

11-2025

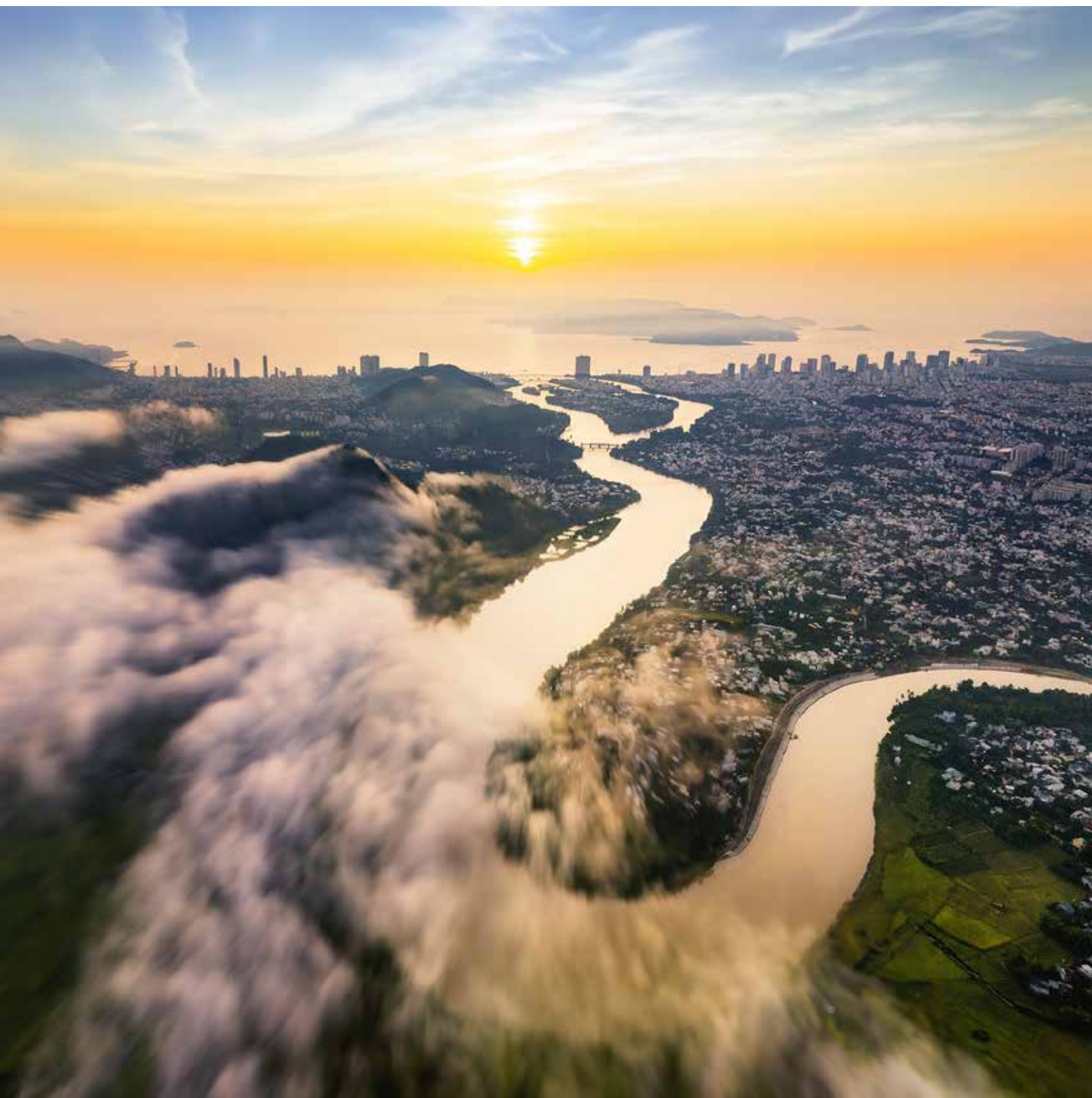
ISSN 2734-9888

tapchixaydung.vn

XÂY DỰNG

TẠP CHÍ CỦA BỘ XÂY DỰNG

JOURNAL OF CONSTRUCTION





Kiến tạo CÔNG TRÌNH BỀN VỮNG CHẠM ĐẾN KHÔNG GIAN Hoàn mỹ



TƯ VẤN - THIẾT KẾ - XÂY DỰNG - NỘI THẤT - SÂN VƯỜN



A-GROUP

ĐƠN VỊ THIẾT KẾ THI CÔNG



0931 2222 81
0941 2222 81

Rạch Giá : P31-19, Tôn Đức Thắng, KĐT Phú Cường
Phú Quốc : Đường Dương Đông Cửa Cạn, KP10
TP. HCM : 524 Lý Thường Kiệt, P.



