn khôi phục được các chi tiết sắc nét, tiệm cận với chất lượng hình ảnh thu được từ các hệ thống quang học cao cấp.

Hàm tối ưu (loss funcion): Quá trình huấn luyện mô hình được dẫn dắt bởi một hàm mất mát tổng hợp nhằm tối ưu hóa đồng thời cường độ pixel, cấu trúc hình thái và độ sắc nét của các cạnh. Hàm mục tiêu được xác định như sau:

$L_{total} = L_{char} + 0.1*L_{ssim} + 0.1*L_{edge}$ (2)

Hàm mất mát Charbonnier ($L_{total}$): Hàm này được dùng làm hàm mất mát pixel cơ bản, giúp đo lường sự khác biệt về cường độ sáng giữa ảnh dự đoán và ảnh thực tế.

$$L_{char}(y,\hat{y}) = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\sqrt{(y_i-\hat{y}_i)^2+\varepsilon^2} \quad (3)$$

- y: Ảnh đích (Ground Truth - HR) thu được từ mô phỏng vật kính có NA = 0.65
- $\hat{y}$ : Ảnh đầu ra (Super-resolution Predicted) do mô hình ResNet khôi phục từ đầu vào NA = 0.25
- N: Tổng số điểm ảnh (pixels) trong một khung hình
- i: Chỉ số của từng điểm ảnh cụ thể trong lưới không gian
- $\varepsilon$ : Hằng số ổn định (thường đặt là $10^{-3}$), giúp hàm có đạo hàm mượt tại mọi điểm, tránh hiện tượng không xác định khi y = $\hat{y}$

Hàm mất mát tương đồng cấu trúc ($L_{ssim}$): Hàm này ép mô hình phải tập trung vào việc khôi phục các đặc trưng hình thái.

$$L_{ssim}(y,\hat{y}) = 1 - SSIM(y,\hat{y}) \quad (4)$$

- $SSIM(y,\hat{y})$ : Chỉ số tương đồng cấu trúc giữa ảnh thực tế và ảnh dự đoán.
- $\mu_y, \mu_{\hat{y}}$ : Giá trị trung bình (độ chói) của ảnh y và $\hat{y}$
- $\sigma_y^2, \sigma_{\hat{y}}^2$ : Phương sai (độ tương phản) của ảnh y và $\hat{y}$
- $\sigma_{y\hat{y}}$ : Hiệp phương sai biểu thị sự tương quan cấu trúc giữa hai ảnh
- $C_1$, $C_2$: Các hằng số điều tiết để ổn định phép chia khi mẫu số gần bằng 0

Hàm mất mát cạnh ($L_{edge}$): Ép mô hình tập trung vào việc khôi phục các chi tiết tần số cao bằng cách so sánh gradient của ảnh theo hai hướng

$$L_{edge}(y,\hat{y}) = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(\left|\nabla_x y - \nabla_x \hat{y}\right| + \left|\nabla_y y - \nabla_y \hat{y}\right|\right) \quad (5)$$

- $\nabla_x$ : Toán tử gradient theo trục ngang, đo lường sự thay đổi cường độ sáng đột ngột (cạnh đứng)
- $\nabla_y$ : Toán tử gradient theo trục dọc, đo lường sự thay đổi cường độ sáng đột ngột (cạnh ngang). Giá trị tuyệt đối của sự sai khác gradient, buộc mô hình phải tái tạo các đường nét sắc nét giống với ảnh HR

Thuật toán tối ưu hóa (Optimizer): Nghiên cứu sử dụng thuật toán Adam (Adaptive Moment Estimation). Đây là thuật toán tối ưu hóa phổ biến trong Deep Learning nhờ khả năng tự điều chỉnh tốc độ học cho từng tham số, giúp mô hình hội tụ nhanh và ổn định hơn so với Gradient Descent truyền thống. Hệ số Structural Similarity Index Measurement (SSIM): được sử dụng để đánh giá sự giống nhau, tương đồng giữa hai bức ảnh. Công thức SSIM dựa trên ba thông số để sánh: độ chói (luminance), cấu trúc (structure) và độ tương phản (contrast). Giá trị của SSIM nằm trong khoảng từ 0 đến 1 với 1 là mức độ giống hoàn toàn của ảnh. Chỉ số tín hiệu cực đại trên nhiễu peak signal-to-noise ratio psnr là một chỉ số được sử dụng rộng rãi để đo chất lượng tín hiệu khôi phục của các thuật toán có mất mát về dữ liệu, được biểu thị trên thang đo decibel. PSNR được định nghĩa thông qua sai số toàn phương trung bình Mean squared error MSE đã đề cập.

$$\mathrm{PSNR} = 10.\log_{10}\left(\frac{\mathrm{MAX}_I^2}{\mathrm{MSE}}\right) = 20.\log_{10}\left(\frac{\mathrm{MAX}_I^2}{\sqrt{\mathrm{MSE}}}\right) \quad (6)$$

Trong đó, $\mathrm{MAX}_I$ là giá trị tối đa của pixel trên ảnh với giá trị lớn nhất có thể đạt được là 255. Thông thường khi chỉ số PSNR càng cao thì chất lượng dữ liệu sẽ được khôi phục càng tốt. Nếu đạt đến giá trị lớn hơn 40dB thì ta sẽ không thể phân biệt được ảnh gốc và ảnh sinh ra.

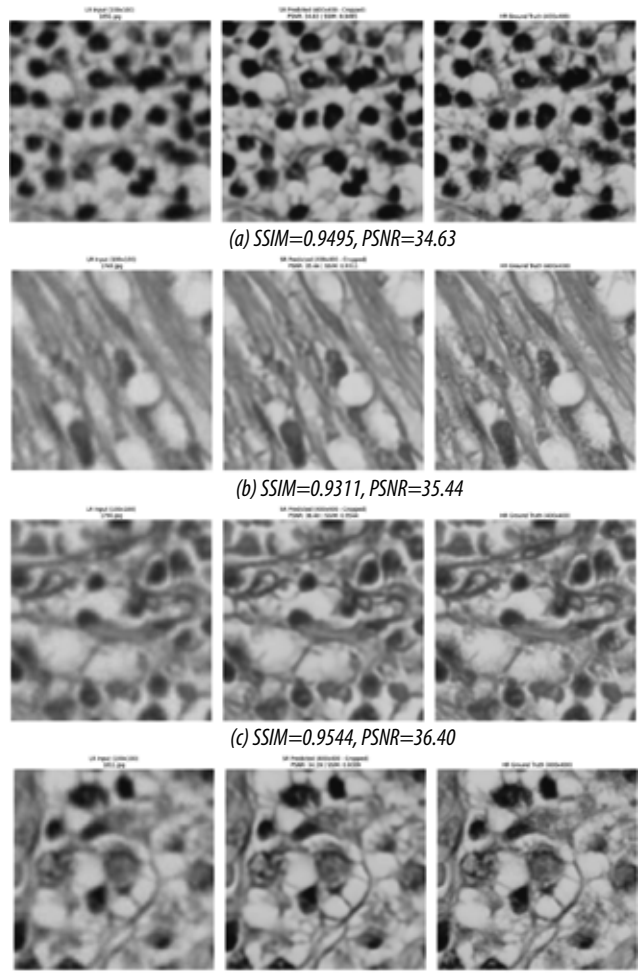
*Bước 3, huấn luyện và đánh giá kết quả.* Trước khi đưa vào huấn luyện, dữ liệu input từ vật kính NA thấp được đệm thêm đối xứng mỗi phía 30 pixel và dữ liệu tham chiếu từ vật kính NA lớn cũng được đệm thêm tương ứng 120 pixel mỗi phía. Điều này cho kết quả huấn luyện giảm được hiện tượng viền ringing artifacts.

## 3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Bộ dữ liệu sử dụng: Bộ dữ liệu được xây dựng thông qua quá trình mô phỏng dựa trên nguyên lý quang học Fourier, bao gồm các cặp ảnh đầu vào - đầu ra tương ứng. Trong đó, ảnh đầu vào mô phỏng ảnh thu được từ vật kính NA thấp và ảnh đầu ra đóng vai trò ảnh chuẩn, tương đương ảnh thu được từ vật kính NA cao

Phương pháp huấn luyện và cách chia bộ dữ liệu: Chương trình huấn luyện mô hình học sâu được viết bằng ngôn ngữ python. Đây là ngôn ngữ đang rất phổ biến hiện nay và chạy được trên Google Colab là một công cụ hỗ trợ chạy các phần mềm python. Khi thực hiện huấn luyện, dữ liệu sẽ được chia làm hai phần: một phần dùng để huấn luyện (90% dữ liệu) và một phần để kiểm tra (10% dữ liệu). Quá trình huấn luyện là một bước rất quan trọng bởi vì hiệu quả của bước này sẽ quyết định đến khả năng khôi phục ảnh của quá trình khôi phục ảnh. Quá trình này có thể lặp đi lặp lại nhiều lần và mất nhiều thời gian, công sức và tiền bạc. Quá trình huấn luyện: Quá trình huấn luyện cho tối ưu các tham số của các phin lọc trong mô hình học sâu ResNet sẽ thực hiện trên trên google colab là một ứng dụng mở cho tính toán dữ liệu lớn. Kết quả huấn luyện dừng lại khi hệ số SSIM đạt các giá trị lớn hơn 0.90. Sau đó, chúng tôi đánh giá hiệu quả của mạng học sâu này với vài ảnh không nằm trong tập dữ liệu ban đầu.

Đánh giá kết quả: Mô tả các kết quả trên Hình 3, so sánh các chỉ số psnr, ssim các cặp ảnh. Có thể thấy rằng ảnh khôi phục có độ phân giải được cải thiện tốt lên rất nhiều so với ảnh đầu vào. Các chi tiết đã rõ ràng và phân biệt rõ ràng hơn. Có thể thấy rằng chất lượng ảnh sau khi khôi phục về gần với ảnh nhận được từ vật kính hiển vi NA = 0.65. Điều đó nói lên rằng thuật toán học sâu cho phép nâng cao chất lượng ảnh và độ phân giải. Hệ số SSIM cho các ảnh khôi phục so với ảnh nhận được từ vật kính NA = 0.65 đều rất tốt.



*(a) SSIM=0.9495, PSNR=34.63*

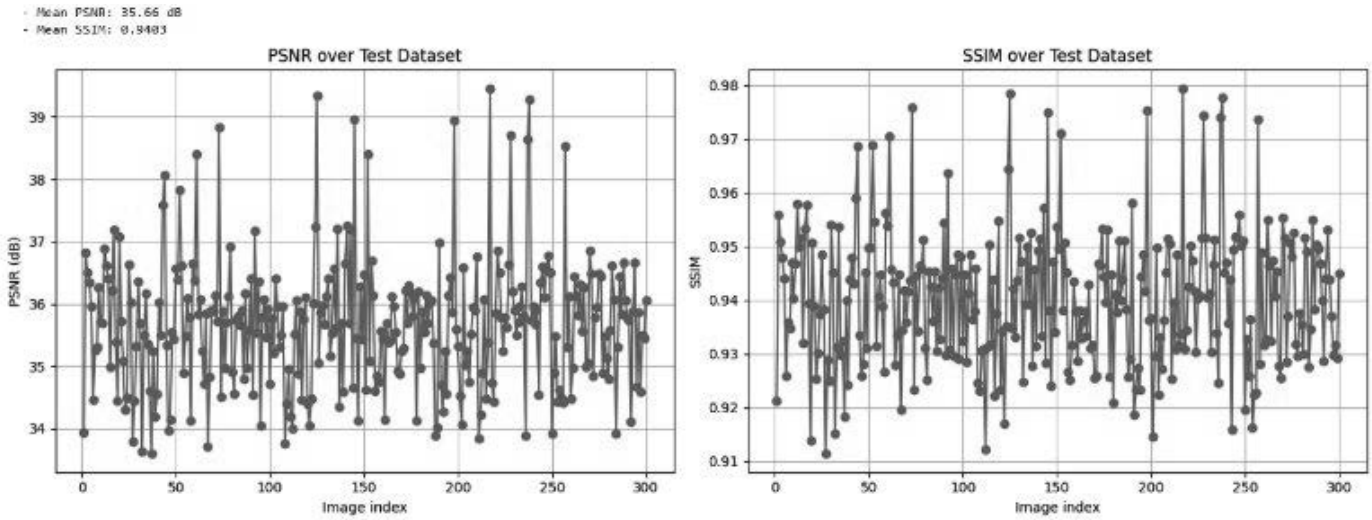
*(b) SSIM=0.9311, PSNR=35.44*

*(c) SSIM=0.9544, PSNR=36.40*

*(d) SSIM=0.9309, PSNR=34.19*

Hình 3. Ảnh thu được từ vật kính hiển vi NA = 0.25 (trái); ảnh khôi phục từ ảnh NA = 0.25 (giữa); ảnh thu được từ vật kính hiển vi NA = 0.65 (phải)

Đánh giá trên tập dữ liệu 300 ảnh test ngoài bộ dữ liệu (Hình 4). Kết quả phân tích cho thấy hiệu năng phục hồi của mạng đạt mức khả quan với giá trị PSNR trung bình là 35.66 dB và chỉ số SSIM trung bình đạt 0.9403. Việc duy trì ngưỡng PSNR trên 30 dB chứng minh mô hình có khả năng tái tạo tín hiệu với độ trung thực tốt, giảm thiểu đáng kể các sai số pixel khi chuyển đổi từ hệ thống NA = 0.25 sang tương đương NA = 0.65. Đồng thời, chỉ số SSIM ở mức 0.9403 khẳng định mạng ResNet đã bảo tồn được phần lớn các đặc trưng cấu trúc hình thái của mẫu vật y sinh. Tuy nhiên, quan sát biểu đồ có thể thấy một số vị trí ghi nhận sự sụt giảm đáng kể của cả hai chỉ số PSNR và SSIM. Qua phân tích nội dung các mẫu ảnh này, nguyên nhân chính được xác định là do cấu trúc của ảnh mẫu vật quá phức tạp, chứa nhiều chi tiết siêu vi vượt quá khả năng tái tạo hiện tại của mô hình. Bên cạnh đó, các chi tiết trong ảnh mục tiêu (Ground Truth - HR) tại các vị trí này đôi khi chưa thực sự rõ ràng, dẫn đến việc mạng nơ-ron gặp khó khăn trong quá trình đối chiếu và học các đặc trưng tần số cao. Dù tồn tại những hạn chế nhất định ở các mẫu có độ phức tạp cực hạn, nhưng nhìn chung mô hình vẫn vận hành ổn định trên đa số mẫu thử, khẳng định kiến trúc ResNet với cơ chế học dư thừa đã phát huy tác dụng tốt trong việc cải thiện độ phân giải. Kết quả này cho thấy tiềm năng ứng dụng thực tế của mô hình trong việc hỗ trợ quan sát mẫu vật diện rộng với độ sắc nét vượt trội so với các hệ thống quang học truyền thống.




Hình 4. Biểu đồ đánh giá chỉ số SSIM, PSNR trên tập dữ liệu 300 ảnh test

## 4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã chứng minh tính hiệu quả của việc ứng dụng kỹ thuật học sâu trong việc nâng cao chất lượng ảnh của kính hiển vi quang học góc rộng. Thông qua mô hình ResNet được thiết kế với 16 khối dư và cơ chế kết nối tắt toàn cục, hệ thống không chỉ thực hiện phóng đại kích thước ảnh từ 160 lên 640 pixel mà còn khôi phục thành công các đặc trưng hình thái phức tạp của mẫu vật. Việc sử dụng phương pháp đệm đối xứng và tăng quy mô từng bước đã giúp loại bỏ hiệu quả hiện tượng viền ring, đồng thời bảo toàn cấu trúc hình học tổng quát của ảnh gốc. Với kết quả thực nghiệm cho thấy chất lượng ảnh khôi phục tiệm cận với ảnh thu được từ vật kính NA = 0.65 và đạt chỉ số SSIM trên 0.90, giải pháp này đã giải quyết thành công bài toán duy trì thị giới rộng của vật kính NA thấp nhưng vẫn đạt được độ phân giải chi tiết cao.

Trong thời gian tới, nghiên cứu sẽ hướng đến việc tối ưu hóa thuật toán để triển khai trên các thiết bị phần cứng nhúng, cho phép xử lý và hiển thị ảnh siêu phân giải theo thời gian thực trong quá trình quan sát. Đồng thời, mô hình có thể được mở rộng để xử lý các tập dữ liệu ảnh màu và ảnh 3D, góp phần nâng cao khả năng chẩn đoán bệnh lý và phân tích vật liệu trong nhiều điều kiện thực nghiệm khác nhau. Việc kết hợp giữa trường nhìn rộng của vật kính NA thấp và khả năng tính toán của các mô hình học sâu được kỳ vọng sẽ trở thành một hướng tiếp cận hiệu quả cho các hệ thống hiển vi hiện đại, giúp giảm chi phí và nâng cao hiệu quả nghiên cứu.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Abbe, E., "Beiträge zur Theorie des Mikroskops und der mikroskopischen Wahrnehmung," *Archiv für Mikroskopische Anatomie*, 1873.

[2] Born, M., and Wolf, E., *Principles of Optics: Electromagnetic Theory of Propagation, Interference and Diffraction of Light*. Cambridge University Press, 2019.

[3] Hell, S. W., and Wichmann, J., "Breaking the diffraction resolution limit by stimulated emission: Stimulated-emission-depletion fluorescence microscopy," *Optics Letters*, 19(11), pp. 780-782, 1994.

[4] Rivenson, Y., et al., "Deep learning enhanced microscopy," *arXiv preprint*, arXiv:1703.02942, 2017.

[5] Sage, D., et al., "DeconvolutionLab2: An open-source software for deconvolution microscopy," *Methods*, vol. 115, 2017.

[6] Vollmer, M., and Möllmann, K.-P., *Infrared Thermal Imaging: Fundamentals, Research and Applications*. Wiley-VCH, 2010.

[7] Wang, H., et al., "Deep learning enables cross-modality super-resolution in fluorescence microscopy," *Nature Methods*, 16(1), pp. 103-110, 2019.

[8] Xie, L., Dong, P., Chen, X., Hsieh, T. S., Banala, S., Marzio, M. D., English, B. P., Qi, Y., Jung, S. K., Kieffer-Kwon, K., and Legant, W. R., "3D ATAC-PALM: super-resolution imaging of the accessible genome," *Nature Methods*, 17, pp. 430-436, 2020.

[9] Nhu, L., Wang, X., Liu, Y., Kuang, C., and Liu, X., "Light sheet microscopy with high spatial resolution based on polarized structured illumination beam modulated by the phase mask," *Microscopy Research and Technique*, 81(9), pp. 959-965, 2018.

[10] Nhu, L., Thanh, N., Nghia, P., and Oanh, L., "Quality enhancement of fluorescence emission microscopy by two saturated point spread functions," *Advances in Optics, Photonics, Spectroscopy and Applications XII*, 2022.

[11] Le, V., "Saturated confocal fluorescence microscopy with linear polarization modulation," *Optical and Quantum Electronics*, 55(1), 96, 2023.

■Ngày nhận bài: 5/02/2026 ■Ngày sửa bài: 19/02/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 25/02/2026

# Ứng dụng ảnh vệ tinh Sentinel-2 trong đánh giá ảnh hưởng ngập lụt do bão Matmo tại TP Thái Nguyên

## Application of Sentinel-2 satellite imagery in assessing flood impacts induced by Typhoon Matmo in Thai Nguyen city

**> TS LÊ KIM THƯ**
Viện Kỹ thuật Công trình đặc biệt, Học viện Kỹ thuật quân sự
Email: Thulk@lqdtu.edu.vn

**TÓM TẮT**

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu làm gia tăng tần suất và cường độ của các cơn bão kèm theo mưa lớn, tình trạng ngập lụt đô thị ngày càng trở nên nghiêm trọng, ảnh hưởng trực tiếp đến đời sống dân cư, công trình xây dựng và hệ thống hạ tầng kỹ thuật. Việc đánh giá nhanh phạm vi và mức độ ngập lụt sau các sự kiện thiên tai đóng vai trò quan trọng trong công tác phòng chống và giảm nhẹ thiệt hại. Nghiên cứu này tập trung đánh giá tác động ngập lụt do bão Matmo tại TP Thái Nguyên thông qua việc ứng dụng dữ liệu ảnh vệ tinh Sentinel-2. Dữ liệu ảnh Sentinel-2 Level-2A trước và sau bão được thu thập, xử lý trên nền tảng Google Earth Engine. Phương pháp phân loại nước mặt dựa trên chỉ số NDWI (Normalized Difference Water Index) được sử dụng để xác định phân bố nước mặt tại các thời điểm nghiên cứu, từ đó so sánh và đánh giá sự thay đổi diện tích nước mặt trước và sau bão. Kết quả cho thấy diện tích nước mặt tại TP Thái Nguyên tăng mạnh sau bão, phản ánh rõ sự mở rộng của các vùng ngập lụt, đặc biệt ở khu vực trũng thấp và ven sông. Nghiên cứu có tiềm năng và hiệu quả cao trong việc hỗ trợ đánh giá nhanh tác động ngập lụt do bão trên diện rộng. Thông tin thu được có thể hỗ trợ giám sát, đánh giá và ứng phó thiên tai kịp thời, góp phần giảm thiểu thiệt hại do ngập lụt gây ra trong điều kiện thời tiết cực đoan ngày càng phổ biến.

**Từ khóa:** Sentinel-2; ngập lụt; bão Matmo; phòng chống thiên tai; TP Thái Nguyên.

**ABSTRACT**

In the context of climate change, the increasing frequency and intensity of typhoons accompanied by heavy rainfall have made urban flooding more severe, directly affecting livelihoods, buildings, and technical infrastructure. Rapid assessment of flood extent and severity after disaster events plays a crucial role in disaster prevention and damage mitigation. This study focuses on assessing flood impacts induced by Typhoon Matmo in Thai Nguyen City through the application of Sentinel-2 satellite imagery. Sentinel-2 Level-2A images acquired before and after the typhoon were collected and processed on the Google Earth Engine platform. A surface water classification method based on the Normalized Difference Water Index (NDWI) was employed to delineate surface water distribution at different study periods, enabling comparison and evaluation of changes in surface water area before and after the typhoon. The results indicate a significant increase in surface water area in Thai Nguyen City following the typhoon, clearly reflecting the expansion of flooded zones, particularly in low-lying and riverside areas. The results indicate a substantial increase in surface water area in Thai Nguyen City after the typhoon, clearly reflecting the expansion of flooded zones, particularly in low-lying and riverside areas. The findings suggest that Sentinel-2 satellite imagery has strong potential and good effectiveness in supporting rapid, large-scale assessment of flood impacts induced by typhoons. The derived information can assist timely disaster monitoring, assessment, and response, thereby contributing to the mitigation of flood-related damages under increasingly frequent extreme weather conditions.

**Keywords:** Sentinel-2; flood; Typhoon Matmo; disaster mitigation; Thai Nguyen city.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu toàn cầu, tần suất và cường độ các hiện tượng thời tiết cực đoan - đặc biệt bão kèm mưa lớn - ngày càng tăng [6], dẫn đến ngập lụt đô thị diễn biến phức tạp và nghiêm trọng hơn. Ngập lụt không chỉ ảnh hưởng trực tiếp đến đời sống dân cư mà còn gây thiệt hại lớn cho công trình xây dựng, hạ tầng kỹ thuật, gián đoạn hoạt động kinh tế - xã hội, đồng thời làm tăng nguy cơ hư hỏng cơ sở vật chất và mất an toàn giao thông. Do đó, việc đánh giá nhanh phạm vi và mức độ ngập lụt sau thiên tai trở thành nhu cầu cấp thiết trong công tác phòng chống và giảm nhẹ thiệt hại.

TP Thái Nguyên, trung tâm kinh tế - xã hội của tỉnh Thái Nguyên, đang đô thị hóa nhanh chóng với hệ thống sông suối dày đặc. Đặc điểm địa hình thấp ven sông và sự mở rộng không gian đô thị khiến khu vực này dễ bị ngập lụt khi gặp mưa lớn hoặc bão mạnh. Cơn bão Matmo vào tháng 10/2025 đã gây mưa kéo dài trên địa bàn, làm diện tích ngập lụt tăng đáng kể tại nhiều khu vực, ảnh hưởng trực tiếp đến dân cư và hạ tầng đô thị. Việc đánh giá tác động ngập lụt do bão Matmo tại TP Thái Nguyên vì vậy có ý nghĩa thực tiễn rõ rệt đối với công tác phòng chống thiên tai địa phương.

Trong thực tế, đánh giá ngập lụt thường dựa vào khảo sát thực địa và quan trắc tại chỗ. Tuy nhiên, các phương pháp truyền thống này thường hạn chế về phạm vi không gian, tốn thời gian và khó đáp ứng nhu cầu đánh giá nhanh trên diện rộng ngay sau thiên tai. Trước những bất cập đó, dữ liệu viễn thám từ vệ tinh quan sát Trái Đất - với khả năng bao phủ rộng và cập nhật liên tục - ngày càng được quan tâm ứng dụng trong giám sát và đánh giá thiên tai, đặc biệt là ngập lụt.

Trên thế giới, nhiều nghiên cứu đã chứng minh hiệu quả của ảnh vệ tinh Sentinel-2 trong phát hiện và lập bản đồ ngập lụt nhờ độ phân giải không gian cao (10-20 m) và chu kỳ lặp ngắn [10]. Atefi và cộng sự [1] ứng dụng Sentinel-2 kết hợp Google Earth Engine để phát hiện nhanh vùng ngập, nhấn mạnh ưu thế của xử lý dữ liệu đám mây trong tình huống cần phản ứng kịp thời. Du và cộng sự [3] đánh giá các chỉ số nước khác nhau trên ảnh Sentinel-2 và khẳng định NDWI là một trong những chỉ số phù hợp để phân loại nước mặt trong điều kiện quang học. Petropoulos và cộng sự [9] sử dụng Sentinel-2 kết hợp các chỉ số phổ nước như NDWI và MNDWI để lập bản đồ vùng ngập, cho thấy khả năng nhận diện tốt ở quy mô địa phương.

Tại Việt Nam, các nghiên cứu ứng dụng dữ liệu viễn thám trong đánh giá ngập lụt và biến động nước mặt đã được triển khai tại một số khu vực đô thị và vùng trũng thấp. Một số công trình trong nước cho thấy ảnh vệ tinh quang học, trong đó có dữ liệu Sentinel-2, có khả năng phản ánh tương đối rõ sự phân bố và mở rộng của nước mặt sau các đợt mưa lớn và lũ lụt [8]. Tuy nhiên, phần lớn các nghiên cứu hiện nay mới tập trung vào đánh giá hiện trạng ngập lụt nói chung, trong khi các nghiên cứu phân tích cụ thể ảnh hưởng ngập lụt do từng cơn bão lớn tại quy mô đô thị vẫn còn hạn chế. Đặc biệt, đối với TP Thái Nguyên, các nghiên cứu ứng dụng ảnh Sentinel-2 để đánh giá tác động ngập lụt do bão vẫn chưa được thực hiện một cách hệ thống.

Xuất phát từ những vấn đề trên, nghiên cứu này ứng dụng ảnh vệ tinh Sentinel-2 để đánh giá ảnh hưởng ngập lụt do bão Matmo tại TP Thái Nguyên. Thông qua phân tích và so sánh phân bố nước mặt trước và sau bão, nghiên cứu nhằm cung cấp thông tin khoa học khách quan, hỗ trợ công tác phòng chống và giảm nhẹ thiên tai trong bối cảnh thời tiết cực đoan ngày càng phổ biến.

## 2. KHU VỰC NGHIÊN CỨU VÀ DỮ LIỆU

### 2.1. Khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu là TP Thái Nguyên - trung tâm kinh tế - xã hội của tỉnh Thái Nguyên, nằm ở vùng trung du miền núi Bắc Bộ. Thành phố có địa hình khá phức tạp, với các đồi thấp xen kẽ vùng trũng và dải đất thấp ven sông. Hệ thống sông suối phân bố dày đặc, nổi bật là sông Cầu - dòng sông chính chảy qua khu vực đô thị. Sông vừa đảm nhận vai trò thoát nước quan trọng, vừa làm tăng nguy cơ ngập lụt khi mưa lớn kéo dài hoặc bão mạnh xảy ra.

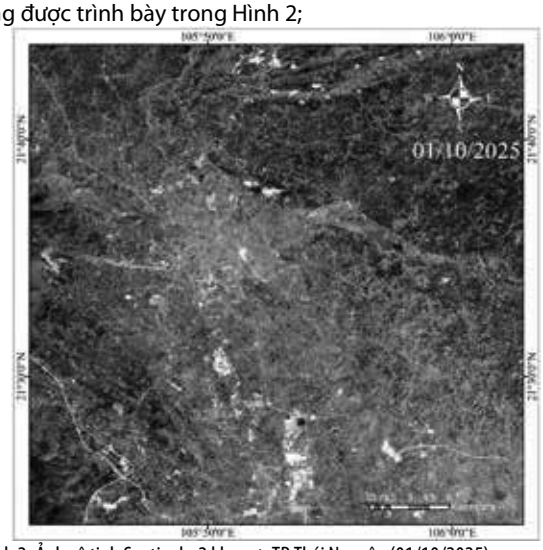
Quá trình đô thị hóa nhanh chóng trong những năm gần đây đã mở rộng diện tích bề mặt không thấm nước, trong khi hệ thống tiêu thoát nước ở một số khu vực chưa theo kịp tốc độ phát triển. Kết quả là nhiều nơi trũng thấp, ven sông và khu dân cư đông đúc dễ bị ngập khi gặp mưa bão, đặc biệt dưới tác động đồng thời của mưa lớn và lũ sông. Chính những đặc điểm này khiến TP Thái Nguyên trở thành khu vực lý tưởng để nghiên cứu tác động ngập lụt do bão Matmo, đồng thời phân tích sự thay đổi không gian nước mặt trước và sau sự kiện thiên tai. Ranh giới khu vực nghiên cứu được thể hiện trên Hình 1.

Hình 1. Ranh giới hành chính TP Thái Nguyên (*nguồn: Internet)*

### 2.2. Dữ liệu

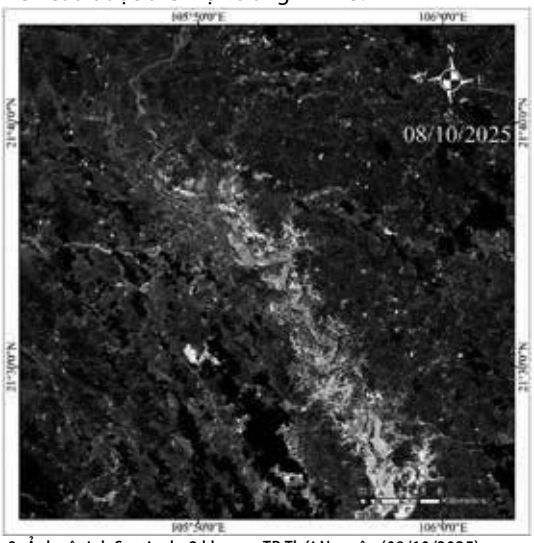
Nghiên cứu sử dụng dữ liệu ảnh vệ tinh Sentinel-2 Level-2A là sản phẩm đã được hiệu chỉnh khí quyển để phản ánh chính xác giá trị phản xạ bề mặt, rất phù hợp cho các nghiên cứu môi trường và giám sát bề mặt Trái Đất. Ảnh Sentinel-2 được cung cấp miễn phí từ ESA [4], với độ phân giải không gian cao (10-20 m), giúp nhận diện chi tiết các đặc trưng bề mặt ở quy mô đô thị, đặc biệt là vùng nước mặt và khu vực ngập lụt.

Dữ liệu được chọn cho hai giai đoạn chính nhằm so sánh trước và sau trận bão: (i) ảnh vệ tinh giai đoạn trước bão Matmo được chụp vào ngày 01/10/2025, đại diện cho điều kiện nước mặt bình thường được trình bày trong Hình 2;




Hình 2. Ảnh vệ tinh Sentinel - 2 khu vực TP Thái Nguyên (01/10/2025)

và (ii) ảnh vệ tinh giai đoạn sau bão Matmo được chụp vào ngày 08/10/2025, thể hiện rõ tác động của mưa lớn và ngập lụt tại khu vực nghiên cứu được thể hiện trong Hình 3.

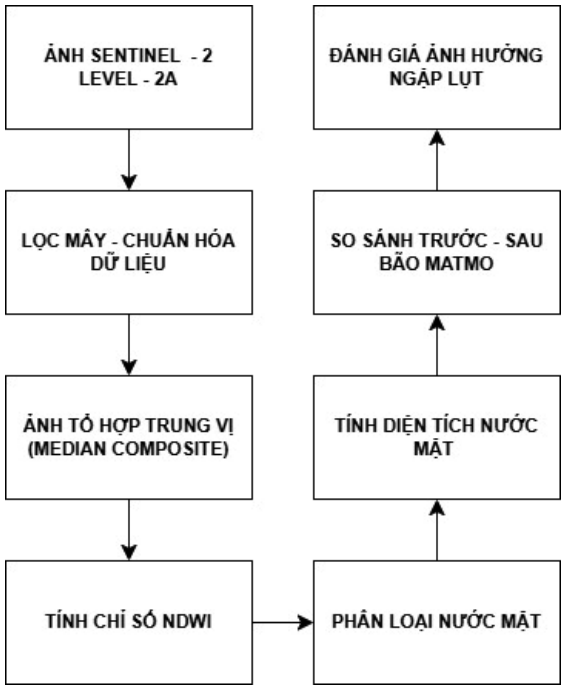



Hình 3. Ảnh vệ tinh Sentinel - 2 khu vực TP Thái Nguyên (08/10/2025)

Với độ phân giải không gian tương đối cao, chu kỳ lặp ngắn (5 ngày) và khả năng cung cấp dữ liệu liên tục, Sentinel-2 là lựa chọn lý tưởng cho nghiên cứu ngập lụt đô thị. Dữ liệu này giúp xác định khá chính xác phân bố và biến động nước mặt trước và sau bão, từ đó hỗ trợ đánh giá nhanh phạm vi, mức độ ngập lụt tại TP Thái Nguyên, đặc biệt trong bối cảnh số liệu quan trắc mặt đất còn hạn chế.

## 3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Phương pháp nghiên cứu được xây dựng nhằm đánh giá tác động ngập lụt do bão Matmo tại TP Thái Nguyên thông qua phân tích sự thay đổi phân bố nước mặt trước và sau bão từ dữ liệu ảnh vệ tinh Sentinel-2. Toàn bộ quy trình xử lý và phân tích được thực hiện trên nền tảng Google Earth Engine [5] được thể hiện trên Hình 4.



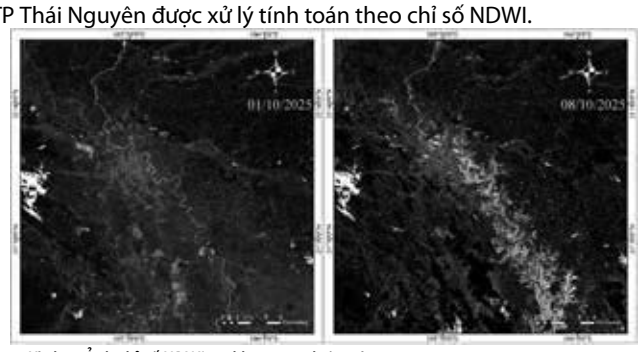

Hình 4. Sơ đồ quy trình xử lý và đánh giá ảnh hưởng ngập lụt từ ảnh Sentinel-2

Trước hết, dữ liệu ảnh Sentinel-2 Level-2A được tiền xử lý để đảm bảo chất lượng và tính đồng nhất. Các ảnh có tỷ lệ mây che phủ cao bị loại bỏ nhằm giảm ảnh hưởng của mây và bóng mây đến kết quả. Dữ liệu được chuẩn hóa về cùng hệ tọa độ và phạm vi nghiên cứu (TP Thái Nguyên), đồng thời sử dụng trực tiếp giá trị phản xạ bề mặt đã hiệu chỉnh khí quyển từ sản phẩm Level-2A. Đối với mỗi giai đoạn (trước và sau bão Matmo), ảnh tổ hợp trung vị (median composite) được xây dựng từ các ảnh đạt chất lượng tốt, giúp loại bỏ nhiễu, giá trị ngoại lai và biến động ngắn hạn, tạo ra ảnh đại diện ổn định cho từng thời điểm.

Tiếp theo, trên cơ sở ảnh tổ hợp, phân loại nước mặt được thực hiện bằng chỉ số NDWI (Normalized Difference Water Index) [7], [3], tính từ băng phổ xanh (Green) và cận hồng ngoại (NIR):

$$NDWI = \frac{(Green - NIR)}{(Green + NIR)}$$

Chỉ số này làm nổi bật vùng nước nhờ sự khác biệt lớn về phản xạ phổ giữa nước và các bề mặt khác. Một ngưỡng phân loại phù hợp (thường > 0.0 hoặc điều chỉnh theo thực địa) được áp dụng để tách lớp nước mặt, xây dựng bản đồ nhị phân gồm hai lớp: nước và không phải nước. Hình 5 thể hiện ảnh vệ tinh Sentinel - 2 khu vực TP Thái Nguyên được xử lý tính toán theo chỉ số NDWI.

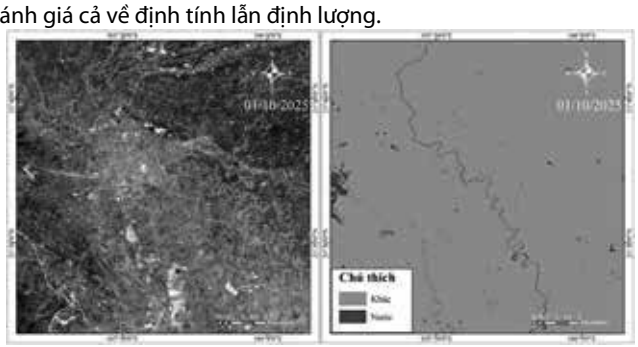



Hình 5. Ảnh chỉ số NDWI tại khu vực nghiên cứu

Cuối cùng, ảnh hưởng ngập lụt do bão Matmo được đánh giá bằng cách so sánh diện tích và phân bố không gian của nước mặt trước và sau bão. Diện tích nước mặt được tính toán cho từng giai đoạn (đơn vị km$^2$), từ đó xác định mức độ biến động sau bão. Đồng thời, phân tích không gian giúp nhận diện các khu vực mở rộng vùng ngập rõ rệt, đặc biệt ở vùng trũng thấp và ven sông trong TP Thái Nguyên. Kết quả này cung cấp cơ sở khoa học để đánh giá nhanh tác động ngập lụt và hỗ trợ công tác phòng chống thiên tai địa phương.

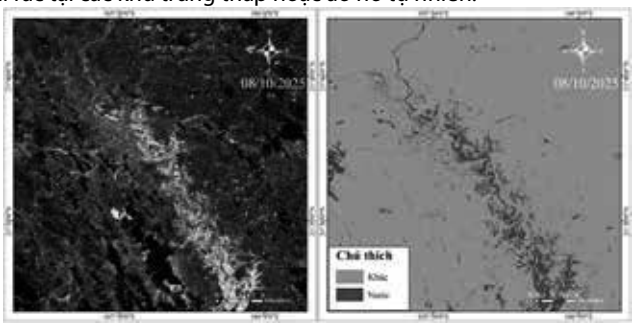
## 4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Kết quả phân tích ảnh vệ tinh Sentinel-2 cho thấy sự thay đổi rõ rệt về phân bố không gian và diện tích nước mặt tại TP Thái Nguyên trước và sau bão Matmo. Dựa trên phân loại nước mặt bằng chỉ số NDWI, hiện trạng nước mặt cùng mức độ ảnh hưởng ngập lụt được đánh giá cả về định tính lẫn định lượng.




Hình 6. Bản đồ phân bố nước mặt trước bão Matmo (01/10/2025)

Trước bão Matmo, nước mặt chủ yếu tập trung dọc theo hệ thống sông suối chính và một số hồ ao hiện hữu. Diện tích nước mặt trong giai đoạn này khá nhỏ và ổn định, đạt khoảng 31,39 km², chiếm tỷ lệ thấp so với tổng diện tích khu vực nghiên cứu. Kết quả phản ánh đúng điều kiện thủy văn bình thường: các khu đô thị, dân cư và đất xây dựng hầu như không bị ngập, chỉ có một số vùng nước rải rác tại các khu trũng thấp hoặc ao hồ tự nhiên.




Hình 7. Bản đồ phân bố nước mặt sau bão Matmo (08/10/2025)

Sau bão Matmo (ảnh ngày 08/10/2025), phân bố nước mặt thay đổi mạnh mẽ cả về phạm vi lẫn mật độ. Nước không còn giới hạn trong lòng sông mà lan rộng ra các vùng trũng thấp, khu dân cư và ven sông. Nhiều vùng ngập mới xuất hiện, đặc biệt tại những nơi địa hình thấp và thoát nước kém. Diện tích nước mặt tăng đáng kể lên khoảng 113,30 km², tương đương mức tăng hơn 3,6 lần so với trước bão. Sự mở rộng này phản ánh trực tiếp tác động của mưa lớn kéo dài do hoàn lưu bão gây ra, khiến nước sông dâng cao và tràn vào các khu vực xung quanh.

Bảng 1. Diện tích nước mặt trước và sau bão Matmo tại TP Thái Nguyên

| Ngày ảnh chụp | Diện tích nước mặt |
|---|---|
| 01/10/2025 | 31.3863 km² |
| 08/10/2025 | 113.3008 km² |

Phân tích biến động cho thấy phần diện tích tăng thêm chủ yếu tập trung dọc hành lang sông chính và tại các vùng trũng thấp trong đô thị. Điều này làm nổi bật các khu vực dễ bị ảnh hưởng nặng nề nhất: nơi địa hình thấp, gần sông suối hoặc có mật độ xây dựng cao, khả năng tiêu thoát nước bị hạn chế. Sự gia tăng mạnh diện tích nước mặt là chỉ báo rõ ràng về mức độ ngập lụt nghiêm trọng do bão Matmo tại TP Thái Nguyên. Cần lưu ý rằng diện tích nước mặt được xác định trong nghiên cứu phản ánh phạm vi ngập tại thời điểm chụp ảnh vệ tinh, có thể chưa phản ánh đầy đủ diễn biến ngập theo thời gian và độ sâu ngập tại từng khu vực.

Tóm lại, ảnh vệ tinh Sentinel-2 kết hợp phương pháp phân loại nước mặt bằng NDWI đã phản ánh khá rõ hiện trạng và biến động ngập lụt trước và sau bão. Các bản đồ nước mặt (với vùng nước màu xanh nổi bật lan rộng sau bão) cùng kết quả định lượng diện tích nước cung cấp cơ sở khoa học đáng tin cậy để đánh giá nhanh tác động ngập lụt, hỗ trợ hiệu quả công tác giám sát, ứng phó và phòng chống thiên tai tại khu vực đô thị Thái Nguyên.

## 5. THẢO LUẬN

Kết quả nghiên cứu cho thấy việc ứng dụng ảnh vệ tinh Sentinel-2 để đánh giá ảnh hưởng ngập lụt do bão Matmo tại TP Thái Nguyên mang lại ý nghĩa thiết thực cho công tác phòng chống thiên tai [6]. Thông qua phân tích và so sánh phân bố nước mặt trước và sau bão, phương pháp này giúp đánh giá nhanh phạm vi và mức độ mở rộng vùng ngập trên diện rộng, đồng thời nhận diện rõ các khu vực nguy cơ cao như vùng trũng thấp, khu dân cư đông đúc và ven sông. Các kết quả thu được cung cấp thông tin khách quan, đáng tin cậy, hỗ trợ theo dõi, đánh giá và tổ chức ứng phó kịp thời tại địa phương.

Về mặt phương pháp, Sentinel-2 kết hợp chỉ số NDWI nổi bật với khả năng bao phủ không gian rộng, cập nhật dữ liệu nhanh và dễ tiếp cận nhờ nguồn miễn phí từ ESA [5]. Quy trình xử lý trên Google Earth Engine rút ngắn đáng kể thời gian phân tích, rất phù hợp cho các tình huống cần đánh giá khẩn cấp sau thiên tai, đặc biệt khi số liệu thực địa hoặc mạng lưới quan trắc mặt đất còn hạn chế. Phương pháp này vì vậy có tiềm năng ứng dụng rộng rãi trong giám sát và đánh giá ngập lụt đô thị ở quy mô địa phương.

Tuy nhiên, nghiên cứu vẫn tồn tại một số hạn chế. Ảnh hưởng của mây che phủ dày đặc trong điều kiện mưa bão làm giảm chất lượng dữ liệu ảnh quang học từ đó gây ảnh hưởng đến độ chính xác phân loại nước mặt [10]. Ngoài ra, NDWI chủ yếu thể hiện sự hiện diện và phạm vi nước mặt, chưa cung cấp thông tin chi tiết về mực nước hay độ sâu ngập lụt. Để khắc phục, các nghiên cứu tiếp theo nên kết hợp dữ liệu ảnh radar (SAR) - ít bị ảnh hưởng bởi mây - cùng với số liệu mưa, thủy văn và quan trắc thực địa. Sự kết hợp này sẽ nâng cao độ chính xác, độ sâu phân tích và giá trị ứng dụng thực tiễn trong đánh giá ngập lụt cũng như phòng chống thiên tai.

Tóm lại, phương pháp sử dụng Sentinel-2 đã chứng minh hiệu quả trong việc cung cấp thông tin nhanh chóng, khách quan để hỗ trợ quản lý thiên tai tại Thái Nguyên. Đây là cơ sở để mở rộng ứng dụng viễn thám quang học và radar tại các đô thị miền núi Bắc Bộ, góp phần giảm thiểu thiệt hại do ngập lụt và các hiện tượng thời tiết cực đoan ngày càng gia tăng [2], [8].

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Atefi, M., Amani, M., Brisco, B., Mahdianpari, M., *Automated and rapid flood detection using Sentinel-2 imagery and Google Earth Engine*, Remote Sensing, vol. 14(15), p. 3647, 2022.

[2] Bộ Tài nguyên và Môi trường, *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước mặt QCVN 08-MT:2015/BTNMT*, Hà Nội, 2015.

[3] Du, Y., Zhang, Y., Ling, F., Wang, Q., Li, W., Li, X., *Water bodies' mapping from Sentinel-2 imagery using NDWI and MNDWI*, Remote Sensing, vol. 8(4), p. 354, MDPI, 2016.

[4] European Space Agency (ESA), *Sentinel-2 User Handbook*, European Space Agency, 2015.

[5] Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., Moore, R., *Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone*, Remote Sensing of Environment, vol. 202, pp. 18-27, Elsevier, 2017.

[6] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*, Cambridge University Press, 2021.

[7] McFeeters, S. K., *The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features*, International Journal of Remote Sensing, vol. 17(7), pp. 1425-1432, Taylor & Francis, 1996.

[8] Nguyễn Văn Hùng, Trần Thị Mai, *Ứng dụng viễn thám trong giám sát và đánh giá ngập lụt tại khu vực đô thị*, Tạp chí Khoa học Tài nguyên và Môi trường, pp. 45–52, 2020.

[9] Petropoulos, G. P., Chalkias, C., Kalogeropoulos, K., *Leveraging Sentinel-2 and GIS for flooded area mapping*, Geographies, vol. 5(2), p. 25, MDPI, 2024.

[10] Schumann, G. J.-P., *Remote sensing of floods: A review*, Remote Sensing, Vol. 7(12), pp. 17002-17024, MDPI, 2015.

■Ngày nhận bài: 12/01/2026 ■Ngày sửa bài: 22/01/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 05/02/2026

# Đánh giá năng suất khai thác đội tàu biển thế giới bằng Phương pháp phân tích bao phủ dữ liệu (DEA) và chỉ số Malmquist

## Assessing the operational productivity of the global merchant fleet: a data envelopment analysis (DEA) and Malmquist index approach

**> TS NGUYỄN THỊ THÚY HỒNG**
Trường Đại học Hàng hải Việt Nam
Email: hongntt.ktcb@vimaru.edu.vn

**TÓM TẮT**

Bài báo đánh giá năng suất khai thác của đội tàu biển thế giới giai đoạn 2016 - 2023 theo từng phân khúc gồm: Tàu hàng rời, tàu container, tàu hàng bách hóa, tàu chở dầu và tàu chở hóa chất. Trên cơ sở bộ dữ liệu thứ cấp của UNCTAD (Hội nghị Liên hợp quốc về Thương mại và Phát triển), nghiên cứu sử dụng mô hình DEA (Data Envelopment Analysis) định hướng đầu vào trên mẫu gộp để xây dựng đường biên năng suất tĩnh, đồng thời xây dựng chỉ số năng suất Malmquist nhằm phân tích động thái năng suất liên kỳ theo từng phân khúc tàu. Kết quả nghiên cứu cho thấy mặt bằng mức sử dụng nguồn lực theo đường biên năng suất của toàn bộ mẫu tương đối cao. Trong đó, nhóm tàu chở hàng bách hóa và tàu hàng rời là những phân khúc có mức tiệm cận biên năng suất cao nhất, nhóm tàu chở dầu và đặc biệt là nhóm tàu chở hóa chất có mức sử dụng nguồn lực còn nhiều dư địa để cải thiện. Những kết quả này khẳng định tầm quan trọng của việc tối ưu hóa đồng thời quy mô trọng tải, tổ chức khai thác và tiêu thụ nhiên liệu đối với năng suất đội tàu, đồng thời có thể làm cơ sở tham chiếu trong công tác hoạch định phát triển đội tàu quốc gia.

**Từ khóa:** DEA; chỉ số Malmquist; đội tàu vận tải biển thế giới.

**ABSTRACT**

This paper evaluates the operational productivity of the world merchant fleet over the period 2016 - 2023, disaggregated by major vessel segments, including bulk carriers, container ships, general cargo vessels, oil tankers and chemical tankers. Based on secondary data obtained from UNCTAD (United Nations Conference on Trade and Development), the study employs an input-oriented Data Envelopment Analysis (DEA) model with a pooled sample to construct a static productivity frontier. In addition, the Malmquist productivity index is applied to examine intertemporal productivity dynamics across vessel segments. The empirical results indicate that the overall level of resource utilization relative to the productivity frontier is relatively high for the full sample. Among the vessel categories, general cargo vessels and bulk carriers exhibit the highest degrees of proximity to the productivity frontier, whereas oil tankers and particularly chemical tankers still display considerable potential for efficiency improvement. These findings underscore the critical importance of simultaneously optimizing fleet size, operational organization and fuel consumption in enhancing fleet productivity and they provide a useful benchmark for national fleet development planning and maritime policy formulation.

**Keywords:** DEA; malmquist productivity Index; world merchant fleet.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh thương mại quốc tế tăng trưởng mạnh và chuỗi cung ứng toàn cầu ngày càng phức tạp, vận tải biển vẫn là phương thức vận tải chủ lực, đảm nhận trên 80% khối lượng thương mại hàng hóa thế giới. Các hãng tàu và đội tàu không chỉ chịu áp lực gia tăng năng lực vận chuyển, mà còn phải tìm cách cải thiện năng suất sử dụng nguồn lực và tuân thủ các tiêu chuẩn môi trường ngày càng nghiêm ngặt của Tổ chức Hàng hải quốc tế. Trong điều kiện đó, câu hỏi đặt ra không chỉ là đội tàu có hiệu quả kỹ thuật đến đâu, mà quan trọng hơn là năng suất khai thác - tức là khả năng

chuyển hóa các nguồn lực khai thác (trọng tải, thời gian vận hành, nhiên liệu…) thành sản lượng vận tải hữu ích - đang thay đổi như thế nào theo thời gian và giữa các phân khúc tàu. Việc xác định năng suất và phân tích động thái năng suất của đội tàu là cơ sở quan trọng để định hình cấu trúc đội tàu theo phân khúc hàng, tối ưu hóa mạng lưới tuyến, xây dựng chính sách phát triển đội tàu gắn với yêu cầu tăng năng suất, giảm phát thải.

Trong các nghiên cứu học thuật, DEA và SFA (Stochastic Frontier Analysis) là hai phương pháp phổ biến để đánh giá năng suất kỹ thuật của tàu, hãng tàu hoặc cảng mà không cần giả định cụ thể về hàm sản xuất. Ưu thế của SFA là có thể tách nhiễu ngẫu nhiên ra khỏi phần không hiệu quả (Kamiyama, 2023), trong khi DEA là công cụ thích hợp để xây dựng đường biên năng suất tĩnh trong bối cảnh nhiều đầu vào - nhiều đầu ra [1]. Ngoài ra, với sự phát triển của dữ liệu hành trình tàu (AIS, dữ liệu theo voyage), các nghiên cứu về đội tàu hiện đại thường ứng dụng mô hình đa cấp (multilevel) để phân tách ảnh hưởng của tàu, tuyến, hãng và thời điểm lên năng suất, giúp hiểu sâu hơn về biến động và yếu tố ảnh hưởng (Jia và cộng sự, 2025) [2]. Một hướng nghiên cứu chiến lược có liên quan là phân tích cấu trúc thị trường vận tải biển: Các liên minh vận tải (liner alliances) và cơ chế chia sẻ tàu (co-deployment) có thể giúp cải thiện tỷ lệ sử dụng tàu, nhưng đồng thời cũng có thể gây ra tải ngược (dead-heading) hoặc dịch chuyển không tải, ảnh hưởng đến năng suất thực tế (Chen và cộng sự, 2021) [3].

Ở Việt Nam, mặc dù đã có các nghiên cứu ứng dụng DEA để đánh giá năng suất của cảng biển [4, 5] hoặc đội tàu nội địa [6], nhưng vẫn còn thiếu các phân tích toàn diện về năng suất theo loại tàu kết hợp với quãng đường, thời gian khai thác, mức tiêu thu nhiên liệu và tổng trọng tải. Tiếp nối các nghiên cứu về năng suất phương tiện vận tải biển, bài báo này sử dụng bộ dữ liệu thứ cấp của UNCTAD để đánh giá năng suất giữa các nhóm tàu và theo chuẩn quốc tế, đồng thời thảo luận các vấn đề liên quan đến hiệu quả môi trường để đưa ra hàm ý quản trị cho ngành Hàng hải toàn cầu. Khác với các công bố trước, bài báo thực hiện kết hợp chỉ số Malmquist với DEA để phân tích động thái năng suất đội tàu vận tải biển thế giới theo thời gian, tách bạch tác động của thay đổi hiệu quả sử dụng nguồn lực và dịch chuyển biên công nghệ trong giai đoạn 2016 - 2023.

## 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Theo Farrell, hiệu quả kỹ thuật phản ánh khả năng đạt mức đầu ra tối đa với một tổ hợp đầu vào cho trước, hoặc ngược lại, sử dụng mức đầu vào tối thiểu để đạt một mức đầu ra nhất định [7]. Tuy nhiên, khi xem xét trong chuỗi thời gian, mối quan tâm chuyển sang năng suất, tức là mối quan hệ giữa lượng đầu ra và lượng đầu vào và cách quan hệ này thay đổi theo thời gian.

Chỉ số Malmquist được Caves, Christensen và Diewert (1982) đề xuất như một chỉ số năng suất tổng hợp, dựa trên tỷ lệ giữa các hàm khoảng cách ở hai thời kỳ [8]. Khi kết hợp với DEA, các hàm khoảng cách này được ước lượng phi tham số từ dữ liệu, cho phép đo lường thay đổi năng suất mà không đòi hỏi thông tin về giá cả hoặc chi phí. Nghiên cứu này tiếp cận DEA để xác định mỗi phân khúc tàu (Decision Making Unit - DMU) [9] đang sử dụng nguồn lực tiệm cận biên năng suất chung đến mức nào; đồng thời, tiến hành phân tích năng suất động được phản ánh qua chỉ số Malmquist, đo mức tăng/giảm năng suất liên kỳ của từng phân khúc đội tàu.

Để xây dựng đường biên năng suất tĩnh của đội tàu, bài báo sử dụng mô hình DEA định hướng đầu vào trên mẫu gộp (pooled DEA). Trong đó, toàn bộ DMU được đưa vào chung một mô hình, tạo thành đường biên năng suất chung cho toàn bộ giai đoạn. Công thức tổng quát của DEA định hướng đầu vào như sau [10]:

$$\min_{\theta,\lambda,s^-,s^+} \quad \theta - \varepsilon\left(\sum_{i=1}^{m} s_i + \sum_{r=1}^{s} s_r\right)$$

$$s,t \quad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{i,j} + s_i^- = \theta x_{i0} \quad ,i = 1,\ldots,m$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{r,j} - s_r^+ = y_{r0} \quad ,r = 1,\ldots,s$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1$$

$$\text{Với } \lambda_j \geq 0, s_i^- \geq 0, s_i^+ \geq 0$$

Trong đó:

θ - Chỉ số hiệu quả kỹ thuật;

$x_{i,j}$ - Đầu vào thứ i của DMU j;

$y_{r,j}$ - Đầu ra thứ r của DMU j;

$s^-$, $s^+$ - Biến slack đầu vào và đầu ra;

λj - Trọng số của DMU tham chiếu;

$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1$ - Ràng buộc biến thiên theo quy mô;

ε - Hằng số nhỏ dương.

Bên cạnh đó, trên nền tảng khái niệm Malmquist [11], bài báo thực hiện tính toán chỉ số năng suất tổng hợp cho từng phân khúc - năm:

MPI=EC×TC

Trong đó:

EC (Efficiency Change) - Thay đổi hiệu quả kỹ thuật;

TC (Technical Change) - Tiến bộ công nghệ.

Giá trị MPI > 1 cho thấy năng suất tăng, MPI < 1 phản ánh năng suất giảm.

Chỉ số này phản ánh sản lượng vận chuyển và luân chuyển của đội tàu được tạo ra trên một đơn vị kết hợp của quy mô trọng tải, thời gian khai thác và mức tiêu hao nhiên liệu. Để có cái nhìn chung cho toàn đội tàu, bài báo sử dụng trung bình hình học chỉ số Malmquist của 5 phân khúc cho từng cặp năm, tạo thành chỉ số Malmquist năng suất tổng hợp.

## 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Dữ liệu thống kê đội tàu biển thế giới giai đoạn 2016 - 2023 của UNCTAD bao gồm các biến đầu vào là tổng trọng tải, thời gian khai thác và mức tiêu thụ nhiên liệu; đầu ra là tổng khối lượng hàng hóa vận chuyển và luân chuyển của đội tàu. Bộ dữ liệu thứ cấp từ UNCTAD gồm 5 nhóm tàu gồm tàu chở hàng bách hóa tàu container, tàu hàng rời, tàu chở dầu và tàu chở hóa chất. Như vậy, có 40 DMU (8 năm và 5 nhóm tàu)

Bảng 1. Kết quả DEA định hướng đầu vào theo phân khúc đội tàu biển thế giới, 2016 - 2023

| Loại tàu | Tỷ lệ DMU hiệu quả | Hiệu quả trung bình | Hiệu quả nhỏ nhất | Hiệu quả lớn nhất |
|---|---|---|---|---|
| Tàu hàng rời | 37,5 | 0,983 | 0,927 | 1,000 |
| Tàu container | 37,5 | 0,98 | 0,945 | 1,000 |
| Tàu chở hàng bách hóa | 50 | 0,997 | 0,994 | 1,000 |
| Tàu dầu | 12,5 | 0,926 | 0,884 | 1,000 |
| Tàu chở hóa chất | 12,5 | 0,902 | 0,797 | 1,000 |

*Nguồn: Tính toán của tác giả, hỗ trợ bởi phần mềm DEA.*

Bảng 1 thể hiện mức độ tiệm cận đường biên năng suất tĩnh của các phân khúc đội tàu biển trong giai đoạn 2016 - 2023, được đo lường bằng mô hình DEA. Kết quả cho thấy mặt bằng sử dụng

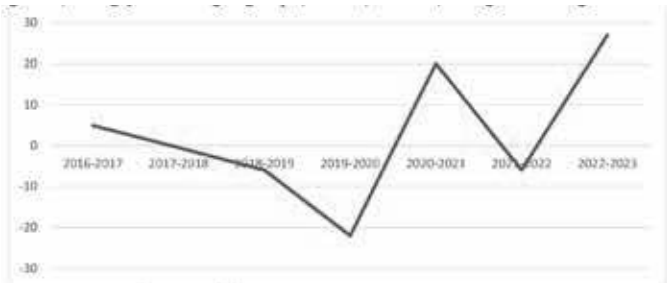
nguồn lực của toàn bộ mẫu ở mức tương đối cao, với hiệu quả trung bình đạt khoảng 0,958, tỷ lệ DMU hiệu quả đạt khoảng 30% và có sự khác biệt đáng kể giữa các phân khúc. Nhóm tàu tổng hợp có mức hiệu quả trung bình cao nhất, đạt khoảng 0,997 và có khoảng 50% DMU nằm trên đường biên, phản ánh khả năng khai thác trọng tải và thời gian vận hành sát ngưỡng tối ưu. Hai phân khúc tàu hàng rời và tàu container cũng duy trì mức hiệu quả trung bình trên 0,98, với tỷ lệ DMU hiệu quả khoảng 37,5%, cho thấy mức độ sử dụng nguồn lực khá tốt và tương đối ổn định qua các năm. Ngược lại, hai phân khúc tàu chở dầu và tàu chở hóa chất có mức hiệu quả trung bình thấp hơn đáng kể, lần lượt khoảng 0,926 và 0,902, đồng thời chỉ có 12,5% DMU đạt mức hiệu quả, cho thấy dư địa cải thiện lớn trong tổ chức khai thác. Thực tế khai thác cho thấy kết quả nghiên cứu hoàn toàn phù hợp do đặc thù của hàng hóa. Tàu chở dầu và chở hóa chất thường chỉ có hàng một chiều, việc tận dụng quãng đường chạy có hàng không thể như các nhóm tàu khác. Sự phân hóa về hiệu suất giữa các nhóm tàu cũng phản ánh các đặc điểm thị trường và kỹ thuật mang tính phân khúc, gợi ý rằng năng suất khai thác phụ thuộc mạnh vào mức độ linh hoạt tuyến vận tải, cơ cấu hàng hóa và điều kiện vận hành thực tế. Ở góc độ khác, theo thời gian, hiệu quả trung bình duy trì ở mức cao trong giai đoạn 2016 - 2018, sau đó giảm mạnh trong giai đoạn Covid cao điểm năm 2019 - 2020 và phục hồi sau đó nhưng không ổn định. Kết quả này đồng thời phản ánh quá trình tái phục hồi và điều chỉnh mạng lưới tuyến cũng như cơ cấu đội tàu thế giới trong 3 năm gần đây.

Bảng 2. Chỉ số năng suất Malmquist theo phân khúc tàu biển và giai đoạn

| Giai đoạn | Chỉ số Maimquist | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Trung bình | Tàu hàng rời | Tàu chở hóa chất | Tàu container | Tàu tổng hợp | Tàu dầu |
| 2016-2017 | 1,05 | 1,085 | 0,978 | 1,205 | 1,083 | 0,918 |
| 2017-2018 | 0,99 | 1,070 | 0,966 | 1,002 | 1,015 | 0,925 |
| 2018-2019 | 0,94 | 0,926 | 0,963 | 0,980 | 0,965 | 0,860 |
| 2019-2020 | 0,78 | 0,737 | 0,691 | 0,712 | 0,898 | 0,889 |
| 2020-2021 | 1,20 | 1,218 | 1,217 | 1,451 | 1,219 | 0,947 |
| 2021-2022 | 0,94 | 0,950 | 0,940 | 0,831 | 0,929 | 1,064 |
| 2022-2023 | 1,27 | 1,054 | 2,803 | 1,063 | 0,932 | 1,140 |

*Nguồn: Tính toán của tác giả, hỗ trợ bởi phần mềm DEA.*

Bảng 2 thể hiện chỉ số năng suất Malmquist theo từng phân khúc và giai đoạn, đo lường sự thay đổi năng suất toàn yếu tố liên kỳ dựa trên mối quan hệ giữa sản lượng vận chueyenr và luân chuyển với các nguồn lực khai thác gồm tổng trọng tải, số giờ khai thác và mức tiêu thụ nhiên liệu. Kết quả cho thấy, năng suất đội tàu biển thế giới không duy trì ổn định qua các năm mà biến động theo chu kỳ thị trường và bối cảnh kinh tế. Giai đoạn 2016 - 2018 ghi nhận xu hướng tăng năng suất ở hầu hết phân khúc, thể hiện ở các giá trị Malmquist lớn hơn 1, ví dụ tàu dầu là 1,085 và 1,070; tàu container là 1,205 và 1,002, phản ánh điều kiện thương mại thuận lợi và hệ số lợi dụng trọng tải cao. Ngược lại, giai đoạn 2018 - 2020 chứng kiến mức giảm năng suất rõ rệt với giá trị Malmquist nhỏ hơn 1 tại đa số phân khúc. Đặc biệt năm 2019 - 2020, chỉ số Malmquist chỉ còn 0,780, phù hợp với giai đoạn vận tải biển toàn cầu chịu ảnh hưởng tiêu cực của Covid-19 gây ra tắc nghẽn cảng, mất cân đối container rỗng, gián đoạn chuỗi cung ứng và gia tăng thời gian chờ. Từ năm 2020 - 2021 trở đi, năng suất phục hồi đáng kể (MPI≈1,200), đi kèm điều chỉnh mạng tuyến và tái cơ cấu công suất, mặc dù mức độ phục hồi không đồng đều giữa phân khúc. Đáng chú ý, phân khúc tàu chở hóa chất ghi nhận mức tăng Malmquist vượt trội năm 2022 - 2023 (≈2,803), cho thấy tiềm năng cải thiện năng suất lớn khi điều kiện khai thác được tối ưu hóa. Nhìn chung, chuỗi giá trị Malmquist phản ánh rõ động thái năng suất của đội tàu qua khủng hoảng, giảm sâu ở giai đoạn đứt gãy chuỗi cung ứng và phục hồi mạnh khi thị trường tái cân bằng.




Hình 1. Sự thay đổi năng suất tổng hợp của đội tàu giai đoạn 2016 - 2023

*Nguồn: Tính toán của tác giả.*

Tổng hợp kết quả nghiên cứu cho thấy, trước năm năm 2019, đội tàu vận hành gần biên năng suất và năng suất có xu hướng tăng hoặc ổn định. Trong giai đoạn Covid 2019 - 2020, năng suất giảm mạnh do gián đoạn chuỗi cung ứng, chạy rỗng và thời gian chờ tăng, trong khi quy mô đội tàu và giờ khai thác không điều chỉnh kịp thời theo sự tác động khó lường của các biện pháp mà thế giới sử dụng để đối phó với Covid-19. Ở giai đoạn hậu Covid, khi phản ứng của các hãng tàu đối với biến động địa chính trị bắt đầu phát huy tác dụng như tích cực tái cấu trúc mạng tuyến và điều chỉnh công suất, năng suất bắt đầu phục hồi đáng kể, đặc biệt là năm 2023.

Sự khác biệt giữa các phân khúc đội tàu về mức tiệm cận biên năng suất (DEA) và động thái năng suất (Malmquist) cho thấy tàu chở hàng bách hóa, tàu hàng rời và tàu container có mức sử dụng nguồn lực gần biên hơn và năng suất phục hồi nhanh sau cú sốc do mạng lưới tuyến đa dạng hơn, khả năng gom hàng, chia lô, kết hợp tải tốt hơn, mức độ linh hoạt cao trong điều phối tàu. Trong khi đó, nhóm tàu chở dầu và tàu chở hóa chất do chịu nhiều ràng buộc về an toàn, tiêu chuẩn kỹ thuật, tính chất chuyên biệt của hàng hóa và cấu trúc thị trường phân mảnh dẫn đến khó tối ưu hóa hệ số lợi dụng trọng tải, khiến năng suất thấp hơn và phục hồi chậm. Kết quả này còn gợi ý về căn nguyên của chênh lệch hiệu quả không chỉ nằm ở công nghệ tàu mà còn ở mức độ linh hoạt của mạng lưới logistics và cấu trúc thị trường.

Các biến động kinh tế vĩ mô, Covid-19, tắc nghẽn cảng và các căng thẳng địa chính trị được phản ánh khá rõ trong chỉ số Malmquist. Khi luồng hàng ổn định (2016 - 2018), đội tàu duy trì hệ số lợi dụng trọng tải cao, năng suất tăng hoặc ổn định. Tuy nhiên, khi chuỗi cung ứng đứt gãy, thời gian chờ tăng, chạy rỗng nhiều (2019 - 2020), đầu vào vẫn duy trì hoặc tăng (tàu vẫn phải chạy, vẫn sử dụng nhiên liệu), trong khi đầu ra không tăng tương ứng, khiến năng suất giảm sâu. Ở giai đoạn phục hồi, các hãng tàu tái cơ cấu tuyến, điều chỉnh công suất, tăng giá cước để bù đắp rủi ro, từ đó năng suất tăng dần trở lại, dù không đồng đều giữa các phân khúc.

Bên cạnh các kết quả đạt được, nghiên cứu còn chưa giải thích được 2 vấn đề. Một là bất thường về năng suất của nhóm tàu chở hóa chất giai đoạn 2022 - 2023. Có thể, tạm giải thích là do sự phục hồi hoạt động sản xuất hóa chất các loại và xuất hiện hiện tượng thiếu hụt nguồn cung do sự ràng buộc về các tiêu chuẩn xanh của đội tàu hóa chất thế hệ mới. Tuy nhiên, vấn đề này sẽ cần nghiên

cứu sâu hơn để có đánh giá chính xác hơn. Hai là, chỉ số Malmquist mới chỉ được xây dựng dưới dạng chỉ số năng suất tổng hợp dựa trên số lượng; mô hình DEA dừng lại ở việc phản ánh mặt bằng tiệm cận biên năng suất tĩnh, chưa đủ cơ sở để phân rã chi tiết Malmquist thành thay đổi hiệu quả và dịch chuyển công nghệ.

## 4. KẾT LUẬN

Bài báo đã sử dụng DEA định hướng đầu vào trên mẫu gộp để xây dựng đường biên năng suất tĩnh cho đội tàu biển thế giới giai đoạn 2016 - 2023, đồng thời xây dựng chỉ số năng suất tổng hợp bằng chỉ số Malmquist để phân tích động thái năng suất theo phân khúc và thời gian. Kết quả là mặt bằng tiệm cận biên năng suất ở mức tương đối cao nhưng vẫn tồn tại chênh lệch đáng kể giữa các phân khúc tàu. Năng suất tổng hợp có xu hướng tăng trước khủng hoảng, giảm mạnh trong giai đoạn 2019 - 2020, sau đó phục hồi nhanh. Đối với từng loại tàu, kết quả cho thấy tàu container có xu hướng duy trì tăng trưởng năng suất ổn định nhờ nhu cầu thương mại điện tử và mạng lưới logistics tích hợp toàn cầu. Tuy nhiên, tàu hàng rời và tàu chở hàng bách hóa lại chịu ảnh hưởng lớn từ chu kỳ giá hàng hóa và biến động thương mại, dẫn tới suy giảm hiệu quả trong một số năm. Tương tự, tàu chở hóa chất thể hiện sự cải thiện năng suất tương đối chậm, phản ánh đặc thù thị trường hóa chất vốn phân mảnh, nhu cầu không ổn định và yêu cầu vận hành nghiêm ngặt hơn. Kết quả cũng gợi mở rằng hiệu quả vận hành của đội tàu không chỉ phụ thuộc vào đặc điểm kỹ thuật của tàu mà còn chịu tác động mạnh từ hạ tầng cảng biển, hiệu quả chuỗi cung ứng và mức độ số hóa logistics. Điều này củng cố lập luận rằng năng suất vận tải biển là kết quả của một hệ sinh thái rộng, đòi hỏi sự phối hợp giữa doanh nghiệp vận tải, cảng biển, nhà cung cấp dịch vụ logistics và cơ quan quản lý hàng hải.

Đối với các nhà hoạch định chính sách hàng hải quốc gia, kết quả của nghiên cứu này có thể được sử dụng như một mốc tham chiếu để đánh giá năng suất đội tàu trong nước, xác định các phân khúc ưu tiên đầu tư và xây dựng lộ trình tái cơ cấu đội tàu gắn với nâng cao năng suất và giảm phát thải. Ở góc độ khác, nếu có đủ dữ liệu, tiếp cận DEA và chỉ số Malmquist có thể tính toán được năng suất của đội tàu biển Việt Nam, làm căn cứ để xây dựng quy hoạch đội tàu quốc gia và thiết kế các chương trình hỗ trợ chuyển đổi xanh. Nghiên cứu này cũng đồng thời mở ra một số hướng nghiên cứu về phân rã chỉ số Malmquist thành thay đổi hiệu quả và tiến bộ công nghệ hoặc phát triển mô hình DEA môi trường với phát thải khí nhà kính được đưa vào mô hình như là một đầu ra không mong muốn nhằm đánh giá năng suất xanh hay kết hợp thêm dữ liệu về giá cước, chi phí vận hành để xây dựng chỉ số năng suất tổng hợp đầy đủ và phân tích sâu hơn mối quan hệ giữa năng suất, hiệu quả và lợi nhuận.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Kamiyama, R., & Miyata, T. Applicability of data envelopment analysis using vessel-level data to the estimation of technical efficiency and capacity utilization of the small-scale squid angling fishery in Aomori Prefecture, Japan. *Fisheries Research,* 262, 106664, 2023.

[2] Jia, H. Multilevel analysis of bulk shipping fleet productivity: a big data approach. *Maritime Policy & Management,* 52(1), 1-17, 2025.

[3] Chen, S., Sys, C., Vanelslander, T., & Zheng, S. The impact of liner shipping alliances on vessel deployment and empty container repositioning. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review,* 149, 102293, 2021.

[4] Nguyễn, V. T., & cộng sự. Đánh giá hiệu quả hoạt động của hệ thống cảng biển Việt Nam: Tiếp cận Malmquist DEA. *Kỷ yếu Hội thảo khoa học CIDO 2023,* NXB. Giao thông vận tải, 2023.

[5] Lê, M. H., & Nguyễn, H. V. Phân tích so sánh hiệu quả khai thác của các bến cảng container khu vực cảng biển Hải Phòng giai đoạn 2016 - 2022 bằng phương pháp DEA. T*ạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải,* 2023.

[6] Nguyễn, V. N., & Trần, T. H. Đánh giá hiệu quả hoạt động của các doanh nghiệp vận tải thủy nội địa Việt Nam bằng phương pháp DEA. *Tạp chí Kinh tế & Phát triển,* (267), 45-54, 2019.

[7] Farrell, M. J. The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)*, 120(3), 253–290, 1957.

[8] Caves, D. W., Christensen, L. R., & Diewert, W. E. The economic theory of index numbers and the measurement of input, output and productivity. *Econometrica,* 50(6), 1393–1414, 1982.

[9] Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research,* 2(6), 429-444, 1978.

[10] Emrouznejad, A., & Yang, G.-L. A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978-2016. *Socio-Economic Planning Sciences,* 61, 4-8, 2018.

[11] Färe, R., Grosskopf, S., Norris, M., & Zhang, Z. Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries. *American Economic Review,* 84(1), 66-83, 1994.

■Ngày nhận bài: 23/02/2026 ■Ngày sửa bài: 02/3/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 11/3/2026

# Nghiên cứu và đề xuất thuật toán lập bản đồ 3D cho robot, áp dụng vào drone và được mô phỏng trên nền tảng ROS

## Research and propose a 3D mapping algorithm for robots, applied to drones and simulated on the ROS platform

**> TS NGUYỄN HOÀNG THÙY TRANG**
Trường Đại học Hàng hải Việt Nam
Email: trangnht@vimaru.edu.vn

**TÓM TẮT**

Lập bản đồ 3D thời gian thực là yếu tố then chốt giúp drone tự hành định vị và điều hướng an toàn trong môi trường biển. Bài báo đề xuất một phương pháp mới dựa trên máy tính tái cấu hình, thay thế các giải pháp truyền thống như SLAM xác suất hay mạng nơ-ron sâu - vốn tiêu tốn tài nguyên và thiếu tính minh bạch. Phương pháp sử dụng automat tái cấu hình, triển khai trên kiến trúc xử lý song song dạng đường ống, cho phép xử lý dữ liệu LiDAR hiệu quả với chi phí phần cứng thấp. Không gian 3D được biểu diễn theo hai chế độ: Không nhóm và nhóm automat, nhằm cân bằng giữa độ chính xác và hiệu suất tính toán. Mô hình được tích hợp trong ROS/Gazebo (sử dụng drone Hector Quadrotor) và mô phỏng trong Simulink bằng mạch tổ hợp Boolean. Kết quả cho thấy độ chính xác đạt 100% khi mật độ chướng ngại vật ≥83%; sai số tối đa 52,8% chỉ xuất hiện ở mật độ thấp (~14%) trong chế độ nhóm, đồng thời thời gian xử lý giảm 2,2 lần. Bản đồ đầu ra hoàn toàn khớp với môi trường mô phỏng. Nhờ tính minh bạch, khả năng diễn giải và linh hoạt tái cấu hình, giải pháp này có tiềm năng ứng dụng cao trong giao thông biển, đặc biệt trong khảo sát địa hình, giám sát công trình và cứu hộ trên biển.

**Từ khóa:** Lập bản đồ 3D; drone; môi trường máy tính tái cấu hình; automat; ROS; Gazebo; xử lý song song; logic Boolean; hệ thống nhúng.

**ABSTRACT**

Real-time 3D mapping is a key factor in enabling autonomous drones to safely locate and navigate in marine environments. This paper proposes a novel method based on reconfigurable computing, replacing traditional solutions such as probabilistic SLAM or deep neural networks - which are resource-intensive and lack transparency. The method uses reconfigurable automat, implemented on a pipelined parallel processing architecture, allowing for efficient LiDAR data processing at low hardware cost. The 3D space is represented in two modes: non-grouped and grouped automat, aiming to balance accuracy and computational performance. The model is integrated into ROS/Gazebo (using a Hector Quadrotor drone) and simulated in Simulink using Boolean combinatorial circuitry. Results show 100% accuracy when obstacle density ≥83%. The maximum error of 52.8% only occurs at low density (~14%) in group mode, while processing time is reduced by 2.2 times. The output map perfectly matches the simulated environment. Thanks to its transparency, interpretability and reconfigurability, this solution has high potential for application in maritime transport, especially in topographic surveying, construction monitoring and maritime rescue.

**Keywords:** 3D mapping; drones; reconfigurable computing environments; automat; ROS; Gazebo; parallel processing; Boolean logic; embedded systems.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong kỷ nguyên số hóa và tự động hóa, drone đã trở thành công cụ không thể thiếu trong nhiều lĩnh vực, từ nông nghiệp, xây dựng đến giao thông vận tải và cứu hộ khẩn cấp. Đặc biệt, tại Việt Nam - quốc gia có bờ biển dài hơn 3.200 km và hệ thống sông ngòi dày đặc, nhu cầu ứng dụng drone trong giám sát tàu thuyền, khảo sát luồng lạch, phát hiện vật cản trên biển, hay hỗ trợ tìm kiếm cứu nạn ngày càng cấp thiết.

Tuy nhiên, để drone có thể hoạt động độc lập trong môi trường thực, hệ thống phải có khả năng xây dựng bản đồ 3D chính

xác, thời gian thực, từ đó thực hiện định vị và lập kế hoạch đường đi. Các phương pháp phổ biến như Gmapping, Cartographer hay ORB-SLAM tuy mạnh mẽ nhưng thường dựa trên ước lượng xác suất, tối ưu hóa phi tuyến hoặc học sâu dẫn đến tải tính toán lớn, tiêu thụ năng lượng cao và khó kiểm soát lỗi trên nền tảng nhúng.

Trong bối cảnh đó, nghiên cứu này tiếp cận bài toán từ góc độ kiến trúc tính toán tái cấu hình, nhằm giảm phụ thuộc vào mô hình xác suất và tăng tính minh bạch trong quá trình ra quyết định. Thay vì biểu diễn môi trường dưới dạng phân bố xác suất, chúng tôi sử dụng logic Boolean kết hợp với ma trận trạng thái rời rạc để mô tả không gian. Cách tiếp cận này không chỉ đơn giản hóa mô hình tính toán mà còn cho phép triển khai linh hoạt trên cả nền tảng phần mềm (CPU trong mô phỏng) lẫn phần cứng chuyên dụng (FPGA/ASIC), đáp ứng yêu cầu về hiệu suất và tiết kiệm năng lượng cho các hệ thống drone thực tế.

## 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ PHƯƠNG PHÁP ĐỀ XUẤT

Trong vài thập kỷ qua, Cellular Automata (CA) đã được sử dụng rộng rãi trong robot mapping và path planning, tiêu biểu như các thuật toán Wavefront [5], Brushfire [6] hay các mô hình swarm robotics [7]. Các CA thường biểu diễn môi trường dưới dạng lưới nhị phân, trong đó mỗi ô (cell) cập nhật trạng thái dựa trên quy tắc cục bộ từ các ô lân cận - tương tự với tiếp cận của bài báo.

Tuy nhiên, phần lớn các nghiên cứu trước đây tập trung vào môi trường 2D hoặc sử dụng CA như một lớp hậu xử lý (post-processing) cho bản đồ occupancy grid [8]. Gần đây, OctoMap [9] đã trở thành tiêu chuẩn trong biểu diễn bản đồ 3D dạng octree, nhưng vẫn phụ thuộc vào mô hình xác suất và yêu cầu phần cứng mạnh.

Về mặt phần cứng, nhiều công trình đã đề xuất triển khai SLAM trên FPGA để tăng tốc độ [3, 4, 10], nhưng chủ yếu vẫn giữ nguyên logic xác suất. Trong khi đó, tiếp cận thuần Boolean và tái cấu hình như trong bài báo nhằm giảm tải tính toán triệt để - một hướng ít được khai thác trong bối cảnh hiện đại.

Ngoài ra, cơ chế "gộp nhóm" (grouped) có thể liên hệ với kỹ thuật "obstacle inflation" trong costmap của ROS Navigation Stack [11], tuy nhiên khác biệt ở chỗ: Inflation là bước xử lý sau khi bản đồ đã được xây dựng, còn trong bài báo, việc gộp nhóm là một phần của quá trình tạo bản đồ nguyên thủy, giúp giảm số lượng đơn vị xử lý ngay từ đầu.

### 2.1. Mô hình môi trường máy tính tái cấu hình

- Môi trường máy tính tái cấu hình là một kiến trúc đồng nhất, bao gồm tập hợp các automat có cấu trúc hoàn toàn giống nhau và được liên kết theo một quy tắc kết nối nhất quán. Mỗi automat hoạt động như một đơn vị xử lý logic cơ bản, nhận dữ liệu từ cảm biến và các automat lân cận để ra quyết định về sự hiện diện của chướng ngại vật trong ô không gian tương ứng.

Cụ thể, mỗi automat được trang bị 10 đầu vào chính, bao gồm:

$x_1$: Nhận dữ liệu từ cảm biến Lidar, phản ánh sự hiện diện của chướng ngại vật tại vị trí tương ứng;

$x_2$-$x_4$: Kết nối các automat lân cận trong cùng một nhóm của cùng 1 mặt phẳng;

$x_5$-$x_8$: Kết nối các automat lân cận tới các nhóm khác của cùng 1 mặt phẳng;

$x_9$-$x_{10}$: Mở rộng trong không gian 3D, cho phép trao đổi thông tin với các lớp không gian liền kề trên dưới.

Bên cạnh đó, automat có 5 đầu ra:

$f_1$-$f_3$: Dùng để truyền tín hiệu nội bộ giữa các phần tử trong cùng nhóm;

$f_4$: Để chuyển kết quả xử lý sang nhóm automat lân cận.

Để đảm bảo tính đồng bộ trong xử lý không gian đa lớp, các đầu vào từ $x_5$ đến $x_{10}$ được đưa qua phần tử bộ nhớ trễ một chu kỳ xung nhịp. Mối quan hệ giữa tín hiệu đầu vào và giá trị lưu trữ được mô tả bởi biểu thức:

$q_{i,k} = x_{i,k-1}$, với $i = 5,\ldots,10$, trong đó k là chu kỳ tinh toán hiện tại. Cơ chế trễ này cho phép hệ thống duy trì tính nhất quán thông tin khi cập nhật bản đồ trong môi trường 3D.

### 2.2. Biểu diễn không gian 3D

Trong không gian ba chiều, môi trường được phân vùng thành các khối lập phương và tổ chức theo cấu trúc octree - một dạng cây mà mỗi nút cha có tối đa 8 nút con, tương ứng với 8 phân vùng con của khối không gian hiện tại. Phương pháp này cho phép biểu diễn linh hoạt và hiệu quả mật độ thông tin theo từng vùng.

- Hệ thống hỗ trợ hai chế độ biểu diễn:

+ Chế độ không nhóm: Mỗi khối không gian tương ứng với một automat, tạo ra bản đồ chi tiết với độ chính xác cao;

+ Chế độ nhóm: 8 khối kề nhau được gộp thành 1 nhóm, tạo ra bản đồ thô nhưng giúp tăng đáng kể tốc độ xử lý.

Theo giả định hợp lý trong bối cảnh drone bay ở độ cao trung bình - nơi chướng ngại vật (như công trình, cây cối) thường chiếm giữ khối không gian liên tục - nếu bất kỳ khối con nào trong nhóm phát hiện chướng ngại vật, toàn bộ nhóm sẽ được đánh dấu là có vật cản. Cách tiếp cận này không chỉ giảm tải tính toán mà còn đảm bảo an toàn cho quá trình điều hướng, phù hợp với các ứng dụng thời gian thực trên nền tảng tài nguyên hạn chế.

### 2.3. Hàm logic và mã cấu hình

Hoạt động của automat được điều khiển bởi mã cấu hình ($z_1$, $z_2$, ..., $z_k$), cho phép tái cấu hình hành vi mà không thay đổi phần cứng. Hệ công thức logic tổng quát cho không gian 3D được xây dựng như sau:

1) Khi $z_1 = z_2 = z_3 = z_4 = z_5 = z_6 = 0$

$$\begin{cases} f_1 = x_1 \\ f_2 = x_1 \\ f_3 = x_1 \\ f_4 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_7 \vee q_8 \vee q_9 \\ f_5 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_7 \vee q_8 \vee q_9 \end{cases}$$

2) Khi $z_1 = z_2 = z_3 = z_4 = z_5 = 0, z_6 = 1$

$$\begin{cases} f_1 = x_1 \\ f_2 = x_1 \\ f_3 = x_1 \\ f_4 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_8 \vee q_{10} \\ f_5 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_8 \vee q_{10} \end{cases}$$

3) Khi $z_1 = z_2 = z_3 = z_4 = 0, z_5 = 1, z_6 = 0$

$$\begin{cases} f_1 = x_1 \\ f_2 = x_1 \\ f_3 = x_1 \\ f_4 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_{10} \\ f_5 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_{10} \end{cases}$$

4) Khi $z_1 = z_2 = z_3 = z_4 = 0, z_5 = 1, z_6 = 1$

$$\begin{cases} f_1 = x_1 \\ f_2 = x_1 \\ f_3 = x_1 \\ f_4 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_6 \vee q_7 \vee q_9 \vee q_1 \\ f_5 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_6 \vee q_7 \vee q_9 \vee q_1 \end{cases}$$

5) Khi $z_1 = z_2 = z_3 = 0, z_4 = 1, z_5 = z_6 = 0$

$$\begin{cases} f_1 = x_1 \\ f_2 = x_1 \\ f_3 = x_1 \\ f_4 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_5 \vee q_8 \vee q_{10} \\ f_5 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_5 \vee q_8 \vee q_{10} \end{cases}$$

6) Khi $z_1 = z_2 = z_3 = 0, z_4 = 1, z_5 = 0, z_6 = 1$

$$\begin{cases} f_1 = x_1 \\ f_2 = x_1 \\ f_3 = x_1 \\ f_4 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_5 \vee q_{10} \\ f_5 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_5 \vee q_{10} \end{cases}$$

7) Khi $z_1 = z_2 = z_3 = 0, z_4 = z_5 = 1, z_6 = 0$

$$\begin{cases} f_1 = x_1 \\ f_2 = x_1 \\ f_3 = x_1 \\ f_4 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_6 \vee q_7 \\ f_5 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_6 \vee q_7 \end{cases}$$

8) Khi $z_1 = z_2 = z_3 = 0, z_4 = z_5 = z_6 = 1$

$$\begin{cases} f_1 = x_1 \\ f_2 = x_1 \\ f_3 = x_1 \\ f_4 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_5 \vee q_8 \\ f_5 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_5 \vee q_8 \end{cases}$$

9) Khi $z_1 = z_2 = 0, z_3 = 1, z_4 = z_5 = z_6 = 0$

$$\begin{cases} f_1 = x_1 \\ f_2 = x_1 \\ f_3 = x_1 \\ f_4 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_5 \\ f_5 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_5 \end{cases}$$

10) Khi $z_1 = z_2 = 0, z_3 = 1, z_4 = z_5 = 0, z_6 = 1$

$$\begin{cases} f_1 = x_1 \\ f_2 = x_1 \\ f_3 = x_1 \\ f_4 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_5 \vee q_7 \\ f_5 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_5 \vee q_7 \end{cases}$$

11) Khi $z_1 = z_2 = 0, z_3 = 1, z_4 = 0, z_5 = 1, z_6 = 0$

$$\begin{cases} f_1 = x_1 \\ f_2 = x_1 \\ f_3 = x_1 \\ f_4 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_5 \vee q_6 \vee q \\ f_5 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_5 \vee q_6 \vee q \end{cases}$$

12) Khi $z_1 = z_2 = 0, z_3 = 1, z_4 = 0, z_5 = 1, z_6 = 1$

$$\begin{cases} f_1 = x_1 \\ f_2 = x_1 \\ f_3 = x_1 \\ f_4 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_5 \vee q_9 \\ f_5 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_5 \vee q_9 \end{cases}$$

13) Khi $z_1 = z_2 = 0, z_3 = 1, z_4 = 1, z_5 = z_6 = 0$

$$\begin{cases} f_1 = x_1 \\ f_2 = x_1 \\ f_3 = x_1 \\ f_4 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_5 \vee q_6 \vee q \\ f_5 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_5 \vee q_6 \vee q \end{cases}$$

14) Khi $z_1 = z_2 = 0, z_3 = z_4 = 1, z_5 = 0, z_6 = 1$

$$\begin{cases} f_1 = x_1 \\ f_2 = x_1 \\ f_3 = x_1 \\ f_4 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_9 \vee q_{10} \\ f_5 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_9 \vee q_{10} \end{cases}$$

15) Khi $z_1 = z_2 = 0, z_3 = z_4 = z_5 = 1, z_6 = 0$

$$\begin{cases} f_1 = x_1 \\ f_2 = x_1 \\ f_3 = x_1 \\ f_4 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_8 \\ f_5 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_8 \end{cases}$$

16) Khi $z_1 = z_2 = 0, z_3 = z_4 = z_5 = z_6 = 1$

$$\begin{cases} f_1 = x_1 \\ f_2 = x_1 \\ f_3 = x_1 \\ f_4 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_5 \vee q_6 \vee q_7 \vee q_8 \vee q_9 \\ f_5 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_5 \vee q_6 \vee q_7 \vee q_8 \vee q_9 \end{cases}$$

17) Khi $z_1 = 0, z_2 = 1, z_3 = z_4 = z_5 = z_6 = 0$

$$\begin{cases} f_1 = x_1 \\ f_2 = x_1 \\ f_3 = x_1 \\ f_4 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_5 \vee q_6 \vee q_7 \\ f_5 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_5 \vee q_6 \vee q_7 \end{cases}$$

18) Khi $z_1 = 0, z_2 = 1, z_3 = z_4 = z_5 = 0, z_6 = 1 = 1, z_6 = 0$

$$\begin{cases} f_1 = x_1 \\ f_2 = x_1 \\ f_3 = x_1 \\ f_4 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_5 \vee q_9 \vee q_{10} \\ f_5 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_5 \vee q_9 \vee q_{10} \end{cases}$$

19) Khi z1 = 0, z2 = 1, z3 = z4 = 0, z5 = 1, z6 = 0

$$\begin{cases} f_1 = x_1 \\ f_2 = x_1 \\ f_3 = x_1 \\ f_4 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_5 \vee q_6 \vee q_8 \vee q_{10} \\ f_5 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_5 \vee q_6 \vee q_8 \vee q_{10} \end{cases}$$

20) Khi $z_1 = 0, z_2 = 1, z_3 = z_4 = 0, z_5 = z_6 = 1$

$$\begin{cases} f_1 = x_1 \\ f_2 = x_1 \\ f_3 = x_1 \\ f_4 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_5 \vee q_6 \vee q_7 \vee q_8 \vee q_9 \\ f_5 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_5 \vee q_6 \vee q_7 \vee q_8 \vee q_9 \end{cases}$$

21) Khi $z_1 = 0, z_2 = 1, z_3 = 0, z_4 = 1, z_5 = z_6 = 0$

$$\begin{cases} f_1 = x_1 \\ f_2 = x_1 \\ f_3 = x_1 \\ f_4 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_5 \vee q_6 \vee q_8 \vee q_9 \vee q_{10} \\ f_5 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_5 \vee q_6 \vee q_8 \vee q_9 \vee q_{10} \end{cases}$$

22) Khi $z_1 = 0, z_2 = 1, z_3 = 0, z_4 = 1, z_5 = 0, z_6 = 1$

$$\begin{cases} f_1 = x_1 \\ f_2 = x_1 \\ f_3 = x_1 \\ f_4 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_5 \vee q_6 \vee q_7 \vee q_8 \\ f_5 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_5 \vee q_6 \vee q_7 \vee q_8 \end{cases}$$

23) Khi $z_1 = 0, z_2 = 1, z_3 = 0, z_4 = 1, z_5 = 1, z_6 = 0$

$$\begin{cases} f_1 = x_1 \\ f_2 = x_1 \\ f_3 = x_1 \\ f_4 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_5 \vee q_6 \vee q_7 \vee q_9 \\ f_5 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_5 \vee q_6 \vee q_7 \vee q_9 \end{cases}$$

24) Khi $z_1 = 0, z_2 = 1, z_3 = 0, z_4 = 1, z_5 = 1, z_6 = 1$

$$\begin{cases} f_1 = x_1 \\ f_2 = x_1 \\ f_3 = x_1 \\ f_4 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_6 \vee q_8 \\ f_5 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_6 \vee q_8 \end{cases}$$

25) Khi $z_1 = 0, z_2 = 1, z_3 = 1, z_4 = z_5 = z_6 = 0$

$$\begin{cases} f_1 = x_1 \\ f_2 = x_1 \\ f_3 = x_1 \\ f_4 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_5 \vee q_7 \vee q \\ f_5 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_5 \vee q_7 \vee q \end{cases}$$

26) Khi $z_1 = 0, z_2 = 1, z_3 = 1, z_4 = z_5 = 0, \ z_6 = 1$

$$\begin{cases} f_1 = x_1 \\ f_2 = x_1 \\ f_3 = x_1 \\ f_4 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_7 \vee q_{10} \\ f_5 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_7 \vee q_{10} \end{cases}$$

27) Khi $z_1 = 0, z_2 = z_3 = 1, z_4 = 0, z_5 = 1, z_6 = 0$

$$\begin{cases} f_1 = x_1 \\ f_2 = x_1 \\ f_3 = x_1 \\ f_4 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_5 \vee q_6 \vee q_7 \\ f_5 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_5 \vee q_6 \vee q_7 \end{cases}$$

28) Khi $z_1 = 0, z_2 = z_3 = 1, z_4 = 0, z_5 = z_6 = 1$

$$\begin{cases} f_1 = x_1 \\ f_2 = x_1 \\ f_3 = x_1 \\ f_4 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_6 \\ f_5 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_6 \end{cases}$$

29) Khi $z_1 = 0, z_2 = z_3 = z_4 = 1, z_5 = z_6 = 0$

$$\begin{cases} f_1 = x_1 \\ f_2 = x_1 \\ f_3 = x_1 \\ f_4 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_5 \vee q_6 \vee q_7 \\ f_5 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_5 \vee q_6 \vee q_7 \end{cases}$$

30) Khi $z_1 = 0, z_2 = z_3 = z_4 = 1, z_5 = 0, z_6 = 1$

$$\begin{cases} f_1 = x_1 \\ f_2 = x_1 \\ f_3 = x_1 \\ f_4 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_5 \vee q_6 \vee q_8 \\ f_5 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_5 \vee q_6 \vee q_8 \end{cases}$$

31) Khi $z_1 = 0, z_2 = z_3 = z_4 = z_5 = 1, z_6 = 0$

$$\begin{cases} f_1 = x_1 \\ f_2 = x_1 \\ f_3 = x_1 \\ f_4 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_5 \vee q_8 \vee q_9 \\ f_5 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_5 \vee q_8 \vee q_9 \end{cases}$$

32) Khi $z_1 = 0, z_2 = z_3 = z_4 = z_5 = z_6 = 1$

$$\begin{cases} f_1 = x_1 \\ f_2 = x_1 \\ f_3 = x_1 \\ f_4 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_6 \vee q_7 \vee q_8 \\ f_5 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_6 \vee q_7 \vee q_8 \end{cases}$$

33) Khi $z_1 = 1, z_2 = z_3 = z_4 = z_5 = z_6 = 0$

$$\begin{cases} f_1 = x_1 \\ f_2 = x_1 \\ f_3 = x_1 \\ f_4 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_7 \vee q_9 \\ f_5 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_7 \vee q_9 \end{cases}$$

34) Khi $z_1 = 1, z_2 = z_3 = z_4 = z_5 = 0,\ z_6 = 1$

$$\begin{cases} f_1 = x_1 \\ f_2 = x_1 \\ f_3 = x_1 \\ f_4 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_7 \vee q_9 \\ f_5 = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee q_7 \vee q_9 \end{cases}$$

35) Khi $z_1 = 1, z_2 = z_3 = z_4 = 0, z_5 = 1,\ z_6 = 0$

$$\begin{cases} f_1 = x_1 \\ f_2 = x_1 \\ f_3 = x_1 \\ f_4 = (x_1.\bar{z}_1) \vee (x_1.\bar{z}_2.\bar{z}_3.\bar{z}_4.\bar{z}_5) \vee (x_1.\bar{z}_2.\bar{z}_3.\bar{z}_4.\bar{z}_6) \vee (x_2.\bar{z}_1) \vee (x_2.\bar{z}_2.\bar{z}_3.\bar{z}_4.\bar{z}_6) \\ \vee (x_3.\bar{z}_1) \vee (x_3.\bar{z}_2.\bar{z}_3.\bar{z}_4.\bar{z}_5.\bar{z}_6) \vee (x_4.\bar{z}_1) \vee (x_4.\bar{z}_2.\bar{z}_3.\bar{z}_4.\bar{z}_5.\bar{z}_6) \vee (q_5.\bar{z}_1.z_2.\bar{z}_6) \vee \\ (q_5.\bar{z}_1.\bar{z}_2.z_3.\bar{z}_4) \vee (q_5.\bar{z}_1.z_2.\bar{z}_3.\bar{z}_4) \vee (q_5.\bar{z}_1.z_2.z_4.\bar{z}_5) \vee (q_5.\bar{z}_1.z_4.\bar{z}_5.\bar{z}_6) \vee \\ (q_5.\bar{z}_1.\bar{z}_2.z_4.z_5.z_6) \vee (q_5.\bar{z}_1.\bar{z}_2.\bar{z}_3.z_4.z_6) \vee (q_6.\bar{z}_1.z_2.\bar{z}_3.\bar{z}_6) \vee (q_6.\bar{z}_1.z_2.z_4.\bar{z}_5) \vee \\ (q_6.\bar{z}_1.z_2.z_5.z_6) \vee (q_6.\bar{z}_1.z_3.z_4.z_5.z_6) \vee (q_6.\bar{z}_1.z_3.\bar{z}_4.z_5.\bar{z}_6) \vee (q_6.\bar{z}_1.\bar{z}_3.z_4.z_5.\bar{z}_6) \\ \vee (q_6.\bar{z}_1.\bar{z}_2.\bar{z}_4.z_5.z_6) \vee (q_7.\bar{z}_1.z_2.z_3.\bar{z}_5.\bar{z}_6) \vee (q_7.\bar{z}_1.z_2.\bar{z}_3.z_4.z_5.z_6) \vee \\ (q_7.\bar{z}_1.z_2.\bar{z}_4.\bar{z}_5.\bar{z}_6) \vee (q_7.\bar{z}_1.z_3.z_4.z_5.z_6) \vee (q_7.\bar{z}_1.z_3.\bar{z}_4.z_5.\bar{z}_6) \vee \\ (q_7.\bar{z}_1.z_3.\bar{z}_4.\bar{z}_5.z_6) \vee (q_7.\bar{z}_1.\bar{z}_3.z_4.z_5.\bar{z}_6) \vee (q_7.\bar{z}_1.\bar{z}_3.\bar{z}_4.z_5.z_6) \vee \\ (q_7.\bar{z}_2.\bar{z}_3.\bar{z}_4.\bar{z}_5.\bar{z}_6) \vee (q_8.\bar{z}_1.z_2.z_3.\bar{z}_5.\bar{z}_6) \vee (q_8.\bar{z}_1.z_2.\bar{z}_3.\bar{z}_4.z_5) \vee \\ (q_8.\bar{z}_1.z_2.z_4.\bar{z}_5) \vee (q_8.\bar{z}_1.\bar{z}_2.z_3.z_5.\bar{z}_6) \vee (q_8.\bar{z}_1.\bar{z}_2.\bar{z}_3.\bar{z}_4.\bar{z}_5) \vee \\ (q_8.\bar{z}_1.z_3.z_4.\bar{z}_6) \vee (q_8.\bar{z}_1.z_4.z_5.z_6) \vee (q_8.\bar{z}_1.z_4.\bar{z}_5.\bar{z}_6) \vee \\ (q_9.\bar{z}_1.z_2.z_3.z_4.z_5) \vee (q_9.\bar{z}_1.z_2.\bar{z}_3.z_4.\bar{z}_6) \vee (q_9.\bar{z}_1.z_2.\bar{z}_3.\bar{z}_4.z_6) \vee \\ (q_9.\bar{z}_1.\bar{z}_2.z_3.z_4.\bar{z}_5) \vee (q_9.\bar{z}_1.\bar{z}_2.z_3.\bar{z}_4.z_5) \vee (q_9.\bar{z}_1.\bar{z}_2.\bar{z}_4.z_5.z_6) \vee \\ (q_9.\bar{z}_1.z_3.z_4.z_5.z_6) \vee (q_9.\bar{z}_2.z_3.\bar{z}_4.\bar{z}_5.\bar{z}_6) \vee (q_{10}.\bar{z}_1.z_2.z_3.z_4.z_5) \vee \\ (q_{10}.\bar{z}_1.z_2.z_3.\bar{z}_6) \vee (q_{10}.\bar{z}_1.z_2.\bar{z}_4.\bar{z}_5.z_6) \vee (q_{10}.\bar{z}_1.\bar{z}_2.\bar{z}_3.\bar{z}_4.z_6) \vee \\ (q_{10}.\bar{z}_1.\bar{z}_2.z_4.\bar{z}_5.z_6) \vee (q_{10}.\bar{z}_1.\bar{z}_3.z_4.\bar{z}_5.\bar{z}_6) \vee (q_{10}.\bar{z}_1.\bar{z}_4.z_5.\bar{z}_6) \\ f_5 = (x_1.\bar{z}_1) \vee (x_1.\bar{z}_2.\bar{z}_3.\bar{z}_4.\bar{z}_5) \vee (x_1.\bar{z}_2.\bar{z}_3.\bar{z}_4.\bar{z}_6) \vee (x_2.\bar{z}_1) \vee (x_2.\bar{z}_2.\bar{z}_3.\bar{z}_4.\bar{z}_6) \\ \vee (x_3.\bar{z}_1) \vee (x_3.\bar{z}_2.\bar{z}_3.\bar{z}_4.\bar{z}_5.\bar{z}_6) \vee (x_4.\bar{z}_1) \vee (x_4.\bar{z}_2.\bar{z}_3.\bar{z}_4.\bar{z}_5.\bar{z}_6) \vee (q_5.\bar{z}_1.z_2.\bar{z}_6) \vee \\ (q_5.\bar{z}_1.\bar{z}_2.z_3.\bar{z}_4) \vee (q_5.\bar{z}_1.z_2.\bar{z}_3.\bar{z}_4) \vee (q_5.\bar{z}_1.z_2.z_4.\bar{z}_5) \vee (q_5.\bar{z}_1.z_4.\bar{z}_5.\bar{z}_6) \vee \\ (q_5.\bar{z}_1.\bar{z}_2.z_4.z_5.z_6) \vee (q_5.\bar{z}_1.\bar{z}_2.\bar{z}_3.z_4.z_6) \vee (q_6.\bar{z}_1.z_2.\bar{z}_3.\bar{z}_6) \vee (q_6.\bar{z}_1.z_2.z_4.\bar{z}_5) \vee \\ (q_6.\bar{z}_1.z_2.z_5.z_6) \vee (q_6.\bar{z}_1.z_3.z_4.z_5.z_6) \vee (q_6.\bar{z}_1.z_3.\bar{z}_4.z_5.\bar{z}_6) \vee (q_6.\bar{z}_1.\bar{z}_3.z_4.z_5.\bar{z}_6) \\ \vee (q_6.\bar{z}_1.\bar{z}_2.\bar{z}_4.z_5.z_6) \vee (q_7.\bar{z}_1.z_2.z_3.\bar{z}_5.\bar{z}_6) \vee (q_7.\bar{z}_1.z_2.\bar{z}_3.z_4.z_5.z_6) \vee \\ (q_7.\bar{z}_1.z_2.\bar{z}_4.\bar{z}_5.\bar{z}_6) \vee (q_7.\bar{z}_1.z_3.z_4.z_5.z_6) \vee (q_7.\bar{z}_1.z_3.\bar{z}_4.z_5.\bar{z}_6) \vee \\ (q_7.\bar{z}_1.z_3.\bar{z}_4.\bar{z}_5.z_6) \vee (q_7.\bar{z}_1.\bar{z}_3.z_4.z_5.\bar{z}_6) \vee (q_7.\bar{z}_1.\bar{z}_3.\bar{z}_4.z_5.z_6) \vee \\ (q_7.\bar{z}_2.\bar{z}_3.\bar{z}_4.\bar{z}_5.\bar{z}_6) \vee (q_8.\bar{z}_1.z_2.z_3.\bar{z}_5.\bar{z}_6) \vee (q_8.\bar{z}_1.z_2.\bar{z}_3.\bar{z}_4.z_5) \vee \\ (q_8.\bar{z}_1.z_2.z_4.\bar{z}_5) \vee (q_8.\bar{z}_1.\bar{z}_2.z_3.z_5.\bar{z}_6) \vee (q_8.\bar{z}_1.\bar{z}_2.\bar{z}_3.\bar{z}_4.\bar{z}_5) \vee \\ (q_8.\bar{z}_1.z_3.z_4.\bar{z}_6) \vee (q_8.\bar{z}_1.z_4.z_5.z_6) \vee (q_8.\bar{z}_1.z_4.\bar{z}_5.\bar{z}_6) \vee \\ (q_9.\bar{z}_1.z_2.z_3.z_4.z_5) \vee (q_9.\bar{z}_1.z_2.\bar{z}_3.z_4.\bar{z}_6) \vee (q_9.\bar{z}_1.z_2.\bar{z}_3.\bar{z}_4.z_6) \vee \\ (q_9.\bar{z}_1.\bar{z}_2.z_3.z_4.\bar{z}_5) \vee (q_9.\bar{z}_1.\bar{z}_2.z_3.\bar{z}_4.z_5) \vee (q_9.\bar{z}_1.\bar{z}_2.\bar{z}_4.z_5.z_6) \vee \\ (q_9.\bar{z}_1.z_3.z_4.z_5.z_6) \vee (q_9.\bar{z}_2.z_3.\bar{z}_4.\bar{z}_5.\bar{z}_6) \vee (q_{10}.\bar{z}_1.z_2.z_3.z_4.z_5) \vee \\ (q_{10}.\bar{z}_1.z_2.z_3.\bar{z}_6) \vee (q_{10}.\bar{z}_1.z_2.\bar{z}_4.\bar{z}_5.z_6) \vee (q_{10}.\bar{z}_1.\bar{z}_2.\bar{z}_3.\bar{z}_4.z_6) \vee \\ (q_{10}.\bar{z}_1.\bar{z}_2.z_4.\bar{z}_5.z_6) \vee (q_{10}.\bar{z}_1.\bar{z}_3.z_4.\bar{z}_5.\bar{z}_6) \vee (q_{10}.\bar{z}_1.\bar{z}_4.z_5.\bar{z}_6) \end{cases} \quad (1)$$

Trong đó, các biến đầu vào $x_1$ đến $x_{10}$ và đầu ra $f_1$ đến $f_4$ được định nghĩa chi tiết tại Mục 2.1. Biến trạng thái trễ qi, k biểu diễn giá trị của đầu vào xi ở chu kỳ trước, nhằm đảm bảo đồng bộ trong không gian 3D. Công thức tổng quát (1) tổng hợp 35 trường hợp trên. Công thức này cho phép automat tự động ánh xạ từ đầu vào cảm biến và thông tin lân cận sang quyết định bản đồ, dựa trên ngữ cảnh môi trường.

## 3. TRIỂN KHAI VÀ MÔ PHỎNG

Hệ thống được triển khai trên nền tảng ROS Noetic, tích hợp các gói phần mềm chuyên dụng cho mô phỏng và xử lý cảm biến, bao gồm:

- hector_quadrotor: Cung cấp mô hình drone 3D với động học và cảm biến đầy đủ;
- gazebo_ros: Hỗ trợ môi trường mô phỏng vật lý thực tế;
- laser_geometry: Chuyển đổi và xử lý dữ liệu điểm đám mây từ cảm biến Lidar 3D.

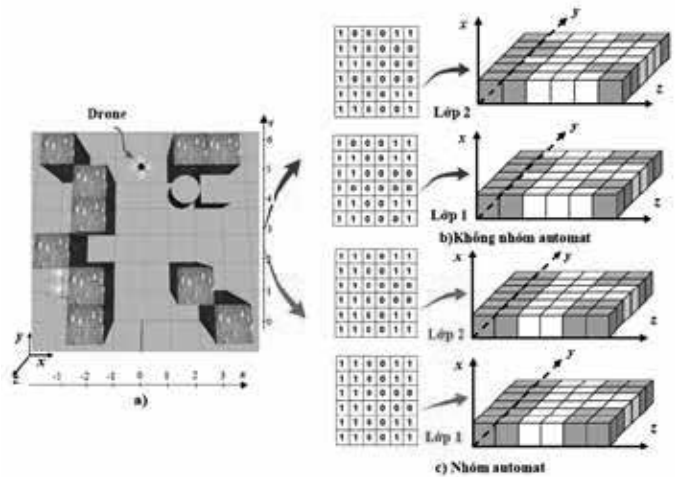
Song song, mô hình Môi trường máy tính tái cấu hình được xây dựng trong Simulink bằng các khối logic Boolean cơ bản (AND, OR, NOT) và khối Unit Delay để mô phỏng trễ bộ nhớ một chu kỳ xung nhịp. Mỗi automat được hiện thực dưới dạng một Subsytem trong Simulink và các automat được kết nối theo cấu trúc mạng lập phương phù hợp với biểu diễn octree trong không gian 3D.

Kết quả mô phỏng và so sánh với các phương pháp khác được tổng hợp trong Bảng 1, cho thấy phương pháp đã đề xuất vượt trội cả về thời gian và áp dụng được đa dạng cho các nền tảng điện toán.

Bảng 1. Bảng so sánh các phương pháp lập bản đồ sử dụng lidar

| TT | Thuật toán xây dựng bản đồ | Thời gian xử lý | Nền tảng điện toán |
|---|---|---|---|
| 1 | Thuật toán lập bản đồ chiếm dụng Lidar [1] | 38 - 64 ms | CPU |
| 2 | Thuật toán cơ giới hóa quét Lidar và IMU tích hợp để điều hướng phương tiện mặt đất không người lái (UGV) trong nhà bằng cách sử dụng bộ lọc Kalman mở rộng (EKF) [2] | 0,28 - 3,76 ms | CPU |
| 3 | Thuật toán LIO-SAM [3] | 27,64 - 55,69 ms | CPU, FPGA |
| 4 | Thuật toán chuyển đổi phân phối chuẩn (NDT) được tối ưu hóa [4] | 30,405 ms (FPGA) và 74,244 ms (GPU) | GPU, FPGA |
| 5 | Thuật toán của tôi | 20 ns (trong trường hợp triển khai trên FPGA) | CPU, FPGA, ASIC |

Kết quả cho thấy, khi mật độ chướng ngại vật cao (≥83%), cả hai chế độ đều đạt độ chính xác 100%; trong khi ở mật độ thấp, sai số xuất hiện chủ yếu do hiện tượng gán chung trạng thái cho toàn bộ nhóm. Tuy nhiên, thời gian xử lý giảm 55% (tức còn 45% so với chuẩn) khi sử dụng nhóm, cho thấy hiệu quả rõ rệt về mặt hiệu suất tính toán.




*a) - Một môi trường mô phỏng trong chương trình Gazebo;*
*b) - Các giá trị automat thu được trong máy tính tái cấu hình và bản đồ minh họa (màu đậm - 1, màu sáng - 0) cho trường hợp không phân nhóm; c) - Các giá trị automat thu được trong máy tính tái cấu hình và bản đồ minh họa (màu đậm - 1, màu sáng - 0) cho trường hợp có nhóm automat*

Hình 1. Kết quả thử nghiệm mô hình máy tính tái cấu hình 3D cho máy bay không người lái Hector-Quadrotor trong Simulink

Kết quả ở Hình 1b cho thấy chế độ không nhóm tái tạo chính xác từng khối chướng ngại vật, phù hợp với mô hình octree đã nêu tại Mục 2.2. Mỗi ô màu đậm tương ứng với một automat phát hiện vật cản, chứng tỏ khả năng biểu diễn chi tiết cao của hệ thống.

Ngược lại, Hình 1c minh họa hiệu quả của cơ chế gán chung trạng thái trong chế độ nhóm: Toàn bộ khối 2×2×2 được đánh dấu là chiếm dụng nếu bất kỳ khối con nào phát hiện vật cản. Điều này dẫn đến mất chi tiết ở vùng thưa (so với Hình 1a), nhưng giảm đáng

kể số lượng automat cần xử lý, từ đó cắt giảm thời gian tính toán - đúng như phân tích về cân bằng an toàn/hiệu suất tại Mục 2.2.

Hình trên minh họa bản đồ 3D do máy tính tái cấu hình tạo ra (màu đậm cho chướng ngại vật, màu sáng cho vùng trống) và xác nhận rằng bản đồ này khớp hoàn toàn với môi trường thực tế trong Gazebo, chứng tỏ tính chính xác và khả năng tái tạo môi trường của phương pháp đề xuất.

## 4. ỨNG DỤNG TRONG GIAO THÔNG VẬN TẢI

Công nghệ drone hiện đại đã và đang khẳng định vai trò then chốt trong nhiều lĩnh vực của ngành Giao thông vận tải, nhờ vào khả năng thu thập dữ liệu không gian với độ chính xác cao, tốc độ nhanh và tính chất phi tiếp xúc. Nhờ những ưu điểm này, drone không chỉ hỗ trợ hiệu quả trong quản lý, giám sát mà còn góp phần nâng cao năng lực phản ứng trong các tình huống khẩn cấp cũng như đổi mới phương pháp đào tạo kỹ thuật.

Trong khảo sát địa hình và giám sát kết cấu hạ tầng giao thông, drone được sử dụng để xây dựng các mô hình 3D chi tiết của các công trình chiến lược như hầm, cầu và tuyến đường đèo. Dữ liệu thu thập được cung cấp cơ sở định lượng cho việc phát hiện sớm các nguy cơ như sạt lở, rạn nứt kết cấu, từ đó hỗ trợ ra quyết định bảo trì chủ động và đảm bảo an toàn vận hành.

Đối với lĩnh vực hàng hải, các hệ thống drone tích hợp cảm biến chuyên dụng cho phép phát hiện chướng ngại vật nổi hoặc trôi dạt trên luồng tuyến, đồng thời tự động cập nhật cơ sở dữ liệu bản đồ hàng hải. Giải pháp này không chỉ nâng cao độ tin cậy trong dẫn luồng tàu mà còn góp phần tối ưu hóa luồng vận chuyển, giảm thiểu rủi ro va chạm và gián đoạn luồng giao thông đường thủy.

Trong các tình huống thiên tai như sạt lở đất hoặc lũ lụt, drone có thể được triển khai nhanh chóng để khảo sát khu vực bị ảnh hưởng, từ đó tái tạo mô hình 3D hiện trạng và hỗ trợ lực lượng cứu hộ xác định vị trí nạn nhân cũng như lập kế hoạch tiếp cận hiệu quả, an toàn và kịp thời.

Bên cạnh các ứng dụng thực tiễn, dữ liệu không gian và mô hình 3D do drone thu thập còn được chuyển hóa thành tài liệu học tập thực hành trực quan, phục vụ giảng dạy trong các học phần chuyên ngành như Hệ thống nhúng, Robot thông minh và Phát triển ứng dụng mã nguồn mở. Điều này góp phần thúc đẩy đổi mới phương pháp đào tạo theo hướng liên ngành, tích hợp giữa lý thuyết và ứng dụng thực tiễn.

## 5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã đề xuất và thực nghiệm thành công một thuật toán lập bản đồ 3D hiệu quả, được xây dựng trên nền tảng máy tính tái cấu hình và dựa vào logic Boolean. Thuật toán thể hiện những ưu điểm vượt trội so với các phương pháp SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) truyền thống trong các môi trường có cấu trúc rõ ràng, nhờ vào khả năng xử lý dữ liệu không gian với độ phức tạp tính toán thấp hơn và hiệu suất thời gian thực cao hơn.

Một trong những đặc điểm nổi bật của phương pháp là khả năng tái cấu hình linh hoạt thông qua mã điều khiển *z*, cho phép thích ứng nhanh chóng với các yêu cầu thay đổi của nhiệm vụ hoặc môi trường. Bên cạnh đó, kiến trúc của thuật toán được thiết kế theo hướng mô-đun, hỗ trợ triển khai đồng thời trên cả nền tảng phần mềm (ví dụ: ROS - Robot Operating System) và phần cứng nhúng (ví dụ: FPGA - Field-Programmable Gate Array), tạo điều kiện thuận lợi cho việc tích hợp vào các hệ thống nhúng tài nguyên hạn chế.

Đặc biệt, nhờ yêu cầu tài nguyên tính toán thấp và khả năng xử lý thời gian thực, thuật toán rất phù hợp để triển khai trên các phương tiện bay không người lái (drone), nơi yêu cầu nghiêm ngặt về hiệu quả năng lượng và độ trễ xử lý.

Hướng phát triển trong tương lai bao gồm: (1) Tích hợp dữ liệu đa cảm biến (multimodal sensing), kết hợp Lidar và camera để nâng cao độ chính xác và độ tin cậy của bản đồ 3D; (2) mở rộng khả năng hoạt động sang các môi trường động, nơi có sự hiện diện của đối tượng di chuyển; và (3) triển khai thực nghiệm trên các nền tảng drone thương mại như DJI Matrice và hệ thống điều khiển bay Pixhawk nhằm đánh giá hiệu năng trong điều kiện thực địa.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO


[1] I. O. Shepel. Modified algorithm for constructing an occupancy map based on a point cloud from several lidars. *T.*, 2, no 33, pp. 257-265, 2020, doi: 10.15827/0236-235X.130.257-265.

[2] Xiaoji Niu, Tong Yu, Jian Tang, Le Chang. An Online Solution of LiDAR Scan Matching Aided Inertial Navigation System for Indoor Mobile Mapping. *Mobile Information Systems,* no 2, pp. 1-11, 2017, doi: 10.1155/2017/4802159.

[3] Mizuki Yasuda, Keisuke Sugiura, Ryuto Kojima, Hiroki Matsutani. An Edge-Server Partitioning Method for 3D LiDAR SLAM on FPGAs. *IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshops (IPDPSW),* 2023, doi: 10.1109/IPDPSW59300.2023.00030.

[4] Qi Deng, Hao Sun, Fupeng Chen, Yuhao Shu, Hui Wang, Yajun Ha. An Optimized FPGA-Based Real-Time NDT for 3D-LiDAR Localization in Smart Vehicles. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs,* T. 68, no. 9, pp. 3167-3171, 2021, doi: 10.1109/TCSII.2021.3095764.

[5] Robert Tarjan. Depth-first search and linear graph algorithms. *12th Annual Symposium on Switching and Automata Theory,* 1971, doi: 10.1109/SWAT.1971.10.

[6] R. Brooks. A robust layered control system for a mobile robot. *IEEE Journal on Robotics and Automation,* vol. 2, Is. 1, pp. 14-23, 1986, doi: 10.1109/JRA.1986.1087032.

[7] Manuele Brambilla, Eliseo Ferrante, Mauro Birattari, Marco Dorigo. Swarm Robotics: A Review from the Swarm Engineering Perspective. *Swarm Intell.,* vol. 7, Is. 1, pp. 1-41, 2013, doi: 10.1007/s11721-012-0075-2.

[8] Howie Choset. Coverage for robotics - A survey of recent results. *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence,* vol. 31, pp. 113-126, 2001.

[9] Armin Hornung, Kai M. Wurm, Maren Bennewitz, Cyrill Stachniss, Wolfram Burgard. OctoMap: an efficient probabilistic 3D mapping framework based on octrees. *Auton Robot.,* vol. 34, pp. 189-206, 2013.

[10] Marcel Flottmann, Marc Eisoldt, Julian Gaal, Marc Rothmann, Marco Tassemeier, Thomas Wiemann, Mario Porrmann. Energy-efficient FPGA-accelerated LiDAR-based SLAM for embedded robotics. 2*021 International Conference on Field-Programmable Technology (ICFPT),* 2021, doi: 10.1109/ICFPT52863.2021.9609934.

[11] ROS navigation. Internet: https://wiki.ros.org/navigation.

[12] Sebastian Thrun. Probabilistic Algorithms in Robotics. pp. 1-20, 2000.

[13] O. Khatib. Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots, 1985.

[14] Junhui Wang, Dongjie Huo, Yongliang Shi, Chao Gao, Yan Qiao, Guyue Zhou. OPEN: Lightweight Map-Based Semantic Navigation for GPS-Free Last-Mile Delivery. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering,* vol. 22, pp. 20713-20725, 2025.

[15] Johann Schmidt, Charlotte Fischer, Sebastian Weber. Autonomous Systems and Robotics Using Reconfigurable Computing. *SCCTS Transactions on Reconfigurable Computing,* vol. 2, no 2, pp. 25-30, 2025.

■Ngày nhận bài: 06/01/2026 ■Ngày sửa bài: 14/01/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 31/01/2026

# Bước đầu nghiên cứu một số yếu tố ảnh hưởng và biện pháp giảm thiểu tiếng ồn của dự án đường sắt tốc độ cao tại Việt Nam

## A preliminary study on noise influencing factors and mitigation measures for the high-speed railway project in Vietnam

**> TS NGÔ QUANG DỰ*, THS TRỊNH XUÂN BÁU**
Trường Đại học Giao thông vận tải
*Email: nqdu@utc.edu.vn

**TÓM TẮT**

Đường sắt tốc độ cao là loại hình vận tải hiện đại, là xu hướng phát triển tất yếu đối với hạ tầng giao thông tại Việt Nam. Tuy nhiên, quá trình xây dựng và vận hành tuyến đường sắt tốc độ cao sẽ gây ra các tác động môi trường, trong đó ô nhiễm tiếng ồn là một vấn đề cần được quan tâm đặc biệt. Bài báo này bước đầu nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến đặc tính phát sinh và các biện pháp giảm thiểu ô nhiễm tiếng ồn của dự án đường sắt tốc độ cao tại Việt Nam.

**Từ khóa:** Đường sắt tốc độ cao; tiếng ồn giao thông; công trình giảm thiểu tiếng ồn.

**ABSTRACT**

High-speed rail is a modern mode of transportation and an inevitable development trend for Vietnam's transport infrastructure. However, the construction and operation of high-speed railway systems may result in environmental impacts, among which noise pollution is a critical concern. This paper presents a preliminary investigation of factors influencing noise generation and reviews noise mitigation measures for high-speed railway projects in Vietnam.

**Keywords:** High-Speed Railways (HSR); noise traffic; noise reduction project.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sự phát triển kinh tế - xã hội và gia tăng dân số đã thúc đẩy nhu cầu phát triển hệ thống giao thông hiện đại, trong đó đường sắt tốc độ cao (High-Speed Railways - HSR) được xem là giải pháp hiệu quả nhờ các ưu thế về năng lực vận chuyển. Tuy nhiên, trong quá trình xây dựng và vận hành, HSR có thể gây ra các tác động môi trường đáng kể, đặc biệt là tiếng ồn, ảnh hưởng đến chất lượng sống, sức khỏe con người và hệ sinh thái, nhất là tại các khu vực dân cư và các khu vực nhạy cảm.

Nhiều nghiên cứu cho thấy tiếng ồn của HSR phát sinh từ nhiều nguồn khác nhau và có thể đạt mức trên 90 dB trong quá trình vận hành khai thác [7, 9, 10]. Mức độ tiếng ồn chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố như đặc điểm hạ tầng, điều kiện vận hành và điều kiện khí hậu.

Tại Việt Nam, giới hạn tiếng ồn giao thông được quy định trong QCVN 26:2025/BNNMT, tại các khu vực đặc biệt như khu dân cư, trường học, bệnh viện… mức ồn cho phép chỉ từ 45 - 55 dB. Do đó, việc nghiên cứu và áp dụng các biện pháp giảm thiểu tiếng ồn, đặc biệt tại các khu vực nhạy cảm là yêu cầu cần thiết, có ý nghĩa khoa học và thực tiễn khi Việt Nam bắt đầu tiếp cận xây dựng đường sắt tốc độ cao [1].

### 2. PHÂN LOẠI DỰ ÁN ĐƯỜNG SẮT TỐC ĐỘ CAO TẠI VIỆT NAM THEO TIÊU CHÍ MÔI TRƯỜNG

#### 2.1. Cơ sở pháp lý về đầu tư xây dựng đường sắt tốc độ cao tại Việt Nam

- Quy hoạch mạng lưới đường sắt tốc độ cao thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến 2050 đã được Thủ tướng Chính phủ phê duyệt tại Quyết định số 1769/QĐ-TTg ngày 19/10/2021.

- Dự án đường sắt tốc độ cao trục Bắc - Nam đã được Quốc hội quyết định chủ trương đầu tư tại Nghị quyết số 172/2024/QH15. Tuyến đường dài 1.541 km đi qua 20 tỉnh, thành, điểm đầu tại Ga Ngọc Hồi (Hà Nội), điểm cuối tại Ga Thủ Thiêm (TP.HCM). Toàn tuyến được đầu tư mới đường ray khổ đôi 1.435 mm, tốc độ thiết kế 350 km/h, tải trọng 22,5 tấn/trục; có 23 ga hành khách và 5 ga hàng hóa, đáp ứng yêu cầu lưỡng dụng phục vụ quốc phòng, an ninh và có thể vận tải hàng hóa khi cần thiết [6].

- Dự án đầu tư xây dựng tuyến đường sắt Lào Cai - Hà Nội - Hải Phòng đã được Quốc hội quyết định chủ trương đầu tư tại Nghị quyết số 187/2025/QH15 ngày 19/02/2025. Tuyến chính dài

khoảng 390,9 km, các tuyến nhánh dài khoảng 27,9 km đi qua địa phận 9 tỉnh, thành, điểm đầu nối ray qua biên giới (tỉnh Lào Cai), điểm cuối tại ga Lạch Huyện (TP Hải Phòng). Toàn tuyến được đầu tư mới đường ray khổ đơn 1.435 mm, tốc độ thiết kế 160 km/h đối với tuyến chính, 120 km/h đối với đoạn qua khu vực đầu mối TP Hà Nội và 80 km/h đối với các đoạn tuyến còn lại [6].

**2.2. Phân loại dự án đầu tư xây dựng đường sắt tốc độ cao theo tiêu chí môi trường**

Dự án xây dựng hạ tầng giao thông được phân chia thành 4 nhóm: (1) Dự án nhóm I - Có nguy cơ tác động xấu đến môi trường mức độ cao; (2) Dự án nhóm II - Có nguy cơ tác động xấu đến môi trường; (3) Dự án nhóm III - Ít có nguy cơ tác động xấu đến môi trường; và (4) Dự án nhóm IV - Không có nguy cơ tác động xấu đến môi trường. Đối với các dự án nhóm I thì tiêu chí gồm chiếm dụng đất quy mô lớn hoặc quy mô trung bình nhưng có yếu tố nhạy cảm về môi trường hoặc có yêu cầu di dân, tái định cư với quy mô lớn (quy định tại Phụ lục III Nghị định số 48/2026/NĐ-CP) [3, 4, 5].

Đối với các dự án đầu tư xây dựng các tuyến đường sắt tốc độ cao tại Việt Nam thường chiếm dụng diện tích đất lớn, thường đi qua những khu vực/đối tượng yếu tố nhạy cảm về môi trường và thường có yêu cầu di dân, tái định cư với quy mô lớn. Ngoài ra, các dự án này có vốn đầu tư rất lớn nên thuộc thẩm quyền quyết định chủ trương đầu tư của Quốc hội. Vì vậy, các dự án này thường thuộc nhóm I theo tiêu chí về môi trường quy định tại Phụ lục III của Nghị định số 48/2026/NĐ-CP.

Theo Luật Bảo vệ môi trường (2020) thì các dự án này phải thực hiện đánh giá sơ bộ tác động môi trường; thời điểm đánh giá sơ bộ tác động môi trường được thực hiện trong giai đoạn nghiên cứu tiền khả thi đầu tư xây dựng, đề xuất chủ trương đầu tư, đề nghị chấp thuận chủ trương đầu tư (Điều 29); đồng thời, phải thực hiện đánh giá tác động môi trường song song với quá trình lập báo cáo nghiên cứu khả thi của dự án (Điều 30). Báo cáo đánh giá tác động môi trường của các dự án này sẽ được thẩm định và phê duyệt kết quả thẩm định bởi Bộ Nông nghiệp và Môi trường (Điều 33).

## 3. CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN MỨC ỒN CỦA ĐƯỜNG SẮT TỐC ĐỘ CAO

Tiếng ồn do hoạt động của đường sắt tốc độ cao gây ra từ nhiều yếu tố khác nhau, bao gồm: Tiếng ồn từ đầu máy, tiếng ồn khí động học từ thân vỏ, tiếng ồn từ gầm và tiếng ồn từ các kết cấu hạ tầng. Tiếng ồn từ đầu máy bao gồm tiếng ồn khí động học tạo ra tại máy kéo và tấm chắn máy kéo, tiếng ồn ma sát do bộ thu chạy trên dây điện và tiếng ồn tia lửa giữa bộ thu và dây điện. Tiếng ồn khí động học tạo ra bởi luồng không khí qua toa tàu chỉ liên quan đến tàu cao tốc (Martens và cộng sự, 2018). Nhiều yếu tố khác nhau có thể ảnh hưởng đến mức độ tiếng ồn; có thể là tuổi của cơ sở hạ tầng và vật liệu đã được sử dụng để xây dựng đường ray, mức độ bảo trì, toa xe và cách thức vận hành đường sắt. Nếu một đường ray ở trong tình trạng kém và có mức độ bảo trì thấp thì nó sẽ phát ra nhiều hơn 10 dB so với một đường ray mới (Transport Policy and the Environment, 1990, 1990) [7, 9, 10]).

*Các yếu tố chính ảnh hưởng đến tiếng ồn bao gồm:*

(1) Tốc độ đoàn tàu: Tốc độ càng cao sẽ tạo ra mức độ tiếng ồn càng lớn, đặc biệt là khi vượt qua ngưỡng khoảng 300 km/h, tiếng ồn do khí động (aerodynamic noise) sẽ chiếm ưu thế. Các nghiên cứu của Clausen et.al (2012), Feilden, Wickens and Yates (1995) cho thấy: Ở khoảng cách 25 m từ đường ray, mức độ tiếng ồn tạo ra khi đoàn tàu chuyển động là hơn 80 dB; ở tốc độ 300 km/h, mức độ tiếng ồn là khoảng 90 dB; khi tốc độ tăng gấp đôi sẽ làm tăng khoảng 18 dB mức độ tiếng ồn khí động học.

Các loại tiếng ồn cần quan tâm bao gồm: Tiếng ồn tiếp xúc (Rolling Noise) do ma sát giữa bánh xe và ray, chiếm ưu thế dưới ~300 km/h; tiếng ồn khí động (Aerodynamic Noise) do luồng không khí rối quanh tàu, chiếm ưu thế trên 300 km/h; tiếng ồn do thiết bị phụ trợ như máy nén khí, điều hòa không khí, máy biến áp và tiếng ồn khi phanh và tăng tốc.

(2) Loại và kết cấu đoàn tàu: Hình dáng đầu tàu ảnh hưởng đến khả năng xuyên gió và khí động học, đầu tàu thiết kế khí động tốt sẽ giảm tiếng ồn; loại bánh xe và vật liệu bánh - ray ảnh hưởng đến tiếng ồn tiếp xúc (rolling noise); khung và lớp cách âm ảnh hưởng đến tiếng ồn bên trong và mức lan truyền ra ngoài.

Độ nhám của bánh xe và đường ray tạo ra tiếng ồn lăn khi bánh xe di chuyển dọc theo đường ray, mức ồn phát sinh phụ thuộc vào tải trọng và tốc độ của tàu, tiếng ồn lăn của bánh xe và đường ray tỷ lệ thuận với lũy thừa ba của tốc độ tàu (Lynch, 1998). Tàu có khớp nối ít ảnh hưởng đến tiếng ồn (Japanese railway technology today, 2001).

Chiều rộng và chiều cao của tàu ảnh hưởng đến hiệu suất khí động học của các đoàn tàu đang chạy. Chiều dài toa tàu và kết nối giữa các toa có thể ảnh hưởng đến mức ồn phát sinh.

(3) Điều kiện vận hành: Tình trạng bảo trì bánh xe, ray (nếu bề mặt không nhẵn sẽ gây tiếng ồn nhiều hơn) và việc tăng giảm tốc liên tục/đột ngột cũng góp phần tạo ra tiếng ồn.

(4) Cấu trúc đường ray và hạ tầng: Đường ray không hàn (continuous welded rail - CWR) sẽ phát ra ít tiếng ồn hơn so với ray hàn đoạn; đường ray trên đá ballast hấp thụ rung tốt hơn; đường ray trên bản mặt bê tông có xu hướng phản xạ tiếng ồn nhiều hơn; hệ thống treo và giảm chấn cũng ảnh hưởng đến rung động và truyền âm.

Loại đường ray và bề mặt đường ray có thể tạo ra sự khác biệt hơn +/-10 dB. Các tòa nhà và công trình kỹ thuật dân dụng dọc tuyến có thể khuếch đại hoặc làm giảm tiếng ồn phát sinh (Feilden, 1995). Đường ray càng thấp càng làm giảm mức ồn vì mặt đất và thảm thực vật làm giảm âm thanh phát ra. Ngoài ra, cũng chú ý đến sự thay đổi khí hậu và các hiện tượng thời tiết khắc nghiệt cũng ảnh hưởng đến mức ồn phát sinh.

(5) Điều kiện môi trường và địa hình: Địa hình xung quanh như thung lũng, rừng hoặc thành thị sẽ ảnh hưởng đến khả năng phản xạ hoặc hấp thụ âm thanh. Các yếu tố khí hậu (nhiệt độ, độ ẩm, gió…) có thể ảnh hưởng đến sự lan truyền của sóng âm. Trong một số trường hợp, do bản chất địa hình của khu vực mà tuyến đường sắt đi qua, có thể cần phải sử dụng các đường cắt và đường hầm. Đi vào đường hầm của tàu cao tốc sẽ tạo ra hiệu ứng tiếng nổ siêu thanh và trên hết là tiếng ồn sẽ phát ra nhiều hơn từ các trục thông gió.

## 4. CÁC BIỆN PHÁP GIẢM THIỂU TIẾNG ỒN KHI THỰC HIỆN ĐẦU TƯ XÂY DỰNG DỰ ÁN ĐƯỜNG SẮT TỐC ĐỘ CAO

Để giảm tiếng ồn phát sinh từ các tuyến đường sắt tốc độ cao, cần phải giảm thiểu mức ồn tại nguồn, xung quanh nguồn tiếng ồn và ở nguồn tiếp nhận [7, 9, 10]. Các biện pháp đề xuất như sau:

**4.1. Biện pháp kỹ thuật**

Tối ưu hóa thiết kế khí động học: Thiết kế mũi tàu dài và nhọn giúp giảm nhiễu loạn không khí, từ đó giảm tiếng ồn khí động. Che chắn các bộ phận dễ gây nhiễu loạn như bogie (cụm bánh xe), hệ thống phanh, gầm tàu.

Sử dụng vật liệu và cấu trúc giảm ồn: Thiết kế lớp cách âm cho khoang hành khách và vỏ tàu. Lốp bánh xe và ray làm bằng hợp kim đặc biệt để giảm tiếng ồn tiếp xúc. Giảm khe hở giữa các toa tàu giúp luồng khí ổn định hơn. Hệ thống treo và giảm chấn hiện đại sẽ giúp giảm rung và dao động truyền từ bánh xe lên khung tàu và lan

truyền ra môi trường.

Lựa chọn loại hình ray: Đường ray thẳng là nguồn tạo ra tiếng ồn thấp nhất, trong khi đường ray tấm cong là nguồn gây ra tiếng ồn lớn nhất. Đường sắt có khúc cua gấp sẽ có tiếng rít của bánh xe. Đường ray có rãnh có thể làm tăng mức độ tiếng ồn từ 10 - 20 dB tùy thuộc vào loại phanh (The Railways, 1995). Đường ray nâng cao dọc theo đỉnh kè, cầu và cầu cạn truyền tiếng ồn trên khoảng cách xa và dẫn đến mức độ tiếng ồn trong phạm vi từ 75 - 105 dB. Ngoài ra, cải thiện cơ sở hạ tầng và thiết kế toa xe, quản lý giao thông, mài đường ray âm thanh, bộ giảm chấn đường ray, giảm trọng lượng tàu và giới hạn tốc độ phù hợp sẽ làm giảm mức độ tiếng ồn phát sinh.

**4.2. Biện pháp kết cấu hạ tầng**

- Cải thiện đường ray và nền đường: Sử dụng ray hàn liên tục (CWR) để giảm rung động hay thiết kế đường ray trên nền ballast hoặc sử dụng lớp đệm đàn hồi giữa ray và nền.

- Lắp đặt rào chắn ở bogie (bánh xe): Lắp tấm chắn che phần bánh xe để ngăn âm thanh phát ra từ vị trí tiếp xúc bánh - ray.

- Tường chắn tiếng ồn: Xây dựng tường chắn ồn hai bên đường ray bằng vật liệu hấp thụ âm (bê tông xốp, polycarbonate, kính hấp thụ âm, tường cây xanh…). Thiết kế kết hợp hình học cong, giúp phản xạ âm ra hướng khác thay vì hướng đến nhà dân có thể giảm mức độ tiếng ồn từ 5 - 15 dB (Oertli và Hubner, 2010). Đối với HSR thì tường chắn tiếng ồn cần phải cao 4 m trở lên để giảm tiếng ồn đến từ các máy kéo điện (Transport Policy and the Environment, 1990).

Sử dụng vật liệu hấp thụ âm thế hệ mới: Như vật liệu nano, composite siêu nhẹ, siêu bền có khả năng hấp thụ sóng âm cao. Đối với rào chắn được che phủ một phần hoặc toàn bộ vật liệu hấp thụ âm, rào chắn bên trong nên được phủ bằng vật liệu thấm hút.

**4.3. Biện pháp quy hoạch**

Xác định hướng tuyến: Lựa chọn hướng tuyến đường sắt tránh đi qua các khu vực đông dân cư hoặc khu vực nhạy cảm về môi trường.

Trồng cây xanh cách âm (rừng cây, tường cây nhân tạo) giữa tuyến đường sắt và các khu dân cư, khu vực nhạy cảm về môi trường.

**4.4. Biện pháp vận hành và quản lý**

Giới hạn tốc độ ở khu dân cư: Giảm tốc độ tàu khi đi qua các khu dân cư, khu vực nhạy cảm về môi trường để giảm mức ồn phát sinh tại các khu vực này.

Bảo trì thường xuyên hệ thống đường sắt: Bảo trì bánh xe, ray, thiết bị phanh định kỳ để tránh mòn, cong vênh - nguyên nhân gây tăng tiếng ồn.

Giám sát tiếng ồn: Thiết kế lắp đặt hệ thống đo và phân tích tiếng ồn theo thời gian thực để có giải pháp điều chỉnh kịp thời. Tối ưu hóa thiết kế đoàn tàu, tuyến đường, vận hành dựa trên dữ liệu thực tế về tiếng ồn và mô hình hóa lan truyền âm thanh.

## 5. MỘT SỐ ĐỀ XUẤT KHI THỰC HIỆN DỰ ÁN TẠI VIỆT NAM

Tiếng ồn gây ra bởi quá trình vận hành là một trong những vấn đề môi trường quan trọng cần được quan tâm khi thực hiện dự án xây dựng đường sắt tốc độ cao. Trong quá trình thực hiện dự án, cần thực hiện các nội dung sau để giảm thiểu tiếng ồn:

- Ở bước đề xuất chủ trương đầu tư: Khi đề xuất dự án, thực hiện đánh giá sơ bộ tác động môi trường cần lựa chọn hướng tuyến và công nghệ cho dự án đáp ứng về kỹ thuật, hiệu quả về kinh tế và hiệu quả về môi trường.

- Ở bước lập báo cáo nghiên cứu khả thi: Cần thực hiện kỹ, bài bản công tác đánh giá tác động môi trường nhằm đáp ứng quy định về quản lý nhà nước về môi trường và đề xuất các biện pháp giảm thiểu tiếng ồn khả thi, hiệu quả. Các công trình giảm thiểu tiếng ồn cần cập nhật vào hồ sơ thiết kế cơ sở của dự án để thực hiện chi tiết trong bước thiết kế kỹ thuật thi công và thi công của dự án.

- Ở giai đoạn thi công xây dựng và khai thác vận hành: Cần tuân thủ đầy đủ các nội dung giảm thiểu tiếng ồn đã được phê duyệt trong báo cáo đánh giá tác động môi trường; thực hiện vận hành và quản lý hiệu quả; thực hiện quan trắc và kiểm soát tiếng ồn một cách hệ thống để có giải pháp điều chỉnh phù hợp.

## 6. KẾT LUẬN

Tiếng ồn là một trong các vấn đề môi trường quan trọng có ảnh hưởng lâu dài khi vận hành đường sắt tốc độ cao. Các yếu tố chính ảnh hưởng đến tiếng ồn khi vận hành tuyến đường sắt tốc độ cao và các biện pháp chính để giảm thiểu tiếng ồn đã được tổng hợp và trình bày chi tiết trong nội dung bài báo.

Việt Nam chuẩn bị đầu tư xây dựng các tuyến đường sắt tốc độ cao, vì vậy cần quan tâm sâu sắc đến ô nhiễm tiếng ồn từ các dự án này. Khi thực hiện dự án, cần phải thực hiện đánh giá tác động đến môi trường theo từng giai đoạn nêu trên và đề xuất được các biện pháp giảm thiểu ô nhiễm tiếng ồn hiệu quả và lâu dài.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

[1] Bộ Nông nghiệp và Môi trường. Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về tiếng ồn (QVCN 26:2025/BNNMT), 2025.

[2] Cao Minh Quý, Cao Trọng Hiển, Ngô Quang Dự, Trịnh Xuân Báu. Kỹ thuật môi trường giao thông. *NXB. Giao thông vận tải,* 2019.

[3] Nghị định số 48/2026/NĐ-CP ngày 29/01/2026 sửa đổi bổ sung một số điều của Nghị định số 08/2020/NĐ-CP ngày 10/01/2022 của Thủ tướng Chính phủ quy định chi tiết một số điều của Luật Bảo vệ môi trường được sửa đổi, bổ sung bởi Nghị định 05/2025/NĐ-CP ngày 06/01/2025, 2026.

[4] Ngô Quang Dự, Nguyễn Viết Cường. Phân loại dự án đầu tư hạ tầng giao thông theo tiêu chí môi trường phục vụ công tác đánh giá tác động môi trường. *Tạp chí Giao thông vận tải,* số tháng 8, Hà Nội, 2024.

[5] Luật Bảo vệ môi trường số 72/2020/QH14, 2020.

[6] Nghị quyết số 172/2024/QH15 quyết định chủ trương đầu tư dự án đường sắt tốc độ cao trên trục Bắc - Nam; Nghị quyết số 187/2025/QH15 của Quốc hội về chủ trương đầu tư Dự án đầu tư xây dựng tuyến đường sắt Lào Cai - Hà Nội - Hải Phòng, 2025.

[7] A. Bracciali1, P. Firpo, S. Leth, L. Michelet and M. Sacchi. Noise from High Speed Trains: Harmonization of National and European Legislation. *Proceedings of the Thirteenth International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing,* 2011.

[8] Enda Murphy and Eoin A. Kinh. Environmental Noise Pollution. *Elsevier,* 2014.

[9] Inara Watson1, Amer Ali, Ali Bayyati. Noise Mitigation and Related Factors of High Speed Railways. *European Journal of Sustainable Development,* 2018.

[10] U.S. Department of Transportation. *High Speed Rail Noise Standards and Regulations,* 2021.

■Ngày nhận bài: 03/02/2026 ■Ngày sửa bài: 12/02/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 27/02/2026

# Nghiên cứu thực nghiệm tính chất cơ học của thanh GFRP và triển vọng ứng dụng trong xây dựng tại Việt Nam

## Experimental investigation of mechanical properties of GFRP bars and their application potential in Vietnam

**> TS NGUYỄN THỊ NGUYỆT HẰNG, TS HOÀNG CHÍ THÀNH, GS.TS NGUYỄN HOÀNG GIANG***
Trường Đại học Xây dựng Hà Nội
*Email: giangnh@huce.edu.vn

**TÓM TẮT**

Bài báo trình bày nghiên cứu thực nghiệm các tính chất cơ học của thanh cốt composite thủy tinh (GFRP) nhằm đánh giá tiềm năng ứng dụng trong xây dựng tại Việt Nam. Hai loại thanh GFRP có đường kính danh định 13 mm và 19 mm được thí nghiệm xác định cường độ chịu kéo và mô-đun đàn hồi dọc trục theo Tiêu chuẩn TCVN 11109:2015. Kết quả cho thấy cường độ chịu kéo trung bình đạt khoảng 1.178 MPa đối với thanh D13 và 1.025 MPa đối với thanh D19, trong khi mô-đun đàn hồi tương ứng đạt 45,6 GPa và 41,9 GPa. Quan hệ ứng suất - biến dạng có dạng tuyến tính đến phá hoại với biến dạng cực hạn xấp xỉ 1,3%, phản ánh cơ chế phá hoại giòn đặc trưng của vật liệu composite. Dạng phá hoại xảy ra trong đoạn làm việc, chứng tỏ hệ neo và quy trình thí nghiệm bảo đảm độ tin cậy của kết quả. Trên cơ sở các đặc trưng cơ học thu được, bài báo thảo luận ưu điểm và đề xuất các hướng ứng dụng tiềm năng của GFRP trong các cấu kiện bê tông làm việc trong môi trường xâm thực, công trình ven biển, kết cấu ngầm và các cấu kiện yêu cầu độ bền lâu cao.

**Từ khóa:** Cốt GFRP; cường độ chịu kéo; quan hệ ứng suất - biến dạng; khả năng kháng ăn mòn; nghiên cứu thực nghiệm.

**ABSTRACT**

This paper presents an experimental study on the mechanical properties of glass fiber reinforced polymer (GFRP) bars to evaluate their potential applications in construction in Vietnam. Two types of GFRP bars with nominal diameters of 13 mm and 19 mm were tested to determine their tensile strength and axial elastic modulus in accordance with TCVN 11109:2015. The results show that the average tensile strengths are approximately 1,178 MPa for D13 bars and 1,025 MPa for D19 bars, while the corresponding elastic moduli are 45.6 GPa and 41.9 GPa. The stress - strain relationship exhibits a nearly linear behavior up to failure, with ultimate strains of about 1.3%, indicating the typical brittle failure mechanism of composite materials. Failure occurred within the gauge length, demonstrating the effectiveness of the anchorage system and the reliability of the test procedure. Based on the obtained mechanical characteristics, the advantages of GFRP bars are discussed, and potential applications in aggressive environments, coastal structures, underground works and durable concrete members are proposed.

**Keywords:** GFRP bar; tensile strength; stress - strain relationship; corrosion resistance; experimental study.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong điều kiện khí hậu nóng ẩm và môi trường ven biển giàu ion clorua, nhiều công trình bê tông cốt thép tại Việt Nam phải đối mặt với nguy cơ ăn mòn, làm suy giảm khả năng chịu lực và tuổi thọ khai thác. Do đó, việc nghiên cứu các loại vật liệu cốt thay thế có khả năng kháng ăn mòn tốt là hướng đi cần thiết nhằm nâng cao độ bền lâu và giảm chi phí bảo trì.

Cốt polymer gia cường sợi (FRP), trong đó phổ biến là cốt composite thủy tinh (GFRP), được xem là một trong những giải pháp tiềm năng. Cốt GFRP là vật liệu composite gồm sợi thủy tinh

cường độ cao đóng vai trò chịu lực chính và nhựa nền polymer (thường là vinyl ester hoặc epoxy) có chức năng liên kết, truyền lực giữa các sợi và bảo vệ khỏi tác động môi trường. Nhờ cấu trúc định hướng sợi dọc trục, cốt GFRP đạt cường độ kéo rất cao trong khi khối lượng riêng chỉ khoảng 1/4 thép, tạo nên tỷ số cường độ trên trọng lượng vượt trội [1]. Ngoài ra, GFRP không bị ăn mòn điện hóa, có tính kháng hóa chất và muối tốt, đồng thời không nhiễm từ và không dẫn điện như cốt thép thông thường, nên đặc biệt phù hợp cho công trình ven biển, môi trường xâm thực hoặc các kết cấu yêu cầu tính điện môi [2-4].

Trên thế giới, nhiều nghiên cứu và hướng dẫn thiết kế đã khẳng định tiềm năng ứng dụng của bê tông cốt GFRP trong công trình ven biển, thủy công và kết cấu ngầm [5-7]. Tuy nhiên, do đặc trưng cơ học phụ thuộc vào thành phần vật liệu và quy trình chế tạo, cùng với mô-đun đàn hồi thấp và cơ chế phá hoại giòn so với thép [8, 9], việc xác định thực nghiệm các thông số cơ học cụ thể là cần thiết trước khi ứng dụng. Tại Việt Nam, dữ liệu thí nghiệm về thanh GFRP thương mại còn hạn chế, chưa đủ để làm cơ sở cho thiết kế và định hướng ứng dụng rộng rãi [10]. Trên cơ sở đó, nghiên cứu này tiến hành thí nghiệm xác định cường độ chịu kéo và mô-đun đàn hồi dọc trục của hai loại thanh GFRP đường kính 13 mm và 19 mm, nhằm phân tích đặc trưng cơ học và làm cơ sở đánh giá khả năng ứng dụng của vật liệu trong điều kiện xây dựng tại Việt Nam.

## 2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM

Nghiên cứu sử dụng các thanh GFRP thương mại của FRTech (Hàn Quốc) để thí nghiệm xác định cường độ chịu kéo và mô-đun đàn hồi theo TCVN 11109:2015 [6]. Hai loại đường kính 13 mm và 19 mm được lựa chọn nhằm đánh giá ảnh hưởng của kích thước đến đặc trưng cơ học. Nội dung cụ thể về chuẩn bị mẫu, thiết bị và quy trình thí nghiệm được trình bày trong các mục sau.

### 2.1. Chuẩn bị mẫu thí nghiệm

Tổng quan chương trình thí nghiệm với hai loại thanh GFRP có đường kính 13 mm và 19 mm được trình bày trong Bảng 1. Với mỗi đường kính, hai nhóm thí nghiệm được tiến hành nhằm xác định cường độ chịu kéo và mô-đun đàn hồi. Mỗi nhóm gồm 3 mẫu, tổng cộng 12 mẫu thí nghiệm. Quy trình chuẩn bị mẫu và thí nghiệm tuân theo TCVN 11109:2015 về cốt composite polyme (Fiber-Reinforced Polymer bar) [6]. Các mẫu thí nghiệm được chuẩn bị và được minh họa trong Hình 1.

Bảng 1. Tóm tắt chương trình thí nghiệm

| Loại GFRP | Đường kính danh định, mm | Diện tích danh định, mm2 | Số lượng mẫu thí nghiệm | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Xác định cường độ chịu kéo | Xác định mô-đun đàn hồi |
| GFRP D13 | 12,7 | 126,67 | 03 | 03 |
| GFRP D19 | 19,1 | 286,52 | 03 | 03 |

a) - Gia công mẫu và dán cảm biến cho thí nghiệm mô-đun đàn hồi của GFRP D13

b) - Gia công mẫu và dán cảm biến cho thí nghiệm mô-đun đàn hồi của GFRP D19

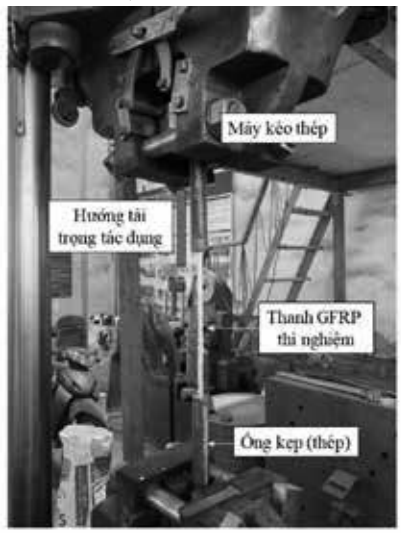
c) - Quá trình gia công mẫu cho thí nghiệm kéo GFRP

Hình 1. Chuẩn bị mẫu thí nghiệm

Như thể hiện ở Hình 1, hai đầu thanh GFRP được neo trong ống thép đường kính 42 mm và lấp đầy bằng vữa không co ngót SikaGrout 214-11 để bảo đảm truyền lực dọc trục ổn định. Chiều dài neo mỗi đầu lần lượt là 350 mm (đối với thanh D13) và 450 mm (đối với thanh D19), tuân theo TCVN 11109:2015. Giải pháp này giúp phân bố đều ứng suất và hạn chế phá hoại sớm tại vị trí kẹp, bảo đảm phá hoại xảy ra trong đoạn làm việc của thanh. Ngoài ra, cảm biến đo biến dạng được dán tại vùng giữa mẫu, cách xa đầu neo nhằm ghi nhận biến dạng kéo thuần túy. Việc căn chỉnh thẳng trục mẫu và cố định vị trí thanh trong quá trình đổ vữa được kiểm soát để hạn chế mô-men uốn phụ ảnh hưởng đến kết quả xác định mô-đun đàn hồi.

### 2.2. Thiết bị và quy trình thí nghiệm

Mẫu GFRP sau khi neo hai đầu được lắp vào máy kéo có tải trọng cực đại 100 tấn (Hình 2). Trục thanh được căn chỉnh trùng với phương lực tác dụng để bảo đảm trạng thái kéo dọc trục thuần túy. Mặc dù máy kéo có khả năng chịu tải đến 100 tấn, các thí nghiệm trong nghiên cứu này được thực hiện trên thang đo lực 25 tấn nhằm tăng độ chính xác và độ nhạy của hệ đo trong quá trình gia tải.




a) - Thí nghiệm xác định cường độ chịu kéo GFRP

b) - Thí nghiệm xác định mô-đun đàn hồi

Hình 2. Bố trí mẫu thí nghiệm

Ở thí nghiệm xác định cường độ chịu kéo (Hình 2a), tải trọng được tăng dần từ 0 cho đến giá trị tải trọng phá hoại (*P*). Cường độ bền khi kéo của thanh GFRP thí nghiệm sẽ được xác định:

$$\sigma_u = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Trong đó: P - Tải trọng phá hoại (N); A - Diện tích ngang của tiết diện ($mm^2$).

Ở thí nghiệm xác định mô-đun đàn hồi khi kéo, $E_f$ (MPa) được tính bằng tỉ số gia tải trọng khi kéo trong khoảng 0,2P đến 0,5P và biến dạng theo công thức:

$$E_f = \frac{P_1 - P_2}{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)A} \quad (2)$$

Trong đó: $P_1$ - Tải trọng, bằng (50 ± 2)% tải trọng phá hoại, N; $P_2$ - Tải trọng, bằng (20 ± 2)% tải trọng phá hoại, N; $\varepsilon_1$ - Biến dạng tương ứng với tải trọng $P_1$ và $\varepsilon_2$ - Biến dạng tương ứng với tải trọng $P_2$. Độ dãn dài tương ứng với tải trọng phá hoại được tính theo công thức:

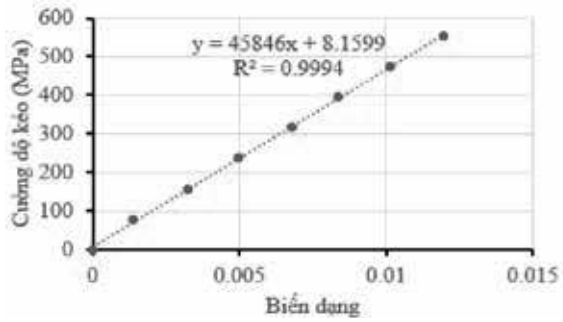
$$\varepsilon_u = \frac{P}{E_f A} \quad (3)$$

## 3. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

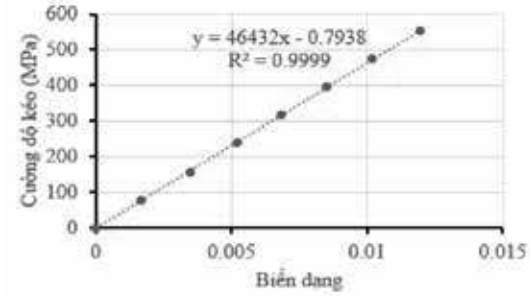
Kết quả thí nghiệm xác định cường độ chịu kéo và mô-đun đàn hồi của các thanh GFRP được trình bày trong Bảng 2, trong khi quan hệ ứng suất - biến dạng và dạng phá hoại được thể hiện tương ứng ở Hình 3 và Hình 4. Nhìn chung, các kết quả thu được từ thí nghiệm phản ánh rõ đặc trưng cơ học điển hình của vật liệu composite sợi thủy tinh.

Bảng 2. Kết quả thí nghiệm

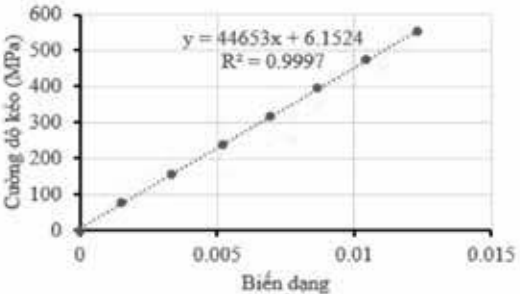
| | | Lực kéo đứt (kN) | Giới hạn bền kéo (MPa) | Độ giãn dài (%) | Mô-đun đàn hồi dọc trục khi kéo (GPa) |
|---|---|---|---|---|---|
| GFRP D13 | GFRP D13-1 | 150 | 1.184 | | |
| | GFRP D13-2 | 146 | 1.152 | | |
| | GFRP D13-3 | 152 | 1.199 | | |
| | GFRP D13-4 | | | 1,33 | 45,85 |
| | GFRP D13-5 | | | 1,28 | 46,43 |
| | GFRP D13-6 | | | 1,31 | 44,65 |
| **Giá trị trung bình** | | **149,3** | **1.178,3** | **1,31** | **45,64** |
| **Hệ số biến thiên (CoV)** | | **2,05%** | **2,04%** | **1,93%** | **1,98%** |
| GFRP D19 | GFRP D19-1 | 292 | 1.019 | | |
| | GFRP D19-2 | 295 | 1.029 | | |
| | GFRP D19-3 | 294 | 1.026 | | |
| | GFRP D19-4 | | | 1,29 | 43,93 |
| | GFRP D19-5 | | | 1,33 | 37,98 |
| | GFRP D19-6 | | | 1,34 | 43,71 |
| **Giá trị trung bình** | | **293,7** | **1.024,7** | **1,32** | **41,87** |
| **Hệ số biến thiên (CoV)** | | **0,52%** | **0,50%** | **2,01%** | **8,05%** |



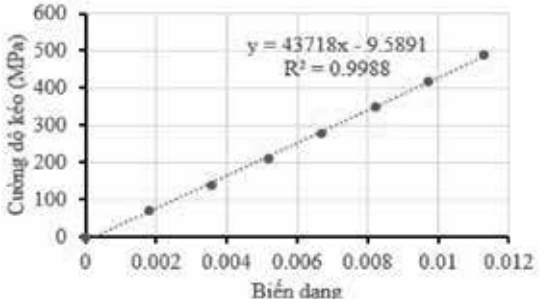

*a) - GFRP 13-4*



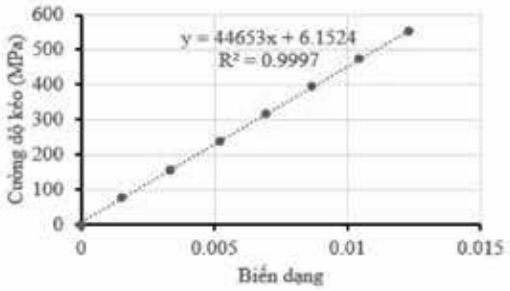

*b) - GFRP D13-5*



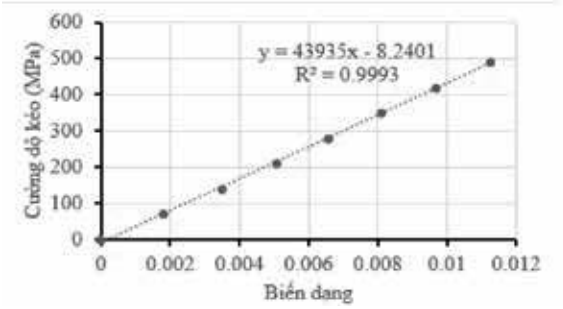

*c) - GFRP D13-6*




*d) - GFRP D19-4*




*e) - GFRP D19-5*




*f) - GFRP D19-6*

Hình 3. Biểu đồ ứng suất - biến dạng của GFRP trong thí nghiệm mô-đun đàn hồi

Hình 4. Dạng phá hoại của GFRP trong thí nghiệm kéo đứt

**3.1. Cường độ chịu kéo**

Đối với nhóm mẫu GFRP D13, lực kéo đứt trung bình đạt 149,3 kN, tương ứng giới hạn bền kéo trung bình 1.178,3 MPa. Nhóm GFRP D19 có lực kéo đứt trung bình 293,7 kN và giới hạn bền kéo trung bình 1.024,7 MPa. Mặc dù thanh D19 có tiết diện lớn hơn và tải phá hoại cao hơn, giá trị cường độ kéo tính theo ứng suất lại thấp hơn so với D13. Điều này cho thấy ảnh hưởng của kích thước tiết diện và cấu trúc sợi đến hiệu quả chịu lực của vật liệu, phù hợp với xu hướng đã được ghi nhận đối với cốt FRP [11], trong đó sự phân bố sợi và mức độ đồng nhất của vật liệu có thể thay đổi theo đường kính thanh.

**3.2. Mô-đun đàn hồi và quan hệ ứng suất - biến dạng**

Mô-đun đàn hồi trung bình của GFRP D13 và D19 lần lượt là 45,64 GPa và 41,87 GPa. Các đường cong ứng suất - biến dạng (Hình 3) gần như tuyến tính đến phá hoại, cho thấy vật liệu làm việc chủ yếu trong miền đàn hồi và không xuất hiện giai đoạn chảy dẻo như thép. Biến dạng cực hạn của hai nhóm xấp xỉ nhau (~1,3%), cho thấy đặc trưng này phụ thuộc chủ yếu vào bản chất sợi hơn là kích thước thanh. Do mô-đun thấp hơn thép, việc sử dụng GFRP có thể dẫn đến độ võng và bề rộng vết nứt lớn hơn ở trạng thái sử dụng.

Hệ số biến thiên (CoV) của các chỉ tiêu cơ học nhìn chung nhỏ (<3%) đối với cả hai nhóm, phản ánh tính đồng đều cao của vật liệu và độ tin cậy của thí nghiệm. Riêng mô-đun đàn hồi của D19 có CoV cao hơn (8,05%), có thể liên quan đến sự không đồng nhất cấu trúc và phân bố sợi trong tiết diện lớn. Tuy nhiên, cũng cần lưu ý rằng mô-đun đàn hồi của GFRP có thể được cải thiện thông qua tối ưu hóa thành phần và định hướng sợi trong quá trình chế tạo, qua đó mở rộng phạm vi ứng dụng của GFRP.

**3.3. Dạng phá hoại**

Quan sát sau thí nghiệm (Hình 4) cho thấy tất cả các mẫu đều phá hoại trong đoạn làm việc, không xảy ra hư hỏng tại vùng neo, chứng tỏ hệ neo thép và vữa không co ngót bảo đảm truyền lực hiệu quả. Dạng phá hoại chủ yếu là đứt sợi dọc trục kèm tách lớp sợi - nhựa nền, bề mặt gãy có cấu trúc xơ sợi xòe ra. Việc không ghi nhận biến dạng dẻo trước khi phá hoại, khẳng định đặc trưng giòn của vật liệu GFRP. So với thép, cơ chế phá hoại xảy ra đột ngột, do đó thiết kế cần chú trọng kiểm soát trạng thái sử dụng và hệ số an toàn. Dạng phá hoại tương tự giữa D13 và D19 cho thấy cơ chế hư hỏng phụ thuộc chủ yếu vào bản chất vật liệu hơn là kích thước thanh.

**3.4. Nhận xét tổng quan**

Kết quả thí nghiệm cho thấy GFRP có cường độ chịu kéo cao (1.178,3 MPa với GFRP D13 và 1.024,7 MPa đối với GFRP D19) và khối lượng riêng nhỏ (≈ 1.900 kg/m$^3$ theo thông số từ nhà sản xuất) so với thép thường (khoảng 300 - 500 MPa tùy vào cấp thép và khối lượng riêng khoảng 7.850 kg/m$^3$), qua đó mang lại tỷ số cường độ trên trọng lượng vượt trội. Tuy nhiên, do mô-đun đàn hồi thấp hơn thép, cấu kiện bê tông cốt GFRP có thể xuất hiện độ võng và bề rộng vết nứt lớn hơn ở trạng thái sử dụng, vì vậy thiết kế cần ưu tiên kiểm soát trạng thái giới hạn sử dụng. Thêm vào đó, vật liệu làm việc đàn hồi tuyến tính đến phá hoại và có cơ chế hư hỏng giòn, đòi hỏi cách tiếp cận thiết kế an toàn dự phòng. Tuy nhiên, ưu điểm kháng ăn mòn giúp GFRP có tiềm năng lớn trong các công trình hạ tầng làm việc trong môi trường xâm thực tại Việt Nam, đặc biệt khi yêu cầu về tuổi thọ khai thác và chi phí bảo trì ngày càng được đặt lên hàng đầu.

**4. ĐỊNH HƯỚNG ỨNG DỤNG CỐT GFRP TRONG XÂY DỰNG TẠI VIỆT NAM**

Trên cơ sở các đặc trưng cơ học đã xác định, việc định hướng ứng dụng cốt GFRP trong điều kiện xây dựng tại Việt Nam cần được xem xét theo từng nhóm cấu kiện và điều kiện làm việc cụ thể. Các nội dung sau tập trung phân tích khả năng sử dụng GFRP trong môi trường xâm thực, trong các cấu kiện có yêu cầu độ võng hạn chế và trong kết cấu nền móng - công trình ngầm, đồng thời làm rõ những lưu ý kỹ thuật khi áp dụng trong thực tiễn thiết kế.

**4.1. Cốt chịu lực cho kết cấu bê tông trong môi trường xâm thực**

Điều kiện khí hậu nóng ẩm cùng môi trường ven biển giàu ion clorua khiến nhiều công trình hạ tầng tại Việt Nam phải đối mặt với nguy cơ ăn mòn cốt thép nghiêm trọng, dẫn đến suy giảm tuổi thọ và gia tăng chi phí bảo trì. Nhờ khả năng kháng ăn mòn điện hóa, GFRP đặc biệt phù hợp cho các cấu kiện bê tông làm việc trong môi trường xâm thực như cống hộp, hầm kỹ thuật, tường chắn và các kết cấu tiếp xúc trực tiếp với nước biển hoặc nước thải. Trên thực tế, GFRP đã bước đầu được nghiên cứu và ứng dụng thí điểm tại một số công trình ven biển ở Việt Nam. Hình 5 minh họa một số ví dụ tiêu biểu, cho thấy xu hướng chuyển dịch sang sử dụng cốt không bị ăn mòn nhằm nâng cao độ bền lâu và tối ưu hóa chi phí vòng đời công trình. Ngoài ra, các cấu kiện như cống hộp và tường chắn thường có chiều dày lớn và ít yêu cầu khắt khe về độ võng, nên ít chịu bất lợi từ mô-đun đàn hồi thấp của GFRP. Việc sử dụng GFRP trong các cấu kiện này góp phần nâng cao độ bền lâu, giảm chi phí sửa chữa và phù hợp với định hướng phát triển hạ tầng bền vững.

*a) - GFRP cho công trình mặt đường tại cảng Lạch Huyện, Hải Phòng*

*b) - Cừ bê tông cốt GFRP tại Rừng Dương - Vũng Tàu*

Hình 5. Hình minh họa các dạng công trình ven biển có tiềm năng ứng dụng GFRP

**4.2. Ứng dụng trong các cấu kiện có biến dạng nhỏ**

Do mô-đun đàn hồi của GFRP thấp hơn thép, việc sử dụng vật liệu này hiệu quả hơn trong các cấu kiện có biến dạng nhỏ trong quá trình khai thác. Một ví dụ điển hình là kết cấu bản đường ray không đá ballast trong đường sắt đô thị hoặc đường sắt tốc độ cao (slab track). Các bản slab track có chiều dày lớn, được đỡ liên tục bởi nền hoặc kết cấu phụ trợ, do đó độ võng tương đối nhỏ và điều kiện làm việc phù hợp với đặc tính của GFRP.

Bên cạnh đó, các cấu kiện bản móng và bản sàn đặt trực tiếp trên nền đất, chẳng hạn như sàn trên nền đất (slab-on-ground) và mặt đường bê tông (concrete pavement), các tấm tà vẹt trong kết cấu đường sắt hoặc các cấu kiện tiền chế có chiều cao tiết diện lớn, cũng là những ứng dụng tiềm năng của GFRP. Việc sử dụng GFRP góp phần nâng cao độ bền trong môi trường xâm thực mà không làm gia tăng đáng kể tải trọng bản thân, đồng thời đáp ứng yêu cầu về tuổi thọ thiết kế dài và chi phí bảo trì thấp.

**4.3. Ứng dụng trong kết cấu nền móng và công trình ngầm**

Kết quả nghiên cứu cho thấy GFRP có cường độ kéo cao và khả năng kháng môi trường tốt [2, 4], do đó có tiềm năng ứng dụng trong các cấu kiện nền móng và công trình ngầm - nơi cốt thép truyền thống thường chịu tác động bất lợi của nước ngầm, đất xâm thực hoặc môi trường hóa học. Các cấu kiện như cọc cừ bê tông, tường vây mỏng, bản đáy hầm hoặc móng nông trong khu vực đất nhiễm mặn là những trường hợp có thể hưởng lợi từ việc sử dụng GFRP.

Trong các cấu kiện này, nội lực thường được phân bố theo dạng nén - uốn với độ võng hạn chế, do đó yêu cầu về độ cứng không quá khắt khe như trong các dầm nhịp lớn. Ưu điểm về kháng ăn mòn và độ bền lâu của GFRP có thể mang lại hiệu quả kinh tế vòng đời rõ rệt, đặc biệt đối với các công trình khó tiếp cận để bảo trì hoặc sửa chữa.

**4.4. Các lưu ý kỹ thuật khi ứng dụng**

Kết quả thí nghiệm cho thấy GFRP có mô-đun đàn hồi thấp hơn thép và phá hoại theo cơ chế giòn, không có giai đoạn chảy dẻo trước khi mất khả năng chịu lực. Điều này ảnh hưởng trực tiếp đến ứng xử cấu kiện bê tông cốt GFRP, đặc biệt ở trạng thái giới hạn sử dụng, khi độ cứng uốn có thể giảm và độ võng, bề rộng vết nứt tăng nhanh hơn dưới cùng mức tải khai thác. Vì vậy, thiết kế cần ưu tiên kiểm soát biến dạng và bề rộng vết nứt thay vì chỉ dựa vào cường độ cực hạn.

Do không có khả năng phân phối lại nội lực thông qua biến dạng dẻo, GFRP đòi hỏi cách tiếp cận thiết kế theo quan điểm an toàn dự phòng, trong đó ứng suất làm việc phải được giới hạn thấp hơn đáng kể so với cường độ phá hoại. Hiệu quả chịu lực của cấu kiện còn phụ thuộc chặt chẽ vào khả năng bám dính giữa thanh GFRP và bê tông. Trên thực tế, các tiêu chuẩn thiết kế hiện hành, như ACI 440.1-22 đã nội hàm hóa các yêu cầu này thông qua hệ thống hệ số giảm và điều chỉnh tương đối nghiêm ngặt (ví dụ hệ số môi trường khoảng 0,85; hệ số giảm cường độ kéo 0,55 - 0,65; hệ số suy giảm do từ biến 0,3), qua đó bảo đảm mức dự phòng an toàn cao và độ tin cậy lâu dài của kết cấu trong các điều kiện khai thác khác nhau.

**5. KẾT LUẬN**

Bài báo trình bày nghiên cứu thực nghiệm xác định cường độ chịu kéo và mô-đun đàn hồi của hai loại thanh GFRP đường kính danh định 13 mm và 19 mm theo TCVN 11109:2015. Kết quả cho thấy cường độ trung bình đạt 1.178 MPa (D13) và 1.025 MPa (D19), trong khi mô-đun đàn hồi tương ứng là 45,6 GPa và 41,9 GPa. Quan hệ ứng suất - biến dạng tuyến tính đến phá hoại với biến dạng cực hạn khoảng 1,3%, thể hiện đặc trưng đàn hồi - giòn của vật liệu.

Dạng phá hoại là đứt sợi dọc trục kèm tách lớp sợi - nhựa nền xảy ra trong đoạn làm việc thay vì tại đầu neo, cho thấy hệ neo và quy trình thí nghiệm bảo đảm truyền lực hiệu quả. Độ phân tán giữa các mẫu nhỏ, khẳng định độ tin cậy của kết quả.

Các kết quả này cho thấy GFRP có hiệu suất chịu kéo cao nhưng mô-đun thấp hơn thép và phá hoại giòn, do đó thiết kế kết cấu bê tông cốt GFRP cần đặc biệt chú trọng kiểm soát độ võng, bề rộng vết nứt và lựa chọn hệ số an toàn phù hợp.

Với khả năng kháng ăn mòn cao và tính ổn định trong môi trường xâm thực, GFRP thể hiện tiềm năng ứng dụng trong các cấu kiện làm việc tại khu vực ven biển, công trình thoát nước, kết cấu ngầm và nền móng. Vật liệu này đặc biệt phù hợp với các cấu kiện không đặt yêu cầu nghiêm ngặt về kiểm soát độ võng, chẳng hạn như cống hộp, bản sàn và tà vẹt đường sắt hoặc mặt đường bê tông. Việc sử dụng GFRP trong các trường hợp này góp phần nâng cao độ bền lâu, giảm chi phí bảo trì và cải thiện hiệu quả vòng đời công trình, qua đó phù hợp với định hướng phát triển hạ tầng bền vững tại Việt Nam.

**Lời cảm ơn:** Phần thí nghiệm của nghiên cứu này được thực hiện tại Phòng thí nghiệm và kiểm định công trình LAS-XD24.125, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội. Nhóm tác giả trân trọng cảm ơn sự hỗ trợ của các cán bộ Phòng thí nghiệm trong quá trình chuẩn bị và tiến hành thí nghiệm. Đồng thời, nhóm tác giả xin cảm ơn Công ty FRTech (Hàn Quốc) đã cung cấp mẫu vật liệu phục vụ chương trình thí nghiệm.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

[1] Kocaoz, S., V. A. Samaranayake and A. Nanni. Tensile characterization of glass FRP bars. *Composites Part B: Engineering,* 36(2), p. 127-134, 2005, doi: https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2004.05.004.

[2] Sun, Yanan, Zuquan Jin, Fengyin Du, Langni Deng, Bo Pang, Lin Yang and Shicai Li. High performance glass fiber reinforced polymer bars for marine engineering: A synergistic approach using microwave-assisted nanomaterial functionalization and organosilicon modification. *Construction and Building Materials,* 493, p. 143119, 2025, doi: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.143119.

[3] Sun, Yanan, Zuquan Jin, Xiaoying Zhang, Shouqi Zhang, Song He and Bo Pang. Initial stage degradation of GFRP bars based on functional group ratio change using FTIR in high temperature and alkaline solution. *Journal of Building Engineering,* 68, p. 106190, 2023, doi: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106190.

[4] Benmokrane, Brahim, Salaheldin Mousa, Khaled Mohamed and Mahmoud Sayed-Ahmed. Physical, mechanical, and durability characteristics of newly developed thermoplastic GFRP bars for reinforcing concrete structures. *Construction and Building Materials*, 276, p. 122200, 2021, doi: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.122200.

[5] CODE-440.11-22, ACI. Building Code Requirements for Structural Concrete Reinforced with Glass Fiber-Reinforced Polymer (GFRP) Bars-Code and Commentary. *American Concrete Institute: Farmington Hills*, MI, USA, 2022.

[6] 11109:2015, TCVN. CỐT COMPOSÍT POLYME. *Bộ Khoa học và Công nghệ: Hanoi, Vietnam,* 2015.

[7] João R. Correia, Thomas Keller, Jan Knippers, J. Toby Mottram, Carlo Paulotto, José Sena-Cruz, Luigi Ascione. CEN/TS 19101: 2022 - Design of Fibre-Polymer Composite Structures. *CRC Press,* 2022.

[8] Alajarmeh, Omar, Allan Manalo and Dmitry Yatsenko. High elastic modulus GFRP rebar: A guide to manufacture and design of the influencing parameters. *Composites Part C: Open Access,* 16, p. 100576, 2025, doi: https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2025.100576.

[9] Seo, Dong-Woo, Ki-Tae Park, Young Jun You and Hyeong-Yeol Kim. Enhancement in Elastic Modulus of GFRP Bars by Material Hybridization. *Engineering,* 05, pp. 865-869, 2013, doi: 10.4236/eng.2013.511105.

[10] Nguyễn Anh Tuấn, Đào Quang Huy, Phạm Ngọc Trường. Thí nghiệm nghiên cứu khả năng dính bám giữa cốt thanh GFRP và bê tông trong dầm. *Tạp chí Xây dựng,* số tháng 6, tr. 434-437, 2025.

[11] Benmokrane, Brahim, Allan Manalo, Jean-Charles Bouhet, Khaled Mohamed and Mathieu Robert. Effects of Diameter on the Durability of Glass Fiber-Reinforced Polymer Bars Conditioned in Alkaline Solution. *Journal of Composites for Construction,* 21, 2017, doi: 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000814.

■Ngày nhận bài: 01/01/2026 ■Ngày sửa bài: 12/01/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 21/01/2026

# Chuyển đổi số tại các doanh nghiệp kinh doanh cảng biển Hải Phòng: Thực trạng và giải pháp

## Digital transformation in Hai Phong seaport enterprises: situation and recommendations

**> THS NGUYỄN HỒ HỒNG PHÁT**
Trường Đại học Hàng Hải Việt Nam
Email: phat150299@gmail.com

**TÓM TẮT**

Bài báo phân tích thực trạng, thách thức và định hướng phát triển chuyển đổi số (CĐS) tại các doanh nghiệp (DN) kinh doanh cảng biển trên địa bàn TP Hải Phòng. Thông qua phương pháp phân tích tổng hợp và so sánh, kết quả nghiên cứu cho thấy mức độ CĐS giữa các DN cảng có sự khác biệt rõ rệt, chịu ảnh hưởng đáng kể bởi quy mô hoạt động, loại hình khai thác và năng lực tài chính. Trong khi các cảng quy mô lớn đã triển khai CĐS ở mức độ toàn diện, nhiều DN vừa và nhỏ mới dừng lại ở số hóa từng phần. Trên cơ sở đó, bài báo đề xuất các định hướng phát triển CĐS theo hướng chiến lược, đồng bộ và bền vững, nhằm nâng cao hiệu quả hoạt động và năng lực cạnh tranh của hệ thống cảng biển Hải Phòng trong bối cảnh hội nhập quốc tế.

**Từ khóa:** Chuyển đổi số; cảng biển; Hải Phòng...

**ABSTRACT**

This paper examines the current status, challenges and future development directions of digital transformation among seaport enterprises in Hai Phong City. Using a descriptive and comparative analytical approach, the study reveals significant disparities in the level of digital transformation across port enterprises, largely influenced by operational scale, cargo specialization and financial capacity. While large-scale ports have adopted comprehensive and advanced digital solutions, many small and medium-sized ports remain at a partial digitalization stage. Based on these findings, the paper proposes strategic, integrated and sustainable directions for digital transformation to enhance operational efficiency and competitiveness of Hai Phong's seaport system in the context of global logistics integration.

**Keywords:** Digital transformation; seaports, Hai Phong...

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh cuộc cách mạng công nghiệp 4.0 hiện nay, CĐS đã trở thành yêu cầu sống còn đối với sự phát triển bền vững của ngành logistics hàng hải toàn cầu nói chung và các DN cảng biển nói riêng. Tại Việt Nam, Hải Phòng đóng vai trò là cửa ngõ giao thương quốc tế quan trọng nhất miền Bắc, tập trung hệ thống cảng biển năng động với lưu lượng hàng hóa tăng trưởng vượt bậc qua từng năm. Tuy nhiên, trước áp lực cạnh tranh gay gắt từ các cảng biển trong khu vực và yêu cầu ngày càng cao về tối ưu hóa quy trình, giảm chi phí vận hành, các DN kinh doanh cảng tại Hải Phòng đang đứng trước những thách thức lớn về hạ tầng công nghệ và tư duy quản trị. Mặc dù đã có những bước đi ban đầu, nhưng thực tế triển khai CĐS tại đây vẫn còn manh mún, thiếu đồng bộ và chưa tương xứng với tiềm năng vị thế. Xuất phát từ thực trạng đó, việc phân tích sâu sắc tiến trình CĐS tại các DN cảng biển Hải Phòng để tìm ra những thách thức và đề xuất các giải pháp mang tính chiến lược là yêu cầu cấp thiết, nhằm nâng cao năng lực cạnh tranh và hiện thực hóa mục tiêu xây dựng cảng thông minh trong tương lai.

Hình 1. CĐS tại DN kinh doanh cảng biển

## 2. THỰC TRẠNG CỦA HOẠT ĐỘNG CĐS TẠI CÁC DN KINH DOANH CẢNG BIỂN HẢI PHÒNG

Bảng 1. Tổng quan hoạt động CĐS tại các DN kinh doanh cảng biển Hải Phòng

| Doanh nghiệp | Quy mô và công suất | Loại hàng khai thác | Mức độ số hóa |
|---|---|---|---|
| Cụm Cảng Lạch Huyện (TC-HICT, Bến 3-6). | Siêu lớn: Tiếp nhận tàu container đến 150.000 DWT. Công suất > 1,1 triệu TEU/năm/bến. | Container xuất nhập khẩu tuyến xa (Mỹ, châu Âu). | Rất cao: Hệ thống điều hành Navis N4, AI nhận diện mã container, cảng xanh. |
| Cụm Cảng Đình Vũ (Cảng Hải Phòng - Tân Vũ, Nam Đình Vũ, VIP Green). | Lớn: Tiếp nhận tàu đến 40.000 - 50.000 DWT. Công suất 0,5 - 1,2 triệu TEU/năm. | Container nội địa và nội Á (Trung Quốc, Hàn Quốc, Nhật Bản), ô tô (RORO). | Cao: Smart Gate, chứng từ điện tử (E-Port), quản lý bãi tự động. |
| Cụm Cảng Sông Cấm (Chùa Vẽ, Hoàng Diệu, Đoạn Xá). | Trung bình: Tàu đến 10.000 - 20.000 DWT; bị hạn chế bởi tĩnh không cầu Bạch Đằng. | Hàng rời (sắt thép, thức ăn gia súc), hàng dự án, container nội địa ngắn hạn. | Trung bình: Đang số hóa quy trình quản lý kho bãi, cân điện tử. |
| Cảng Chuyên dụng (Cảng Xăng dầu Thượng Lý, Cảng Vật Cách). | Nhỏ & vừa: Tàu 5.000 - 15.000 DWT. | Xăng dầu, khí hóa lỏng, vật liệu xây dựng (than, đá). | Cơ bản: Hệ thống giám sát bồn chứa, phần mềm quản lý xuất nhập hàng hóa chuyên dụng. |

*(Nguồn: Tổng hợp từ các báo cáo của các cảng tại Hải Phòng).*

Bảng 1 phản ánh tương đối toàn diện về quy mô hoạt động, loại hình khai thác và mức độ số hóa của một số DN kinh doanh cảng biển tiêu biểu trên địa bàn TP Hải Phòng. Kết quả tổng hợp từ bảng trên cho thấy quá trình CĐS tại các DN cảng biển có sự khác biệt rõ rệt. Mức độ CĐS hiện nay gắn liền với quy mô, loại hình hàng hóa và phạm vi thị trường khai thác của từng loại cảng.