QUÉT MÃ NGAY
Để biết thêm
thông tin chi tiết



 **NHỰA ĐƯỜNG PETROLIMEX**
Dẫn bước thành công

MỤC LỤC CONTENT

11.2025 tapchixaydung.vn

HỘI ĐỒNG KHOA HỌC:

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

TỔNG BIÊN TẬP:

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

TÒA SOẠN:

37 LÊ ĐẠI HÀNH, P.HAI BÀ TRƯNG, HÀ NỘI

Phòng Thư ký - Biên tập (tiếp nhận bài):
024.39740744

Email: banbientap@tapchixaydung.vn

Văn phòng đại diện phía Nam:

17A Hồng Hà, phường Tân Sơn Hoà, TP.HCM.

Giấy phép xuất bản:

Số 14/GP-BVHTTDL, ngày 11/4/2025.

ISSN: 2734-9888

Tài khoản: 113000001172

Ngân hàng Thương mại Cổ phần Công thương

Việt Nam Chi nhánh Hai Bà Trưng, Hà Nội

Thiết kế: Thạc Cường

In tại: Công ty TNHH In Quang Minh

Địa chỉ: Số 27, Ngõ 785 Trương Định, P. Hoàng

Mai, TP Hà Nội.

Ảnh bìa 1: Dòng sông Cái (Nha Trang) uốn lượn dưới
sắc bình minh rực rỡ. Tác giả: Trần Anh Khoa