*Trước hết,* với nhóm cảng có quy mô lớn, tiêu biểu là Cụm cảng Lạch Huyện (TC-HICT, Bến 3-6), thể hiện mức độ CĐS ở mức rất cao. Với năng lực tiếp nhận tàu container lên tới 150.000 DWT và công suất trên 1,1 triệu TEU/năm, các cảng này đã triển khai đồng bộ nhiều giải pháp công nghệ tiên tiến như hệ thống điều hành cảng Navis N4, ứng dụng trí tuệ nhân tạo trong nhận diện container và định hướng phát triển cảng xanh. Điều này cho thấy các DN cảng lớn không chỉ coi CĐS là công cụ nâng cao hiệu quả vận hành, mà còn là nền tảng để hội nhập chuỗi logistics quốc tế và đáp ứng các tiêu chuẩn khắt khe của thị trường xuất nhập khẩu xuyên lục địa.

*Thứ hai,* nhóm cảng quy mô trung bình, điển hình là Cảng Đình Vũ (Tân Vũ, Nam Đình Vũ, VIP Green), có mức độ số hóa được đánh giá ở mức cao. Các cảng này chủ yếu khai thác container nội địa và nội Á, với quy mô tàu từ 40.000 - 50.000 DWT và công suất khoảng 0,5 - 1,2 triệu TEU/năm. CĐS tập trung vào các hoạt động như Smart Gate, chứng từ điện tử (E-Port) và tự động hóa khâu quản lý bãi. Điều này phản ánh xu hướng lựa chọn CĐS theo hướng thực tế, tập trung vào các khâu mang lại hiệu quả tức thời trong rút ngắn thời gian thông quan và giảm chi phí vận hành.

*Thứ ba,* nhóm cảng quy mô trung bình - nhỏ như cụm cảng Sông Cấm (Hoàng Diệu, Đoạn Xá) có mức độ CĐS ở mức trung bình. Do đặc thù khai thác hàng rời và container nội địa ngắn hạn, các giải pháp số hóa chủ yếu dừng ở việc số hóa quy trình quản lý kho bãi và sử dụng cân điện tử. Việc chưa thể triển khai các hệ thống công nghệ cao phản ánh hạn chế về nguồn lực tài chính, cũng như mức độ cấp thiết của CĐS đối với mô hình kinh doanh hiện tại.

*Cuối cùng,* nhóm cảng chuyên dụng quy mô nhỏ và vừa như Cảng Xăng dầu Thượng Lý hay Cảng Vật Cách mới chỉ đạt mức cơ bản trong CĐS. Các giải pháp chủ yếu phục vụ công tác giám sát an toàn, quản lý nhập - xuất hàng hóa và hóa đơn điện tử. Điều này cho thấy CĐS tại nhóm cảng này mang tính bổ trợ, nhằm đáp ứng yêu cầu quản lý và tuân thủ quy định hơn là tạo ra lợi thế cạnh tranh vượt trội.

Như vậy, mức độ CĐS của DN cảng biển tại Hải Phòng có mối quan hệ chặt chẽ với quy mô hoạt động và loại hình khai thác. Các DN có quy mô lớn và tham gia sâu vào chuỗi logistics quốc tế thường đi đầu trong ứng dụng công nghệ số tiên tiến, trong khi các DN quy mô nhỏ và chuyên dụng triển khai CĐS ở mức độ hạn chế và mang tính chọn lọc. Đây là cơ sở thực tiễn quan trọng để nghiên cứu sâu hơn vai trò của năng lực tài chính trong thúc đẩy quá trình CĐS tại các DN kinh doanh cảng biển.

## 3. THÁCH THỨC CỦA CĐS TẠI CÁC DN KINH DOANH CẢNG BIỂN HẢI PHÒNG

Mặc dù CĐS đã và đang được triển khai ở nhiều mức độ khác nhau tại các DN kinh doanh cảng biển Hải Phòng, song thực tiễn cho thấy quá trình này vẫn đối mặt với nhiều thách thức đáng kể, xuất phát từ cả yếu tố nội tại DN lẫn bối cảnh đặc thù của ngành cảng biển.

*Thứ nhất,* sự chênh lệch lớn về năng lực tài chính giữa các DN cảng là thách thức mang tính nền tảng. Các cảng quy mô lớn như Lạch Huyện có điều kiện đầu tư đồng bộ các hệ thống công nghệ tiên tiến (TOS, AI, tự động hóa, cảng xanh), trong khi phần lớn các cảng quy mô trung bình và nhỏ chỉ có thể triển khai các giải pháp số hóa cục bộ. Chi phí đầu tư ban đầu lớn, thời gian thu hồi vốn dài và rủi ro công nghệ cao khiến nhiều DN e ngại mở rộng CĐS ở quy mô toàn diện, đặc biệt trong bối cảnh cạnh tranh gay gắt và biên lợi nhuận ngành cảng ngày càng thu hẹp.

*Thứ hai,* tính phân mảnh trong mô hình khai thác và hệ thống công nghệ đang cản trở hiệu quả của CĐS. Thực tế cho thấy, mỗi DN cảng lựa chọn một hệ thống quản lý và nền tảng số riêng, thiếu sự kết nối và tiêu chuẩn hóa giữa các cảng trong cùng khu vực Hải Phòng. Điều này làm hạn chế khả năng liên thông dữ liệu trong chuỗi logistics, gia tăng chi phí tích hợp hệ thống và làm suy giảm lợi ích lan tỏa của CĐS ở cấp độ vùng cảng.

*Thứ ba,* đặc thù loại hình hàng hóa và phương thức khai thác làm giảm động lực CĐS tại một số DN. Các cảng chuyên khai thác hàng rời, hàng lỏng hoặc hàng chuyên dụng thường có quy trình vận hành ổn định, ít biến động và mức độ chuẩn hóa cao, dẫn đến việc số hóa chỉ tập trung vào các khâu giám sát và quản lý cơ bản. Trong các trường hợp này, lợi ích kinh tế ngắn hạn của CĐS chưa thật sự rõ ràng, khiến DN chưa coi CĐS là ưu tiên chiến lược.

*Thứ tư,* hạn chế về nguồn nhân lực số và năng lực quản trị chuyển đổi là một rào cản quan trọng. Phần lớn các DN cảng biển vẫn thiếu đội ngũ nhân sự có chuyên môn sâu về công nghệ số, phân tích dữ liệu và quản trị hệ thống thông minh. Việc phụ thuộc nhiều vào nhà cung cấp công nghệ bên ngoài không chỉ làm tăng chi phí mà còn tiềm ẩn rủi ro trong vận hành, bảo trì và nâng cấp hệ

thống. Đồng thời, năng lực lãnh đạo CĐS tại một số DN còn mang tính ngắn hạn, thiên về ứng dụng công nghệ hơn là tái cấu trúc toàn diện mô hình quản trị.

*Thứ năm,* rủi ro về an toàn thông tin và bảo mật dữ liệu ngày càng trở nên nghiêm trọng trong bối cảnh số hóa sâu rộng. Việc tích hợp nhiều hệ thống điều hành cảng, hệ thống thanh toán điện tử và kết nối với các đối tác logistics làm gia tăng nguy cơ tấn công mạng và rò rỉ dữ liệu. Đối với các DN cảng biển - nơi dữ liệu liên quan trực tiếp đến dòng hàng hóa, khách hàng và an ninh chuỗi cung ứng - đây là thách thức lớn, đòi hỏi đầu tư đáng kể cho hạ tầng an ninh mạng và quy trình quản trị rủi ro số.

*Cuối cùng,* khung thể chế và cơ chế phối hợp liên ngành chưa theo kịp yêu cầu của CĐS. Mặc dù các chính sách về cảng biển thông minh và logistics số đã được ban hành, song việc triển khai trên thực tế còn thiếu sự đồng bộ giữa DN cảng, cơ quan quản lý nhà nước, hải quan và các chủ thể trong chuỗi logistics. Sự chậm trễ trong chuẩn hóa quy trình điện tử và chia sẻ dữ liệu liên ngành làm giảm hiệu quả tổng thể của các sáng kiến CĐS tại khu vực cảng biển Hải Phòng.

Từ các phân tích trên có thể khẳng định rằng, CĐS tại các DN kinh doanh cảng biển Hải Phòng không chỉ là bài toán công nghệ mà còn là bài toán về nguồn lực tài chính, năng lực quản trị, tổ chức và thể chế. Việc nhận diện đầy đủ các thách thức này là cơ sở quan trọng để xây dựng các giải pháp và chính sách phù hợp nhằm thúc đẩy quá trình CĐS theo hướng bền vững và hiệu quả hơn trong thời gian tới.

## 4. ĐỊNH HƯỚNG PHÁT TRIỂN CỦA CĐS TẠI CÁC DN KINH DOANH CẢNG BIỂN HẢI PHÒNG

Trong bối cảnh cạnh tranh ngày càng gay gắt của ngành logistics biển và yêu cầu hội nhập sâu vào chuỗi cung ứng toàn cầu, CĐS tại các DN kinh doanh cảng biển Hải Phòng cần được định hướng theo hướng chiến lược, đồng bộ và bền vững, thay vì các giải pháp đơn lẻ mang tính ngắn hạn.

*Thứ nhất,* CĐS cần được coi là chiến lược phát triển dài hạn của DN cảng biển. Các DN, đặc biệt là nhóm cảng quy mô trung bình và nhỏ cần chuyển từ tư duy số hóa từng phần sang số hóa toàn diện, gắn CĐS với tái cấu trúc mô hình quản trị, quy trình khai thác và chiến lược cạnh tranh. Trong đó, CĐS không chỉ nhằm tối ưu hóa chi phí mà còn hướng tới nâng cao chất lượng dịch vụ, độ tin cậy vận hành và khả năng kết nối chuỗi logistics.

*Thứ hai,* phát triển hệ sinh thái cảng biển số và logistics số cấp vùng là định hướng then chốt đối với khu vực Hải Phòng. Thay vì triển khai rời rạc tại từng DN, cần thúc đẩy liên thông dữ liệu giữa các cảng, DN logistics, hãng tàu, hải quan và cơ quan quản lý nhà nước thông qua các nền tảng số dùng chung. Việc chuẩn hóa dữ liệu và quy trình điện tử sẽ tạo điều kiện hình thành "cụm cảng thông minh", qua đó nâng cao hiệu quả khai thác tổng thể và năng lực cạnh tranh của toàn bộ hệ thống cảng biển Hải Phòng.

*Thứ ba,* ưu tiên đầu tư vào các công nghệ cốt lõi của cảng biển thông minh. Trong giai đoạn tới, các DN cảng cần tập trung ứng dụng các công nghệ như hệ thống điều hành cảng thế hệ mới (TOS) và tự động hóa trong quản lý bãi, điều độ tàu và kiểm soát an toàn. Đối với các cảng có năng lực tài chính hạn chế, việc lựa chọn lộ trình đầu tư theo mô-đun và từng giai đoạn sẽ giúp giảm áp lực chi phí và rủi ro công nghệ.

*Thứ tư,* nâng cao năng lực tài chính và đa dạng hóa nguồn vốn cho CĐS. Các DN cảng cần chủ động huy động nguồn lực từ nhiều kênh khác nhau như hợp tác công - tư (PPP), liên doanh với các tập đoàn logistics quốc tế hoặc tận dụng các chương trình hỗ trợ CĐS và chuyển đổi xanh của Nhà nước. Việc kết hợp mục tiêu CĐS với mục tiêu phát triển bền vững sẽ mở ra cơ hội tiếp cận các nguồn vốn ưu đãi và tài chính xanh trong tương lai.

*Thứ năm,* phát triển nguồn nhân lực số và năng lực quản trị chuyển đổi là điều kiện tiên quyết để đảm bảo thành công của CĐS. Các DN cảng cần đầu tư bài bản vào đào tạo nhân sự công nghệ, quản trị dữ liệu và an ninh mạng, đồng thời xây dựng đội ngũ lãnh đạo có tư duy số và khả năng dẫn dắt thay đổi. Sự kết hợp giữa nguồn nhân lực nội bộ và chuyên gia bên ngoài cần được thực hiện theo hướng chuyển giao tri thức, hạn chế phụ thuộc lâu dài vào nhà cung cấp công nghệ.

*Thứ sáu,* tăng cường bảo mật, an toàn thông tin và quản trị rủi ro số trong bối cảnh số hóa ngày càng sâu rộng. Định hướng phát triển CĐS trong tương lai cần đi kèm với việc xây dựng hệ thống an ninh mạng đa lớp, quy trình quản lý dữ liệu chặt chẽ và cơ chế ứng phó sự cố phù hợp với đặc thù hoạt động cảng biển - logistics, nhằm đảm bảo an toàn cho chuỗi cung ứng và uy tín của DN.

*Cuối cùng,* hoàn thiện khung thể chế và cơ chế phối hợp đa chủ thể là yếu tố hỗ trợ mang tính quyết định. Cần thúc đẩy sự phối hợp chặt chẽ giữa DN cảng, chính quyền địa phương, cơ quan quản lý chuyên ngành và các chủ thể trong chuỗi logistics để đồng bộ hóa các tiêu chuẩn kỹ thuật, quy trình điện tử và cơ chế chia sẻ dữ liệu. Đây là nền tảng quan trọng để CĐS tại các DN kinh doanh cảng biển Hải Phòng phát triển theo hướng hiệu quả, liên thông và bền vững.

Tóm lại, định hướng phát triển tương lai của CĐS tại các DN kinh doanh cảng biển Hải Phòng cần được tiếp cận một cách hệ thống, kết hợp hài hòa giữa công nghệ - tài chính - con người - thể chế. Đây không chỉ là yêu cầu cấp thiết để nâng cao hiệu quả hoạt động DN mà còn là động lực quan trọng góp phần nâng cao vị thế của hệ thống cảng biển Hải Phòng trong mạng lưới logistics quốc gia và quốc tế.

## 5. KẾT LUẬN

Bài báo đã phân tích thực trạng, những thách thức và định hướng phát triển CĐS tại các DN kinh doanh cảng biển Hải Phòng. Kết quả nghiên cứu cho thấy mức độ CĐS giữa các DN còn có sự khác biệt rõ rệt, phụ thuộc chủ yếu vào quy mô hoạt động, loại hình khai thác và năng lực tài chính. Trong khi các cảng quy mô lớn đã tiếp cận CĐS ở mức độ toàn diện và tiên tiến, phần lớn các cảng vừa và nhỏ mới dừng lại ở số hóa từng phần, thiếu tính liên thông và bền vững. Từ đó, bài báo nhấn mạnh rằng CĐS tại các DN cảng biển Hải Phòng cần được định vị như một chiến lược phát triển dài hạn, gắn với tăng cường năng lực tài chính, phát triển nguồn nhân lực số, hoàn thiện hạ tầng công nghệ và thúc đẩy liên kết trong hệ sinh thái logistics. Việc triển khai đồng bộ các định hướng này sẽ góp phần nâng cao hiệu quả hoạt động, năng lực cạnh tranh và vị thế của hệ thống cảng biển Hải Phòng trong chuỗi cung ứng quốc gia và quốc tế.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Dương, N. Đ. Chuyển đổi số cảng biển và các thách thức với nguồn nhân lực tại cảng biển khu vực Hải Phòng. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải,* 82, 2025.

[2]. Vũ, V. C. Dịch vụ logistics cảng biển ở thành phố Đà Nẵng trong bối cảnh chuyển đổi số. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng,* 21(9.2), 7-15, 2023.

[3]. Vũ Trọng Nghĩa. Chuyển đổi số tại các DN Việt Nam: Thực trạng và thách thức. Tạp chí Công thương, số 12, tr. 110-115, 2021.

[4]. Phan Phước Long, Nguyễn Thế Anh. Một số đánh giá tác động của CĐS đến các DN Việt Nam. *Đặc san phát triển kinh tế - xã hội,* số 11+12, tr. 33-37, 2021.

■Ngày nhận bài: 24/02/2026 ■Ngày sửa bài: 02/3/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 12/3/2026

# Những rào cản trong xử lý chất thải rắn xây dựng theo mô hình kinh tế tuần hoàn của TP Hà Nội

## Barriers to solid waste management in construction based on a circular economy model in Hanoi City

**> NGUYỄN PHƯƠNG CHÂM**
Khoa KT và QLXD, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội
Email: chamnp@huce.edu.vn

### TÓM TẮT

Bài báo tập trung phân tích các nhóm rào cản chủ yếu trong xử lý chất thải rắn xây dựng theo mô hình kinh tế tuần hoàn tại Hà Nội, bao gồm rào cản pháp lý, chính sách hỗ trợ, ngân sách đầu tư, hạ tầng - công nghệ và nhận thức của các chủ thể liên quan. Trên cơ sở tổng hợp tài liệu, phân tích chính sách và thực tiễn quản lý tại địa phương, bài báo làm rõ những hạn chế đang cản trở quá trình chuyển đổi sang kinh tế tuần hoàn trong lĩnh vực xây dựng, đồng thời đưa ra các hàm ý chính sách nhằm nâng cao hiệu quả xử lý chất thải rắn xây dựng và hướng tới phát triển đô thị bền vững.

**Từ khóa**: Kinh tế tuần hoàn; rào cản; xử lý chất thải rắn xây dựng.

### ABSTRACT

This paper focuses on analyzing the main barriers to the treatment of construction solid waste based on a circular economy model in Hanoi, including legal barriers, support policies, investment budgets, infrastructure and technology, and the awareness of relevant stakeholders. Based on a synthesis of literature, policy analysis, and local management practices, the paper clarifies the limitations hindering the transition to a circular economy in the construction sector, while also offering policy implications to improve the efficiency of construction solid waste treatment and promote sustainable urban development.

**Keywords:** Circular economy; barriers; construction solid waste treatment.

### 1. MỞ ĐẦU

Quá trình đô thị hóa và phát triển xây dựng mạnh mẽ của thành phố Hà Nội trong những năm gần đây đã làm gia tăng đáng kể khối lượng chất thải rắn xây dựng (CTRXD) phát sinh từ hoạt động xây mới, cải tạo và phá dỡ công trình. Trong khi đó, công tác xử lý CTRXD hiện nay vẫn chủ yếu dựa vào chôn lấp, chưa khai thác hiệu quả tiềm năng tái chế và tái sử dụng vật liệu, gây lãng phí tài nguyên và gia tăng áp lực môi trường đô thị. Kinh tế tuần hoàn (KTTH) được xem là hướng tiếp cận tất yếu nhằm thay đổi mô hình xử lý CTRXD theo hướng giảm phát sinh chất thải và tối ưu hóa vòng đời vật liệu xây dựng. Tuy nhiên, việc áp dụng mô hình này tại Hà Nội còn gặp nhiều khó khăn do tồn tại các rào cản về thể chế, nguồn lực, hạ tầng và nhận thức xã hội. Vì vậy, việc nhận diện và phân tích các rào cản trong xử lý CTRXD theo xu hướng KTTH tại Hà Nội có ý nghĩa quan trọng cả về lý luận và thực tiễn, góp phần hỗ trợ quá trình hoạch định chính sách phát triển đô thị bền vững.

### 2. KHÁI QUÁT VỀ KTTH

KTTH (Circular Economy) ngày càng được quan tâm trong bối cảnh cạn kiệt tài nguyên, biến đổi khí hậu và yêu cầu phát triển bền vững. Trên thế giới, nhiều tổ chức và học giả đã đưa ra các định nghĩa khác nhau về KTTH, phản ánh những góc nhìn đa dạng nhưng có sự thống nhất về bản chất.

Theo Ellen MacArthur Foundation (EMF), KTTH là "một hệ thống kinh tế mang tính phục hồi và tái tạo, được thiết kế nhằm duy trì giá trị của sản phẩm, vật liệu và tài nguyên ở mức cao nhất trong thời gian dài nhất, đồng thời giảm thiểu phát sinh chất thải và ô nhiễm" [19].

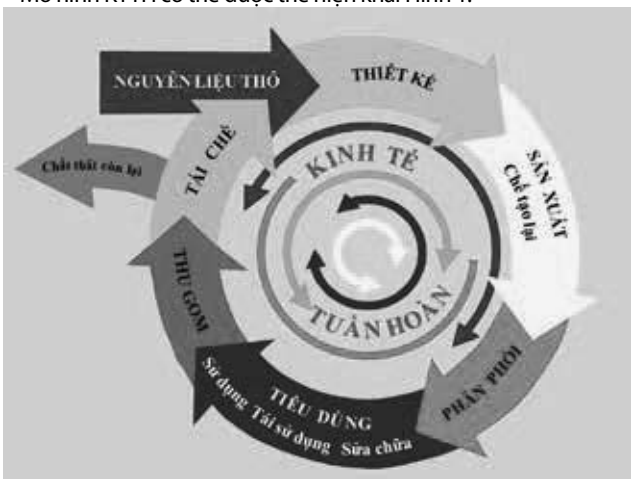
Tổ chức Hợp tác và Phát triển Kinh tế tiếp cận KTTH dưới góc độ chính sách công. OECD định nghĩa KTTH là "một mô hình kinh tế trong đó giá trị của vật liệu được duy trì trong nền kinh tế lâu nhất có thể, thông qua thiết kế sản phẩm bền hơn, kéo dài vòng đời sử dụng và cải thiện hiệu quả sử dụng tài nguyên" [21]. Định nghĩa này đặc biệt nhấn mạnh vai trò của quản trị, thể chế và chính sách trong việc thúc đẩy chuyển đổi sang KTTH.

Theo Luật Bảo vệ môi trường của Việt Nam, "KTTH là mô hình kinh tế trong đó các hoạt động thiết kế, sản xuất, tiêu dùng và dịch vụ nhằm giảm khai thác nguyên liệu, vật liệu, kéo dài vòng đời sản phẩm, hạn chế chất thải phát sinh và giảm thiểu tác động xấu đến môi trường" [1].

Từ các khái niệm trên, có thể rút ra một số đặc trưng của KTTH: Thứ nhất, KTTH hướng tới duy trì và tối đa hóa giá trị của sản phẩm, vật liệu và tài nguyên trong suốt vòng đời, từ thiết kế, sản xuất, sử dụng đến thu hồi và tái chế. Thứ hai, KTTH nhấn mạnh giảm khai thác tài nguyên và giảm phát sinh chất thải, coi chất thải là nguồn lực có thể tái sử dụng. Thứ ba, KTTH đòi hỏi cách tiếp cận mang tính hệ thống, bao trùm từ

thiết kế, sản xuất, tiêu dùng đến quản trị và chính sách. KTTH gắn chặt với mục tiêu phát triển bền vững, đồng thời tạo ra lợi ích kinh tế, xã hội và môi trường trong dài hạn.

Mô hình KTTH có thể được thể hiện khái Hình 1.




Hình 1. Mô hình áp dụng KTTH vào thực tiễn [15]

Trong bối cảnh thế giới đang đối mặt với sự cạn kiệt của các nguồn tài nguyên thiên nhiên, biến đổi khí hậu và sự gia tăng chất thải, việc áp dụng mô hình KTTH trở thành một yêu cầu tất yếu đối với phát triển kinh tế - xã hội bền vững. Mô hình kinh tế tuyến tính truyền thống (dựa trên khai thác - sản xuất - tiêu dùng - thải bỏ) đã bộc lộ nhiều hạn chế, đặc biệt là sự phụ thuộc quá lớn vào tài nguyên thiên nhiên và những tác động tiêu cực đến môi trường. Với quy mô dân số thế giới ngày càng tăng, nhu cầu tiêu dùng và sản xuất cũng ngày càng gia tăng, khiến mô hình này trở nên không còn phù hợp. Việc tái sử dụng, tái chế và tối ưu hóa vòng đời sản phẩm không chỉ giúp giảm áp lực khai thác các nguồn tài nguyên ngày càng cạn kiệt mà còn góp phần giảm phát sinh chất thải và ô nhiễm môi trường. KTTH thúc đẩy đổi mới sáng tạo trong thiết kế sản phẩm, công nghệ sản xuất và mô hình kinh doanh, từ đó nâng cao hiệu quả sử dụng tài nguyên và năng lực cạnh tranh của doanh nghiệp. Vì vậy, phát triển KTTH hiện được nhiều quốc gia coi là chiến lược phát triển và là một trong những nhiệm vụ trọng tâm.

## 3. KHÁI QUÁT VỀ CTRXD VÀ XỬ LÝ CTRXD

CTRXD phát sinh từ hoạt động xây dựng, cải tạo, sửa chữa, phá dỡ công trình và hạ tầng kỹ thuật. CTRXD có các đặc điểm sau:

- Khối lượng phát sinh lớn, khoảng 30 - 40% tổng lượng chất thải rắn đô thị ở nhiều quốc gia. Với các thành phố đang trong thời kỳ phát triển mạnh, tỷ lệ này có thể lên tới 50 - 60%.

- Thành phần đa dạng như: bê tông, gạch, đá, đất đào, vữa, gỗ, kim loại, kính, nhựa…Các loại CTRXD này phát sinh tại các giai đoạn khác nhau, có thành phần cấu tạo, kích thước khác nhau nên gây nhiều khó khăn cho việc phân loại, thu gom và tái chế.

- Khả năng tái sử dụng và tái chế tương đối cao: Nhiều loại CTRXD có thể tái chế hoặc tái sử dụng (bê tông nghiền làm vật liệu nền, kim loại tái chế, gỗ tái sử dụng). Đây là nhóm chất thải rất phù hợp với mô hình KTTH.

- Chi phí liên quan đến thu gom, vận chuyển, quản lý chiếm tỷ trọng đáng kể trong tổng chi phí dự án, nhất là đối với các dự án cải tạo, xây dựng lại.

Các phương pháp xử lý CTRXD hiện nay đang được áp dụng gồm:

- Phân loại và tái sử dụng tại nguồn. Phương pháp này có ưu điểm là giảm lượng chất thải phải vận chuyển và quản lý, giảm một phần chi phí mua nguyên vật liệu mới và hạn chế ô nhiễm từ việc nghiền/đốt nhưng cần nhân lực và thời gian để phân loại tại nguồn và số lượng CTRXD được tái sử dụng rất ít.

- Tái chế: Sử dụng máy nghiền, sàng lọc để tạo ra vật liệu tái chế từ bê tông/gạch thải, dùng làm cốt liệu tái chế cho nền đường, đệm móng, vật liệu xây dựng phụ. Phương pháp này có ưu điểm là tăng tỷ lệ tái sử dụng CTRXD nhưng lại đòi hỏi chi phí đầu tư máy móc thiết bị lớn, chất lượng cốt liệu tái chế có thể thấp hơn cốt liệu tự nhiên nếu quy trình không được quản lý chặt chẽ.

- Chôn lấp có kiểm soát. Đây là phương pháp truyền thống, chi phí thấp nhưng tốn diện tích đất lớn; dễ gây ô nhiễm nếu không có biện pháp bảo vệ môi trường và không tận dụng được tài nguyên.

- Sản xuất vật liệu mới từ CTRXD ví dụ như: sản xuất gạch không nung (AAC, gạch tái chế) từ xi măng, tro bay, cốt liệu tái chế; cái chế bê tông thành cốt liệu nhẹ…Phương pháp này góp phần giảm tiêu thụ tài nguyên và tạo giá trị gia tăng cho chất thải. Tuy nhiên, phương pháp này lại đòi hỏi một quy trình công nghệ và kiểm soát chất lượng chặt chẽ với chi phí đầu tư ban đầu cao. Bên cạnh đó, cũng cần thời gian để người tiêu dùng chấp nhận sử dụng sản phẩm tái chế.

Trong các phương pháp xử lý CTRXD nêu trên, các phương pháp phù hợp nhất với mô hình KTTH bao gồm: phân loại - tái sử dụng tại nguồn, tái chế và sản xuất vật liệu mới từ CTRXD. KTTH nhấn mạnh việc duy trì giá trị của vật liệu trong nền kinh tế càng lâu càng tốt, do đó phân loại tại nguồn đóng vai trò nền tảng vì giúp tách riêng các thành phần có khả năng tái sử dụng hoặc tái chế, giảm thất thoát tài nguyên. Tuy nhiên, hiệu quả của phương pháp này phụ thuộc lớn vào tổ chức thi công và ý thức của chủ đầu tư, nhà thầu. Trong thực tiễn, tái chế bằng công nghệ nghiền - sàng để tạo cốt liệu tái chế được xem là giải pháp khả thi và có tính ứng dụng cao, vì có thể xử lý khối lượng lớn CTRXD và thay thế một phần cốt liệu tự nhiên trong nền đường, san lấp hoặc bê tông không yêu cầu cao. Ở mức độ cao hơn, việc sản xuất vật liệu xây dựng mới như gạch không nung hoặc bê tông tái chế thể hiện rõ nhất tinh thần kinh tế tuần hoàn, do tạo ra giá trị gia tăng và hình thành chuỗi cung ứng vật liệu thứ cấp. Mặc dù các phương pháp này đòi hỏi đầu tư công nghệ và kiểm soát chất lượng nghiêm ngặt, nhưng về dài hạn chúng giúp giảm khai thác tài nguyên, giảm phát thải và thúc đẩy thị trường vật liệu tái chế. Ngược lại, chôn lấp không tạo ra vòng tuần hoàn vật liệu và làm mất đi giá trị tài nguyên tiềm năng. Vì vậy, để phù hợp với định hướng kinh tế tuần hoàn, cần ưu tiên kết hợp phân loại tại nguồn với tái chế và sản xuất vật liệu mới, đồng thời từng bước hạn chế tỷ lệ chôn lấp CTRXD.

## 4. THỰC TRẠNG XỬ LÝ CTRXD CỦA TP HÀ NỘI

TP Hà Nội có dân số khoảng 8,7 triệu người (năm 2025), diện tích khoảng 3.600 $km^2$ và mật độ dân số khoảng 2.416 người/$km^2$. Là trung tâm hành chính và văn hóa của cả nước, trong những năm gần đây Hà Nội phát triển với tốc độ rất nhanh, đặc biệt trong lĩnh vực xây dựng. Hàng loạt dự án hạ tầng, khu đô thị, đại đô thị, chung cư… liên tục được triển khai, kéo theo khối lượng CTRXD không ngừng gia tăng.

Quy hoạch quản lý chất thải rắn Thủ đô Hà Nội đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050 đã được Thủ tướng Chính phủ phê duyệt tại Quyết định số 609/QĐ-TTg ngày 25/4/2014. Theo quy hoạch này, khối lượng CTRXD phát sinh dự báo đến năm 2020 là 2.100 tấn/ngày, năm 2030 là 3.400 tấn/ngày và năm 2050 là 4.800 tấn/ngày [8]. Theo Quy hoạch Thủ đô Hà Nội thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050 được Thủ tướng Chính phủ phê duyệt tại Quyết định số 1569/QĐ-TTg ngày 12/12/2024, khối lượng CTRXD phát sinh dự báo đến năm 2025 là 2.238 tấn/ngày, năm 2030 là 2.879 tấn/ngày và năm 2050 là 4.311 tấn/ngày [10]. Trên thực tế, khối lượng CTRXD phát sinh hằng ngày có sự biến động lớn do phụ thuộc nhiều vào nhu cầu xây dựng và phá dỡ công trình theo từng giai đoạn và thời điểm.

Theo thống kê, khối lượng chất thải sinh hoạt được đưa về các khu quản lý tập trung của Thành phố trong năm 2024 trung bình 7.300 tấn/ngày. Như vậy, khối lượng chất thải sinh hoạt phát sinh là 8.395

tấn/ngày (tỷ lệ rác thải được tái sử dụng, tái chế tại nguồn thông qua các hoạt động thu gom bởi ve chai, công nhân vệ sinh hoặc đơn vị có chức năng thu gom, tái chế khoảng 15%). Do vậy khối lượng CTRXD phát sinh năm 2024 khoảng 2.098 tấn/ngày (khối lượng CTRXD phát sinh hàng ngày bằng 25% khối lượng chất thải rắn sinh hoạt phát sinh).(Đề án 2831).

Để xử lý CTRXD, hiện nay Hà Nội áp dụng các phương pháp sau:

- Chôn lấp: Vị trí bãi chôn lấp CTRXD Nguyên Khê, quy mô 4,8 ha, công suất tiếp nhận, quản lý 360 tấn/ngày, do Công ty cổ phần quản lý Chất thải xây dựng & Đầu tư phát triển Môi trường Hà Nội. Công suất chôn lấp tại bãi còn khoảng 200.000 $m^3$ (tương đương 240.000 tấn).

- Tái chế: Vị trí quản lý tái chế CTRXD tại Khu vực 6,5 ha nút giao Pháp Vân - Cầu Giẽ do Công ty CP Dịch vụ sản xuất Toàn cầu làm chủ đầu tư và vận hành từ tháng 5/2020, công suất quản lý trung bình 600 tấn/ngày, công nghệ: hệ thống máy nghiền sàng RM 70GO & RM Screem-Line CS3600.

Như vậy, tổng công suất xử lý của hai cơ sở hiện chỉ đạt khoảng 960 tấn/ngày, tương đương khoảng 46% khối lượng CTRXD phát sinh mỗi ngày của Hà Nội năm 2024. Với quy mô dân số lớn và tốc độ phát triển đô thị nhanh như hiện nay, công suất này cần được nâng cao đáng kể để có thể đáp ứng nhu cầu xử lý CTRXD ngày càng gia tăng trong những năm tới.

## 5. SỰ CẦN THIẾT PHẢI CHUYỂN ĐỔI SANG XỬ LÝ CTRXD THEO XU HƯỚNG KTTH Ở HÀ NỘI

Sự phát triển mạnh mẽ của các dự án hạ tầng, khu đô thị mới, công trình nhà ở và cải tạo, phá dỡ công trình cũ đã làm phát sinh một lượng lớn CTRXD, bao gồm đất đá đào đắp, bê tông, gạch, vật liệu xây dựng và vật liệu hoàn thiện. Tuy nhiên, công tác xử lý CTRXD tại Hà Nội hiện nay vẫn chủ yếu dựa trên phương thức chôn lấp, với mức độ tái sử dụng và tái chế còn hạn chế, dẫn đến lãng phí tài nguyên và gia tăng áp lực môi trường đô thị.

Mô hình xử lý CTRXD theo kinh tế tuyến tính truyền thống: "khai thác tài nguyên - sản xuất - sử dụng - thải bỏ", ngày càng bộc lộ nhiều bất cập trong bối cảnh Hà Nội định hướng phát triển đô thị xanh, thông minh và bền vững. Việc phụ thuộc vào khai thác tài nguyên thiên nhiên để sản xuất vật liệu xây dựng không chỉ làm gia tăng chi phí đầu vào mà còn góp phần suy giảm tài nguyên không tái tạo, gia tăng phát thải khí nhà kính và ô nhiễm môi trường. Đồng thời, quỹ đất dành cho chôn lấp chất thải tại Hà Nội ngày càng hạn hẹp, gây ô nhiễm môi trường, trong khi chi phí thu gom, vận chuyển và xử lý CTRXD có xu hướng tăng cao theo tốc độ mở rộng không gian đô thị.

Trong bối cảnh đó, chuyển đổi sang xử lý CTRXD theo hướng KTTH được xem là một yêu cầu tất yếu đối với Hà Nội. Theo cách tiếp cận của KTTH, chất thải không còn được xem là "điểm cuối" của vòng đời vật liệu mà được coi là nguồn tài nguyên thứ cấp, có thể được tái sử dụng và tái chế nhằm duy trì giá trị vật liệu trong nền kinh tế lâu nhất có thể qua việc giảm phát sinh CTRXD ngay từ khâu thiết kế, tăng cường phân loại tại nguồn và tái chế các thành phần như bê tông, gạch, đá để sử dụng làm vật liệu san lấp, vật liệu nền đường hoặc vật liệu xây dựng tái chế [1]. Cách tiếp cận này không chỉ giúp giảm khối lượng CTRXD phải chôn lấp mà còn góp phần giảm áp lực khai thác cát, đá, những tài nguyên đang bị khai thác quá mức ở khu vực phía Bắc Việt Nam.

Bên cạnh lợi ích môi trường, xử lý CTRXD theo mô hình KTTH còn mang lại những lợi ích kinh tế - xã hội đáng kể cho Hà Nội. Việc phát triển các chuỗi tái chế vật liệu xây dựng có thể thúc đẩy hình thành ngành công nghiệp môi trường, tạo thêm việc làm, đồng thời góp phần giảm chi phí vật liệu cho các dự án xây dựng. Định hướng này phù hợp với các chiến lược quốc gia và địa phương về tăng trưởng xanh, bảo vệ môi trường và thích ứng với biến đổi khí hậu, đặc biệt là Chiến lược bảo vệ môi trường quốc gia đến năm 2030, tầm nhìn 2050 [9].

## 6. MỘT SỐ RÀO CẢN TRONG XỬ LÝ CHẤT THẢI RẮN TỪ HOẠT ĐỘNG XÂY DỰNG THEO XU HƯỚNG KTTH CỦA TP HÀ NỘI

### 6.1. Nhóm rào cản liên quan đến quy định của pháp luật về xử lý CTRXD

Trong những năm gần đây, Việt Nam đã từng bước hoàn thiện khung pháp lý liên quan đến quản lý CTRXD, đặc biệt kể từ khi Luật Bảo vệ môi trường năm 2020 chính thức có hiệu lực. Hệ thống văn bản pháp luật hiện hành bao gồm Luật Bảo vệ môi trường, Luật Xây dựng, Luật Đất đai cùng nhiều nghị định và thông tư hướng dẫn, phản ánh nỗ lực của Nhà nước trong việc tăng cường kiểm soát tác động môi trường từ hoạt động xây dựng. Tuy nhiên, thực tiễn triển khai tại các dự án xây dựng cho thấy vẫn tồn tại nhiều rào cản pháp lý ảnh hưởng đáng kể đến hiệu quả quản lý CTRXD.

Một trong những rào cản nổi bật là sự phân tán và thiếu đồng bộ của hệ thống quy định pháp luật. Hoạt động quản lý CTRXD hiện chịu sự điều chỉnh đồng thời của nhiều luật chuyên ngành với phạm vi điều chỉnh và cách tiếp cận khác nhau, bao gồm Luật Bảo vệ môi trường năm 2020, Luật Xây dựng năm 2014 (sửa đổi, bổ sung năm 2020) và Luật Đất đai năm 2024. Các quy định liên quan đến phân loại, thu gom, vận chuyển và xử lý CTRXD được quy định rải rác trong nhiều văn bản, nhưng chưa được tích hợp thành một quy trình thống nhất áp dụng xuyên suốt vòng đời dự án xây dựng. Điều này dẫn đến sự lúng túng trong quá trình thực thi, đặc biệt đối với chủ đầu tư và nhà thầu khi xác định trách nhiệm pháp lý tại công trường.

Bên cạnh đó, khung pháp lý cho hoạt động tái chế và tái sử dụng CTRXD còn thiếu tính cụ thể và khả thi. Mặc dù các văn bản dưới luật như Nghị định số 08/2022/NĐ-CP và Nghị định số 05/2025/NĐ-CP đã đề cập đến yêu cầu giảm thiểu chất thải, thúc đẩy tái chế và tái sử dụng theo định hướng KTTH, song trên thực tế vẫn thiếu hệ thống tiêu chuẩn kỹ thuật, định mức kinh tế - kỹ thuật và cơ chế giá đối với sản phẩm tái chế từ CTRXD. Sự thiếu hụt này làm gia tăng rủi ro pháp lý và thị trường, khiến các doanh nghiệp xây dựng và đơn vị quản lý CTRXD chưa có đủ động lực đầu tư vào công nghệ tái chế quy mô lớn.

Ngoài ra, cơ chế phân công và phối hợp giữa các cơ quan quản lý nhà nước trong lĩnh vực xây dựng và môi trường còn chưa rõ ràng. Dù pháp luật đã quy định trách nhiệm của các cơ quan liên quan, song trong thực tế vẫn tồn tại tình trạng chồng chéo trong quản lý hoặc thiếu sự giám sát liên ngành, đặc biệt tại cấp địa phương. Hệ quả là tình trạng đổ CTRXD không đúng quy định vẫn xảy ra, nhất là tại các khu vực ven đô và những vùng đang chịu áp lực đô thị hóa nhanh.

Những hạn chế về nội dung quy định, hiệu quả thực thi và giám sát pháp luật về CTRXD cũng là một rào cản đáng kể. Mặc dù Nghị định số 45/2022/NĐ-CP đã quy định tương đối đầy đủ các chế tài xử phạt vi phạm hành chính trong lĩnh vực bảo vệ môi trường, song việc phát hiện và quản lý vi phạm trên thực tế còn gặp nhiều khó khăn do hạn chế về nguồn lực, nhân lực và công cụ giám sát. Các quy hoạch và chiến lược liên quan đến xử lý CTRXD chủ yếu mang tính định hướng vĩ mô, trong khi việc cụ thể hóa thành các cơ chế triển khai hiệu quả ở cấp dự án xây dựng còn chậm và thiếu tính đồng bộ.

Tại Hà Nội, mặc dù thành phố đã ban hành tương đối đầy đủ các văn bản nhằm tăng cường xử lý CTRXD, song thực tiễn triển khai cho thấy vẫn tồn tại nhiều rào cản đáng kể liên quan đến quy định và tổ chức thực hiện ở cấp địa phương. Các rào cản này chủ yếu xuất phát từ sự thiếu đồng bộ trong hệ thống văn bản, cơ chế phân cấp quản lý chưa rõ ràng và hạn chế trong việc lồng ghép các công cụ kinh tế vào chính sách xử lý CTRXD.

Trước hết, sự phân tán trong hệ thống văn bản quy phạm pháp luật và cơ chế phân cấp quản lý là một rào cản nổi bật. Nghị quyết số 21/2022/NQ-HĐND của Hội đồng nhân dân TP Hà Nội đã thực hiện phân cấp quản lý nhà nước đối với một số lĩnh vực kinh tế - xã hội, bao gồm cả nội dung liên quan đến môi trường và xây dựng [15]. Tuy nhiên,

trong thực tiễn, việc phân định trách nhiệm giữa các cấp chính quyền quận, huyện và xã/phường (cũ) trong xử lý CTRXD vẫn còn thiếu cụ thể. Điều này dẫn đến tình trạng chồng chéo trong giám sát hoặc bỏ trống trách nhiệm tại các khâu then chốt như kiểm soát phát sinh CTRXD tại công trường, quản lý điểm tập kết tạm thời và giám sát hoạt động vận chuyển, đổ thải.

Các quy định của TP Hà Nội hiện nay chủ yếu tập trung vào yêu cầu quản lý hành chính và quản lý vi phạm, trong khi thiếu các cơ chế khuyến khích kinh tế nhằm thúc đẩy tái chế và tái sử dụng CTRXD. Các văn bản như Quyết định số 29/2015/QĐ-UBND và các Chỉ thị số 07/CT-UBND, 08/CT-UBND của UBND TP Hà Nội đã nhấn mạnh yêu cầu đảm bảo trật tự, vệ sinh môi trường, thu gom và quản lý phế thải xây dựng [12], [13]. Tuy nhiên, các văn bản này chưa quy định rõ ràng về tiêu chuẩn kỹ thuật đối với vật liệu tái chế từ CTRXD, chưa hình thành cơ chế giá hay các ưu đãi cụ thể để khuyến khích doanh nghiệp đầu tư vào công nghệ tái chế. Sự thiếu vắng các công cụ kinh tế này làm giảm tính hấp dẫn của hoạt động tái chế, khiến CTRXD tiếp tục bị xử lý chủ yếu theo hướng chôn lấp hoặc đổ thải.

Hạn chế trong tổ chức thực hiện và phối hợp liên ngành cũng là một rào cản quan trọng. Việc UBND thành phố phải liên tục ban hành các văn bản chỉ đạo, thông báo kết luận họp liên quan đến công tác xử lý CTRXD trong những năm gần đây cho thấy hoạt động quản lý vẫn mang tính phản ứng tình huống, thay vì vận hành theo một cơ chế ổn định và dựa trên quy định rõ ràng. Điều này phản ánh những bất cập trong cả thiết kế chính sách và năng lực thực thi ở cấp địa phương.

**6.2. Nhóm rào cản liên quan đến chính sách hỗ trợ xử lý CTRXD**

Ở cấp quốc gia, Chiến lược quốc gia về quản lý tổng hợp chất thải rắn đến năm 2025, tầm nhìn đến năm 2050 đã đề ra các mục tiêu tham vọng, trong đó yêu cầu thu gom khoảng 90% CTRXD khu vực đô thị và tái chế, tái sử dụng khoảng 60% vào năm 2025. Tuy nhiên, các chính sách hỗ trợ đi kèm để hiện thực hóa các mục tiêu này, đặc biệt là đối với lĩnh vực CTRXD, vẫn còn khá hạn chế. Trên thực tế, các cơ chế ưu đãi và hỗ trợ đầu tư hiện nay chủ yếu tập trung vào quản lý chất thải rắn sinh hoạt, trong khi CTRXD với đặc thù khối lượng lớn, chi phí quản lý cao và yêu cầu công nghệ riêng, chưa được hưởng các chính sách hỗ trợ tương xứng. Việc thiếu các chính sách tài chính và ưu đãi mang tính đặc thù khiến khả năng thu hút nguồn lực từ khu vực tư nhân vào xử lý CTRXD còn yếu, làm chậm quá trình xã hội hóa lĩnh vực này.

Tại cấp địa phương, TP Hà Nội đã phê duyệt Đề án tổng thể quản lý CTRXD đến năm 2030, trong đó đề ra nhiều định hướng quan trọng như phát triển hạ tầng quản lý, huy động đầu tư tư nhân và thúc đẩy sử dụng sản phẩm tái chế từ CTRXD [11]. Thành phố cũng định hướng bắt buộc sử dụng vật liệu tái chế trong các công trình sử dụng vốn ngân sách nhà nước và khuyến khích áp dụng trong các dự án đầu tư tư nhân. Tuy nhiên, rào cản lớn nhất nằm ở việc các cơ chế hỗ trợ tài chính cụ thể, như ưu đãi thuế, hỗ trợ tín dụng hay trợ giá cho đầu tư cơ sở quản lý và tái chế CTRXD, vẫn chưa được cụ thể hóa thành các chính sách đủ mạnh. Các hình thức hỗ trợ hiện hành, chẳng hạn hỗ trợ một phần chi phí hạ tầng, đào tạo nhân lực hoặc hoạt động quảng bá, dù mang ý nghĩa khuyến khích ban đầu, song chưa đủ để bù đắp rủi ro đầu tư lớn, thời gian thu hồi vốn dài và chi phí vận hành cao của các dự án xử lý CTRXD.

Việc thiếu cơ chế giá và thị trường ổn định cho sản phẩm tái chế từ CTRXD cũng là một rào cản đáng kể. Mặc dù các văn bản chiến lược của Hà Nội đã định hướng ưu tiên sử dụng vật liệu tái chế trong các dự án công, song hiện vẫn chưa có quy định rõ ràng về ưu đãi thuế, tín dụng hay cơ chế bảo đảm đầu ra cho các sản phẩm này. Điều này làm gia tăng rủi ro thị trường, khiến các doanh nghiệp tái chế CTRXD gặp khó khăn trong tiếp cận vốn và mở rộng quy mô đầu tư.

Nhận thức và mức độ thực thi chính sách ở cấp cơ sở cũng ảnh hưởng đáng kể đến hiệu quả của các chương trình hỗ trợ. Nhiều doanh nghiệp và chủ dự án chưa nhận thấy lợi ích kinh tế trực tiếp từ các chính sách khuyến khích hiện hành, dẫn đến mức độ tham gia còn hạn chế, dù chính quyền thành phố đã tăng cường hoạt động tuyên truyền và vận động sử dụng vật liệu tái chế.

**6.3. Nhóm rào cản liên quan đến ngân sách đầu tư cho xử lý CTRXD**

Trong bối cảnh đô thị hóa nhanh và phát triển xây dựng mạnh mẽ, vấn đề ngân sách đầu tư cho xử lý CTRXD đang trở thành một điểm nghẽn tại Hà Nội. Mặc dù TP Hà Nội đã ban hành nhiều văn bản chỉ đạo và quy hoạch nhằm tăng cường xử lý CTRXD như Quyết định số 29/2015/QĐ-UBND ban hành quy định đảm bảo trật tự, an toàn và vệ sinh môi trường trong quá trình xây dựng các công trình và Chỉ thị số 07/CT-UBND về tăng cường quản lý phá dỡ, thu gom, vận chuyển, quản lý phế thải xây dựng, thực tế cho thấy nguồn lực ngân sách dành cho hoạt động này vẫn còn hạn chế và chưa tương xứng với quy mô phát sinh. Trong khi các thành phố lớn trên thế giới thường bố trí vốn cho xây dựng các bãi trung chuyển, nhà máy tái chế và dây chuyền quản lý chuyên dụng, thì Hà Nội đến nay chủ yếu dựa vào ngân sách hạn hẹp và không có chương trình đầu tư công dài và trung hạn chi tiết riêng cho CTRXD. Quy hoạch tổng thể công tác quản lý CTRXD của Hà Nội đến năm 2030, tầm nhìn đến 2050 đặt ra mục tiêu dài hạn cho hệ thống quản lý, nhưng không kèm theo kế hoạch chi tiết về bố trí ngân sách thường xuyên cho từng giai đoạn. Tình trạng này dẫn đến các dự án xử lý CTRXD thường bị xếp sau các dự án hạ tầng khác khi phân bổ vốn, ảnh hưởng đến khả năng thực thi và duy trì hiệu quả hoạt động của các điểm tập kết, bãi trung chuyển và cơ sở tái chế.

Thêm vào đó, chính sách khuyến khích đầu tư tư nhân vào xử lý CTRXD chưa rõ ràng, khiến ngân sách Nhà nước phải "gánh" phần lớn chi phí ban đầu, trong khi tiềm năng huy động vốn từ khu vực tư nhân chưa được khai thác hiệu quả. Trên thực tế, Hà Nội đã có những chính sách ưu đãi dành cho hoạt động tái chế chất thải, song các ưu đãi này chủ yếu mang tính định hướng và chưa có cơ chế cụ thể về hỗ trợ vốn, bảo lãnh tín dụng hoặc ưu đãi thuế cho những nhà đầu tư vào lĩnh vực CTRXD. Điều này khiến nguồn lực ngân sách công bị căng thẳng bởi phải gánh trọng trách vừa đầu tư cơ sở vật chất, vừa hỗ trợ các chương trình thử nghiệm và đào tạo nhân lực về xử lý chất thải.

Trong bối cảnh áp lực chi phí vận hành và duy trì hệ thống xử lý CTRXD rất lớn, các khoản hỗ trợ tài chính từ ngân sách địa phương cho hoạt động hậu đầu tư lại gần như không có. Các nguồn lực này thường phải cạnh tranh với các lĩnh vực ưu tiên khác như giáo dục, y tế và hạ tầng giao thông. Việc thiếu nguồn kinh phí ổn định khiến nhiều cơ sở xử lý CTRXD tại Hà Nội chưa thể vận hành hiệu quả, dẫn đến thực trạng ô nhiễm cục bộ tại nhiều điểm tập kết và bãi chôn lấp không đúng quy định.

**6.4. Nhóm rào cản liên quan đến hạ tầng và công nghệ xử lý CTRXD**

Một trong những rào cản lớn trong công tác xử lý CTRXD trên địa bàn Hà Nội hiện nay là sự thiếu hụt và bất cập về hạ tầng thu gom, tập kết và xử lý CTRXD, đặc biệt đối với nguồn thải phát sinh từ hoạt động cải tạo, sửa chữa và phá dỡ nhỏ lẻ của hộ gia đình, cá nhân. Do khối lượng CTRXD phát sinh từ nhóm đối tượng này không lớn và mang tính phân tán, trong khi tại nhiều phường, xã chưa được bố trí các điểm tập kết tạm thời, nên CTRXD thường bị đổ lẫn với rác sinh hoạt hoặc đổ trộm tại các khu đất trống, dải cây xanh, sông hồ và kênh mương. Thực trạng này không chỉ gây mất mỹ quan đô thị mà còn ảnh hưởng tiêu cực đến hệ thống thoát nước và làm gia tăng nguy cơ tắc nghẽn dòng chảy trong mùa mưa. Bên cạnh đó, việc chậm trễ trong rà soát, bố trí quỹ đất cho các điểm tập kết và bãi chứa tạm thời, cũng như thiếu chủ động trong quy hoạch các khu xử lý CTRXD theo phân cấp quản lý tại địa phương, cho thấy hạn chế trong triển khai thực hiện các chỉ đạo của UBND TP Hà Nội, đặc biệt là Chỉ thị số 08/CT-

UBND ngày 19/5/2017 và Văn bản số 946/UBND-ĐT ngày 01/4/2021 [5], [14].

Theo Quy hoạch quản lý chất thải rắn Thủ đô Hà Nội đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050 được phê duyệt tại Quyết định số 609/QĐ-TTg ngày 25/4/2014. Thành phố dự kiến bố trí 26 bãi đổ CTRXD với diện tích khoảng 108 ha. Tuy nhiên, phần lớn các vị trí này nằm ngoài đê hoặc trong hành lang thoát lũ, không được phép xây dựng công trình kiên cố và chỉ có thể hoạt động theo mùa (từ tháng 01 đến tháng 6 hằng năm). Điều này làm giảm đáng kể tính ổn định và hiệu quả khai thác hạ tầng, đồng thời không tạo được sức hấp dẫn đối với các nhà đầu tư xã hội hóa trong lĩnh vực xử lý CTRXD. Trên thực tế, mặc dù một số dự án khu xử lý CTRXD đã được Thành phố chấp thuận chủ trương đầu tư hoặc cho phép nghiên cứu đề xuất tại các huyện Mê Linh, Đông Anh (cũ) và Thường Tín (cũ), song quá trình chuẩn bị đầu tư và hoàn thiện thủ tục còn chậm, kéo dài do nhiều vướng mắc về pháp lý, đất đai và công nghệ, dẫn đến việc các dự án chưa thể sớm đưa vào vận hành.

Hiện nay, trên địa bàn Hà Nội chỉ có hai cơ sở xử lý CTRXD đang hoạt động, với tổng công suất trung bình khoảng 960 tấn/ngày, trong khi nhu cầu quản lý theo Quy hoạch 609 đến năm 2025 ước khoảng 2.800 tấn/ngày và đến năm 2030 khoảng 3.300 tấn/ngày. Sự chênh lệch lớn giữa công suất quản lý và lượng CTRXD phát sinh cho thấy hạ tầng và công nghệ quản lý hiện hữu chưa đáp ứng yêu cầu thực tiễn. Mặc dù mô hình quản lý, tái chế CTRXD tại khu vực nút giao Pháp Vân - Cầu Giẽ với công nghệ nghiền sàng hiện đại đã được đánh giá là bước đầu mang lại hiệu quả và được UBND TP Hà Nộicho phép gia hạn hoạt động đến hết năm 2026, song đây vẫn chỉ là giải pháp tạm thời. Việc thiếu các cơ sở quản lý ổn định, phân bố hợp lý về không gian và được đầu tư đồng bộ về công nghệ tiếp tục là rào cản lớn đối với công tác xử lý CTRXD bền vững trên địa bàn Thủ đô.

**6.5. Nhóm rào cản liên quan đến nhận thức của người dân về sử dụng vật liệu tái chế**

Chính quyền TP Hà Nội đã đặt mục tiêu đến năm 2030 dự án sử dụng vật liệu tái chế trong các công trình công cộng, đảm bảo thu gom 90% chất thải xây dựng phát sinh và thúc đẩy tiêu dùng vật liệu tái chế thay thế tài nguyên tự nhiên trong các công trình xây dựng, nhưng thực tế sự chấp nhận và tin tưởng của đông đảo người dân và chủ đầu tư vẫn còn hạn chế. Nhiều người thừa nhận lợi ích môi trường của sản phẩm tái chế nhưng vẫn nghi ngại về chất lượng sản phẩm tái chế, dẫn tới e ngại khi lựa chọn sử dụng vật liệu tái chế so với vật liệu nguyên sinh. Điều này phản ánh rõ rệt nhận thức chưa đầy đủ về chất lượng và giá trị của vật liệu tái chế - một yếu tố tâm lý ảnh hưởng trực tiếp tới quyết định mua và ứng dụng trong xây dựng.

Hơn nữa, việc thiếu các tiêu chuẩn minh bạch, thông tin rõ ràng về nguồn gốc và chất lượng vật liệu tái chế càng làm suy giảm niềm tin của người dân và chủ đầu tư. Báo cáo tại Việt Nam cho thấy thị trường sản phẩm tái chế (ví dụ: nhựa tái chế) còn lẫn lộn với sản phẩm nguyên sinh do thiếu nhãn nhận diện, gây lo ngại về an toàn và chất lượng trên thị trường tiêu dùng. Điều này tương đương với việc nếu vật liệu tái chế từ CTRXD không được phân biệt, chứng nhận rõ ràng, thì người tiêu dùng vẫn có xu hướng ưu tiên vật liệu truyền thống, kể cả khi vật liệu tái chế có lợi ích bền vững hơn về môi trường và kinh tế.

**7. KẾT LUẬN**

Xử lý CTRXD theo xu hướng KTTH tại TP Hà Nội đang chịu tác động của nhiều rào cản mang tính hệ thống. Các hạn chế về khung pháp lý và chính sách hỗ trợ, thiếu hụt nguồn lực ngân sách, bất cập về hạ tầng và công nghệ quản lý, cùng với nhận thức chưa đầy đủ của người dân và thị trường đối với vật liệu tái chế là những nguyên nhân chính cản trở việc triển khai KTTH trong lĩnh vực xây dựng. Để thúc đẩy quá trình chuyển đổi, cần có các giải pháp đồng bộ nhằm hoàn thiện cơ chế chính sách, tăng cường đầu tư cho hạ tầng xử lý CTRXD, khuyến khích sự tham gia của khu vực tư nhân và nâng cao nhận thức xã hội về lợi ích của KTTH. Việc tháo gỡ hiệu quả các rào cản này sẽ góp phần nâng cao hiệu quả xử lý CTRXD, giảm áp lực môi trường và hỗ trợ mục tiêu phát triển bền vững của Thủ đô Hà Nội trong dài hạn.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

[1] Quốc hội nước Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam, *Luật Xây dựng*, Luật số 50/2014/QH13, ngày 18/6/2014.

[2] Quốc hội nước Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam, *Luật sửa đổi, bổ sung một số điều của Luật Xây dựng*, Luật số 62/2020/QH14, ngày 17/6/2020.

[3] Quốc hội nước Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam, *Luật Bảo vệ môi trường*, Luật số 72/2020/QH14, ngày 17/11/2020.

[4] Quốc hội nước Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam, *Luật Đất đai*, Luật số 31/2024/QH15, ngày 18/01/2024.

[5] Chính phủ, *Nghị định số 08/2022/NĐ-CP ngày 10/01/2022 quy định chi tiết một số điều của Luật Bảo vệ môi trường*.

[6] Chính phủ, *Nghị định số 45/2022/NĐ-CP ngày 07/7/2022 quy định xử phạt vi phạm hành chính trong lĩnh vực bảo vệ môi trường*.

[7] Chính phủ, *Nghị định số 05/2025/NĐ-CP ngày 06/01/2025 sửa đổi, bổ sung một số điều của Nghị định số 08/2022/NĐ-CP*.

[8] Thủ tướng Chính phủ, *Quyết định số 609/QĐ-TTg ngày 25/4/2014 về việc phê duyệt Quy hoạch quản lý chất thải rắn Thủ đô Hà Nội đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050*.

[9] Thủ tướng Chính phủ, *Quyết định số 450/QĐ-TTg ngày 13/4/2022 phê duyệt Chiến lược bảo vệ môi trường quốc gia đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050*.

[10] Thủ tướng Chính phủ, *Quyết định số 1569/QĐ-TTg ngày 12/12/2024 phê duyệt Quy hoạch Thủ đô Hà Nội thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050*.

[11] UBND TP Hà Nội, *Quyết định số 2831/QĐ-UBND về việc phê duyệt Đề án "Tổng thể công tác quản lý chất thải rắn xây dựng trên địa bàn thành phố Hà Nội giai đoạn đến năm 2030"*.

[12] UBND TP Hà Nội, *Chỉ thị số 07/CT-UBND ngày 16/5/2017 về tăng cường quản lý phá dỡ, thu gom, vận chuyển, quản lý phế thải xây dựng*.

[13] UBND TP Hà Nội, *Chỉ thị số 08/CT-UBND ngày 19/5/2017 về việc tổ chức thu gom, quản lý và sử dụng hiệu quả tầng đất canh tác khi chuyển mục đích sử dụng đất nông nghiệp*.

[14] UBND TP Hà Nội, *Văn bản số 946/UBND-ĐT ngày 01/4/2021 về công tác quản lý chất thải rắn xây dựng trên địa bàn thành phố*.

[15] Hội đồng nhân dân TP Hà Nội, *Nghị quyết số 21/2022/NQ-HĐND ngày 12/9/2022 về phân cấp quản lý nhà nước một số lĩnh vực kinh tế - xã hội trên địa bàn thành phố Hà Nội*.

[16] UBND TP Hà Nội, *Thông báo số 5366/STNMT-QLCTR ngày 19/7/2023 về đánh giá hoạt động thí điểm quản lý, tái chế chất thải rắn xây dựng*.

[17] Ellen MacArthur Foundation, *Towards the Circular Economy: Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition*, Cowes, UK: Ellen MacArthur Foundation, 2013.

[18] Ellen MacArthur Foundation, *Growth Within: A Circular Economy Vision for a Competitive Europe*, Cowes, UK: Ellen MacArthur Foundation, 2015.

[19] Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), *Business Models for the Circular Economy: Opportunities and Challenges for Policy*, Paris, France: OECD Publishing, 2019, doi: 10.1787/g2g9dd62-en.

[20] United Nations Environment Programme (UNEP), *Waste Management Outlook for Asia and the Pacific*, Nairobi, Kenya: UNEP, 2019.

■Ngày nhận bài: 01/01/2026 ■Ngày sửa bài: 12/01/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 21/01/2026

# Đánh giá hiệu quả quản lý chi phí trong doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng công trình giao thông: Nghiên cứu tình huống tại TP Đà Nẵng

## Assessment of cost management performance in a transport infrastructure design consultancy: A case study in Da Nang City

> **TRẦN PHẠM TRỌNG ĐỨC[1], HUỲNH THỊ MINH TRÚC[2,*]**
[1]Công ty Cổ phần Tư vấn Đầu tư xây dựng và Phát triển Công nghệ TDIC
[2]Khoa Quản lý dự án, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng
*Email: htmtruc@dut.udn.vn

**TÓM TẮT**

Nghiên cứu này đánh giá các nhân tố ảnh hưởng đến hiệu quả quản lý chi phí tại một doanh nghiệp tư vấn thiết kế xây dựng công trình giao thông ở TP Đà Nẵng, đồng thời đề xuất các giải pháp nhằm nâng cao hiệu quả quản lý chi phí. Bảng khảo sát gồm 22 nhân tố được phân thành 5 nhóm: nhóm nhân tố nội tại của doanh nghiệp, nhóm nhân tố liên quan đến gói thầu và hợp đồng, nhóm nhân tố công nghệ - kỹ thuật, nhóm nhân tố thị trường - cạnh tranh và nhóm nhân tố chính sách - thể chế, được thiết kế theo thang đo Likert 5 mức độ. Dữ liệu thu thập từ 32 cán bộ và chuyên gia có kinh nghiệm trong công tác dự toán, tài chính và quản lý dự án tại doanh nghiệp. Kết quả cho thấy hiệu quả quản lý chi phí chịu tác động bởi cả yếu tố bên trong và bên ngoài, trong đó các nhân tố có ảnh hưởng nổi bật gồm quy trình kiểm soát, năng lực chuyên môn, loại hợp đồng và tiến độ giải ngân. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất một số giải pháp quản trị và kỹ thuật nhằm cải thiện hiệu quả quản lý chi phí tại doanh nghiệp nghiên cứu tình huống.

**Từ khóa:** Quản lý chi phí; nhân tố ảnh hưởng; hiệu quả quản lý; công ty tư vấn; đề xuất giải pháp.

**ABSTRACT**

This study evaluates the factors affecting cost management performance in a transport infrastructure design consulting company in Da Nang City and proposes practical solutions to enhance cost management effectiveness. A survey consisting of 22 factors grouped into five categories-internal organizational factors, project- and contract-related factors, technological and technical factors, market and competitive factors, and policy and institutional factors-was developed using a five-point Likert scale. Data were collected from 32 experienced staff members and specialists working in cost estimation, finance, and project management within the firm. The results indicate that cost management performance is influenced by both internal and external factors, with control procedures, professional competency, contract type, and disbursement progress emerging as the most significant determinants. Based on these findings, several managerial and technical solutions are recommended to improve cost management performance in the case-study firm.

**Keywords:** Cost management; influencing factors; enhance managemnet efficiency; consultant company; proposed solution.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong lĩnh vực tư vấn đầu tư xây dựng, đặc biệt là các doanh nghiệp hoạt động trong mảng thiết kế công trình giao thông, quản lý chi phí không chỉ đơn thuần là kiểm soát tài chính, mà còn là một phần cốt lõi trong chuỗi giá trị tạo nên hiệu quả của toàn bộ dự án. Trong điều kiện thị trường ngày càng cạnh tranh khốc liệt, chủ đầu tư ngày càng khắt khe trong việc lựa chọn đơn vị tư vấn có năng lực, việc tối ưu chi phí trở thành một lợi thế chiến lược giúp doanh nghiệp duy trì năng lực cạnh tranh và đảm bảo khả năng phát triển bền vững.

Bên cạnh đó, sự phát triển của các công nghệ mới như phần mềm lập dự toán, mô hình thông tin công trình (BIM) hay các hệ thống môi trường CDE cho ngành Xây dựng đang mở ra nhiều cơ hội để các doanh nghiệp nâng cao năng lực kiểm soát chi phí, nhưng cũng đặt ra thách thức trong việc thay đổi cách tiếp cận truyền thống, đòi hỏi phải có nền tảng lý luận và hệ thống quản trị phù hợp. Tuy nhiên, thực tế cho thấy công tác quản lý chi phí tại nhiều doanh nghiệp tư vấn hiện vẫn còn bất cập, chi phí sản xuất gián tiếp tăng nhanh, hiệu quả kiểm soát chi phí chưa đồng đều giữa các gói thầu, và thiếu sự ứng dụng công nghệ trong kiểm toán

nội bộ. Điều này ảnh hưởng trực tiếp đến lợi nhuận, hiệu quả tài chính và khả năng cạnh tranh của doanh nghiệp.

Trong bối cảnh hoạt động của các doanh nghiệp tư vấn xây dựng công trình tại TP Đà Nẵng, vấn đề quản lý chi phí ngày càng đóng vai trò then chốt khi các đơn vị phải đồng thời bảo đảm chất lượng dịch vụ tư vấn và tối ưu hóa chi phí để nâng cao hiệu quả tài chính. Điều này đặt ra yêu cầu cấp thiết cần đánh giá toàn diện hiệu quả quản lý chi phí và xác định các yếu tố chủ đạo ảnh hưởng đến kết quả tài chính của doanh nghiệp. Từ thực trạng trên, việc nghiên cứu các nhân tố ảnh hưởng và đề xuất giải pháp nâng cao hiệu quả quản lý chi phí tại các công ty tư vấn xây dựng nói chung và doanh nghiệp tình huống nói riêng là hết sức cấp thiết, nhằm giúp doanh nghiệp tối ưu nguồn lực, tăng hiệu quả hoạt động, và thích ứng tốt hơn với yêu cầu phát triển trong giai đoạn chuyển đổi số hiện nay.

## 2. TỔNG QUAN VÀ THỰC TRẠNG CÔNG TÁC QUẢN LÝ CHI PHÍ TẠI DOANH NGHIỆP TÌNH HUỐNG

### 2.1. Cơ sở lý thuyết

Căn cứ theo Nghị định số 10/2021/NĐ-CP [1] và Thông tư số 11/2021/TT-BXD [2], chi phí tư vấn đầu tư xây dựng bao gồm các khoản chi phí thực hiện các gói thầu: lập báo cáo đề xuất chủ trương đầu tư; khảo sát xây dựng và lập nhiệm vụ khảo sát; lập báo cáo nghiên cứu khả thi và thẩm tra; thiết kế bản vẽ thi công và thẩm tra thiết kế - dự toán; cùng các chi phí của các gói thầu tư vấn liên quan khác theo quy định. Phạm vi chi phí được xác định phù hợp với loại hình dự án, mức độ yêu cầu kỹ thuật và trình tự, thủ tục quản lý dự án.

Các khoản mục chi phí trong doanh nghiệp tư vấn xây dựng được chia thành ba nhóm chính: chi phí quản lý doanh nghiệp, chi phí trực tiếp và chi phí gián tiếp. Trong đó, cơ cấu chi phí trong doanh nghiệp tư vấn thiết kế được thể hiện chi tiết trong Hình 1.

Hình 1. Sơ đồ phân loại chi phí trong doanh nghiệp tư vấn xây dựng

Bên cạnh đó, các khoản mục doanh thu của các doanh nghiệp trong lĩnh vực tư vấn thiết kế xây dựng hình thành từ các khoản mục chi phí trong gói thầu tư vấn thiết kế, được dự toán và phê duyệt trong tổng mức đầu tư hoặc tổng dự toán xây dựng công trình và được quy định theo Thông tư số 12/2021/TT-BXD [3]; Thông tư số 09/2024/TT-BXD [4] và thông tư số 08/2025/TT-BXD [5].

### 2.2. Tổng quan và thực trạng tại công ty

Trong giai đoạn 2021-2024, doanh nghiệp tình huống đã triển khai nhiều gói thầu tư vấn thiết kế và lập dự án phần lớn trên địa bàn TP Đà Nẵng và tỉnh Quảng Nam trước hợp nhất. Đây là hai khu vực trọng điểm trong định hướng phát triển hoạt động sản xuất kinh doanh của công ty, đồng thời cũng là địa bàn mà doanh nghiệp có nhiều lợi thế về mạng lưới đối tác và năng lực triển khai thực tế.

Bảng 1. Tổng hợp chi phí hoạt động tại doanh nghiệp tình huống giai đoạn 2021-2024 (Đơn vị: đồng)

| Năm | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 |
|---|---|---|---|---|
| Doanh thu gói thầu | 7.014.734.711 | 10.147.526.373 | 13.124.425.439 | 11.533.185.240 |
| Chi phí quản lý | 577.878.989 | 893.822.670 | 669.493.265 | 638.794.249 |
| Chi phí sản xuất trực tiếp | 2.912.287.798 | 3.464.085.020 | 3.531.903.700 | 3.520.193.689 |
| Chi phí sản xuất gián tiếp | 3.068.134.612 | 5.316.380.629 | 7.665.029.845 | 6.525.586.163 |
| Lợi nhuận | 456.433.312 | 473.238.054 | 1.257.998.629 | 848.611.139 |
| Tỷ trọng Chi phí quản lý/ Tổng chi phí | 8,81% | 9,24% | 5,64% | 5,98% |
| Tỷ trọng Chi phí sản xuất trực tiếp / Tổng chi phí | 44,41% | 35,81% | 29,76% | 32,95% |
| Tỷ trọng Chi phí sản xuất gián tiếp / Tổng chi phí | 46,78% | 54,95% | 64,59% | 61,07% |
| Tỷ trọng tổng chi phí/ doanh thu | 93,49% | 95,34% | 90,41% | 92,64% |

Qua số liệu theo Bảng 1, giai đoạn năm 2021-2024 có sự dịch chuyển tỷ trọng giữa hai nhóm chi phí trực tiếp và gián tiếp, thể hiện xu hướng vận hành mang tính hệ thống hơn, nhưng đồng thời cũng đặt ra yêu cầu kiểm soát chặt chẽ hơn đối với các khoản chi gián tiếp, các khoản phát sinh ngoài kế hoạch và khó bóc tách cụ thể theo từng dự án. Bên cạnh đó, thực trạng 5 dự án nổi bật giai đoạn 2021-2024, góp phần có một cái nhìn tổng quan hơn về tình hình hiện tại và những hạn chế cần cải thiện của đơn vị.

## 3. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU VỀ CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN CÔNG TÁC QUẢN LÝ CHI PHÍ

### 3.1. Cơ sở nhận dạng các nhân tố

Trên cơ sở phân tích thực trạng hoạt động quản lý chi phí tại doanh nghiệp, kết hợp với việc hệ thống hóa các tài liệu lý luận và các nghiên cứu trước đó liên quan đến hiệu quả quản lý chi phí trong doanh nghiệp tư vấn xây dựng, tác giả đã tiến hành sàng lọc và tổng hợp các nhân tố có khả năng ảnh hưởng đến hiệu quả quản lý chi phí của doanh nghiệp. Các nhân tố được xác định nhằm phản ánh đầy đủ các khía cạnh từ tổ chức nội bộ đến môi trường bên ngoài, phù hợp với bối cảnh đặc thù hoạt động của doanh nghiệp. Kết quả cho thấy có 22 nhân tố được xác định, được chia thành 5 nhóm chính, thể hiện rõ mối liên hệ với hoạt động quản lý chi phí trong thực tiễn. Danh mục các nhân tố này được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Tổng hợp các yếu tố ảnh hưởng đến công tác quản lý chi phí tại doanh nghiệp

| STT | Các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu quả quản lý chi phí tại doanh nghiệp tình huống | Nguồn tham khảo |
|---|---|---|
| I | Nhân tố về tố nội tại của doanh nghiệp | |
| 1 | Trình độ chuyên môn, kinh nghiệm của kỹ sư thiết kế | Nghiên cứu [13], [17], [18], [19] |
| 2 | Tỷ lệ nhân sự chủ chốt thấp so với thuê ngoài hoặc thời vụ | Nghiên cứu [13], [17], [18], [20], [23] |
| 3 | Khả năng kiểm soát tài chính nội bộ, thiếu hụt nguồn ngân sách doanh nghiệp | Nghiên cứu [6], [7], [9], [11], [16], [17], [18], [20], [22], [23], [24] |
| 4 | Hiệu suất lao động và năng suất làm việc của nhân viên | Nghiên cứu [6], [12], [13], [14], [15], [16] |
| 5 | Chi phí phát sinh do sửa đổi và lặp lại quá trình thiết kế | Nghiên cứu [6], [9], [10], [14], [15], [16] |
| 6 | Mức độ đa dạng hóa loại hình dịch vụ tư vấn | Ý kiến chuyên gia |
| II | Nhân tố về gói thầu, dự án | |
| 7 | Ước tính thời gian thực hiện hợp đồng không phù hợp | Nghiên cứu [9], [10], [11], [13], [15], [16], [21], [22], [23], [24] |
| 8 | Tỷ suất lợi nhuận ròng từ các gói thầu | Nghiên cứu [16], [17], [21], [22] |
| 9 | Tiến độ giải ngân vốn của các gói thầu bị chậm | Nghiên cứu [6], [9], [10], [14], [15], [16], [21], [22] |
| 10 | Phụ thuộc loại hình hợp đồng trọn gói và hợp đồng đồng theo đơn giá | Nghiên cứu [14], [16], [19] |
| 11 | Rủi ro điều chỉnh nhiệm vụ, kéo dài thời gian thực hiện | Ý kiến chuyên gia |
| 12 | Khối lượng công việc điều chỉnh, bổ sung ngoài hợp đồng | Nghiên cứu [9], [10], [11], [13], [14], [15], [22] |
| III | Nhân tố về công nghệ kỹ thuật | |
| 13 | Mức độ áp dụng công nghệ số, phần mềm chuyên ngành trong thiết kế | Nghiên cứu [6], [7], [12], [13], [17], [18], [20], [22], [23], [24] |
| 14 | Chi phí sở hữu bản quyền phần mềm, thư viện thiết kế, mô hình mẫu quá lớn | Thực trạng dự án |
| 15 | Khả năng chuyển giao và cập nhật công nghệ thiết kế mới | Thực trạng dự án |
| IV | Nhân tố về thị trường và môi trường cạnh tranh | |
| 16 | Mức độ cạnh tranh giữa các đơn vị tư vấn trong khu vực | Nghiên cứu [6], [7], [12], [13], [15], [17], [18], [22], [23] |
| 17 | Biến động lãi suất ngân hàng | Thực trạng dự án; Nghiên cứu [7], [8], [9], [10], [11], [14], [15], [16], [20], [21], [23] |
| 18 | Chính sách giá của các đối thủ | Ý kiến chuyên gia |
| V | Nhân tố về chính sách và thể chế | |
| 19 | Quy trình giải ngân vốn của dự án (bao gồm công tác lập chủ trương đầu tư, lập hồ sơ thiết kế điều chỉnh,…) | Thực trạng dự án |
| 20 | Hệ số định mức chi phí theo Thông tư hiện hành chưa phản ánh đúng thực tế | Thực trạng dự án; Nghiên cứu [7], [22] |
| 21 | Quy định về thời gian, quy trình đấu thầu và thanh toán kéo dài | Thực trạng dự án |
| 22 | Sự thay đổi về các bộ luật, nghị định, thông tư và các quyết định do nhà nước ban hành | Nghiên cứu [7], [9], [14], [15], [16], [20], [22], [23] |

Căn cứ từ việc tổng hợp các nhân tố thực trạng doanh nghiệp, ý kiến chuyên gia và đối chiếu với thực tiễn quản lý chi phí tại công ty đã phản ánh đầy đủ các khâu phát sinh chi phí trong quy trình tư vấn, đồng thời làm khung tham chiếu để thiết kế thang đo và bảng hỏi khảo sát.

**3.2. Phương pháp nghiên cứu và thu thập dữ liệu**

Nghiên cứu sử dụng phương pháp phân tích - tổng hợp để nhận dạng các nhân tố ảnh hưởng đến quản lý chi phí tại doanh nghiệp. Trên cơ sở đó, bảng khảo sát được thiết kế với 22 nhân tố theo thang đo Likert 5 mức độ. Dữ liệu được thu thập từ 32 cán bộ và chuyên gia trong doanh nghiệp.

Kết quả khảo sát được xử lý bằng phần mềm SPSS 27 thông qua kiểm định độ tin cậy Cronbach's Alpha và phương pháp giá trị trung bình nhằm xác định mức độ ảnh hưởng và xếp hạng các nhân tố.

**3.3. Phân tích dữ liệu khảo sát và xếp hạng các nhân tố ảnh hưởng đến hiệu quả quản lý chi phí tại doanh nghiệp tình huống**

Nghiên cứu tuân thủ mức độ chặt chẽ của thang đo được kiểm định thông qua phương pháp hệ số tin cậy của các nhân tố Cronbach Alpha. Có 2 tiêu chuẩn cần xem xét khi kiểm định Cronbach's Alpha trên SPSS 27. Với tiêu chuẩn 1, hệ số Cronbach's Alpha của thang đo từ 0,7 trở lên, riêng với các nghiên cứu khám phá sơ bộ hệ số này từ 0,6 trở lên. Tiêu chuẩn 2, giá trị Corrected Item - Total Correlation của các biến quan sát từ 0,3 trở lên, nếu nhỏ hơn 0,3 cần xem xét loại bỏ biến quan sát đó.

Bảng 3. Kết quả kiểm định Cronbach's Alpha cho các yếu tố ảnh hưởng (biến độc lập)

| STT | Các nhân tố ảnh hưởng đến đến công tác quản lý chi phí tại doanh nghiệp tình huống | Trung bình thang đo nếu loại biến | Phương sai thang đo nếu loại biến | Tương quan biến tổng | Cronbach's Alpha nếu loại biến |
|---|---|---|---|---|---|
| I | *Nhân tố về nội tại của doanh nghiệp* | *Cronbach's Alpha* = 0.809 *(N of Items = 6)* | | | |
| 1 | Trình độ chuyên môn, kinh nghiệm của kỹ sư thiết kế. | 20.84 | 6.975 | 0.610 | 0.776 |
| 2 | Tỷ lệ nhân sự chủ chốt thấp so với thuê ngoài hoặc thời vụ. | 21.00 | 6.129 | 0.655 | 0.758 |
| 3 | Khả năng kiểm soát tài chính nội bộ, thiếu hụt nguồn ngân sách doanh nghiệp. | 20.84 | 5.491 | 0.732 | 0.737 |
| 4 | Hiệu suất lao động và năng suất làm việc của nhân viên. | 20.38 | 7.274 | 0.450 | 0.802 |
| 5 | Chi phí phát sinh do sửa đổi và lặp lại quá trình thiết kế. | 20.47 | 6.902 | 0.513 | 0.790 |
| 6 | Mức độ đa dạng hóa loại hình dịch vụ tư vấn. | 21.16 | 6.007 | 0.516 | 0.799 |
| II | *Nhân tố về gói thầu, dự án* | *Cronbach's Alpha = 0.768 (N of Items = 6)* | | | |
| 7 | Ước tính thời gian thực hiện hợp đồng không phù hợp. | 20.31 | 7.190 | 0.533 | 0.731 |
| 8 | Tỷ suất lợi nhuận ròng từ các gói thầu. | 20.16 | 6.846 | 0.563 | 0.721 |
| 9 | Tiến độ giải ngân vốn của các gói thầu bị chậm. | 20.09 | 6.410 | 0.657 | 0.695 |
| 10 | Phụ thuộc loại hình hợp đồng trọn gói và hợp đồng đồng theo đơn giá. | 20.88 | 7.726 | 0.301 | 0.785 |
| 11 | Rủi ro điều chỉnh nhiệm vụ, kéo dài thời gian thực hiện. | 20.09 | 5.959 | 0.575 | 0.720 |
| 12 | Khối lượng công việc điều chỉnh, bổ sung ngoài hợp đồng. | 19.72 | 7.499 | 0.489 | 0.742 |
| III | *Nhân tố về công nghệ kỹ thuật* | *Cronbach's Alpha = 0.728 (N of Items = 3)* | | | |
| 13 | Mức độ áp dụng công nghệ số, phần mềm chuyên ngành trong thiết kế. | 8.84 | 1.749 | 0.353 | 0.835 |
| 14 | Chi phí sở hữu bản quyền phần mềm, thư viện thiết kế, mô hình mẫu quá lớn. | 9.06 | 0.964 | 0.617 | 0.569 |
| 15 | Khả năng chuyển giao và cập nhật công nghệ thiết kế mới. | 9.03 | 0.999 | 0.751 | 0.371 |
| IV | *Nhân tố về thị trường và môi trường cạnh tranh* | *Cronbach's Alpha = 0.694 (N of Items = 3)* | | | |
| 16 | Mức độ cạnh tranh giữa các đơn vị tư vấn trong khu vực. | 8.72 | 1.305 | 0.478 | 0.642 |
| 17 | Biến động lãi suất ngân hàng. | 8.72 | 0.983 | 0.615 | 0.459 |
| 18 | Chính sách giá của các đối thủ. | 8.44 | 1.673 | 0.491 | 0.653 |
| V | *Nhân tố về chính sách và thể chế* | *Cronbach's Alpha = 0.787 (N of Items = 4)* | | | |
| 19 | Quy trình giải ngân vốn của dự án (bao gồm công tác lập chủ trương đầu tư, lập hồ sơ thiết kế điều chỉnh,…). | 12.09 | 2.604 | 0.528 | 0.769 |
| 20 | Hệ số định mức chi phí theo Thông tư hiện hành chưa phản ánh đúng thực tế. | 12.63 | 1.984 | 0.569 | 0.762 |
| 21 | Quy định về thời gian, quy trình đấu thầu và thanh toán kéo dài. | 12.78 | 1.725 | 0.803 | 0.610 |
| 22 | Sự thay đổi về các bộ luật, nghị định, thông tư và các quyết định do nhà nước ban hành. | 12.47 | 2.644 | 0.556 | 0.762 |

Từ kết quả của kiểm định hệ số Cronbach's Alpha ở Bảng 3, tổng thể các nhân tố ảnh hưởng đều lớn hơn 0,6, cho thấy các thang đo sử dụng trong nghiên cứu đạt mức độ tin cậy chấp nhận được theo tiêu chuẩn nghiên cứu định lượng [25]. Trong đó, nhóm nhân tố nội tại doanh nghiệp có hệ số cao nhất (0,809), phản ánh tính nhất quán nội tại rất tốt; các nhóm còn lại như chính sách và thể chế (0,787), gói thầu và dự án (0,768), công nghệ kỹ thuật (0,728), thị trường và môi trường cạnh tranh (0,694) đều vượt ngưỡng tối thiểu.

Trên cơ sở kết quả ở Bảng 3, nghiên cứu tiến hành phân tích thêm kết quả từ các chuyên gia, lãnh đạo của đơn vị, từ đó tiến hành tổng hợp xếp hạng nhằm thiết lập một thứ tự ưu tiên thống nhất cho toàn đơn vị. Cách làm là đối chiếu thứ hạng và giá trị trung bình của từng tiêu chí ở hai nhóm, tính giá trị trung bình tổng hợp để phản ánh mức độ đồng thuận từ đó xác định xếp hạng tổng thể cho từng nhân tố. Đồng thời, các tiêu chí ưu tiên được xác định là các tiêu chí đứng đầu danh sách tổng hợp, làm căn cứ cho phần đề xuất giải pháp. Bảng 4 trình bày kết quả sử dụng phương pháp trị trung bình theo nhóm toàn công ty, nhóm lãnh đạo, quản lý và cột tham chiếu để phản ánh mức độ đồng thuận thông qua kết quả tổng thể.

Bảng 4. Tổng quan xếp hạng mức độ quan trọng của các tiêu chí theo phương pháp trị trung bình

| Nhân tố ảnh hưởng đến quản lý chi phí tại công ty | Theo toàn công ty | | Theo lãnh đạo, quản lý | | Kết quả tổng thể | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Giá trị trung bình | Xếp hạng | Giá trị trung bình | Xếp hạng | Giá trị trung bình | Xếp hạng |
| Mức độ áp dụng công nghệ số, phần mềm chuyên ngành trong thiết kế | 4.62 | 1 | 4.67 | 1 | 4.65 | 1 |
| Quy trình giải ngân vốn của dự án (bao gồm công tác lập chủ trương đầu tư, lập hồ sơ thiết kế điều chỉnh,…) | 4.56 | 2 | 4.67 | 1 | 4.62 | 2 |
| Chính sách giá của các đối thủ | 4.50 | 4 | 4.58 | 2 | 4.54 | 3 |
| Hiệu suất lao động và năng suất làm việc của nhân viên | 4.56 | 2 | 4.50 | 3 | 4.53 | 4 |
| Khối lượng công việc điều chỉnh, bổ sung ngoài hợp đồng | 4.53 | 3 | 4.50 | 3 | 4.52 | 5 |
| Chi phí phát sinh do sửa đổi và lặp lại quá trình thiết kế | 4.47 | 5 | 4.50 | 3 | 4.49 | 6 |
| Khả năng chuyển giao và cập nhật công nghệ thiết kế mới | 4.44 | 6 | 4.50 | 3 | 4.47 | 7 |
| Chi phí sở hữu bản quyền phần mềm, thư viện thiết kế, mô hình mẫu quá lớn. | 4.41 | 7 | 4.42 | 4 | 4.42 | 8 |
| Rủi ro điều chỉnh nhiệm vụ, kéo dài thời gian thực hiện | 4.16 | 10 | 4.42 | 4 | 4.29 | 9 |
| Sự thay đổi về các bộ luật, nghị định, thông tư và các quyết định do nhà nước ban hành | 4.19 | 9 | 4.25 | 5 | 4.22 | 10 |
| Mức độ cạnh tranh giữa các đơn vị tư vấn trong khu vực | 4.22 | 8 | 4.17 | 6 | 4.20 | 11 |
| Biến động lãi suất ngân hàng | 4.22 | 8 | 4.08 | 7 | 4.15 | 12 |
| Trình độ chuyên môn, kinh nghiệm của kỹ sư thiết kế | 4.09 | 11 | 4.17 | 6 | 4.13 | 13 |
| Tiến độ giải ngân vốn của các gói thầu bị chậm | 4.16 | 10 | 4.00 | 8 | 4.08 | 14 |
| Khả năng kiểm soát tài chính nội bộ, thiếu hụt nguồn ngân sách doanh nghiệp | 4.09 | 11 | 3.92 | 9 | 4.01 | 15 |
| Tỷ suất lợi nhuận ròng từ các gói thầu | 4.09 | 11 | 3.92 | 9 | 4.01 | 15 |
| Hệ số định mức chi phí theo Thông tư hiện hành chưa phản ánh đúng thực tế | 4.03 | 12 | 3.92 | 9 | 3.98 | 16 |
| Quy định về thời gian, quy trình đấu thầu và thanh toán kéo dài. | 3.88 | 15 | 3.83 | 10 | 3.86 | 17 |
| Ước tính thời gian thực hiện hợp đồng không phù hợp | 3.94 | 13 | 3.75 | 11 | 3.85 | 18 |
| Tỷ lệ nhân sự chủ chốt thấp so với thuê ngoài hoặc thời vụ. | 3.94 | 14 | 3.75 | 11 | 3.85 | 18 |
| Mức độ đa dạng hóa loại hình dịch vụ tư vấn | 3.78 | 16 | 3.67 | 12 | 3.73 | 19 |
| Phụ thuộc loại hình hợp đồng trọn gói và hợp đồng đồng theo đơn giá. | 3.38 | 17 | 3.17 | 13 | 3.28 | 20 |

Mức độ chênh lệch thứ hạng ở các tiêu chí đứng đầu tương đối nhỏ ở 2 góc nhìn toàn đơn vị và riêng ý kiến của các chuyên gia, lãnh đạo và quản lý, thể hiện sự nhất trí về hướng can thiệp ở cấp quản trị, trong khi mức phân tán cao hơn ở nhóm thứ hạng thấp cho thấy sự khác biệt về trải nghiệm giữa các bộ phận. Như vậy, Bảng 4 cung cấp một xếp hạng tổng thể, là căn cứ trực tiếp phục vụ nghiên cứu trong việc xác định, phân tích và đề xuất giải pháp.

## 4. ĐỀ XUẤT CÁC GIẢI PHÁP NÂNG CAO HIỆU QUẢ QUẢN LÝ CHI PHÍ

Dựa trên kết quả xếp hạng Bảng 4, nghiên cứu này đề xuất các giải pháp ưu tiên gắn với các tiêu chí trọng yếu. Mỗi tiêu chí đều bao gồm mô tả mục tiêu, hành động cốt lõi và cách thức triển khai theo hướng chuẩn hóa quy trình, số hóa dữ liệu và nâng cao năng lực cá nhân và tập thể doanh nghiệp.

Đầu tiên với tiêu chí về mức độ áp dụng công nghệ số, phần mềm chuyên ngành thì ưu tiên chiến lược nâng mức số hóa toàn bộ chuỗi thiết kế. Doanh nghiệp triển khai các nền tảng mô hình hóa và phối hợp đa bộ môn (Allplan, OpenRoads Designer) đồng thời vận hành môi trường dữ liệu chung (CDE) làm môi trường chia sẻ, quản trị phiên bản. Quy trình thiết kế được chuẩn hóa bằng các template, thư viện chi tiết và dữ liệu địa hình số dùng chung để rút ngắn thời gian xử lý và giảm thiểu rủi ro. Mức độ sử dụng công nghệ được đo lường bằng tỷ lệ số hóa, số lỗi giảm nhờ mô phỏng và thời gian xử lý thay đổi. Kết quả gắn với cơ chế đào tạo đồng thời là khuyến khích để đảm bảo cải tiến liên tục và đáp ứng lộ trình BIM.

Nhằm khắc phục độ trễ và phân tán trong giải ngân vốn của dự án, công ty thiết lập cơ chế tính chi phí nhất quán dựa trên bảng lương chuyên gia theo quy định hiện hành, đồng thời hoàn thiện đầy đủ hồ sơ pháp lý ngay trong kế hoạch vốn giai đoạn lập chủ trương đầu tư. Cấu trúc phối hợp liên chức năng giữa bộ phận tài chính, kế hoạch và quản lý dự án được vận hành bằng nguyên tắc phân quyền, kiểm tra chéo và xử lý rõ ràng.

Doanh nghiệp thiết kế lại tổ chức công việc theo WBS chuẩn cho từng giai đoạn hồ sơ, gắn mốc thời hạn và trách nhiệm liên đới để loại bỏ chồng chéo. Hệ thống phần mềm lập, theo dõi tiến độ (MS

Project/Primavera hoặc giải pháp nội bộ) được dùng để điều phối nguồn lực đa dự án và trực quan hóa tình trạng thực hiện theo thời gian thực. Năng lực đội ngũ được củng cố bằng chương trình đào tạo định kỳ theo nhóm kỹ năng, bộ môn và cơ chế khuyến khích theo kết quả dự án.

Việc giảm phát sinh và bảo toàn biên lợi nhuận bằng cách lập dự toán hoặc áp dụng bảng lương chuyên gia cho mọi phần việc không có đơn giá tương ứng, kết hợp định mức hiện hành để đảm bảo cơ sở pháp lý. Quy trình xác nhận phát sinh được thực hiện song song với cập nhật thiết kế, tất cả chứng từ được phê duyệt được số hóa trên CDE nhằm tránh tồn đọng. Chất lượng đầu vào được nâng bằng khảo sát hiện đại (scan 3D, UAV, DEM) và phối hợp sớm giữa nhóm khảo sát và thiết kế để nhận diện rủi ro thay đổi. Kiểm tra chéo đa tầng và đối soát liên bộ môn trước phát hành hồ sơ là bắt buộc để hạn chế yêu cầu điều chỉnh từ bên ngoài.

Xây dựng cơ sở dữ liệu giá trúng thầu theo loại công trình, khu vực và đối thủ từ hệ thống đấu thầu quốc gia, trực quan hóa bằng Microsoft Power BI. Báo giá chuyển từ tổng hợp sang cấu phần kỹ thuật với mô hình chi phí - lợi ích theo hạng mục (nền, mặt, thoát nước, cầu, an toàn giao thông,…), tận dụng phần mềm dự toán và dữ liệu dự án tương tự để tăng tính minh bạch và linh hoạt điều chỉnh. Chiến lược thị trường ưu tiên những gói yêu cầu chất lượng và công nghệ cao phù hợp năng lực nhân sự, tránh cạnh tranh giá trực diện và hạn chế thuê ngoài gây đội chi phí.

Cuối cùng, doanh nghiệp xây dựng lộ trình áp dụng công nghệ ngắn, trung và dài hạn, đi kèm kế hoạch đầu tư hạ tầng và khấu hao thiết bị cũng như phần mềm. Toàn bộ quy trình nội bộ được chuẩn hóa theo hướng dữ liệu tích hợp (template BIM, thư viện chuẩn, quản lý phiên bản trên CDE) và liên tục cập nhật xu thế công nghệ trong lĩnh vực giao thông để duy trì lợi thế kỹ thuật và phát triển lâu dài.

## 5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã hệ thống hóa cơ sở lý luận và thực tiễn về quản lý chi phí trong doanh nghiệp tư vấn, từ đó xây dựng khung nhân tố gồm 22 tiêu chí thuộc 5 nhóm chính trên cơ sở phân tích thực trạng tại doanh nghiệp, tổng hợp các nghiên cứu trước trong và ngoài nước, đồng thời kết hợp ý kiến chuyên gia tại đơn vị. Thông qua kiểm định độ tin cậy của thang đo bằng hệ số Cronbach's Alpha và phương pháp giá trị trung bình, nghiên cứu đã xác định và xếp hạng mức độ ảnh hưởng của các nhân tố đến hiệu quả quản lý chi phí tại doanh nghiệp.

Trên cơ sở các kết quả phân tích, nghiên cứu đề xuất một số giải pháp nhằm nâng cao hiệu quả quản lý chi phí tại công ty, đồng thời xem xét tính khả thi của các giải pháp phục vụ cho lộ trình áp dụng trong thực tiễn. Trong tương lai, nghiên cứu có thể được mở rộng theo hướng so sánh giữa các doanh nghiệp trong khu vực miền Trung và áp dụng các phương pháp phân tích định lượng nâng cao như phân tích hồi quy tuyến tính (EFA) hoặc mô hình AHP nhằm định lượng mức độ tác động và xác định thứ bậc ưu tiên của các nhân tố một cách khách quan và tin cậy hơn.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO


[1] Chính phủ, *Nghị định số 10/2021/NĐ-CP về quản lý chi phí đầu tư xây dựng*, 2021.

[2] Bộ Xây dựng, *Thông tư số 11/2021/TT-BXD hướng dẫn một số nội dung xác định quản lý chi phí đầu tư xây dựng*, 2021.

[3] Bộ Xây dựng, *Thông tư số 12/2021/TT-BXD ban hành định mức xây dựng*, 2021.

[4] Bộ Xây dựng, *Thông tư số 09/2024/TT-BXD sửa đổi, bổ sung một số định mức xây dựng ban hành tại Thông tư số 12/2021/TT-BXD*, 2024.

[5] Bộ Xây dựng, *Thông tư số 08/2025/TT-BXD sửa đổi, bổ sung một số định mức xây dựng ban hành tại Thông tư số 12/2021/TT-BXD*, 2025.

[6] Nguyễn Ngọc Hào, *Nâng cao hiệu quả quản trị chi phí tại Công ty TNHH XD và TM Đông Hải*, Trường Đại học Kinh tế và Quản trị Kinh doanh, 2016.

[7] Nguyễn Diệp Thanh Hoàng, *Nâng cao hiệu quả quản lý chi phí ĐTXD tại Công ty TNHH MTV Khai thác CTTL Ninh Thuận*, Trường Đại học Thủy lợi, 2019.

[8] Vũ Quang Hòa, *Đề xuất các giải pháp nâng cao hiệu quả công tác quản lý chi phí thi công tại Công ty TNHH Đăng Mạnh*, Trường Đại học Thủy lợi, 2018.

[9] Oyolla Carren Aoko, *Factors Influencing Cost of Road Construction Projects Within Selected Urban Areas in Kenya*, University of Nairobi, 2019.

[10] Abera Legesse Yada, Fekadu Takele Yadeta, "Factors Affecting the Performance of Construction Project under Oromia Industry and Urban Development Bureau, Ethiopia", *ABC Research Alert*, Vol. 4, No. 2, 2016.

[11] Tawfiq Bashir Samo, Noor Ismail Shale, Jennifer Wangari Wairiuko, "Cost Management Practices and Performance of Roads Construction Projects in Kenya", *International Journal of Social Science and Humanities Research*, vol. 2, Issue 3, pp. 31-45, 2024.

[12] Matthew Ikuabe, Clinton Aigbavboa, Andrew Ebekozien, Peter Adekunle, Kenneth Otasowie, "Leveraging Innovative Technologies for Construction Cost Management in South Africa", *Proceedings of the 14th International Conference on Construction in the 21st Century (CITC-14)*, 2024.

[13] Semaa Hazim Najim Alani, Awss Hatim Mahmoud, "Factors Affecting the Cost Management of Iraqi Construction Firms", *Engineering, Technology & Applied Science Research*, vol. 13, no. 6, pp. 12001-12005, 2023.

[14] A. M. Faten Albtoush, S. I. Doh, Abdul Rahimi Bin Abdul Rahman, "Factors Affecting the Cost Management in Construction Projects", *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, vol. 11, Issue 1, 2020.

[15] Ibrahim Mosly, "Multivariate Analysis of Factors Influencing Construction Costs in Saudi Arabia", *Buildings*, vol. 15, Article 687, 2025.

[16] Duaa M. Alafeef, *Evaluation of the Critical Success Factors for Effective Management of Construction Projects*, Jerash Private University, 2024.

[17] Novi Sudiansyah, Tri Joko Wahyu Adi, "Factors Affecting the Competitive Advantage of Construction Companies in Indonesia", *International Journal on Livable Space*, vol. 7, no. 1, pp. 29-35, 2022.

[18] Anas Al-Kayed, Funmilayo Ebun Rotimi, Mahesh Purushothaman, Ali Ghaffarian Hoseini, "Factors Affecting Competitiveness in the Construction Industry: A Systematic Literature Review", *Proceedings of International Structural Engineering and Construction*, vol. 11, no. 2, 2024.

[19] Iryna Metoshop, "Assessment of the Level of Competitiveness of Construction Companies by Criteria", *Review of Transport Economics and Management*, Iss. 7(23), 2023.

[20] Lubabalo Flepisi, Anna Johanna Catharina Womack, Lawrence Mpele Lekhanya, "Factors Influencing the Contribution of SME Construction Firms to the Economic Growth: Evidence from Eastern Cape", *Journal of Economic and Social Development*, vol. 12, no. 1, 2025.

[21] Esmaeil Nejatyan, Hadi Sarvari, Seyed Abbas Hosseini, Hassan Javanshir, "Determining the Factors Influencing Construction Project Management Performance Improvement through Earned Value-Based Value Engineering Strategy: A Delphi-Based Survey", *Buildings*, vol. 13, Article 1964, 2023.

[22] Akhtarul Norfaiza Che Nen, Che Khairil Izam Che Ibrahim, Che Maznah Mat Isa, "Pre-construction Complexity Factors Affecting Cost Performance of Infrastructure Projects", *Green Infrastructure*, Chapter, 2024.

[23] Associate Professor, Engr., "Factors Affecting Cost of Construction in Nigeria", *International Journal of Advancement in Engineering Technology, Management and Applied Science (IJAETMAS)*, vol. 4, Issue 6, pp. 48-61, 2024.

[24] Fazal Ali Shaikh, Nasurullah Odhano, Suaathi Kaliannan, "Performance and Management of Cost in the Construction Industry", *Civil Engineering Journal*, vol. 6, no. 7, 2020.

[25] Nunnally, J.C.; Bernstein, I.H., "The Assessment of Reliability", *Psychometric Theory*, 3rd ed., pp. 248-292, 1994.

■Ngày nhận bài: 03/02/2026 ■Ngày sửa bài: 12/02/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 27/02/2026

# Ứng dụng BIM trong quản lý dự án

## Application of BIM in project management

> **NGÔ THANH THỦY[1], TRẦN VĂN TÂM[2], HUỲNH XUÂN TÍN[1,*]**
[1]Trường Đại học Giao thông vận tải
[2]Công ty CP IDECO Việt Nam
*Email: tinhx_ph@utc.edu.vn

**TÓM TẮT**

Mô hình thông tin công trình (BIM) ngày càng được thừa nhận là một công cụ quan trọng trong quản lý dự án xây dựng, đặc biệt đối với các dự án hạ tầng giao thông có quy mô lớn và mức độ phức tạp cao. Tuy nhiên, tại Việt Nam, các nghiên cứu hiện có chủ yếu tập trung vào khía cạnh kỹ thuật của BIM, trong khi việc tích hợp BIM vào quy trình quản lý dự án và phân định rõ vai trò, trách nhiệm giữa các chủ thể liên quan vẫn còn hạn chế. Bài báo đề xuất một sơ đồ quản lý BIM cho dự án hạ tầng giao thông, dựa trên việc kết hợp phương pháp RACI với các quy định pháp lý hiện hành của Việt Nam về BIM và quản lý dự án xây dựng. Sơ đồ được kiểm chứng thông qua nghiên cứu điển hình dự án nút giao An Phú tại TP.HCM. Trên cơ sở đó, bài báo phân tích cả định tính và định lượng hiệu quả áp dụng BIM, bao gồm khả năng phối hợp đa bộ môn, phát hiện và xử lý xung đột thiết kế, hỗ trợ lập tiến độ 4D, kiểm soát khối lượng và chi phí 5D, cũng như nâng cao hiệu quả quản lý thông tin thông qua môi trường dữ liệu chung (CDE). Kết quả nghiên cứu cho thấy việc áp dụng sơ đồ quản lý BIM đề xuất giúp cải thiện đáng kể tính minh bạch, khả năng phối hợp và chất lượng ra quyết định trong quản lý dự án hạ tầng. Bài báo góp phần cung cấp một khung tham chiếu thực tiễn cho việc triển khai BIM trong các dự án hạ tầng giao thông tại Việt Nam, đồng thời làm rõ vai trò của BIM như một công cụ quản lý xuyên suốt vòng đời dự án.

**Từ khóa:** BIM; quản lý dự án; nút giao thông; cầu; hầm.

**ABSTRACT**

Building Information Modeling (BIM) is increasingly recognized as a critical tool in construction project management, particularly for large-scale and complex transportation infrastructure projects. However, in Vietnam, existing studies have primarily focused on the technical aspects of BIM, while limited attention has been given to its integration into project management processes and the clear allocation of roles and responsibilities among project stakeholders. This paper proposes a BIM management framework for transportation infrastructure projects by integrating the RACI (Responsible-Accountable-Consulted-Informed) methodology with Vietnam's current legal regulations on BIM and construction project management. The proposed framework is validated through a case study of the An Phu Interchange project in Ho Chi Minh City. Based on this case, the study conducts both qualitative and quantitative analyses of BIM implementation effectiveness, including multidisciplinary coordination, clash detection and resolution, 4D schedule simulation, 5D quantity and cost control, and enhanced information management through a Common Data Environment (CDE). The findings indicate that the proposed BIM management framework significantly improves transparency, coordination efficiency, and decision-making quality in infrastructure project management. This study provides a practical reference framework for BIM implementation in transportation infrastructure projects in Vietnam and clarifies the role of BIM as an integrated management tool throughout the project lifecycle.

**Keywords:** Building information modeling (BIM); project management; interchange; bridge; tunnel.

### 1. TỔNG QUAN VÀ MỤC TIÊU NGHIÊN CỨU

Các dự án hạ tầng giao thông có quy mô lớn, mức độ phức tạp cao và sự tham gia của nhiều chủ thể trong suốt vòng đời dự án; do đó, đòi hỏi một nền tảng thông tin tích hợp để hỗ trợ phối hợp đa bộ môn và ra quyết định dựa trên dữ liệu. Trong bối cảnh đó, mô hình thông tin công trình (BIM) được thừa nhận rộng rãi như một phương pháp tiếp cận hiệu quả trong quản lý dự án xây dựng. BIM cung cấp môi trường số thống nhất, hỗ trợ quản lý thông tin xuyên suốt các giai đoạn thiết kế, thi công và vận hành, đồng thời nâng cao khả năng phát hiện sớm xung đột và lập kế hoạch tiến độ thông qua các ứng dụng 4D và 5D.

Tại Việt Nam, việc áp dụng BIM đã được thể chế hóa thông qua hệ thống văn bản pháp lý trong những năm gần đây. Luật Xây dựng năm 2014 (sửa đổi, bổ sung năm 2020) đặt nền tảng cho quản lý hoạt động xây dựng dựa trên BIM, trong khi Quyết định số 258/QĐ-TTg năm 2023 của Thủ tướng Chính phủ thúc đẩy lộ trình áp dụng BIM bắt buộc đối với các dự án sử dụng vốn đầu tư công và công trình cấp I, cấp II. Đặc biệt, Nghị định số 175/2024/NĐ-CP của Chính phủ (có hiệu lực từ ngày 30/12/2024) đã cụ thể hóa yêu cầu áp dụng BIM cho các công trình công cộng quy mô lớn, cùng với các hướng dẫn triển khai do Bộ Xây dựng ban hành tại Quyết định số 347/QĐ-BXD và 348/QĐ-BXD. Tuy nhiên, thực tiễn triển khai BIM tại Việt Nam vẫn còn hạn chế do nhận thức chưa đồng đều, thiếu hướng dẫn

thống nhất và năng lực triển khai còn hạn chế [1], cho thấy nhu cầu cấp thiết về các mô hình quản lý BIM phù hợp với điều kiện pháp lý và thực tiễn trong nước.

Nhiều nghiên cứu quốc tế đã làm rõ vai trò của BIM trong quản lý dự án, đặc biệt trong tăng cường hợp tác và quản lý dòng thông tin xuyên suốt vòng đời công trình [2], cũng như xác định các chủ đề nghiên cứu trọng tâm như tích hợp công nghệ số, phối hợp và quản lý dữ liệu BIM [3]. Tại Việt Nam, một số nghiên cứu đã đề cập đến các rào cản áp dụng BIM và khía cạnh pháp lý [1], cùng với các nghiên cứu điển hình về tích hợp BIM-GIS cho thấy hiệu quả trong lập kế hoạch và hỗ trợ ra quyết định [4], [5]. Tuy nhiên, các nghiên cứu hiện có vẫn còn phân tán, chưa tập trung sâu vào quản lý dự án giao thông quy mô lớn và chưa làm rõ mối liên hệ giữa BIM, khung pháp lý và phân công vai trò giữa các chủ thể tham gia dự án.

Từ tổng quan nghiên cứu có thể nhận thấy khoảng trống quan trọng trong việc tích hợp khung pháp lý BIM tại Việt Nam với các mô hình quản lý dự án cụ thể, đặc biệt là chuẩn hóa phân công vai trò và trách nhiệm giữa các bên theo phương pháp RACI trong dự án BIM hạ tầng giao thông. Bên cạnh đó, các nghiên cứu thực nghiệm toàn diện trên các dự án hạ tầng quy mô lớn nhằm đánh giá hiệu quả áp dụng BIM trong điều kiện thực tế vẫn còn hạn chế. Trên cơ sở đó, bài báo đề xuất một sơ đồ quản lý BIM cho dự án hạ tầng giao thông phù hợp với bối cảnh pháp lý và thực tiễn tại Việt Nam, được xây dựng theo phương pháp RACI và kiểm chứng thông qua nghiên cứu điển hình dự án nút giao An Phú tại TP.HCM.

## 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT CỦA BIM TRONG QUẢN LÝ DỰ ÁN

BIM là một quy trình quản lý thông tin xuyên suốt vòng đời công trình. Theo ISO 19650, BIM được định nghĩa là việc sử dụng bản thể hiện số dùng chung của công trình nhằm hỗ trợ các quá trình thiết kế, thi công và vận hành, làm cơ sở tin cậy cho ra quyết định. Do đó, BIM không chỉ giới hạn ở mô hình hình học 3D mà còn tích hợp các chiều dữ liệu như 4D (thời gian), 5D (chi phí) và thông tin phục vụ thi công, bảo trì. BIM tạo ra một mô hình dữ liệu tập trung, đóng vai trò "nguồn dữ liệu tin cậy duy nhất" cho toàn bộ nhóm dự án, hỗ trợ trực quan hóa, phân tích và ra quyết định dựa trên dữ liệu đồng nhất [6].

Một lợi ích cốt lõi của BIM là thúc đẩy hợp tác số hóa giữa các bên tham gia dự án thông qua việc thiết lập Môi trường Dữ liệu chung (Common Data Environment - CDE), theo các tiêu chuẩn quốc tế như ISO 19650. CDE tập trung toàn bộ dữ liệu dự án, tạo điều kiện cho phối hợp liên ngành và giảm thiểu sai sót nhờ sử dụng thống nhất mô hình và tài liệu cập nhật. Bên cạnh đó, các phương pháp mô hình tham số trong BIM hỗ trợ nhanh chóng xây dựng các phương án thiết kế và nâng cao hiệu quả ra quyết định. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng việc áp dụng BIM góp phần tăng cường phối hợp, cải thiện giao tiếp và giảm xung đột thông tin trong dự án [7].

Việc liên kết mô hình BIM với thông tin tiến độ tạo nên BIM 4D, cho phép mô phỏng trình tự và thời lượng thi công theo thời gian, từ đó nâng cao khả năng lập kế hoạch và quản lý rủi ro. BIM 4D giúp nhận diện sớm các xung đột không gian và thời gian và cải thiện theo dõi tiến độ thi công. Các nghiên cứu tổng hợp cho thấy BIM 4D nâng cao tính trực quan, chất lượng lập tiến độ và hiệu quả kiểm soát thi công [7], trong khi các nghiên cứu thực nghiệm cũng khẳng định việc tích hợp BIM vào chương trình xây dựng góp phần cải thiện chất lượng và tiến độ dự án [8].

BIM 5D mở rộng BIM sang lĩnh vực ước tính và quản lý chi phí thông qua việc tự động bóc tách khối lượng và liên kết mô hình với cơ sở dữ liệu đơn giá. Cách tiếp cận này giúp nâng cao độ chính xác và tính minh bạch của ước tính chi phí, đồng thời hỗ trợ hiệu quả cho lập ngân sách và phân bổ nguồn lực. Nghiên cứu của Hosamo và cộng sự [9] cho thấy BIM 5D giúp cải thiện đáng kể độ chính xác của dự toán và giảm chi phí phát sinh trong các dự án phức tạp. Nhờ gắn chi phí trực tiếp cho từng cấu kiện, BIM 5D cho phép theo dõi chi phí theo thời gian và đánh giá kịp thời tác động tài chính của các thay đổi thiết kế, từ đó nâng cao hiệu quả kiểm soát chi phí toàn dự án.

Một đặc trưng quan trọng của quản lý dự án dựa trên BIM là quản lý thông tin xuyên suốt vòng đời công trình. Dữ liệu BIM không chỉ phục vụ thiết kế và thi công mà còn được bàn giao cho giai đoạn vận hành và bảo trì thông qua mô hình hoàn công, hỗ trợ quản lý tài sản và bảo trì dự đoán. Các tiêu chuẩn như ISO 19650 và bộ tiêu chuẩn TCVN 14177 đã thiết lập quy trình tổ chức và quản lý dữ liệu BIM trong suốt vòng đời công trình.

Một đặc trưng quan trọng của quản lý dự án dựa trên BIM là quản lý thông tin xuyên suốt vòng đời công trình. Dữ liệu BIM không chỉ phục vụ giai đoạn thiết kế và thi công mà còn được bàn giao cho giai đoạn vận hành và bảo trì thông qua mô hình hoàn công (as-built model), hỗ trợ quản lý tài sản và bảo trì dự báo. Các tiêu chuẩn như bộ tiêu chuẩn ISO 19650 và bộ tiêu chuẩn TCVN 14177 đã thiết lập khung quy trình tổ chức và quản lý dữ liệu BIM trong suốt vòng đời công trình.

Gần đây, việc tích hợp BIM với các công nghệ như IoT và AI để hình thành mô hình song sinh số cho phép giám sát tình trạng kết cấu theo thời gian thực và nâng cao hiệu quả bảo trì. Tổng thể, BIM đóng vai trò là một nền tảng quản lý dự án tích hợp, hỗ trợ phối hợp đa bên, tối ưu hóa lập kế hoạch 4D, nâng cao độ chính xác chi phí 5D và thúc đẩy ra quyết định dựa trên dữ liệu, góp phần giảm rủi ro và chi phí trong các dự án hạ tầng.

## 3. ĐỀ XUẤT SƠ ĐỒ QUẢN LÝ BIM ÁP DỤNG CHO DỰ ÁN GIAO THÔNG VÀ HẠ TẦNG KỸ THUẬT

| Bước | Hoạt động BIM | Chủ đầu tư | Tư vấn thiết kế | Tư vấn BIM | Tư vấn thẩm tra | Nhà thầu thi công |
|---|---|---|---|---|---|---|
| B1 | Lập Yêu cầu thông tin (EIR) | A | C | R | I | I |
| B2 | Lập Kế hoạch thực hiện BIM (BEP) | A | C | R | I | I |
| B3 | Thiết lập Môi trường dữ liệu chung (CDE) | A | I | R | I | I |
| B4 | Lập mô hình BIM (LOD300) | I | C | R | I | I |
| B5 | Phối hợp mô hình, phát hiện xung đột | I | R | R | C | I |
| B6 | Thẩm tra mô hình BIM và hồ sơ thiết kế | C | C | C | R | I |
| B7 | Triển khai mô hình BIM thi công | I | C | R | I | R |
| B8 | Liên kết mô hình BIM với tiến độ (4D) | A | C | R | I | R |
| B9 | Liên kết mô hình BIM với chi phí (5D) | A | I | R | I | R |
| B10 | Bàn giao mô hình BIM hoàn công | A | I | R | C | R |

**Ghi chú:**

- Nhóm công việc lập kế hoạch BIM
- Nhóm thẩm tra, thẩm định, phê duyệt
- Nhóm thiết kế và mô hình BIM
- Nhóm công việc thi công
- A — Chịu trách nhiệm phê duyệt
- I — Chủ thể được thông báo, phải được biết thông tin
- R — Chịu trách nhiệm điều chỉnh cập nhật thiết kế
- R — Chịu trách nhiệm triển khai và tổ chức quy trình BIM
- R — Chịu trách nhiệm thẩm tra mô hình BIM và hồ sơ thiết kế
- R — Chịu trách nhiệm triển khai BIM thi công, 4D, 5D và hoàn công
- C — Được tham vấn về phạm vi, tiêu chí thẩm tra và các quyết định quản lý
- C — Tham vấn của đơn vị thiết kế để các yêu cầu BIM đúng ý đồ thiết kế.
- C — Tham vấn và hỗ trợ kỹ thuật BIM cho quá trình thẩm tra
- C — Tham vấn về mức độ và cách xử lý các xung đột BIM và mức độ phù hợp giữa mô hình BIM với thi công thực tế

Hình 1. Sơ đồ quản lý BIM áp dụng cho dự án giao thông và hạ tầng kỹ thuật

*** Đề xuất sơ đồ quản lý BIM cho dự án giao thông:**

*Mô hình quản lý BIM theo chuẩn quốc tế*

Trên thế giới, các khung quản lý BIM đều nhấn mạnh việc phân định rõ vai trò và trách nhiệm thông qua các công cụ như ma trận RACI (Responsible-Accountable-Consulted-Informed). Tiêu chuẩn ISO 19650-2 và UK BIM Framework đều quy định ma trận phân công nhiệm vụ BIM nhằm gắn kết các hoạt động quản lý thông tin với các bên liên quan. Tương tự, hướng dẫn BIM của Singapore (BCA) phân định rõ vai trò quản lý và điều phối BIM, trong đó nhấn mạnh trách nhiệm lập Kế hoạch thực hiện BIM (BEP), phối hợp đa bộ môn và kiểm soát chất lượng mô hình. Các khung này đều thống nhất vai trò trung tâm của môi trường dữ liệu chung (CDE) trong việc trao đổi và phối hợp thông tin dự án.

*Khung pháp lý Việt Nam về BIM và quản lý dự án*

Tại Việt Nam, Luật Xây dựng (sửa đổi năm 2020) cùng các văn bản hướng dẫn đã từng bước đưa BIM trở thành yêu cầu bắt buộc đối với các dự án hạ tầng quy mô lớn. Nghị định số 175/2024/NĐ-CP của Chính phủ (có hiệu lực từ ngày 30/12/2024) quy định áp dụng BIM đối với các dự án đầu tư nhóm B trở lên và các công trình xây dựng mới từ cấp II trở lên, đồng thời yêu cầu nộp hồ sơ BIM kèm theo hồ sơ thẩm định và cấp phép xây dựng. Mô hình BIM cũng được sử dụng để hỗ trợ thẩm định thiết kế và đánh giá tính nhất quán giữa mô hình và hồ sơ thiết kế đối với các công trình có cấp kỹ thuật cao. Bên cạnh đó, Quyết định số 347/2021/QĐ-BXD và 348/2021/QĐ-BXD của Bộ Xây dựng đã ban hành các hướng dẫn chi tiết về áp dụng BIM, yêu cầu lập Yêu cầu Thông tin (EIR), Kế hoạch Thực hiện BIM (BEP) và tuân thủ các quy định về quản lý thông tin theo TCVN 14177.

*Sơ đồ quản lý BIM đề xuất cho dự án giao thông*

Dựa trên các khung chuẩn và quy định trên, sơ đồ quản lý BIM đề xuất (Hình 1) áp dụng mô hình ma trận RACI cho dự án cầu-đường. Sơ đồ này phân chia vai trò cụ thể cho các bên liên quan qua các giai đoạn chính của dự án: lập kế hoạch BIM, thiết kế kỹ thuật, thi công và bàn giao. *Chủ đầu tư* và *Ban Quản lý dự án* giữ vai trò chính là chịu trách nhiệm cao nhất (A - Accountable) cho việc phê duyệt BEP, đảm bảo tuân thủ pháp lý và các quyết định chiến lược. Riêng tại bước B6, là hoạt động chuyên môn độc lập do tư vấn thẩm tra thực hiện, *Chủ đầu tư* và *Ban Quản lý dự án* không trực tiếp thực hiện thẩm tra (R - Responsible) và cũng không can thiệp vào kết luận chuyên môn (A), nhưng tham gia với tư cách bên được tham vấn về phạm vi, tiêu chí thẩm tra và các quyết định quản lý phát sinh từ kết quả thẩm tra (C - Consulted).

*Tư vấn thiết kế* có nhiệm vụ chính là phản ánh chức năng tham vấn và giải trình chuyên môn của đơn vị thiết kế nhằm bảo đảm các yêu cầu BIM, quy trình triển khai và mô hình thi công không làm sai lệch ý đồ thiết kế và vẫn phù hợp với tiêu chuẩn kỹ thuật đã được phê duyệt (C). Riêng tại bước B5, *Tư vấn thiết kế* có nhiệm vụ cùng với *Tư vấn BIM* thực hiện phối hợp mô hình, phát hiện xung đột và giải quyết xung đột (R). Tại các bước B3, B9 và B10, *Tư vấn thiết kế* là chủ thể được thông báo để nắm thông tin (I - Informed).

*Tư vấn BIM* có nhiệm vụ chính là thể hiện vai trò đơn vị thực thi kỹ thuật và điều phối trung tâm của toàn bộ quy trình BIM, chịu trách nhiệm trực tiếp tổ chức, triển khai, kiểm soát chất lượng và duy trì tính nhất quán của mô hình BIM theo EIR, BEP và tiêu chuẩn dữ liệu của dự án (R) trong các bước từ lập EIR, xây dựng BEP, thiết lập CDE, phối hợp mô hình, triển khai BIM 4D và 5D cho đến bàn giao BIM hoàn công. Ngoài ra, đối với B6, *Tư vấn BIM* cần tham vấn và hỗ trợ kỹ thuật BIM cho quá trình thẩm tra, bảo đảm việc đánh giá mô hình BIM được thực hiện đúng theo BEP, tiêu chuẩn dữ liệu và quy ước mô hình của dự án.

T*ư vấn thẩm tra* giữ vai trò R tại bước B6 (Thẩm tra mô hình và hồ sơ thiết kế), phản ánh chức năng pháp lý và chuyên môn độc lập của đơn vị thẩm tra. Vai trò này bao gồm việc kiểm tra tính đúng đắn kỹ thuật, sự tuân thủ tiêu chuẩn - quy chuẩn, mức độ nhất quán giữa mô hình BIM và hồ sơ thiết kế 2D, cũng như việc lập báo cáo thẩm tra làm căn cứ cho phê duyệt thiết kế theo quy định pháp luật Việt Nam. *Tư vấn thẩm tra* giữ vai trò C tại bước phối hợp mô hình (B5) và bàn giao BIM hoàn công (B10) nhằm thực hiện chức năng kiểm soát độc lập. Ở B5, tư vấn thẩm tra tham vấn về mức độ và cách xử lý các xung đột BIM để bảo đảm không làm sai lệch thiết kế được phê duyệt; trong khi ở B10, tư vấn thẩm tra tham vấn và xác nhận độc lập về mức độ phù hợp giữa mô hình BIM hoàn công, hồ sơ hoàn công và hiện trạng thi công thực tế. Ở các bước còn lại, *Tư vấn thẩm tra* giữ vai trò I, là chủ thể được thông báo, phải được biết thông tin.

Nhà thầu thi công thể hiện vai trò chủ thể triển khai BIM gắn với hiện trường (R). Vai trò này phản ánh chức năng trung tâm của Nhà thầu trong việc gắn mô hình BIM với hiện trường thi công, tiến độ và chi phí thực tế, đồng thời chuyển BIM từ trạng thái thiết kế sang tài sản số phục vụ vận hành và bảo trì công trình. Do hiện nay các nhà thầu tại Việt Nam chưa thực sự mạnh về BIM, nên vai trò này được chia sẻ trách nhiệm thực hiện với Tư vấn BIM. Ở các bước còn lại, *Nhà thầu* giữ vai trò I, là chủ thể được thông báo, phải được biết thông tin.

*Ưu điểm của sơ đồ đề xuất*

Sơ đồ quản lý BIM đề xuất dựa trên mô hình RACI mang lại nhiều lợi ích cho quản lý dự án hạ tầng giao thông. Trước hết, sơ đồ đáp ứng yêu cầu bắt buộc áp dụng BIM theo quy định pháp lý, đồng thời khắc phục hạn chế về năng lực BIM của tư vấn thiết kế và nhà thầu thông qua việc phân bổ hợp lý các nhiệm vụ BIM cho tư vấn BIM. Việc xác định rõ vai trò và trách nhiệm (R, A, C, I) cho từng hoạt động BIM giúp giảm chồng chéo, tránh bỏ sót công việc và nâng cao tính minh bạch trong quản lý.

Sơ đồ cũng bảo đảm tuân thủ các yêu cầu của Luật Xây dựng và Nghị định số 175/2024/NĐ-CP, bao gồm việc lập BEP, bổ nhiệm nhân sự BIM và nộp hồ sơ BIM theo quy định. Thông qua môi trường dữ liệu chung (CDE), quy trình phối hợp giữa các bên được chuẩn hóa, tạo điều kiện cho việc trao đổi thông tin hiệu quả và phát hiện sớm các vấn đề thiết kế. Ngoài ra, việc tích hợp BIM 4D và 5D hỗ trợ kiểm soát tiến độ và chi phí thông qua mô phỏng thi công và bóc tách khối lượng tự động, từ đó nâng cao độ chính xác dự toán và hiệu quả quản lý dự án hạ tầng.

## 4. ÁP DỤNG SƠ ĐỒ QUẢN LÝ BIM CHO NÚT GIAO THÔNG AN PHÚ

Dự án nút giao An Phú tại TP.HCM là một nghiên cứu điển hình về áp dụng BIM trong quản lý dự án hạ tầng giao thông quy mô lớn. Đây là một nút giao ba tầng bao gồm các hạng mục hầm, cầu cạn, cầu vượt sông và công trình phụ trợ. Ngay từ giai đoạn đầu, dự án đã xây dựng Kế hoạch thực hiện BIM (BEP), trong đó xác định rõ vai trò các bên tham gia, tiêu chuẩn dữ liệu và các sản phẩm BIM cần bàn giao.

Theo BEP, các nhiệm vụ BIM chủ yếu bao gồm thiết lập Môi trường Dữ liệu chung (CDE), xây dựng các mô hình 3D theo từng bộ môn cho hầm, cầu và đường, phối hợp mô hình để phát hiện và xử lý xung đột, cũng như liên kết mô hình với tiến độ để thực hiện mô phỏng thi công 4D. Đồng thời, BIM 5D được triển khai thông qua việc trích xuất khối lượng từ mô hình và tích hợp với phần mềm dự toán, cho phép cập nhật linh hoạt ngân sách và dòng tiền theo sự phát triển của phương án thiết kế.

*Hầm chui HC01 và HC02*

*Hiện trạng*

*Cầu vượt N1 và N2*

*Cầu bộ hành*

*Mô hình tổng hợp*

*Cầu vượt N3 và N4*

*Nút giao bằng*

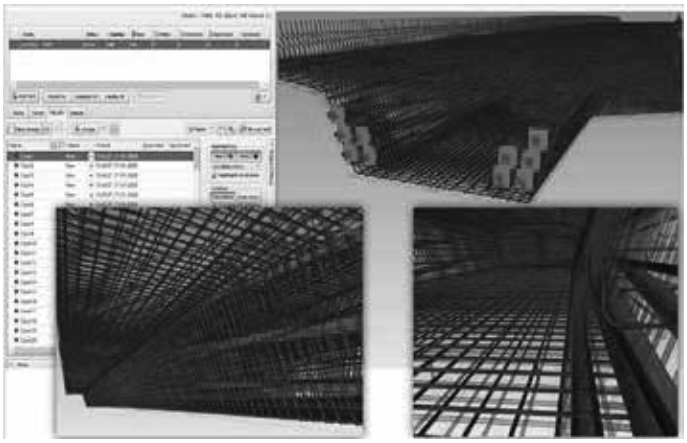
*Cầu Giồng Ông Tố*

*Cầu Bà Dạt*

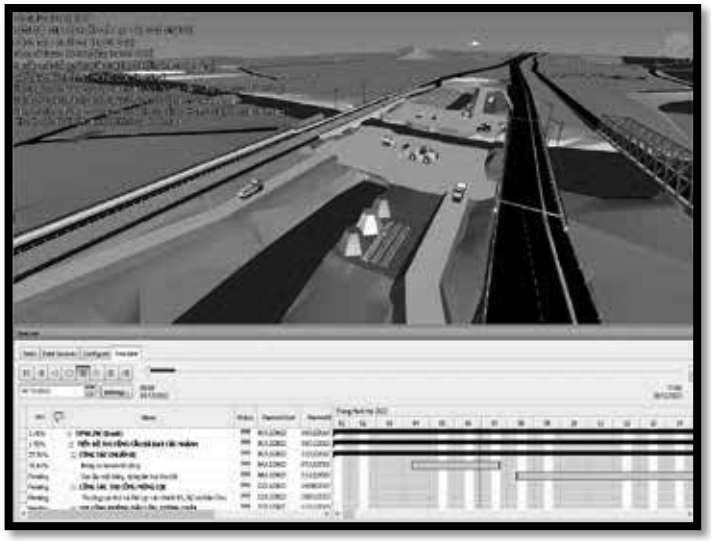
Hình 2. Mô hình tổng hợp của nút giao thông An Phú

Mô hình BIM 3D phối hợp đa bộ môn của nút giao thông An Phú (Hình 2) thể hiện đồng thời các hệ thống hầm, cầu, đường và hạ tầng kỹ thuật trong cùng một khung nhìn. Mô hình tổng hợp này minh họa cách BIM được sử dụng để đồng bộ hóa và thẩm tra công việc thiết kế giữa các nhóm chuyên ngành.

Hình 3 minh họa báo cáo phát hiện xung đột tự động trong mô hình BIM của nút giao An Phú, làm nổi bật các xung đột giữa cốt thép dự ứng lực và cốt thép thường. Kết quả này cho thấy quy trình BIM cho phép nhận diện và xử lý sớm các xung đột thiết kế trước giai đoạn thi công, qua đó góp phần nâng cao an toàn và chất lượng thiết kế.

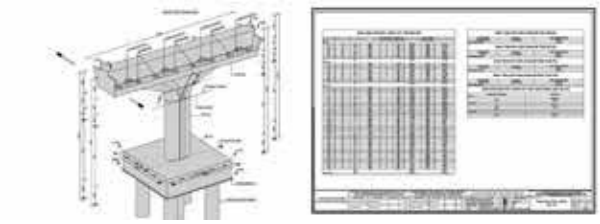


Hình 3. Kết quả phát hiện xung đột hạng mục cốt thép dự ứng lực và cốt thép thường



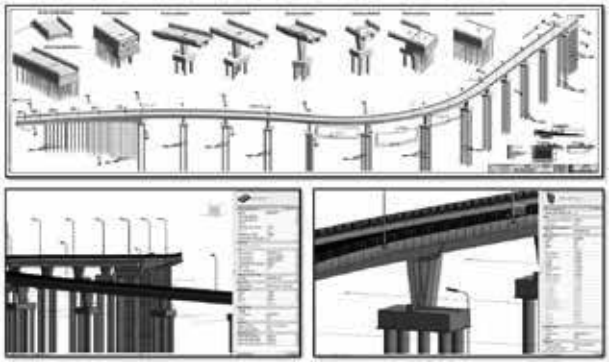
Hình 4. Mô phỏng tiến độ thi công 4D cầu Bà Dạt

Trong giai đoạn thiết kế kỹ thuật thi công, mô hình BIM 3D được liên kết với tiến độ để thực hiện mô phỏng 4D, hỗ trợ đánh giá trình tự thi công và tối ưu hóa kế hoạch làm việc. Mô phỏng 4D cho phép trực quan hóa tiến trình thi công theo thời gian và phân tích các kịch bản tiến độ khác nhau. Hình 4 minh họa một khung hình từ mô phỏng 4D của nút giao An Phú, thể hiện trình tự thi công theo kế hoạch.



Hình 5. Bóc tách khối lượng phục vụ tính toán chi phí trụ cầu dầm Supper T (BIM 5D)

Trong giai đoạn thiết kế kỹ thuật thi công, BIM 5D được áp dụng thông qua việc trích xuất khối lượng từ mô hình và liên kết với phần mềm dự toán nhằm cập nhật linh hoạt ngân sách và dòng tiền. Hình 5 minh họa bảng khối lượng bê tông và cốt thép trích xuất từ mô hình BIM, được xuất sang tệp Excel và kết nối với phần mềm dự toán, qua đó cho thấy hiệu quả của BIM 5D trong nâng cao độ chính xác và kiểm soát chi phí dự án.



Hình 6. Mô hình tham số bố trí chung cầu N3

Hình 6 minh họa mô hình BIM tham số của trụ cầu trong nút giao An Phú, trong đó các kích thước hình học như tiết diện và chiều cao trụ được kiểm soát bằng tham số. Cách tiếp cận này cho phép nhanh chóng lặp và hiệu chỉnh phương án thiết kế, đồng thời nâng cao hiệu quả mô hình hóa và tính nhất quán giữa các cấu kiện kết cấu tương tự, qua đó giảm thiểu công việc lặp lại.

Việc trao đổi thông tin BIM được duy trì thông qua các cuộc họp phối hợp định kỳ và cập nhật mô hình trên Môi trường Dữ liệu chung (CDE). Hình 7 minh họa cấu trúc thư mục CDE của dự án An Phú, cho thấy các nhóm dữ liệu chính và cơ chế quản lý tập trung. CDE cho phép lưu trữ, chia sẻ mô hình và tài liệu dự án trên một nền tảng thống nhất, đồng thời bảo đảm kiểm soát phiên bản và khả năng truy vết thông tin, qua đó hỗ trợ hiệu quả công tác phối hợp và triển khai BIM.

Việc áp dụng BIM tại dự án An Phú được triển khai theo Quyết định số 347/QĐ-BXD và 348/QĐ-BXD của Bộ Xây dựng, với sự phối hợp chặt chẽ giữa chủ đầu tư và các nhà thầu. Một điều phối viên BIM chuyên trách được chỉ định để giám sát tích hợp các mô hình chuyên ngành, hình thành mô hình liên hợp phục vụ thẩm tra thiết kế và lập kế hoạch thi công. Nhóm dự án ghi nhận BIM đã cải thiện đáng kể hiệu quả phối hợp liên ngành và giảm sai sót thiết kế. Mô hình liên hợp cũng được bàn giao cho chủ đầu tư như hồ sơ số phục vụ quản lý và bảo trì công trình trong tương lai.

Hình 7. Cấu trúc Môi trường dữ liệu chung (CDE)

## 5. KẾT QUẢ VÀ PHÂN TÍCH

Nghiên cứu điển hình tại dự án nút giao thông An Phú cho thấy hiệu quả rõ rệt của việc áp dụng BIM trong quản lý dự án hạ tầng kỹ thuật. Trong giai đoạn thiết kế, mô hình BIM tích hợp hỗ trợ phát hiện và xử lý sớm các xung đột kỹ thuật giữa các hạng mục hầm, cầu, đường và hệ thống hạ tầng kỹ thuật, cũng như giữa các hệ thống kết cấu và MEP, vượt trội so với phương pháp truyền thống. Sang giai đoạn thi công, việc tích hợp BIM với tiến độ (4D) giúp lập kế hoạch chi tiết hơn và nhận diện sớm các rủi ro về trình tự thi công, chẳng hạn như xung đột không gian giữa các nhịp cầu hoặc hoạt động của thiết bị. Đồng thời, việc triển khai BIM 5D thông qua liên kết khối lượng và chi phí cho phép bóc tách khối lượng chính xác, kiểm soát dự toán và theo dõi dòng tiền hiệu quả trong suốt vòng đời dự án.

Mô hình quản lý BIM được đề xuất, dựa trên ma trận RACI, đã góp phần làm rõ vai trò và trách nhiệm của các bên tham gia trong từng công đoạn dự án, đồng thời bảo đảm tuân thủ các quy định pháp lý hiện hành của Việt Nam (Nghị định số 175/2024/NĐ-CP; Quyết định số 347/QĐ-BXD (2021); Quyết định số 348/QĐ-BXD (2021)). Mô hình này có ý nghĩa thực tiễn trong việc cụ thể hóa các yêu cầu pháp lý về BIM thành một cấu trúc quản lý có thể áp dụng cho dự án hạ tầng. Việc triển khai Môi trường Dữ liệu chung (CDE) cho phép kiểm soát phiên bản, truy xuất thông tin thống nhất và tạo nền tảng cho bàn giao hồ sơ số hóa phục vụ công tác vận hành và bảo trì sau thi công. Trong bối cảnh đó, mô hình BIM đóng vai trò như một nguồn dữ liệu tin cậy duy nhất (single source of truth), góp phần nâng cao tính minh bạch và hỗ trợ quản lý dự án dựa trên dữ liệu thực tế.

Tuy nhiên, quá trình triển khai cũng cho thấy một số hạn chế cần được khắc phục. Sự phối hợp giữa tư vấn thiết kế và tư vấn BIM tại các bước lập mô hình và phối hợp - phát hiện xung đột còn tiêu tốn nhiều thời gian. Tương tự, hiệu quả phối hợp giữa tư vấn thiết kế và nhà thầu trong các bước triển khai BIM gắn với thi công và bàn giao chưa đạt như kỳ vọng. Nguyên nhân chủ yếu xuất phát từ việc thiếu một cơ chế điều phối đủ mạnh để gắn kết tư vấn thiết kế, tư vấn BIM và nhà thầu trong việc cùng tập trung thực hiện các nhiệm vụ BIM theo mục tiêu chung của dự án.

Hiệu quả phát hiện va chạm và xung đột trong dự án được đánh giá thông qua năm nhóm chính: (1) sai lệch kích thước cấu kiện, thể hiện sự không thống nhất hình học giữa các mặt cắt, mặt bằng và hình chiếu của cùng một cấu kiện; (2) va chạm trực tiếp giữa các cấu kiện; (3) sai lệch vị trí cấu kiện, đặc biệt là chênh lệch cao độ giữa trắc dọc thiết kế và bản vẽ chi tiết; (4) mức độ phù hợp của cốt thép, bao gồm kích thước, vị trí trong bê tông và lớp bê tông bảo vệ; và (5) sự phù hợp của biện pháp thi công, liên quan đến bố trí thiết bị và vật tư trong không gian thi công.

Kết quả xử lý các va chạm và xung đột trước khi thi công được tổng hợp trong Bảng 1, với tổng cộng 259 trường hợp được phát hiện và giải quyết trong giai đoạn thiết kế. Việc xử lý sớm các xung đột này góp phần quan trọng trong việc hoàn thiện thiết kế, hạn chế phát sinh xử lý tại hiện trường và giảm nguy cơ gián đoạn thi công, từ đó tránh các chậm trễ tiến độ. Một số xung đột điển hình bao gồm chênh lệch cao độ giữa mố và sàn giảm tải nhánh N1 sau khi tích hợp mô hình đa bộ môn; va chạm giữa hệ thống thoát nước và sàn giảm tải; cao độ hố thu nước mặt chưa phù hợp với độ dốc ngang mặt đường; cũng như các vấn đề về bố trí cốt thép như thanh thép vượt ra ngoài cấu kiện bê tông hoặc chiều dày lớp bê tông bảo vệ không đáp ứng yêu cầu thiết kế.

Các va chạm hình học lặp lại giữa lưới cốt thép dọc và ngang, mặc dù xuất hiện với số lượng lớn, được loại trừ khỏi phân tích do ít giá trị đối với điều chỉnh thiết kế và thường được xử lý hiệu quả trong giai đoạn thi công lắp đặt cốt thép.

Bảng 1. Các va chạm/xung đột được xử lý trước khi thi công

| Va chạm/xung đột | Công trình | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *Bà Dạt* | *Giồng Ông Tố* | *N1* | *N2* | *N3* | *N4* | *HC01* | *HC02* |
| *Kích thước cấu kiện* | 8 | 7 | 2 | 3 | 5 | 4 | 4 | 3 |
| *Va chạm cấu kiện* | 10 | 9 | 3 | 5 | 4 | 7 | 5 | 4 |
| *Vị trí cấu kiện* | 9 | 7 | 4 | 2 | 4 | 5 | 8 | 6 |
| *Sự phù hợp của cốt thép* | 11 | 8 | 10 | 18 | 22 | 15 | 23 | 16 |
| *Biện pháp thi công* | 1 | 1 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| **Tổng số** | 39 | 32 | 22 | 30 | 36 | 29 | 41 | 30 |

## 6. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Nghiên cứu này làm rõ vai trò của BIM như một công cụ quản lý dự án tích hợp, đặc biệt phù hợp với các dự án hạ tầng giao thông có quy mô lớn và mức độ phức tạp cao. Trên cơ sở tổng hợp lý thuyết về BIM trong quản lý dự án, thông lệ quốc tế và hệ thống quy định pháp lý hiện hành của Việt Nam, bài báo đã đề xuất một sơ đồ quản lý BIM dựa trên phương pháp RACI nhằm chuẩn hóa việc phân định vai trò và trách nhiệm của các chủ thể tham gia dự án.

Việc kiểm chứng thông qua nghiên cứu điển hình dự án nút giao An Phú tại TP.HCM cho thấy sơ đồ quản lý BIM đề xuất mang lại những lợi ích rõ rệt trong quản lý dự án. Về mặt định tính, BIM góp phần nâng cao hiệu quả phối hợp đa bộ môn, hỗ trợ phát hiện và xử lý sớm các xung đột thiết kế, cải thiện công tác lập kế hoạch và mô phỏng tiến độ thi công (4D), đồng thời tăng cường tính minh bạch trong quản lý khối lượng và chi phí (5D). Việc thiết lập môi trường dữ liệu chung (CDE) giúp cải thiện trao đổi thông tin, rút ngắn thời gian xử lý các yêu cầu thông tin (RFI) và hỗ trợ ra quyết định dựa trên dữ liệu.

Bên cạnh các kết quả định tính, việc đề xuất và bước đầu áp dụng các chỉ tiêu định lượng, như tỷ lệ xử lý xung đột, cho thấy tiềm năng của BIM trong việc nâng cao chất lượng ra quyết định và giảm rủi ro trong quá trình triển khai dự án hạ tầng. Kết quả nghiên cứu khẳng định rằng BIM không chỉ là một công cụ mô hình hóa kỹ thuật, mà cần được tích hợp chặt chẽ vào quy trình quản lý dự án và gắn với khung pháp lý hiện hành để phát huy đầy đủ hiệu quả.

Từ các kết quả đạt được, bài báo kiến nghị rằng đối với chủ đầu tư và ban quản lý dự án, BIM cần được xác định là một công cụ quản lý chính thức ngay từ giai đoạn chuẩn bị dự án, thông qua việc xây dựng yêu cầu thông tin (EIR), phê duyệt kế hoạch thực hiện BIM (BEP) và tổ chức môi trường dữ liệu chung (CDE) phù hợp với quy định pháp lý. Đồng thời, các đơn vị tư vấn và nhà thầu thi công cần tăng cường năng lực triển khai BIM theo hướng tích hợp, chú trọng phối hợp mô hình, mô phỏng tiến độ 4D, quản lý khối lượng và chi phí 5D, cũng như cập nhật mô hình BIM hoàn công phục vụ công tác vận hành và bảo trì công trình.

**Lời cảm ơn:** Cảm ơn Công ty Cổ phần IDECO Việt Nam và Công ty TNHH Kỹ thuật và Công nghệ V7 đã hỗ trợ cho nghiên cứu này.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. T. Huynh-Xuan, N. Bui, T. Ngo-Thanh, D. T. Nguyen, A. Nguyen và L. Nguyen, "*Adopting Construction 4.0 to Promote Sustainability in the Mekong Delta of Vietnam: A Fuzzy Delphi Study*," Journal of Industrial and Production Engineering, vol. 41, no. 4, pp. 380-396, Apr. 2024, doi:10.1080/21681015.2024.2315942.

[2]. A. Salzano, M. Intignano, C. Mottola, S. A. Biancardo, M. Nicolella và G. Dell'Acqua, "*Systematic Literature Review of Open Infrastructure BIM*," Buildings, vol. 13, no. 7, p. 1593, Jun. 2023, doi:10.3390/buildings13071593.

[3]. Z. Ye, M. F. Antwi-Afari, A. Tezel và P. Manu, "*Building information modeling (BIM) in project management: a bibliometric and science mapping review*," Engineering, Construction and Architectural Management, vol. 32, no. 5, pp. 3078-3103, 2025, doi:10.1108/ECAM-04-2023-0355.

[4]. N. T. Thủy và H. X. Tín, "*Ứng dụng BIM cho công tác chế tạo cấu kiện bê tông cốt thép đúc sẵn*," Tạp chí Xây dựng, số 04/2025, ISSN 2734-9888, pp. 148-151, 2025.

[5]. N. T. Thủy và H. X. Tín, "*Ứng dụng BIM-AR cho công trình cầu*," Tạp chí Giao thông vận tải, vol. 64, no. 12, pp. 93-95, 2024.

[6]. European Federation of Engineering Consultancy Associations (EFCA), *BIM and ISO 19650 from a project management perspective*: Booklet on ISO Standard 19650 - Information management using building information modelling, Jul. 2019.

[7]. I. U. Rehman, K. M. Mazher and I. Y. Wuni, "*Systematic review of 4D BIM benefits in construction projects*," Results in Engineering, vol. 28, p. 107091, Dec. 2025, doi:10.1016/j.rineng.2025.107091.

[8]. P. Farnood Ahmadi and M. Arashpour, "*An analysis of 4D-BIM construction planning: Advantages, risks and challenges*," in *Proc. 37th Int. Symp. Automation and Robotics in Construction (ISARC 2020)*, 2020, pp. 163-170.

[9]. H. H. Hosamo, C. N. Rolfsen, F. Zeka, S. Sandbeck, S. Said and M. A. Sætre, "*Navigating the adoption of 5D Building Information Modeling: Insights from Norway*," Infrastructures, vol. 9, no. 4, p. 75, Apr. 2024, doi:10.3390/infrastructures9040075.

■Ngày nhận bài: 03/02/2026 ■Ngày sửa bài: 12/02/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 27/02/2026

# Phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến chậm thanh toán trong dự án nhà cao tầng tại TP Hồ Chí Minh bằng mô hình SEM

## Analyzing factors affecting payment delays in high-Rise building projects in Ho Chi Minh City using SEM

> **PHAN VĂN TOÀN[1], NGUYỄN VĂN GIANG[2,*]**
[1]HVCH Lớp 23SXD31, Viện Đào tạo Sau Đại học, Trường Đại học Công nghệ TP.HCM
[2]Khoa Xây dựng, Trường Đại học Công nghệ TP.HCM
[*]Email: nv.giang@hutech.edu.vn

**TÓM TẮT**

Nghiên cứu này phân tích các nhân tố tác động đến chậm thanh toán cho nhà thầu liên danh trong các dự án nhà cao tầng tại TP.HCM, dựa trên 250 phiếu khảo sát và các kỹ thuật EFA, CFA và SEM. Mô hình SEM cho thấy mức độ phù hợp rất tốt với dữ liệu (CMIN/df = 2,155; GFI = 0,914; CFI = 0,934; TLI = 0,918; RMSEA = 0,068, SRMR=0,056) và giải thích được khoảng 94,8% biến thiên về mức độ chậm thanh toán. Kết quả khẳng định ba nhóm yếu tố chính gồm Chủ đầu tư (CDT), Nhà thầu liên danh (NTLD) và Hợp đồng pháp lý (HDPL) đều có tác động dương và có ý nghĩa thống kê rất cao (p < 0,001) đến chậm thanh toán, trong đó yếu tố từ CDT có ảnh hưởng lớn nhất. Nghiên cứu khuyến nghị tăng cường năng lực tài chính và rút ngắn, minh bạch quy trình phê duyệt - giải ngân của CDT; nâng cao quản trị tài chính nội bộ, chất lượng hồ sơ và chuẩn hóa quy trình nghiệm thu - thanh toán trong nội bộ NTLD; đồng thời hoàn thiện khung hợp đồng và cơ chế pháp lý để giảm rủi ro tranh chấp và cải thiện hiệu quả thanh toán. Các kết quả này cung cấp bằng chứng thực nghiệm hữu ích cho công tác quản lý dự án và hoạch định chính sách trong lĩnh vực xây dựng nhà cao tầng tại các đô thị lớn.

**Từ khóa:** Chậm thanh toán; nhà thầu liên danh; nhà cao tầng; SEM; TP.HCM.

**ABSTRACT**

This study analyzes the factors affecting delayed payments to joint-venture contractors in high-rise building projects in Ho Chi Minh City, based on 250 survey responses and the application of EFA, CFA, and SEM techniques. The SEM model demonstrates very good fit to the data (CMIN/df = 2.155; GFI = 0.914; CFI = 0.934; TLI = 0.918; RMSEA = 0.066; SRMR = 0.056) and explains approximately 94.8% of the variance in the level of payment delay. The results confirm that three main groups of factors - the Client (CDT), the Joint-Venture Contractor (NTLD), and the Legal Contract (HDPL) - all have positive and highly statistically significant impacts (p < 0.001) on payment delays, with client-related factors exerting the strongest effect. The study recommends strengthening the client's financial capacity and shortening and increasing the transparency of approval-disbursement procedures; improving internal financial management, documentation quality, and standardizing internal inspection-payment procedures within joint-venture contractors; and at the same time refining contract structures and legal mechanisms to reduce dispute risks and enhance payment efficiency. These findings provide useful empirical evidence for project management and policy-making in the high-rise construction sector in major urban areas.

**Keywords:** Payment delay, joint-venture contractor, high-rise building, SEM, Ho Chi Minh City.

### 1. GIỚI THIỆU CHUNG

Trong bối cảnh đô thị hóa nhanh tại TP.HCM, các công trình nhà cao tầng đóng vai trò quan trọng trong việc mở rộng không gian sống và làm việc, góp phần nâng cao chất lượng hạ tầng đô thị và thúc đẩy phát triển kinh tế - xã hội. Sự phát triển ngày càng tăng của các dự án nhà cao tầng phản ánh xu hướng hiện đại hóa và quy mô hóa của thành phố năng động này.

Do tính chất quy mô lớn và yêu cầu kỹ thuật cao, các dự án nhà cao tầng thường được triển khai thông qua hình thức NTLD, nhằm phân bổ nguồn lực, giảm thiểu rủi ro vàđảm bảo tiến độ cũng như chất lượng công trình. Tuy nhiên, tình trạng thanh toán chậm đang trở thành rào cản lớn, ảnh hưởng nghiêm trọng đến dòng tiền và hoạt động kinh doanh của nhà thầu. Theo khảo sát của Hiệp hội Nhà thầu Xây dựng Việt Nam (VACC), 100% nhà thầu đều chịu tác động

do nợ đọng trong các dự án xây dựng. Tại TP.HCM, 1/3 số dự án gặp khó khăn về mặt nguồn lực tài chính khiến tình trạng nợ đọng càng thêm phức tạp.

Theo báo cáo chuyên sâu của Rabbet (2024) và phân tích của PBMares (2024), chi phí phát sinh do chậm thanh toán hiện ước tính chiếm khoảng 14% tổng chi phí xây dựng, buộc các nhà thầu phải tăng biên độ giá dự thầu thêm khoảng 11-16% nhằm bù đắp rủi ro tài chính, đồng thời kéo theo hệ lụy nghiêm trọng khi có tới khoảng 87% doanh nghiệp ghi nhận tình trạng chậm tiến độ hoặc thậm chí phải tạm ngừng thi công do thiếu hụt dòng tiền.

Đối với NTLD, việc thanh toán chậm còn ảnh hưởng trực tiếp đến tiến độ thi công, làm giảm chất lượng công trình và gia tăng nguy cơ tranh chấp hợp đồng, từ đó khiến quá trình phối hợp và quản lý dự án phức tạp hơn. Vì vậy, việc nhận diện và phân tích các yếu tố gây chậm thanh toán trong bối cảnh liền kề này là cấp thiết, nhằm xây dựng các giải pháp nâng cao hiệu quả quản lý tài chính và cải thiện tình hình thanh toán trong các dự án lớn tại TP.HCM.

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Mô hình nghiên cứu và nguồn gốc biến

Bộ biến nghiên cứu được xây dựng theo một quy trình tổng hợp rõ ràng, đảm bảo tính đại diện và độ tin cậy cao khi khảo sát các yếu tố ảnh hưởng đến hiện tượng chậm thanh toán trong các dự án nhà cao tầng tại TP.HCM. Việc xây dựng danh mục biến được thực hiện qua ba giai đoạn:

(i) Tổng quan có hệ thống tài liệu học thuật quốc tế và báo cáo chuyên ngành; (ii) Phân tích thực tiễn các dự án nhà cao tầng đã triển khai; (iii) Phỏng vấn các chuyên gia gồm chủ đầu tư, tổng thầu/nhà thầu liên danh, tư vấn giám sát, chuyên gia pháp lý/tài chính cùng đại diện cơ quan quản lý.

Kết quả tiền khảo sát thu được danh mục 14 biến quan sát phân bổ thành ba nhóm chính: (1) yếu tố từ CDT, (2) yếu tố từ NTLD, và (3) yếu tố HDPL.

Bảng 1. Các yếu tố ảnh hưởng đến tình trạng chậm thanh toán cho NTLD

| Nhóm | Mã hóa | Yếu tố ảnh hưởng |
|---|---|---|
| Yếu tố từ Chủ đầu tư (CDT) | CDT1 | Năng lực tài chính và khả năng huy động vốn của CĐT (khả năng thanh toán, dòng tiền). |
| | CDT2 | Quy trình phê duyệt, giải ngân vốn kéo dài. |
| | CDT3 | CĐT giữ lại khoản thanh toán (bảo lưu/ giữ lại cuối hợp đồng). |
| | CDT4 | Thay đổi thiết kế/ phát sinh khối lượng do yêu cầu CĐT. |
| | CDT5 | Tranh chấp do CDT về chất lượng hoặc phạm vi công việc. |
| Yếu tố từ Nhà thầu liên danh (NTLD) | NTLD1 | Không hợp lệ hồ sơ thanh toán, thiếu giấy tờ chứng minh; sai sót khi lập hồ sơ. |
| | NTLD2 | Năng lực quản lý tài chính nội bộ yếu (dòng tiền, kế toán dự án). |
| | NTLD3 | Sai lệch trong xác nhận khối lượng giữa các thành viên liên danh. |
| | NTLD4 | Không tuân thủ thủ tục, biểu mẫu thanh toán hoặc quy trình nghiệm thu. |
| | NTLD5 | Khó khăn huy động vốn vay ngắn hạn (tạm ứng, tín dụng cầu nối). |
| Yếu tố Hợp đồng pháp lý (HDPL) | HDPL1 | Điều khoản hợp đồng thiếu rõ ràng (quy định giá trị, tiến độ, điều kiện thanh toán). |
| | HDPL2 | Thủ tục nghiệm thu, quyết toán rườm rà, kéo dài. |
| | HDPL3 | Thiếu chế tài pháp lý/ cơ chế đảm bảo thanh toán (bảo lãnh, đảm bảo quỹ). |
| | HDPL4 | Tranh chấp dây chuyền giữa các bên liên quan (nhà thầu phụ, nhà cung cấp). |

### 2.2. Quy trình nghiên cứu

Nghiên cứu được thực hiện qua sáu bước liên tiếp để đảm bảo tính hệ thống, minh bạch và khả năng tái lập:

**Bước 1 - Xây dựng và thẩm định bộ biến**

Tổng hợp biến tuân thủ chặt chẽ quy trình tổng quan tài liệu, rà soát thực tiễn dự án và thẩm định thông qua phỏng vấn chuyên gia. Danh mục biến đảm bảo phù hợp với thực tế và đặc thù môi trường dự án nhà cao tầng tại TP.HCM

**Bước 2 - Thiết kế bảng hỏi và thu thập dữ liệu**

Bảng hỏi gồm: Phần A - Thông tin chung; Phần B - Đánh giá mức độ ảnh hưởng của các yếu tố theo thang Likert 5 bậc; Phần C - Mức độ chậm thanh toán.

Bảng 2. Thang đo Likert 5 bậc

| Điểm số | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| **Mức độ tác động** | Không ảnh hưởng | Ít ảnh hưởng | Có ảnh hưởng | Ảnh hưởng lớn | Ảnh hưởng rất lớn |
| **Mức độ chậm thanh toán** | Hoàn toàn không đồng ý | Không đồng ý | Không có ý kiến | Đồng ý | Hoàn toàn đồng ý |

Phương pháp lấy mẫu được kết hợp giữa chủ đích và thuận tiện, phân bổ vai trò kiểm soát để đảm bảo tính đại diện các nhóm liên quan (NTLD, CDT, tư vấn, chuyên gia).

**Bước 3 - Tiền xử lý dữ liệu và kiểm định độ tin cậy**

Tiền xử lý dữ liệu bao gồm kiểm tra tính hợp lệ của các bảng trả lời khảo sát, xử lý dữ liệu bị thiếu bằng cách loại bỏ toàn bộ bản trả lời nếu tỷ lệ ô trống dưới 5%, hoặc áp dụng các kỹ thuật ước lượng thay thế giá trị khi cần thiết; đồng thời kiểm tra các giá trị ngoại lệ và các sai lệch có thể gây thiên lệch kết quả. Trước phân tích đa biến, thống kê mô tả (mean, SD) từng biến và kiểm định độ tin cậy thang đo qua Cronbach's Alpha (ngưỡng ≥ 0,70) (Nếu $\alpha \geq 0,60$ có thể chấp nhận được), biến có Corrected Item-Total Correlation <0,30 được lược bỏ hoặc điều chỉnh.

**Bước 4 - Phân tích nhân tố khám phá (EFA)**

Sử dụng EFA để phân tích cấu trúc tiềm ẩn và loại các yếu tố không phù hợp. Điều kiện tiến hành: KMO ≥ 0,50 và Bartlett's Test có Sig. < 0,05. Sử dụng phương pháp trích nhân tố với Eigenvalue > 1 và phép quay Varimax (hoặc Oblimin nếu các nhân tố có sự tương quan). Giữ biến có hệ số tải nhân tố ≥ 0,50 (cân nhắc ≥ 0,40 trong trường hợp có lý do).

**Bước 5 - Phân tích nhân tố khẳng định (CFA)**

CFA kiểm định mô hình đo lường thu được từ EFA. Đánh giá độ phù hợp của mô hình qua các chỉ số phù hợp: CMIN/df, CFI, TLI, RMSEA, SRMR.

**Bước 6 - Phân tích mô hình cấu trúc (SEM) và kiểm định giả thuyết**

Xây dựng mô hình SEM để ước lượng hệ số đường dẫn chuẩn hóa (β) giữa các nhân tố độc lập (CDT, NTLD, HDPL) và biến phụ thuộc Chậm thanh toán (CTT). Đánh giá ý nghĩa thống kê hệ số (p-value), báo cáo hệ số xác định $R^2$.

**2.3. Lý do chọn SEM làm phương pháp chính**

Mô hình phương trình cấu trúc (Structural Equation Modeling - SEM) được chọn làm phương pháp phân tích chính trong nghiên cứu này nhờ khả năng vượt trội trong việc xử lý các mối quan hệ phức tạp giữa các biến quan sát và các biến tiềm ẩn. SEM có khả năng mô tả đồng thời nhiều mối quan hệ nhân quả trong một mô hình duy nhất, bao gồm cả tác động trực tiếp và gián tiếp, giúp phân tích một cách chi tiết và toàn diện các yếu tố tác động đến tình trạng chậm thanh toán trong các dự án xây dựng.

Đặc biệt, tình trạng chậm thanh toán chịu ảnh hưởng từ nhiều nhóm yếu tố có sự tương tác chặt chẽ, như CDT, NTLD và các yếu tố hợp đồng, pháp lý. SEM là phương pháp tối ưu để kiểm nghiệm các giả thuyết nhân quả, đồng thời ước tính mức độ ảnh hưởng của từng nhóm yếu tố. Phương pháp này không chỉ giúp nâng cao độ chính xác mà còn đảm bảo tính khách quan và khả năng ứng dụng rộng rãi trong nghiên cứu quản lý dự án.

**2.4. Các công cụ phân tích, tiêu chí chấp nhận và biện pháp đảm bảo chất lượng**

Nghiên cứu ứng dụng SPSS cho tiền xử lý dữ liệu, kiểm định độ tin cậy (Cronbach's Alpha) và phân tích nhân tố khám phá (EFA). AMOS hoặc SmartPLS được sử dụng để thực hiện phân tích nhân tố khẳng định (CFA) và mô hình cấu trúc tuyến tính (SEM). Khi cần, phân tích bổ sung có thể thực hiện trên R với các gói lavaan và psych.

Các tiêu chí kiểm định gồm: Cronbach's Alpha ≥ 0,70; Corrected Item-Total Correlation ≥ 0,30; KMO ≥ 0,50; Bartlett's Test Sig. < 0,05; tổng phương sai trích ≥ 50%; factor loading ưu tiên ≥ 0,50. Chỉ số phù hợp mô hình (Model Fit Indices) bao gồm: CMIN/df < 3,0; CFI, TLI ≥ 0,90; RMSEA≤ 0,08, SRMR ≤ 0,08.

**3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU**

**3.1. Nội dung khảo sát và phân tích dữ liệu sơ bộ**

*3.1.1. Cấu trúc phiếu khảo sát và Phương thức thu thập*

**Cấu trúc phiếu khảo sát** Phiếu khảo sát được thiết kế thành hai phần chính, sử dụng **thang đo Likert 5 điểm** (từ 1 = Ảnh hưởng rất thấp đến 5 = Ảnh hưởng rất cao) để lượng hóa mức độ ảnh hưởng của các yếu tố:

**Phần A** - Thông tin chung: Thu thập thông tin về vai trò, số năm kinh nghiệm, vị trí công tác của người trả lời.

**Phần B** - Đánh giá mức độ ảnh hưởng của các yếu tố: Tập hợp các biến quan sát thuộc ba nhóm yếu tố chính: Yếu tố từ CDT, Yếu tố từ NTLD, và Yếu tố HDPL.

**Phần C** - Mức độ chậm thanh toán: Đánh giá phản ánh thực trạng chậm thanh toán.

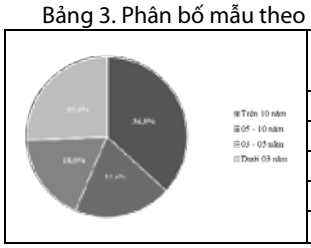
**Phương thức thu thập:** Áp dụng phương pháp lấy mẫu được kết hợp giữa lấy mẫu có chủ đích nhằm đảm bảo tỷ lệ phản hồi từ các nhóm chuyên môn cốt lõi (CĐT, NTLD, Tư vấn) và lấy mẫu thuận tiện nhằm đạt đủ cỡ mẫu cho phân tích định lượng.

*3.1.2. Kích thước mẫu và Phân bố mẫu*

**Kích thước mẫu** Tổng số phiếu khảo sát hợp lệ được sử dụng cho phân tích là $N = 250$. Kích thước mẫu này được tính toán để đảm bảo đáp ứng yêu cầu tối thiểu cho các kỹ thuật thống kê đa biến như Phân tích nhân tố khám phá (EFA) và Mô hình cấu trúc (SEM).

**Phân bố mẫu** Cấu trúc mẫu được thiết kế để đại diện cho các bên liên quan trực tiếp đến quy trình thanh toán và quản lý dự án nhà cao tầng. Phân bố mẫu chi tiết được thể hiện trong Bảng 3:

Bảng 3. Phân bố mẫu theo số năm kinh nghiệm *(N = 250)*




| Số năm kinh nghiệm | Số lượng | Tỷ lệ (%) |
|---|---|---|
| Trên 10 năm | 92 | 36,8 |
| 05 - 10 năm | 49 | 19,6 |
| 03 - 05 năm | 45 | 18,0 |
| Dưới 03 năm | 64 | 25,6 |
| **TỔNG CỘNG** | **250** | **100.0** |

*3.1.3. Danh mục các nhóm yếu tố ảnh hưởng*

Danh mục các biến quan sát được xây dựng thông qua tổng quan tài liệu và hiệu chỉnh từ phỏng vấn chuyên gia. Tổng 14 biến quan sát chia thành 3 nhóm yếu tố độc lập chính có khả năng tác động đến sự chậm thanh toán.

Bảng 4. Danh mục các nhóm yếu tố ảnh hưởng

| Nhóm yếu tố | Mã hóa | Nội dung mô tả chính |
|---|---|---|
| Yếu tố từ Chủ đầu tư | CDT1 - CDT5 | Phản ánh năng lực tài chính và khả năng huy động vốn, quy trình phê duyệt - giải ngân, việc giữ lại khoản thanh toán, thay đổi thiết kế/phát sinh khối lượng và tranh chấp về chất lượng hoặc phạm vi công việc từ phía CDT. |
| Yếu tố từ Nhà thầu liên danh | NTLD1 - NTLD5 | Phản ánh tính hợp lệ của hồ sơ thanh toán, năng lực quản lý dòng tiền nội bộ NTLD, sự thống nhất trong liên danh và khó khăn huy động vốn ngắn hạn. |
| Yếu tố Hợp đồng pháp lý | HDPL1 - HDPL4 | Phản ánh sự rõ ràng của điều khoản thanh toán, thủ tục hành chính/nghiệm thu rườm rà, thiếu chế tài pháp lý (như cơ chế bảo lãnh thanh toán) và tranh chấp dây chuyền. |

*3.1.4. Phân tích thống kê mô tả*

Khi hoàn thành tiền xử lý và kiểm soát chất lượng dữ liệu, nghiên cứu tiến hành phân tích mô tả ban đầu đối với toàn bộ các biến quan sát để nắm được mức độ ảnh hưởng trung bình (Mean) do các chuyên gia đưa ra đánh giá và mức độ đồng thuận hoặc phân tán ý kiến (Độ lệch chuẩn - SD).

Bảng 5. Kết quả Thống kê mô tả các biến quan sát

| Mã hóa | Nội dung | Trị trung bình | Độ lệch chuẩn |
|---|---|---|---|
| CDT1 | Năng lực tài chính và khả năng huy động vốn của CDT | 3,70 | 0,967 |
| CDT2 | Quy trình phê duyệt, giải ngân vốn kéo dài | 4,14 | 0,934 |
| CDT3 | CDT giữ lại khoản thanh toán (bảo lưu/cuối HĐ) | 3,84 | 0,948 |
| CDT4 | Thay đổi thiết kế/phát sinh khối lượng | 3,56 | 0,964 |
| CDT5 | Tranh chấp do CDT về chất lượng/phạm vi công việc | 3,42 | 0,907 |
| NTLD1 | Không hợp lệ hồ sơ thanh toán, thiếu giấy tờ chứng minh | 3,42 | 0,843 |
| NTLD2 | Năng lực quản lý tài chính nội bộ yếu | 3,66 | 0,900 |
| NTLD3 | Sai lệch xác nhận khối lượng liên danh | 3,91 | 0,907 |
| NTLD4 | Không tuân thủ thủ tục thanh toán | 3,53 | 0,888 |
| NTLD5 | Khó khăn huy động vốn vay ngắn hạn | 3,83 | 0,917 |
| HDPL1 | Điều khoản hợp đồng thiếu rõ ràng | 3,58 | 0,963 |
| HDPL2 | Thủ tục nghiệm thu/quyết toán rườm rà | 3,80 | 0,971 |
| HDPL3 | Thiếu chế tài pháp lý/bảo đảm thanh toán (bảo lãnh) | 3,32 | 0,896 |
| HDPL4 | Tranh chấp dây chuyền giữa các bên | 3,83 | 0,981 |
| MD1 | Tình trạng thanh toán chậm vượt quá thời hạn hợp đồng là phổ biến | 3,89 | 0,871 |
| MD2 | Thời gian thanh toán thực tế trung bình thường vượt đáng kể so với quy định HĐ | 3,72 | 0,940 |
| MD3 | Mức độ chậm thanh toán hiện tại gây ra khó khăn nghiêm trọng cho NTLD | 3,95 | 0,874 |

*3.1.5. Kiểm định độ tin cậy thang đo (Cronbach's Alpha)*

Kiểm định Cronbach's Alpha được sử dụng để xác định độ tin cậy và tính nhất quán nội tại của các biến quan sát trong mỗi nhóm nhân tố.

**Ngưỡng chấp nhận:** Hệ số Cronbach's Alpha ($\alpha$) của thang đo được coi là đáng tin cậy khi $\alpha \geq 0,70$; Có thể chấp nhận khi $\alpha \geq 0,60$. Những mục quan sát có hệ số tương quan giữa biến và tổng (Corrected Item-Total Correlation) nhỏ hơn 0,30 sẽ được xem xét loại bỏ.

Bảng 6. Tóm tắt kết quả kiểm định độ tin cậy Cronbach's Alpha

| Nhóm yếu tố | Số biến | Cronbach's Alpha (α) | Đánh giá |
|---|---|---|---|
| Yếu tố Chủ đầu tư (CDT) | 5 | 0,832 | Đáng tin cậy |
| Yếu tố Nhà thầu liên danh (NTLD) | 5 | 0,833 | Đáng tin cậy |
| Yếu tố Hợp đồng pháp lý (HDPL) | 4 | 0,783 | Đáng tin cậy |

**3.2. Kết quả phân tích định lượng (EFA - CFA - SEM)**

Phần này trình bày kết quả phân tích nhân tố khám phá (EFA), phân tích nhân tố khẳng định (CFA) và mô hình cấu trúc tuyến tính (SEM) nhằm kiểm định cấu trúc đo lường và ước lượng mối quan hệ tác động giữa ba nhóm nhân tố độc lập (Yếu tố từ CDT; Yếu tố từ NTLD; Yếu tố HDPL) đối với biến phụ thuộc là mức độ chậm thanh toán.

*3.2.1. Kết quả Phân tích nhân tố khám phá (EFA)*

Phân tích EFA được thực hiện để xác định cấu trúc tiềm ẩn của bộ dữ liệu và loại bỏ các biến không đạt yêu cầu. Kết quả kiểm định điều kiện cho thấy:

- KMO (Kaiser-Meyer-Olkin) = 0,851 (≥ 0,50) - dữ liệu thích hợp cho phân tích nhân tố.

- Bartlett's Test of Sphericity: $\chi^2 = 987,327$; df = 66; Sig. < 0,001 - khẳng định ma trận tương quan không phải ma trận đơn vị.

Quá trình rút trích cho thấy tồn tại 03 nhân tố chính tương ứng với mô hình lý thuyết. Tổng phương sai giải thích (Total Variance Explained) đạt 62,051%, vượt ngưỡng chấp nhận 50%, chứng tỏ các nhân tố này giải thích tốt biến thiên của dữ liệu.

- Còn lại 12 biến quan sát đều có hệ số tải nhân tố (factor loading) ≥ 0,50, đảm bảo tính đại diện và độ tin cậy.

Bảng 7. Kết quả phân tích nhân tố khám phá (EFA)

| Tiêu chí kiểm định | Ngưỡng tham chiếu | Kết quả |
|---|---|---|
| KMO | ≥ 0,50 | 0,851 |
| Bartlett's Test | < 0,05 | Sig. <0,001 |
| Tổng phương sai trích | ≥ 50% | 62,051% |
| Số nhân tố được trích | ≥ 1 | 3 |
| Factor loading | ≥ 0,50 | ≥ 0,628 |

*3.2.2. Kết quả Phân tích nhân tố khẳng định (CFA)*

CFA được tiến hành để kiểm định mô hình đo lường, đánh giá tính hội tụ, tính phân biệt và độ tin cậy tổng hợp của các nhân tố.

Bảng 8. Tóm tắt kết quả phân tích nhân tố khẳng định (CFA)

| Chỉ số phù hợp mô hình (Model Fit Indices) | Ngưỡng tham chiếu | Kết quả |
|---|---|---|
| CMIN/df | < 3,0 | 2,080 |
| CFI | ≥ 0,90 | 0,941 |
| TLI | ≥ 0,90 | 0,924 |
| RMSEA | ≤ 0,08 | 0,066 |
| SRMR | ≤ 0,08 | 0,059 |

*3.2.3. Kết quả Phân tích mô hình cấu trúc tuyến tính (SEM)*

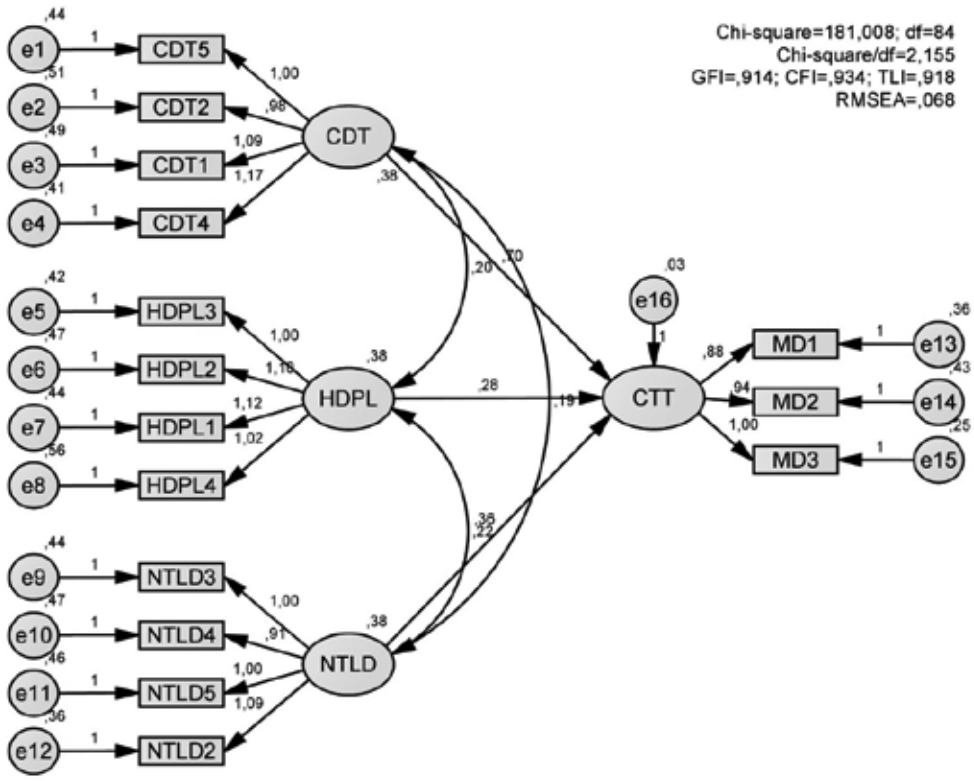
Phân tích SEM được thực hiện để kiểm định giả thuyết và đánh giá tác động của ba nhóm nhân tố độc lập gồm CDT, NTLD, và HDPL tới biến phụ thuộc Chậm thanh toán.

Kết quả phân tích cho thấy mô hình SEM đạt mức độ phù hợp chấp nhận được với dữ liệu nghiên cứu; các chỉ số phù hợp đạt ngưỡng cho phép (CMIN/df = 2,155; GFI = 0,914; CFI = 0,934; TLI = 0,918; RMSEA = 0,068, SRMR=0,056).

$R^2$ (Chậm thanh toán) = 0,948: mô hình giải thích được 94,8% sự biến thiên của mức độ chậm thanh toán - là giá trị cao, cho thấy các nhân tố độc lập đã lựa chọn có năng lực giải thích tốt hiện tượng nghiên cứu.

Bảng 9. Hệ số đường dẫn chuẩn hóa và mức ý nghĩa trong mô hình SEM

| Mối quan hệ | Hệ số β (chuẩn hóa) | p-value | Đánh giá |
|---|---|---|---|
| CDT → CTT | 0,604 | < 0,001 | Ảnh hưởng mạnh, ý nghĩa thống kê |
| NTLD → CTT | 0,312 | < 0,001 | Ảnh hưởng đáng kể, ý nghĩa thống kê |
| HDPL → CTT | 0,239 | < 0,001 | Ảnh hưởng vừa phải, ý nghĩa thống kê |




Hình 1. Sơ đồ mô hình cấu trúc (SEM)

**Diễn giải kết quả:**

- CDT là nhân tố có ảnh hưởng mạnh nhất (β = 0,604; p < 0,001). Năng lực tài chính, quy trình phê duyệt - giải ngân, thay đổi thiết kế và tranh chấp chất lượng từ phía chủ đầu tư giữ vai trò then chốt quyết định mức độ chậm thanh toán. Kết quả phù hợp với thực tế nhiều dự án tại TP.HCM gặp vướng mắc về vốn, thủ tục giải ngân và bố trí dòng tiền.

- NTLD có tác động đáng kể (β = 0,312; p < 0,001). Các vấn đề nội tại như quản lý tài chính yếu, hồ sơ thanh toán không hợp lệ, sai lệch xác nhận khối lượng giữa thành viên và không tuân thủ thủ tục là yếu tố phụ trợ làm gia tăng nguy cơ chậm thanh toán.

- HDPL có tác động vừa phải (β = 0,239; p < 0,001). Điều khoản hợp đồng thiếu rõ ràng, thủ tục nghiệm thu rườm rà, thiếu chế tài bảo đảm thanh toán và tranh chấp dây chuyền giữa các bên làm chậm thanh toán cho nhà thầu liên danh.

## 4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

### 4.1. Kết luận

Nghiên cứu đã xác nhận mô hình nghiên cứu phù hợp với dữ liệu khảo sát tại TP. HCM (N = 250) với các chỉ số tin cậy và độ phù hợp đạt chuẩn: CMIN/df = 2,155; GFI = 0,914; CFI = 0,934; TLI = 0,918; RMSEA = 0,068, SRMR=0,056. Mô hình giải thích được 94,8% biến thiên liên quan đến mức độ chậm thanh toán trong các dự án xây dựng nhà cao tầng.

Cả ba nhóm yếu tố gồm CDT, NTLD và HDPL đều có ảnh hưởng tích cực và có ý nghĩa thống kê rất cao (p < 0,001) đến tình trạng chậm thanh toán. Thứ tự tác động từ mạnh đến yếu là: CDT (β = 0,604) > NTLD (β = 0,312) > HDPL (β = 0,239).

Kết quả cho thấy nguyên nhân chủ yếu dẫn đến chậm thanh toán là năng lực tài chính hạn chế, quy trình phê duyệt - giải ngân kéo dài, thay đổi thiết kế và tranh chấp chất lượng từ phía Chủ đầu tư. Bên cạnh đó, các yếu tố nội tại của Nhà thầu liên danh bao gồm quản lý tài chính nội bộ yếu, hồ sơ thanh toán không hợp lệ, sai lệch xác nhận khối lượng và không tuân thủ thủ tục cũng đóng vai trò quan trọng. Ngoài ra, các tồn tại về điều khoản hợp đồng thiếu rõ ràng, thủ tục nghiệm thu rườm rà, thiếu chế tài bảo đảm thanh toán và tranh chấp dây chuyền cũng tạo điều kiện thuận lợi cho chậm thanh toán.

Những phát hiện này không chỉ phù hợp với thực trạng nợ đọng xây dựng và những khó khăn tài chính đang diễn ra tại TP.HCM mà còn có giá trị thực tiễn trong việc định hướng các biện pháp cải thiện năng lực tài chính chủ đầu tư, nâng cao quản trị dự án và hoàn thiện khung hợp đồng để giảm rủi ro chậm thanh toán cho nhà thầu liên danh.

### 4.2. Kiến nghị

**Đối với các cơ quan quản lý nhà nước**

Ban hành và hoàn thiện cơ chế đảm bảo thanh toán, như các biện pháp bảo lãnh thanh toán bắt buộc cho các mốc thanh toán trọng yếu, đồng thời thiết lập chế tài xử lý nghiêm minh đối với hành vi chậm thanh toán nhằm bảo vệ quyền lợi cho nhà thầu liên danh.

Thiết lập cơ chế minh bạch trong công bố năng lực tài chính và lịch sử thanh toán của CDT nhằm nâng cao niềm tin và sự minh bạch trong quan hệ hợp đồng xây dựng.

**Đối với Chủ đầu tư (CDT)**

Đảm bảo nguồn vốn theo đúng tiến độ cam kết, rút ngắn thời gian phê duyệt và giải ngân (khuyến nghị không quá 14 ngày làm việc kể từ khi nhận hồ sơ hợp lệ).

Giới hạn thay đổi thiết kế, thẩm tra kỹ lưỡng yêu cầu bổ sung trước khi ký hợp đồng để giảm tranh chấp về chất lượng, phạm vi công việc và đình trệ thanh toán.

Áp dụng các hệ thống quản lý hồ sơ và giải ngân điện tử nhằm tăng tốc độ, minh bạch và khả năng kiểm soát trong quy trình thanh toán.

**Đối với Nhà thầu liên danh (NTLD):**

Cải thiện chất lượng hồ sơ thanh toán, tăng cường quản lý tài chính nội bộ và chuẩn hóa quy trình nghiệm thu thanh toán giữa các thành viên trong liên danh.

Áp dụng công nghệ quản lý dự án như ERP hoặc phần mềm quản lý để giám sát tiến độ thi công, chứng từ và dòng tiền một cách hiệu quả.

Thống nhất quy trình xác nhận khối lượng giữa các thành viên liên danh để tránh sai lệch, tranh chấp nội bộ và kéo dài thời gian hoàn tất hồ sơ.

Tuân thủ đầy đủ thủ tục, biểu mẫu thanh toán và quy trình nghiệm thu theo hợp đồng nhằm tránh hồ sơ bị từ chối hoặc yêu cầu bổ sung.

Lập kế hoạch huy động vốn vay ngắn hạn (tạm ứng, tín dụng cầu nối) sẵn sàng để bù đắp chậm thanh toán từ Chủ đầu tư, đảm bảo khả năng tiếp tục hoạt động.

**Biện pháp phối hợp**

Thử nghiệm cơ chế "thanh toán có bảo lãnh", triển khai tại các dự án thí điểm nhằm giảm thiểu rủi ro thanh toán và hỗ trợ nhà thầu có quy mô nhỏ và vừa tiếp cận các giải pháp tài chính ngắn hạn.

Thúc đẩy đào tạo và truyền thông nhằm cải thiện nhận thức và năng lực quản lý tài chính cho các bên liên quan trong chuỗi cung ứng xây dựng.

### 4.3. Hạn chế nghiên cứu và đề xuất nghiên cứu tiếp theo

Nghiên cứu chỉ tập trung tại TP.HCM, do đó, việc khái quát kết quả có thể hạn chế khi áp dụng cho các địa phương khác hoặc thời gian khác.

Đề xuất các nghiên cứu tiếp theo nên áp dụng dữ liệu theo chiều dọc để đánh giá sự biến đổi của chậm thanh toán theo thời gian và tác động của các chính sách bảo đảm thanh toán.

Khuyến nghị mở rộng phạm vi nghiên cứu đến các tỉnh, thành phố khác để so sánh sự khác biệt giữa các địa phương. Sử dụng mô hình Multi-Group SEM để so sánh ảnh hưởng của các nhóm yếu tố giữa các vai trò, quy mô dự án khác nhau cũng như đánh giá hiệu quả các chính sách bảo đảm thanh toán.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu được tài trợ bởi Trường Đại học Công nghệ TP.HCM theo mã số 2026.21.TCTM.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

[1] Hội đồng Quản lý Dự án Xây dựng Việt Nam (VACC), *Báo cáo về tình trạng thanh toán trong lĩnh vực xây dựng nhà cao tầng tại Việt Nam*, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội, 2022.

[2] Phạm T.H., Lê Q.T., Trần V.N., *Ảnh hưởng của quản lý tài chính đến tiến độ thi công công trình nhà cao tầng tại Thành phố Hồ Chí Minh*, Tạp chí Khoa học Xây dựng, 17(3), 30-44, 2023.

[3] PBMares, *Accounts Receivable in Construction: Cash Flow at Risk Amid Payment Delays*, https://www.pbmares.com/accounts-receivable-in-construction-cash-flow-at-risk-amid-payment-delays/, 2024.

[4] Rabbet, *Construction Payments Report 2024*, United States, 2024.

[5] An Chi, *Thách thức và giải pháp quản lý tài chính trong các dự án nhà cao tầng*, Hội nghị Quốc gia về Quản lý Xây dựng, 112-120, 2022.

[6] Akinsiku O.E., Ajayi O.M., *Effects of delayed payment of contractors on construction project delivery in Nigeria*, Construction, Building and Real Estate Research Conference of the Royal Institution of Chartered Surveyors, 2016.

[7] Ansah S.K.J., *Causes and effects of delayed payments by clients on construction projects in Ghana*, Journal of Construction Project Management and Innovation, 1(1), 27-45, 2011.

[8] Nasser A.J., *The effect of payment delay on construction projects in Gaza strip*, Journal of Housing and Land Research in Engineering and Project Technology, 2013.

[9] Al Alawi M.J., *Delay in payment effects on productivity of small and medium construction companies in Oman: Exploration and ranking*, Arabian Journal of Civil Engineering, 22(7), 1347-1359, 2021.

[10] Peters E., Subar K., Martin H., *Late payment and nonpayment within the construction industry: Causes, effects, and solutions*, Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction, 11, 2019.

[11] Chadee A. et al., *Modelling the implications of delayed payments on contractors' cashflows on infrastructure projects*, Civil Engineering Journal, 9, 52-71, 2023.

[12] Vahedi Nikbakht M. et al., *Identification and ranking of factors affecting the delay risk of high-rise construction projects using AHP and VIKOR methods*, Civil Engineering Journal, 9(2), 24, 2024.

[13] Adaku E. et al., *Contractor payment delays: A systematic review of current trends and future directions*, Journal of Construction Management, 24(5), 1205-1227, 2024.

[14] Wan Norizan Wan Ismail H.A., Wan Faida Wan Mohd Azmi, Norhafizah Yusop S.S.M.I., *Factors contributing to delay of interim payment in civil engineering projects*, 2023.

[15] Abdul-Rahman H. et al., *Financial-related causes contributing to project delays*, International Journal of Project Management, 8(3), 225-238, 2009.

[16] Bageis A.S.J., *An investigation into the causes of payment delays and deliberate delay tactics in public construction projects in Saudi Arabia*, Journal of Building Engineering, 14(6), 1792, 2024.

[17] Ayudhya B.I.N., *Factors causing delay in payment of residential building projects in Thailand*, 2012.

[18] Xie H. et al., *Effects of payment delays at two links in payment chains on the progress of construction projects: System dynamic modeling and simulation*, Systems, 11(15), 4115, 2019.

[19] Việt N.T., Đỗ T.S., Võ Đ.M., *Phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến sự chậm thanh toán cho nhà thầu phụ trong các dự án nhà cao tầng*, Tạp chí Xây dựng, 12(06), 83-92, 2022.

[20] Dương V.T.T., *Rủi ro và pháp lý bảo vệ thanh quyết toán cho nhà thầu trong ngành công nghiệp xây dựng Việt Nam*, Tạp chí Xây dựng Việt Nam, 2025.

[21] Linh L.K., *Khảo sát nguyên nhân ảnh hưởng đến chi phí và tiến độ thi công trong các dự án đầu tư công*, 2022.

[22] Thư N.M., *Những nhân tố ảnh hưởng quá trình thanh, quyết toán các dự án hạ tầng giao thông ở tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu*, Luận văn thạc sĩ, Trường Đại học Kinh tế TP.HCM, 2020.

[23] Toàn T.P.K., *Các nhân tố ảnh hưởng đến vượt dự toán trong các dự án xây dựng hạ tầng kỹ thuật tại Thành phố Hồ Chí Minh*, Tạp chí Khoa học và Công nghệ Xây dựng, 16(3), 165-179, 2021.

■Ngày nhận bài: 03/02/2026 ■Ngày sửa bài: 11/02/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 25/02/2026

# Nghiên cứu mô hình tối ưu chi phí mạng lưới phân phối trong chuỗi cung ứng bền vững với ràng buộc phát thải carbon

## Research on cost optimization model of distribution network for a sustainable supply chain considering carbon emission

**> CN TRẦN NGUYỄN NHƯ PHƯƠNG, PGS.TS HỒ THỊ THU HÒA*, KS NGUYỄN THANH DANH**
Trường Đại học Quốc tế - Đại học Quốc gia TP.HCM
*Email: htthoa@hcmiu.edu.vn

**TÓM TẮT**

Trong bối cảnh doanh nghiệp ngày càng chịu áp lực đồng thời về tối ưu chi phí và đáp ứng các mục tiêu phát triển bền vững, mạng lưới phân phối đóng vai trò quan trọng đối với chi phí vận hành và phát thải carbon. Nghiên cứu này đề xuất mô hình tối ưu hóa tổng chi phí mạng lưới phân phối dưới ràng buộc giới hạn phát thải carbon, nhằm hỗ trợ cân bằng giữa hiệu quả kinh tế và yêu cầu kiểm soát phát thải. Bài toán được mô hình hóa bằng phương pháp Quy hoạch tuyến tính nguyên hỗn hợp (MILP) cho mạng lưới phân phối nhiều cấp, đồng thời tích hợp logistics thuận và logistics ngược thông qua chính sách thu hồi sản phẩm đã qua sử dụng. Mô hình xem xét đầy đủ các nguồn chi phí và phát thải phát sinh từ vận tải, lưu kho, đóng gói và tiêu hủy, cùng với các ràng buộc về bảo toàn dòng hàng, công suất, đáp ứng nhu cầu, tỷ lệ thu hồi, tồn kho an toàn và hạn ngạch phát thải carbon. Kết quả nghiên cứu cung cấp một khung mô hình định lượng, đóng vai trò là công cụ hỗ trợ ra quyết định trong thiết kế và vận hành mạng lưới phân phối theo định hướng bền vững.

**Từ khóa:** Mạng lưới phân phối; chuỗi cung ứng bền vững; tối ưu chi phí; phát thải carbon; MILP.

**ABSTRACT**

In the context where firms are increasingly pressured to simultaneously minimize operating costs and meet sustainability goals, distribution networks have become a critical source of both operational expenses and carbon emissions. This study proposes a total-cost optimization model for distribution networks under a carbon-emission cap, aiming to balance economic efficiency and emission-control requirements. The problem is formulated as a mixed-integer linear programming (MILP) model for a multi-echelon distribution network, while integrating forward and reverse logistics through a take-back policy for end-of-life products. The model comprehensively accounts for cost and emission sources arising from transportation, warehousing, packaging, and disposal, together with constraints on flow balance, capacity, demand fulfillment, return rate, safety stock and the carbon allowance. The study provides a quantitative modeling framework that serves as a decision-support tool for designing and operating distribution networks toward sustainability.

**Keywords:** Distribution network; sustainable supply chain; cost optimization; carbon emissions; MILP.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh phát thải khí nhà kính toàn cầu năm 2024 tiếp tục gia tăng, mục tiêu phát thải ròng bằng "0" đặt ra yêu cầu cấp bách phải tích hợp ràng buộc môi trường vào các quyết định vận hành doanh nghiệp [1]. Mạng lưới phân phối là khâu trọng yếu do gắn trực tiếp với vận tải, kho bãi và xử lý hàng hóa, vừa tác động đến chi phí, vừa đóng góp đáng kể vào phát thải [2].

Tại Việt Nam, khuôn khổ chính sách về môi trường và carbon đang được hoàn thiện theo hướng tăng cường trách nhiệm doanh nghiệp, thể hiện qua Luật Thuế bảo vệ môi trường 2010 số 57/2010/

QH12, lộ trình thị trường carbon theo cơ chế hạn ngạch và mua bán phát thải với giai đoạn thí điểm năm 2025 và vận hành chính thức năm 2028 (Nghị định số 119/2025/NĐ-CP), cùng các yêu cầu kiểm kê khí nhà kính và kế hoạch giảm phát thải (Quyết định số 13/2024/QĐ-TTg). Các quy định này làm gia tăng nhu cầu ứng dụng công cụ định lượng để hỗ trợ doanh nghiệp hoạch định và kiểm soát phát thải carbon trong vận hành.

Về phương diện học thuật, giảm phát thải hiệu quả cần gắn với tích hợp các quyết định sản xuất - tồn kho - phân phối, trong đó vận tải và kho bãi là nguồn phát thải đáng kể ngoài sản xuất [3]. Khi triển khai thu hồi sản phẩm đã qua sử dụng cho tái sử dụng hoặc tái sản xuất, logistics ngược có thể làm tăng chi phí và phát thải nếu không được hoạch định đồng bộ với logistics xuôi [4]. Tuy nhiên, các mô hình tối ưu hóa ở cấp mạng lưới phân phối có cơ chế thu hồi, đồng thời xét đầy đủ chi phí vận tải hai chiều, tồn kho, đóng gói và tiêu hủy hàng hóa dưới ràng buộc giới hạn phát thải vẫn còn hạn chế [5]. Do đó, nghiên cứu này đề xuất mô hình Quy hoạch tuyến tính số nguyên hỗn hợp (MILP) nhằm tối thiểu hóa tổng chi phí mạng lưới phân phối có sản phẩm thu hồi dưới ràng buộc phát thải carbon, qua đó hỗ trợ cân bằng mục tiêu kinh tế và mục tiêu bền vững trong hoạch định vận hành.

## 2. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU

Các nghiên cứu gần đây về tối ưu hóa mạng lưới phân phối và chuỗi cung ứng cho thấy xu hướng ngày càng rõ trong việc tích hợp mục tiêu giảm phát thải vào quyết định thiết kế và vận hành. Theo hướng tiếp cận mạng lưới phân phối xanh, [6] phân tích bài toán định vị - định tuyến dưới cơ chế mua bán phát thải và cho thấy chính sách carbon có thể làm thay đổi cấu hình tối ưu của mạng lưới. [7-8] đề xuất mô hình phân phối đa phương thức nhằm giảm tiêu thụ năng lượng và phát thải thông qua tối ưu tuyến đường và lựa chọn phương thức vận tải trong ngành hàng cụ thể.

Song song đó, nhóm nghiên cứu về chuỗi cung ứng khép kín tập trung vào vai trò của logistics ngược trong tối ưu hóa đánh đổi giữa chi phí và phát thải. [9] phát triển mô hình tối ưu đa mục tiêu cho chuỗi cung ứng khép kín, trong khi [10-11] xem xét quản trị dòng sản phẩm trả về và đánh đổi kinh tế - môi trường trong các bối cảnh đặc thù. Ở các nghiên cứu ứng dụng, [12-13] cho thấy các quyết định liên quan đến vận tải, tồn kho và logistics ngược có ảnh hưởng đáng kể đến chi phí và hiệu quả vận hành của mạng lưới.

Bên cạnh các nghiên cứu nhấn mạnh cấu trúc mạng lưới, một số công trình tập trung mô hình hóa và xem xét cơ chế điều tiết phát thải. [14-15] đề xuất các mô hình tích hợp phát thải trong mạng lưới đa tầng; [16-18] chỉ ra tác động của mức trần phát thải, giá phát thải và các công cụ điều tiết đến kết quả tối ưu trong các ngành hàng khác nhau. Ngoài ra, hướng nghiên cứu với các yếu tố bất định cho thấy cấu hình tối ưu có thể biến đổi đáng kể trước dao động nhu cầu và các yếu tố liên quan đến carbon [19-20].

Tổng hợp các nghiên cứu cho thấy, dù đã xem xét xanh hóa phân phối và chuỗi cung ứng khép kín, các mô hình ở cấp mạng lưới phân phối có chính sách thu hồi hàng hóa đã qua sử dụng vẫn thiếu một khung thống nhất mô tả đồng thời chi phí và phát thải của vận tải hai chiều, tồn kho, đóng gói và tiêu hủy dưới ràng buộc giới hạn phát thải. Trên cơ sở đó, nghiên cứu này đề xuất mô hình MILP tối thiểu hóa tổng chi phí mạng lưới phân phối có thu hồi sản phẩm dưới giới hạn phát thải carbon, với biến quyết định là lượng vận chuyển và mức tồn kho tối ưu trong phạm vi các ràng buộc vận hành.

## 3. MÔ HÌNH TOÁN ĐỀ XUẤT

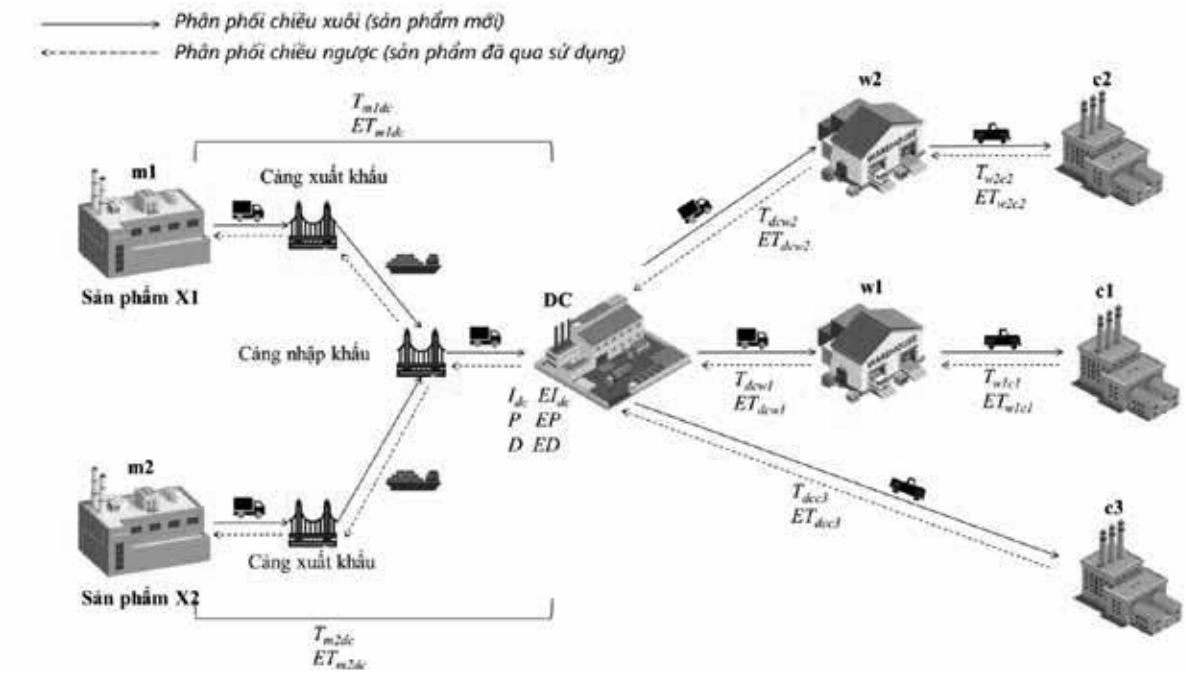
Trong nghiên cứu này, bài toán tối ưu xem xét đồng thời các quyết định vận hành mạng lưới phân phối có thu hồi sản phẩm dưới giới hạn phát thải carbon. Do vận tải, tồn kho, đóng gói và tiêu hủy đều phát sinh chi phí và phát thải, mô hình tối ưu hóa tổng chi phí được sử dụng nhằm lượng hóa đánh đổi giữa mục tiêu tối thiểu chi phí và yêu cầu kiểm soát phát thải, từ đó xác định phương án vận hành tối ưu trong phạm vi các ràng buộc của hệ thống.

Nghiên cứu sử dụng mô hình Quy hoạch tuyến tính nguyên hỗn hợp (MILP), phù hợp để tối ưu hóa mạng lưới phân phối khi tồn tại đồng thời các quyết định rời rạc và liên tục, nhằm xác định lượng vận chuyển và mức tồn kho tối ưu dưới các ràng buộc vận hành và giới hạn phát thải. Trên cơ sở cấu trúc mạng lưới và chính sách thu hồi, mô hình được xây dựng từ các dữ liệu đầu vào gồm nhu cầu, tuyến đường hoặc khoảng cách, công suất, tỷ lệ thu hồi, tỷ lệ tiêu hủy, tồn kho an toàn, hạn ngạch carbon và các loại chi phí liên quan. Quy trình mô hình hóa gồm thiết lập giả thuyết, xác định tham số - biến quyết định (lượng vận chuyển, tồn kho) và xây dựng hàm mục tiêu tối thiểu hóa tổng chi phí cùng hệ ràng buộc tương ứng.

Các giả thuyết đóng vai trò then chốt trong việc xác lập ranh giới và giới hạn của mô hình như sau: (1) Vị trí của tất cả cơ sở là cố định, bao gồm nhà máy, trung tâm phân phối, kho hàng và địa điểm của khách hàng; (2) mức tồn kho đầu kỳ được cung cấp trước; (3) khả năng lưu trữ của trung tâm phân phối và các kho hàng không thay đổi; (4) công suất đóng gói và tiêu hủy không giới hạn; (5) các chi phí lưu kho, vận tải, đóng gói, tiêu hủy và phát thải carbon trên mỗi đơn vị sản phẩm được cung cấp và không đổi; (6) việc tiêu hủy được hoàn tất vào cuối kỳ, có nghĩa là mức tồn kho đầu kỳ không bao gồm sản phẩm cần tiêu hủy từ kỳ trước; (7) mức phát thải phát sinh từ mỗi hoạt động không đổi và (8) tổng lượng phát thải carbon tạo ra bởi mạng lưới phân phối bị giới hạn. Các giả thuyết trên nhằm giới hạn phạm vi và đảm bảo bài toán có thể tuyến tính hóa để tập trung làm rõ cấu trúc mô hình ở mức đề xuất phương pháp, phù hợp với mục tiêu xây dựng công cụ hỗ trợ ra quyết định trong mạng lưới phân phối có thu hồi dưới giới hạn phát thải.

Trong mô hình, các chỉ số được biểu diễn như sau: m (nhà máy), DC (trung tâm phân phối), w (kho), c (khách hàng), t (kỳ); x ký hiệu sản phẩm mới và y ký hiệu sản phẩm đã qua sử dụng. Mạng lưới phân phối được cấu thành từ 4 cấp gồm nhà máy sản xuất (m), trung tâm phân phối (DC), kho hàng (w) và khách hàng (c). Trong mỗi kỳ (t), sản phẩm mới (x) được vận chuyển từ nhà máy đến trung tâm phân phối, tại đây hàng hóa có thể được đóng gói lại (nếu cần thiết) và đưa vào lưu trữ hoặc tiếp tục vận chuyển đến kho hàng, trước khi được phân phối đến khách hàng từ kho hoặc trực tiếp từ trung tâm phân phối. Đối với sản phẩm đã qua sử dụng (y), nếu đáp ứng tiêu chuẩn chất lượng, dòng thu hồi được thực hiện theo chiều ngược lại trong cùng kỳ và vận chuyển về nhà máy để tái sản xuất, qua đó hình thành chuỗi cung ứng khép kín. Trong mạng lưới này, chi phí và phát thải từ vận tải (T và ET) phát sinh trong quá trình vận chuyển giữa các cơ sở; chi phí và phát thải từ lưu kho (I và EI) phát sinh tại trung tâm phân phối và kho hàng. Ngoài ra, chi phí và phát thải từ hoạt động đóng gói (P và EP) cũng như tiêu hủy hàng hóa (D và ED) được phát sinh tại trung tâm phân phối. Sơ đồ mạng lưới chi tiết được mô tả tại Hình 1.

Nhằm làm rõ cấu trúc và logic của mô hình đề xuất, Bảng 1 và Bảng 2 mô tả tham số đầu vào, biến quyết định được sử dụng trong quá trình xây dựng mô hình tối ưu hóa mạng lưới phân phối.




Hình 1. Sơ đồ mạng lưới phân phối

Bảng 1. Tham số đầu vào

| Ký hiệu | Diễn giải |
|---|---|
| $DE^t_x$ | Nhu cầu |
| $IL^{t-1}_{xDC}$ / $IL^{t-1}_{xw}$ / $IL^{t-1}_{yDC}$ / $IL^{t-1}_{yw}$ | Lượng tồn kho đầu kỳ |
| $DR^t_x$ | Tỷ lệ sản phẩm cần tiêu hủy |
| $RR^t_y$ | Tỷ lệ thu hồi hàng đã qua sử dụng |
| $SSR^t_x$ | Mức tồn kho an toàn |
| $IC_{xDC}$ / $IC_{xw}$ / $IC_{yDC}$ / $IC_{yw}$ | Công suất tồn kho |
| $I^t_{xDC}$ / $I^t_{xw}$ / $I^t_{yDC}$ / $I^t_{yw}$ | Chi phí lưu kho |
| $P^t_x$/$P^t_y$ | Chi phí đóng gói sản phẩm |
| $D^t_{xDC}$ | Chi phí tiêu hủy sản phẩm |
| $T^t_{mDC}$ /$T^t_{DCw}$ / $T^t_{DCc}$ /$T_{tw}$c | Chi phí vận tải giữa các cơ sở |
| $DI_{mDC}$ / $DI_{DCw}$ / $DI_{DCc}$ / $DI_{wc}$ | Khoảng cách giữa các cơ sở |
| $EI^t_{xDC}$ / $EI^t_{xw}$ / $EI^t_{yDC}$ / $EI^t_{yw}$ | Tỷ lệ phát thải từ lưu kho sản phẩm |
| $EP^t_x$ / $EP^t_y$ | Tỷ lệ phát thải từ đóng gói |
| $ET^t_{mDC}$ / $ET^t_{DCw}$ / $ET^t_{DCc}$ / $ET^t_{wc}$ | Tỷ lệ phát thải từ vận tải giữa các cơ sở |
| $ED^t_{yDC}$ | Tỷ lệ phát thải từ hoạt động tiêu hủy |
| $CA^Pt$ | Hạn ngạch phát thải carbon |
| $EC^t$ | Đơn giá chi phí phát thải carbon |
| $k^t_x$ | Biến nhị phân, bằng 1 nếu sản phẩm yêu cầu đóng gói, ngược lại bằng 0. |

Bảng 2. Các biến quyết định

| Biến | Giải thích |
|---|---|
| $Q^t_{xmDC}$ / $Q^t_{xDCw}$ / $Q^t_{xDCc}$ / $Q_{txw}$c | Số lượng sản phẩm mới vận chuyển giữa các cơ sở theo chiều logistics thuận |
| $Q^t_{ycw}$ / $Q^t_{ywDC}$ / $Q^t_{ycDC}$ / $Q^t_{yDCm}$ | Số lượng sản phẩm đã qua sử dụng vận chuyển giữa các cơ sở theo chiều logistics ngược |
| $IL^t_{xDC}$ / $IL^t_{xw}$ | Lượng tồn kho cuối kỳ của sản phẩm mới tại trung tâm phân phối/kho |
| $IL^t_{yDC}$ / $IL^t_{yw}$ | Lượng tồn kho cuối kỳ của sản phẩm đã qua sử dụng tại trung tâm phân phối/kho |

Dựa trên hệ tham số (Bảng 1) và biến quyết định (Bảng 2), mô hình được thiết lập với hàm mục tiêu (1) và hệ ràng buộc (12)-(25) nhằm xác định lượng vận chuyển Q và tồn kho IL tối ưu theo từng kỳ.

Hàm mục tiêu của mô hình được xây dựng nhằm tối thiểu hóa tổng chi phí phát sinh trong mạng lưới được trình bày tại phương trình (1) như tổng của 10 cấu phần chi phí riêng biệt:

$$Min\ Z = \sum_{k=1}^{10} Z_k \quad (1)$$

Trong đó, từng cấu phần chi phí $Z_k$ được xác định thông qua các hàm riêng từ phương trình (2) đến phương trình (11), tương ứng với các hoạt động trong mạng lưới phân phối. Phương trình (2) xác định chi phí vận chuyển sản phẩm mới $(x)$ từ nhà sản xuất đến khách hàng thông qua các cấp trung gian, được tính toán dựa trên lượng sản phẩm, khoảng cách và đơn giá vận tải.

$$Z_1 = \sum_{x\in X}\sum_{m\in M}\sum_{t\in T} T^t_{mDC}\cdot Q^t_{xmDC}\cdot DI_{mDC} + \sum_{x\in X}\sum_{w\in W}\sum_{t\in T} T^t_{DCw}\cdot Q^t_{xDCw}\cdot DI_{DCw} + \sum_{x\in X}\sum_{c\in C}\sum_{t\in T} T^t_{DCc}\cdot Q^t_{xDCc}\cdot DI_{DCc} + \sum_{x\in X}\sum_{w\in W}\sum_{c\in C}\sum_{t\in T} T^t_{wc}\cdot Q^t_{xwc}\cdot DI_{wc} \quad (2)$$

Phương trình (3) mô tả chi phí lưu kho tại trung tâm phân phối và kho, được xác định dựa trên mức tồn kho trung bình trong kỳ và đơn giá lưu kho.

$$Z_2 = \sum_{x\in X}\sum_{t\in T} I^t_{xDC}.\frac{Q^t_{xmDC}}{2} + \sum_{x\in X}\sum_{w\in W}\sum_{t\in T} I^t_{xw}.\frac{Q^t_{xDCw}}{2} + \sum_{y\in Y}\sum_{t\in T} I^t_{yDC}.\left(\frac{Q^t_{ywDC}}{2}+\frac{Q^t_{ycDC}}{2}\right) + \sum_{y\in Y}\sum_{w\in W}\sum_{t\in T} I^t_{yw}.\frac{Q^t_{ycw}}{2} \quad (3)$$

Phương trình (4) thể hiện chi phí đóng gói sản phẩm mới trước khi phân phối và đóng gói sản phẩm thu hồi trước khi vận chuyển đến nhà sản xuất, phụ thuộc vào số lượng và đơn giá đóng gói.

$$Z_3 = \sum_{x\in X}\sum_{t\in T} P^t_x.Q^t_{xmDC}.k^t_x + \sum_{y\in Y}\sum_{t\in T} P^t_y.Q^t_{yDCm}.k^t_y \quad (4)$$

Phương trình (5) xác định chi phí vận chuyển sản phẩm đã qua sử dụng $(y)$ từ khách hàng quay trở lại nhà sản xuất thông qua các cấp trung gian, phản ánh chi phí của dòng logistics ngược.

$$Z_4 = \sum_{y\in Y}\sum_{c\in C}\sum_{t\in T} T^t_{DCc}.Q^t_{ycDC}.DI_{DCc} + \sum_{y\in Y}\sum_{w\in W}\sum_{c\in C}\sum_{t\in T} T^t_{wc}.Q^t_{ycw}.DI_{wc} + \sum_{y\in Y}\sum_{w\in W}\sum_{t\in T} T^t_{DCw}.Q^t_{ywDC}.DI_{DCw} \quad (5)$$

Phương trình (6) mô tả chi phí hủy hàng mới bị lỗi hoặc hư hỏng theo tiêu chuẩn của nhà sản xuất và các quy định liên quan.

$$Z_5 = \sum_{x\in X}\sum_{c\in C}\sum_{t\in T} D^t_{xDC}.DR^t_x.(Q^t_{xDCc} + Q^t_{xwc}) \quad (6)$$

Phương trình (7) xác định chi phí phát thải carbon từ vận chuyển sản phẩm mới $(x)$, được tính toán dựa trên hệ số phát thải và lượng vận chuyển trên từng tuyến.

$$Z_6 = EC.\left(\sum_{x\in X}\sum_{m\in M}\sum_{t\in T} ET^t_{mDC}.Q^t_{xmDC}.DI_{mDC} + \sum_{x\in X}\sum_{w\in W}\sum_{t\in T} ET^t_{DCw}.Q^t_{xDCw}.DI_{DCw} + \sum_{x\in X}\sum_{c\in C}\sum_{t\in T} ET^t_{DCc}.Q^t_{xDCc}.DI_{DCc} + \sum_{x\in X}\sum_{w\in W}\sum_{c\in C}\sum_{t\in T} ET^t_{wc}.Q^t_{xwc}.DI_{wc}\right) \quad (7)$$

Phương trình (8) mô tả chi phí phát thải carbon từ vận chuyển sản phẩm đã qua sử dụng $(y)$ từ khách hàng về lại nhà sản xuất.

$$Z_7 = EC.\left(\sum_{y\in Y}\sum_{c\in C}\sum_{t\in T} T^t_{DCc}.Q^t_{ycDC}.DI_{DCc} + \sum_{y\in Y}\sum_{w\in W}\sum_{c\in C}\sum_{t\in T} T^t_{wc}.Q^t_{ycw}.DI_{wc} + \sum_{y\in Y}\sum_{w\in W}\sum_{t\in T} T^t_{DCw}.Q^t_{ywDC}.DI_{DCw} + \sum_{y\in Y}\sum_{m\in M}\sum_{t\in T} T^t_{mDC}.Q^t_{yDCm}.DI_{mDC}\right) \quad (8)$$

Phương trình (9) thể hiện chi phí phát thải carbon phát sinh từ lưu kho trong toàn bộ mạng lưới phân phối.

$$Z_8 = EC.\left(\sum_{x\in X}\sum_{t\in T} EI^t_{xDC}.\frac{Q^t_{xmDC}}{2} + \sum_{x\in X}\sum_{w\in W}\sum_{t\in T} EI^t_{xw}.\frac{Q^t_{xDCw}}{2} + \sum_{y\in Y}\sum_{t\in T} EI^t_{yDC}.\left(\frac{Q^t_{ywDC}}{2}+\frac{Q^t_{ycDC}}{2}\right) + \sum_{y\in Y}\sum_{w\in W}\sum_{t\in T} EI^t_{yw}.\frac{Q^t_{ycw}}{2}\right) \quad (9)$$

Phương trình (10) xác định chi phí phát thải carbon phát sinh từ đóng gói.

$$Z_9 = EC.\left(\sum_{x\in X}\sum_{t\in T} EP^t_x.Q^t_{xmDC}.k^t_x + \sum_{y\in Y}\sum_{t\in T} EP^t_y.Q^t_{yDCm}.k^t_y\right) \quad (10)$$

Phương trình (11) mô tả chi phí phát thải carbon phát sinh từ việc hủy hàng.

$$Z_{10} = EC.\sum_{x\in X}\sum_{c\in C}\sum_{t\in T} ED^t_{xDC}.DR^t_x.(Q^t_{xDCc} + Q^t_{xwc}) \quad (11)$$

Tiếp theo, các ràng buộc của mô hình được thiết lập nhằm xác định miền nghiệm và mô tả đặc tính vận hành của mạng lưới với mọi giá trị x, y, m, w, c, t. Ràng buộc (12-15) đảm bảo tính bảo toàn sản phẩm giữa các kỳ và các cấp liên tiếp.

$$IL^{t-1}_{xDC} + \sum_{m\in M} Q^t_{xmDC} = IL^t_{xDC} + \sum_{c\in C} Q^t_{xDCc} + \sum_{w\in W} Q^t_{xDCw} \quad (12)$$

$$IL^{t-1}_{xw} + \sum_{w\in W} Q^t_{xDCw} = IL^t_{xw} + \sum_{w\in W}\sum_{c\in C} Q^t_{xwc} \quad (13)$$

$$IL^{t-1}_{yDC} + \sum_{c\in C} Q^t_{ycDC} + \sum_{w\in W} Q^t_{ywDC} = IL^t_{yDC} + \sum_{m\in M} Q^t_{yDCm} \quad (14)$$

$$IL^{t-1}_{yw} + \sum_{w\in W}\sum_{c\in C} Q^t_{ycw} = IL^t_{yw} + \sum_{w\in W} Q^t_{ywDC} \quad (15)$$

Ràng buộc (16) đảm bảo số lượng hàng cung cấp đến khách hàng đáp ứng nhu cầu dựa trên mục tiêu doanh số của kỳ.

$$\sum_{c\in C} Q^t_{xDCc} + \sum_{w\in W}\sum_{c\in C} Q^t_{xwc} = DE^t_x \quad (16)$$

Các ràng buộc (17-20) giới hạn lượng tồn kho trung bình tại trung tâm phân phối hoặc kho không vượt quá mức tồn kho tối đa do giới hạn vật lý.

$$\sum_{x\in X}\frac{Q^t_{xmDC}}{2} \le IC_{xDC}, \forall x \in X \quad (17)$$

$$\sum_{y\in Y}\frac{Q^t_{yDCm}}{2} \le IC_{yDC}, \forall y \in Y \quad (18)$$

$$\sum_{x\in X}\frac{Q^t_{xDCw}}{2} \le IC_{xw}, \forall x \in X \quad (19)$$

$$\sum_{y\in Y}\frac{Q^t_{ywDC}}{2} \le IC_{yw}, \forall y \in Y \quad (20)$$

Ràng buộc (21) đảm bảo lượng hàng đã qua sử dụng thu hồi về nhà sản xuất đạt tỷ lệ thu hồi theo chính sách bền vững. Do mô hình được thiết lập theo kỳ và giả định dòng thu hồi được thực hiện, ghi nhận trong cùng kỳ (không xét độ trễ), lượng thu hồi trong kỳ không vượt quá lượng hàng đã giao cho khách hàng trong cùng kỳ như thể hiện tại các ràng buộc (22)-(23).

$$\sum_{m\in M}\sum_{t\in T} Q^t_{yDCm} \ge RR^t_x.\sum_{m\in M}\sum_{t\in T} Q^t_{xmDC} \quad (21)$$

$$\sum_{w\in W}\sum_{c\in C} Q^t_{ycw} \le \sum_{w\in W}\sum_{c\in C} Q^t_{xwc} \quad (22)$$

$$\sum_{c\in C} Q^t_{ycDC} \le \sum_{c\in C} Q^t_{xDCc} \quad (23)$$

Ràng buộc (24) yêu cầu mạng lưới phải có lượng tồn kho an toàn nhằm ứng phó rủi ro đứt gãy cung ứng và biến động cung cầu.

$$IL^t_{xDC} + \sum_{w\in W} IL^t_{xw} \ge SSR^t_x.DE^t_x \quad (24)$$

Ràng buộc (25) đảm bảo tổng lượng khí thải carbon được thải ra từ tất cả các hoạt động không vượt qua mức giới hạn đã được định sẵn.

$$
\begin{aligned}
&\Bigg(\sum_{x\in X}\sum_{m\in M}\sum_{t\in T} ET^t_{mDC}\cdot Q^t_{xmDC}\cdot DI_{mDC} + \sum_{x\in X}\sum_{w\in W}\sum_{t\in T} ET^t_{DCw}\cdot Q^t_{xDCw}\cdot DI_{DCw} \\
&+ \sum_{x\in X}\sum_{c\in C}\sum_{t\in T} ET^t_{DCc}\cdot Q^t_{xDCc}\cdot DI_{DCc} + \sum_{x\in X}\sum_{w\in W}\sum_{c\in C}\sum_{t\in T} ET^t_{wc}\cdot Q^t_{xwc}\cdot DI_{wc} \\
&+ \sum_{y\in Y}\sum_{c\in C}\sum_{t\in T} ET^t_{DCc}\cdot Q^t_{ycDC}\cdot DI_{DCc} + \sum_{y\in Y}\sum_{w\in W}\sum_{c\in C}\sum_{t\in T} ET^t_{wc}\cdot Q^t_{ycw}\cdot DI_{wc} \\
&+ \sum_{y\in Y}\sum_{w\in W}\sum_{t\in T} ET^t_{DCw}\cdot Q^t_{ywDC}\cdot DI_{DCw} + \sum_{y\in Y}\sum_{m\in M}\sum_{t\in T} ET^t_{mDC}\cdot Q^t_{yDCm}\cdot DI_{mDC} \\
&+ \sum_{x\in X}\sum_{t\in T} EI^t_{xDC}\cdot \frac{Q^t_{xmDC}}{2} + \sum_{x\in X}\sum_{w\in W}\sum_{t\in T} EI^t_{xw}\cdot \frac{Q^t_{xDCw}}{2} \\
&+ \sum_{y\in Y}\sum_{t\in T} EI^t_{yDC}\cdot\left(\frac{Q^t_{ywDC}}{2} + \frac{Q^t_{ycDC}}{2}\right) + \sum_{y\in Y}\sum_{w\in W}\sum_{t\in T} EI^t_{yw}\cdot \frac{Q^t_{ycw}}{2} \\
&+ \sum_{x\in X}\sum_{t\in T} EP^t_x\cdot Q^t_{xmDC}\cdot k^t_x + \sum_{y\in Y}\sum_{t\in T} EP^t_y\cdot Q^t_{yDCm}\cdot k^t_y \\
&+ \sum_{x\in X}\sum_{c\in C}\sum_{t\in T} ED^t_{xDC}\cdot DR^t_x\cdot (Q^t_{xDCc} + Q^t_{xwc})\Bigg) \le \sum_{t\in T} CAP^t
\end{aligned}
\tag{25}
$$

Cuối cùng, các biến lượng vận chuyển (Q) và tồn kho (IL) được giả định không âm; trong trường hợp cần phản ánh tính rời rạc theo đơn vị đóng gói hoặc lô hàng, Q và IL có thể được ràng buộc là số nguyên dương.

## 4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đề xuất mô hình MILP tối thiểu hóa tổng chi phí cho mạng lưới phân phối có cấu trúc nhiều cấp và chính sách thu hồi sản phẩm đã qua sử dụng, trong đó phát thải carbon được xem xét như một ràng buộc hệ thống phát sinh từ vận tải, lưu kho, đóng gói và tiêu hủy. Mô hình cho phép xác định lượng vận chuyển và mức tồn kho tối ưu trong phạm vi các ràng buộc vận hành, qua đó cung cấp khung định lượng hỗ trợ ra quyết định nhằm cân bằng mục tiêu kinh tế và mục tiêu bền vững. Hạn chế của nghiên cứu là chưa triển khai kiểm chứng thực nghiệm. Các nghiên cứu tiếp theo có thể áp dụng mô hình cho dữ liệu doanh nghiệp và thực hiện phân tích kịch bản, độ nhạy khi các tham số đầu vào thay đổi. Qua đó, nghiên cứu kỳ vọng cung cấp một công cụ dựa trên cơ sở khoa học, hỗ trợ doanh nghiệp thương mại Việt Nam lựa chọn phương án vận hành vừa tối ưu về chi phí, vừa đáp ứng định hướng bền vững.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO


[1] Tseng, M. L., Islam, M. S., Karia, N., Fauzi, F. A., & Afrin, A. A literature review on green supply chain management: Trends and future challenges. *Resource, Conservation & Recycling,* 141, 145-162, 2019.

[2] United Nations Environment Programme. Emissions Gap Report 2025: Off target - Continued collective inaction puts global temperature goal at risk, 2025.

[3] Hovelaque, V., & Bironneau, L. The carbon-constrained EOQ model with carbon emission dependent demand. *International Journal of Production Economics,* 164, 285-291, 2015.

[4] Kumar, P. & Kumar, S. Research on Environmental Protection Laws and Policies for Sustainable Green Development. *Journal of Law and Sustainable Development,* 11, 2023.

[5] Jauhari, W. A. Sustainable inventory management for a closed-loop supply chain with energy usage, imperfect production, and green investment. *Cleaner Logistics and Supply Chain,* 4, 100055, 2022.

[6] Zhou, Y., Yu, H., Li, Z., Su, J., & Liu, C. Robust optimization of a distribution network location-routing problem under carbon trading policies. I*EEE Access,* 8, 46288-46306, 2020.

[7] Somsai, T., Pongcharoen, P., & Hicks, C. Optimizing sustainable multimodal distribution networks in the context of carbon pricing, with a case study in the Thai sugar industry. *Energy,* 298, 131273, 2024.

[8] Zhang, X., Jiang, D., Li, J., Zhao, Q., & Zhang, M. Carbon emission-oriented life cycle assessment and optimization strategy for meat supply chain. *Journal of Cleaner Production,* 439, 140727, 2024.

[9] Mehrjerdi, Y. Z., & Shafiee, M. A resilient and sustainable closed-loop supply chain using multiple sourcing and information sharing strategies. *Journal of Cleaner Production*, 289, 125141, 2021.

[10] Abbasi S., M. Daneshmand-Mehr, A. Ghane Kanafi. Designing sustainable recovery network of end-of-life product during the COVID-19 pandemic: a real and applied case study. *Discret*, 6967088, 2022.

[11] Abbasi S., M. Daneshmand-Mehr, A. Ghane Kanafi. Green closed-loop supply chain network design during the coronavirus (COVID-19) pandemic: a case study in the Iranian automotive industry. Environ. *Model,* 28, 69-103, 2023.

[12] Mosallanezhad, B., Hajiaghaei-Keshteli, M., & Triki, C. Shrimp closed-loop supply chain network design. *Soft Computing,* 25(11), 7399-7422, 2021.

[13] Muhammad Ridwan Andi Purnomo, Ivan Darma Wangsa, Novrianty Rizky, Wakhid Ahmad Jauhari, Ismi Zahria. A multi-echelon fish closed-loop supply chain network problem with carbon emission and traceability. *Expert Systems with Applications,* 210, 118416, 2022.

[14] Handayani, D. I., Masudin, I., Rusdiansyah, A., & Suharsono, J. Production distribution model considering traceability and carbon emission: A case study of the Indonesian canned fish food industry. *Logistics,* 5(3), 59, 2021.

[15] Tavana, M., Kian, H., Nasr, A. K., Govindan, K., & Mina, H. A comprehensive framework for sustainable closed-loop supply chain network design. *Journal of Cleaner Production,* 332, 129777, 2022.

[16] Kumari, M., Kanti De, P., Narang, P., & Shah, N. H. Integrated optimization of inventory, replenishment, and vehicle routing for a sustainable supply chain utilizing a novel hybrid algorithm with carbon emission regulation. *Expert Systems with Applications,* 220, 119667, 2023.

[17] Jain, R., Mittal, M., Mangla, S. K., & Baraiya, R. Optimizing supply chain strategies for deteriorating items and imperfect manufacturing under carbon emission regulations. *Computers & Industrial Engineering,* 182, 109350, 2023.

[18] Sebatjane, M., Cárdenas-Barrón, L. E., & Nobil, A. H. Sustainable inventory models for a three-echelon food supply chain with growing items and price- and carbon emissions-dependent demand under different emissions regulations. *Cleaner Logistics and Supply Chain,* 13, 100192, 2024.

[19] Guo, Y., Zhou, W., Ren, H., Yu, Y., Xu, L., & Fuss, M. Optimizing the aluminum supply chain network subject to the uncertainty of carbon emissions trading market. *Resources Policy,* 103247, 2023.

[20] Kumar, A., & Kumar, K. An uncertain sustainable supply chain network design for regulating greenhouse gas emission and supply chain cost. *Cleaner Logistics and Supply Chain,* 100142, 2024.

■Ngày nhận bài: 27/02/2026 ■Ngày sửa bài: 04/3/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 11/3/2026

# Nghiên cứu mô hình ảnh hưởng của hoạt động tổ chức thực hiện kế hoạch vốn đến tiến độ giải ngân vốn đầu tư công xây dựng công trình giao thông đường bộ tại Việt Nam

## The impact of capital plan implementation on public investment disbursement: Evidence from Vietnam's road transport sector

**> THS TRẦN TUẤN PHONG[1], PGS.TS NGUYỄN LƯƠNG HẢI[2,*]**
[1]Học viện Chiến lược, bồi dưỡng cán bộ xây dựng
[2]Trường Đại học Giao thông vận tải
[*]Email: hainl@utc.edu.vn

### TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu tác động của hoạt động tổ chức thực hiện kế hoạch vốn đến tiến độ giải ngân vốn đầu tư công trong xây dựng công trình giao thông đường bộ tại Việt Nam. Nghiên cứu sử dụng 8 chỉ tiêu mô tả quá trình tổ chức thực hiện kế hoạch vốn làm biến độc lập trong mô hình hồi quy, với dữ liệu khảo sát từ 136 cán bộ thuộc các ban quản lý dự án (QLDA), cơ quan chủ trì, cơ quan kế hoạch, tài chính và Kiểm toán Nhà nước. Kết quả cho thấy mô hình giải thích được 45,6% sự khác biệt trong tiến độ giải ngân vốn đầu tư công (Adjusted $R^2$ = 0,456). Hai chỉ tiêu có tác động trực tiếp, tích cực và có ý nghĩa thống kê đến tiến độ giải ngân là OR2 (giao chỉ tiêu, giao chi tiết vốn kịp thời) và OR3 (triển khai dự án theo đúng tiến độ và kế hoạch vốn). Ngoài ra, OR2 đóng vai trò trung gian trong mối quan hệ giữa OR4 và OR6 với tiến độ giải ngân, còn OR3 đóng vai trò trung gian giữa OR2 và OR7. Kết quả này nhấn mạnh tầm quan trọng của việc giao vốn kịp thời, tổ chức điều hành triển khai dự án theo kế hoạch và tăng cường trách nhiệm phối hợp giữa các bên liên quan nhằm nâng cao hiệu quả giải ngân vốn đầu tư công.

**Từ khóa:** Tổ chức thực hiện kế hoạch vốn; giải ngân vốn đầu tư công; giao thông đường bộ; quản lý dự án.

### ABSTRACT

This study examines the impact of capital plan implementation activities on the disbursement progress of public investment in road transport infrastructure projects in Vietnam. Eight indicators describing the organization and execution of capital plans were used as independent variables in a regression model, based on primary survey data from 136 respondents, including staff from project management units, managing authorities, planning and financial agencies and the State Audit Office. The results indicate that the model explains 45.6% of the variation in disbursement progress (Adjusted $R^2$ = 0.456). Two key indicators - OR2 (timeliness and adequacy of allocating investment targets and detailed capital plans) and OR3 (ensuring project implementation follows the approved schedule and capital plan) - have a significant and positive direct effect on disbursement progress. Moreover, OR2 mediates the relationship between OR4 (tendering progress) and OR6 (ensuring project scope and scale) with disbursement, while OR3 acts as a mediator between OR2 and OR7 (stakeholder accountability). These findings highlight the importance of timely capital allocation, effective project implementation management and enhanced stakeholder coordination to improve public investment disbursement performance in Vietnam's transport infrastructure projects.

**Keywords:** Capital plan implementation; public investment; disbursement progress; road transport infrastructure; stakeholder coordination.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Giải ngân vốn đầu tư công là một khâu then chốt trong QLDA hạ tầng, quyết định hiệu quả sử dụng vốn ngân sách nhà nước và tiến độ hoàn thành công trình. Thực tế tại Việt Nam cho thấy tình trạng chậm giải ngân vốn đầu tư công, đặc biệt trong các dự án giao thông đường bộ vẫn là thách thức lớn, ảnh hưởng đến tiến độ xây dựng, làm tăng chi phí đầu tư và giảm hiệu quả kinh tế - xã hội. Nhiều nghiên cứu trước đây đã phân tích nguyên nhân từ khâu lập kế hoạch, chuẩn bị dự án và cân đối vốn, nhưng ít tập trung vào giai đoạn tổ chức thực hiện kế hoạch vốn - giai đoạn có tác động trực tiếp đến việc giải ngân vốn đúng tiến độ.

Nghiên cứu này nhằm lấp đầy khoảng trống đó bằng cách xây dựng mô hình kiểm định ảnh hưởng của 8 chỉ tiêu phản ánh hoạt động tổ chức thực hiện kế hoạch vốn (bao gồm giao chỉ tiêu, phân bổ vốn chi tiết, triển khai dự án, lựa chọn nhà thầu, nghiệm thu thanh toán, bảo đảm quy mô đầu tư, trách nhiệm các bên liên quan và cân đối nguồn vốn thanh toán nợ đọng). Dữ liệu sơ cấp được thu thập từ 136 mẫu khảo sát đại diện cho các cơ quan quản lý, ban QLDA và cơ quan giám sát liên quan đến đầu tư công giao thông đường bộ.

Mục tiêu của nghiên cứu là xác định những yếu tố tổ chức thực hiện có ảnh hưởng đáng kể đến tiến độ giải ngân, vai trò trung gian của các chỉ tiêu, từ đó đưa ra gợi ý nhằm nâng cao hiệu quả quản lý và điều hành vốn đầu tư công. Nghiên cứu cung cấp bằng chứng định lượng mới, đóng góp vào lý luận về quản lý vốn đầu tư công và có giá trị tham khảo cho các nhà hoạch định chính sách, cơ quan quản lý trong quá trình cải thiện hiệu quả giải ngân.

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Các chỉ tiêu mô tả hoạt động tổ chức thực hiện kế hoạch vốn đầu tư công trong xây dựng công trình giao thông đường bộ tại Việt Nam được kế thừa và điều chỉnh từ mô hình nghiên cứu của Trần Tuấn Phong và Nguyễn Lương Hải [1], bao gồm 8 chỉ tiêu (trình bày tại Bảng 1). Các chỉ tiêu này được sử dụng làm biến độc lập trong mô hình nghiên cứu nhằm kiểm định giả thuyết rằng chúng có tác động tích cực đến tiến độ giải ngân vốn đầu tư công trong các dự án giao thông đường bộ.

Bảng 1. Các chỉ tiêu mô tả hoạt động tổ chức thực hiện kế hoạch vốn đầu tư công

| STT | Mã CT | Nội dung | Dựa trên nghiên cứu |
|---|---|---|---|
| 1 | OR1 | Mức độ phù hợp trong thực hiện phân bổ chi tiết vốn kế hoạch đầu tư công nguồn ngân sách nhà nước cho từng nhiệm vụ, dự án theo các tiêu chí quy định. | [2] |
| 2 | OR2 | Mức độ đảm bảo tiến độ trong thực hiện giao chỉ tiêu và giao chi tiết vốn kế hoạch đầy đủ các tiêu chí quy định cho các chủ đầu tư để thực hiện. | [3] |
| 3 | OR3 | Mức độ đảm bảo trong triển khai thực hiện dự án theo đúng tiến độ và kế hoạch vốn đã được cấp có thẩm quyền quyết định. | [TG] |
| 4 | OR4 | Mức độ đảm bảo tiến độ của công tác lựa chọn nhà thầu đối với gói thầu thuộc dự án được bố trí vốn theo kế hoạch đầu tư công đã được cấp có thẩm quyền quyết định. | [4], [TG] |
| 5 | OR5 | Mức độ đảm bảo yêu cầu tiến độ công tác nghiệm thu và thanh toán, quyết toán theo đúng hợp đồng đối với khối lượng/gói thầu đã hoàn thành và bàn giao đưa vào sử dụng. | [TG] |
| 6 | OR6 | Mức độ bảo đảm phạm vi, quy mô đầu tư của từng dự án thực hiện theo đúng mục tiêu, lĩnh vực, chương trình đã được phê duyệt và theo kế hoạch vốn đã được bố trí. | [TG] |
| 7 | OR7 | Mức độ phù hợp trong việc đảm bảo trách nhiệm thực thi của các bên liên quan trong thực hiện triển khai kế hoạch vốn và quá trình triển khai đầu tư xây dựng các dự án. | [5, 6]. |
| 8 | OR8 | Mức độ phù hợp trong việc cân đối các nguồn vốn để thanh toán nợ đọng xây dựng cơ bản theo quy định tại Luật đầu tư công. | [7] |

*Ghi chú: [TG] - Tác giả.*

Khảo sát sơ cấp được thực hiện và thu thập được 136 mẫu hợp lệ, trong đó: 74 mẫu từ các ban QLDA công trình giao thông đường bộ thuộc cơ quan chủ trì, 29 mẫu từ cơ quan quản lý vốn đầu tư xây dựng công trình giao thông đường bộ, 13 mẫu từ cơ quan kế hoạch, 7 mẫu từ cơ quan tài chính và 13 mẫu từ Kiểm toán Nhà nước. Bộ số liệu này được sử dụng để phân tích hồi quy nhằm kiểm định các giả thuyết nghiên cứu.

## 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ BÀN LUẬN

Kết quả phân tích hồi quy (Hình 1, Bảng 2) cho thấy mô hình nghiên cứu giải thích được 45,6% sự khác biệt trong tiến độ giải ngân vốn đầu tư công (Adjusted $R^2$ = 0,456), mức giải thích này có ý nghĩa thống kê, chứng tỏ các chỉ tiêu tổ chức thực hiện kế hoạch vốn có ảnh hưởng thật sự đến tiến độ giải ngân.

Kết quả cho thấy hai chỉ tiêu OR2 và OR3 có ảnh hưởng trực tiếp, tích cực và có ý nghĩa thống kê đến tiến độ giải ngân vốn đầu tư công:

*- OR2 - Mức độ đảm bảo tiến độ trong giao chỉ tiêu và giao chi tiết vốn kế hoạch:* Yếu tố này đóng vai trò quan trọng trong việc bảo đảm sự sẵn sàng về nguồn lực cho các chủ đầu tư. Khi chỉ tiêu và chi tiết vốn được giao kịp thời, đúng tiêu chí, các chủ đầu tư có điều kiện triển khai dự án theo tiến độ, tránh tình trạng chờ vốn hoặc điều chỉnh kế hoạch nhiều lần.

*- OR3 - Mức độ đảm bảo triển khai dự án theo đúng tiến độ và kế hoạch vốn được phê duyệt:* Đây là yếu tố phản ánh năng lực tổ chức và điều phối thực tế tại các ban QLDA. Kết quả nghiên cứu cho thấy khi hoạt động triển khai dự án tuân thủ chặt chẽ tiến độ và kế hoạch vốn, tiến độ giải ngân được cải thiện rõ rệt.

Kết quả phân tích cũng chỉ ra vai trò trung gian quan trọng của các chỉ tiêu trong mô hình:

- OR2 đóng vai trò trung gian trong mối quan hệ giữa OR4 (tiến độ lựa chọn nhà thầu) và OR6 (đảm bảo phạm vi, quy mô đầu tư). Điều này có nghĩa là dù công tác lựa chọn nhà thầu và đảm bảo quy mô đầu tư quan trọng, nhưng chỉ thật sự phát huy hiệu quả khi chỉ tiêu và vốn kế hoạch được giao đúng hạn và đúng tiêu chí.

- OR3 đóng vai trò trung gian của OR2 và OR7 (trách nhiệm thực thi của các bên liên quan). Điều này cho thấy khi các bên liên quan thực hiện tốt trách nhiệm và chỉ tiêu vốn được giao kịp thời, việc triển khai dự án sẽ đồng bộ và tiến độ giải ngân được cải thiện.

Ngoài ra, OR7 có tác động gián tiếp đến tiến độ giải ngân thông qua việc tác động tích cực đến OR4 và OR6. Điều này gợi ý rằng việc tăng cường trách nhiệm và phối hợp giữa các bên liên quan sẽ tạo điều kiện thuận lợi cho công tác lựa chọn nhà thầu và kiểm soát phạm vi, quy mô đầu tư, từ đó cải thiện tiến độ giải ngân.

Những phát hiện trên nhấn mạnh rằng tiến độ giải ngân vốn không chỉ phụ thuộc vào việc có vốn hay không, mà phụ thuộc nhiều vào cách thức tổ chức và điều phối thực hiện kế hoạch vốn. Việc giao vốn kịp thời (OR2) và tổ chức triển khai dự án theo đúng kế hoạch đã được phê duyệt (OR3) đóng vai trò then chốt. Đây là các

yếu tố có thể can thiệp và cải thiện thông qua việc chuẩn hóa quy trình giao vốn, nâng cao năng lực điều hành của các ban QLDA và tăng cường giám sát tiến độ thực hiện.

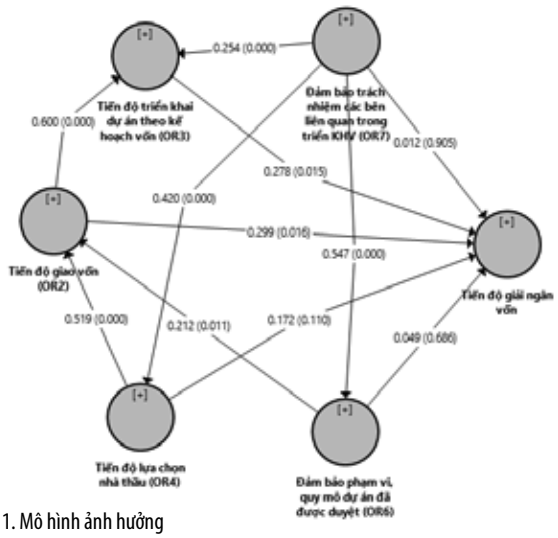
Kết quả cũng cho thấy tầm quan trọng của sự phối hợp đa bên (thể hiện qua OR7) và chất lượng công tác lựa chọn nhà thầu (OR4). Nếu các khâu này được thực hiện hiệu quả và đồng bộ với việc giao vốn, sẽ tạo điều kiện để các dự án có thể triển khai liên tục, hạn chế tình trạng chậm trễ hoặc dừng thi công.

Các phát hiện nghiên cứu phù hợp với các lý thuyết về QLDA và các nghiên cứu trước đây [1, 4, 6], đồng thời cung cấp bằng chứng định lượng cụ thể trong bối cảnh đầu tư công giao thông đường bộ tại Việt Nam. Điều này giúp khẳng định rằng việc cải thiện quy trình tổ chức thực hiện kế hoạch vốn không chỉ là yêu cầu tuân thủ pháp luật mà còn là giải pháp thiết thực để nâng cao hiệu quả sử dụng vốn và giảm thiểu tình trạng chậm giải ngân.

Bảng 2. Kết quả phân tích mô hình ảnh hưởng

| Biến độc lập | Hệ số hồi quy chuẩn hóa (β) | Giá trị p (Sig.) | Kết luận |
|---|---|---|---|
| OR1 - Phân bổ chi tiết vốn kế hoạch | 0,083 | 0,212 | Không có ý nghĩa |
| OR2 - Giao chỉ tiêu, giao chi tiết vốn kịp thời | 0,299 | 0,016 * | Ảnh hưởng trực tiếp, có ý nghĩa |
| OR3 - Triển khai dự án theo đúng tiến độ và kế hoạch vốn | 0,278 | 0,015 * | Ảnh hưởng trực tiếp, có ý nghĩa |
| OR4 - Tiến độ lựa chọn nhà thầu | 0,172 | 0,110 | Không có ý nghĩa trực tiếp (tác động gián tiếp qua OR2) |
| OR5 - Nghiệm thu, thanh toán, quyết toán | 0,066 | 0,267 | Không có ý nghĩa |
| OR6 - Bảo đảm phạm vi, quy mô đầu tư | 0,049 | 0,686 | Không có ý nghĩa trực tiếp (tác động gián tiếp qua OR2) |
| OR7 - Trách nhiệm thực thi của các bên liên quan | 0,012 | 0,905 | Tác động gián tiếp, đóng vai trò hỗ trợ OR4 & OR6 |
| OR8 - Cân đối nguồn vốn để thanh toán nợ đọng | 0,041 | 0,398 | Không có ý nghĩa |

*Ghi chú: (**) p < 0,01; (*) p < 0,05.*




Hình 1. Mô hình ảnh hưởng

## 4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã kiểm định mô hình ảnh hưởng của hoạt động tổ chức thực hiện kế hoạch vốn đến tiến độ giải ngân vốn đầu tư công trong lĩnh vực giao thông đường bộ. Kết quả hồi quy cho thấy mô hình giải thích được 45,6% sự khác biệt trong tiến độ giải ngân (Adjusted $R^2$ = 0,456), trong đó OR2 (giao chỉ tiêu, giao chi tiết vốn kịp thời) và OR3 (triển khai dự án theo đúng tiến độ và kế hoạch vốn) là hai yếu tố có tác động trực tiếp, tích cực và có ý nghĩa thống kê. Đồng thời, OR2 đóng vai trò trung gian cho tác động của công tác lựa chọn nhà thầu (OR4) và bảo đảm phạm vi, quy mô đầu tư (OR6), trong khi OR3 đóng vai trò kết nối giữa OR2 và trách nhiệm thực thi của các bên liên quan (OR7).

Các kết quả này cho thấy để đẩy nhanh tiến độ giải ngân cần tập trung vào một số giải pháp chính:

- Bảo đảm giao chỉ tiêu và chi tiết vốn đầy đủ, kịp thời và minh bạch, tạo điều kiện cho các chủ đầu tư chuẩn bị và triển khai dự án đúng kế hoạch;
- Nâng cao năng lực điều hành và tổ chức triển khai dự án, bảo đảm bám sát kế hoạch vốn đã được phê duyệt, giảm thiểu tình trạng điều chỉnh hoặc kéo dài tiến độ;
- Tăng cường trách nhiệm và sự phối hợp giữa các bên liên quan trong công tác lựa chọn nhà thầu, nghiệm thu - thanh toán và điều phối nguồn vốn, nhằm bảo đảm tiến độ thực hiện đồng bộ;
- Chuẩn hóa quy trình giám sát tiến độ giải ngân, áp dụng công nghệ thông tin để theo dõi, công khai tình trạng giải ngân, nâng cao tính minh bạch và trách nhiệm giải trình.

** Hàm ý chính sách:*

Kết quả nghiên cứu cung cấp bằng chứng thực nghiệm để các cơ quan quản lý nhà nước xem xét hoàn thiện quy trình tổ chức thực hiện kế hoạch vốn đầu tư công. Cần rà soát và cải thiện thời gian giao vốn, quy định rõ trách nhiệm phối hợp giữa các cơ quan quản lý, đồng thời đẩy mạnh ứng dụng hệ thống giám sát giải ngân theo thời gian thực. Việc lồng ghép các yêu cầu về minh bạch, trách nhiệm giải trình và xử lý nghiêm các trường hợp chậm trễ sẽ góp phần nâng cao hiệu quả sử dụng vốn ngân sách, rút ngắn thời gian thực hiện dự án và thúc đẩy phát triển kết cấu hạ tầng giao thông theo đúng định hướng chiến lược quốc gia.

Nghiên cứu tiếp theo có thể mở rộng theo các hướng:

- Bổ sung các yếu tố thể chế, năng lực quản trị và cơ chế giám sát độc lập để nâng cao khả năng giải thích của mô hình;
- Sử dụng dữ liệu theo chuỗi thời gian hoặc nghiên cứu tình huống để đánh giá tác động của các cải cách chính sách đến tiến độ giải ngân theo từng giai đoạn;

Những gợi ý này sẽ giúp làm rõ hơn các cơ chế ảnh hưởng, đồng thời cung cấp cơ sở khoa học vững chắc cho việc hoạch định chính sách và quản lý đầu tư công trong tương lai.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Trần Tuấn Phong và Nguyễn Lương Hải. Nghiên cứu các chỉ tiêu đánh giá hoạt động tổ chức thực hiện kế hoạch vốn đầu tư công xây dựng công trình giao thông tại Việt Nam. *Tạp chí Giao thông vận tải,* 64(10/2024(746)), tr. 139-142, 2024.

[2] Matt, P. Starbucks is now selling 46% more things an hour than it was five years ago. [cited 2021 November 14]. Internet: https://qz.com/149995/starbucks-is-now-selling-46-more-things-an-hour-than-it-was-five-years-ago/, 2013.

[3] Williams, C. Mgmt. *Cengage Learning,* 2017.

[4] Porter, M.E., J.W. Lorsch and N. Nohria. Seven surprises for new CEOs. *Harvard business review,* 82(10), pp. 62-75, 2004.

[5] Susan, C. United Continental: One Sick Bird. *The Wall Street Journal,* 2014.

[6] Nguyễn Đức Tuyên. Phát triển hạ tầng kinh tế - xã hội ở nông thôn tỉnh Bắc Ninh kinh nghiệm và giải pháp. *Đại học Kinh tế quốc dân,* 2009.

[7] Quốc hội. Luật Đầu tư công số 58/2024/QH15, 2024.

■Ngày nhận bài: 02/01/2026 ■Ngày sửa bài: 14/01/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 26/01/2026

# Nghiên cứu rủi ro dưới góc độ quản lý nhà nước khi thực hiện các dự án đầu tư xây dựng đường cao tốc tại Việt Nam

## A study on risks in expressway construction investment projects in Vietnam

**> THS.NCS LÊ KHÁNH LINH[1,*], THS.NCS LÊ HÀ THIÊN ẤN[2]**
[1]Công ty CPĐT XD và Phát triển Nguồn nhân lực Sáu
[2]Ban Kinh tế - Ngân sách Hội đồng nhân dân phường Tân Hưng, TP.HCM
[*]Email: lekhanhlinh.gts@gmail.com

**TÓM TẮT**

Bài báo nghiên cứu và đánh giá các rủi ro phát sinh trong quá trình thực hiện các dự án đầu tư xây dựng đường cao tốc tại Việt Nam, tập trung vào 3 nhóm rủi ro chính gồm: Rủi ro về chính sách, rủi ro liên quan đến thiết kế và rủi ro về tổ chức - quản lý. Trong đó, rủi ro chính sách được phân tích sâu với trọng tâm là các chính sách về quy hoạch, quản lý và cung ứng nguồn vật liệu xây dựng cho các dự án đường cao tốc. Nghiên cứu sử dụng phương pháp khảo sát 125 công chức tại các cơ quan nhà nước (ban quản lý dự án) và đại diện các doanh nghiệp tham gia dự án, với thang đo Likert 5 mức. Kết quả cho thấy rủi ro chính sách và rủi ro trong thiết kế được đánh giá ở mức khá cao, phản ánh những bất cập trong quy hoạch nguồn vật liệu, cơ chế điều phối cũng như hệ thống quy chuẩn - tiêu chuẩn và công tác quản lý thiết kế. Rủi ro về tổ chức - quản lý được đánh giá ở mức trung bình, chủ yếu liên quan đến phân định trách nhiệm, phối hợp giữa các bên và năng lực quản lý dự án. Trên cơ sở đó, bài báo đề xuất một số khuyến nghị nhằm hoàn thiện chính sách quy hoạch và quản lý nguồn vật liệu, nâng cao chất lượng quản lý thiết kế và hiệu quả tổ chức, quản lý trong quá trình thực hiện các dự án đầu tư xây dựng đường cao tốc tại Việt Nam.

**Từ khóa:** Rủi ro; pháp lý; đường cao tốc; thiết kế; tổ chức - quản lý.

**ABSTRACT**

This paper examines and evaluates the risks arising during the implementation of expressway investment and construction projects in Vietnam, focusing on three primary risk groups: Policy risks, design-related risks and organizational-management risks. Among these, policy risks are analyzed in depth, specifically focusing on policies regarding the planning, management and supply of construction materials for expressway projects. The study utilized a survey of 125 civil servants from state agencies (Project Management Units) and representatives from participating enterprises, employing a five-point Likert scale. The results indicate that: Policy and design risks were rated at a relatively high level, reflecting inadequacies in material source planning, coordination mechanisms, the system of codes and standards and design management; Organizational-management risks were rated at a moderate level, primarily involving the division of responsibilities, inter-party coordination and project management capacity. Based on these findings, the paper proposes several recommendations to improve planning and material resource management policies, enhance design management quality and increase organizational and management efficiency in the execution of expressway projects in Vietnam.

**Keywords:** Risk; legal; expressway; design; organization - management.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh nhiều quốc gia, trong đó có Việt Nam đang đẩy mạnh phát triển hệ thống đường cao tốc nhằm đáp ứng yêu cầu tăng trưởng kinh tế, tăng cường kết nối vùng và nâng cao năng lực cạnh tranh quốc gia, các dự án đầu tư xây dựng đường cao tốc ngày càng có quy mô lớn, kỹ thuật phức tạp và sự tham gia của nhiều chủ thể. Tổng quan nghiên cứu của [1] Ariyanto, Purba và Purba (2020) cho thấy các dự án xây dựng đường cao tốc tiềm ẩn nhiều loại rủi ro trong suốt vòng đời dự án, từ giai đoạn chuẩn bị đầu tư, thiết kế, thi công đến khai thác, vận hành, xuất phát từ

đặc thù kỹ thuật, an toàn giao thông cao, thời gian thực hiện kéo dài vật liệu xây dựng ngày càng khan hiếm và sự phụ thuộc lớn vào môi trường chính sách và năng lực, kinh nghiệm quản lý.

Dưới góc độ quản lý nhà nước, rủi ro trong đầu tư xây dựng đường cao tốc không chỉ ảnh hưởng đến tiến độ, chi phí và chất lượng công trình, mà còn tác động trực tiếp đến hiệu quả sử dụng nguồn lực công, an toàn giao thông và chất lượng dịch vụ hạ tầng sau khi đưa vào khai thác. Nghiên cứu về quản lý rủi ro trong các chương trình đường cao tốc quy mô lớn cho thấy các rủi ro mang tính hệ thống, đặc biệt là rủi ro về chính sách, rủi ro trong thiết kế, vật liệu và rủi ro về tổ chức - quản lý, có thể làm suy giảm hiệu quả tổng thể của dự án nếu không được nhận diện và kiểm soát kịp thời [2].

Trong điều kiện Việt Nam, rủi ro chính sách nổi lên như một vấn đề đáng chú ý, đặc biệt liên quan đến chính sách quy hoạch, quản lý và cung ứng nguồn vật liệu xây dựng phục vụ các dự án đường cao tốc. Việc thiếu đồng bộ giữa quy hoạch phát triển hạ tầng giao thông với quy hoạch nguồn vật liệu, cùng với những bất cập trong cơ chế cấp phép, điều phối và kiểm soát khai thác vật liệu đã và đang gây ra nhiều khó khăn trong quá trình triển khai dự án. Bên cạnh đó, các nghiên cứu thực nghiệm cũng chỉ ra rằng rủi ro trong các dự án hạ tầng giao thông mang tính đa chiều và chịu ảnh hưởng mạnh từ nhận thức của các bên liên quan cũng như năng lực phối hợp và quản lý của các chủ thể tham gia [3, 4].

Đối với các dự án đường cao tốc, rủi ro liên quan đến thiết kế, vật liệu bao gồm sự thiếu đồng bộ của tiêu chuẩn - quy chuẩn kỹ thuật, bất cập trong quy trình thẩm định và việc điều chỉnh thiết kế trong quá trình thi công được xem là một trong những nguồn rủi ro kỹ thuật quan trọng, có tác động lan tỏa đến tiến độ, chi phí và chất lượng dự án [5]. Tuy nhiên, tại Việt Nam, các nghiên cứu phân tích rủi ro một cách hệ thống dưới góc độ quản lý nhà nước - với vai trò là chủ thể hoạch định chính sách, tổ chức thực hiện và giám sát toàn bộ quá trình đầu tư xây dựng đường cao tốc - vẫn còn tương đối hạn chế.

Xuất phát từ thực tiễn đó, bài báo nhằm nhận diện và đánh giá các rủi ro chủ yếu trong đầu tư xây dựng đường cao tốc tại Việt Nam, tập trung vào 3 nhóm rủi ro chính gồm: Rủi ro về chính sách (đặc biệt là chính sách quy hoạch và quản lý nguồn vật liệu), rủi ro liên quan đến thiết kế và rủi ro về tổ chức - quản lý. Trên cơ sở kết quả nghiên cứu, bài báo đề xuất một số khuyến nghị nhằm hoàn thiện chính sách, nâng cao chất lượng quản lý thiết kế và tăng cường hiệu quả tổ chức, quản lý trong đầu tư xây dựng đường cao tốc tại Việt Nam.

## 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT RỦI RO TRONG ĐẦU TƯ XÂY DỰNG ĐƯỜNG CAO TỐC

### 2.1. Rủi ro về chính sách

Rủi ro về chính sách trong các dự án đầu tư xây dựng đường cao tốc được hiểu là những bất định phát sinh từ quá trình hoạch định, ban hành và tổ chức thực hiện các chính sách công có liên quan trực tiếp đến dự án, đầu tư xây dựng ảnh hưởng đến tiến độ, chi phí và hiệu quả đầu tư. Các nghiên cứu tổng quan cho thấy chính sách là một trong những nguồn rủi ro mang tính hệ thống, có tác động xuyên suốt vòng đời dự án hạ tầng giao thông, đặc biệt đối với các dự án đường cao tốc có quy mô lớn và thời gian thực hiện kéo dài [1], chịu nhiều tác động tiêu cực của thiên nhiên.

Trong bối cảnh Việt Nam, rủi ro chính sách thể hiện rõ ở sự thiếu đồng bộ và ổn định của các chính sách liên quan đến quy hoạch phát triển đường cao tốc, quy hoạch sử dụng đất và quy hoạch nguồn vật liệu xây dựng. Việc quy hoạch mỏ vật liệu, bãi đổ thải và hành lang khai thác chưa theo kịp tiến độ triển khai các dự án đường cao tốc đã làm gia tăng nguy cơ thiếu hụt vật liệu, phát sinh chi phí và kéo dài thời gian thi công. Bên cạnh đó, sự thay đổi hoặc điều chỉnh chính sách trong quá trình thực hiện dự án, đặc biệt là các quy định về cấp phép khai thác, vận chuyển và quản lý nguồn vật liệu, được xem là một dạng rủi ro chính sách phổ biến, gây khó khăn cho các chủ thể tham gia dự án [2].

Ngoài ra, rủi ro chính sách còn xuất phát từ cơ chế điều phối và phối hợp giữa các cấp, các ngành trong tổ chức thực hiện chính sách. Các nghiên cứu chỉ ra rằng, khi trách nhiệm và thẩm quyền giữa các cơ quan quản lý nhà nước không được phân định rõ ràng, hiệu quả thực thi chính sách sẽ bị suy giảm, làm gia tăng mức độ rủi ro cho dự án [3, 4]. Đối với các dự án đường cao tốc, những bất cập trong chính sách quy hoạch và quản lý nguồn vật liệu không chỉ ảnh hưởng đến giai đoạn thi công, mà còn tác động gián tiếp đến chất lượng công trình và hiệu quả khai thác, vận hành sau đầu tư.

### 2.2. Rủi ro về thiết kế

Rủi ro về thiết kế là nhóm rủi ro gắn liền với quá trình lập, thẩm định, phê duyệt và điều chỉnh thiết kế trong các dự án đầu tư xây dựng đường cao tốc. Theo Trịnh Đình Toàn (2022) [5], rủi ro thiết kế thuộc nhóm rủi ro kỹ thuật cốt lõi, có thể phát sinh từ sự thiếu đồng bộ giữa các tiêu chuẩn, quy chuẩn kỹ thuật; sai sót trong hồ sơ thiết kế hoặc việc chưa làm rõ trách nhiệm pháp lý đối với các lỗi thiết kế.

Các nghiên cứu tổng quan về rủi ro trong xây dựng đường cao tốc chỉ ra rằng những bất cập trong thiết kế thường dẫn đến việc phải điều chỉnh thiết kế trong quá trình thi công, kéo theo gia tăng chi phí, kéo dài tiến độ và làm phát sinh các rủi ro kỹ thuật và an toàn [1]. Dưới góc độ quản lý nhà nước, rủi ro thiết kế còn liên quan mật thiết đến chất lượng công tác thẩm định, phê duyệt thiết kế và sự thống nhất trong áp dụng các tiêu chuẩn, quy chuẩn kỹ thuật.

Nghiên cứu của [3] Vo và Yang (2025) cho rằng rủi ro thiết kế không chỉ mang tính kỹ thuật thuần túy mà còn chịu ảnh hưởng từ yếu tố thể chế và quản lý, đặc biệt là sự phối hợp giữa cơ quan quản lý nhà nước, chủ đầu tư và đơn vị tư vấn thiết kế. Nếu không được kiểm soát hiệu quả, rủi ro thiết kế có thể ảnh hưởng lâu dài đến chất lượng và an toàn khai thác đường cao tốc.

### 2.3. Rủi ro về tổ chức - quản lý

Rủi ro về tổ chức - quản lý phản ánh những hạn chế trong cơ cấu tổ chức, phân định trách nhiệm và năng lực quản lý của các chủ thể tham gia dự án đầu tư xây dựng đường cao tốc. Theo [4] Zhang và cộng sự (2022), hiệu quả quản lý rủi ro trong các dự án hạ tầng giao thông phụ thuộc lớn vào sự phối hợp giữa các bên liên quan và năng lực quản lý của các tổ chức tham gia, đặc biệt trong các dự án có quy mô lớn và mức độ phức tạp cao.

Trong thực tiễn, rủi ro tổ chức - quản lý thường xuất phát từ sự chưa rõ ràng trong phân định trách nhiệm giữa các cơ quan quản lý nhà nước, ban quản lý dự án và doanh nghiệp; cơ chế phối hợp chưa hiệu quả cũng như hạn chế về năng lực chuyên môn và kinh nghiệm quản lý dự án. Nghiên cứu của Abd Rahman (2020) [2] chỉ ra rằng, các chương trình đường cao tốc quy mô lớn nếu không có cơ cấu tổ chức và cơ chế quản lý phù hợp sẽ dễ phát sinh rủi ro mang tính hệ thống, ảnh hưởng đến toàn bộ quá trình thực hiện dự án.

Bên cạnh đó, nhận thức và vai trò của các bên liên quan cũng là yếu tố quan trọng trong quản lý rủi ro tổ chức - quản lý. Nghiên cứu của [3] Vo và Yang (2025) nhấn mạnh rằng, sự khác biệt trong nhận thức rủi ro giữa các chủ thể có thể làm suy giảm hiệu quả

phối hợp và ra quyết định, từ đó làm gia tăng rủi ro trong quá trình đầu tư xây dựng đường cao tốc.

## 3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu được thực hiện theo phương pháp định lượng nhằm nhận diện và đánh giá các rủi ro trong đầu tư xây dựng đường cao tốc tại Việt Nam dưới góc độ quản lý nhà nước. Trên cơ sở tổng hợp các nghiên cứu trước và thực tiễn triển khai dự án, nghiên cứu tập trung vào 3 nhóm rủi ro chính gồm: Rủi ro pháp lý, rủi ro liên quan đến thiết kế và rủi ro về tổ chức - quản lý. Thang đo rủi ro được xây dựng theo thang Likert 5 mức (từ 1 - Rất thấp đến 5 - Rất cao), phản ánh mức độ rủi ro được nhận thức bởi các đối tượng tham gia dự án. Dữ liệu được thu thập thông qua khảo sát 125 công chức tại các cơ quan quản lý nhà nước, ban quản lý dự án và đại diện các doanh nghiệp tham gia các dự án đường cao tốc tại Việt Nam.

## 4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

### 4.1. Mô tả mẫu nghiên cứu

Mẫu nghiên cứu gồm 125 đối tượng khảo sát là các công chức công tác tại cơ quan quản lý nhà nước, ban quản lý dự án và đại diện các doanh nghiệp tham gia đầu tư xây dựng đường cao tốc tại Việt Nam. Trong đó, nhóm công chức và cán bộ tại các ban quản lý dự án chiếm 56,8%, trong khi nhóm đại diện doanh nghiệp tư nhân và doanh nghiệp xây dựng chiếm 43,2%. Cơ cấu này phản ánh tương đối cân bằng giữa góc nhìn quản lý nhà nước và góc nhìn của khu vực doanh nghiệp trong đánh giá rủi ro dự án.

Xét theo kinh nghiệm tham gia các dự án đường cao tốc, nhóm có kinh nghiệm dưới 5 năm chiếm 18,4%, nhóm có kinh nghiệm từ 5 đến dưới 10 năm chiếm 34,4% và nhóm có kinh nghiệm từ 10 năm trở lên chiếm tỷ lệ cao nhất với 47,2%. Kết quả này cho thấy phần lớn đối tượng khảo sát có kinh nghiệm thực tiễn tương đối dày, phù hợp với yêu cầu đánh giá các rủi ro mang tính chuyên môn và quản lý trong đầu tư xây dựng đường cao tốc.

### 4.2. Phân tích các rủi ro

*4.2.1. Phân tích rủi ro về chính sách*

Kết quả trình bày tại Bảng 1 cho thấy các rủi ro về chính sách trong các dự án đầu tư xây dựng đường cao tốc tại Việt Nam được đánh giá chủ yếu ở mức trung bình đến cao, trong đó tỷ lệ ý kiến lựa chọn mức "cao" và "rất cao" chiếm ưu thế ở hầu hết các biến quan sát. Nổi bật nhất là rủi ro thiếu đồng bộ giữa quy hoạch phát triển đường cao tốc và quy hoạch nguồn vật liệu xây dựng, với tổng tỷ lệ đánh giá ở mức cao và rất cao đạt 68,8%. Kết quả này phản ánh rõ thực trạng quy hoạch ngành Giao thông vận tải chưa được tích hợp hiệu quả với quy hoạch tài nguyên và quy hoạch không gian vùng, làm gia tăng nguy cơ thiếu hụt vật liệu, phát sinh chi phí và kéo dài tiến độ thi công.

Rủi ro liên quan đến chính sách quy hoạch và cấp phép khai thác mỏ vật liệu chậm, chưa đáp ứng tiến độ dự án cũng được đánh giá ở mức nghiêm trọng, với 68,8% ý kiến ở mức cao và rất cao. Điều này cho thấy các thủ tục hành chính và cơ chế điều phối chính sách trong lĩnh vực quản lý nguồn vật liệu vẫn là "điểm nghẽn" lớn trong quá trình triển khai các dự án đường cao tốc. Bên cạnh đó, rủi ro thay đổi, điều chỉnh chính sách liên quan đến nguồn vật liệu trong quá trình thực hiện dự án đạt tỷ lệ đánh giá cao và rất cao là 67,2%, phản ánh tính thiếu ổn định và khó dự báo của môi trường chính sách, làm gia tăng mức độ bất định cho các chủ thể tham gia dự án.

Ngoài các rủi ro mang tính quy hoạch và ổn định chính sách, các rủi ro về cơ chế tổ chức thực hiện chính sách cũng được đánh giá đáng kể. Cụ thể, rủi ro thiếu cơ chế điều phối, phân cấp rõ ràng giữa các cơ quan quản lý nhà nước và rủi ro trong tổ chức thực thi, giám sát chính sách quản lý nguồn vật liệu đều có tỷ lệ đánh giá mức cao và rất cao trên 61%. Điều này cho thấy rủi ro chính sách không chỉ nằm ở nội dung chính sách, mà còn xuất phát từ khâu tổ chức thực hiện, gắn chặt với năng lực quản lý và phối hợp liên ngành.

Bảng 1. Phân tích rủi ro về chính sách

| TT | Nội dung thang đo | Rất thấp (1) | Thấp (2) | Trung bình (3) | Cao (4) | Rất cao (5) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Thiếu đồng bộ giữa quy hoạch đường cao tốc và quy hoạch nguồn vật liệu xây dựng | 3,2 | 7,2 | 20,8 | 41,6 | 27,2 |
| 2 | Chính sách quy hoạch, cấp phép khai thác mỏ vật liệu chậm, chưa đáp ứng tiến độ dự án | 2,4 | 6,4 | 22,4 | 40,0 | 28,8 |
| 3 | Thay đổi, điều chỉnh chính sách liên quan đến nguồn vật liệu trong quá trình thực hiện dự án | 3,2 | 8,0 | 21,6 | 38,4 | 28,8 |
| 4 | Thiếu cơ chế điều phối, phân cấp rõ ràng giữa các cơ quan quản lý nhà nước trong thực hiện chính sách | 4,0 | 9,6 | 24,8 | 36,0 | 25,6 |
| 5 | Khó khăn trong tổ chức thực thi và giám sát chính sách về quản lý, sử dụng nguồn vật liệu xây dựng | 3,2 | 8,8 | 23,2 | 37,6 | 27,2 |

*Nguồn: Phân tích kết quả khảo sát của tác giả.*

*4.2.2. Phân tích rủi ro về thiết kế*

Kết quả khảo sát tại Bảng 2 cho thấy các rủi ro liên quan đến thiết kế trong các dự án đầu tư xây dựng đường cao tốc được đánh giá ở mức khá cao, với tỷ lệ ý kiến đánh giá cao và rất cao chiếm ưu thế. Nổi bật nhất là rủi ro điều chỉnh, thay đổi thiết kế trong quá trình thi công, với 69,6% số ý kiến đánh giá ở mức cao và rất cao. Điều này phản ánh những bất cập trong khâu khảo sát, lập thiết kế cũng như sự thiếu ổn định của các quy định kỹ thuật và pháp lý liên quan.

Tiếp theo là rủi ro chưa rõ ràng trong phân định trách nhiệm đối với sai sót thiết kế (66,4%) và thiếu đồng bộ giữa các tiêu chuẩn, quy chuẩn kỹ thuật thiết kế đường cao tốc (64,8%). Rủi ro liên quan đến công tác thẩm định, phê duyệt thiết kế cũng được đánh giá ở mức tương đối cao (62,4%). Các kết quả này cho thấy rủi ro thiết kế không chỉ mang tính kỹ thuật mà còn gắn chặt với cơ chế quản lý và khung pháp lý, tác động đáng kể đến tiến độ, chi phí và hiệu quả đầu tư của các dự án đường cao tốc tại Việt Nam.

Bảng 2. Phân tích rủi ro thiết kế

| TT | Nội dung thang đo | Rất thấp (1) | Thấp (2) | Trung bình (3) | Cao (4) | Rất cao (5) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Thiếu đồng bộ giữa tiêu chuẩn, quy chuẩn kỹ thuật thiết kế đường cao tốc | 3,2 | 8,8 | 23,2 | 39,2 | 25,6 |
| 2 | Quy định về thẩm định, phê duyệt thiết kế chưa rõ ràng, thiếu thống nhất | 4,0 | 9,6 | 24,0 | 38,4 | 24,0 |
| 3 | Điều chỉnh, thay đổi thiết kế trong quá trình thi công | 2,4 | 7,2 | 20,8 | 42,4 | 27,2 |
| 4 | Chưa rõ ràng trong phân định trách nhiệm đối với sai sót thiết kế | 3,2 | 8,0 | 22,4 | 40,0 | 26,4 |

*Nguồn: Phân tích kết quả khảo sát của tác giả.*

*4.2.3. Phân tích rủi ro về tổ chức - quản lý*

Theo kết quả tổng hợp tại Bảng 3, các rủi ro về tổ chức - quản lý được đánh giá ở mức trung bình, thấp hơn so với rủi ro pháp lý và thiết kế nhưng vẫn tiềm ẩn nhiều tác động tiêu cực đến hiệu quả dự án. Rủi ro phối hợp chưa hiệu quả giữa các cơ quan quản lý nhà nước và các chủ thể tham gia dự án có tỷ lệ đánh giá cao và rất cao lớn nhất (61,6%).

Tiếp theo là rủi ro năng lực quản lý dự án chưa đồng đều giữa các chủ thể tham gia (59,2%) và thiếu rõ ràng trong phân công nhiệm vụ, quyền hạn (57,6%). Rủi ro liên quan đến cơ chế giám sát, kiểm tra chưa hiệu quả cũng được ghi nhận ở mức đáng lưu ý (56,0%). Các kết quả này cho thấy việc hoàn thiện mô hình tổ chức và nâng cao năng lực quản lý là yêu cầu cần thiết nhằm giảm thiểu rủi ro trong các dự án đường cao tốc.

Bảng 3. Phân tích rủi ro về tổ chức - quản lý

| TT | Nội dung thang đo | Rất thấp (1) | Thấp (2) | Trung bình (3) | Cao (4) | Rất cao (5) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Phối hợp chưa hiệu quả giữa các bên tham gia dự án | 4,8 | 9,6 | 24,0 | 36,8 | 24,8 |
| 2 | Năng lực quản lý dự án chưa đồng đều | 5,6 | 10,4 | 24,8 | 35,2 | 24,0 |
| 3 | Phân công nhiệm vụ, quyền hạn giữa các bên chưa rõ ràng | 6,4 | 10,8 | 25,2 | 34,4 | 23,2 |
| 4 | Cơ chế giám sát, kiểm tra chưa hiệu quả | 7,2 | 12,0 | 24,8 | 33,6 | 22,4 |

*Nguồn: Phân tích kết quả khảo sát của tác giả.*

## 5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ CHÍNH SÁCH

Nghiên cứu đã nhận diện và đánh giá các nhóm rủi ro chủ yếu trong quá trình thực hiện các dự án đầu tư xây dựng đường cao tốc tại Việt Nam dưới góc độ quản lý nhà nước, tập trung vào 3 nhóm rủi ro chính gồm: Rủi ro về chính sách, rủi ro liên quan đến thiết kế và rủi ro về tổ chức - quản lý. Kết quả khảo sát 125 cán bộ quản lý nhà nước và đại diện doanh nghiệp cho thấy rủi ro về chính sách, đặc biệt là chính sách quy hoạch và quản lý nguồn vật liệu xây dựng, được đánh giá ở mức khá cao và có tác động lan tỏa đến tiến độ, chi phí và hiệu quả tổng thể của dự án. Rủi ro trong thiết kế cũng được đánh giá ở mức cao, phản ánh những bất cập trong hệ thống tiêu chuẩn - quy chuẩn kỹ thuật, quy trình thẩm định và cơ chế điều chỉnh thiết kế. Trong khi đó, rủi ro về tổ chức - quản lý được đánh giá ở mức trung bình, song vẫn là yếu tố ảnh hưởng đáng kể đến hiệu quả phối hợp và năng lực triển khai dự án.

Trên cơ sở kết quả nghiên cứu, bài báo đề xuất một số kiến nghị chính sách chủ yếu sau: (i) Hoàn thiện và đồng bộ hóa chính sách quy hoạch phát triển đường cao tốc với quy hoạch tài nguyên, đặc biệt là quy hoạch nguồn vật liệu xây dựng, nhằm bảo đảm tính khả thi và ổn định trong quá trình thực hiện dự án; (ii) nâng cao tính ổn định, minh bạch và khả năng dự báo của chính sách, hạn chế các điều chỉnh đột ngột trong quá trình triển khai dự án; (iii) hoàn thiện hệ thống tiêu chuẩn - quy chuẩn kỹ thuật và tăng cường chất lượng công tác thẩm định, quản lý thiết kế đường cao tốc; (iv) làm rõ phân công, phân cấp trách nhiệm giữa các cơ quan quản lý nhà nước, đồng thời tăng cường cơ chế phối hợp liên ngành trong tổ chức thực hiện dự án. Việc thực hiện đồng bộ các giải pháp này sẽ góp phần giảm thiểu rủi ro, nâng cao hiệu quả quản lý nhà nước và bảo đảm tính bền vững của các dự án đầu tư xây dựng đường cao tốc tại Việt Nam.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Ariyanto, I.N., H.H. Purba and A. Purba. A systematic review and analysis of risk assessment in highway construction project. *Operational research in engineering sciences: theory and applications,* 3(3): pp. 29-47 %@ 2620-1747, 2020.

[2] Abd Rahman, N.R., Risk Management for Qatar Expressway Program, 2020.

[3] Vo, H.M. and J.-B. Yang. Incorporating stakeholder perception into risk assessment model: an empirical study of highway construction projects. *Engineering, Construction and Architectural Management %@* 0969-9988, 2025.

[4] Zhang, S., et al., Assessing safety risk management performance in Chinese subway construction projects: A multistakeholder perspective. *Journal of Management in Engineering,* 38(4): p. 05022009 %@ 0742-597X, 2022.

[5] Đình, T.T. Nhận dạng và phân loại các rủi ro kỹ thuật của dự án đầu tư xây dựng đường bộ sử dụng cấu trúc các hạng mục công việc. *Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải*, 73(3): tr. 215-230 %@ 2615-9554, 2022.

■Ngày nhận bài: 28/01/2026 ■Ngày sửa bài: 09/02/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 26/02/2026

# Kinh nghiệm quản lý phát thải khí nhà kính từ phương tiện giao thông đô thị ở các quốc gia trên thế giới và hàm ý chính sách cho Việt Nam

## International experience in managing greenhouse gas emissions from urban transport and policy implications for Vietnam

> **PGS.TS NGUYỄN HỒNG THÁI, TS THẠCH MINH QUÂN***
Trường Đại học Giao thông vận tải
*Email: thachquan@utc.edu.vn

**TÓM TẮT**

Bài báo tập trung phân tích kinh nghiệm quốc tế trong quản lý phát thải khí nhà kính (KNK) từ giao thông đô thị theo khung tiếp cận "Tránh - Chuyển dịch - Cải thiện" (Avoid - Shift - Improve - ASI). Trên cơ sở tổng hợp và phân tích các trường hợp điển hình tại Nhật Bản, Hàn Quốc, Trung Quốc, Thái Lan và Indonesia, nghiên cứu làm rõ cách thức các quốc gia vận dụng các nhóm giải pháp ASI, cũng như những điều kiện thể chế, kinh tế và xã hội chi phối hiệu quả chính sách. Trên cơ sở đó, đề xuất các hàm ý chính sách cho Việt Nam nhằm quản lý hiệu quả phát thải KNK từ giao thông đô thị, góp phần thực hiện các cam kết quốc tế về giảm phát thải và hướng tới phát triển đô thị bền vững.

**Từ khóa:** Khí nhà kính; giao thông đô thị; Khung tránh - Chuyển dịch - Cải thiện (ASI); chính sách giao thông.

**ABSTRACT**

This article focuses on analyzing international experiences in managing greenhouse gas (GHG) emissions from urban transport through the "Avoid – Shift - Improve" (ASI) framework. Based on a synthesis and analysis of representative cases from Japan, the Republic of Korea, China, Thailand and Indonesia, the paper elucidates how different countries apply ASI-based policy measures, as well as the institutional, economic and social conditions that shape policy effectiveness. On this basis, the study proposes policy implications for Vietnam aimed at enhancing the management of GHG emissions from urban transport, thereby contributing to the fulfillment of international emission reduction commitments and advancing sustainable urban development.

**Keywords:** Greenhouse gases (GHGs); urban transport; Avoid - Shift - Improve (ASI) framework; transport policy.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu toàn cầu ngày càng gia tăng, quản lý phát thải KNK từ phương tiện giao thông đô thị đã trở thành một trong những nội dung trọng tâm của chiến lược phát triển bền vững đô thị tại nhiều quốc gia. Giao thông đô thị không chỉ là lĩnh vực phát thải KNK lớn mà còn chịu tác động trực tiếp từ quá trình đô thị hóa nhanh, gia tăng phương tiện cá nhân và thay đổi hành vi đi lại của người dân.

Tại nhiều quốc gia, giao thông đô thị phụ thuộc chủ yếu vào phương tiện cá nhân sử dụng nhiên liệu hóa thạch, dẫn đến tình trạng gia tăng phát thải KNK, ô nhiễm không khí và ùn tắc giao thông. Trước thực trạng này, các quốc gia trên thế giới đã và đang triển khai nhiều chính sách và biện pháp quản lý nhằm kiểm soát và giảm phát thải KNK từ phương tiện giao thông đô thị. Việc nghiên cứu, tổng hợp và phân tích kinh nghiệm quốc tế có ý nghĩa quan trọng, góp phần cung cấp cơ sở khoa học cho việc hoạch định chính sách tại các quốc gia đang phát triển, trong đó có Việt Nam.

### 2. CƠ SỞ LÝ LUẬN VỀ QUẢN LÝ PHÁT THẢI KHÍ NHÀ KÍNH TỪ GIAO THÔNG ĐÔ THỊ

Quản lý phát thải KNK từ giao thông đô thị có thể được hiểu là một quá trình can thiệp có chủ đích của Nhà nước thông qua hệ thống chính sách, công cụ và biện pháp quản lý nhằm kiểm soát, điều tiết và từng bước làm giảm lượng KNK phát sinh trong toàn bộ vòng đời vận hành của hệ thống giao thông đô thị. Khác với cách tiếp cận thuần túy kỹ thuật chỉ tập trung vào phương tiện và nhiên

liệu, quản lý phát thải KNK trong giao thông đô thị mang tính chất liên ngành, gắn kết chặt chẽ giữa quy hoạch đô thị, chính sách giao thông, chính sách môi trường và quản trị công.

Trong các nghiên cứu đương đại, khung tiếp cận "Tránh - Chuyển dịch - Cải thiện" (ASI) được xem là nền tảng lý luận phổ biến và có tính hệ thống trong phân tích và xây dựng chính sách giao thông bền vững. Khung ASI không chỉ phản ánh thứ tự ưu tiên về mặt chính sách mà còn thể hiện một logic can thiệp từ gốc rễ đến ngọn nguồn của vấn đề phát thải KNK.

*Thứ nhất,* nhóm giải pháp "tránh" (Avoid) tập trung vào việc giảm nhu cầu đi lại, đặc biệt là các chuyến đi bằng phương tiện cơ giới cá nhân, thông qua quy hoạch không gian đô thị hợp lý, phát triển đô thị nén và đa chức năng, cũng như ứng dụng công nghệ thông tin trong quản lý đô thị và cung ứng dịch vụ. Về bản chất, nhóm giải pháp này tác động trực tiếp đến nguyên nhân sâu xa của phát thải KNK, đó là nhu cầu di chuyển ngày càng gia tăng do cấu trúc đô thị phân tán và thiếu liên kết. Quan điểm của tác giả cho rằng, "tránh" là nhóm giải pháp có hiệu quả dài hạn và bền vững nhất, song thường bị xem nhẹ trong thực tiễn do đòi hỏi tầm nhìn chiến lược, sự phối hợp liên ngành và thời gian triển khai dài. Đối với các quốc gia đang phát triển, trong đó có Việt Nam, việc lồng ghép mục tiêu giảm phát thải KNK vào quy hoạch đô thị ngay từ đầu có ý nghĩa quyết định đối với hiệu quả quản lý giao thông đô thị trong tương lai.

*Thứ hai,* nhóm giải pháp "chuyển dịch" (Shift) hướng tới việc thay đổi hành vi lựa chọn phương thức đi lại của người dân theo hướng giảm phụ thuộc vào phương tiện giao thông cá nhân, gia tăng tỷ lệ sử dụng giao thông công cộng và các phương thức giao thông phi cơ giới như đi bộ và xe đạp. Nhóm giải pháp này thường được triển khai thông qua đầu tư phát triển hạ tầng giao thông công cộng, cải thiện chất lượng dịch vụ, kết hợp với các biện pháp hạn chế phương tiện cá nhân. Theo quan điểm của tác giả, hiệu quả của giải pháp "chuyển dịch" phụ thuộc mạnh mẽ vào mức độ hấp dẫn tương đối của giao thông công cộng so với phương tiện cá nhân. Nếu thiếu sự đồng bộ giữa đầu tư hạ tầng, quản lý vận hành và công cụ kinh tế, các biện pháp chuyển dịch khó có thể tạo ra thay đổi bền vững trong hành vi của người dân, đặc biệt trong bối cảnh thu nhập gia tăng và xu hướng sở hữu phương tiện cá nhân ngày càng phổ biến.

*Thứ ba,* nhóm giải pháp "cải thiện" (Improve) nhấn mạnh việc nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng và đổi mới công nghệ phương tiện giao thông, bao gồm phát triển phương tiện sử dụng năng lượng sạch, cải tiến tiêu chuẩn khí thải và tối ưu hóa vận hành giao thông. Đây là nhóm giải pháp được triển khai rộng rãi nhất trong thực tiễn do có thể mang lại kết quả trong ngắn và trung hạn, đồng thời ít gặp phải sự phản đối trực tiếp từ xã hội. Tuy nhiên, tác giả cho rằng nếu chỉ tập trung vào "cải thiện" mà thiếu hai nhóm giải pháp còn lại, hiệu quả giảm phát thải KNK sẽ bị hạn chế bởi hiện tượng "hiệu ứng hồi dội", khi mức tiêu thụ năng lượng giảm trên mỗi phương tiện lại bị bù trừ bởi sự gia tăng số lượng và quãng đường di chuyển của phương tiện.

Như vậy, khung "Tránh - Chuyển dịch - Cải thiện" không chỉ là một công cụ phân tích mà còn là cơ sở để đánh giá mức độ toàn diện và hiệu quả của chính sách quản lý phát thải KNK từ giao thông đô thị. Việc vận dụng khung tiếp cận này trong bối cảnh Việt Nam cần được điều chỉnh linh hoạt, có xét đến đặc điểm phát triển đô thị, năng lực thể chế và nguồn lực kinh tế, nhằm bảo đảm tính khả thi và hiệu quả lâu dài của các chính sách giảm phát thải KNK trong lĩnh vực giao thông đô thị.

## 3. PHÂN TÍCH KINH NGHIỆM QUỐC TẾ TRONG QUẢN LÝ PHÁT THẢI KHÍ NHÀ KÍNH TỪ GIAO THÔNG ĐÔ THỊ THEO KHUNG "TRÁNH - CHUYỂN DỊCH - CẢI THIỆN" (ASI)

### 3.1. Nhóm giải pháp "Tránh" (Avoid)

Giải pháp "tránh" hướng tới việc giảm nhu cầu đi lại bằng phương tiện cơ giới thông qua tái cấu trúc không gian đô thị, quy hoạch sử dụng đất hợp lý và tối ưu hóa tổ chức các hoạt động kinh tế - xã hội. Đây được xem là nhóm giải pháp có tác động gốc rễ và bền vững nhất đối với giảm phát thải KNK, song cũng là nhóm giải pháp khó triển khai nhất.

Kinh nghiệm của Nhật Bản cho thấy việc lồng ghép chặt chẽ giữa quy hoạch đô thị và giao thông theo mô hình phát triển đô thị định hướng giao thông công cộng (TOD) có vai trò quyết định trong việc kiểm soát nhu cầu sử dụng phương tiện cá nhân. Việc hình thành các trung tâm đô thị xoay quanh nhà ga giúp rút ngắn khoảng cách di chuyển và giảm số chuyến đi bằng ô tô cá nhân. Hàn Quốc cũng từng bước áp dụng cách tiếp cận này tại Seoul, song mức độ nhất quán và chiều sâu còn thấp hơn so với Nhật Bản.

Ngược lại, tại các quốc gia đang phát triển như Thái Lan và Indonesia, nhóm giải pháp "tránh" chưa được chú trọng đúng mức. Quy hoạch đô thị phân tán, thiếu liên kết với hệ thống giao thông công cộng khiến nhu cầu đi lại tiếp tục gia tăng, làm suy giảm hiệu quả của các giải pháp giảm phát thải khác. Trung Quốc có triển khai một số biện pháp hạn chế nhu cầu đi lại tại các siêu đô thị, tuy nhiên các biện pháp này mang tính cục bộ và chưa trở thành chiến lược dài hạn.

Theo quan điểm của tác giả, kinh nghiệm quốc tế cho thấy việc coi nhẹ nhóm giải pháp "tránh" sẽ làm gia tăng áp lực lên hai nhóm giải pháp còn lại, đồng thời hạn chế khả năng đạt được mục tiêu giảm phát thải KNK trong dài hạn.

### 3.2. Nhóm giải pháp "Chuyển dịch" (Shift)

Nhóm giải pháp "chuyển dịch" tập trung vào việc thay đổi cơ cấu phương thức giao thông theo hướng gia tăng tỷ trọng giao thông công cộng và các phương thức giao thông phi cơ giới. Đây là nhóm giải pháp được triển khai rộng rãi nhất tại nhiều quốc gia do có khả năng mang lại kết quả rõ rệt trong trung hạn.

Hàn Quốc là một ví dụ điển hình về triển khai hiệu quả giải pháp "chuyển dịch" thông qua cải cách hệ thống xe buýt đô thị, áp dụng làn đường ưu tiên và tích hợp vé thông minh. Các biện pháp này đã nâng cao đáng kể sức hấp dẫn của giao thông công cộng, từ đó làm giảm tỷ lệ sử dụng phương tiện cá nhân.

Tại Thái Lan và Indonesia, việc phát triển các hệ thống metro và BRT thể hiện nỗ lực chuyển dịch phương thức giao thông, song hiệu quả còn hạn chế do thiếu các biện pháp bổ trợ như hạn chế phương tiện cá nhân, quản lý đỗ xe và kết nối đa phương thức. Điều này cho thấy đầu tư hạ tầng giao thông công cộng, nếu không đi kèm với cải cách chính sách đồng bộ thì khó có thể tạo ra sự chuyển dịch bền vững.

Nhật Bản tiếp tục là trường hợp tiêu biểu khi duy trì tỷ lệ sử dụng giao thông công cộng rất cao trong thời gian dài, nhờ sự kết hợp hài hòa giữa chất lượng dịch vụ, khả năng tiếp cận và các biện pháp gián tiếp hạn chế phương tiện cá nhân. Trung Quốc mở rộng mạnh mẽ mạng lưới metro tại các đô thị lớn, song sự gia tăng nhanh chóng của phương tiện cá nhân vẫn là thách thức lớn đối với mục tiêu giảm phát thải.

Theo đánh giá của tác giả, hiệu quả của giải pháp "chuyển dịch" phụ thuộc chủ yếu vào việc tạo ra lợi thế cạnh tranh thật sự cho giao thông công cộng so với phương tiện cá nhân, thay vì chỉ mở rộng hạ tầng một cách đơn lẻ.

### 3.3. Nhóm giải pháp "Cải thiện" (Improve)

Giải pháp "cải thiện" tập trung vào việc giảm phát thải trên mỗi đơn vị phương tiện hoặc mỗi chuyến đi thông qua nâng cao hiệu quả năng lượng, đổi mới công nghệ và tối ưu hóa vận hành giao thông. Đây là nhóm giải pháp được nhiều quốc gia ưu tiên do khả năng triển khai nhanh và dễ tạo sự đồng thuận xã hội.

Trung Quốc là ví dụ điển hình cho cách tiếp cận mạnh mẽ theo hướng "cải thiện", với chiến lược điện hóa phương tiện giao thông đô thị quy mô lớn. Việc thay thế xe buýt và taxi chạy bằng nhiên liệu hóa thạch bằng phương tiện điện đã góp phần giảm phát thải KNK tại chỗ và cải thiện chất lượng không khí đô thị.

Hàn Quốc và Nhật Bản cũng chú trọng nâng cao hiệu quả năng lượng và tiêu chuẩn khí thải, song đặt các giải pháp công nghệ trong khuôn khổ chiến lược tổng thể, không tách rời khỏi mục tiêu chuyển dịch phương thức giao thông. Trong khi đó, tại Thái Lan và Indonesia, các giải pháp "cải thiện" chủ yếu dừng ở mức nâng chuẩn khí thải, với tốc độ chuyển đổi công nghệ còn chậm.

Quan điểm của tác giả cho rằng việc phụ thuộc quá nhiều vào giải pháp "cải thiện" có thể dẫn đến hiện tượng "hiệu ứng hồi dội", khi lợi ích về giảm phát thải trên mỗi phương tiện bị triệt tiêu bởi sự gia tăng số lượng phương tiện và nhu cầu đi lại.

**3.4. Nhận xét tổng hợp theo khung ASI**

Từ góc độ nghiên cứu, tác giả cho rằng khung ASI không chỉ là công cụ phân tích kinh nghiệm quốc tế mà còn là cơ sở quan trọng để đánh giá mức độ đầy đủ và hợp lý của chính sách quản lý phát thải KNK từ giao thông đô thị tại Việt Nam.

Bảng 1. Tổng hợp kinh nghiệm quản lý phát thải KNK từ giao thông đô thị theo khung ASI tại một số quốc gia

| **Nước** | **Cách tiếp cận ASI (nội dung chủ yếu)** | **Mục tiêu chính sách** | **Điều kiện thực hiện** | **Các chính sách và biện pháp triển khai tiêu biểu** |
|---|---|---|---|---|
| **Hàn Quốc** | **Tránh:** Lồng ghép quy hoạch giao thông với quy hoạch đô thị; phát triển đô thị nén tại Seoul.<br>**Chuyển dịch:** Ưu tiên giao thông công cộng, cải cách hệ thống xe buýt.<br>**Cải thiện:** Ứng dụng ITS, nâng cao hiệu quả vận hành. | Giảm phụ thuộc vào phương tiện cá nhân; giảm ùn tắc và phát thải KNK tại các đô thị lớn. | Năng lực quản trị đô thị cao; hạ tầng CNTT phát triển; sự chấp nhận xã hội tương đối lớn. | - Cải cách toàn diện hệ thống xe buýt Seoul.<br>- Làn đường ưu tiên cho xe buýt.<br>- Vé điện tử tích hợp.<br>- Hệ thống giao thông thông minh (ITS). |
| **Thái Lan** | **Tránh:** Hạn chế, mới ở mức độ gián tiếp thông qua phát triển metro.<br>**Chuyển dịch:** Phát triển BTS, MRT tại Bangkok.<br>**Cải thiện:** Nâng chuẩn khí thải phương tiện. | Giảm ùn tắc và ô nhiễm không khí đô thị; từng bước giảm phát thải KNK. | Đô thị hóa nhanh; hạn chế về phối hợp quy hoạch; phụ thuộc cao vào phương tiện cá nhân. | - Đầu tư hệ thống BTS, MRT.<br>- Khuyến khích sử dụng giao thông công cộng.<br>- Kiểm soát tiêu chuẩn khí thải phương tiện. |
| **Indonesia** | **Tránh:** Chưa rõ nét; đô thị phát triển phân tán.<br>**Chuyển dịch:** Phát triển BRT (TransJakarta).<br>**Cải thiện:** Tối ưu hóa vận hành xe buýt. | Cải thiện khả năng tiếp cận giao thông công cộng; giảm ùn tắc và phát thải. | Nguồn lực tài chính hạn chế; thể chế phân tán; thực thi chính sách chưa đồng bộ. | - Triển khai hệ thống BRT quy mô lớn.<br>- Trợ giá vé xe buýt.<br>- Tổ chức lại một số tuyến giao thông đô thị. |
| **Trung Quốc** | **Tránh:** Áp dụng hạn chế tại một số đô thị lớn.<br>**Chuyển dịch:** Phát triển mạnh metro và xe buýt đô thị.<br>**Cải thiện:** Điện hóa phương tiện giao thông. | Giảm nhanh phát thải KNK; cải thiện chất lượng không khí; thúc đẩy công nghiệp xe điện. | Vai trò Nhà nước rất mạnh; nguồn lực tài chính lớn; khả năng can thiệp hành chính cao. | - Trợ cấp lớn cho xe buýt điện và taxi điện.<br>- Hạn chế đăng ký xe tại đô thị lớn.<br>- Phát triển metro quy mô lớn.<br>- Tiêu chuẩn khí thải nghiêm ngặt. |
| **Nhật Bản** | **Tránh:** Quy hoạch đô thị định hướng giao thông công cộng (TOD).<br>**Chuyển dịch:** Tỷ lệ sử dụng giao thông công cộng rất cao.<br>**Cải thiện:** Nâng cao hiệu quả năng lượng phương tiện. | Kiểm soát nhu cầu đi lại bằng xe cá nhân; giảm phát thải KNK dài hạn. | Quy hoạch đô thị nhất quán; kỷ luật xã hội cao; thể chế ổn định. | - Phát triển đường sắt đô thị gắn với sử dụng đất.<br>- Hạn chế đỗ xe tại trung tâm.<br>- Tiêu chuẩn tiết kiệm năng lượng cao.<br>- Chính sách khuyến khích đi bộ và xe đạp. |

*Nguồn: Tổng hợp của tác giả.*

## 4. HÀM Ý CHÍNH SÁCH CHO VIỆT NAM

### 4.1. Hàm ý chính sách theo nhóm giải pháp "Tránh" (Avoid)

Nhóm giải pháp "tránh" cần được xác định là trụ cột chiến lược dài hạn trong quản lý phát thải khí nhà kính từ giao thông đô thị tại Việt Nam. Trước hết, mục tiêu giảm phát thải KNK cần được lồng ghép một cách bắt buộc vào công tác quy hoạch đô thị và quy hoạch giao thông. Việc tiếp tục phát triển đô thị theo mô hình phân tán, tách rời giữa nơi ở và nơi làm việc sẽ làm gia tăng nhu cầu đi lại và gây áp lực lớn lên hệ thống giao thông đô thị.

Theo quan điểm của tác giả, Việt Nam cần từng bước chuyển sang mô hình đô thị nén và đa trung tâm, gắn với phát triển giao thông công cộng khối lượng lớn. Điều này đòi hỏi sự điều chỉnh đồng bộ trong chính sách sử dụng đất, nhà ở và đầu tư hạ tầng, đặc biệt tại các đô thị lớn như Hà Nội và TP.HCM. Bên cạnh đó, việc ứng dụng công nghệ thông tin và chuyển đổi số trong quản lý đô thị, phát triển dịch vụ công trực tuyến và làm việc từ xa cũng là những giải pháp gián tiếp góp phần giảm nhu cầu đi lại không cần thiết.

### 4.2. Hàm ý chính sách theo nhóm giải pháp "Chuyển dịch" (Shift)

Đối với Việt Nam, nhóm giải pháp "chuyển dịch" giữ vai trò then chốt trong trung hạn nhằm thay đổi hành vi lựa chọn phương thức giao thông của người dân. Kinh nghiệm quốc tế cho thấy giao thông công cộng chỉ có thể trở thành lựa chọn ưu tiên khi bảo đảm đồng thời các yếu tố về khả năng tiếp cận, chất lượng dịch vụ và chi phí hợp lý.

Do đó, Việt Nam cần ưu tiên đầu tư phát triển các hệ thống giao thông công cộng khối lượng lớn như metro, BRT và xe buýt chất lượng cao, đồng thời nâng cao hiệu quả quản lý và vận hành. Theo quan điểm của tác giả, việc mở rộng hạ tầng giao thông công cộng cần đi kèm với các biện pháp hạn chế phương tiện giao thông cá nhân, bao gồm quản lý đỗ xe, thu phí ùn tắc và điều tiết sử dụng không gian đường bộ. Nếu thiếu các biện pháp bổ trợ này, các chính sách chuyển dịch sẽ khó đạt được hiệu quả bền vững.

### 4.3. Hàm ý chính sách theo nhóm giải pháp "Cải thiện" (Improve)

Nhóm giải pháp "cải thiện" cần được xem là công cụ hỗ trợ quan trọng nhằm nâng cao hiệu quả giảm phát thải trong ngắn và trung hạn. Đối với Việt Nam, trọng tâm chính sách trong giai đoạn tới là thúc đẩy chuyển đổi sang phương tiện giao thông sử dụng năng lượng sạch, đặc biệt là xe điện.

Theo quan điểm của tác giả, chính sách phát triển xe điện cần được thiết kế một cách thận trọng, tránh cách tiếp cận đơn chiều chỉ tập trung vào ưu đãi cho phương tiện mà thiếu sự chuẩn bị về hạ tầng và nguồn năng lượng. Việc phát triển hạ tầng sạc, nâng cao tiêu chuẩn kỹ thuật và bảo đảm nguồn điện sạch là điều kiện tiên quyết để các giải pháp "cải thiện" thật sự mang lại hiệu quả giảm phát thải KNK. Ngoài ra, việc nâng cao tiêu chuẩn khí thải, cải thiện hiệu quả sử dụng nhiên liệu và ứng dụng hệ thống giao thông thông minh (ITS) cũng là những biện pháp cần được triển khai đồng bộ nhằm tối ưu hóa vận hành giao thông đô thị.

### 4.4. Điều kiện bảo đảm thực hiện và quan điểm tổng hợp của tác giả

Việc triển khai hiệu quả các hàm ý chính sách theo khung ASI tại Việt Nam phụ thuộc lớn vào năng lực thể chế và sự phối hợp liên ngành giữa các cơ quan quản lý nhà nước. Theo quan điểm của tác giả, cần xây dựng một cơ chế điều phối thống nhất giữa các lĩnh vực giao thông, xây dựng, tài nguyên và môi trường, cũng như tài chính, nhằm bảo đảm tính nhất quán trong hoạch định và thực thi chính sách.

Từ góc độ chiến lược, tác giả cho rằng Việt Nam cần tránh xu hướng "đi tắt bằng công nghệ" thông qua việc quá phụ thuộc vào các giải pháp thuộc nhóm "cải thiện", mà chưa chú trọng đầy đủ đến các giải pháp mang tính cấu trúc thuộc nhóm "tránh" và "chuyển dịch". Chỉ khi khung ASI được vận dụng một cách đồng bộ và có lộ trình phù hợp, các chính sách quản lý phát thải KNK từ giao thông đô thị mới đạt được hiệu quả bền vững, góp phần thực hiện thành công cam kết quốc gia về giảm phát thải.

## 5. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày nội dung kiểm soát khí nhà kính trong giao thông đô thị dựa trên mô hình Tránh - Chuyển dịch - Cải thiện (ASI). Thông qua việc phân tích thực tiễn tại các quốc gia như Nhật Bản, Hàn Quốc và Trung Quốc, các tác giả đánh giá hiệu quả của việc quy hoạch đô thị nén, phát triển giao thông công cộng và thúc đẩy xe điện. Nghiên cứu chỉ ra rằng, việc chỉ tập trung vào cải tiến công nghệ là chưa đủ nếu thiếu đi các chiến lược giảm nhu cầu đi lại và thay đổi thói quen sử dụng phương tiện cá nhân. Nhóm tác giả đề xuất nhóm giải pháp toàn diện cho Việt Nam, nhấn mạnh sự cần thiết của việc lồng ghép mục tiêu giảm phát thải vào quy hoạch sử dụng đất và hạ tầng. Bài báo khẳng định sự phối hợp liên ngành và lộ trình thực thi linh hoạt là yếu tố then chốt để đạt được mục tiêu phát triển đô thị bền vững và thực hiện cam kết quốc tế về môi trường.

Đối với Việt Nam, việc vận dụng các bài học quốc tế cần được thực hiện theo hướng có chọn lọc và linh hoạt, bảo đảm phù hợp với trình độ phát triển kinh tế, đặc điểm đô thị hóa và năng lực thể chế trong nước. Khẳng định, quản lý phát thải khí nhà kính từ giao thông đô thị có thể trở thành một trong những công cụ quan trọng giúp Việt Nam thực hiện hiệu quả cam kết quốc tế về giảm phát thải khí nhà kính, nâng cao chất lượng môi trường và phát triển đô thị bền vững trong dài hạn.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Giao thông vận tải trong Đề tài mã số T2026-KT-001TĐ.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Banister, D. The sustainable mobility paradigm. *Transport Policy,* 15(2), 73-80, 2008.

[2] Cervero, R., & Murakami, J. Rail and property development in Hong Kong: Experiences and extensions. *Urban Studies,* 46(10), 2019-2043, 2009.

[3] Givoni, M., & Banister, D. Moving towards low carbon mobility. *Cheltenham: Edward Elgar Publishing,* 2013.

[4] OECD. Decarbonising urban mobility with land use and transport policies. *Paris: OECD Publishing,* 2019.

[5] United Nations Environment Programme (UNEP). Towards a green economy: Pathways to sustainable development and poverty eradication. *Nairobi: UNEP,* 2011.

[6] World Bank. Cities and climate change: An urgent agenda. Washington, *DC: World Bank,* 2010.

[7] World Bank. Avoid-Shift-Improve: A framework for sustainable transport development. Washington, *DC: World Bank,* 2017.

[8] Zhang, X., Liang, X., & Xu, M. Urban transport and carbon emissions: A comparative study of Asian cities. *Journal of Cleaner Production,* 267, 122-134, 2020.

[9] Asian Development Bank (ADB). Low-carbon transport in Asia: Strategies and practices. *Manila: ADB,* 2018.

[10] Newman, P., & Kenworthy, J. The end of automobile dependence: How cities are moving beyond car-based planning. *Washington, DC: Island Press,* 2015.

■Ngày nhận bài: 26/12/2025 ■Ngày sửa bài: 05/01/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 14/01/2026

# Hoàn thiện công tác quản lý tài chính của Sở Nông nghiệp và Môi trường tỉnh Phú Thọ

## Improving the financial management of the Department of Agriculture and Environment of Phu Tho Province

> **TS NGUYỄN THỊ HẠNH*, THS PHÙNG ĐẮC THỨC**
Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải
*Email: hanhnt@utt.edu.vn

**TÓM TẮT**

Trong quá trình hoạt động, công tác quản lý tài chính tại Sở Nông nghiệp và Phát triển nông thôn và Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Phú Thọ trước đây đã đạt được những thành tựu nhất định, góp phần đảm bảo nguồn lực cho việc hoàn thành các nhiệm vụ chính trị được giao. Trên cơ sở nghiên cứu thực trạng công tác quản lý tài chính của Sở Nông nghiệp và Môi trường tỉnh Phú Thọ, bài báo chỉ ra những hạn chế và đề xuất các giải pháp nhằm hoàn thiện công tác quản lý tài chính của Sở Nông nghiệp và Môi trường tỉnh Phú Thọ trong thời gian tiếp theo.

**Từ khóa:** Quản lý tài chính; quản lý tài chính của cơ quan hành chính nhà nước; Sở Nông nghiệp và Môi trường tỉnh Phú Thọ; hoàn thiện công tác quản lý tài chính.

**ABSTRACT**

During the operation, the financial management work at the Department of Agriculture and Rural Development and the Department of Natural Resources and Environment of Vinh Phuc province has achieved certain achievenments, contributing to ensuring resources for the completion of assigned political tasks. Based on the study of the current status of financial management work of the Department of Agriculture and Environment of Vinh Phuc province, the article points out the limitations and proposes solutions to improve the financial management work of the Department of Agriculture and Environment of Phu Tho province in the coming time.

**Keywords:** Financial management; financial management of state administrative agencies; Department of Agriculture and Environment of Phu Tho province; improving financial management.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Công tác quản lý tài chính của Sở Nông nghiệp và Môi trường tỉnh Phú Thọ thời gian qua đã đạt được rất nhiều thành tựu. Song, công tác này vẫn còn bộc lộ những hạn chế, tồn tại, như: Phương pháp lập dự toán vẫn chủ yếu dựa trên các yếu tố đầu vào như biên chế và định mức, chưa thật sự gắn với kết quả và hiệu quả công việc đầu ra. Việc xét duyệt quyết toán còn mang tính hình thức, chủ yếu là đối chiếu số liệu với Kho bạc Nhà nước mà chưa đánh giá sâu sắc hiệu quả sử dụng kinh phí. Hệ thống kiểm soát nội bộ, đặc biệt là công tác tự kiểm tra tài chính, chưa phát huy hết vai trò, dẫn đến những sai sót trong nghiệp vụ và tiềm ẩn nguy cơ lãng phí. Vì vậy, nghiên cứu này đề cập đến các nội dung sau: (i) Thực trạng công tác quản lý tài chính của Sở Nông nghiệp và Môi trường tỉnh Phú Thọ; (ii) Hạn chế; (iii) Khuyến nghị giải pháp nhằm hoàn thiện công tác quản lý tài chính của Sở Nông nghiệp và Môi trường tỉnh Phú Thọ.

### 2. THỰC TRẠNG CÔNG TÁC QUẢN LÝ TÀI CHÍNH CỦA SỞ NÔNG NGHIỆP VÀ MÔI TRƯỜNG TỈNH PHÚ THỌ GIAI ĐOẠN 2022 - 2024

#### 2.1. Công tác lập dự toán

Tổng dự toán chung của đơn vị có xu hướng không ổn định, tăng nhẹ từ 320,6 tỷ đồng năm 2022 lên 328,7 tỷ đồng năm 2023, tăng 2,5%, sau đó lại giảm xuống còn 315,0 tỷ đồng trong dự toán năm 2024, giảm 4,2%.

Nguồn ngân sách nhà nước cấp: Là nguồn vốn chủ đạo, chiếm phần lớn tổng ngân sách. Song, nguồn này lại không ổn định. Sau khi tăng 2,4% trong năm 2023, dự toán năm 2024 đã giảm mạnh 5%. Như vậy, nguồn vốn cấp trực tiếp từ ngân sách nhà nước phụ thuộc nhiều vào các chu kỳ chính sách, các chương trình mục tiêu và các dự án đầu tư lớn của tỉnh tại từng thời điểm cụ thể.

Bảng 1. Tổng hợp dự toán kinh phí giai đoạn 2022 - 2024 của Sở Nông nghiệp và Môi trường tỉnh Phú Thọ

Đơn vị tính: Triệu đồng

| Chỉ tiêu | Năm 2022 | Năm 2023 | Năm 2024 | Năm 2023/2022 | | Năm 2024/2023 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Giá trị | Tốc độ phát triển (%) | Giá trị | Tốc độ phát triển (%) |
| 1. Nguồn NSNN | 319.075,5 | 327.036,8 | 313.374,8 | 7.961,3 | 2,5 | -13.662 | (4,18) |
| a. NSNN cấp | 300.129,7 | 307.328 | 291.973,9 | 7.198,3 | 2,4 | -15.354,1 | (5) |
| b. Phí, lệ phí để lại | 18.945,8 | 19.708,8 | 21.400,9 | 763 | 4,03 | 1.692,1 | 8,59 |
| 2. Nguồn khác (viện trợ phi chính phủ…) | 1.540,2 | 1.650,4 | 1.680,5 | 110,2 | 7,15 | 30,1 | 1,82% |

*Nguồn: Sở Nông nghiệp và Môi trường tỉnh Phú Thọ*

Nguồn phí, lệ phí để lại: Nguồn này tăng từ 18.945,8 triệu đồng năm 2022 lên 21.400,9 triệu đồng vào năm 2024, đạt tốc độ tăng trưởng kép hàng năm (CAGR) là 6,31%. Điều này phản ánh mức độ hoạt động kinh tế - xã hội liên quan đến lĩnh vực quản lý của Sở đang ngày càng gia tăng và nhu cầu về các dịch vụ công do Sở cung cấp đang tăng lên hoặc chính sách thu phí đang được điều chỉnh và thực thi hiệu quả hơn; phản ánh sự sôi động của các hoạt động kinh tế - xã hội liên quan trực tiếp đến lĩnh vực quản lý của Sở Tài nguyên và Môi trường (trước đây).

Nguồn khác (Viện trợ phi chính phủ): Nguồn này có quy mô nhỏ, tương đối ổn định và chỉ thuộc về Sở Nông nghiệp và Phát triển nông thôn (trước đây).

Bảng 2. Tổng hợp dự toán theo khoản mục giai đoạn 2022 - 2024 của Sở Nông nghiệp và Môi trường tỉnh Phú Thọ

*Đơn vị tính: Triệu đồng*

| Chỉ tiêu | Năm 2022 | Năm 2023 | Năm 2024 | Năm 2023/2022 | | Năm 2024/2023 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Giá trị | Tốc độ phát triển (%) | Giá trị | Tốc độ phát triển (%) |
| 1. Quản lý hành chính nhà nước | 52.198 | 57.755,3 | 60.696,9 | 5.557,3 | 10,6 | 2.941,6 | 5,09 |
| 2. Sự nghiệp văn hóa, thể thảo | 45 | 90 | - | 45 | 200 | -90 | 0 |
| 3. Sự nghiệp giáo dục, dạy nghề | - | - | 210 | - | | 210 | |
| 4. Sự nghiệp kinh tế | 229.380,5 | 232.412,2 | 209.325 | 3.031,7 | 1,32 | -23.087,2 | (9,93) |
| 5. Sự nghiệp môi trường | 18.506,1 | 17.070,5 | 21.741,9 | -1.435,6 | (7,76) | 4.671,4 | 27,37 |

*Nguồn: Sở Nông nghiệp và Môi trường tỉnh Phú Thọ*

- *Quản lý hành chính nhà nước:* Khoản mục này có xu hướng tăng đều qua các năm. Từ 52.198 triệu đồng năm 2022 lên 57.755,3 triệu đồng năm 2023 (tăng 10,6%) và tiếp tục lên 60.696,9 triệu đồng năm 2024 (tăng 5,09% so với 2023). Như vậy, chi phí cho bộ máy hành chính nhà nước của Sở có sự gia tăng, có thể do mở rộng quy mô hoạt động, tăng cường nhân sự hoặc điều chỉnh chính sách lương.

- *Sự nghiệp văn hóa, thể thao:* Khoản mục này có biến động mạnh. Năm 2022 là 45 triệu đồng, năm 2023 tăng gấp đôi lên 90 triệu đồng, nhưng đến năm 2024 lại không có dự toán (0 triệu đồng).

- *Sự nghiệp giáo dục, dạy nghề:* Khoản mục này không có dự toán trong năm 2022 và 2023 (0,0 triệu đồng), nhưng có dự toán 210 triệu đồng vào năm 2024 do dự kiến triển khai các hoạt động liên quan đến giáo dục, dạy nghề trong lĩnh vực tài nguyên và môi trường vào năm 2024.

- *Sự nghiệp kinh tế:* Đây là khoản mục chiếm tỷ trọng lớn nhất trong tổng dự toán của Sở. Tổng dự toán có xu hướng tăng nhẹ từ 2022 đến 2023, sau đó giảm đáng kể vào năm 2024. Cụ thể, từ 229.380,5 triệu đồng năm 2022 lên 232.412,2 triệu đồng năm 2023 (tăng 1,32%), nhưng giảm xuống 209.325 triệu đồng năm 2024 (giảm 9,93% so với 2023). Như vậy, một số dự án kinh tế lớn đã hoàn thành hoặc điều chỉnh kế hoạch.

- *Sự nghiệp môi trường:* Khoản mục này giảm từ 18.506,1 triệu đồng năm 2022 xuống 17.070,5 triệu đồng năm 2023, giảm 7,76%, sau đó tăng mạnh lên 21.741,9 triệu đồng năm 2024, tăng 27,37 so với 2023. Sự gia tăng đáng kể trong năm 2024 cho thấy sự ưu tiên hơn cho các hoạt động bảo vệ môi trường, ứng phó biến đổi khí hậu.

**2.2. Công tác quản lý tổ chức thực hiện dự toán và quyết toán**

Căn cứ vào Quyết định giao dự toán của UBND tỉnh Phú Thọ, Thông báo thẩm tra dự toán của Sở Tài chính, Quyết định giao dự toán của Giám đốc Sở, các phòng, ban, đơn vị thực hiện dự toán được duyệt, với từng khoản chi ngân sách theo mục lục ngân sách, Sở lấy đó làm căn cứ để theo dõi theo từng khoản chi có nằm trong dự toán hay không. Quản lý các khoản chi: Việc chi tiêu ngân sách được thực hiện thông qua Kho bạc Nhà nước, đảm bảo các khoản chi đều nằm trong dự toán được duyệt và có đầy đủ hồ sơ, chứng từ hợp lệ. Các khoản chi được chia thành hai nhóm chính: Chi thường xuyên và chi không thường xuyên.

- *Quy chế chi tiêu nội bộ (QCCTNB):* Sở xây dựng và ban hành QCCTNB hàng năm. Quy chế này là cơ sở pháp lý để thực hiện các khoản chi trong phạm vi đơn vị và để Kho bạc Nhà nước kiểm soát chi. Song, quy chế thường chỉ quy định lại các định mức chi chung của Nhà nước, chưa thật sự phát huy vai trò là một công cụ quản trị nội bộ linh hoạt, chưa cụ thể hóa được các biện pháp khoán chi để khuyến khích tiết kiệm một cách mạnh mẽ.

- *Phân phối thu nhập tăng thêm:* Kinh phí tiết kiệm được từ nguồn kinh phí tự chủ được sử dụng để chi bổ sung thu nhập cho CBCC. Song, phương thức phân phối phổ biến vẫn là chia theo hệ số lương hoặc chia bình quân, chưa thật sự gắn với kết quả, hiệu quả công việc của từng cá nhân hay phòng, ban. Cách làm này làm triệt tiêu động lực phấn đấu của những người làm việc hiệu quả và không tạo áp lực cho những người làm việc kém hiệu quả, một hạn chế kinh điển trong các cơ quan nhà nước.

- *Phân tích số liệu chấp hành dự toán:* Để đánh giá kỷ luật ngân sách và khả năng lập dự toán sát thực tế, việc so sánh giữa dự toán và quyết toán là rất cần thiết.

- *Công tác kế toán và quyết toán* tại Sở về cơ bản tuân thủ các quy định của Luật Kế toán và các văn bản hướng dẫn. Báo cáo quyết toán được lập và nộp cho cơ quan tài chính đúng thời hạn. Tuy nhiên, tồn tại những sai sót trong hạch toán tại một số đơn vị dự toán cấp dưới, việc sắp xếp, lưu trữ chứng từ chưa khoa học. Về xét

duyệt quyết toán: Công tác xét duyệt của cơ quan cấp trên (Sở Tài chính) còn mang tính hình thức. Về công khai quyết toán: Các Sở đã thực hiện công khai quyết toán ngân sách hàng năm trên cổng thông tin điện tử theo quy định, đây là một điểm tích cực, góp phần tăng cường tính minh bạch.

**2.3. Công tác thực hiện dự toán các nguồn thu**

Sau khi có thông báo thẩm tra dự toán của Sở Tài chính về phân bổ dự toán hàng năm, Phòng Kế hoạch - Tài chính sẽ tham mưu cho giám đốc Sở tiến hành phân bổ dự toán giao về các đơn vị trực thuộc Sở theo số biên chế được giao và các chương trình, nhiệm vụ thuộc chức năng, nhiệm vụ của đơn vị.

Do đặc thù quản lý tài chính tại Sở gồm có Văn phòng cơ quan Sở và các đơn vị trực thuộc Sở nên để thống nhất trên phương diện quản lý, Sở thực hiện kiểm soát chi trực tiếp tại Kho bạc Nhà nước tỉnh Phú Thọ. Nguồn kinh phí tại Sở bao gồm hai nguồn chính là nguồn kinh phí ngân sách cấp và nguồn kinh phí từ phí, lệ phí được để lại (phí thẩm định và các phí khác) sử dụng chỉ được chi theo quy định đối tượng nào thực hiện công tác liên quan đến phí, lệ phí đó mới được phép sử dụng nguồn kinh phí này. Theo quy định của pháp luật về phí và lệ phí, các cơ quan, đơn vị được giữ lại một phần phí, lệ phí để trang trải các chi phí liên quan.

Bảng 3. Kinh phí theo dự toán và được cấp của Sở Nông nghiệp và Môi trường giai đoạn 2022 - 2024

| Chỉ tiêu | Năm 2022 | | Năm 2023 | | Năm 2024 | | Chênh lệch giữa kinh phí được cấp và kinh phí theo dự toán | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Số dự toán | Số được cấp | Số dự toán | Số được cấp | Số dự toán | Số được cấp | Năm 2022 | Năm 2023 | Năm 2024 |
| **1. Quản lý hành chính nhà nước** | 52.198 | 50.190,5 | 57.755,3 | 55.608,8 | 60.696,9 | 59.178,6 | -2.007,5 | -2.146,5 | -1.518,3 |
| 2. Sự nghiệp văn hóa, thể thao | 45 | 45 | 90 | 90 | - | - | - | - | - |
| 3. Sự nghiệp giáo dục, dạy nghề | - | - | - | - | 210,0 | 210,0 | - | - | - |
| 4. Sự nghiệp kinh tế | 229.380,5 | 224.806,5 | 232.412,2 | 234.790,7 | 209.325 | 201.651,8 | -4.574 | -2378,5 | -7.673,2 |
| 5. Sự nghiệp môi trường | 18.506,1 | 17.976,1 | 17.070,5 | 16.770,5 | 21.741,9 | 21.211,9 | -530 | -300 | -530 |

*Nguồn: Sở Nông nghiệp và Môi trường tỉnh Phú Thọ*

- *Quản lý hành chính Nhà nước:* Năm 2022: Dự toán là 52.198 triệu đồng, được cấp là 50.190,5 triệu đồng, chênh lệch -2.007,5 triệu đồng (-3,85%). Năm 2023: Dự toán là 57.755,3 triệu đồng, được cấp là 55.608,8 triệu đồng, chênh lệch -2.146,5 triệu đồng (-3,72%). Mức chênh lệch tuyệt đối cao nhất trong 3 năm. Năm 2024: Dự toán là 60.696,9 triệu đồng, được cấp là 59.178,6 triệu đồng, chênh lệch -1.518,3 triệu đồng (-2,5%). Tỷ lệ chênh lệch phần trăm giảm so với các năm trước chủ yếu do chính sách tiết kiệm chi để tạo nguồn cải cách tiền lương, là một yêu cầu chung đối với các khoản chi quản lý hành chính Nhà nước.

- *Sự nghiệp văn hóa, thể thao:* Năm 2024 không có dự toán và được cấp. Năm 2022: Dự toán và được cấp đều là 45 triệu đồng. Năm 2023: Dự toán và được cấp đều là 90 triệu đồng. Năm 2024: Không có kinh phí dự toán và được cấp. Với kinh phí nhỏ và không có chênh lệch, có thể các khoản chi này được duyệt và cấp phát đầy đủ theo dự toán hoặc các chương trình thuộc chỉ tiêu này ít bị ảnh hưởng bởi việc cắt giảm sau thẩm định.

- *Sự nghiệp giáo dục, dạy nghề:* Chỉ tiêu này không có kinh phí trong năm 2022 và 2023. Đến năm 2024 mới có kinh phí được dự toán và được cấp và không có chênh lệch. Năm 2022 và 2023: Không có kinh phí. Năm 2024: Dự toán và được cấp đều là 210 triệu đồng.

- *Sự nghiệp kinh tế:* Năm 2022: Dự toán là 229.380,5 triệu đồng, được cấp là 224.806,5 triệu đồng, chênh lệch -4.574 triệu đồng (-1,99%). Năm 2023: Dự toán là 232.412,2 triệu đồng, được cấp là 234.790,7 triệu đồng, chênh lệch -2378,5 triệu đồng (-1,02%). Mức chênh lệch tuyệt đối và tỷ lệ phần trăm chênh lệch đều giảm so với năm 2022. Năm 2024: Dự toán là 209.325 triệu đồng, được cấp là 201.651,8 triệu đồng, chênh lệch -7.673,2 triệu đồng (-3,67%). Mức chênh lệch tuyệt đối lớn nhất và tỷ lệ chênh lệch phần trăm cao nhất trong 3 năm.

*Sự nghiệp môi trường:* Năm 2022: Dự toán là 18.506,1 triệu đồng, được cấp là 17.976,1 triệu đồng, chênh lệch -530 triệu đồng (-2,86%). Năm 2023: Dự toán là 17.070,5 triệu đồng, được cấp là 16.770,5 triệu đồng, chênh lệch -300 triệu đồng (-1,76%). Mức chênh lệch tuyệt đối và tỷ lệ phần trăm chênh lệch đều giảm so với năm 2022. Năm 2024: Dự toán là 21.741,9 triệu đồng, được cấp là 21.211,9 triệu đồng, chênh lệch -530 triệu đồng (-2,44%). Mức chênh lệch tuyệt đối bằng năm 2022, nhưng tỷ lệ phần trăm chênh lệch cao hơn năm 2023.

- *Công tác thực hiện dự toán chi:* Sở giám sát việc thực hiện dự toán chi của các đơn vị trực thuộc thông qua việc giao dự toán và quy chế chi tiêu nội bộ của các đơn vị. Việc thanh toán các nguồn kinh phí của các đơn vị trực thuộc Sở được thực hiện trực tiếp qua Kho bạc Nhà nước tỉnh Phú Thọ. Phòng Kế hoạch - Tài chính Sở chịu trách nhiệm theo dõi, tổng hợp, quyết toán theo từng đơn vị và theo từng khoản mục.

Bảng 4. Tổng hợp kinh phí chi thanh toán cá nhân và các khoản chi khác

*Đơn vị tính: Triệu đồng*

| Chỉ tiêu | Năm 2022 | | Năm 2023 | | Năm 2024 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | NSNN | Phí, lệ phí | NSNN | Phí, lệ phí | NSNN | Phí, lệ phí |
| Chi thanh toán cá nhân | 35.651,9 | 13.393,7 | 40.067 | 14.025,8 | 43.968,41 | 15.371 |
| Chi QLHC và chi khác | 14.538,6 | 5.552,1 | 15.541,8 | 5.683 | 15.210,2 | 6.029,9 |

*Nguồn: Sở Nông nghiệp và Môi trường tỉnh Phú Thọ*

Thực hiện dự toán chi thường xuyên: Đối với nguồn kinh phí thường xuyên, Sở đều thực hiện chi tách biệt hai khoản chính đó là phần chi cho con người và chi phí quản lý hành chính thực hiện chức năng nhiệm vụ chính trị của Sở.

Sở Nông nghiệp và Môi trường tỉnh Phú Thọ có vai trò và cơ cấu chi tiêu tùy thuộc vào nguồn kinh phí, khoản phí, lệ phí. Chi từ nguồn NSNN: Năm 2022 là 35.651,9. Năm 2023 là 40.067, tăng 12,38% so với 2022. Năm 2024 là 43.968,41, tăng 9,74% so với 2023. Từ nguồn phí, lệ phí: Năm 2022 là 13.393,7. Năm 2023 là 14.025,8; tăng 4,72% so với 2022. Năm 2024 là 15.371, tăng 16,72% so với 2023.

Đối với các khoản chi QLHC và các khoản chi khác của cả Sở giai đoạn 2022 - 2024: Số liệu cho thấy sự điều chỉnh hoặc tối ưu hóa trong chi tiêu hành chính từ ngân sách nhà nước, cụ thể: Từ nguồn

NSNN: Năm 2022 là 14.538,6. Năm 2023 là 15.541,8 tăng 6,9% so với 2022. Năm 2024 là 15.210,2 giảm 2,13% so với 2023. Từ nguồn phí, lệ phí: Năm 2022 là 5.552,1. Năm 2023 là 5.683, tăng 2,36% so với 2022. Năm 2024 là 6.029,9 tăng 6,1% so với 2023.

Công tác quản lý các khoản chi phí quản lý hành chính thường xuyên: Sở Nông nghiệp và Môi trường tỉnh Phú Thọ thực hiện giải ngân kinh phí quản lý hành chính theo đúng dự toán được giao, được sự phê duyệt của chủ tài khoản. Các khoản chi phí này được quy định theo định mức chi cụ thể trong quy chế chi tiêu nội bộ của Văn phòng Sở và các đơn vị, định mức các khoản chi thực hiện đúng theo các quy định của Nhà nước.

**2.4. Công tác kiểm tra, giám sát**

- Kiểm soát nội bộ và tự kiểm tra: Công tác thẩm tra, tự kiểm tra tài chính chưa phát huy hết vai trò; một số đơn vị trực thuộc Sở chưa xây dựng quy định, nguyên tắc, phương pháp tự kiểm tra tại đơn vị mình. Một hệ thống kiểm soát nội bộ yếu kém sẽ không thể ngăn ngừa và phát hiện kịp thời các sai sót, gian lận, làm tăng rủi ro tài chính cho đơn vị.

- Kiểm tra từ bên ngoài: Các Sở chịu sự thanh tra, kiểm tra định kỳ hoặc đột xuất của Sở Tài chính. Ngoài ra, Kiểm toán Nhà nước cũng thực hiện kiểm toán ngân sách địa phương tỉnh Phú Thọ. Kết quả từ các cuộc kiểm toán này là nguồn thông tin khách quan và quý giá để nhận diện các vấn đề, sai phạm mang tính hệ thống trong công tác quản lý, sử dụng ngân sách của tỉnh nói chung và các Sở, ngành nói riêng.

## 3. HẠN CHẾ

*Một là,* lập dự toán theo đầu vào, thiếu gắn kết với hiệu quả: Phương pháp lập dự toán dựa trên biên chế và định mức đã trở nên lạc hậu, không khuyến khích đổi mới và tối ưu hóa nguồn lực. Nó tạo ra một cơ chế quản lý cứng nhắc, bị động.

*Hai là,* chấp hành và quyết toán mang tính hình thức: Việc xét duyệt quyết toán chỉ dừng lại ở việc kiểm tra tính tuân thủ về mặt thủ tục, giấy tờ mà không đi sâu vào đánh giá hiệu quả thực chất của các khoản chi. Điều này làm cho chu trình ngân sách không thật sự "khép kín" về mặt quản lý hiệu quả.

*Ba là,* quy chế chi tiêu nội bộ và phân phối thu nhập tăng thêm chưa tạo động lực: Quy chế chi tiêu nội bộ còn sao chép quy định chung, chưa phải là công cụ quản trị nội bộ sắc bén. Việc phân phối thu nhập tăng thêm còn mang tính cào bằng, làm giảm động lực của các cá nhân và tập thể xuất sắc.

*Bốn là,* hệ thống kiểm soát nội bộ yếu kém: Công tác tự kiểm tra tài chính chưa được quan tâm đúng mức, chưa được thực hiện thường xuyên, bài bản, làm gia tăng rủi ro tiềm ẩn về sai sót và lãng phí.

*Năm là,* thách thức từ việc sáp nhập: Việc hợp nhất hai cơ quan có quy mô lớn, với hai nền tảng quản lý tài chính, hai văn hóa làm việc và hai hệ thống quy chế khác nhau là một thách thức vô cùng lớn. Sự thiếu đồng bộ về cơ chế, quy trình, hệ thống kế toán và định mức chi tiêu đặc thù giữa hai lĩnh vực nông nghiệp và tài nguyên - môi trường sẽ tạo ra những khó khăn, lúng túng trong giai đoạn đầu vận hành, nếu không có một kế hoạch "hợp nhất tài chính" bài bản.

## 4. KHUYẾN NGHỊ GIẢI PHÁP NHẰM HOÀN THIỆN CÔNG TÁC QUẢN LÝ TÀI CHÍNH CỦA SỞ NÔNG NGHIỆP VÀ MÔI TRƯỜNG TỈNH PHÚ THỌ

*Một là, xây dựng và hoàn thiện hệ thống quy chế quản lý tài chính nội bộ:* Sở cần rà soát, sửa đổi, bổ sung và ban hành mới một cách đồng bộ các quy chế quản lý tài chính cốt lõi, như: Quy chế chi tiêu nội bộ, Quy chế quản lý và sử dụng tài sản công, Quy chế thực hiện công khai tài chính. Việc xây dựng quy chế phải bảo đảm dân chủ, công khai, có sự tham gia của các đơn vị trực thuộc; nội dung phù hợp với Luật NSNN 2015, Nghị định 163/2016/NĐ-CP và các quy định của tỉnh Phú Thọ.

*Hai là, đổi mới công tác lập và phân bổ dự toán:* Sở Nông nghiệp và Môi trường tỉnh Phú Thọ nên chuyển đổi phương pháp lập dự toán theo định hướng kết quả thực hiện nhiệm vụ *và* cần được thực hiện theo một lộ trình bài bản: Giai đoạn 1 (năm 2025 - 2026): Thí điểm đối với một số chương trình, đề án, nhiệm vụ trọng điểm, có mục tiêu rõ ràng để áp dụng thí điểm PBB. Giai đoạn 2 (sau năm 2026): Mở rộng; đồng thời, tổ chức các khóa đào tạo, tập huấn sâu rộng về phương pháp luận, kỹ thuật xây dựng KPIs và đánh giá hiệu quả cho đội ngũ cán bộ liên quan.

*Ba là, nâng cao chất lượng công tác dự báo và xây dựng dự toán:* Thành lập "Tổ công tác lập dự toán" liên phòng ban. Bên cạnh đó, nâng cao chất lượng thảo luận, phản biện dự toán, Sở cần công khai, minh bạch hóa quy trình và tiêu chí phân bổ dự toán; tổ chức chấp hành dự toán chặt chẽ, đúng quy định; hiện đại hóa và chuẩn hóa công tác kế toán, quyết toán và quản lý chặt chẽ các khoản chi chuyển nguồn.

*Bốn là, hoàn thiện tổ chức bộ máy:* Sở cần đánh giá và tái cấu trúc bộ máy theo hướng kết hợp kế toán tập trung tại Văn phòng Sở và kế toán phân tán tại các đơn vị sự nghiệp công lập có thu, có tư cách pháp nhân đầy đủ và tài khoản riêng. Bên cạnh đó, Sở xây dựng và ban hành "Sổ tay mô tả công việc" và khung năng lực cho từng vị trí, làm rõ nhiệm vụ, trách nhiệm, quyền hạn và yêu cầu năng lực.

*Năm là, nâng cao nhận thức về cơ chế tự chủ, tự chịu trách nhiệm:* Đẩy mạnh tuyên truyền thông qua hội nghị, phát hành cẩm nang, lồng ghép nội dung tự chủ vào sinh hoạt định kỳ. Bên canh đó, Sở gắn kết quả thực hiện tự chủ với phong trào thi đua, khen thưởng; hướng dẫn xây dựng quy chế phân phối thu nhập tăng thêm công bằng, công khai, dựa trên hiệu quả và mức độ đóng góp và hiệu quả công việc của từng cá nhân.

*Sáu là, đào tạo và nâng cao trình độ cán bộ phụ trách công tác tài chính:* Sở cần xây dựng kế hoạch đào tạo, bồi dưỡng dựa trên khảo sát nhu cầu thực tế với mục tiêu, nội dung, lộ trình, đối tượng và kinh phí thực hiện cụ thể. Bên cạnh đó, Sở cần đa dạng hóa hình thức đào tạo, chú trọng nâng cao kỹ năng nghiệp vụ, phân tích tài chính và tham mưu quản lý.

## 5. KẾT LUẬN

Cải cách hành chính quốc gia, đổi mới tài chính công được xác định là một trong những khâu đột phá then chốt, nhằm xây dựng một nền hành chính dân chủ, chuyên nghiệp, hiện đại, hoạt động hiệu lực, hiệu quả. Đối với tỉnh Phú Thọ, yêu cầu hoàn thiện công tác quản lý tài chính công càng trở nên cấp thiết trong bối cảnh tỉnh đang thực hiện những bước đi cải cách mạnh mẽ về tổ chức bộ máy. Trên cơ sở phân tích, đánh giá công tác quản lý tài chính của Sở Nông nghiệp và Môi trường giai đoạn 2022 – 2024, nghiên cứu mạnh rạn khuyến nghị đề xuất giải pháp nhằm hoàn thiện công tác quản lý tài chính của Sở Nông nghiệp và Môi trường trong thời gian tới. Hy vọng rằng, các giải pháp trên được thực hiện sẽ góp phần đưa Sở Nông nghiệp và Môi trường phát triển hơn nữa.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Quốc hội. Luật Ngân sách nhà nước số 83/2015/QH13, 2015.

[2] Chính phủ. Nghị định số 60/2021/NĐ-CP ngày 21 tháng 6 năm 2021 quy định cơ chế tự chủ tài chính của đơn vị sự nghiệp công lập, 2021.

[3] Bộ Tài chính. Thông tư số 24/2024/TT-BTC ngày 17 tháng 4 năm 2024 hướng dẫn Chế độ kế toán hành chính, sự nghiệp, 2024.

[4] Bùi Tiến Hanh. Giáo trình Quản lý tài chính công. NXB. Tài chính, 2022.

[5] Báo cáo tổng kết công tác, báo cáo dự toán và quyết toán ngân sách. *Sở Nông nghiệp và Phát triển nông thôn tỉnh Phú Thọ.*

■Ngày nhận bài: 16/6/2025 ■Ngày sửa bài: 03/7/2025 ■Ngày chấp nhận đăng: 18/7/2025

# Mô hình tích hợp Entropy-TOPSIS để lựa chọn nhà cung cấp bền vững: Trường hợp của công ty kinh doanh sản phẩm dùng cho dã ngoại tại Việt Nam

## An integrated Entropy-TOPSIS model for sustainable supplier selection: A case study of an outdoor company in Vietnam

**> CN TRƯƠNG THỊ HUỲNH ANH, PGS.TS HỒ THỊ THU HÒA*, KS NGUYỄN THANH DANH**
Trường Đại học Quốc tế, Đại học Quốc gia TP.HCM
*Email: htthoa@hcmiu.edu.vn

**TÓM TẮT**

Trong bối cảnh áp lực tuân thủ quy định, yêu cầu từ thị trường và kỳ vọng của các bên liên quan ngày càng gia tăng, quản lý chuỗi cung ứng bền vững (Sustainable Supply Chain Management - SSCM) trở thành trọng tâm, đặc biệt trong hoạt động lựa chọn nhà cung cấp. Nghiên cứu này đề xuất một khung ra quyết định tích hợp Entropy - TOPSIS nhằm lựa chọn nhà cung cấp vải P600D cho một doanh nghiệp đồ dã ngoại tại Việt Nam theo tiếp cận ba trụ cột bền vững (Triple Bottom Line - TBL). Dữ liệu được thu thập từ 7 nhà cung cấp dựa trên 9 tiêu chí. Trong đó, phương pháp Entropy được sử dụng để xác định trọng số tiêu chí một cách khách quan, còn TOPSIS được áp dụng để xếp hạng các phương án nhà cung cấp. Kết quả chỉ ra rằng tiêu chí "Chứng chỉ môi trường" có trọng số lớn nhất và tạo ra khác biệt rõ rệt giữa các nhà cung cấp. Đồng thời, mô hình cho thấy khả năng thiết lập thứ hạng nhất quán, qua đó nhận diện nhóm nhà cung cấp có mức độ tiệm cận cao với phương án lý tưởng. Kết quả nghiên cứu cung cấp căn cứ định lượng giúp doanh nghiệp ưu tiên lựa chọn nhà cung cấp đáp ứng yêu cầu bền vững, qua đó nâng cao hiệu quả quản trị chuỗi cung ứng.

**Từ khóa:** Ba trụ cột bền vững (TBL); lựa chọn nhà cung cấp; quản lý chuỗi cung ứng bền vững.

**ABSTRACT**

In the context of increasing regulatory compliance requirements, market pressures and stakeholder expectations, Sustainable Supply Chain Management (SSCM) has become a central focus, particularly in supplier selection. This study proposes an integrated Entropy - TOPSIS decision-making framework to select P600D fabric suppliers for an outdoor equipment company in Vietnam, based on the Triple Bottom Line (TBL) approach. Data were collected from seven suppliers using nine evaluation criteria. The Entropy method was employed to determine objective criterion weights, while TOPSIS was applied to rank the supplier alternatives. The results indicate that the "Environmental Certification" criterion has the highest weight, creating significant differentiation among suppliers. The model also establishes a consistent ranking, thereby identifying the group of suppliers with the closest proximity to the ideal solution. The research findings provide quantitative evidence to support firms in prioritizing sustainable suppliers, contributing to improved sustainable supply chain governance.

**Keywords:** Sustainable supply chain management; supplier selection; triple Bottom Line (TBL).

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Phát triển bền vững ngày càng trở thành yêu cầu trọng yếu trong quản trị doanh nghiệp và chuỗi cung ứng dưới tác động của toàn cầu hóa và áp lực từ người tiêu dùng, cơ quan quản lý và các bên liên quan. Theo Ủy ban Thế giới về Môi trường và Phát triển (WCED), phát triển bền vững hướng tới đáp ứng nhu cầu hiện tại mà không làm suy giảm khả năng đáp ứng của các thế hệ tương lai, dựa trên ba trụ cột kinh tế, xã hội và môi trường [1]. Trong bối cảnh đó, doanh nghiệp cần tích hợp bền vững vào các quyết định then chốt của chuỗi cung ứng để đồng thời đảm bảo hiệu quả kinh tế và trách nhiệm xã hội - môi trường.

Ngành dệt may đặt ra nhiều thách thức liên quan đến tiêu

hao tài nguyên, ô nhiễm, rủi ro sức khỏe và tác động xã hội do dịch chuyển sản xuất. Đồng thời, xu hướng tiêu dùng ưu tiên sản phẩm thân thiện môi trường làm gia tăng yêu cầu doanh nghiệp lựa chọn nhà cung cấp theo định hướng bền vững. Khác với cách tiếp cận truyền thống chủ yếu dựa trên chi phí, chất lượng và thời gian giao hàng, việc tích hợp các tiêu chí theo ba trụ cột bền vững (Triple Bottom Line - TBL) làm bài toán lựa chọn nhà cung cấp trở nên đa chiều và phức tạp, đòi hỏi các phương pháp ra quyết định đa tiêu chí (Multi-Criteria Decision Making - MCDM).

Trên cơ sở đó, nghiên cứu này đề xuất mô hình tích hợp Entropy - TOPSIS nhằm lựa chọn nhà cung cấp bền vững cho nguyên liệu vải P600D tại một công ty đồ dã ngoại ở Việt Nam. Mô hình sử dụng 9 tiêu chí thuộc ba trụ cột bền vững; dữ liệu được thu thập từ các bộ phận doanh nghiệp và kế thừa từ các nghiên cứu trước trong giai đoạn 01/2024 - 12/2024. Kết quả hướng tới xếp hạng và lựa chọn ba nhà cung cấp phù hợp nhất, qua đó hỗ trợ nâng cao tính minh bạch và hiệu quả của quyết định lựa chọn nhà cung cấp theo định hướng bền vững.

## 2. LƯỢC KHẢO TÀI LIỆU

Lý thuyết Ba trụ cột bền vững (Triple Bottom Line - TBL) cho rằng tính bền vững của doanh nghiệp và chuỗi cung ứng cần được đánh giá đồng thời trên ba khía cạnh cốt lõi: Kinh tế, xã hội và môi trường, thay vì chỉ tập trung vào lợi nhuận tài chính [2]. Khung TBL đã được áp dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực như sản xuất [3], y tế [4], dệt may [5] và năng lượng [6], nhằm giảm thiểu chất thải, tối ưu sử dụng tài nguyên và cải thiện phúc lợi người lao động. Các nghiên cứu gần đây cũng nhấn mạnh rằng tiêu chí lựa chọn nhà cung cấp bền vững cần được xác định dựa trên mức độ phù hợp và liên quan đến bối cảnh ngành. Trên cơ sở tham khảo các nghiên cứu về lựa chọn nhà cung cấp vải và ngành dệt may, nghiên cứu này tổng hợp 11 tiêu chí tương ứng với ba trụ cột bền vững và trình bày tại Bảng 1. Việc phân loại tiêu chí theo TBL nhằm đảm bảo tính nhất quán và toàn diện của khung đánh giá, đồng thời tạo nền tảng cho quá trình lựa chọn nhà cung cấp theo định hướng bền vững trong doanh nghiệp nghiên cứu.

Bảng 1. Tổng hợp các tiêu chí lựa chọn nhà cung cấp bền vững

| Trụ cột | Tiêu chí | Nguồn |
|---|---|---|
| **Kinh tế** | Chi phí/Giá cả | [7]; [8]; [9]; [11] |
| | Chất lượng | [7]; [8]; [9]; [11] |
| | Thời gian giao hàng | [7]; [8]; [10] |
| | Tính linh hoạt | [8]; [9]; [11] |
| | Năng lực sản xuất | [7]; [9]; [10] |
| | Khả năng công nghệ | [10]; [12]; [13]; [14] |
| **Môi trường** | Kiểm soát ô nhiễm | [12]; [15]; [16] |
| | Tiêu thụ tài nguyên | [13]; [14]; [17] |
| | Hệ thống quản lý môi trường | [12]; [13]; [15] |
| **Xã hội** | Sức khỏe và an toàn lao động | [12]; [13] |
| | Sự hài lòng của khách hàng | [7]; [11]; [14] |

*Nguồn: Tác giả tổng hợp.*

## 3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Trên cơ sở lược khảo tài liệu, nghiên cứu thiết lập 11 tiêu chí ban đầu và lấy ý kiến 7 thành viên ra quyết định (DM) thuộc các bộ phận liên quan gồm: Quản lý mua hàng (8 năm), Chuyên viên mua hàng cao cấp (4 năm), Quản lý sản xuất cao cấp (15 năm), Chuyên viên phát triển sản phẩm cao cấp (5 năm), Quản lý vận hành cao cấp (12 năm), Tổng giám đốc (CEO) (18 năm), Trưởng nhóm kiểm soát chất lượng (6 năm); mức độ quan trọng tiêu chí được khảo sát bằng thang đo Likert 5 mức [18-19]. Kết quả thảo luận cho thấy, các thành viên ra quyết định thống nhất loại các tiêu chí "Tính linh hoạt", "Khả năng công nghệ" và "Hệ thống quản lý môi trường" khỏi phân tích vì mức độ khác biệt giữa các nhà cung cấp hiện hữu là không đáng kể, khiến các tiêu chí này không có khả năng phân biệt rõ ràng trong bối cảnh chuỗi cung ứng vải dã ngoại - nơi trọng tâm quản trị nhà cung cấp đặt vào tính ổn định và khả năng đáp ứng nhất quán. Đồng thời, nhóm thống nhất bổ sung tiêu chí "Chứng chỉ môi trường" do tiêu chí này phù hợp với các yêu cầu và chuẩn mực quốc tế đang áp dụng, có tính khách quan và kiểm chứng được, qua đó phản ánh tốt hơn khía cạnh tuân thủ bền vững trong lựa chọn nhà cung cấp. Do đó, nghiên cứu sử dụng 9 tiêu chí theo ba trụ cột bền vững gồm: Nhóm kinh tế: Giá cả (EC1), Chất lượng (EC2), Năng lực sản xuất (EC3), Thời gian giao hàng (EC4); Nhóm môi trường: Tiêu thụ tài nguyên (EN1), Kiểm soát ô nhiễm (EN2), Chứng chỉ môi trường (EN3); Nhóm xã hội: An toàn và sức khỏe nghề nghiệp (SC1), Sự hài lòng khách hàng (SC2).

Quy trình đánh giá gồm hai bước: (1) Xác định trọng số tiêu chí bằng Entropy và (2) xếp hạng nhà cung cấp bằng TOPSIS.

### 3.1. Xác định trọng số tiêu chí bằng phương pháp Entropy

Entropy là phương pháp xác định trọng số khách quan trong ra quyết định đa tiêu chí, dựa trên lý thuyết thông tin nhằm lượng hóa mức độ bất định (hay mức độ phân tán) của dữ liệu theo từng tiêu chí [20]. Hwang và Yoon đã hệ thống hóa và phổ biến cách sử dụng Entropy để tính trọng số tiêu chí trong các bài toán MCDM [21]. Trong nghiên cứu này, quy trình xác định trọng số bằng Entropy được thực hiện theo các bước sau:

Bước 1: Xây dựng ma trận quyết định $X = [x_{ij}]$ với i = 1,...,7 nhà cung cấp, j = 1,…,9 tiêu chí.

Bước 2: Chuẩn hóa ma trận:

- Tiêu chí lợi ích:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max(x_j)} \quad (1)$$

- Tiêu chí chi phí:

$$r_{ij} = \frac{\min(x_j)}{x_{ij}} \quad (2)$$

Bước 3: Tính entropy:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^{7} p_{ij} * \ln(p_{ij}) \quad (3)$$

Trong đó: $m = 7$; $p_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum r_{ij}}$

Bước 4: Tính độ phân tán:

$$d_j = 1 - e_j \quad (4)$$

Bước 5: Tính trọng số:

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^{10} d_j} \quad (5)$$

Trong đó: $\sum_{j=1}^{10} w_j = 1$

### 3.2. Xếp hạng nhà cung cấp bằng phương pháp TOPSIS

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) là phương pháp ra quyết định đa tiêu chí dựa trên khoảng cách của từng phương án tới giải pháp lý tưởng dương (PIS) và giải pháp lý tưởng âm (NIS) [21]. Phương án được ưu tiên là phương án có khoảng cách nhỏ nhất tới PIS và lớn nhất tới NIS. Trong nghiên cứu, TOPSIS được triển khai theo 6 bước:

Bước 1: Ma trận chuẩn hóa vector:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}^2}} \quad (6)$$

Bước 2: Ma trận chuẩn hóa có trọng số:

$$v_{ij} = w_j * r_{ij} \quad (7)$$

Bước 3: Xác định PIS ($A^+$) và NIS ($A^-$): Giải pháp lý tưởng dương và giải pháp lý tưởng âm theo từng tiêu chí:

Bước 4: Tính khoảng cách Euclidean:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}(v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (8)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}(v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (9)$$

Bước 5: Tính hệ số tiệm cận:

$$CC_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}$$

Bước 6: Xếp hạng theo $CC_i$ giảm dần; chọn 3 nhà cung cấp có $CC_i$ cao nhất.

## 4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Dữ liệu đầu vào được thu thập từ các bộ phận chức năng của doanh nghiệp theo hệ tiêu chí đã thiết lập. Bảng 2 trình bày ma trận đánh giá thô của 7 nhà cung cấp theo 9 tiêu chí, việc đo lường được thực hiện thống nhất về phương pháp và thời điểm nhằm bảo đảm tính nhất quán và khả năng so sánh.

Bảng 2. Ma trận đánh giá thô

| Nhà cung cấp | EC1 ($/m) | EC2 (1-10) | EC3 (m/tháng) | EC4 (ngày) | EN1 (L nước/kg) | EN2 (kg $CO_2$/kg) | EN3 (1-2) | SC1 (1-5) | SC2 (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S1 | 2,7 | 9 | 25.000 | 37 | 30 | 5,2 | 1 | 5 | 94 |
| S2 | 2,95 | 8,5 | 20.000 | 38 | 26 | 4,5 | 2 | 4 | 90 |
| S3 | 2,6 | 8,7 | 22.000 | 36 | 25 | 3,8 | 2 | 5 | 92 |
| S4 | 2,85 | 8,2 | 23.000 | 33 | 28 | 4,9 | 1 | 4 | 88 |
| S5 | 2,75 | 7,8 | 22.000 | 38 | 27 | 4,3 | 2 | 4 | 87 |
| S6 | 2,9 | 8 | 21.000 | 34 | 29 | 3,7 | 2 | 4 | 89 |
| S7 | 3,5 | 8,8 | 24.000 | 35 | 24 | 3,5 | 2 | 5 | 91 |

Từ ma trận này, dữ liệu được chuẩn hóa theo công thức (1) và (2) để tính giá trị entropy ($e_j$) theo công thức (3) và độ phân tán thông tin ($d_j$) theo công thức (4). Kết quả tại Bảng 3 cho thấy, các giá trị entropy chủ yếu ở mức rất cao (0,9952 - 0,9998), phản ánh mức chênh lệch đánh giá giữa các nhà cung cấp không lớn; tương ứng, độ phân tán thông tin nhìn chung thấp, đa số dưới 0,005. Trong đó, tiêu chí EN3 có khả năng phân biệt cao nhất ($d_j$ = 0,0198), tiếp theo là EN2 ($d_j$ = 0,0048) và SC1 ($d_j$ = 0,0032). Ngược lại, các tiêu chí về kinh tế và SC2 có độ phân tán rất thấp (0,0002 - 0,0019), cho thấy mức đánh giá tương đối đồng đều về giá cả, chất lượng, năng lực sản xuất, thời gian giao hàng và sự hài lòng khách hàng.

Bảng 3. Giá trị entropy ($e_j$) và độ phân tán thông tin ($d_j$) của các tiêu chí

| Tiêu chí | $e_j$ | $d_j$ |
|---|---|---|
| EC1 | 0,9981 | 0,0019 |
| EC2 | 0,9994 | 0,0006 |
| EC3 | 0,9987 | 0,0013 |
| EC4 | 0,9993 | 0,0007 |
| EN1 | 0,9986 | 0,0014 |
| EN2 | 0,9952 | 0,0048 |
| EN3 | 0,9802 | 0,0198 |
| SC1 | 0,9968 | 0,0032 |
| SC2 | 0,9998 | 0,0002 |

Trên cơ sở đó, trọng số tiêu chí ($w_j$) được xác định theo công thức (5). Kết quả tại Bảng 4 cho thấy, tiêu chí EN3 có trọng số lớn nhất ($w_j$ = 0,5855; 58,55%), tiếp đến là EN2 ($w_j$ = 0,1425; 14,25%), cho thấy nhóm tiêu chí môi trường giữ vai trò chi phối trong cấu trúc trọng số. Ngược lại, tiêu chí SC2 có trọng số nhỏ nhất ($w_j$ = 0,0046; 0,46%), phản ánh mức độ đánh giá gần như tương đồng giữa các nhà cung cấp.

Bảng 4. Kết quả trọng số của các tiêu chí

| Tiêu chí | Trọng số ($w_j$) |
|---|---|
| EC1 | 0,0559 |
| EC2 | 0,0180 |
| EC3 | 0,0381 |
| EC4 | 0,0197 |
| EN1 | 0,0420 |
| EN2 | 0,1425 |
| EN3 | 0,5855 |
| SC1 | 0,0938 |
| SC2 | 0,0046 |

Tiếp theo, ma trận quyết định được chuẩn hóa vector theo công thức (6) tại Bảng 5 và tích hợp trọng số Entropy để hình thành ma trận chuẩn hóa có trọng số. Kết quả tại Bảng 6 cho thấy, tiêu chí EN3 tạo ra mức phân hóa rõ rệt giữa các nhà cung cấp, trong khi các tiêu chí về kinh tế lại có đóng góp tương đối đồng đều do trọng số nhỏ và dữ liệu ít biến thiên.

Bảng 5. Ma trận chuẩn hóa vector

| Nhà cung cấp | EC1 | EC2 | EC3 | EC4 | EN1 | EN2 | EN3 | SC1 | SC2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S1 | 0,3512 | 0,4031 | 0,4202 | 0,3895 | 0,4188 | 0,4558 | 0,2132 | 0,4241 | 0,3940 |
| S2 | 0,3837 | 0,3807 | 0,3362 | 0,4000 | 0,3630 | 0,3944 | 0,4264 | 0,3393 | 0,3772 |
| S3 | 0,3382 | 0,3897 | 0,3698 | 0,3790 | 0,3490 | 0,3331 | 0,4264 | 0,4241 | 0,3856 |
| S4 | 0,3707 | 0,3673 | 0,3866 | 0,3474 | 0,3909 | 0,4295 | 0,2132 | 0,3393 | 0,3689 |
| S5 | 0,3577 | 0,3494 | 0,3698 | 0,4000 | 0,3769 | 0,3769 | 0,4264 | 0,3393 | 0,3647 |
| S6 | 0,3772 | 0,3583 | 0,3530 | 0,3579 | 0,4049 | 0,3243 | 0,4264 | 0,3393 | 0,3731 |
| S7 | 0,4553 | 0,3942 | 0,4034 | 0,3685 | 0,3351 | 0,3068 | 0,4264 | 0,4241 | 0,3814 |

Bảng 6. Ma trận chuẩn hóa có trọng số

| Nhà cung cấp | EC1 | EC2 | EC3 | EC4 | EN1 | EN2 | EN3 | SC1 | SC2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S1 | 0,0196 | 0,0072 | 0,0160 | 0,0077 | 0,0176 | 0,0649 | 0,1248 | 0,0398 | 0,0018 |
| S2 | 0,0214 | 0,0068 | 0,0128 | 0,0079 | 0,0152 | 0,0562 | 0,2496 | 0,0318 | 0,0017 |
| S3 | 0,0189 | 0,0070 | 0,0141 | 0,0075 | 0,0147 | 0,0475 | 0,2496 | 0,0398 | 0,0018 |
| S4 | 0,0207 | 0,0066 | 0,0147 | 0,0068 | 0,0164 | 0,0612 | 0,1248 | 0,0318 | 0,0017 |
| S5 | 0,0200 | 0,0063 | 0,0141 | 0,0079 | 0,0158 | 0,0537 | 0,2496 | 0,0318 | 0,0017 |
| S6 | 0,0211 | 0,0064 | 0,0134 | 0,0070 | 0,0170 | 0,0462 | 0,2496 | 0,0318 | 0,0017 |
| S7 | 0,0254 | 0,0071 | 0,0154 | 0,0073 | 0,0141 | 0,0437 | 0,2496 | 0,0398 | 0,0018 |

Giải pháp lý tưởng dương (PIS) và lý tưởng âm (NIS) được xác định cho từng tiêu chí thể hiện tại Bảng 7. Khoảng cách Euclid từ mỗi nhà cung cấp đến PIS và NIS được tính theo công thức (8) và (9), làm cơ sở xác định hệ số tiệm cận theo công thức (10). Kết quả cho thấy, chênh lệch PIS - NIS lớn nhất thuộc về tiêu chí EN3 là 0,2496 so với 0,1248, các tiêu chí về kinh tế và xã hội có khoảng cách nhỏ hơn.

Bảng 7. Giá trị PIS và NIS

| Tiêu chí | PIS | NIS |
|---|---|---|
| EC1 | 0,0189 | 0,0254 |
| EC2 | 0,0072 | 0,0063 |
| EC3 | 0,0160 | 0,0128 |
| EC4 | 0,0068 | 0,0079 |
| EN1 | 0,0141 | 0,0176 |
| EN2 | 0,0437 | 0,0649 |
| EN3 | 0,2496 | 0,1248 |
| SC1 | 0,0398 | 0,0318 |
| SC2 | 0,0018 | 0,0017 |

Kết quả tổng hợp tại Bảng 8 cho thấy, nhà cung cấp S3 đạt hệ số tiệm cận cao nhất, tiếp theo là S7 và S6, phản ánh mức độ tiệm cận tối ưu với phương án lý tưởng khi xét đồng thời các tiêu chí bền vững. Các nhà cung cấp còn lại có thứ hạng thấp hơn do khoảng cách đến PIS lớn hơn hoặc khoảng cách đến NIS nhỏ hơn.

Bảng 8. Khoảng cách Euclidean, hệ số tiệm cận và xếp hạng

| Nhà cung cấp | Khoảng cách đến PIS ($D_i^+$) | Khoảng cách đến NIS ($D_i^-$) | Hệ số tiệm cận ($CC_i$) | Thứ hạng |
|---|---|---|---|---|
| S3 | 0,0043 | 0,1265 | 0,9671 | 1 |
| S7 | 0,0066 | 0,1269 | 0,9506 | 2 |
| S6 | 0,0095 | 0,1263 | 0,9301 | 3 |
| S5 | 0,0132 | 0,1255 | 0,9051 | 4 |
| S2 | 0,0154 | 0,1252 | 0,8902 | 5 |
| S1 | 0,1267 | 0,0104 | 0,0760 | 6 |
| S4 | 0,1263 | 0,0065 | 0,0491 | 7 |

## 5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu xây dựng và áp dụng khung ra quyết định tích hợp Entropy - TOPSIS nhằm lựa chọn nhà cung cấp bền vững cho vải P600D theo tiếp cận ba trụ cột bền vững (TBL) trong bối cảnh một công ty đồ dã ngoại tại Việt Nam. Kết quả xác định trọng số theo Entropy cho thấy, tiêu chí "Chứng chỉ môi trường" có trọng số lớn nhất, phản ánh mức độ khác biệt đáng kể giữa các nhà cung cấp ở khía cạnh môi trường. Trên cơ sở bộ trọng số này, TOPSIS cho phép xếp hạng nhà cung cấp theo hệ số tiệm cận. Theo đó, nhà cung cấp S3 đạt giá trị cao nhất, tiếp theo lần lượt là S7, S6, S5 và S2, trong khi S1 và S4 có thứ hạng thấp hơn do khoảng cách lớn hơn so với phương án lý tưởng. Kết quả nghiên cứu cung cấp căn cứ định lượng hỗ trợ doanh nghiệp ưu tiên lựa chọn nhà cung cấp đáp ứng tốt yêu cầu bền vững, đồng thời góp phần nâng cao hiệu quả quản trị chuỗi cung ứng trong bối cảnh tiêu chuẩn bền vững ngày càng được nhấn mạnh.

Tuy nhiên, nghiên cứu vẫn còn một số hạn chế. Thứ nhất, dữ liệu đánh giá đầu vào có thể chịu ảnh hưởng của quy trình thu thập và cách thức đánh giá nội bộ. Thứ hai, nghiên cứu chưa xem xét các yếu tố động của môi trường kinh doanh như biến động nhu cầu theo thời gian. Do đó, hướng nghiên cứu tiếp theo có thể tích hợp logic mờ (fuzzy logic) để xử lý tính không chắc chắn của dữ liệu, hoặc mở rộng theo hướng kết hợp mô hình tối ưu hóa đa mục tiêu nhằm đồng thời hỗ trợ bài toán lựa chọn nhà cung cấp và phân bổ đơn hàng, qua đó hoàn thiện khung ra quyết định trong quản trị chuỗi cung ứng bền vững.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] World Commission on Environment and Development (WCED). Our Common Future. *Oxford University Press,* 1987.

[2] J. Elkington. Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business. *Capstone Publishing Ltd.*, 1997.

[3] D. Kannan. Role of multiple stakeholders and the critical success factor theory for the sustainable supplier selection process. *International Journal of Production Economics,* vol. 195, pp. 391-418, 2018.

[4] M. Alim and S. Sulley. Beyond healing: Embracing the triple bottom line approach in post-pandemic healthcare. *Cureus,* vol. 16, no. 2, Art. no. e54019, 2024.

[5] S. S. Sithi, M. A. Ara, A. T. Dhrubo, A. H. Rony and M. A. Shabur. Sustainable supplier selection in the textile industry using triple bottom line and SWARA-TOPSIS approaches. *Discover Sustainability,* vol. 6, art. no. 344, 2025.

[6] L. V. Lerman, G. B. Benitez, W. Gerstlberger, V. P. Rodrigues, and A. G. Frank. Sustainable conditions for the development of renewable energy systems: A triple bottom line perspective. *Sustainable Cities Soc.,* vol. 75, p. 103362, 2021.

[7] E. W. Asih, R. Marchamah, C. I. Parwati and A. Emaputra. The right criteria in selecting the supplier of lotto fabric raw material in convection industry by using AHP and TOPSIS methods. *Journal of Industrial Engineering and Management*, Special Edition SENTRA, 2021.

[8] V. K. Paul, S. Chakraborty and S. Chakraborty. An integrated IRN-BWM-EDAS method for supplier selection in a textile industry. *Decision Making: Applications in Management and Engineering,* vol. 5, no. 2, pp. 219-240, 2022.

[9] D. M. Utama, B. Maharani and I. Amallynda. Integration DEMATEL and ANP for the supplier selection in the textile industry: A case study. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri,* vol. 20, no. 1, pp. 119-130, 2021.

[10] A. E. C. Mondragon, E. Mastrocinque, J.-F. Tsai and P. J. Hogg. An AHP and fuzzy AHP multifactor decision-making approach for technology and supplier selection in the high-functionality textile industry. *IEEE Transactions on Engineering Management,* vol. 68, no. 4, pp. 1112-1125, 2021.

[11] K. S. Wulandari, S. Widaningrum, and S. A. Salma. Implementing AHP method for determining level priority of vendor selection. *International Journal of Innovation in Enterprise System,* vol. 7, no. 2, pp. 180-189, 2024.

[12] A. Mohammed, I. Harris, and K. Govindan. A hybrid MCDM-FMOO approach for sustainable supplier selection and order allocation. *International Journal of Production Economics,* vol. 217, pp. 171-184, 2019.

[13] S. A. Kayani, S. S. Warsi and R. A. Liaqait. A smart decision support framework for sustainable and resilient supplier selection and order allocation in the pharmaceutical industry. *Sustainability,* vol. 15, no. 7, Art. no. 5962, 2023.

[14] C. Wu, J. Gao and D. Barnes. Sustainable partner selection and order allocation for strategic items: An integrated multi-stage decision-making model. *International Journal of Production Research,* vol. 61, no. 4, pp. 1076-1100, 2023.

[15] F. Goodarzi, V. Abdollahzadeh and M. Zeinalnezhad. An integrated multi-criteria decision-making and multi-objective optimization framework for green supplier evaluation and optimal order allocation under uncertainty. *Decision Analytics Journal,* vol. 4, Art. no. 100087, 2022.

[16] Y. Ersoy and N. Ö. Dogan. An integrated model of fuzzy AHP/fuzzy DEA for measurement of supplier performance: A case study in textile sector. *International Journal of Supply and Operations Management,* vol. 7, no. 1, pp. 17-38, 2020.

[17] B. Ramos, J. Silva, A. Vila-Chã, H. Azevedo, J. Ramos, and A. C. Ferreira. Influence of demand on supplier selection using the analytic hierarchy process: A case study validation in the textile industry. *Business Systems Research,* vol. 15, no. 1, pp. 178-200, 2024.

[18] R. Likert. A technique for the measurement of attitudes. Archives of Psychology, vol. 22, no. 140, pp. 1-55, 1932.

[19] J. Zhang, L. Li, J. Zhang, L. Chen and G. Chen. Private-label sustainable supplier selection using a fuzzy entropy–VIKOR-based approach. *Complex & Intelligent Systems,* vol. 9, pp. 2361-2378, 2023.

[20] C. E. Shannon and W. Weaver. The Mathematical Theory of Communication. *University of Illinois Press,* 1949.

[21] C.-L. Hwang and K. Yoon. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. *Springer-Verlag,* vol. 186, 1981.

■Ngày nhận bài: 19/01/2026 ■Ngày sửa bài: 30/01/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 10/02/2026

# Xây dựng hệ thống quản lý, giám sát hành trình cho container

## Building system to manage and monitor the track of containers

**> TS NGUYỄN TRỌNG ĐỨC*, TS MAI XUÂN HƯƠNG**
Trường Đại học Hàng hải Việt Nam
*Email: trong-duc.nguyen@vimaru.edu.vn

**TÓM TẮT**

Vận tải hàng hóa có vai trò rất lớn trong việc phát triển kinh tế - xã hội, đòi hỏi sự phát triển không ngừng của các công ty, doanh nghiệp, phương thức vận tải... Tồn tại nhiều phương thức và loại hình vận tải hàng hóa, song vận chuyển bằng container được xem là hình thức vận tải phổ biến và hiệu quả nhất hiện nay. Tuy nhiên, sự hạn chế trong khâu quản lý cùng với việc áp dụng công nghệ chưa hiệu quả phần nào kìm hãm sự phát triển của hình thức vận tải này. Trong bài báo, nhóm tác giả đề xuất giải pháp ứng dụng công nghệ định vị (GPS) kết hợp hệ thống thông tin địa lý (GIS) xây dựng hệ thống quản lý, giám sát hành trình cho các container trên nền web. Hệ thống được xây dựng trên cơ sở tích hợp các thiết bị phần cứng và phần mềm nhằm trợ giúp việc quản lý, giám sát và điều độ các container một cách hiệu quả, tiết kiệm, đồng thời có thể xem như một khâu trong quy trình tự động xử lý chuỗi logistics trong vận tải hàng hóa.

**Từ khóa:** Hệ thống giám sát hành trình; quản lý container; hệ thống tích hợp GPS - GSM/GPRS.

**ABSTRACT**

Merchandise transportation plays a very important role in the economic, requires companies and enterprises have to continuously improving the current transportation methods and researching to figure out a new optimal one. Cargo could be packed and carried in many different ways buts using containers is the most popular and efficient method at the present. However, the limitation in management and the lack of effective technology applying lead to the inhibition of this merchandise transportation method. In this paper, the authors present the solution using GPS and GIS technologies to build a web-based system for management and monitoring the container. The proposed system is based on the integration hardware and software components to assist the management, monitoring and reposition the containers in an effective manner. The system functions as one phase in the automatic logistics chain process in carrying merchandise.

**Keywords:** Vehicle tracking system; container management system; integrated GPS - GSM/GPRS system.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

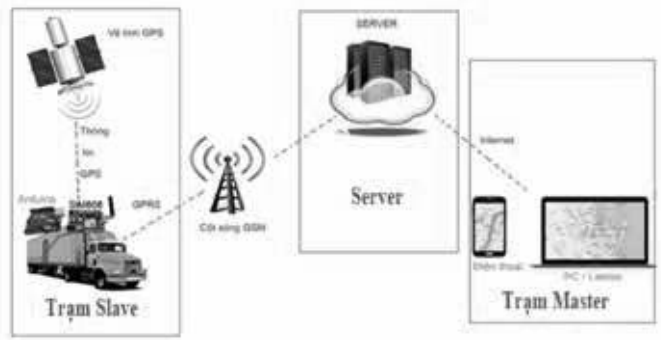
Vận tải hàng hóa có vai trò rất lớn trong việc phát triển kinh tế - xã hội, đòi hỏi sự phát triển không ngừng của các công ty, doanh nghiệp, phương thức vận tải... Tồn tại nhiều phương thức và loại hình vận tải hàng hóa, song vận chuyển bằng container được xem là hình thức vận tải phổ biến và hiệu quả nhất hiện nay. Tuy nhiên, sự hạn chế trong khâu quản lý cùng với việc áp dụng công nghệ chưa hiệu quả phần nào kìm hãm sự phát triển của hình thức vận tải này [1]. Vì vậy, việc quản lý, giám sát và điều độ các container một cách hiệu quả, tiết kiệm chi phí và thời gian đang là bài toán cấp thiết đặt ra đối với các nhà quản lý, doanh nghiệp vận tải…

Trong bài báo này, nhóm tác giả đề xuất giải pháp ứng dụng công nghệ định vị (GPS) kết hợp hệ thống thông tin địa lý (GIS) xây dựng hệ thống quản lý, giám sát hành trình cho các container trên nền web. Hệ thống được xây dựng trên cơ sở tích hợp các thiết bị phần cứng (thiết bị thu GPS, vi điều khiển Adruino, thiết bị thu phát GPRS...) và phần mềm (quản lý, giám sát hành trình...) nhằm giải quyết một phần bài toán đã đặt ra, đồng thời có thể xem như một khâu trong quy trình tự động xử lý chuỗi logistics trong vận tải hàng hóa. Nội dung bài báo bao gồm: Mục 1 - Mở đầu, Mục 2 - Mô hình kiến trúc hệ thống, Mục 3 - Xây dựng hệ thống và cuối cùng là Kết luận và hướng nghiên cứu tiếp theo của nhóm.

### 2. MÔ HÌNH KIẾN TRÚC HỆ THỐNG

#### 2.1. Hệ thống phần cứng

Mô hình kiến trúc hệ thống được chỉ ra trong Hình 1.




Hình 1. Mô hình kiến trúc hệ thống

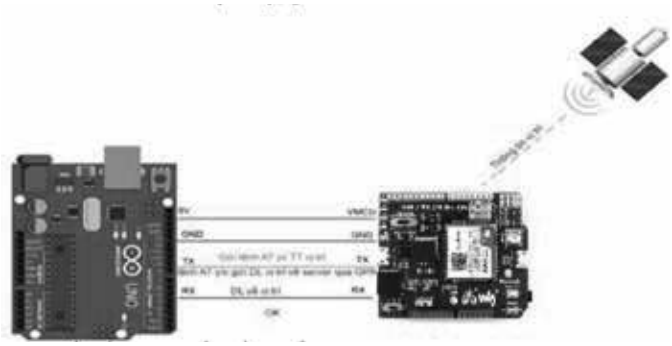
- *Trạm Slave:* Được gắn trên mỗi container nhằm thu thập thông tin như Mã (ID), vị trí, thời gian, hành trình... Mỗi trạm được thiết kế như một hệ thống tích hợp bao gồm:

+ *Bộ thu GPS và GSM/GPRS:* Thu thập thông tin vị trí, vận tốc... của container và gửi tới Khối điều khiển. Trong khuôn khổ của nghiên cứu, nhóm sử dụng Module SIM808 GSM/GPRS [2].

+ *Khối điều khiển:* Xử lý, đóng gói dữ liệu nhận được từ Bộ thu GPS, truyền dữ liệu tới Khối Server. Trong khuôn khổ của nghiên cứu, vi điều khiển Adruino ATmega328 [3] được lựa chọn. Kết nối giữa Khối điều khiển (Adruino) và Bộ thu GPS (Sim808) được chỉ ra trong Hình 2 [4].

+ *Server:* Khi nhận được dữ liệu từ Trạm Slave, phân tích, xử lý và lưu trữ các thông tin vào cơ sở dữ liệu. Đáp ứng yêu cầu truy xuất dữ liệu về các container của Trạm Master khi cần.

*Trạm Master:* Phần mềm quản lý, giám sát hành trình của container.



Hình 2. Kết nối giữa Khối điều khiển và Bộ thu GPS

**2.2. Thuật toán điều khiển**

Như đã đề cập trong mục trước, Trạm Slave được gắn trên mỗi container bao gồm hai thành phần chính: Bộ thu GPS và Khối điều khiển. Hoạt động trao đổi thông tin giữa các thành phần trong trạm này có thể chia thành các giai đoạn:

Arduino gửi tới Sim808 lệnh AT yêu cầu thu thập thông tin GPS của container thông qua giao tiếp UART.

Sim808 trả về Arduino các thông tin container như: thời gian, vị trí, vận tốc… dưới dạng chuỗi ký tự.

Arduino gửi lệnh yêu cầu Sim808 gửi chuỗi thông tin vừa lấy được đến Server thông qua kết nối mạng GPRS.

Với hệ thống quản lý giám sát nói chung, hoạt động trao đổi thông tin được thực hiện liên tục giữa các trạm Slave và Master thông qua Server. Kịch bản hoạt động của hệ thống có thể tóm lược qua các bước:

*Bước 1*: Khởi động hệ thống, các thiết bị và kết nối.

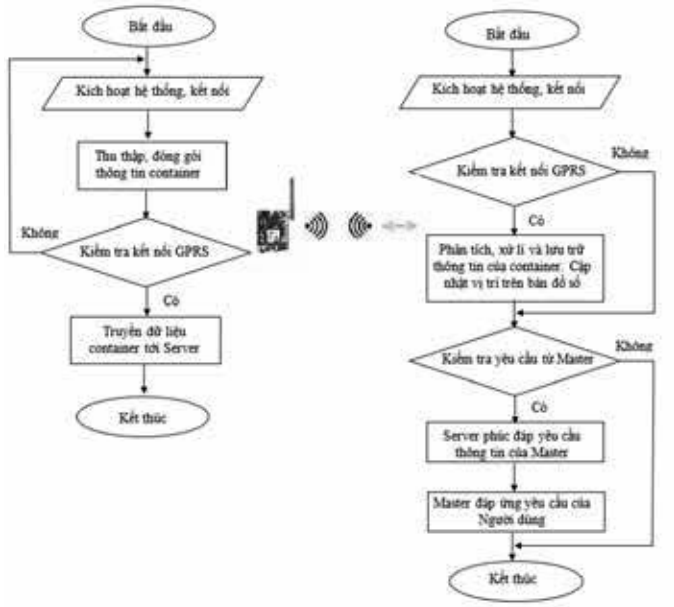
*Bước 2*: Các trạm Slave thu thập thông tin về container tương ứng, cập nhật tới Server.

*Bước 3*: Server kiểm tra thông tin từ Trạm Slave, nếu không có kết nối sẽ tạm dừng. Ngược lại phân tích, xử lý và lưu trữ thông tin của container tương ứng vào CSDL; đồng thời cập nhật vị trí hiện tại của container trên bản đồ số (Trạm Master).

*Bước 4*: Server kiểm tra thông tin từ trạm Master (người dùng đầu cuối). Phân tích yêu cầu, truy xuất CSDL và phúc đáp lại yêu cầu thông tin về container.

*Bước 5*: Trạm Master hoàn tất các thủ tục, kết thúc phiên làm việc.

Khi đó, lưu đồ thuật toán được xây dựng (Hình 3).




Hình 3. Lưu đồ thuật toán điều khiển

**3. PHẦN MỀM QUẢN LÝ, GIÁM SÁT**

Mô hình kiến trúc phần mềm hệ thống như được chỉ ra trong Hình 4.

Hình 4. Mô hình kiến trúc phần mềm hệ thống

Server nhận dữ liệu từ Slave (gắn trên các container) gửi lên thông qua GPRS, sau đó sẽ phân tích và lưu trữ thông tin về hành trình của từng container vào cơ sở dữ liệu, đồng thời cũng cập nhật lại vị trí hay các thông tin liên quan trên giao diện quản lý nếu như có sự thay đổi nào đó. Hệ thống phần mềm bao gồm:

*Server:* Sử dụng ngôn ngữ lập trình Nodejs.

Hình 5. Giao diện chính của hệ thống

*Giao diện web:* Sử dụng ngôn ngữ lập trình là html, css, javascript…

Từ kiến trúc và kịch bản hoạt động đã đề xuất, phần mềm quản lý và giám sát container được xây dựng trên nền tảng Nodejs, ngôn ngữ lập trình C#, cơ sở dữ liệu MySQL với XAMPP Control Panel v3.2.2 [5]. Giao diện chính của phần mềm như chỉ ra trong Hình 5.

** Các chức năng chính bao gồm:*

- *Chức năng Giám sát*: Cho phép người dùng, nhà quản lý có thể theo dõi, giám sát trạng thái các container qua mã container, thời gian, tốc độ, vị trí hiện tại... (Hình 6). Thêm vào đó là trạng thái kết nối, sử dụng dịch vụ GPRS tại mỗi container (tình trạng kết nối, thời hạn, tài khoản...), qua đó đơn vị chủ quản sẽ có chiến lược quản lý, điều động việc vận chuyển hàng hóa một cách hiệu quả.

Hình 6. Chức năng Giám sát hành trình

- *Chức năng Quản lý*: Cho phép quản lý danh sách các container qua mã container, mã số seri, mã số kiểm tra, tải trọng tối đa, kích thước, loại container, công ty sở hữu…, đặc biệt có thể tìm kiếm contianer qua ID của trạm Slave tương ứng (Hình 7). Quản lý lịch trình tổng quát cũng như chi tiết từng quãng đường cho từng container cụ thể.

- *Chức năng theo dõi lịch sử chuyến đi:* Cho phép nhà quản lý, khách hàng có thể xem lại quá trình vận chuyển của một container bất kỳ mà hệ thống đang quản lý trong khoảng thời nào đó trên giao diện bản đồ GIS cùng với thông tin về thời gian, quãng đường di chuyển... cũng như tọa độ từng điểm di chuyển của các container.

Ngoài ra, hệ thống còn cung cấp các chức năng báo cáo thống kê giúp nhà quản lý có thể kiểm soát tốt hoạt động vận tải cũng như hàng hóa.

Hình 7. Chức năng quản lý

Tiến hành thực nghiệm hệ thống với 3 trạm Slave gắn trên các container (GMDU111111222G1, VCLU555555645T6...), trạm Master đặt tại trung tâm TP Hải Phòng. Kết quả (thông tin về container, hành trình...) thu được (Hình 6, 7) cho thấy hệ thống hoạt động thông suốt, tùy biến theo thời gian thực. Các chức năng quản lý và giám sát hành trình cho cả ba container thử nghiệm trong bán kính 150 km (tính từ trạm Master) đã đáp ứng được yêu cầu quản lý giám sát của các đơn vị chủ quản (Gemadept, Vinashin-TGC, Nam Triệu Shipping), cho thấy hệ thống hoàn toàn có thể đưa vào ứng dụng trong thực tế.

## 4. KẾT LUẬN

Vận chuyển hàng hóa bằng container được xem là hình thức vận tải phổ biến và hiệu quả nhất hiện nay. Tuy nhiên, sự hạn chế trong khâu quản lý cùng với việc áp dụng công nghệ chưa hiệu quả phần nào kìm hãm sự phát triển của hình thức vận tải này. Trong bài báo này, nhóm tác giả đề xuất giải pháp ứng dụng công nghệ GPS kết hợp GIS xây dựng hệ thống quản lý, giám sát hành trình cho các container trên nền web nhằm hỗ trợ các nhà quản lý, các doanh nghiệp vận tải... trong việc quản lý, giám sát và điều độ các container một cách hiệu quả, tiết kiệm. Thực nghiệm cho thấy hệ thống đã xây dựng hoàn toàn có thể triển khai nhân rộng và áp dụng trong thực tế.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Cục Giám sát quản lý - Tổng cục Hải quan. Ứng dụng công nghệ Seal định vị GPS trong công tác quản lý, giám sát hàng hóa chịu sự giám sát hải quan vận chuyển bằng container, 2020.

[2] https://simcom.ee/modules/gsm-gprs-gnss/sim808/.

[3] https://components101.com/microcontrollers/arduino-nano.

[4] https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/sim808/.

[5] https://wiki.tino.org/xampp.

■Ngày nhận bài: 24/02/20256 ■Ngày sửa bài: 02/3/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 12/3/2026

# Ứng dụng lý thuyết "Di chuyển và Địa điểm" trong cải tạo mặt cắt ngang đường đô thị tại Hà Nội

## Application of the "Link and Place" framework to urban street cross-section improvements in Hanoi

**> THS NGUYỄN THỊ THU HẰNG*, THS ĐẶNG THỊ THU THẢO, THS ĐẶNG VIỆT TUẤN**
Trường Đại học Giao thông vận tải
*Email: hangntt@utc.edu.vn

**TÓM TẮT**

Lịch sử quy hoạch đường phố tại Việt Nam vốn chịu sự chi phối mạnh mẽ của tư duy ưu tiên giao thông cơ giới dẫn đến việc xem nhẹ chức năng không gian công cộng của đường phố trong đô thị. Bài báo này ứng dụng lý thuyết "Di chuyển và Địa điểm" (Link and Place) để cải tạo mặt cắt ngang tuyến phố Đông Xuân - Hàng Đào thuộc khu vực phố cổ Hà Nội. Thông qua các công cụ "Ma trận phân loại" và "Tam giác đánh đổi", nhóm tác giả phân tích các xung đột hiện hữu giữa nhu cầu di chuyển và các hoạt động kinh tế - văn hóa đặc thù tại khu vực. Nghiên cứu đề xuất giải pháp thu hẹp lòng đường từ 8 - 10 m xuống còn 6 - 8 m để mở rộng hè phố lên 3,5 m, đồng thời áp dụng hình thức thiết kế cùng cốt cao độ cho hè và mặt đường và chỉ phân biệt bằng sự thay đổi kết cấu vật liệu. Kết quả nghiên cứu không chỉ góp phần tối ưu hóa không gian cho người đi bộ và các hoạt động của chức năng "Địa điểm", mà còn thiết lập lộ trình chuyển đổi từ tư duy lấy xe cơ giới làm trung tâm sang hướng tiếp cận bền vững, lấy con người làm chủ thể trong quy hoạch và thiết kế đường đô thị.

**Từ khóa:** Di chuyển và địa điểm; mặt cắt ngang; đô thị bền vững.

**ABSTRACT**

The history of street planning in Vietnam has long been dominated by a philosophy prioritizing motorized traffic, consequently leading to the marginalization of the public space functions of streets within urban areas. This paper applies the "Link and Place" framework to improve the street cross-sections of the Dong Xuan - Hang Dao axis in Hanoi's Old Quarter. By utilizing the "Classification Matrix" and the "Trade-off Triangle", the authors analyze the inherent conflicts between mobility requirements and specialized socio-economic and cultural activities. The study proposes a strategic reduction of the carriageway width from 8 - 10m to 6 - 8m to facilitate the expansion of footways to 3.5m. Furthermore, it advocates for a shared-surface design (level-access) where the footway and carriageway maintain the same elevation, distinguished solely by varying paving materials and textures. The results not only optimize the spatial allocation for pedestrians and "Place" functions but also establish a roadmap for transitioning from a vehicle-centric design paradigm toward a sustainable, human-centered approach in urban street planning and design.

**Keywords:** Link and place; street cross-sections; sustainable urbanism.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Lịch sử quy hoạch và thiết kế đường phố chịu ảnh hưởng sâu sắc bởi sự bùng nổ của giao thông cơ giới tại Tây Âu và Bắc Mỹ vào thập niên 1950. Báo cáo Buchanan [1] cho rằng xung đột giữa xe cơ giới và môi trường đô thị chỉ có thể giải quyết bằng việc phân tách hoàn toàn giữa dòng phương tiện và không gian sống. Tại các quốc gia đang phát triển như Việt Nam, thực trạng quy hoạch đường phố cho thấy sự chi phối rõ rệt của quan điểm này, chức năng "Di chuyển - Link" của đường phố được ưu tiên tuyệt đối để giải tỏa áp lực giao thông, trong khi chức năng "Địa điểm - Place" bị xem nhẹ, dẫn đến hè phố trở thành không gian phụ trợ, dễ bị lấn chiếm và thiếu đi linh hồn của một không gian công cộng thực thụ [2]. Sự thất bại của quan điểm ưu tiên xe cơ giới đã thúc đẩy sự chuyển đổi mạnh mẽ, hướng tới cách tiếp cận toàn diện lấy con người làm trung tâm. Các lý thuyết hiện đại như "Link and Place" tại Anh [3] hay "Movement and Place" tại Úc [4] đã định nghĩa đường phố không chỉ thuần túy phục vụ chức năng di chuyển mà là không gian đa chức năng. Đường phố ngoài đáp ứng tốt chức năng di chuyển thì còn phải tạo

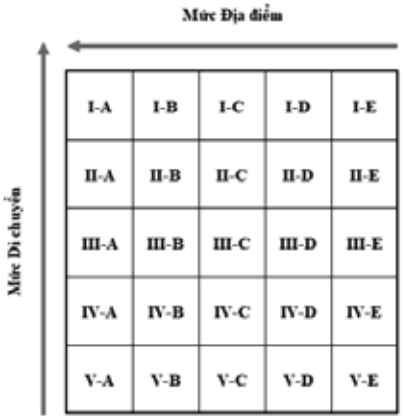
điều kiện đi lại an toàn, thuận tiện cho tất cả người dùng bất kể tuổi tác, khả năng hay phương tiện di chuyển. Đường phố phải trở thành địa điểm, không gian công cộng đáng sống, hỗ trợ cho các hoạt động xã hội, thương mại và củng cố bản sắc cộng đồng. Cùng ý tưởng đó, lý thuyết "Complete Streets" [5] của Mỹ lại nhấn mạnh tính công bằng trong thiết kế mặt cắt ngang đường, mục tiêu là tạo ra hệ thống hạ tầng an toàn, hỗ trợ mọi đối tượng đặc biệt là các nhóm yếu thế như người già và người khuyết tật với khả năng tiếp cận đa phương thức. Tuy nhiên, việc đưa tưởng này vào thực tế quy hoạch đường phố tại Hà Nội hiện nay vẫn còn là một thách thức lớn, đặc biệt trong bối cảnh mật độ dân số cao và sự chiếm ưu thế tuyệt đối của phương tiện xe cơ giới. Thông qua bài báo này, nhóm tác giả đề xuất sử dụng lý thuyết "Di chuyển và Địa điểm" như một giải pháp nền tảng cho sự chuyển đổi chiến lược. Đây không chỉ đơn thuần là việc điều chỉnh các thông số kỹ thuật, mà là sự thay đổi về tư duy thiết kế đường phố nhằm khôi phục không gian sống, đảm bảo tính công bằng và kiến tạo một môi trường đô thị bền vững.

## 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT "DI CHUYỂN VÀ ĐỊA ĐIỂM"

### 2.1. Khái niệm về "Di chuyển" và "Địa điểm"

Trong quy hoạch và thiết kế, đường phố không còn bị giới hạn bởi định nghĩa đơn thuần là dải hành lang chỉ phục vụ mục đích di chuyển, mà được nhìn nhận là không gian đa chức năng vừa phục vụ di chuyển và địa điểm. Lý thuyết cốt lõi này được định hình thông qua sự tương tác giữa hai chức năng "Di chuyển" và "Địa điểm". Theo Jones [6], khi hoạt động với chức năng "Di chuyển", đường phố đóng vai trò như một "hành lang" cho các dòng chuyển động xuyên suốt. Nhu cầu trọng tâm của người dùng chức năng "Di chuyển" bao gồm cả phương tiện cơ giới và phi cơ giới là tính liên tục, sự thông suốt của mạng lưới và tối thiểu hóa thời gian hành trình. Hiệu quả của chức năng này thường được định lượng thông qua các chỉ số về lưu lượng, vận tốc và khả năng tiếp cận. Ngược lại, chức năng " Địa điểm" định vị đường phố là một "điểm đến", nơi diễn ra các tương tác kinh tế, văn hóa và xã hội. Người dùng chức năng "Địa điểm" không có mục đích đi xuyên qua mà có xu hướng lưu lại để thực hiện các hoạt động như mua sắm, thư giãn hoặc giao tiếp. Marshall [7] lập luận rằng giá trị của chức năng "Địa điểm" tỉ lệ thuận với khả năng thu hút con người dừng lại và tương tác. Tuy nhiên, chức năng này lại chịu tác động tiêu cực bởi các hiệu ứng phụ của giao thông như tiếng ồn, ô nhiễm và sự chia cắt không gian.

### 2.2. Phân loại đường phố đô thị




Hình 1. Ma trận phân loại đường phố theo lý thuyết "Di chuyển và Địa điểm"

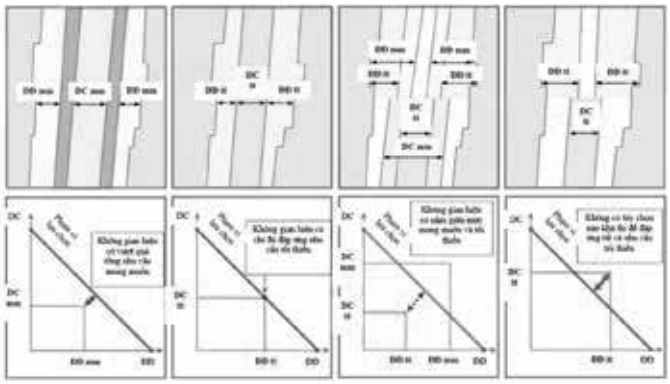
Điểm đột phá trong lý thuyết "Di chuyển và Địa điểm" của Jones [8] chính là việc khẳng định tính độc lập giữa hai chức năng "Di chuyển" và "Địa điểm". Thay vì coi chúng là hai thái cực đối nghịch, lý thuyết này phân loại đường phố theo một ma trận hai chiều cho phép các nhà quy hoạch nhận diện các khu vực có yêu cầu cao ở cả hai mặt. Đường phố không chỉ thuần túy chỉ có chức năng di chuyển mà còn được coi là địa điểm có các hoạt động kinh tế và xã hội. Vì vậy, đường phố phải đáp ứng được cả hai chức năng này, khi phân loại đường phố cần phải tính đến cả chức năng "Di chuyển" và "Địa điểm".

Hình 1 thể hiện ma trận phân loại đường phố 5x5 với các mức từ I đến V cho chức năng "Di chuyển" và từ A đến E cho chức năng "Địa điểm". Đường phố có nhu cầu di chuyển cao sẽ được xếp ở mức I và giảm dần về V. Tương tự như vậy, tuyến phố có nhu cầu địa điểm cao như quảng trường, trung tâm thương mại… sẽ được xếp ở mức A và giảm dần về E. Khung phân loại này đảm bảo chức năng di chuyển và địa điểm được đo lường bằng cùng một đơn vị, giúp cả hai chức năng được xem xét như nhau. Điều này khắc phục sự chênh lệch của các phương pháp phân loại thông thường, vốn thường nhấn mạnh ngầm vào chức năng di chuyển. Quan trọng hơn, ma trận phân loại khẳng định chức năng "Di chuyển" và "Địa điểm" là độc lập, chấp nhận cả loại đường có cả chức năng di chuyển và địa điểm cao. Cách tiếp cận này thúc đẩy sự hình thành các đội ngũ đa ngành, nơi kỹ sư giao thông và kiến trúc sư đô thị cùng hợp tác để đưa ra các giải pháp thiết kế tích hợp, đảm bảo sự bình đẳng trong phân bổ không gian và khôi phục chất lượng sống đô thị. Hiện nay, các bộ quy chuẩn hay tiêu chuẩn Việt Nam [9, 10] phân loại đường đô thị chủ yếu vẫn phân loại đường một chiều dựa hoặc vào tốc độ thiết kế hoặc chức năng của đường trong hệ thống giao thông đô thị. Bởi vậy, để ứng dụng được lý thuyết "Di chuyển và Địa điểm" vào quy hoạch và thiết kế đường cần chuyển đổi sang một hệ thống phân loại mới, phân loại hai chiều dựa vào cả chức năng di chuyển và địa điểm. Truc Lieu trong nghiên cứu [11] cũng đã có sự so sánh về phương pháp phân loại đường đô thị của Việt Nam và của Úc theo lý thuyết " Movement and Place" để có thể ứng dụng vào quy hoạch giao thông bền vững theo định hướng TOD ở TP.HCM.

### 2.3. Khái niệm về "Tam giác đánh đổi"

Khung phân loại đường phố hai chiều xác định mức "Di chuyển" và "Địa điểm" của mọi tuyến đường đô thị là độc lập và bình đẳng. Tuy nhiên, việc phân loại chỉ là bước đầu, để chuyển từ lý thuyết sang thực tiễn thiết kế cần phải giải quyết vấn đề về giới hạn không gian vật lý. Đây chính là lúc khái niệm "Tam giác đánh đổi" trở thành công cụ không thể thiếu. Tam giác này đóng vai trò là cầu nối định lượng, giúp chuyển đổi các yêu cầu chức năng đã được xác định qua ma trận phân loại hai chiều thành các yêu cầu về không gian trên mặt cắt ngang đường. Bằng cách trực quan hóa sự giới hạn về chiều rộng đường, "Tam giác đánh đổi" buộc nhà quy hoạch phải đối diện với thực tế khi tổng không gian cho cả nhu cầu di chuyển và địa điểm của tuyến đường vượt quá khả năng cung cấp thì cần phải chấp nhận đánh đổi chức năng quan trọng hơn. Do đó, sự liên kết giữa ma trận phân loại hai chiều và tam giác đánh đổi là then chốt, biến triết lý cân bằng chức năng thành quyết định phân bổ không gian rõ ràng và khả thi. Các yêu cầu chức năng của di chuyển và địa điểm có thể được chia nhỏ thành một tập hợp các yêu cầu chi tiết hơn và những yêu cầu này, đến lượt nó, có thể được chuyển thành các yêu cầu về không gian để cung cấp các yếu tố thiết kế đường cụ thể. Mỗi hoạt động đường phố liên quan sẽ có yêu cầu không gian "tối thiểu" và "mong muốn". Ví dụ theo [10], chiều rộng dải phân cách đường phố gom tối thiểu là 2 m nhưng mong muốn là 6 m. Ở mức mong muốn, mỗi hoạt động sẽ có không gian riêng với từng chức năng được ký hiệu là $DC_{mm}$ và $ĐĐ_{mm}$. Tuy nhiên, ở mức tối thiểu ($DC_{tt}$, $ĐĐ_{tt}$) đôi khi có thể chia sẻ không gian bằng cách trộn lẫn các

hoạt động hoặc phân bổ các khung thời gian khác nhau, ví dụ một phần mặt đường được sử dụng làm làn xe buýt trong giờ cao điểm và khu vực bốc dỡ hàng hóa ngoài giờ cao điểm. Sau khi có các yêu cầu về không gian cho các hoạt động của chức năng di chuyển và địa điểm liên quan quan, có thể xác định được tổng yêu cầu về di chuyển và địa điểm trên mặt cắt ngang đường tương ứng với mức cung cấp tối thiểu và mong muốn.



1) 2) 3) 4)

Hình 2. Tam giác đánh đổi

Do không gian mặt cắt ngang đường phố bị giới hạn dẫn đến nhu cầu đánh đổi giữa việc phân bổ không gian cho các hoạt động di chuyển và địa điểm như được minh họa trong Hình 2. Xét một cách cực đoan, nếu toàn bộ chiều rộng được phân bổ cho các hoạt động phục vụ chức năng di chuyển, ví dụ như đối với đường cao tốc đô thị thì không gian sẽ ưu tiên cho phần xe chạy hoặc ngược lại với các đường ở khu vực quảng trường thì toàn bộ không gian có thể được phân bổ cho các hoạt động của chức năng địa điểm. Thông thường, một tỷ lệ không gian được phân bổ cho cả hai chức năng và tổng không gian đó phải được chứa dưới đường chéo trong Hình 2. Bốn trường hợp phân bổ không gian minh họa 4 kết quả có thể xảy ra khi so sánh nhu cầu cần phân bổ với không gian có sẵn, ở mức cung cấp tối thiểu và mong muốn.

- Trường hợp 1: Không gian hiện có đủ để đáp ứng ở mức mong muốn đối với cả hai chức năng "Di chuyển" và "Địa điểm". Đây là trường hợp lý tưởng khi không gian đường phố đủ lớn.

- Trường hợp 2: Không gian hiện có chỉ vừa đủ để đáp ứng ở mức tối thiểu đối với cả hai chức năng "Di chuyển" và "Địa điểm".

- Trường hợp 3: Có khả năng là phổ biến nhất, không gian hiện có đủ để đáp ứng ở mức tối thiểu về "Di chuyển" và "Địa điểm", nhưng lại không đủ để đáp ứng ở mức mong muốn. Khi đó, người làm quy hoạch buộc phải đưa ra sự lựa chọn ưu tiên chức năng nào, đáp ứng phần không gian đến mức mong muốn cho chức năng di chuyển thì phải thu hẹp không gian cho chức năng địa điểm ở mức độ tối thiểu hoặc ngược lại.

- Trường hợp 4: Không gian hiện có không đủ để đáp ứng ngay cả ở mức tối thiểu đối với cả hai chức năng "Di chuyển" và "Địa điểm".

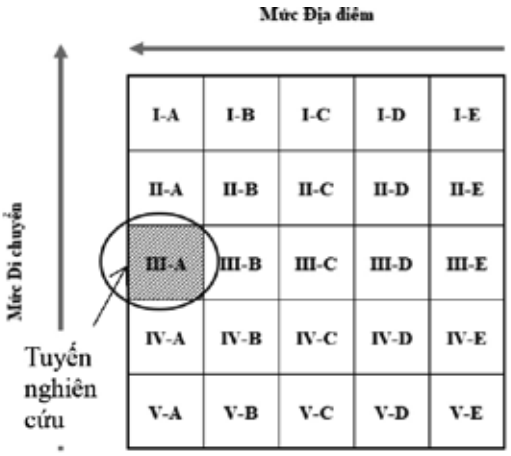
## 3. ỨNG DỤNG LÝ THUYẾT "DI CHUYỂN VÀ ĐỊA ĐIỂM" TRONG CẢI TẠO MẶT CẮT NGANG ĐƯỜNG ĐÔ THỊ

Trong bài báo này, nhóm tác giả ứng dụng lý thuyết "Di chuyển và Địa điểm" để cải tạo thử nghiệm mặt cắt ngang trục đường Đồng Xuân - Hàng Đường - Hàng Ngang - Hàng Đào (Đồng Xuân - Hàng Đào) trong khu vực Phố cổ của Hà Nội hướng tới mục tiêu lấy con người làm trung tâm, qua đó khôi phục chất lượng không gian đô thị.

### 3.1. Đánh giá hiện trạng giao thông trục đường Đồng Xuân - Hàng Đào

Trục đường nghiên cứu nằm trong khu vực Phố cổ Hà Nội (Hình 3) hiện đang đối mặt với áp lực giao thông lớn do sự xung đột gay gắt giữa phương tiện cơ giới và các hoạt động thương mại và du lịch sầm uất đặc trưng của khu phố cổ. Giao thông tại đây thường xuyên rơi vào tình trạng quá tải, đặc biệt là sự chồng lấn giữa dòng xe di chuyển và các hoạt động bốc dỡ hàng hóa ngay dưới lòng đường. Trên hè phố thì sự lấn chiếm của các hộ kinh doanh dọc tuyến đường đã đẩy người đi bộ phải đi chung với các phương tiện cơ giới gây mất an toàn cho người tham gia giao thông.

Hình 3. Mặt bằng tuyến phố nghiên cứu




Hình 4. Phân loại tuyến phố nghiên cứu

Theo khảo sát như ở Bảng 1, trục đường nghiên cứu có thể phân thành hai phân đoạn khá rõ ràng: Phân đoạn 1: Hàng Đường, Hàng Ngang, Hàng Đào với tổng chiều dài 533 m, tổng bề rộng 13 m và phân đoạn 2: Đồng Xuân với chiều dài 170 m, tổng bề rộng 15 m. Cả hai phân đoạn này đều đang dành ưu tiên lớn cho phương tiện cơ giới với bề rộng lòng đường là 8 m và 10 m (chiếm hơn 60% diện tích). Mặc dù vậy, khả năng di chuyển thực tế rất thấp do mật độ xe lớn kết hợp với hoạt động bốc dỡ hàng hóa của hơn 200 hộ kinh doanh dọc tuyến. Hơn nữa, sự thiếu hụt dải phân cách và làn dành riêng khiến dòng xe hỗn hợp thường xuyên xảy ra xung đột, gây mất an toàn giao thông nghiêm trọng. Xét về điều kiện không gian, phần hè phố chỉ rộng 2,5 m mỗi bên đối với cả hai phân đoạn, thực tế diện tích dành cho đi người bộ còn bị thu hẹp đáng kể do sự xuất hiện của các vật cản như biển báo, cột điện và hoạt động kinh doanh dọc tuyến. Điều này khiến chỉ số phục vụ giảm xuống dưới mức tối thiểu so với nhu cầu của một trục phố mang giá trị thương mại cũng như di sản văn hóa. Không gian này không đủ để đáp ứng đồng thời nhu cầu đi bộ và các hoạt động kinh tế vỉa hè đặc thù của Phố cổ.

Bảng 1. Một số thông số hình học cơ bản trục đường Đồng Xuân - Hàng Đào

| TT | Tên đường | Chiều dài (m) | Tổng bề rộng đường (m) | Bề rộng mặt đường (m) | Bề rộng hè phải (m) | Bề rộng hè trái (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | Đồng Xuân | 170 | 15 | 10 | 2,5 | 2,5 |
| 2 | Hàng Đào | 201 | 13 | 8 | 2,5 | 2,5 |
| 3 | Hàng Ngang | 150 | 13 | 8 | 2,5 | 2,5 |
| 4 | Hàng Đường | 182 | 13 | 8 | 2,5 | 2,5 |

Từ sự phân bổ không gian mặt cắt ngang có thể nhận thấy mục tiêu ban đầu là quy hoạch tuyến phố theo chức năng di chuyển, ưu tiên sự lưu thông cho các phương tiện cơ giới bỏ qua chức năng địa điểm. Tuy nhiên, khi vận hành sự ưu tiên phương tiện cơ giới với không gian vốn hạn hẹp của tuyến phố đã phản tác dụng, các phương tiện cơ giới không thể di chuyển theo mục tiêu ban đầu. Thực tế không gian này hiện đang tập trung phục vụ chức năng di chuyển mức III, vốn là cấp độ không đòi hỏi năng lực thông hành lớn như các trục đường có mức I hay II. Trong khi đó, nhu cầu về mua sắm đi lại của người đi bộ lại tăng cao vì bản thân tuyến phố nằm trong khu vực phố cổ mang giá trị thương mại cũng như di sản. Nhìn nhận theo chức năng địa điểm thì tuyến phố này phải được xếp ở mức A. Hay nói cách khác, tuyến đường này nên được xếp vào vị trí III - A theo ma trận phân loại hai chiều (Hình 4). Việc duy trì mặt cắt ngang cũ không chỉ làm suy giảm chất lượng không gian đô thị mà còn ngăn cản khả năng tiếp cận an toàn của người dân và du khách, tạo rào cản lớn cho việc chuyển dịch sang các phương thức vận tải bền vững. Rõ ràng, việc phân bổ không gian trên mặt cắt ngang hiện tại là không thích hợp.

**3.2. Đề xuất cải tạo mặt cắt ngang trục đường Đồng Xuân - Hàng Đào**

Dễ thấy với tổng bề rộng đường là 13 m với phân đoạn 1 và 15 m với phân đoạn 2 không thể tối ưu hóa đồng thời mọi chức năng. Do đó, nhóm tác giả đề xuất giải pháp dựa trên việc chấp nhận một sự đánh đổi có tính toán bằng cách giảm chỉ số liên quan đến chức năng di chuyển và tối ưu chỉ số liên quan đến chức năng địa điểm để phù hợp với tuyến đường có cấp hạng III-A. Cụ thể như sau:

*- Phân đoạn 1 - Hàng Đào: Ưu tiên tối đa chức năng "Địa điểm":*

Tiến hành thu hẹp tổng bề rộng lòng đường xuống 6 m và mở rộng hè lên 3,5 m với mỗi bên. Bề rộng lòng đường 6 m chia thành 2 làn mỗi làn 3 m lưu thông 2 chiều (Hình 5), đây là mức tối thiểu nhưng đủ để duy trì chức năng "Di chuyển" ở cấp độ khu vực cho phép xe máy/xe con lưu thông với tốc độ thấp mà vẫn có thể phục vụ được xe cứu hỏa trong các trường hợp có sự cố. Việc thu hẹp này đóng vai trò như một biện pháp "dịu hóa giao thông" tự nhiên, buộc các phương tiện giảm tốc để bảo vệ không gian di sản. Trong khi đó, hè phố mỗi bên sẽ được tăng thêm 1 m là 3,5 m, việc tăng thêm 1 m so với hiện trạng (2,5 m) giúp giải quyết triệt để thiếu hụt chức năng địa điểm. Với 3,5 m bề rộng mỗi bên có thể bố trí vừa đủ 2 m dải đi bộ đảm bảo hành lang thông suốt cho khách du lịch và dân địa phương còn 1,5 m dành cho dải tiện ích. Điều này cho phép các hộ kinh doanh bày hàng hóa có kiểm soát hoặc bố trí thêm cây xanh, ghế nghỉ mà không lấn chiếm lối đi, nâng cao rõ rệt chất lượng không gian công cộng.

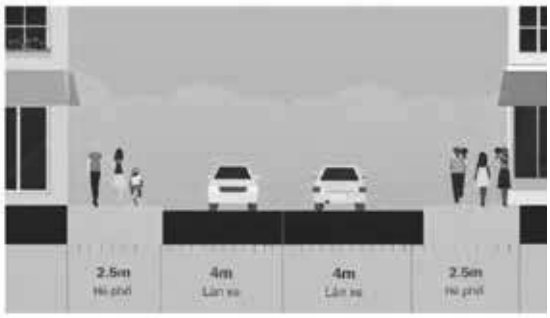
*- Phân đoạn 2 - Đồng Xuân: Đáp ứng nhu cầu "Bốc xếp hàng hóa":*

Vì phân đoạn này đi qua chợ Đồng Xuân - một địa điểm có nhu cầu mua bán và tham quan cao của người dân và du khách cũng như có lưu lượng bốc xếp hàng hóa cực cao, nhóm tác giả kiến nghị thu hẹp lòng đường là 8 m trên tổng bề rộng 10 m (Hình 5). Lòng đường 8 m rộng hơn 2 m so với phân đoạn 1 (6 m), cho phép duy trì 2 làn xe chạy ổn định và không gian dừng đỗ ngắn hạn để bốc xếp hàng hóa ngay sát mép hè. Điều này giúp giảm thiểu tình trạng xe hàng dừng đỗ gây tắc nghẽn. Bề rộng hè phố mỗi bên cũng tăng thêm 1 m, tức là duy trì 3,5 m mỗi bên giống như phân đoạn trước để đảm bảo tính đồng bộ, liên tục. Hè phố rộng 3,5 m cũng có thể đáp ứng mật độ người đi bộ và khách mua sắm sầm uất tại khu vực chợ Đồng Xuân - một điểm đến thú vị trong khu vực Phố cổ. Nhóm tác giả cũng kiến nghị hạ thấp cao độ của hè phố ở cả 2 phân đoạn làm cùng cốt với phần xe chạy chỉ phân biệt bằng vật liệu và màu sắc. Việc hạ thấp mức cao độ này càng thuận lợi hơn cho việc trục đường này sẽ trở thành tuyến phố đi bộ vào cuối tuần theo như vận hành hiện nay của tuyến phố.

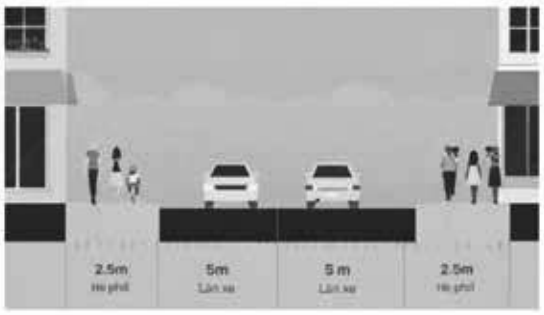
Cùng với việc thay đổi mặt cắt ngang để đảm bảo cân bằng nhu cầu di chuyển và địa điểm của một tuyến phố vốn là tuyến có giá trị di sản và nhu cầu mua sắm cao giữ lại bản sắc của đường phố thì nhóm tác giả cũng kiến nghị các giải pháp quản lý sau:

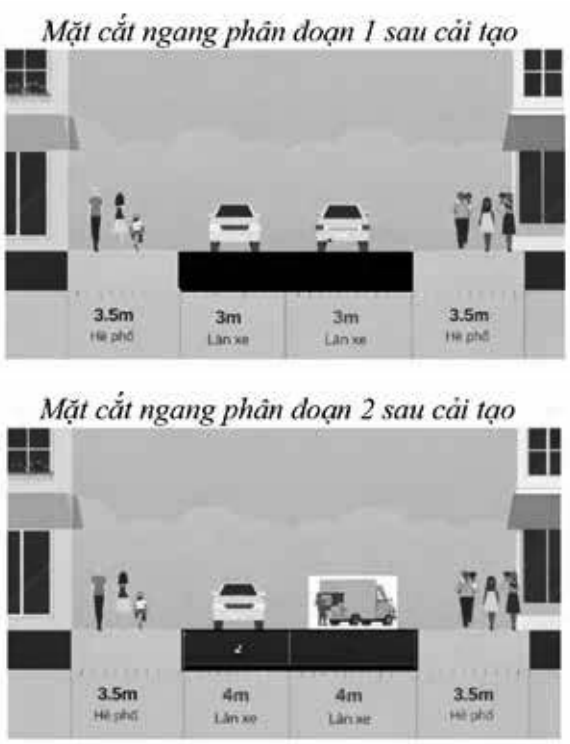
- Cấm xe tải chở hàng lưu thông trong khu vực vào các giờ cao điểm;
- Chỉ cho phép xe giao hàng hoạt động trong các khung giờ ngoài cao điểm đã được xác định rõ ràng;
- Áp dụng tốc độ tối đa 25 km/h cho xe máy và xe dịch vụ được phép di chuyển;
- Sử dụng giải pháp chia sẻ không gian để xóa bỏ sự phân tách giữa lòng đường và hè phố, buộc người lái xe phải di chuyển chậm và nhường đường cho người đi bộ.

*Mặt cắt ngang phân đoạn 1 trước cải tạo*




*Mặt cắt ngang phân đoạn 2 trước cải tạo*






Hình 5. Mặt cắt ngang tuyến phố trước và sau cải tạo

Phương án cải tạo này chính là trường hợp thứ 3 của "Tam giác đánh đổi" đã được đề cập đến ở phần trên của bài báo. Khi không gian mặt cắt ngang đường là hữu hạn thì việc lựa chọn giảm nhu cầu không gian dùng cho chức năng di chuyển hay chức năng địa điểm cần phải được xem xét trong bối cảnh cụ thể phù hợp với vai trò của tuyến phố trong ma trận phân loại. Với trường hợp tuyến phố nghiên cứu do đặc trưng là tuyến phố nằm trong khu vực Phố cổ có nhu cầu mua sắm, tham quan du lịch cao nên nhóm tác giả đã lựa chọn giải pháp tăng không gian cho chức năng địa điểm đến mức mong muốn và giảm không gian cho chức năng di chuyển đến mức tối thiểu.

## 4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã khẳng định rằng việc chuyển dịch từ tư duy coi trọng lưu thông cơ giới sang mô hình tích hợp giữa chức năng "Di chuyển" và "Địa điểm" là xu hướng tất yếu để phát triển đô thị bền vững. Việc nhìn nhận đường phố không chỉ là những "hành lang giao thông" mà là một không gian đa chức năng giúp khôi phục chất lượng sống, đảm bảo tính công bằng trong việc tiếp cận hạ tầng và củng cố bản sắc cộng đồng. Thông qua các công cụ phân tích như "Ma trận phân loại" và "Tam giác đánh đổi", nhà quy hoạch có cơ sở khoa học để xác định các thứ tự ưu tiên, từ đó đưa ra những giải pháp thiết kế mặt cắt ngang linh hoạt, phù hợp với đặc thù riêng biệt của từng khu vực đô thị. Kết quả thực nghiệm cho thấy, ngay cả trong những không gian có quỹ đất hạn chế và mật độ giao thông cao, việc chấp nhận một sự đánh đổi có tính toán để ưu tiên cho con người và các hoạt động kinh tế - xã hội vẫn mang lại hiệu quả tích cực. Nghiên cứu này đóng vai trò là tiền đề lý luận, góp phần thay đổi cách tiếp cận trong quy hoạch và thiết kế đường đô thị tại Việt Nam: Từ việc chạy theo nhu cầu lưu thông đơn thuần sang hướng kiến tạo những không gian công cộng đáng sống, cân bằng giữa phát triển kinh tế và bảo tồn giá trị nhân văn.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Giao thông vận tải trong Đề tài mã số T2025-XD-003.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Transport G.B.M. Traffic in Towns: A Study of the Long Term Problems of Traffic in Urban Areas. H.M. *Stationery Office,* 1963.

[2] Phạm Thúy Loan. Đường phố - Hè phố: Cơ sở khoa học cho nghiên cứu thiết kế đô thị. *Tạp chí Kiến trúc Việt Nam*, số 200, 2016.

[3] Jones P., Boujenko N. and Marshall S. Link & Place: A Guide to Street Planning and Design. *Local Transport Today Limited,* 2007.

[4] NSW T. NSW Movement and Place Framework, 2020.

[5] National Complete Streets Coalition - Smart Growth America.

[6] Jones P., Marshall S. and Boujenko N. Creating more people-friendly urban streets through "Link and Place" street planning and design. *IATSS Research,* 32(1), 14-25, 2008.

[7] Marshall S. Streets and Patterns. *Routledge, London,* 2004.

[8] Jones P. Link and Place: A New Approach to Street Planning and Design.

[9] Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia - Hệ thống công trình hạ tầng kỹ thuật. *QCVN 07:2023/BXD,* 2023.

[10] Tiêu chuẩn Quốc gia về Đường đô thị - Yêu cầu thiết kế, *TCVN 13592:2022,* 2022.

[11] Lieu Tran T.T., Nguyen X.L., Quan Le N.M. A transit-oriented development approach using the New South Wales places and movements framework for sustainable transport planning in Vietnam: A case study of an intersection in Ho Chi Minh City. *Transportation Research Procedia,* 85, 233-240, 2025.

■Ngày nhận bài: 04/02/2026 ■Ngày sửa bài: 26/02/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 04/3/2026

# Experimental investigation of the Performance of Air-Conditioning system with excessive cooling protection for Thermal comfort and Energy efficiency

## Nghiên cứu thực nghiệm hệ thống điều hòa không khí áp dụng giải pháp ngăn chặn làm lạnh quá mức (AC-ECP) hướng đến đảm bảo thoải mái nhiệt và hiệu quả năng lượng

**> PhD HUYNH PHUOC HIEN[1,2], PhD HA ANH TUNG[1,2,*]**
[1]Faculty of Mechanical Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology
[2]Vietnam National University Ho Chi Minh City; [*]Email: ha-tung@hcmut.edu.vn

**ABSTRACT**

This paper presents an experimental evaluation of an air-conditioning system with excessive cooling protection (AC-ECP) strategy under two climatic conditions, the hot and rainy seasons in Ho Chi Minh City. The AC-ECP solution combines a variable refrigerant flow (VRF) system operating at suitable temperature setpoint with energy recovery ventilation (ERV) to reduce energy consumption while maintaining indoor thermal comfort and indoor air quality in compliance with TCVN 13521:2022. The measurement data demonstrates that AC-ECP operation can achieve energy savings of 30–46% compared with a baseline overcooling operation. Indoor air quality is ensured through adequate outdoor air supply, maintaining indoor $CO_2$ concentrations below 1000 ppm. Generally, the results indicate that AC-ECP is a technically simple solution which is implemented through appropriate operational control, achieves significant improvements in energy efficiency and operational performance, contributing to a substantial reduction in greenhouse gas emissions associated with electricity consumption for building air-conditioning systems.

**Keywords:** Energy Recovery Ventilation; energy efficiency; TCVN5687-2024; variable refrigerant flow (VRF); thermal comfort; indoor air quality.

**TÓM TẮT**

Bài báo này trình bày đánh giá thực nghiệm một hệ thống điều hòa không khí áp dụng giải pháp ngăn chặn làm lạnh quá mức (AC-ECP) dưới hai điều kiện khí hậu, mùa nóng và mùa mưa tại TP.HCM. Giải pháp AC-ECP kết hợp hệ thống điều hòa biến đổi lưu lượng môi chất lạnh (VRF) vận hành ở nhiệt độ phù hợp với hệ thống thông gió thu hồi năng lượng (ERV), nhằm giảm tiêu thụ năng lượng trong khi vẫn duy trì tiện nghi nhiệt và chất lượng không khí trong nhà, phù hợp với tiêu chuẩn TCVN 13521:2022. Kết quả đo đạc thực nghiệm cho thấy hệ thống AC-ECP có thể đạt mức tiết kiệm năng lượng từ 30 - 46% so với chế độ vận hành làm lạnh quá mức thông thường. Chất lượng không khí trong nhà được đảm bảo thông qua việc cấp đủ không khí ngoài trời, duy trì nồng độ $CO_2$ trong nhà dưới 1000 ppm. Nhìn chung, các kết quả cho thấy AC-ECP là một giải pháp kỹ thuật đơn giản và hiệu quả về mặt vận hành, mang lại những cải thiện đáng kể về hiệu quả năng lượng, qua đó góp phần giảm phát thải khí nhà kính liên quan đến tiêu thụ điện năng của các hệ thống điều hòa không khí trong công trình xây dựng.

**Từ khóa:** Thông gió thu hồi năng lượng (ERV); hiệu quả năng lượng; TCVN5687-2024; điều hòa VRF (VRF); thoải mái nhiệt; hất lượng không khí trong nhà.

### 1. INTRODUCTION

#### 1.1. Global, Regional, and National context of climate change and building energy use

The COP30 summit in Brazil commenced with a critical reflection on key progress indicators regarding international efforts to combat climate change [1]. Global mean temperatures have exceeded pre-industrial levels by more than 1.55°C, surpassing the record set in 2023. Although the World Meteorological Organization (2025) cautions that the elevated temperatures recorded in 2023 and 2024 are insufficient to definitively conclude that the 1.5°C and 2°C targets are off-track [2], the International Energy Agency [3] projects a potential temperature rise of 2.5-3°C by the century's end. Furthermore, greenhouse gas

emissions peaked in 2024 and are expected to plateau through 2050 under current national policies [3].

Progress in GHG reduction varies significantly across economic regions. While significant reductions are anticipated in the European Union and China, emissions in Southeast Asia are forecast to rise by 20% due to robust expansion in manufacturing and industrial activities, which may affect the global mitigation effort [3]. In detail, electricity demand in Southeast Asia is projected to rise by 65%, with the number of air conditioning units expected to triple by 2035 compared to 2024 [3, p. 404]. Consequently, achieving the Paris Agreement goals necessitates an urgent acceleration of countermeasures.

In the context of Vietnam, the government has established a Nationally Determined Contribution (NDC) target to limit GHG emissions to 563.8 million tCO2 equivalent (MtCO2e) by 2030. Under Decree No.06/2022/NĐ-CP, the Prime Minister mandated the Ministry of Construction to achieve a reduction target of 74.3 MtCO2 across three sectors: industrial processes, energy consumption in cement production, and buildings. The building sector accounts for 35 - 40% of final energy consumption in Vietnam, with operational activities contributing 70 - 80% of emissions over a building's lifecycle [4]. In alignment with Prime Minister Decision No. 280/QĐ-TTg on the approval of the National Energy Efficiency Programme (VNEEP) for the period of 2019 - 2030, this study verifies the energy-saving potential of HVAC systems, which can account for more than 50% of total building energy consumption [5], [6].

**1.2. Impact of HVAC system energy consumption**

A Variable refrigerant flow (VRF) is a central air conditioning system suitable for buildings that require individualized comfort conditioning such as schools, hotels, offices, etc. Owing to advanced control technologies, VRF systems can continuously adjust cooling capacity in response to variations in cooling load, making them more energy-efficient than conventional air-conditioning systems, particularly under part-load operating conditions [7]. The global VRF market in the world, including that of Vietnam has continued to grow steadily, with a projected compound annual growth rate of 11.3% and an expected market value of USD 73.88 billion by 2035 [8]. Consequently, optimizing the operational performance of VRF systems represents a significant opportunity to contribute to carbon-neutrality targets.

Enhancements in the energy efficiency of VRF systems can be achieved not only through advanced technologies but also by optimizing existing systems, such as adjusting operational parameters and ventilation strategies. The latter approach is methodologically straightforward and cost-effective; it possesses significant potential for energy conservation. A representative example is the air-conditioning system with excessive cooling protection (AC-ECP), which was first proposed at the 4th Cleaner Energy Future Initiative for ASEAN (CEFIA) Forum [9]. This system integrates VRF technology with an energy recovery ventilator (ERV) equipped with direct expansion (DX) cooling coil, aiming to increase setpoint temperature to 27°C for energy saving while ERV and cooling coil enhance indoor (ID) thermal comfort through effective humidity control. As reported at the 7th CEFIA Forum, the application of the AC-ECP solution in a demonstration project in Thailand achieved energy savings of up to 40% compared with a baseline scenario. Notably, the overall equipment cost remained comparable, as the additional investment in the ERV was offset by the reduced cooling load and downsizing of the air-conditioning system [10].

**1.3. Review of previous studies on indoor environments in the hot - humid climate of Southeast Asia**

In a study conducted by Ichinose et al [11], an investigation of the ID thermal conditions in eleven office buildings in Thailand, Indonesia, and Singapore indicates that the average effective indoor temperature was maintained below 24°C, suggesting a prevalence of overcooling within these office environments. Consequently, the study proposes increasing the setpoint temperature higher than 24.5°C as a preliminary measure to mitigate the adverse health impacts associated with air-conditioned spaces in these regions.

According to a report presented at the 5th Vietnam Green Building and Transportation Week 2025 [12], incidences of overcooling were observed in office buildings in both Ho Chi Minh City and Hanoi, as summarized in Table 1. In this study, overcooling is defined as indoor temperature below 25oC, based on the thermal comfort criteria specified in TCVN 5687:2024. Furthermore, an analysis of indoor air quality indicates that, although most surveyed buildings were equipped with outdoor air OA ventilation system, they failed to meet national standards due to high indoor carbon dioxide (CO2) concentration. These deficiencies are typically attributed to (1) booster fans not being operated, (2) clogged air filters restricting outdoor air supply; and (3) insufficient outdoor air supply capacity at the design stage.

Table 1. Results of market survey on operating conditions of HVAC system in Vietnam [12]

| City | Building No. | Ventilation Type | Percentage of measurement time with ID air lower than 25°C | Overcooling | $CO_2$ concentration level (ppm) |
|---|---|---|---|---|---|
| Ha Noi | A | Fan | 71.4 | Yes | 1200 - 2000 |
| | B | Fan | 41.9 | Sometimes | 500 - 700 |
| | C | No ventilation | 0.0 | No | 2000 - 4000 |
| | D | Fan | 13.8 | Sometimes | 1500 - 2000 |
| | E | Fan | 36.1 | Sometimes | 600 - 850 |
| | F | Fan | 59.1 | Yes | 1000 - 1600 |
| | G | ERV | 28.2 | Sometimes | 900 - 1200 |
| Ho Chi Minh | H | Fan | 13.6 | Sometimes | Over 2000 |
| | I | ERV | 41.8 | Sometimes | 1000 |
| | J | Fan | 0.0 | No | 1500 - 2500 |
| | K | Fan | 95.7 | Yes | Over 2000 |
| | L | No ventilation | 55.9 | Yes | 1000 - 1300 |

**1.4. Purpose of this study**

The above market survey shows that the operation of the HVAC systems in office buildings in Vietnam remains suboptimal. Particularly, IA with overcooling can lead to unnecessary energy consumption; moreover, indoor CO2 concentration frequently fails to comply with IA quality standards despite installation of mechanical ventilation systems. Demonstration projects in Thailand have shown that AC-ECP is effective in addressing these issues Therefore, this study aims to evaluate the effectiveness of the AC-ECP solution when applied under the hot and humid climatic conditions of Ho Chi Minh City, which are characterized by distinct hot and rainy seasons. The evaluation criteria include energy consumption and saving potential, indoor conditions (temperature and absolute humidity) and ID air quality (CO2 concentration). These parameters will be experimentally investigated under different VRF temperature settings combined with various operating modes of ERV. For the pattern A, representing a baseline overcooling scenario, temperature setpoint was 24oC, and OA was supplied directly into conditioned space, without pre-treatment by either a heat exchanger or a DX cooling coil. For the AC-ECP configurations, the temperature was set at 27°C, based on the thermal comfort zone of TCVN5687-2024, and the ERV operated either with OA pre-treatment through a heat exchanger (Pattern C) or with both heat exchanger and DX cooling coil (Pattern D). Prior to conducting the experiments, the cooling load of conditioned space was calculated using the DACCS-HKG software (Daikin) to provide a basis for designing the experimental system.

## 2. COOLING LOAD ESTIMATION & AC - ECP SYSTEM FACILITY IN TESTING SITE

### 2.1. Testing site characteristics

Figure 1 presents the floor plan of the office space used for the experiment. The space is located on the 38th floor of a 40-story commercial office building in Ho Chi Minh City and functions as a call center and service operations hub for a trading company. The office has a total floor area of 350 $m^2$ and a ceiling height of 3 m, accommodating a peak occupancy of 70 occupants. The building, including this office area, was completed in 2020 therefore was constructed with relatively good airtightness, which limits natural air exchange between the indoor and outdoor environments. Based on measurements conducted in accordance with the JIS A 1406:1974 standard, the natural air change rate of the office space was determined to be approximately 0.3 air changes per hour (ACH).

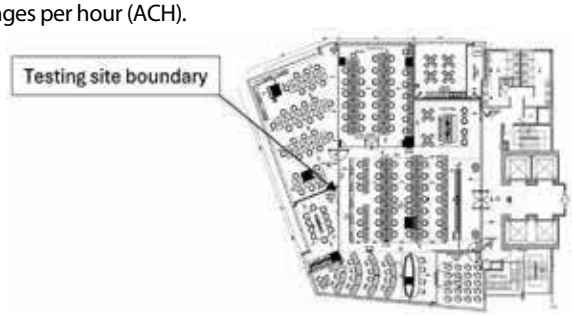



Figure 1. Floor plan of the office space used for the experiment

### 2.2. Cooling load estimation and system sizing under normal ventilation and AC-ECP using DACCS-PC HKG

To size the VRF outdoor (OD), indoor unit and ERV capacity for the experimental site, the cooling loads correspond to different testing patterns were calculated by DACCS-PC HKG software. DACCS-PC HKG is a cooling/heating load calculation tool developed by Daikin Industries Ltd. With the weather library from the British Meteorological Office and Japan Meteorological Agency embedded in the software, together with the building information declared, the software can fully calculate the heat components external and internal heat gains within the building as well as the cooling load to meet the ventilation demand. In addition, the software accounts for the effects of heat absorption, storage, and release by the building envelope throughout the day, thereby improving the reliability and accuracy of the calculated results. The total cooling load of conditioned space will be the sum of following individual cooling load components. For equipment sizing, the capacity was selected at 10% higher than calculated cooling load to ensure adequate performance under peak conditions

**External heat gains**

- Heat transfer through window: $Q_w = U_w \times A_w \times (t_{OD} - t_{ID})$ [W]

With: $U_w$: heat transfer coefficient [W/$m^2$·K], $A_w$: window area [$m^2$], $t_{OD}$: outdoor temperature [°C], $t_{ID}$: indoor air temperature [°C]

- Solar heat gains through window: $Q_s = A_w \times I \times SC \times CLF$ [W]

I: solar radiation [W/$m^2$], SC: shading coefficient, CLF: Cooling load factor

- Heat transfer load building envelope such as: $Q_{ENV} = \sum U_{si} \text{ x } A_{si} \text{ x } (t_{OD} - t_{ID})$ [W]

$U_{si}$: heat transfer coefficient of wall/roof and floor [W/$m^2$·K], $A_{si}$: wall/roof and floor area [$m^2$]

- Infiltration cooling load due to building air tightness

Sensible heat: $Q_{inf_S} = 0.34 \times L \times (t_{OD} - t_{ID})$ [W]

Latent heat: $Q_{inf_L} = 0.83 \times L \times (w_o - w_i)$ [W]

L: Infiltration rate [$m^3$/h], $w_o$/$w_i$ [g/kg]: absolute humidity of outdoor/indoor air

**Internal heat gains**

- People: $Q_{people} = n \times (q_S + q_L)$ [W]

With n = 70, number of people; $q_s$, $q_L$ [W/person]: sensible and latent heat per person

- Lighting: $Q_{lighting} = P_{ltg} \times F$ [W]
- Equipment: $Q_{equip} = P_{eq} \times N_{eq}$ [W]

With:

$P_{ltg}$ [W/$m^2$]: lighting power density; F [$m^2$] is the floor area; $P_{eq}$ [W/unit]: heat generated from PC; $N_{eq}$: number of PC

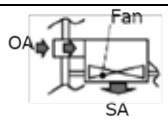
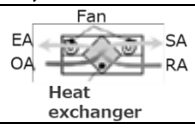
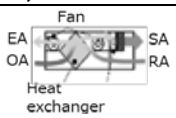
**Outdoor air load (Ventilation)**

- Ventilation sensible heat load: $Q_{v_sens} = 0.34 \times V \times (t_{OD} - t_{ID})$ [W]
- Ventilation latent: $Q_{v_lat} = 0.83 \times V \times (w_o - w_i)$ [W]

V: OA flow rate [$m^3$/h]

From the determined cooling load, the operating power of VRF OD and power-saving potential for each operation case are shown in Table 2. For pattern A, which represents the overcooling AC, the required OD power is not less than 30 HP, while with AC-ECP patterns, this value reduces to 21 HP, less than 32% compared with pattern A. This reduction is primarily attributed to two factors: (i) the heat recovery function of the ERV, which reduces the fresh-air cooling load, and (ii) the increase in the temperature setpoint, which significantly decreases the overall cooling demand. As a result, the system's operating power is substantially reduced. The cooling load in pattern C and D are equal because of the same indoor design parameters. The key difference between these two patterns is the treatment of the outdoor air and the number of operating ID units. In Pattern D, before entering the conditioned space, the outdoor air is not only pre-cooled by the return air through the ERV heat exchanger but is also further treated and dehumidified by a DX cooling coil. This additional treatment reduces the cooling load handled by the ID units, as a result the number of ID units in this document is one less than in pattern C.

Table 2. AC capacity estimation for systems with normal ventilation and with AC-ECP

| **Operation type** | **Overcooling AC** | **AC-ECP** | |
|---|---|---|---|
| **Pattern** | **A** | **C** | **D** |
| **Indoor design** | 24 °C; 50% | 27 °C; 55% | 27 °C; 55% |
| **ERV capacity** | 3 units (2100 CMH) | 3 units (2100 CMH) | 3 units (2100 CMH) |
| **ERV operation mode** | Normal Ventilation | Energy Recovery Ventilation | Energy Recovery Ventilation + DX cooling coil |
| **ERV operation** |   |   |   |
| | The outdoor air is introduced directly into the conditioned space without undergoing any preparatory treatment or conditioning. | Before supplied to the conditioned space, outdoor air undergoes simultaneous heat and moisture exchange with the return air at the heat exchanger. | The outdoor air undergoes simultaneous heat and moisture exchange with the return air at the heat exchanger. Subsequently, a DX cooling coil is utilized to achieve further cooling and dehumidification. |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **VRF OD power** | 30 HP | 21 HP | |
| **Energy saving potential** | 0 % | 32% | 32% |
| **Number of Indoor units ON** | 7 units | 5 units | 4 units |

**3. EXPERIMENTAL VERIFICATION OF SYSTEM PERFORMANCE: ENERGY CONSERVATION AND THERMAL COMFORT IN A HO CHI MINH CITY OFFICE BUILDING**

To evaluate the energy efficiency AC-ECP solution when applied in Ho Chi Minh City, Vietnam, a VRF & ERV system, as summarized in Table 2 was implemented in the experimental office area. Key operating parameters, including power consumption, indoor temperature, relative humidity, and indoor carbon dioxide ($CO_2$) concentration were continuously monitored. Under the AC-ECP operating strategy, increasing the temperature setpoint may potentially weaken humidity control, as the ID unit capacity is controlled by the gap between ID temperature and setpoint. Therefore, the experimental results not only verify the energy-saving potential of the proposed solution but also assess whether indoor environmental parameters remain within acceptable thermal comfort and indoor air quality limits. This section describes the experimental system, measurement approach, and performance analysis results.

**3.1. Measurement devices**

Daily power consumption data of AC and ERV system were obtained directly from the VRF centralized controller. between 07:00 and 17:00 to reflect typical office operating conditions. Indoor air temperature and relative humidity were measured using eleven sensors installed at a height of 1.30 m above the floor, corresponding to the breathing zone of seated office workers. Outdoor air temperature and relative humidity were measured using one sensor installed at the inlet of the outdoor air supply duct for the ERV. Indoor $CO_2$ concentration was measured using six $CO_2$ sensors placed on desk surfaces. The specifications of all sensors are summarized in Table 3, and their spatial distribution is illustrated in Fig. 2.

Table 3. Specification of temperature/RH and IAQ sensors

| | Temperature sensor | Relative humidity sensor | $CO_2$ concentration sensor |
|---|---|---|---|
| **Measurement range** | -25°C to 70°C | 0 to 99% | 400 – 2000 ppm |
| **Accuracy** | ±0.3°C at 10°C to 40°C | ±2.5 %RH at 15°C to 35°C, 30% to 80%RH | ± 40 ppm/ ± 3% |
| **Interval time** | 10 minutes | 10 minutes | 1 minute |

Figure 2. Position of temperature/RH and IQA sensors

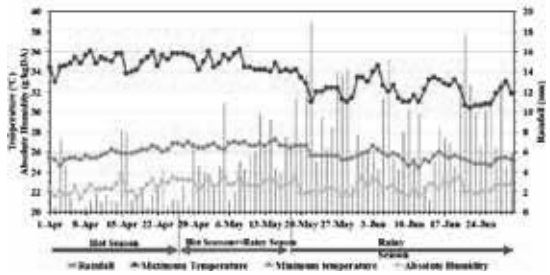


Figure 3. Temperature, relative humidity, and rainfall in Ho Chi Minh City from April to June 2025 [13]

**3.3. Consideration of seasonality in data analysis**

The testing period was conducted from early April to the end of June 2025 during both the hot and rainy seasons in HCMC. According to the 2025 historical weather statistics for Ho Chi Minh City reported by Ease Weather (Fig. 3), the local climate during the study period can be divided into two distinct phases: (i) from April to mid-May, corresponding to the hot season, characterized by consistently high temperatures and limited rainfall; and (ii) from mid-May to the end of June, corresponding to the rainy season, marked by frequent precipitation and slightly moderated daily temperatures. To reflect the impact of seasonality difference on energy saving and comforts, this paper will select two datasets corresponding to hot season and rainy season.

**3.4. Evaluation of proposed system performance on energy saving, thermal comforts, and $CO_2$ level**

*3.4.1. Criteria for data selection*

Based on the data collected from April until June 2025, representative dates corresponding to each pattern A, C, D were selected for performance comparison. These dates were chosen to ensure similar internal and external heat gains or similar in indoor activity and outdoor condition. As a call center and customer service operation hub, the number of occupants, the amount of operating equipment, and the frequency of entrance door opening significantly affect internal heat gains. In this study, indoor $CO_2$ concentration was used as an indicator of the magnitude of internal heat gains on the selected testing days, as $CO_2$ levels vary with occupant density and with the outdoor air flow rate introduced into the conditioned space through ERV and natural infiltration related to building airtightness [14], [15]. Using the number of occupants, building airtightness (0.3 ACH), and outdoor air (OA) flow rate (2100 CMH) as inputs to the correlation reported in Ref. [15], the indoor $CO_2$ concentration on normal working days was estimated to be not less than 800 ppm and 700 ppm during the hot and rainy periods, respectively. These threshold values were therefore adopted as the first selection criterion for identifying representative testing dates. The second filters were average outdoor temperatures and absolute humidity. Consider outdoor conditions of Pattern A as benchmark, the selected testing dates for pattern C and D should have outdoor temperatures within ±0.3 °C and outdoor absolute humidity within the range of -0.6 to +1.0 g/kgDA. As a result, from the original database 2 datasets were drawn as shown in Table 4, representing the hot and rainy season.

Table 4. Data of testing dates for performance comparison

| Pattern | OA average temp [°C] | OA average abs humidity [g/kgDA] | Indoor average temp [°C] | Indoor average abs humidity [g/kgDA] | Max. Num of occupants | Max $CO_2$ concentration [ppm] | Type of weather |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 32.5 | 15.3 | 24.2 | 9.96 | 54 | 855 | Hot season |
| C | 32.7 | 16.2 | 26.6 | 12 | 51 | 855 | |
| D | 32.4 | 15.5 | 26.6 | 11.5 | 57 | 900 | |
| A | 30.6 | 17.6 | 23.9 | 11 | 45 | 741 | Rainy season |
| C | 30.9 | 17.2 | 26.5 | 14.4 | 47 | 728 | |
| D | 30.7 | 17.6 | 26.5 | 12.5 | 46 | 747.8 | |

*3.4.2. Results and discussions*

Figure 4 illustrates power consumption and saving potential of the AC system with AC - ECP solution compared with overcooling case. Taking pattern A as benchmark, during hot season when majority of the daytime outdoor temperature ranged from 32-34°C, absolute humidity was within 14-16g/kg DA, pattern C and D achieved power savings of 30% and 32%, respectively. These results are consistent with the simulation outcomes obtained using the DACCS-PC HKG software. In addition, during the rainy season when most OA air temperature were between 30-32°C and absolute humidity ranged from 16-18g/kgDA, this energy-saving potential reached 46% and 36% for patterns C and D, respectively. During this period, the cooling load of the conditioned space decreases, causing the VRF system to operate predominantly under partial-load conditions, which leads to greater energy savings. Moreover, the energy savings achieved under pattern C were higher than those under pattern D. In a VRF system, the indoor unit capacity is ON or OFF based on the indoor return-air temperature. As the cooling load decreases, the indoor air temperature reaches the setpoint more rapidly, thereby reducing the operating frequency of the indoor units. In contrast, under pattern D, the DX cooling coils in ERV operate continuously to dehumidify and pre-cool the outdoor fresh air, with their operation primarily governed by outdoor air conditions. As a result, the overall energy-saving potential is lower than that of Pattern C. However, as shown in Table 4, pattern D provides superior humidity control due to the operation of the direct-expansion (DX) cooling coil in the ERV.

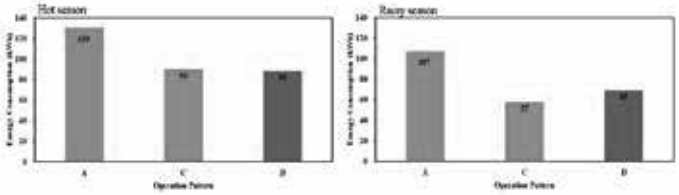



Figure 4. AC-ECP system performance in terms of energy consumption

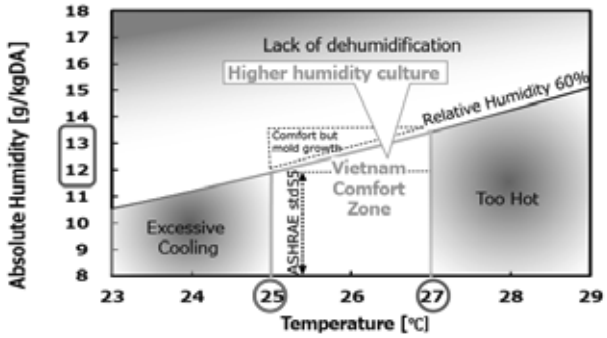



Figure 5. The proposed definition of indoor thermal comfort zone of this study

The indoor thermal comfort zone was defined based on TCVN 5687-2024, which specifies an indoor air temperature and RH range of 25-27°C, 60-70% respectively. However, previous studies suggested that maintaining an indoor RH lower than 60% can help reduce occupant discomfort symptoms and enhance human comfort and health [16] as well as suppress the mold growth [17]**.** Therefore, the thermal comfort zone, as illustrated in Fig. 5, was defined with an indoor temperature between 25-27°C, and the RH not exceeding 60%.

The system performance in achieving indoor thermal comfort is illustrated in Figure 6. In both seasons, conditioned spaced under Pattern A resulted in overcooling, whereas this issue was not observed under the other patterns. During the hot season, the operation of patterns C and D generally maintained indoor temperature and absolute humidity within the defined comfort zone. However, under pattern C, several data points exhibited absolute humidity values outside the comfort zone. In the rainy season, characterized by high outdoor absolute humidity in the range of 16-18 g/kgDA, pattern C was unable to maintain indoor absolute humidity within the comfort zone for most of the operating period, with indoor absolute humidity frequently reaching values between 13 and 17 g/kgDA. In contrast, under pattern D, indoor absolute humidity was effectively controlled below 13 g/kgDA for most of the time, thereby remaining within the comfort zone. Overall, pattern D demonstrates superior control of both indoor temperature and absolute humidity in both the hot and rainy seasons, with indoor conditions remaining within the thermal comfort zone defined by TCVN 5687:2024 for most of the operating time.

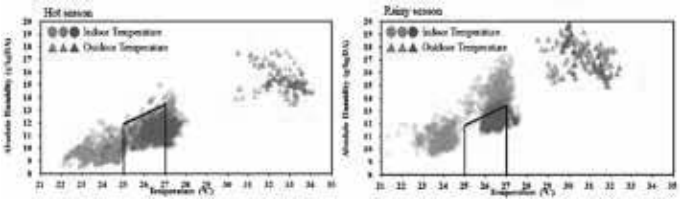



Figure 6. AC-ECP system performance in terms of thermal comforts

Figure 7 presents the indoor $CO_2$ concentration as an indicator of indoor air quality at the testing site. The results show that the indoor $CO_2$ concentration in the office did not exceed the 1000 ppm limit recommended by the TCVN 13521:2022. The operation of each pattern was designed with a priority on indoor air quality. Therefore, in all three patterns, the first prerequisite is to have $CO_2$ level within the guideline before going further into exploring pattern C and D for the energy saving target.

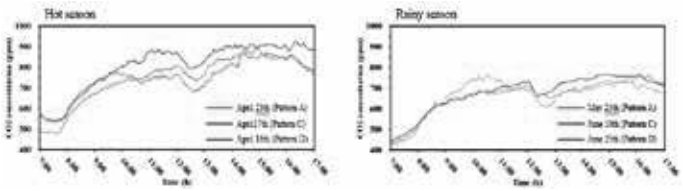



Figure 7. $CO_2$ concentration during hot and rainy season under 3 operation patterns

## 4. CONCLUSION AND FUTURE IMPLICATIONS

This study experimentally verified the performance of an AC-ECP under the hot and humid climatic conditions of Ho Chi Minh City.

Compared with the baseline case under overcooling operation, the AC-ECP system achieved energy savings in the range of 30-46%, depending on seasonal conditions and operating patterns, in good agreement with the cooling-load estimation results obtained from DACCS-PC HKG simulations. With the outdoor ventilation rate applied in all cases, the indoor $CO_2$ concentration always remained below the recommended limit, thus ensuring indoor air quality according to TCVN 13521:2022.

During the dry season in Ho Chi Minh City, both patterns C and D of the AC-ECP solution effectively controlled indoor air temperature and absolute humidity within the defined thermal comfort zone. However, during the rainy season, characterized by high outdoor humidity, the indoor absolute humidity under Pattern C exceeded the recommended threshold when the temperature setpoint was increased to 27°C, resulting in reduced thermal comfort. This issue was effectively addressed in pattern D, in which the ERV equipped with a DX cooling coil pre-treated and dehumidified the outdoor air before it entered the conditioned space, thereby reducing the latent load handled by the VRF indoor units.

Overall, the results demonstrate that the AC-ECP solution is a technologically simple and cost-effective approach that emphasizes operational optimization of air-conditioning systems to achieve substantial energy savings while maintaining thermal comfort. Owing to these advantages, the AC-ECP solution was selected for presentation at the "Japan Pavilion" during COP30-2025 in Belém, Brazil, as a practical strategy for reducing greenhouse gas emissions and supporting carbon-neutral building operation.

**Acknowledgments**

We acknowledge Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), VNU-HCM for supporting this study.

Finally, we would like to extend our gratitude to Daikin Industries, Ltd. for the provision of equipment and testing site for this demonstration.

**Nomenclature**

| | |
|---|---|
| AC | Air condition |
| AC-ECP | Air conditioning - excessive cooling protection |
| DX | Direct expansion |
| ERV | Energy recovery ventilation |
| ID | Indoor |
| OA | Outdoor air |
| OD | Outdoor |
| RH | Relative humidity |
| VRF | Variable refrigerant flow |

**REFERENCES**

[1] United Nations, "COP30: Countries agree on roadmap to accelerate climate action," 2025. [Online]. Available: https://news.un.org/en/story/2025/11/1166322. Accessed: Nov. 21, 2025.

[2] World Meteorological Organization, State of the Global Climate 2024, Geneva: World Meteorological Organization, 2025.

[3] International Energy Agency, World Energy Outlook 2025, Paris: International Energy Agency, 2025.

[4] United Nations Development Programme, "Closing workshop of EECB project," 2021. [Online]. Available: https://www.undp.org/vietnam/speeches/closing-workshop-eecb-project. Accessed: Nov. 21, 2025.

[5] R. Jing, M. Wang, R. Zhang, N. Li, and Y. Zhao, "A study on energy performance of 30 commercial office buildings in Hong Kong," Energy and Buildings, vol. 144, pp. 117-128, 2017.

[6] L. Adams et al., "Understanding Commercial Building Energy Use in the Greater New York City Area: Building Stock Segmentation for Retrofit Planning," U.S. Department of Energy - Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, 2025.

[7] T. N. Aynur, "Variable refrigerant flow systems: A review," Energy and Buildings, vol. 42, no. 7, pp. 1106-1112, 2010.

[8] Future Market Insights, "VRF systems market to surpass USD 73.88 billion by 2035, driven by smart cities and energy-efficient HVAC innovations," GlobeNewswire, Newark, 2025.

[9] K. Atsushi, "Carbon neutrality solution: Healthy and energy efficient AC system for ASEAN market," in Proc. 4th Cleaner Energy Future Initiative for ASEAN (CEFIA) Forum, Cebu, Philippines, 2023.

[10] H. Tanaka, "Carbon neutrality solution: Healthy and energy efficient air conditioning (AC) system for ASEAN market," in Proc. 7th Cleaner Energy Future Initiative for ASEAN Forum, Kobe, Japan, 2025.

[11] Y. Fukawa, R. Murakami, and M. Ichinose, "Field study on occupants' subjective symptoms attributed to overcooled environments in air-conditioned offices in hot and humid climates of Asia," Building and Environment, vol. 195, 2021.

[12] Daikin Vietnam, "Điều hòa không khí phù hợp với sức khỏe và hiệu quả năng lượng - hướng đến tương lai xanh và trung hòa carbon," Vụ Khoa học Công nghệ và Môi trường, Ho Chi Minh City, 2025.

[13] Ease Weather, "Ease Weather," [Online]. Available: https://www.easeweather.com/asia/vietnam/ho-chi-minh/ho-chi-minh-city/past. Accessed: Nov. 24, 2025.

[14] C. Jiang, M. K. Masood, Y. C. Soh, and H. Li, "Indoor occupancy estimation from carbon dioxide concentration," Energy and Buildings, vol. 131, pp. 132-141, 2016.

[15] A. Persily, "Development and application of an indoor carbon dioxide metric," Indoor Air, vol. 32, 2022.

[16] E. R. Jones et al., "Indoor humidity levels and associations with reported symptoms in office buildings," Indoor Air, vol. 32, no. 1, e12961, 2021.

[17] T. Menneer, M. Mueller, R. A. Sharpe, and S. Townley, "Modelling mould growth in domestic environments using relative humidity and temperature," Building and Environment, vol. 208, 2022.

■Ngày nhận bài: 26/01/2026 ■Ngày sửa bài: 03/02/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 12/02/2026

# Digital technology adoption in Cost risk management: Empirical evidence from construction contractors in Vietnam

## Ứng dụng công nghệ số trong quản lý rủi ro chi phí: Bằng chứng thực nghiệm từ các nhà thầu xây dựng tại Việt Nam

> **PHD BUI THI NGOC LAN**
Urban Management Faculty, Hanoi Architectural University
Email: lanbtn@hau.edu.vn

**ABSTRACT**

This study utilizes the Technology-Organization-Environment (TOE) model to explore digital technology implementation in cost risk management among Vietnamese construction firms. Analyzing data from 255 companies across primary economic hubs, the study examines how technological, organizational, and environmental elements influence cost risk management effectiveness (CRME), focusing on the intermediary role of digital technology implementation. Regression and mediation analyses indicate that technological and organizational elements lack direct influence on CRME but exert significant indirect influence through actual technology implementation. External environmental pressures function as both direct and indirect catalysts for effectiveness. Significantly, the degree of digital technology implementation acts as a crucial intermediary factor, accounting for 70.7% of the variation in CRME. These results underscore an "execution gap" within Vietnam's construction domain, where knowledge and competence require conversion into operational application for tangible outcomes. This investigation provides empirical data from an emerging economy and delivers practical recommendations for firms pursuing competitive benefits and governmental bodies developing supportive regulatory structures.

**Keywords:** Implementation of digital technologies; management of cost risks; construction firms; TOE theoretical model; Vietnam; Building Information Modelling (BIM).

**TÓM TẮT**

Nghiên cứu này sử dụng mô hình Công nghệ - Tổ chức - Môi trường (TOE) để khám phá việc triển khai công nghệ số trong quản lý rủi ro chi phí tại các doanh nghiệp xây dựng Việt Nam. Nghiên cứu phân tích dữ liệu từ 255 công ty tại các trung tâm kinh tế trọng điểm, đánh giá các yếu tố công nghệ, tổ chức và môi trường ảnh hưởng như thế nào đến hiệu quả quản lý rủi ro chi phí (CRME), trong đó, tập trung vào vai trò trung gian của việc triển khai công nghệ số. Phân tích hồi quy và phân tích trung gian chỉ ra rằng các yếu tố công nghệ và tổ chức không có ảnh hưởng trực tiếp đến CRME nhưng tác động gián tiếp đáng kể thông qua việc triển khai công nghệ thực tế. Áp lực môi trường bên ngoài đóng vai trò vừa là nhân tố xúc tác trực tiếp vừa là nhân tố gián tiếp đối với hiệu quả. Đáng chú ý, mức độ triển khai công nghệ số đóng vai trò trung gian then chốt, chiếm 70,7% sự biến thiên trong CRME. Kết quả này nhấn mạnh "khoảng cách thực thi" trong lĩnh vực xây dựng Việt Nam, nơi kiến thức và năng lực cần được chuyển hóa thành ứng dụng vận hành để tạo ra kết quả thực chất. Nghiên cứu cung cấp cơ sở thực tiễn giúp các doanh nghiệp nâng cao năng lực cạnh tranh và cơ sở để các cơ quan chức năng xây dựng khung pháp lý hỗ trợ.

**Từ khóa:** Triển khai công nghệ số; quản lý rủi ro chi phí; doanh nghiệp xây dựng; mô hình lý thuyết TOE; Việt Nam; mô hình thông tin công trình (BIM).

### 1. INTRODUCTION

Vietnam's construction sector has experienced unprecedented expansion driven by accelerated urbanization and economic globalization, yet this growth has introduced increasingly complex cost-related challenges threatening firm profitability and project sustainability [1], [2]. Supply chain disruptions, timeline extensions, design modifications, fluctuating material costs, and sustainability demands frequently cause substantial budget overruns. Conventional cost management approaches-predominantly reliant on manual instruments such as spreadsheets and professional expertise-have proven inadequate in forecasting, monitoring, and mitigating cost risks across project phases [3], [4].

Emerging digital innovations, including BIM, AI, big data analytics, digital twin technology, and comprehensive digital

management frameworks, present opportunities to transform construction cost management. Global research demonstrates that these innovations substantially enhance estimation precision, enable instantaneous risk prediction, and improve resource distribution [3], [5], [6], [7] while evidence from advanced economies confirms that technology implementation decreases actual expenditures and enhances risk detection capabilities [4], [5], [6], [8]. Nevertheless, empirical investigation remains concentrated on advanced economy settings or is limited to theoretical discourse. Within emerging nations like Vietnam, research examining digital technology utilization in construction cost risk management remains markedly insufficient, with existing studies addressing digital evolution in general terms rather than particular applications in contractor cost risk management [9], [10], [11].

To bridge this gap, this investigation pursues two core aims: (1) empirically examine the degree of digital technology implementation in cost risk management among Vietnamese construction firms; and (2) assess the influence of Technology, Organization, and Environment (TOE) elements on management effectiveness through an expanded TOE theoretical model. In doing so, this study advances understanding of digital evolution in emerging economies from both theoretical and practical perspectives.

## 2. LITERATURE REVIEW

Although considerable research addresses digital technology applications in construction cost and risk management, most studies focus on developed country contexts (e.g., the United Kingdom, South Korea, Australia, China) or remain confined to literature reviews or singular case studies [3], [4], [5], [6], [7], [9]. These studies have largely examined the direct effects of individual technologies such as BIM, AI, or Digital Twin on project performance, without systematically investigating how the broader TOE dimensions collectively shape cost risk management effectiveness (CRME) at the organizational level.

Within the TOE framework, prior research has established that technological, organizational, and environmental contexts each exert distinct influences on technology adoption behavior [10], [12], [13]. However, the downstream relationship between these contextual factors and CRME-particularly through the mediating mechanism of actual digital technology adoption level-remains insufficiently theorized and empirically untested. Most existing TOE-based studies treat adoption as an endpoint rather than an intermediary variable, thereby overlooking the critical conversion process through which organizational readiness and environmental pressure are translated into operational outcomes [10], [11], [12].

In Vietnam, existing research primarily addresses digital transformation in supply chain management [14], online retail [10], or labour productivity in SMEs [11], leaving a notable gap: no study has systematically examined specific digital technology applications (e.g., BIM, AI, Digital Twin, digital management systems) in contractor cost risk management. Particularly, no empirical quantitative study in Vietnam has analyzed the relationships between technological, organizational, and environmental factors and CRME, nor empirically tested the mediating role of digital technology adoption level within the TOE framework. This methodological absence is especially consequential, as mediation analysis would reveal whether organizational capabilities and technological readiness must first be converted into actual adoption behavior before any measurable improvement in CRME can be realized-an insight with direct implications for managerial prioritization and policy design.

This gap is especially pronounced given Vietnam's construction industry faces significant pressures from material price volatility, supply chain disruptions, and national digital transformation imperatives, yet lacks empirical evidence to support enterprise decision-making and policy formulation. Traditional approaches relying on experience-based methods and basic tools such as Excel have proven increasingly inadequate under these conditions [3], [4] further reinforcing the urgency of evidence-based guidance.

To bridge this gap, this study offers direct empirical evidence from construction contractors in Vietnam, utilizing an extended TOE framework to systematically assess how technological, organizational, and environmental contexts influence CRME, with particular emphasis on the mediating role of digital technology adoption level. By doing so, this investigation contributes both theoretical advancement and practical recommendations for an emerging economy navigating the complexities of construction sector digitalization.

Figure 1 synthesizes key digital technologies applied in construction cost risk management as identified in the literature, while highlighting the research gap this study addresses in the Vietnamese construction context.

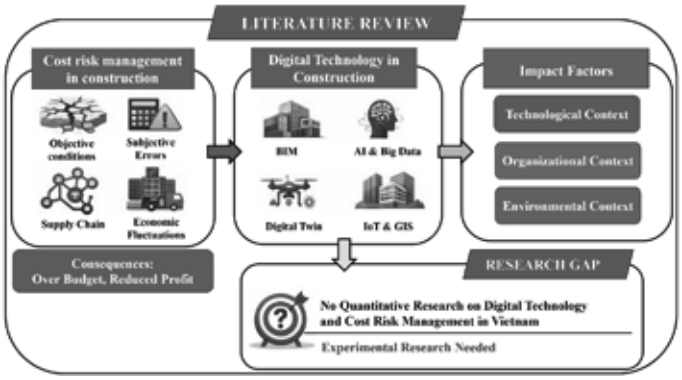



Figure 1. Overview of digital technologies for cost risk management in construction and the research gap

## 3. RESEARCH METHODOLOGY

This study adopts the Technology-Organization-Environment (TOE) framework as its primary theoretical lens, evaluating three interconnected dimensions: (1) Technological Context, encompassing compatibility, relative advantages, and deployment complexity of integrated innovations such as BIM, AI, and Big Data; (2) Organizational Context, reflecting leadership commitment, workforce digital proficiency, firm readiness, and financial capacity; and (3) Environmental Context, capturing competitive pressure, regulatory incentives, and supply chain disruptions. The dependent variable is Cost Risk Management Effectiveness (CRME), defined as a firm's capacity to systematically identify, assess, and mitigate financial risks across the construction project lifecycle. Based on the TOE framework and prior empirical studies [3], [10], [11], four hypotheses are proposed:

H1: Technological Context factors positively impact CRME.

H2: Organizational Context factors positively impact CRME.

H3: Environmental Context factors positively impact CRME.

H4: Digital Technology Adoption Level mediates relationships between TOE factors and CRME.

A quantitative questionnaire survey was administered using a five-point Likert scale adapted from validated scales [3], [10]. Stratified convenience sampling was applied across major economic hubs-Hanoi, Ho Chi Minh City, and Da Nang-stratified by

firm size and geographical location. Of 300 distributed questionnaires, 255 valid responses were retained (85% response rate), satisfying minimum sample requirements for subsequent analyses [15], [16].

Data were analyzed sequentially using SPSS version 27, encompassing Cronbach's Alpha for reliability assessment, Exploratory Factor Analysis (EFA) for construct validity, Multiple Regression Analysis to test H1-H3, and PROCESS macro (Hayes, 2018) with bootstrapping to test the mediating role proposed in H4. All tests were conducted at a significance level of α = 0.05 or 0.01 [3], [4], [6].

Figure 2 illustrates the research methodology framework based on the extended TOE model, demonstrating the hypothesized relationships between technological, organizational, and environmental factors, digital technology adoption level, and cost risk management effectiveness.

Figure 2. Research methodology based on the TOE framework

## 4. DATA ANALYSIS

### 4.1. Descriptive Statistics of the Survey Sample

The questionnaire was distributed to 300 construction contractors, yielding 255 valid responses (85% response rate). As presented in Table 1, the sample predominantly comprises SMEs (Mean = 1.90, SD = 0.852), accurately reflecting Vietnam's construction industry structure. Respondents hold middle to senior management positions (Mean = 2.19) with approximately 5-10 years of professional experience (Mean = 2.15), enhancing the reliability of collected data. Notably, all respondents unanimously acknowledged the necessity of digital technology adoption (Mean = 1.00, SD = 0.000).

Table 1. Descriptive statistics of sample characteristics

| Variable | N | Min | Max | Mean | Std. Deviation |
|---|---|---|---|---|---|
| Enterprise size | 255 | 1 | 4 | 1.90 | .852 |
| Years of experience | 255 | 1 | 3 | 2.15 | .801 |
| Job position | 255 | 1 | 4 | 2.19 | .771 |
| Project scale | 255 | 1 | 4 | 2.10 | .938 |
| Digital technology use | 255 | 1 | 4 | 2.30 | .772 |
| Necessity of digital technology | 255 | 1 | 1 | 1.00 | .000 |

*Source: The author uses SPSS for analysis*

### 4.2. Descriptive Statistics of Research Variables

Table 2 presents descriptive statistics for all construct items. Overall, mean scores consistently exceeded 3.5 on a 5-point Likert scale, indicating strong respondent consensus across all dimensions. Cost Risk Management Effectiveness (P1–P5) recorded the highest means (3.91-3.97, SD < 0.50), while Environmental Context items showed notably low standard deviations, with E2 achieving complete unanimity (M = 4.00, SD = 0.000), reflecting uniform perceptions of external pressure. Organizational Context exhibited comparatively higher variability (SD > 1.0 for O2, O3), suggesting heterogeneity in organizational capabilities across firms of differing size and digital maturity.

Table 2. Descriptive statistics of Constructs in the Research model

| Construct | Item | N | Min | Max | Mean | Std. Deviation |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Technology Context (T) | T1 | 255 | 3 | 4 | 3.82 | 0.385 |
| | T2 | 255 | 2 | 4 | 3.75 | 0.532 |
| | T3 | 255 | 2 | 5 | 4.03 | 0.513 |
| | T4 | 255 | 4 | 4 | 4.00 | 0.000 |
| | T5 | 255 | 2 | 5 | 3.98 | 0.707 |
| Organizational Context (O) | O1 | 255 | 2 | 5 | 3.76 | 0.973 |
| | O2 | 255 | 1 | 5 | 3.56 | 1.081 |
| | O3 | 255 | 1 | 5 | 3.53 | 1.060 |
| | O4 | 255 | 2 | 5 | 3.67 | 0.824 |
| | O5 | 255 | 3 | 5 | 3.92 | 0.475 |
| Environmental Context (E) | E1 | 255 | 3 | 5 | 3.85 | 0.479 |
| | E2 | 255 | 4 | 4 | 4.00 | 0.000 |
| | E3 | 255 | 3 | 5 | 3.95 | 0.297 |
| | E4 | 255 | 3 | 5 | 3.96 | 0.311 |
| | E5 | 255 | 3 | 5 | 4.00 | 0.376 |
| Digital Technology Adoption (A) | A1 | 255 | 2 | 5 | 3.84 | 0.643 |
| | A2 | 255 | 2 | 5 | 3.85 | 0.663 |
| | A3 | 255 | 2 | 5 | 3.86 | 0.671 |
| | A4 | 255 | 2 | 5 | 3.89 | 0.692 |
| | A5 | 255 | 2 | 5 | 3.83 | 0.597 |
| Cost Risk Management Effectiveness (P) | P1 | 255 | 3 | 5 | 3.96 | 0.419 |
| | P2 | 255 | 3 | 5 | 3.97 | 0.447 |
| | P3 | 255 | 3 | 5 | 3.95 | 0.440 |
| | P4 | 255 | 2 | 5 | 3.93 | 0.464 |
| | P5 | 255 | 2 | 5 | 3.91 | 0.494 |

*Source: The author uses SPSS for analysis*

### 4.3. Evaluation of Scale Reliability and Validity

Reliability was assessed using Cronbach's Alpha. As presented in Table 3, all five constructs exceeded the recommended threshold of 0.7 (Hair et al., 2010), with coefficients ranging from 0.761 (Environmental Context) to 0.984 (Digital Technology Adoption), and all corrected item-total correlations exceeded 0.3, confirming satisfactory internal consistency. Notably, items T4 and E2 exhibited zero variance (SD = 0.000), contributing no discriminatory information; while retained given their theoretical importance within the TOE framework, these items should be considered for revision in future instrument refinements.

Table 3. Cronbach's Alpha Reliability Test Results

| Construct | Item | Mean | Std. Deviation | Corrected Item-Total Correlation | Cronbach's Alpha if Item Deleted | Cronbach's Alpha |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Technology Context (T) | T1 | 3.82 | 0.385 | 0.673 | 0.688 | 0.764 |
| | T2 | 3.75 | 0.532 | 0.620 | 0.688 | |
| | T3 | 4.03 | 0.513 | 0.704 | 0.655 | |
| | T5 | 3.98 | 0.707 | 0.649 | 0.700 | |
| Organizational Context (O) | O1 | 3.76 | 0.973 | 0.843 | 0.951 | 0.955 |
| | O2 | 3.56 | 1.081 | 0.972 | 0.930 | |
| | O3 | 3.53 | 1.060 | 0.974 | 0.928 | |
| | O4 | 3.67 | 0.824 | 0.933 | 0.937 | |
| | O5 | 3.92 | 0.475 | 0.848 | 0.968 | |
| Environmental Context (E) | E1 | 3.85 | 0.479 | 0.500 | 0.769 | 0.761 |
| | E3 | 3.95 | 0.297 | 0.761 | 0.643 | |
| | E4 | 3.96 | 0.311 | 0.718 | 0.653 | |
| | E5 | 4.00 | 0.376 | 0.669 | 0.662 | |
| Digital Technology Adoption (A) | A1 | 3.84 | 0.643 | 0.965 | 0.978 | 0.984 |
| | A2 | 3.85 | 0.663 | 0.968 | 0.977 | |
| | A3 | 3.86 | 0.671 | 0.958 | 0.979 | |
| | A4 | 3.89 | 0.692 | 0.910 | 0.987 | |
| | A5 | 3.83 | 0.597 | 0.967 | 0.979 | |
| Cost Risk Management Effectiveness (P) | P1 | 3.96 | 0.419 | 0.884 | 0.952 | 0.960 |
| | P2 | 3.97 | 0.447 | 0.886 | 0.951 | |
| | P3 | 3.95 | 0.440 | 0.903 | 0.948 | |
| | P4 | 3.93 | 0.464 | 0.887 | 0.951 | |
| | P5 | 3.91 | 0.494 | 0.888 | 0.952 | |

*Source: The author uses SPSS for analysis*

**4.4. Exploratory Factor Analysis (EFA)**

EFA was conducted using PCA with Varimax rotation. The KMO value of 0.906 and Bartlett's Test of Sphericity ($\chi^2$=7852.491, df=153, p<0.001) confirmed data suitability. Three components with eigenvalues exceeding 1.0 were extracted, collectively explaining 84.25% of total variance (Component 1: 38.11%; Component 2: 28.66%; Component 3: 17.48%), with most items loading above 0.5 on their assigned components (Table 4). Minor cross-loadings observed for T2, T3, and E5 are theoretically justifiable given the interdependence between technological and environmental factors within the TOE framework, and these items were retained as their primary loadings remained above 0.5 and the overall factor structure remained conceptually coherent. Component 1 captured organizational and selected technological items (O1-O5, T1, T3, T5, E1); Component 2 distinctly represented digital technology adoption (A1-A5); and Component 3 primarily reflected environmental factors (E3, E4, E5). A separate EFA for Cost Risk Management Effectiveness yielded a KMO of 0.767, with a single component (eigenvalue = 4.328) explaining 86.55% of variance and all items (P1-P5) loading above 0.92, confirming unidimensionality and strong convergent validity for use as a composite dependent variable.

Table 4. Exploratory Factor Analysis Results (EFA)

| Item | Component 1 | Component 2 | Component 3 |
|---|---|---|---|
| O4 | .890 | .235 | .212 |
| O3 | .866 | .353 | .279 |
| O2 | .848 | .400 | .266 |
| O5 | .823 | .297 | .209 |
| O1 | .798 | .374 | - |
| T5 | .793 | .285 | - |
| E1 | .728 | .451 | - |
| T1 | .642 | .479 | .245 |
| A4 | .322 | .844 | .290 |
| A5 | .437 | .833 | .258 |
| A2 | .425 | .831 | .269 |
| A3 | .415 | .829 | .268 |
| A1 | .471 | .799 | .291 |
| E3 | .224 | .308 | .852 |
| E4 | .216 | .285 | .850 |

*Source: The author uses SPSS for analysis*

Note: KMO = 0.906; Bartlett's Test of Sphericity: $\chi^2$ = 7852.491, df = 153, p < 0.001. Total variance explained = 84.25%. Loadings below 0.2 suppressed for clarity.

**4.5. Correlation and Regression analysis for Hypothesis testing**

Pearson correlation analysis (Table 5) shows all relationships between independent variables (X1: Technology, X2: Organization, X3: Environment, X4: Digital Technology Adoption) and the dependent variable (Y: Cost Risk Management Effectiveness) are positive, strong, and statistically significant at the 0.01 level (r = 0.676–0.820), providing an initial basis for regression analysis.

Table 5. Correlation matrix between research variables

| Variable | X1 | X2 | X3 | X4 | Y |
|---|---|---|---|---|---|
| X1 | 1 | .868** | .732** | .710** | .676** |
| X2 | .868** | 1 | .773** | .752** | .721** |
| X3 | .732** | .773** | 1 | .768** | .730** |
| X4 | .710** | .752** | .768** | 1 | .820** |
| Y | .676** | .721** | .730** | .820** | 1 |

Note: p < 0.01

*Source: The author uses SPSS for analysis*

Multiple regression analysis (Table 6) revealed that the model explains 70.7% of variance in CRME ($R^2$ = 0.707, F=150.946, p<.001). VIF values for all predictors ranged from 2.902 to 5.114, indicating multicollinearity was not severe. Technology (X1, Beta = .032, p=0.646) and Organizational factors (X2, Beta = .142, p=0.068) did not reach statistical significance, leading to rejection of H1 and H2. Environmental Context (X3, Beta = .162, p=0.008) was significant, supporting H3. Digital Technology Adoption (X4) demonstrated the strongest effect (Beta = .566, p<.001), confirming its dominant role in the model.

Table 6. Regression analysis results - Factors affecting cost risk management effectiveness

| Variable | Unstandardized Coefficient (B) | Std. Error | Standardized Coefficient (Beta) | t | Sig. | Hypothesis Conclusion |
|---|---|---|---|---|---|---|
| (Constant) | 1.237 | .244 | - | 5.066 | .000 | - |
| X1 - Technology | .028 | .060 | .032 | .459 | .646 | H1 Not Supported |
| X2 - Organization | .071 | .039 | .142 | 1.834 | .068 | H2 Not Supported |
| X3 - Environment | .226 | .085 | .162 | 2.665 | .008 | H3 Supported |
| X4 - Digital Technology Adoption | .377 | .039 | .566 | 9.713 | .000 | - |

Note: $R^2$=0.707; Adjusted $R^2$=0.703; F=150.946 (p<.001).

*Source: The author uses SPSS for analysis*

To test H4, mediation analysis was conducted following Baron & Kenny (1986) and the PROCESS Macro. As shown in Table 7, Technology (X1, Beta = .121), Organization (X2, Beta = .302), and Environment (X3, Beta = .446) each significantly predicted Digital Technology Adoption (X4, $R^2$=0.655, F=159.155, p<.001). When all TOE factors and X4 were simultaneously entered into the CRME model, the direct effects of X1 and X2 became non-significant while X4 remained strongly significant, indicating full mediation for X1 and X2, and partial mediation for X3. Accordingly, H4 is supported.

Table 7. Regression results - Predicting digital technology adoption (X4)

| Predictor Variable | Coefficient (B) | Standardized Coefficient (Beta) | t | Sig. |
|---|---|---|---|---|
| (Constant) | -1.255 | - | -3.222 | .001 |
| X1 - Technology | .155 | .121 | 1.596 | .112 |
| X2 - Organization | .228 | .302 | 3.698 | .000 |
| X3 - Environment | .935 | .446 | 7.495 | .000 |

Note: $R^2$ = 0.655; F = 159.155 (p<.001)

*Source: The author uses SPSS for analysis*

**4.6. Summary of Hypothesis testing results**

The analytical results yield several key findings:

H1 and H2 were not supported in terms of direct influence. Technological characteristics -such as compatibility and relative advantage - affect outcomes only through actual adoption [12], while organizational capacity similarly lacks a significant direct link but demonstrates robust indirect influence [17].

H3 and H4 were supported. Environmental context influences the system both directly and indirectly by fostering technology integration [17]. Crucially, the level of digital technology adoption emerges as the primary mediating mechanism, clarifying the pathway through which TOE factors enhance cost risk management effectiveness.

Overall, these findings underscore that concrete adoption actions carry more weight than mere perceptions of technology or intrinsic capabilities. While the external environment - including policy frameworks and market pressures - acts as a vital catalyst, ultimate effectiveness depends on how deeply enterprises integrate digital tools into their cost risk management processes.

## 5. DISCUSSION

**5.1. Interpretation of Hypothesis testing results**

Research results provide deep insights into the mechanisms through which various factors impact cost risk management effectiveness (CRME) among Vietnamese contractors.

The rejection of H1 indicates that merely possessing or perceiving superior characteristics of digital technologies (such as benefits and compatibility) is insufficient to produce direct improvements in CRME. Technology alone serves as a "necessary condition," with genuine value realised only through "actual adoption"-specifically, the seamless integration and strategic exploitation of technology within business processes. This highlights a critical need for practitioners to shift focus from "technology ownership" toward "efficient technology-enabled operations."

Similarly, H2 failed to receive empirical support (Sig. > 0.05), suggesting that organizational capabilities (human resources, financial resources, leadership readiness) function as necessary foundations or "catalysts" that must undergo transformation via specific mechanisms before exerting measurable influence on effectiveness. A strong organization does not necessarily manage risks well without effective technology deployment to convert potential into actual results.

In contrast, H3 is fully supported, confirming the significant influence of external factors in the Vietnamese market. Competitive pressure, volatility in material prices and supply chains, and supportive government policies have become powerful "driving forces" compelling contractors to improve CRME-consistent with environmental push theories in innovation models.

Crucially, H4, positing the mediating role of Digital Technology Adoption Level, is statistically supported. Mediation analysis indicates that Technological (T) and Organizational (O) factors influence CRME primarily through an indirect pathway by fostering digital technology adoption (A), while Environmental (E) factors exert both direct and indirect pressures through this mediator. These results confirm that "actual adoption" serves as the fundamental link between antecedent conditions and organizational outcomes, aligning with the Technology Acceptance Model (TAM), which asserts that actual usage behaviour is the primary driver of operational effectiveness.

**5.2. Comparison with Previous studies**

The empirical findings reveal noteworthy parallels and departures from existing literature.

Similarities: The significant role of environmental factors (H3) and the mediating function of technology adoption (H4) align with global trends in technology acceptance research [10], [12] reinforcing the universal applicability of the TOE framework and behavioural models (e.g., TAM, UTAUT) in explaining how technology yields tangible benefits.

Differences and Vietnamese Context Specificity: Conversely, the rejection of H1 and H2 highlights unique contextual nuances in Vietnam. While research in developed economies often identifies a direct correlation between technological and organizational capabilities and management efficiency [3], [6]. This study suggests a more complex relationship in the Vietnamese context. This disparity likely reflects a prevalent "implementation gap," where enterprises possess the necessary resources and awareness but struggle to convert these assets into effective digital operations with measurable cost impacts - challenges stemming from experience-reliant work culture, non-standardized integration processes, or a lack of domestic benchmarks.

**5.3. Managerial and Policy Implications**

Based on the aforementioned findings, this study offers several critical implications for both industry practitioners and policymakers:

*(1) For Construction Contractors (Managerial Implications)*

Prioritizing Practical Implementation: Instead of merely focusing on technology selection, firms should channel their resources into the seamless integration and operation of digital tools within existing cost

and risk management workflows. This requires the development of concrete roadmaps with clearly defined performance milestones.

Strategic Investment in Digital Human Capital: Organizational capacity should be bolstered by equipping project managers, quantity surveyors, and field staff with specialized digital competencies. Furthermore, contractors need robust HR policies to attract and retain professionals who possess a dual expertise in construction and technology.

Proactive Engagement with Environmental Factors: Companies ought to capitalize on government incentives, such as tax credits and digital transformation grants. Moreover, leveraging digital analytics is essential for monitoring market volatility, enabling more proactive responses to supply chain and pricing risks.

*(2) For Government Agencies (Policy Implications)*

Refining the Institutional Framework: There is a pressing need for national standards and technical regulations regarding BIM and digital project management. Establishing these legal foundations is vital for fostering synchronized adoption across the industry.

Diversifying Incentive Mechanisms: Beyond direct financial aid, policymakers should consider preferential procurement for tech-integrated projects. Developing open-access digital databases and fostering public-private partnerships for workforce training would further accelerate industry-wide progress.

Encouraging Knowledge Exchange: The government should facilitate the creation of industry forums or clusters where enterprises can share success stories and lessons learned. Such collaborative environments reduce the "learning cost" and mitigate risks for the broader business community.

### 5.4. Research Limitations and Future Directions

Despite its contributions, this study acknowledges several limitations. The reliance on quantitative surveys, while useful for generalization, may not fully capture the nuanced qualitative drivers and barriers behind digital adoption; future studies employing in-depth interviews or case studies could offer more granular insights into the "why" and "how" of this process. Additionally, data gathered primarily through stratified convenience sampling in major economic hubs may not fully represent small-scale enterprises or remote provinces. As this study treats "digital technology" as a holistic concept, subsequent investigations should examine the distinct or synergistic impacts of specific technologies-such as AI, BIM, or Digital Twin-across different cost and risk management dimensions and project lifecycle stages, while also integrating theoretical extensions including client pressure, firm absorptive capacity, and smart contract adoption.

## 6. CONCLUSION

This study empirically examines how Technological, Organizational, and Environmental (TOE) factors influence cost risk management effectiveness (CRME) among Vietnamese construction contractors, with a focus on the mediating role of digital technology adoption. Based on survey data from 255 contractors and advanced statistical analysis, the following conclusions are drawn:

Hypothesis testing reveals a nuanced rather than direct relationship. Technological (H1) and Organizational (H2) factors showed no statistically significant direct impact on CRME, suggesting that possessing advanced technology or robust organizational structures alone is insufficient for superior cost control-these elements function as prerequisites rather than direct drivers.

The Environmental context (H3) exerted a strong, positive, direct influence on CRME, underscoring how external pressures-market competition, price volatility, and government incentives-compel firms to refine their risk management strategies.

Most significantly, the study validates the full mediating role of Digital Technology Adoption Level (H4). Technological and Organizational factors influence CRME indirectly through adoption behavior, while the Environmental factor operates through both direct and indirect channels. This confirms that technological and organizational assets only generate value when actively integrated into business processes-adoption serves as the vital bridge converting potential into performance.

Collectively, these findings highlight a context-specific "implementation gap" in Vietnam, where foundational capabilities have yet to be consistently translated into measurable operational outcomes.

Regarding contributions, this study provides the first systematic quantitative evidence linking TOE factors, digital adoption, and CRME in Vietnam's contracting sector. Practically, contractors should shift from merely "owning" technology to "operating" it through workforce training and deployment. Policymakers should strengthen institutional frameworks and design targeted incentives to drive substantive digital transformation.

Despite methodological limitations, this study establishes a foundation for future qualitative and quantitative research into the digital transformation of Vietnam's construction industry.

**REFERENCES**

[1] S. Debnath, "From delay to delivery: Tackling time and cost risks in hydropower projects," *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 2025.

[2] A. Ghanbaripour, R. J. Tumpa, M. Skitmore and C. Hon, "Project delivery success and sustainability: Comparative strategies in the post-pandemic era," *Management Decision*, 2025.

[3] S. Sepasgozar, A. M. Costin, R. Karimi, S. Shirowzhan, E. Abbasian and J. Li, "BIM and digital tools for state-of-the-art construction cost management," *Buildings*, 2022.

[4] S. Savaş, "Artificial intelligence in construction project management: Trends, challenges and future directions," *Journal of Design for Resilience in Architecture & Planning*, pp. 221-238, 2025.

[5] J. Wang, Y. Ma, R. Li and S. Zhang, "Applications of Building Information Modeling (BIM) and BIM-related technologies for sustainable risk and disaster management in buildings: A meta-analysis (2014-2024)," *Buildings*, 2025.

[6] S.-W. Choi, E.-B. Lee and J.-H. Kim, "The Engineering Machine-Learning Automation Platform (EMAP): A big-data-driven AI tool for contractors' sustainable management solutions for plant projects," *Sustainability*, 2021.

[7] S. Kaewunruen, M. AbdelHadi, M. Kongpuang, W. Pansuk and A. M. Remennikov, "Digital twins for managing railway bridge maintenance, resilience, and climate change adaptation," *Sensors*, 2022.

[8] S. Li and C. Hong, "The application of BIM technology in prefabricated buildings," *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 2024.

[9] R. S. Shojaei, K. Oti-Sarpong and G. Burgess, "Enablers for the adoption and use of BIM in main contractor companies in the UK," *Engineering, Construction and Architectural Management*, 2022.

[10] T. H. Nguyen, X. Le and T. H. L. Vu, "An extended Technology–Organization–Environment (TOE) framework for online retailing utilization in digital transformation: Empirical evidence from Vietnam," *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, vol. 8, no. 4, p. 200, 2022.

[11] P. T. Nguyen, "The impact of digital transformation on labor productivity and production cost reduction in enterprises in Vietnam: Evidence from SMEs in Hanoi and neighboring provinces," *International Journal of Research and Innovation in Social Science*, 2025.

[12] M. H. Mustafa, F. A. M. Rahim, A. F. Jamaludin and K. Y. Hin, "Big Data Analytics (BDA) framework for construction cost estimation in Malaysia," *Planning Malaysia: Journal of the Malaysian Institute of Planners*, vol. 22, no. 3, pp. 273-287, 2024.

[13] S. Qadir, A. M. Alawag, A. O. Baarimah, N. Zia, M. Alajmi, H. R. Almujibah and H. Alyami, "The role of digital technologies in enhancing construction project management," *Scientific Reports*, vol. 16, p. 1486, 2026.

[14] B. T. N. Lan, "Research on the application of Geographic Information Systems (GIS) in urban underground construction risk management in Vietnam," *Journal of Materials and Construction*, vol. 15, no. 1, pp. 144-151, 2025.

[15] B. G. Tabachnick and L. S. Fidell, *Using Multivariate Statistics*, 6th ed., Pearson, 2013.

[16] J. F. Hair, W. C. Black, B. J. Babin and R. E. Anderson, *Multivariate Data Analysis*, 7th ed., Prentice Hall, 2010.

[17] D. T. Hai and N. T. Phuong, "Identifying risk factors that increase costs for contractors during the construction phase of high-rise buildings in Hanoi," *Construction Journal*, no. 9, pp. 88-89, 2024.

■Ngày nhận bài: 26/01/2026 ■Ngày sửa bài: 03/02/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 12/02/2026

# Comparative analysis of quantitative models for assessing the impact of national logistics capacity on export efficiency

## Phân tích so sánh các mô hình định lượng đánh giá tác động của năng lực logistics quốc gia đến hiệu quả xuất khẩu

**> MSC NGUYEN THI CAM NHUNG, DR NGUYEN THI NHA TRANG*, MSC VU LE HUY**
Vietnam Maritime University
*Email: trangntn@vimaru.edu.vn

**ABSTRACT**

National logistics capacity is increasingly recognized as a critical determinant of export competitiveness and macroeconomic performance. In developing economies, deficiencies in transport infrastructure, customs procedures, and logistics services not only raise trade costs but also constrain the ability of exports to reach their potential frontier. This article adopts a construction and infrastructure–oriented perspective to analyse and compare major quantitative models used to assess the impact of national logistics capacity on export efficiency. Drawing on authoritative data sources from international organizations and peer-reviewed Scopus-indexed studies, the paper reviews the Structural Gravity Model, Stochastic Frontier Analysis, Data Envelopment Analysis, panel regression models with composite indices and System Dynamics modelling. The comparative analysis highlights differences in assumptions, data requirements, analytical strengths and policy relevance. The results indicate that no single model can fully capture the multidimensional and dynamic role of logistics infrastructure in export performance. For Vietnam, where logistics development is closely linked to national construction investment and infrastructure policy, a combined analytical approach that integrates gravity-based trade models with frontier efficiency analysis provides the most robust foundation for evidence-based policy formulation.

**Keywords:** National logistics capacity; export efficiency; logistics infrastructure; quantitative models; trade policy.

**TÓM TẮT**

Năng lực logistics quốc gia ngày càng được thừa nhận là một yếu tố then chốt quyết định năng lực cạnh tranh xuất khẩu và hiệu quả kinh tế vĩ mô. Đối với các nền kinh tế đang phát triển, những hạn chế về hạ tầng giao thông, thủ tục hải quan và dịch vụ logistics không chỉ làm gia tăng chi phí thương mại mà còn kìm hãm khả năng khai thác đầy đủ tiềm năng xuất khẩu. Từ góc nhìn kinh tế xây dựng và đầu tư hạ tầng, bài báo tiến hành phân tích và so sánh các mô hình định lượng phổ biến được sử dụng để đánh giá tác động của năng lực logistics quốc gia đến hiệu quả xuất khẩu. Dựa trên các nguồn dữ liệu chính thống từ các tổ chức quốc tế và các nghiên cứu khoa học uy tín, bài báo xem xét các mô hình gồm mô hình trọng lực cấu trúc, mô hình biên ngẫu nhiên, phân tích bao dữ liệu, mô hình hồi quy bảng sử dụng chỉ số tổng hợp và mô hình động hệ thống. Kết quả phân tích cho thấy mỗi mô hình có những giả định, yêu cầu dữ liệu và phạm vi ứng dụng khác nhau, đồng thời không tồn tại một mô hình đơn lẻ nào có thể phản ánh đầy đủ vai trò đa chiều và động của hệ thống logistics trong hoạt động xuất khẩu. Đối với Việt Nam, nơi logistics gắn chặt với đầu tư xây dựng hạ tầng quốc gia, việc kết hợp các mô hình phân tích dựa trên trọng lực thương mại và các mô hình đo lường hiệu quả biên được xem là hướng tiếp cận phù hợp, góp phần nâng cao cơ sở khoa học cho hoạch định chính sách đầu tư hạ tầng và phát triển logistics phục vụ xuất khẩu bền vững.

**Từ khóa:** Năng lực logistics quốc gia; hiệu quả xuất khẩu; hạ tầng logistics; mô hình định lượng; chính sách đầu tư xây dựng.

## 1. INTRODUCTION

In recent decades, globalization and the fragmentation of global value chains have intensified the role of logistics and infrastructure systems in shaping international trade performance. Logistics capacity, understood as the ability of a national system to plan, implement and control the efficient flow of goods across borders, depends fundamentally on the quality of transport infrastructure, the effectiveness of customs and border management and the competence of logistics service providers. From a construction and infrastructure perspective, logistics performance is directly linked to long-term public investment in ports, roads, logistics hubs and supporting facilities.

Economic theory conceptualizes logistics inefficiencies as a component of trade costs that reduce the effective value of traded goods. Anderson and van Wincoop describe these frictions as "iceberg trade costs", whereby part of the goods' value is absorbed by transport, time delays and administrative barriers before reaching the final market. For developing economies, high logistics costs often reflect structural weaknesses in infrastructure networks and institutional capacity, rather than purely market-based factors. Vietnam provides a representative case of this challenge. According to the World Bank's Logistics Performance Index (LPI) 2023, Vietnam ranks 43rd out of 139 economies, with an overall score of 3.3. While the country has made progress in customs modernization and international shipment connectivity, performance remains uneven across key components such as logistics service competence and delivery timeliness. These constraints persist despite sustained growth in construction investment in transport infrastructure and logistics facilities. Recognizing the strategic importance of logistics, the Government of Vietnam has identified logistics development as a national priority. Decision No. 200/QD-TTg (2017) explicitly links logistics infrastructure investment, service quality improvement, and trade competitiveness, setting targets for logistics cost reduction and system modernization by 2025. However, rapid export growth has not necessarily translated into high export efficiency, suggesting that logistics improvements have not been fully optimized.

Against this background, a growing body of empirical research has examined the relationship between logistics capacity and export outcomes using diverse quantitative models. These models differ substantially in their theoretical foundations, data requirements, and ability to inform infrastructure and construction policy. This article therefore aims to conduct a comparative analysis of the principal quantitative models used to assess the impact of national logistics capacity on export efficiency, with a focus on their applicability to infrastructure-driven policy contexts such as Vietnam.

## 2. LOGISTICS CAPACITY, INFRASTRUCTURE AND EXPORT EFFICIENCY

### 2.1. Logistics Capacity as an Infrastructure-Based System

From a construction economics perspective, logistics capacity should be understood as an integrated infrastructure-based system rather than a standalone service activity. The ability of a national economy to move goods efficiently across borders is fundamentally rooted in the availability, quality and coordination of physical infrastructure assets. These assets include seaports, airports, highways, railways, inland waterways, inland container depots, logistics parks and intermodal transfer facilities, all of which together form the structural backbone of national logistics systems. Investment decisions in these assets determine not only transport capacity but also transport cost structures, transit time, reliability and system resilience - factors that are critical for export-oriented industries. Infrastructure quality directly affects logistics performance through multiple channels. Well-designed ports and terminals reduce vessel turnaround time and congestion costs, while efficient road and rail networks enhance hinterland connectivity and lower inland transport expenses. Similarly, modern logistics parks and distribution centers enable economies of scale in storage, consolidation and value-added services, thereby improving shipment reliability and responsiveness. From a life-cycle perspective, inadequate maintenance of logistics infrastructure can rapidly erode initial investment benefits, leading to rising operating costs and declining service quality. As a result, logistics capacity is not merely a function of new construction but also of long-term infrastructure management and system integration.

At the national level, logistics capacity is commonly assessed using composite indicators developed by international organizations. Among these, the World Bank's Logistics Performance Index is the most widely used benchmark. The index aggregates six dimensions: Efficiency of customs and border clearance, quality of trade- and transport-related infrastructure, ease of arranging international shipments, competence and quality of logistics services, ability to track and trace consignments and timeliness of deliveries. Together, these dimensions reflect both the physical and institutional foundations of logistics systems. However, while composite indices provide a useful cross-country overview, they also present important limitations from an infrastructure policy perspective. By aggregating multiple dimensions into a single score, such indices obscure the relative contribution of infrastructure investment compared to regulatory reforms, service quality improvements, or technological adoption. For construction and infrastructure planners, this aggregation makes it difficult to identify which components of the logistics system generate the highest marginal returns to investment. Consequently, a deeper analytical framework is required to disentangle infrastructure-driven constraints from broader institutional and operational factors within national logistics capacity.

### 2.2. Export Performance versus Export Efficiency

Export outcomes are traditionally evaluated using indicators of export performance, such as export value, export volume, or growth rates. While these measures are useful for tracking trade expansion, they provide limited insight into how efficiently an economy converts its productive capacity and infrastructure endowment into export outcomes. Export efficiency, by contrast, captures the extent to which a country realizes its potential exports given its economic size, geographic location, market access, and structural conditions, including logistics infrastructure. From an infrastructure economics standpoint, constraints in logistics systems do not necessarily prevent export growth altogether. Instead, they often lead to higher trade costs, longer delivery times and lower reliability, which reduce competitiveness and limit access to higher-value or time-sensitive markets. In such cases, export volumes may continue to increase due to favorable global demand or foreign direct investment, while export efficiency remains low because the underlying logistics system fails to support optimal trade performance. This divergence is particularly relevant for developing economies where infrastructure expansion struggles to keep pace with rapid trade growth.

The distinction between export performance and export efficiency has important implications for construction investment planning. Investments that expand logistics capacity without addressing systemic inefficiencies may raise export volumes but yield diminishing returns in terms of efficiency and value addition. Conversely, targeted investments that improve connectivity, reduce bottlenecks and enhance system reliability can significantly narrow the gap between actual exports and export potential, even without large-scale capacity expansion. Quantitative models differ

substantially in how they conceptualize and measure this efficiency gap. Some approaches focus on observed trade flows and estimate average relationships between logistics indicators and export outcomes. Other approaches explicitly estimate an export frontier, representing the maximum attainable level of exports under given structural conditions, and measure deviations from this frontier as inefficiency. For infrastructure planners and policymakers, understanding these methodological differences is essential. Models that capture efficiency gaps provide more direct guidance for prioritizing construction investment, identifying bottlenecks, and aligning infrastructure development with long-term export competitiveness objectives.

## 3. COMPARATIVE ANALYSIS OF QUANTITATIVE MODELS FOR LOGISTICS INFRASTRUCTURE AND EXPORT EFFICIENCY

This section develops an in-depth comparative analysis of quantitative models used to examine the relationship between logistics infrastructure and export efficiency. In line with the construction and infrastructure-oriented focus of this study, the analysis is organized into four core methodological perspectives rather than a fragmented model-by-model description. Each perspective reflects a distinct way in which infrastructure conditions are translated into export outcomes, efficiency measures and policy-relevant insights. By integrating the comparative synthesis previously discussed into this section, the analysis provides a coherent methodological framework that supports infrastructure investment planning and export-oriented development strategies.

### 3.1. Trade Cost–Based Models: Structural Gravity Perspective

Trade cost-based models, represented primarily by the Structural Gravity Model, constitute the foundational analytical framework for linking logistics infrastructure to export performance. Within this perspective, infrastructure investment affects exports indirectly by reducing generalized trade costs, including transport expenses, border delays and uncertainty. Ports, transport corridors, and border facilities are conceptualized as cost-reducing assets whose improvement increases bilateral trade flows. From a construction policy standpoint, the principal strength of the Structural Gravity Model lies in its capacity to evaluate the aggregate export impacts of large-scale infrastructure programs. By simulating counterfactual reductions in trade costs, the model allows policymakers to assess the expected trade gains from national logistics strategies, port expansion projects, and corridor development initiatives. This makes the gravity framework particularly suitable for national-level planning and ex ante appraisal of major construction investments. However, the gravity perspective remains inherently static and aggregate. While it explains changes in export volumes, it does not explicitly measure whether infrastructure investments improve export efficiency or merely expand capacity. As a result, gravity-based findings are most informative when used as a first-stage screening tool rather than a standalone basis for prioritizing infrastructure projects.

### 3.2. Frontier Efficiency Models: Measuring Export Efficiency Gaps

Frontier-based approaches, including Stochastic Frontier Analysis and Data Envelopment Analysis, shift the analytical focus from trade volumes to export efficiency. These models explicitly address the question of how far actual exports fall short of their potential given existing infrastructure and structural conditions. Stochastic Frontier Analysis estimates an export frontier and decomposes deviations from this frontier into random shocks and systematic inefficiency. From an infrastructure investment perspective, this approach provides direct insight into the extent to which logistics infrastructure constraints limit export efficiency. It is particularly valuable in contexts where substantial construction investment has not produced proportional efficiency gains, as it helps distinguish between capacity shortages and systemic inefficiencies related to connectivity, integration, or maintenance of infrastructure assets. Data Envelopment Analysis offers a non-parametric alternative that constructs an empirical efficiency frontier based on best-performing units. Its flexibility in handling multiple inputs and outputs makes it useful for benchmarking infrastructure and logistics performance across countries or regions. However, because it does not separate inefficiency from statistical noise, its results are sensitive to data quality and outliers. Consequently, Data Envelopment Analysis is best applied as a comparative benchmarking tool rather than a primary decision-making instrument for infrastructure prioritization.

### 3.3. Reduced-Form Empirical Models: Panel Regression with Composite Indices

Reduced-form panel regression models represent the most widely used empirical approach due to their simplicity and data availability. By exploiting cross-country and temporal variation, these models estimate average relationships between logistics indicators and export outcomes while controlling for unobserved heterogeneity. From a construction and infrastructure planning perspective, panel regressions are useful for identifying broad trends and stylized facts regarding the role of logistics development in export performance. However, their reliance on composite logistics indices limits their analytical depth. Aggregation obscures the relative contribution of specific infrastructure components and linear specifications often fail to capture threshold effects or diminishing returns to infrastructure investment. Moreover, potential endogeneity between logistics development and trade performance constrains their suitability for guiding targeted construction investment decisions.

### 3.4. Dynamic Systems Perspective: System Dynamics and Integrated Model Synthesis

System Dynamics modelling provides a dynamic systems perspective that complements econometric approaches. By emphasizing feedback loops, delays and non-linear interactions, this approach captures how logistics infrastructure performance evolves over time in response to investment, congestion, maintenance cycles, and policy interventions. From an infrastructure economics viewpoint, System Dynamics is particularly valuable for long-term planning and scenario analysis. It allows policymakers to explore how different investment sequences, maintenance strategies, and demand growth trajectories affect export efficiency over time. Although the method does not offer conventional statistical inference, its strength lies in revealing system behaviour and long-term consequences of construction and infrastructure decisions.

| Model | Core assumptions | Data requirements | Strengths | Limitations | Relevance for infrastructure policy |
|---|---|---|---|---|---|
| Structural Gravity Model | Trade driven by economic size and trade costs | Bilateral trade, GDP, logistics proxies | Strong theory; policy simulation | Static; aggregate | High for national-level planning |
| Stochastic Frontier Analysis | Existence of export frontier | Panel trade and logistics data | Measures efficiency gaps | Functional form sensitivity | Very high for prioritizing infrastructure |
| Data Envelopment Analysis | Best performers define frontier | Multi-input, multi-output data | Flexible; benchmarking | Sensitive to outliers | Moderate for regional comparison |
| Panel regression | Linear additive effects | Panel data with indices | Simple; accessible | Limited structural insight | Moderate for monitoring trends |
| System Dynamics | Feedback-driven system behaviour | Quantitative and qualitative data | Captures dynamics | No statistical inference | High for long-term infrastructure scenarios |

Figure 1. Comparative summary of quantitative models for assessing logistics infrastructure and export efficiency (Authors edited)

Figure 1 presents a comparative summary of the reviewed quantitative models, highlighting their core assumptions, data

requirements, analytical strengths, limitations and relevance for infrastructure policy. The figure synthesizes the methodological insights discussed above and reinforces the argument that no single model can fully capture the multifaceted role of logistics infrastructure in export efficiency. Taken together, the comparative analysis suggests that an integrated methodological strategy is essential for infrastructure-oriented export analysis. Trade cost-based gravity models are well suited for evaluating aggregate impacts of infrastructure programs; frontier efficiency models identify efficiency gaps and guide prioritization; reduced-form panel regressions provide baseline trend evidence; and System Dynamics modelling supports long-term infrastructure planning. The combined use of these approaches offers a coherent and policy-relevant framework for aligning logistics infrastructure investment with export efficiency objectives.

## 4. DISCUSSION

The comparative analysis demonstrates that different quantitative models provide complementary insights into the relationship between logistics capacity and export performance. From a construction and infrastructure policy perspective, the choice of analytical model has direct implications for how investment priorities are identified, evaluated and justified. Models that focus solely on trade volumes may underestimate the structural inefficiencies embedded in logistics systems, while efficiency-oriented approaches provide clearer signals for targeted infrastructure intervention. For Vietnam, logistics development is fundamentally an infrastructure-driven process that depends on sustained public and private investment in transport networks, ports, logistics centers and supporting facilities. Although recent years have witnessed significant expansion of expressways, deep-sea ports and inland container depots, empirical evidence suggests that export growth has not been matched by proportional improvements in export efficiency. This indicates diminishing marginal returns from isolated infrastructure expansion without systemic optimization.

In this context, the Structural Gravity Model is particularly suitable for evaluating large-scale infrastructure programs, such as port expansion or national logistics corridor development, by estimating their aggregate impact on trade flows. However, gravity-based results alone do not reveal whether such investments close existing efficiency gaps. Stochastic Frontier Analysis offers a valuable complementary tool by quantifying the distance between Vietnam's actual exports and its potential export frontier, thereby identifying where logistics-related inefficiencies persist despite increased construction investment. From an implementation standpoint, construction authorities and infrastructure planners can use frontier-based efficiency estimates to prioritize projects that deliver the greatest efficiency gains rather than merely expanding capacity. For example, investments in intermodal connectivity, cold-chain logistics facilities and port-hinterland integration may yield higher efficiency returns than further capacity expansion at already congested nodes. System Dynamics modelling can further support long-term planning by simulating congestion effects, maintenance cycles and feedback loops between infrastructure investment, service quality and export performance. Overall, an integrated analytical strategy that combines gravity-based trade analysis with efficiency measurement and dynamic simulation provides a robust evidence base for construction and infrastructure policy in Vietnam. Such an approach aligns infrastructure investment decisions with national objectives of logistics cost reduction, export competitiveness, and sustainable economic development.

## 5. CONCLUSION

This study has provided a comparative analysis of major quantitative models used to assess the relationship between national logistics infrastructure and export efficiency from a construction and infrastructure economics perspective. The analysis shows that logistics capacity is a multidimensional phenomenon, and different model families capture different mechanisms through which infrastructure investment influences export outcomes. Trade cost-based gravity models are effective in evaluating the aggregate trade impacts of large-scale infrastructure programs, while frontier efficiency approaches explicitly measure the gap between actual and potential export performance attributable to logistics constraints. Reduced-form panel regressions offer useful trend evidence but limited structural insight, whereas System Dynamics modelling captures long-term interactions, feedback loops, and infrastructure life-cycle effects. The findings suggest that no single model is sufficient for infrastructure-oriented export analysis. Instead, an integrated multi-model approach provides the most robust analytical foundation for construction and infrastructure policy. By combining gravity-based assessment of macro-level impacts, frontier analysis of efficiency gaps and dynamic simulation of long-term system behaviour, policymakers can better align logistics infrastructure investment with export efficiency objectives. This integrated perspective supports more effective prioritization of infrastructure projects and contributes to sustainable export competitiveness in developing economies such as Vietnam.

**Acknowledgements:** This research is funded by Vietnam Maritime University under grant number DT25-26.134.

### REFERENCES

[1] Anderson, J.E., van Wincoop, E. Trade costs. *American Economic Review,* 94(3), 691-751, 2004.

[2] Arvis, J.F., Saslavsky, D., Ojala, L., Shepherd, B., Busch, C. Connecting to compete: Trade logistics in the global economy. *Washington DC: World Bank,* 2018.

[3] Behar, A., Manners, P., Nelson, B.D. Exports and international logistics. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 75(6), 855-886, 2013.

[4] Coelli, T., Rao, D.S.P., O'Donnell, C.J., Battese, G.E. An introduction to efficiency and productivity analysis. *New York: Springer,* 2005.

[5] Donaldson, D. Railroads of the Raj: Estimating the impact of transportation infrastructure. *American Economic Review,* 108(4-5), 899-934, 2018.

[6] Martí, L., Puertas, R., García, L. The importance of the logistics performance index in international trade. *Transportation Research Part A: Policy and Practice,* 66, 279-294, 2014.

[7] Melitz, M.J. The impact of trade on intra-industry reallocations and aggregate industry productivity. *Econometrica,* 71(6), 1695-1725, 2003.

[8] Prime Minister of Vietnam. Decision No. 200/QD-TTg on the action plan to improve competitiveness and develop logistics services by 2025. *Hanoi*, 2017.

[9] Sterman, J.D. Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world. *Boston: McGraw-Hill,* 2000.

[10] World Bank. Logistics Performance Index 2023. *Washington DC: World Bank,* 2023.

■Ngày nhận bài: 04/02/2026 ■Ngày sửa bài: 26/02/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 04/3/2026

# Kalman Filter-Based LQR Control for a Semi-Active Suspension System

## Nghiên cứu điều khiển hệ thống treo bán chủ động sử dụng bộ điều khiển LQR và bộ lọc Kalman

> **MSC NGUYEN TUAN THANH**
University of Transport and Communications
Email: thanhnt_kat@utc.edu.vn

**ABSTRACT**

Semi-active suspension systems provide an effective solution for improving vehicle ride comfort with reasonable cost and system complexity. This paper proposes a control strategy for a semi-active suspension system based on a linear time-invariant (LTI) half-car dynamic model, which accounts for the vertical and pitch motions of the vehicle body as well as the vibrations of the front and rear wheels. A Kalman filter is designed to estimate the unmeasured system states using a limited set of measured signals. Based on the estimated states, a linear quadratic regulator (LQR) is employed to determine the optimal control force of the dampers, which is subsequently mapped to satisfy thephysical constraints of the semi-active suspension system. Simulation results obtained in MATLAB demonstrate that the proposed approach significantly improves ride comfort compared to the passive suspension system.

**Keywords:** Kalman; semi-active suspensions; suspension system; LTI; dahl model.

**TÓM TẮT**

Hệ thống treo bán chủ động cung cấp một giải pháp hiệu quả để cải thiện độ êm dịu chuyển động của xe với chi phí và độ phức tạp hệ thống ở mức hợp lý. Bài báo đề xuất một chiến lược điều khiển cho hệ thống treo bán chủ động dựa trên mô hình động lực học 1/2 xe, trong đó xét đến chuyển động thẳng đứng và chuyển động quay quanh trục ngang của thân xe, cũng như dao động của bánh trước và bánh sau. Bộ lọc Kalman được thiết kế nhằm ước lượng các trạng thái của hệ thống, sử dụng một số lượng hạn chế các tín hiệu đo. Dựa trên các trạng thái đã được ước lượng này, bộ điều khiển LQR được áp dụng để xác định lực điều khiển tối ưu của các giảm chấn, sau đó lực này được ánh xạ để thỏa mãn các ràng buộc vật lý của hệ thống treo bán chủ động. Kết quả mô phỏng được thực hiện trong phần mềm MATLAB cho thấy phương pháp đề xuất cải thiện đáng kể độ êm dịu chuyển động của xe so với hệ thống treo thụ động.

**Từ khóa:** Treo bán chủ động; bộ lọc Kalman; điều khiển LQR; mô hình Dahl.

### 1. INTRODUCTION

Ride comfort and vehicle stability are critical performance criteria that directly affect passenger comfort, driving safety and the durability of mechanical components. The suspension system plays a crucial role in isolating road-induced vibrations from the vehicle body while ensuring adequate tire–road contact [1, 2]. In practice, conventional passive suspension systems with fixed parameters are unable to provide optimal performance under varying operating conditions and road profiles.

Active suspension systems can significantly improve vibration performance by employing force-generating actuators [4]. However, their high cost, substantial power requirements, and increased complexity in design and maintenance limit their widespread application in commercial vehicles. In this context, semi-active suspension systems have emerged as a promising compromise between control effectiveness and practical feasibility, as they regulate damping characteristics without the need for large external energy sources [3].

In recent years, various control strategies for semi-active suspension systems have been investigated, including Skyhook and Groundhook control, linear quadratic regulator (LQR) control, robust control and intelligent control approaches [4]. Most early studies focused on quarter-car models to simplify the control problem. Nevertheless, such models fail to adequately capture the pitch motion of the vehicle body, which has a significant influence on ride comfort and vehicle stability when the vehicle encounters uneven or asymmetric road excitations [2]. To overcome this limitation, half-car models have been introduced to simultaneously describe the vertical and pitch motions of the vehicle body as well as the dynamic behaviors of the front and rear wheels [5]. However, many existing studies assume that all system states are directly measurable, which is impractical due to limitations in sensor availability, cost and measurement reliability in real applications.

Moreover, advanced control techniques such as H∞ control or linear parameter-varying (LPV) control have demonstrated high performance [4], but require complex controller structures and sophisticated tuning procedures, which hinder their implementation in commercial semi-active suspension systems. Therefore, there remains a demand for control strategies that are simple, easy to implement and yet capable of achieving substantial vibration reduction compared to passive suspension systems.

The research gap lies in the limited number of studies that simultaneously integrate a linear time-invariant (LTI) half-car model, state estimation using a Kalman filter with a limited set of measured signals [6] and LQR-based optimal control [7] for semi-active suspension systems. In particular, comprehensive simulation-based evaluations that explicitly account for vehicle pitch dynamics remain scarce. In addition, the mapping of optimal control forces to the practical constraints of semi-active dampers has not been clearly addressed in many previous works.

Motivated by these considerations, this paper proposes a control strategy for a semi-active suspension system based on an LTI half-car dynamic model. A Kalman filter is employed to estimate unmeasured states from limited sensor measurements, while an LQR controller is designed to determine the optimal damping force. The optimal control force is subsequently mapped to satisfy the physical constraints of the semi-active suspension system. The effectiveness of the proposed approach is evaluated through simulations in the MATLAB environment, with a focus on ride comfort improvement and direct comparison with a passive suspension system.

## 2 METHODOLOGY

This section presents the methodology adopted in this study, including the half-car dynamic modeling, state estimation using a Kalman filter, LQR-based optimal control design and the implementation of physical constraints for the semi-active suspension system.

### 2.1. Half-Car Dynamic Model

A half-car model is employed to describe the vertical and pitch motions of the vehicle body as well as the vertical dynamics of the front and rear wheels. This model allows the asymmetric road excitations and pitch effects to be captured more accurately than a quarter-car model. Under the assumption of small motions, the system dynamics are linearized and expressed in the linear time-invariant (LTI) state-space form:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + Ew(t) \quad (1)$$

Where: *x(t)* is the state vector, *u(t)* is the control input vector representing the semi-active damping forces and *w(t)* denotes the road disturbance inputs at the front and rear wheels.

The state vector is defined as:

$$x = \begin{bmatrix} z_b \\ \theta \\ z_{wf} \\ z_{wr} \\ \dot{z}_b \\ \dot{\theta} \\ \dot{z}_{wf} \\ \dot{z}_{wr} \end{bmatrix} \quad (2)$$

The state-space matrices A, B, and E are derived from the vehicle parameters, suspension stiffness and damping coefficients, tire stiffness and geometric properties of the vehicle.

### 2.2. State Estimation Using Kalman Filter

In practical applications, not all system states are directly measurable due to sensor limitations. Therefore, a Kalman filter is employed to estimate the unmeasured states based on a limited number of measured outputs. Considering process noise and measurement noise, the system is described as:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + Ew(t) + \quad v(t)y(t) = C\,x(t) + n(t) \quad (3)$$

Where: *v(t)* and *n(t)* denote a zero-mean Gaussian process and measurement noise, respectively. The Kalman filter estimator is given by:

$$\dot{\hat{x}}(t) = A\hat{x}(t) + Bu(t) + L[y(t) - C\hat{x}(t)] \quad (4)$$

Where: is the estimated state vector and L is the Kalman gain matrix obtained by solving the associated algebraic Riccati equation.

### 2.3. LQR-Based Optimal Control Design

Based on the estimated states, an LQR controller is designed to minimize the vibration of the vehicle body and suspension deflections while limiting the control effort. The performance index is defined as:

$$J = \int_0^{\infty} (x^T Q x + u^T R u)\, dt \quad (5)$$

Where: Q and R are positive semi-definite and positive definite weighting matrices, respectively. The optimal control law is expressed as:

$$u(t) = -K\hat{x}(t) \quad (6)$$

### 2.4. Semi-Active Suspension Constraints

Since semi-active suspension systems cannot generate arbitrary control forces, the LQR control force must satisfy physical constraints. In this study, the control force is constrained to ensure energy dissipation:

$$u_i(\dot{z}_b \pm l_i\dot{\theta} - \dot{z}_{wi}) \le 0, \quad i = f, r \quad (7)$$

The final control force applied to the semi-active damper is selected as the admissible value that is closest to the optimal LQR force while satisfying the above constraint.

### 2.5. Dahl Hysteresis Model for MR Damper

To describe the hysteretic behavior of the magnetorheological (MR) damper, a simplified Dahl model is employed. The hysteresis dynamics are represented by an internal state variable , governed by:

$$\dot{z} = a\, v_{rel} - \frac{a|v_{rel}|}{F_c}\, z \quad (8)$$

Where: $v_{rel}$ denotes the relative velocity across the damper, controls the rate of hysteresis evolution and $F_c$ is a Coulomb-like force parameter. The corresponding hysteretic force is given by:

by

$$F_h = k\, z, \quad (9)$$

with being a scaling coefficient. This compact formulation efficiently captures the essential hysteresis characteristics of MR dampers while remaining suitable for control-oriented simulations.

### 2.6. Simulation Procedure

The proposed control strategy is evaluated through numerical simulations implemented in MATLAB. The performance of the semi-active

suspension system is compared with that of the passive suspension system using ride comfort-related indices under various road excitation scenarios.

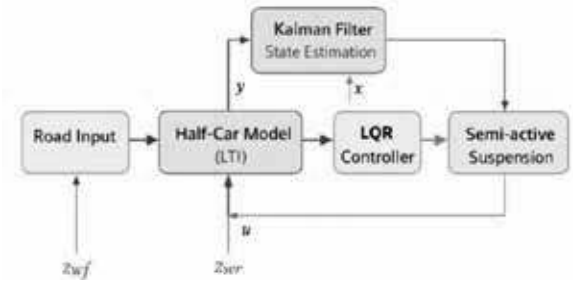



Figure 1. Block diagram of the LQG-controlled semi-active half-car suspension system

## 3. SIMULATION RESULTS AND DISCUSSION

The vehicle, modeled as a Hyundai Elantra-class passenger car, is assumed to travel in a straight line at a constant speed of 50 km/h on a dry road surface with a road-tire adhesion coefficient of μ = 1. The road input is a vertical excitation with an amplitude of 5 cm**,** applied simultaneously to the left and right wheels from t = 0.5s to t = 1.0s, and is used to evaluate the vehicle body heave and pitch responses.

Under the 5 cm speed bump excitation applied simultaneously to both axles, the LQG for the MR damper exhibits a clear improvement over the passive system. The peak vertical body acceleration is reduced by approximately 11.4%**,** while the RMS acceleration is reduced by about 18.0%, indicating a noticeable enhancement in ride comfort during transient motion.

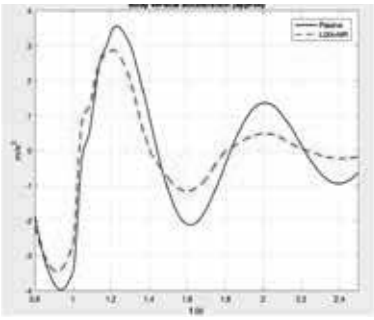


Figure 2. Comparison of body vertical acceleration between passive suspension and LQG control for MR damper

The comparison between the desired LQR forces and the realized MR damper forces indicates that the MR damper is able to effectively track the trend of the optimal LQR control force, although with limited magnitude due to semi-active constraints. This confirms that the MR damper provides effective energy dissipation while respecting physical limitations.

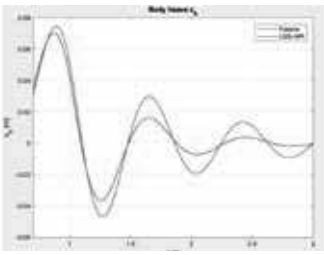


Figure 3. Comparison of body heave displacement between passive suspension and LQG control for MR damper

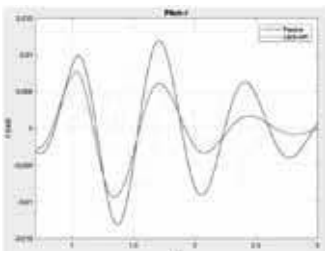


Figure 4. Comparison of pitch angle responses between passive suspension and LQG control for MR damper

## 4. CONCLUSIONS

This study has presented an LQG-based semi-active suspension control strategy using an MR damper for a half-car vehicle model. The simulation results demonstrate that the proposed LQG for the MR damper approach achieves superior vibration suppression and improved ride comfort compared to the passive suspension, particularly under severe road disturbances.

Although the MR damper cannot fully reproduce the desired LQR control force due to its semi-active nature and nonlinear characteristics, it is able to effectively follow the overall trend of the optimal control force and provide significant energy dissipation. This confirms the practical feasibility and effectiveness of the proposed control strategy for semi-active suspension systems.

Future research will focus on enhancing MR damper force tracking through improved nonlinear modeling and advanced control allocation techniques. In addition, the controller performance will be further investigated under varying vehicle speeds, stochastic road profiles and asymmetric road excitations, along with experimental validation to assess real-world applicability.

## REFERENCES

[1] T. D. Gillespie. Fundamentals of Vehicle Dynamics. *SAE International, Warrendale, PA, USA,* 1992.

[2] Vũ Văn Tân. An H∞/LPV controller synthesis for the semi-active suspension system on cars. *Transport and Communications Science Journal,* vol. 71, no. 9, pp. 1061-1072, 2020, doi:10.47869/tcsj.71.9.5.

[3] H. Du, N. Zhang and W. Li. Two-layer parallel fuzzy logic controller design for semi-active vehicle suspensions. *Vehicle System Dynamics,* vol. 49, no. 5, pp. 739-765, 2011, doi:10.1080/00423114.2010.527550.

[4] W. Elsaady, S. O. Oyadiji and A. Nasser. Evaluation of nonlinear dynamic phenomena in the hysteretic behaviour of magnetorheological dampers. *Applications in Engineering Science,* vol. 3, Article ID 100019, 2020, doi:10.1016/j.apples.2020.100019.

[5] S. K. Priyatharrshan, T.-P. Pham and O. Sename. Identification and comparison of two nonlinear extended phenomenological models for an automotive electrorheological damper. *IFAC-PapersOnLine,* vol. 54, no. 7, pp. 439-444, 2021, doi:10.1016/j.ifacol.2021.08.260.

[6] X. Cao, L. Cao, và D. Wang. The exact linearization and LQR control of semi-active connected hydropneumatic suspension system. *Journal of Control Science and Engineering,* vol. 2015, Article ID 690917, 2015, doi:10.1155/2015/690917.

[7] G. Tarehalli Mata, V. Mokenapalli and H. Krishna. Performance analysis of MR damper-based semi-active suspension system using optimally tuned controllers. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, *Part D: Journal of Automobile Engineering,* vol. 235, no. 10-11, pp. 2871-2884, 2021, doi:10.1177/0954407021995385.

[8] M. Ahmed and F. Svaricek. Preview control of semi-active suspension based on a half-car model using fast Fourier transform. *Proceedings of the 10th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices,* Hammamet, Tunisia, pp. 1-6, 2013.

[9] C. S. Díaz-Choque, L. C. Félix-Herrán and R. A. Ramírez-Mendoza. Optimal skyhook and groundhook control for semi-active suspension: A comprehensive methodology. *Shock and Vibration,* vol. 2021, Article ID 8084343, 21 pages, 2021, doi:10.1155/2021/8084343.

[10] S. Kashem, R. Nagarajah and M. Ektesabi. Vehicle Suspension Systems and Electromagnetic Dampers. *Springer, Singapore,* 2018.

[11] Vũ Văn Tân. Two-layer parallel fuzzy logic controller design for semiactive suspension system with a full car model. *Shock and Vibration,* vol. 2023, Article ID 7020462, 19 p, 2023, doi:10.1155/2023/7020462.

■Ngày nhận bài: 26/01/2026 ■Ngày sửa bài: 03/02/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 12/02/2026

# A study of using municipal solid waste incineration bottom ash in Vinh Long Province partly replace river sand in concrete

## Nghiên cứu sử dụng tro đáy của nhà máy đốt rác thải rắn sinh hoạt tại tỉnh Vĩnh Long để thay thế một phần cát sông trong bê tông

> **SA REN VAN HUYNH[1,3], ANH THANG LE[2], TUAN KIET TRAN[2]**
[1]Ho Chi Minh City University of Technology and Engineering
[2]Ho Chi Minh City University of Technology and Engineering
[3]Tra Vinh University

**ABSTRACT**

Natural sand is a particularly significant problem for places in Vietnam, where river sand as fine aggregates is in scarcity. On the other hand, the amount of bottom ash generated by waste incineration is increasing significantly in local areas of Vietnam. Global research has indicated a significant interest in utilising municipal solid waste incineration bottom ash (MSWI BA) as a fine aggregate in concrete. However, MSWI BA may reduce concrete performance because its chemical composition varies randomly from location to location. Thus, this study assesses the effect of MSWI BA generated from a waste incineration plant in Vinh Long Province on compressive strength, workability, and ultrasonic pulse velocity (UPV). Samples were designed with a water-to-binder ratio of 0.26, and 25% and 50% bottom ash replacing river sand, respectively. The experimental results demonstrated that replacing river sand with this kind of bottom ash significantly affects compressive strength and workability. To meet the minimum requirements for most commercial construction projects, the percentage of MSWI BA replacing river sand must be carefully evaluated. The results of the study confirm the abilities of MSWI BA in Vinh Long Province as a substitute for river sand in conventional concrete used in civil buildings.

**Keywords:** Conventional concrete; workability, compressive strength, BA, ultrasonic pulse velocity.

**TÓM TẮT**

Cát tự nhiên đã giảm số lượng đặc biệt nghiêm trọng ở nhiều địa phương ở Việt Nam, do cát sông được sử dụng nhiều làm cốt liệu mịn. Trong khi đó, lượng tro đáy thu được từ các nhà máy đốt rác đang tăng lên đáng kể tại các địa phương. Nghiên cứu trên thế giới cho thấy có sự quan tâm lớn đến việc sử dụng tro đáy từ việc đốt rác thải sinh hoạt (MSWI) làm cốt liệu mịn trong bê tông. Tuy nhiên, tro đáy MSWI có thể làm giảm hiệu suất của bê tông vì thành phần hóa học của nó thay đổi ngẫu nhiên tùy theo địa điểm. Do đó, mục đích của nghiên cứu này là đánh giá ảnh hưởng của tro đáy MSWI từ một nhà máy đốt rác ở tỉnh Vĩnh Long đối với cường độ nén, tính công tác và vận tốc xung siêu âm. Các mẫu bê tông được thiết kế với tỷ lệ nước/chất kết dính là 0,26, trong đó cát sông được thay thế bằng tro đáy ở tỷ lệ 25 % và 50 %. Kết quả thực nghiệm cho thấy việc thay cát sông bằng loại tro đáy này ảnh hưởng đáng kể đến cường độ nén và tính công tác. Nhằm đáp ứng các yêu cầu tối thiểu của nhiều công trình xây dựng thương mại, hàm lượng MSWI BA dùng thay cát sông cần được nghiên cứu kỹ lưỡng. Kết quả nghiên cứu cho thấy MSWI BA ở Vĩnh Long có thể được sử dụng thay thế cát sông trong bê tông thông thường cho các công trình xây dựng dân dụng.

**Từ khóa:** Bê tông truyền thống; độ sụt; cường độ nén; tro đáy; tốc độ truyền sóng.

### 1. INTRODUCTION

The recent surge in infrastructure development in Vietnam has boosted demand for concrete. Concrete is widely adopted as a construction material because of its low cost and simple technology. Natural coarse river sand with a fineness modulus of 2.0 - 3.4 is commonly used as fine aggregate in cement-based concrete production in Vietnam. River sand is considered an inert filler material that plays a key role in concrete mix design, influencing the concrete's strength and workability. In 2020, the supply of river sand from domestic legal mining areas was sufficient to meet only 40 - 50% of Vietnam's domestic demand [1].

In Vietnam, industry and service are currently developing in tandem. As a result, municipal solid waste generates quite a large [2]. As a result, the number of municipal waste incineration plants was increased. By the end of 2023, there were 467 municipal waste incineration plants, By early 2025, in some localities of Vietnam, the total daily input of waste to incineration plants including Can-Tho (400 tons/day), Soc-Son (4,000 tons/day), plants in Bac-Ninh (1,480 tons/day) and Phu-Son Thua-Thien-Hue (600 tons/day) reached approximately 6,480 tons/day; correspondingly, the amount of waste that can be incinerated is about 6,480 tons/day, generating an estimated 1,620 - 1,944 tons/day of bottom ash and 194–324 tons/day of fly ash [3]. Research indicates that the by-products generated after incinerating municipal solid waste can constitute approximately 20% of the input waste (bottom ash accounts for about 70% of the remaining material after burning, and 30% is fly ash) [4, 5]. The reuse of waste materials has increasingly captured the attention of both the government and research groups. Replacing bottom ash with river sand is a promising strategy, as it can reduce concrete production's environmental impacts on air, water, and land. Multiple experiments have been conducted to assess the impact of replacing natural aggregates with bottom ash on the strength of conventional concrete [2]. Practical applications have demonstrated that bottom ash could partially replace natural aggregates, thereby reducing demand for river sand [6]. Therefore, reusing local industrial by-products as substitutes for river sand, such as MSWI BA, is essential for developing a sustainable construction industry.

Research demonstrates that, despite its lower density, rough surface, sharp edges, and increased porosity relative to river sand, bottom ash can be effectively incorporated into concrete mixtures when suitable processing and mixing techniques are applied, without significantly degrading concrete quality [6]. The optimal bottom ash ratio in concrete has been thoroughly investigated, as concrete performance requires a balance between compressive strength and workability. The compressive strength of concrete typically diminishes as the bottom ash replacement ratio increases. However, strength depends on both ash content and ash proportion. Tuyen et al. [7] demonstrated that up to 30% of river sand could be replaced with bottom ash without any loss of compressive strength compared to a control mix. Tuyen and Phuoc [8] studied a mixture of fly ash and bottom ash and also found that a replacement level of 10–20% is appropriate, as the compressive strength of the brick decreases significantly above 20% and water absorption increases markedly. Vu Ngoc Tru et al. [9] showed that fly ash and bottom ash from the Ngoi Sao Xanh waste-to-energy plant can replace 20 - 30% of the total binder to produce high-strength concrete. The mixes achieved 28-day compressive strengths of approximately 50 - 60 MPa. Their experimental results indicate that there are limitations to replacing bottom ash at higher ratios, such as 50%.

When bottom ash is used to replace fine aggregates, the workability of concrete mixtures, as measured by slump, changes markedly. Test results reported that slump decreases progressively as the proportion of bottom ash increases. With a constant water-to-cement ratio of 0.55, substituting bottom ash for cement reduced the slump from 68 mm in the control mix to 55 mm at a replacement level of around 15 % [10]. Tru et al. reported that mixes achieved slumps of 15 - 20 cm at a 30% replacement level [11]. It was explained that bottom ash particles have a high water-absorption capacity because they contain many pores and exhibit strong particle friction.

Thus, two important properties of concrete are strength and slump, selected as the main characteristics surveyed in the study experiment. The study assessed conventional concrete mixtures in which 25% and 50% of the river sand were replaced with MSWI BA, yielding compressive strengths and workability compared with the standard TCVN 3118 [13] and ASTM C143 [12], respectively. Additionally, the measured UPV value is used to assess the density and internal structure of concrete when using bottom ash from Vinh Long province.

## 2. EXPERİMENTAL PROGRAM

### 2.1. Materials and mixtures

In this experiment, Portland cement (OPC) was the main binder used in conventional concrete mixes. The properties of the cement were in accordance with the ASTM C150/C150M standard [13]. The OPC required 28.4% (by mass) water to achieve normal consistency, and its initial and final setting times were 180 minutes and 240 minutes, respectively [13]. Recycled aggregate, specifically MSWI BA, is used as a substitute for river sand. Two values of 3150kg/m$^3$ and 2200kg/m$^3$ represent the particle density of OPC and MSWI BA, respectively. The chemical compositions of binder materials are presented in Table 1. The MSWI BA used in the experiment was obtained from the MSWI plant in Vinh Long province. The MSWI BA has also been screened to obtain particle sizes less than 3 mm. Table 2 shows the particle size information. The water-to-binder ratio (w/b) was fixed at 0.26 for all mixtures.

Table 1. Chemical compositions of ordinary OPC and MSWI BA

| Component | OPC (%) | MSWI BA Vinh Long (%) |
|---|---|---|
| $SiO_2$ | 17-25 | 36.00 |
| $Fe_2O_3$ | 0.5- 6.0 | 2.90 |
| $Al_2O_3$ | 3.0-8.0 | 2.90 |
| CaO | 60-67 | 15.5 |
| MgO | 0.1-4.0 | 0.80 |
| $SO_3$ | 1.0-3.0 | - |
| $K_2O$ | 0.5-1.3 | 0.76 |
| $Na_2O$ | | - |
| $TiO_2$ | - | 1.30 |
| Cl- | - | 2.91 |

Table 2. Characteristic of MSWI BA in Vinh Long

| Particle size | Unit | MSWI BA |
|---|---|---|
| < 5 mm | % | 72.8 |
| 5 - 10 mm | % | 15.2 |
| 10 - 20 mm | % | 8.3 |
| 20 mm | % | 3.7 |
| Specific gravity | g/cm$^3$ | 2.49 |
| Water absorption | % | 10.3 |

River sand used in the concrete mix has a density of 2600 kg/m3, a clay percentage of 1.9%, and a fineness modulus of 2.9. The coarse aggregate was limestone gravel with a density of 2670 kg/m3, a clay content of 0.6%, and a particle size not exceeding 5mm. Additionally, a high-performance superplasticiser based on polycarboxylate was used to enhance the workability of concrete mixtures. This is Sika ViscoCrete 8579, which complies with ASTM C494 standards [14].

The experimental program was designed according to three mix designs presented in Table 3. The control sample BA00 used 495 kg of Portland cement (OPC), 740 kg of river sand, 1020 kg of coarse aggregate, no bottom ash (0 kg), 130 kg of water, and 6 kg of superplasticizer. The BA25 sample retained the original quantities of cement and aggregate, reduced the river sand to 550 kg, and replaced it with 185 kg of bottom ash; the water and additive components were unchanged. The BA50 sample was formulated to replace 50% of the

river sand with 370 kg of bottom ash, retaining 370 kg of sand, while the quantities of cement, aggregate, water, and additive were consistent with those of the control sample. Three cylindrical specimens were created for each mix design using ASTM C31 [15] standards for evaluating the mechanical properties of concrete.

Table 3. Shows the composition of the five sample mixtures studied.

| Sample | OPC (Kg) | River sand (Kg) | Agregate (Kg) | MSWI BA (Kg) | Water (Kg) | Superplasticizer (Kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| BA00 | 495 | 740 | 1020 | 00 | 130 | 6 |
| BA25 | 495 | 550 | 1020 | 185 | 130 | 6 |
| BA50 | 495 | 370 | 1020 | 370 | 130 | 6 |

**2.2. Compressive strength test**

Concrete is cast into cylinders measuring 150 × 300 mm as specified by ASTM C31 [15]. Prior to compressive strength testing, each cylindrical specimen was cleaned. The diameter was measured in two orthogonal directions, and the height was measured using precision calipers. The top and bottom faces of each sample were inspected to ensure geometrical flatness and axial perpendicularity and orthogonality to the cylinder axis; the allowable deviation from flatness did not exceed 0.05 mm. The ends are capped with either sulfur mortar to ensure uniform load transmission. After curing for 28 days, the specimen is centred in the compression testing machine (Fig. 1c), and the load is applied steadily at a rate of 0.15 MPa/s until failure. Document the maximum load, identify the kind of failure, and compute the compressive strength by dividing the maximum load by the cross-sectional area. The reported strength is the average of three cylinders.

**2.3. Workability test**

As shown in Fig. 1a, the equipment for the slump test includes a bucket, a feed hopper, a tamping rod, a vertical ruler, and a base plate. The basic slump bucket mold is a cone with a top diameter of 100 mm, a bottom diameter of 200 mm, and a height of 300 mm, as specified in ASTM C143/C143M [16], to evaluate its workability. The slump test was conducted on a representative sample of fresh concrete taken from the batch and thoroughly mixed before testing. The Abrams cone and its base were moistened, placed on a hard, impermeable, flat surface, and held in place throughout the process. Concrete was poured into the cone in three nearly equal layers, each layer compacted 25 times with a tamping rod for even distribution, with the top layer softly tamped to reach the underlying layers; subsequently, the cone's rim was leveled. The cone was raised vertically and steadily, without rotation, to permit the concrete to slump, with the slump measured by the height differential between the cone's rim and the apex of the concrete mass post-slump.

The slump test was conducted at room temperature (25°C). Fig. 1a shows the slump results for the mixe control in the experiment. Mixtures BA 25 and BA50 were mixed and measured, and the slump was determined as for the control sample; the measurement results are shown in Fig. 3. Before the slump test, water was sprayed on the inside of the bucket and the base plate. The slump values for each concrete mixture were calculated as the average of three test results, with a relative error of less than 12%.

**2.4. Speed of ultrasonic pulses test**

The UPV test is a widely used method for verifying concrete quality without breaking specimens. It does this by measuring the time it takes an ultrasonic pulse to pass through a sample. This way provides a lot of important information on the properties of materials, such as their density, flexibility, and the presence of discontinuities, such as microcracks or pores [17, 18]. Materials with faster pulse speeds are usually denser and have higher compressive strength. Materials with lower velocities may have more pores or internal cracks. The UPV testing was conducted in accordance with EN 12,504–4 [18]. All samples were carefully prepared before testing to ensure they were free of surface contaminants. The ultrasonic pulse velocity of the concrete sample demonstrates the feasibility of measurement using a specialized handheld instrument (Fig. 1b). Before experimentation, the specimen surface was cleaned to ensure proper contact between the probe and the sample. The probe of the device was positioned perpendicular to the specimen surface and in intimate contact to minimize signal loss due to air gaps. The device generated ultrasonic pulses and recorded the time these pulses took to travel through the specimen under investigation. The pulse velocity was then calculated using the known transmission distance between two probes of the device. The measurement was taken at eight different locations, and each measurement point was repeated three times. The final velocity was determined by averaging the measurements to increase reliability.

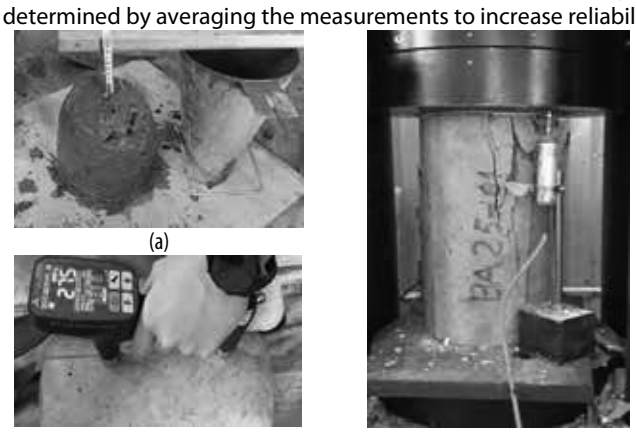



Figure 1. Testing of concrete specimens incorporating MSWI BA: (a) the slump, (b) ultrasonic pulse velocity measurement, (c) compressive strength

**3. RESULTS AND DISCUSSION**

**3.1. Compressive strength**

The experimental results show that partially replacing river sand with MSWI BA affects the compressive strength of conventional concrete (Fig. 2). The control mix had a compressive strength of 43.57 MPa. When 25% of the particles were replaced, the strength increased to 49.45 MPa (an increase of 13.5%). This was because the particles packed more tightly, making the matrix denser. When the bottom ash ratio was increased to 50 %, the experiment test specimen failure load dropped to 38.32 kN, about 12% lower than the control. The transition zone between the aggregate and the cement mortar has increased porosity due to the greater porosity of MSWI BA particles in the concrete mixture, thereby increasing the concrete's internal porosity [19]. This is the primary reason for the reduction in concrete strength.

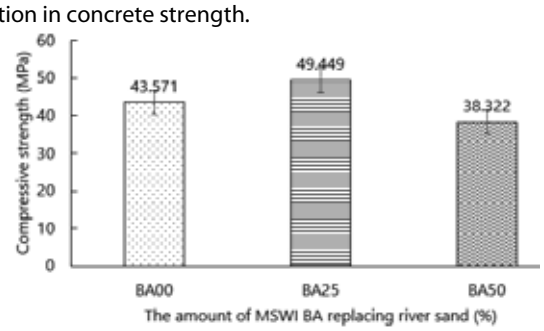



Figure 2. Compressive strength of concrete utilised MSWI BA

Fig. 2 shows a trend similar to that reported in published studies [19, 20] regarding MSWI BA in the concrete mix. Sachdeva & Khurana's tests on concrete with MSWI BA [20] found that compressive strength was not significantly affected up to a 50% replacement level. However, the study by Sachdeva & Khurana recommends limiting bottom ash replacement to about 20% to maintain compressive strength and durability. Park et al [21] observed that river fine aggregate was replaced with coal bottom ash at 25%, 50%, 75%, and 100%, and that compressive strength decreased as the bottom ash content increased.

Based on the compressive strength figures after 28 days for the three mixes, a clear increasing-decreasing trend can be observed: at a 25% replacement level (BA25), the strength increased from 43.571MPa of BA00 to 49.449MPa, an increase of approximately 13.5% compared to the control sample; when the replacement level was raised to 50% (BA50), the strength decreased to 38.322MPa, about 12% lower than the control sample. This result shows that replacing 25% of river sand with bottom ash not only maintained but also improved compressive strength, whereas replacing 50% began to degrade it. Although the strength of BA50 was still much higher than previous studies reported, Tuyen [8] reported a strength of 20 MPa when replacing 30% of sand with bottom ash, which was equivalent to or higher than the 31- 36 MPa range reported by Ojha et al. [22]. At a 50% replacement level, the downward trend suggests the optimal replacement level is only 25 - 30%, and replacement above 50% should be avoided due to significant intensity degradation.

Overall, many studies converge on the view that replacement levels above about half of the fine aggregate substantially reduce compressive strength and the overall performance of the concrete [19]. The value of compressive strengths 49.45 MPa, 38.32 MPa, and 43.57 MPa of mix BA25, BA50, and BA00, respectively, for conventional compressive strength concrete (>30MPa). These values indicate that concrete containing bottom ash can easily meet or exceed the strength requirements for conventional construction. This observation implies that MSWI BA can serve as an environmentally friendly substitute for sand while providing viable strength for contemporary building needs.

**3.2. Workability**

Fig. 3 shows that the ratio of MSWI BA components directly influences the slump. The experimental results indicate that replacing river sand with MSWI BA slightly increases the slump at a 25% replacement ratio (190 mm) compared to the standard samples BA00 (160 mm), and then the slump decreases as the bottom ash ratio increases to 50% (80 mm). The workability of concrete partly reflects its quality and directly affects the construction process. The slump value of 80 mm for MSWI BA replacing natural river sand is generally accepted as workable in field construction.

The notable variation in slump primarily results from the material characteristics of bottom ash. Considering that MSWI BA is lightweight, porous, and has a higher water absorption capacity than river sand, replacing 25% of natural sand increases the free water content of the mixture, thereby improving its fluidity. Consequently, the decline intensifies. This result aligns with an assessment reported by Bawab, J. et al. [23]. They reported that replacing sand with 25% bottom ash increases the slump, whereas the slump decreases at higher replacement ratios.

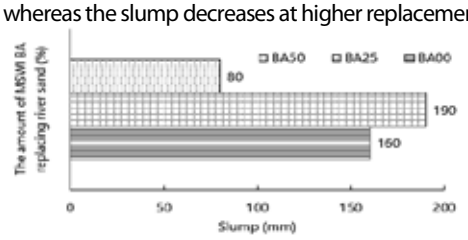



Figure 3. Slump of conventional concrete

The experimental results are also consistent with those of Lu et al. [24]. They reported that ordinary concrete in which sand was replaced with about 33 - 50% of treated MSWI BA achieved a slump of 20 mm, lower than the 25 mm measured in mixes in which MSWI BA content was less than 25%. Nanda and Rout [25] studied M20 concrete in which 50% of natural sand was replaced with MSWI BA. Nanda and Rout recommend that the water content can be adjusted to enhance the workability of the ash at higher levels when replacing 50% of the bottom ash.

**3.3. Ultrasonic pulse velocity (UPV) compared to compressive testing**

Results of UPV measured at 28 days for specimens of BA00, BA25, and BA50 were 4327, 3861, and 3608 m/s, respectively. According to BS 1881-1983 [25] and the Whitehurst classification [26], UPV values from 3500 to 4500 m/s are considered "good quality", while only those exceeding 4500 m/s achieve "excellent quality" concretes. The UPV value of the control mixture (BA00 samples without bottom ash) approaches the threshold of an excellent concrete, while replacing 25% (BA25) and 50% (BA50) of river sand with MSWI BA significantly reduces pulse velocity.

At a 25% replacement level of sand with bottom ash, two opposing microstructural effects on compressive strength and UPV can be observed simultaneously. On the one hand, bottom ash with a suitable particle size distribution can improve the overall particle size distribution and create a filler effect, filling the voids between fine aggregate particles, increasing packing density, and compacting the cement paste matrix, thereby increasing the compressive strength of the system. On the other hand, bottom ash particles themselves often have a porous structure with many open pores and a rough surface, leading to the formation of a more heterogeneous paste-aggregate transition zone that increases micro-defects in the material. The characteristic degrades the transmission medium's continuity, causing the ultrasound pulse to scatter, reflect, and travel along a more "winding" path. UPV may not increase proportionally with the improvement in compression strength.

The experimental results agree with the report of Khatib et al. [27]. They reported that MSWI BA should not be used to replace fine aggregate beyond 20%. MSWI BA reduces the UPV of the concrete when the MSWI BA content in the concrete is high. Remember that MSWI BA particles have high porosity and water absorption.

Additionally, the study reported higher UPV values than those reported in the experiment by Machaka et al. [28] (25% BA 2940 m/s, 50% BA 2420 m/s), indicating that the mix design and MSWI BA particle size of the study are suitable for the application of normal-strength concretes utilizing bottom ash. Shows that the use of MSWI BA of this study affects the compactness of concrete, yet the results remain suitable for many typical structures and applications that do not require maximum compressive strength.

**4. CONCLUSİON**

Research results show that MSWI BA can be used as a fine aggregate to replace part of natural sand, but its effectiveness depends strongly on the replacement ratio. After 28 days, the compressive strength results showed a clear optimal point at a moderate MSWI bottom ash replacement level. The control sample had a strength of 43,571 MPa, while the sample with 25% bottom ash replacement for river sand had a strength of 49,449 MPa, an increase of 13.5%. Raising the replacement rate to 50%

yielded a strength of 38,322 MPa, reflecting a 12% reduction relative to the control sample. This verifies that a 25% replacement rate may sustain and possibly enhance compressive strength.

Regarding workability, when using 25% bottom ash (BA25), the slump increased slightly (a small percentage increase compared to the control, as the description suggests), making the mixture more fluid. The main mechanism is that saturated MSWI BA particles reduce the cement paste's instantaneous water absorption and may act as a "lubricant" within the microstructure, improving flow. However, at the 50% replacement level (BA50), the slump decreased sharply (i.e., a significant percentage decrease compared to BA00), due to the large amount of bottom ash increasing water demand and increasing internal friction because of the coarse and porous particles, making the mixture less plastic and more difficult to apply without adjusting the mix proportions/additives.

The UPV values of the samples ranged from 3600 to 4300 m/s, indicating good-quality concrete. The UPV trend generally matched the compression results: with BA25, as compressive strength increased compared to the control, UPV usually stabilized or showed a slight improvement (corresponding to a slight increase in %), reflecting a relatively dense structure. Conversely, in BA50, due to a decrease in compressive strength of about 12%, UPV also decreased in a similar direction (decreased in %), but still remained in the "good-quality" range, indicating that despite mechanical degradation, the concrete still achieved an acceptable level of homogeneity/denseness for conventional concrete when replacing up to 50%.

**REFERENCES**

[1] ASTM International, "ASTM C494/C494M-19 - Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete," ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, 2019.

[2] ASTM C143/C143M. Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, 2020.

[3] ASTM International, ASTM C39/C39M-23: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, West Conshohocken, PA, USA, 2023.

[4] ASTM International, ASTM C143/C143M-23: Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete, West Conshohocken, PA, USA, 2023.

[5] ASTM International, ASTM C150/C150M-23 - Standard Specification for Portland Cement, West Conshohocken, PA, USA, 2023.

[6] British Standards Institution, BS 1881-203:1983. Testing concrete - Recommendations for measurement of velocity of ultrasonic pulses in concrete, BSI, London, UK, 1983.

[7] C. T. Phu và T. Duc Tiep, "Study on the utilization of ash and slag from municipal solid waste incinerators as raw materials for construction material production, Journal of Mining and Construction (JOMC), vol. 11, no. 6, pp. 95-102, December 2021.

[8] N. V. Tuyen and H. T. Phuoc, "Utilization of fly ash and bottom ash from waste-to-energy incineration plants in the production of non-fired sidewalk paving bricks," Vietnam Construction Journal, vol. 1, pp. 37-40, 2020.

[9] N. V. Tuyen, N. D. G. Nam, H. V. Minh, L. V. Toan, and T. Q. Vinh, "Study on utilizing bottom ash from municipal solid waste incineration plants as fine aggregate in concrete," Journal of Mining and Construction (JOMC), vol. 15, no. 6, pp. 13-19, October 2025.

[10] N. V. Khanh, V. H. Hiep, and N. T. Thao, "Solutions for reusing ash from municipal solid waste incinerators to produce non-fired bricks for military applications in Vietnam," Construction Journal, March 14, 2025.

[11] R. Whitehurst, Evaluation of concrete quality by ultrasonic pulse velocity, Technical Report No. 3, Cement and Concrete Association, London, UK, 1966.

[12] "Sachdeva, A., & Khurana, G. (2015). "Strength Evaluation of Cement Concrete Using Bottom Ash as a Partial Replacement of Fine Aggregates," International Journal of Science, Engineering and Technology, 3(6), 189-194. Available: https://www.ijset.org.

[13] V.D. Le, T.K. Tong, T.T. Do, B.L. Nguyen, Experimental research to estimate the application of crushed limestone sand for concrete of axial R-C column, in Vietnamese, J. Sci. Technol. Civ. Eng. 15. 93–103, https://doi.org/10.31814/stce.nuce2021-15(3V)-08. 2021.

[14] Vietnam Directorate for Standards, Metrology and Quality (STAMEQ), Heavyweight concrete - Method for determination of compressive strength, TCVN 3118:1993, Hanoi, Vietnam, 1993.

[15] V. N. Tru, T. V. Lam, H. A. Cuong, and L. N. Hung, "Study on the use of fly ash and bottom ash from the Green Star waste-to-energy plant for producing high-strength concrete under laboratory conditions," Journal of Materials and Construction (Ministry of Construction), 2024.

[16] H. V. S. Ren, L. A. Thang. "A review of chemical and physical properties of municipal solid waste incineration bottom ash and its impact on concrete production." Tra Vinh university journal of science 14(8). 2024.

[17] Bawab, J., J. Khatib, S. Kenai and M. Sonebi. "A Review on Cementitious Materials Including Municipal Solid Waste Incineration Bottom Ash (MSWI-BA) as Aggregates." Buildings 11: 179. 2021.

[18] Cao Tien Phu, H. L. A., Nguyen Thi Kim, Le Van Quang, Huynh Trong Phuoc. "Study on some properties of MSWI in Vietnam and its potential use as a construction material." Journal of Materials and Construction 12(2): 5. 2022.

[19] EN, T. "12504-4. Testing concrete-Part 4: determination of ultrasonic pulse velocity." British Standards Institution 18. 2004.

[20] Khatib, J., A. Jahami, A. El Kordi, M. Sonebi, Z. Malek, R. Elchamaa and S. Dakkour. "Effect of municipal solid waste incineration bottom ash (MSWI-BA) on the structural performance of reinforced concrete (RC) beams." Journal of Engineering, Design and Technology 21(3): 862-882. 2021

[21] Ku Meh, K. M., S. Shahidan, S.-M. Shamsuddin, S. S. Mohd Zuki and M. Senin. "An Experimental Investigation of Coal Bottom Ash as Sand Replacement." International Journal of GEOMATE 22: 17-24. 2022.

[22] Li, M., J. Xiang, S. Hu, L.-S. Sun, S. Su, P.-S. Li and X.-X. Sun. "Characterization of solid residues from municipal solid waste incinerator." Fuel 83(10): 1397-1405. 2004.

[23] Lu, J., X. Yang, Y. Lai, X. Wan, J. Gao, Y. Wang, L. Tan and F. Deng. "Utilization of municipal solid waste incinerator bottom ash (MSWIBA) in concrete as partial replacement of fine aggregate." Construction and Building Materials 414: 134918. 2024.

[24] Machaka, M., J. Khatib, A. Elkordi, H. Ghanem and O. Baalbaki. Selected properties of concrete containing municipal solid waste incineration bottom ash (MSWI-BA). 2019.

[25] Malhotra, V. M. and N. J. Carino. Handbook on nondestructive testing of concrete, CRC press. 2003.

[26] Nanda, B. and S. Rout. "Properties of concrete containing fly ash and bottom ash mixture as fine aggregate." International Journal of Sustainable Engineering 14(4): 809-819. 2021.

[27] Ojha, P. N., A. Singh, A. Trivedi, B. Singh and N. Chowdhury. "Evaluation of coal based bottom ash as an alternative to fine aggregate in concrete: recommendations for specifications of bottom ash and its concrete mix design." Research on Engineering Structures and Materials. 2023.

[28] Park, J. H., Q. T. Bui, S. H. Jung and I. H. Yang. "Selected Strength Properties of Coal Bottom Ash (CBA) Concrete Containing Fly Ash under Different Curing and Drying Conditions."Materials (Basel) 14(18). 2021.

[29] Phua, Z., A. Giannis, Z.-L. Dong, G. Lisak and W. J. Ng. "Characteristics of incineration ash for sustainable treatment and reutilization." Environmental Science and Pollution Research 26(17): 16974-16997. 2019

[30] Tang, W., A. M. Onaizi, S. A. Onaizi, U. Sajjad and Y. Liu. "Integrated Use of Furnace Bottom Ash as Fine Aggregate and Cement Replacement for Sustainable Mortar Production." Materials 17(15): 3834. 2024

[31] C. T. Phu, N. T. Kim, L. V. Quang, H. T. Phuoc. "Research on certain properties of municipal solid waste incineration ash in Vietnam and its potential for use as a construction material." https://vjol.info.vn/index.php/tcvienvatlieu/issue/view/8056.

[32] Tru, V., T. Lam, H. Cuong, and L. Hung. "Study on the use of fly ash and bottom ash from the Green Star waste-to-energy plant for producing high-strength concrete under laboratory conditions." Journal of Materials and Construction, Ministry of Construction, Vietnam. 2024

[33] Vaičienė, M. and E. Simanavičius. "The Effect of Municipal Solid Waste Incineration Ash on the Properties and Durability of Cement Concrete." Materials (Basel) 15(13). 2022.

phuhai
http://phuhaico.vn

# Phú Hải : Khẳng định và nâng cao năng lực tổng thầu cơ điện MEP và PCCC trong các dự án công nghiệp và dân dụng tại Việt Nam

**Sau hơn 15 năm hình thành và phát triển, Công ty Cổ phần Đầu tư Xây lắp và Thương mại Phú Hải từng bước khẳng định năng lực trong lĩnh vực thi công cơ điện (MEP) và xây dựng tại Việt Nam. Doanh nghiệp định hướng nâng cao chất lượng dịch vụ, mở rộng hợp tác quốc tế và phát triển hệ sinh thái dịch vụ từ tư vấn thiết kế, thi công đến bảo trì kỹ thuật.**

Trong bối cảnh các dự án công nghiệp và bất động sản tại Việt Nam ngày càng phát triển, đặc biệt là các công trình có vốn đầu tư nước ngoài (FDI), yêu cầu về năng lực thi công cơ điện và quản lý dự án ngày càng cao. Trước xu hướng đó, Phú Hải tập trung xây dựng đội ngũ kỹ sư, hoàn thiện quy trình quản lý và nâng cao năng lực kỹ thuật nhằm đáp ứng các tiêu chuẩn thi công của nhiều chủ đầu tư trong và ngoài nước.

Hiện nay, hoạt động của doanh nghiệp tập trung vào bốn lĩnh vực chính gồm **thi công hệ thống cơ điện (MEP), thi công xây dựng, tư vấn thiết kế và dịch vụ bảo trì kỹ thuật.** Trong đó, thi công MEP được xem là thế mạnh với khả năng triển khai nhiều hệ thống kỹ thuật như điều hòa thông gió (ACMV), phòng cháy chữa cháy, cấp thoát nước, điện nặng (LV), điện nhẹ và hệ thống quản lý tòa nhà (BMS).

Bên cạnh hoạt động thi công, Phú Hải còn cung cấp dịch vụ tư vấn thiết kế và triển khai dự án theo mô hình **Design & Build**, giúp tối ưu sự phối hợp giữa thiết kế và thi công, đồng thời hỗ trợ rút ngắn tiến độ thực hiện công trình. Doanh nghiệp cũng chú trọng ứng dụng các công nghệ hiện đại như **mô hình thông tin công trình (BIM)** và các phần mềm chuyên dụng như Revit, AutoCAD, Cadewa Real trong quá trình thiết kế và quản lý dự án.

Về quản lý chất lượng, Phú Hải vận hành hệ thống theo **tiêu chuẩn ISO 9001:2015**, đồng thời áp dụng các quy trình kiểm soát nội bộ chặt chẽ và chú trọng các tiêu chuẩn về **an toàn - sức khỏe - môi trường (HSE)** trong thi công.

Trong quá trình phát triển, doanh nghiệp đã tham gia nhiều dự án thuộc các lĩnh vực như nhà máy công nghiệp, trường học, chung cư, phòng sạch và hệ thống kho lạnh. Phú Hải cũng có kinh nghiệm hợp tác với nhiều đối tác quốc tế đến từ Nhật Bản, Hàn Quốc, Hoa Kỳ cùng các tập đoàn trong nước như FPT và Vingroup.

Trong thời gian tới, doanh nghiệp cho biết sẽ tiếp tục đầu tư vào nguồn nhân lực và công nghệ nhằm nâng cao năng lực thi công, đồng thời mở rộng hợp tác với các đối tác trong và ngoài nước, hướng tới phát triển bền vững trong lĩnh vực cơ điện và xây dựng.

KHU CÔNG NGHIỆP ĐỒNG VĂN 3 MỞ RỘNG HÀ NAM

Địa điểm: Đồng Văn, Duy Tiên, Hà Nam
Chủ đầu tư: Công ty Cổ phần Taseco Land

Ông Nguyễn Công Công

**THÔNG TIN LIÊN HỆ**

Địa chỉ: **Tầng 4, Tòa Xuân Mai Riverside, số 206 đường Thanh Bình, phường Hà Đông, TP Hà Nội**
Website: **https://phuhaico.vn/**
Hotline: **0914966446**

**CÁC DỰ ÁN TIÊU BIỂU:**

Trụ Sở Cơ Quan An Ninh Điều Tra A09 - Bộ Công An

Địa điểm: Số 10 Trần Kim Xuyến, phường Yên Hoà, Hà Nội
Chủ đầu tư: Cục An ninh Điều tra- Bộ Công An

TRƯỜNG FPT THÀNH PHỐ VINH

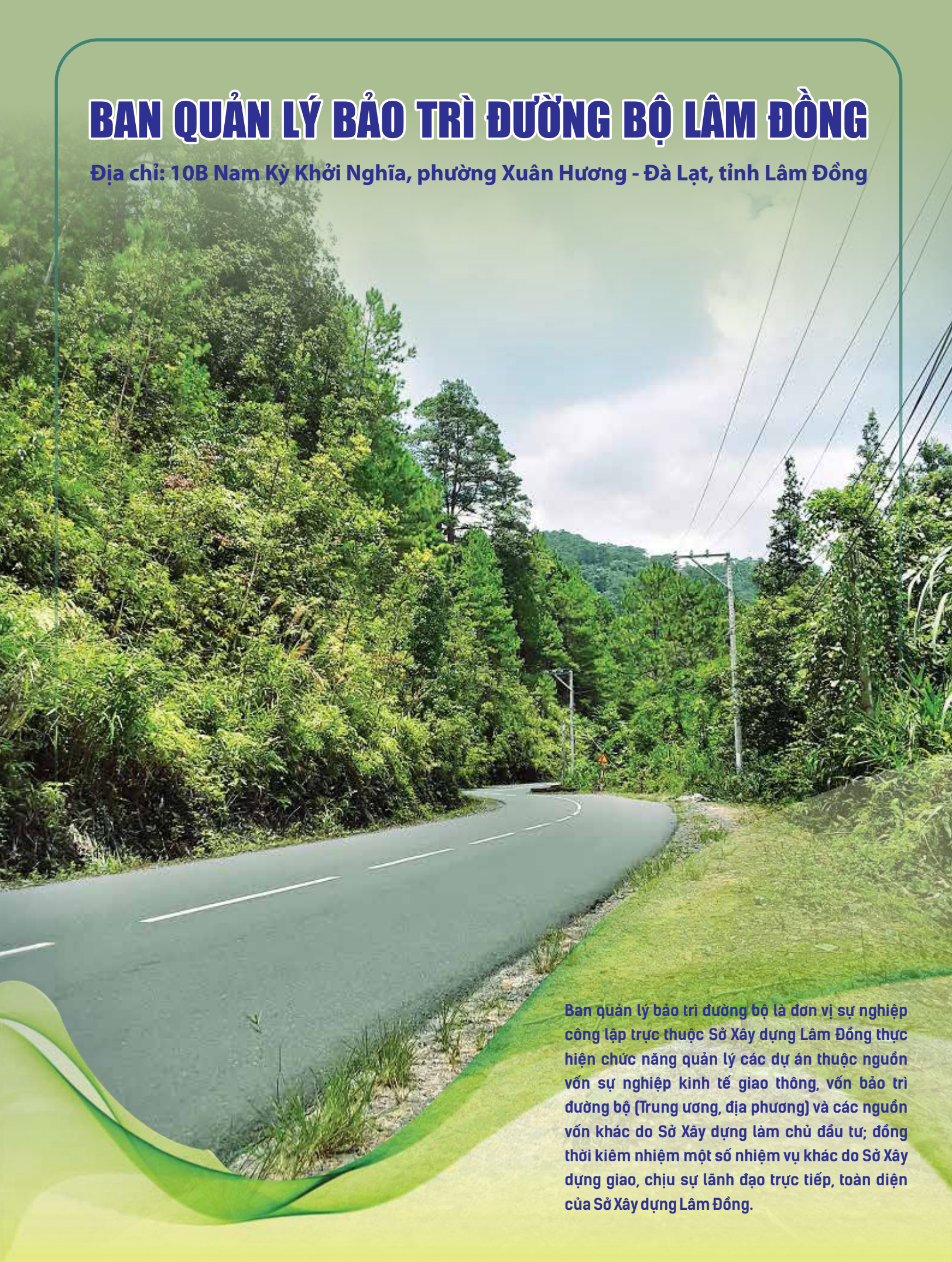
Địa điểm: Khu đô thị Eco Central Park, xã Hưng Hòa, tỉnh Nghệ An
Chủ đầu tư: Công ty TNHH Giáo Dục FPT

CHUNG CƯ HAN JARDIN

Địa điểm: Lô đất N01-T6 và N01-T7, Khu Ngoại Giao Đoàn, phường Xuân Tảo, Hà Nội
Chủ đầu tư: Tổng Công ty Xây dựng Hà Nội (Hancorp) phối hợp cùng Taseco Land

# BAN QUẢN LÝ BẢO TRÌ ĐƯỜNG BỘ LÂM ĐỒNG

**Địa chỉ: 10B Nam Kỳ Khởi Nghĩa, phường Xuân Hương - Đà Lạt, tỉnh Lâm Đồng**



Ban quản lý bảo trì đường bộ là đơn vị sự nghiệp công lập trực thuộc Sở Xây dựng Lâm Đồng thực hiện chức năng quản lý các dự án thuộc nguồn vốn sự nghiệp kinh tế giao thông, vốn bảo trì đường bộ (Trung ương, địa phương) và các nguồn vốn khác do Sở Xây dựng làm chủ đầu tư; đồng thời kiêm nhiệm một số nhiệm vụ khác do Sở Xây dựng giao, chịu sự lãnh đạo trực tiếp, toàn diện của Sở Xây dựng Lâm Đồng.