CAO NGA

HUY THẢO

ĐỨC TÚ

CÔNG THÀNH

THANH NGA

VŨ THÀNH VŨ

ĐỖ HOÀNG THẠCH

TUẤN ĐỒNG

PGS.TS.KTS NGUYỄN VŨ PHƯƠNG

TS NGUYỄN QUANG

PGS.TS.KTS PHẠM TRỌNG THUẬT

TS.KTS NGUYỄN TẤT THẮNG

THS LÊ TÙNG LÂM

THU THẢO

CAO NGA, NGUYỄN VĂN ĐỨC

KHÁNH LÊ

NGUYỄN HOÀNG LINH

HUY LỘC

BẢO CHÂU

HOÀNG LONG

VĂN HÙNG

AN NHIÊN

NGUYỄN HOÀNG ANH, NGÔ THỊ KIM DUNG

TS.KTS NGUYỄN VĂN TUYẾN

NGUYỄN NGỌC THANH

TS.KTS TRƯƠNG THÁI HOÀI AN

THS NGUYỄN THẾ LỬ

TRƯƠNG THỊ LAN ANH, LÊ TRUNG THÀNH

THS LÊ HÀ MINH, PGS.TS TRẦN QUANG PHÚ,

TS ĐÌNH GIA HUY

PGS.TS HOÀNG HÀ

TS TRẦN VIỆT HƯNG

KS ĐẶNG THỊ THU HẰNG, THS BÙI MINH TUẤN,

TS ĐỖ KHẮC TIẾP

NGUYỄN VĂN NAM, NGUYỄN TIẾN MƯỜI

THS ĐỖ THÁI GIANG, THS PHẠM THANH TÙNG

TS NGUYỄN PHAN ANH, THS BÙI NGỌC DUNG

QUẢN LÝ NGÀNH

6 Xác lập cơ chế giảm thủ tục tiến kiểm, tăng trách nhiệm chủ thể

8 Tập trung "luồng xanh", tháo gỡ thủ tục phát triển nhà ở xã hội

10 Không thể để đô thị mãi "chạy theo mưa"

12 Khai mở cơ chế phát triển nhân lực đường sắt

14 Hoàn thiện tiêu chuẩn, công nghệ và nhân lực cho hạ tầng đường sắt tốc độ cao

18 Phát triển công nghiệp đường sắt tự chủ và hội nhập quốc tế

TRÒ CHUYỆN VỚI CHUYÊN GIA

20 Tạo lập "chuỗi giá trị nhân lực" để phát triển công nghiệp đường sắt hiện đại, tự chủ và bền vững

TỪ CHÍNH SÁCH ĐẾN CUỘC SỐNG

26 Phát triển đô thị Việt Nam thông minh, bền vững và bao trùm

28 Từ cải tạo đến tái thiết - hướng tiếp cận đô thị bao trùm và bền vững phù hợp với mô hình chính quyền 2 cấp

34 Quản trị đô thị - nông thôn theo chính quyền 2 cấp ở Việt Nam: Thách thức, cơ hội và giải pháp hoàn thiện thể chế

40 Dòng chảy phố Hội

42 Quy hoạch đô thị hai bên bờ sông Lô: Gắn kết chặt chẽ giữa "cội nguồn dân tộc" với phát triển văn minh hiện đại

46 ISO 37120 - "lời cam kết của thế hệ hôm nay đối với tương lai"

PHÁT TRIỂN XANH

48 Vật liệu xanh và tư duy vòng đời - hướng đi tất yếu cho công trình phát thải thấp

50 Chính sách giao thông xanh phải đi kèm tiêu chuẩn kỹ thuật và hỗ trợ tín dụng

52 Phát triển vận tải đường bộ xanh - thông minh

GÓC NHÌN TỪ THỰC TIỄN

54 Doanh nghiệp xã hội - Cánh tay của chính quyền địa phương!

DOANH NGHIỆP 4.0

56 Nâng cao hiệu quả quản lý, bảo đảm an toàn kỹ thuật cảng, bến thủy nội địa

58 Trường Đại học Hàng hải Việt Nam: Đào tạo nguồn nhân lực chất lượng cao cho phát triển kinh tế biển

AN TOÀN GIAO THÔNG

60 Dự thảo Nghị định mới về xử phạt vi phạm đường bộ: Tăng chế tài, cụ thể hóa thẩm quyền xử lý

62 Bắc Ninh đẩy mạnh xây dựng văn hóa giao thông học đường

GIỚI THIỆU SÁCH MỚI

64 Giám sát và đánh giá dự án đầu tư xây dựng: Cơ sở - Quy trình - Công cụ

NGHIÊN CỨU KHOA HỌC

65 Ảnh hưởng của chiều cao công trình đến điều kiện vi khí hậu và tiện nghi nhiệt ngoài trời: Trường hợp TP Đà Nẵng, Việt Nam

70 Cảnh quan di tích tôn giáo, tín ngưỡng: Hạt nhân kiến tạo đặc trưng không gian xanh đô thị Hà Nội

76 Định hướng phát triển bền vững kiến trúc nhà ở dân tộc Tày tại Bắc Giang dưới tác động của đô thị hóa

81 Tiềm năng và giải pháp phát triển du lịch bền vững dựa trên không gian đặc trưng ven biển tại khu du lịch quốc gia Ninh Chữ, Khánh Hòa, Việt Nam

86 Nghiên cứu đề xuất bộ tiêu chí ứng dụng GIS mô phỏng các lớp tiêu chí, làm cơ sở đánh giá và lựa chọn quy hoạch hệ thống tunnel kỹ thuật đa tiện ích tại trung tâm TP Đà Nẵng

92 Đánh giá tổng hợp mờ (FSE) các yếu tố ảnh hưởng đến phát triển đô thị TOD tại ga Ba Son, TP.HCM

98 Ứng dụng mô hình ANP trong đánh giá mức độ tác động rủi ro kỹ thuật trong công tác khai thác đội tàu đầu - hóa chất áp dụng tại khu vực phía Nam Việt Nam

102 Tính toán và so sánh hệ số động lực cho cầu đường sắt và đường sắt tốc độ cao theo tiêu chuẩn thiết kế của Việt Nam và một số nước trên thế giới

108 Nghiên cứu đánh giá hiệu quả giảm chấn ma sát cho cầu dây văng

112 Tối ưu hóa bộ điều khiển PID bằng giải thuật di truyền (GA) cho bài toán điều chỉnh sức căng trên tời tàu thủy

116 Giải pháp quản lý kỹ thuật hạ tầng kỹ thuật khu công nghiệp Thuận Thành III, tỉnh Bắc Ninh

121 Thiết kế điều khiển điện áp bộ chuyển đổi Buck-Boost dựa trên mô hình logic hỗn hợp kết hợp với điều khiển dự báo mô hình

124 Ứng dụng mô hình ước tính phát thải và hiệu quả xử lý NOx của mặt đường phủ TiO₂ tại đô thị Hải Phòng



INDUSTRY MANAGEMENT

- CAO NGA 6 Establishing mechanisms to reduce pre-inspection procedures and enhance stakeholder responsibility
- HUY THAO 8 Prioritizing the “green channel” to remove administrative barriers for social housing development
- DUC TU 10 Cities cannot keep “chasing the rain” forever
- CONG THANH 12 Unlocking mechanisms for railway human resource development
- THANH NGA 14 Improving standards, technology, and human resources for high-speed railway infrastructure
- VU THANH VU 18 Developing an independent and internationally integrated railway industry

TALK WITH EXPERTS

- DO HOANG THACH 20 Establishing a “Human Resource Value Chain” for a Modern, Self-Reliant, and Sustainable Railway Industry

FROM POLICY TO LIFE

- TUAN DONG 26 Developing smart, sustainable, and inclusive Vietnamese Cities
- NGUYEN VU PHUONG 28 From renovation to reconstruction: An inclusive and sustainable urban approach aligned with the two-level government model
- NGUYEN QUANG 34 Urban-rural governance under Vietnam’s two-tier government model: Challenges, opportunities, and institutional improvement solutions
- PHAM TRONG THUAT 40 The flow of Hoi streets
- NGUYEN TAT THANG 42 Urban planning along the two banks of the Lo river: Connecting national heritage with modern civilized development
- LE TUNG LAM 46 ISO 37120 - “A commitment of today’s generation to the future”
- THU THAO 48 Green materials and lifecycle thinking - An essential pathway for low-emission buildings
- CAO NGA, NGUYEN VAN DUC, KHANH LE 50 Green transport policies must be accompanied by technical standards and credit support
- 52 Developing green and smart road transport

PERSPECTIVE TO PRACTICAL

- NGUYEN HOANG LINH 54 Social enterprises - The helping hand of local governments!

ENTERPRISE 4.0

- HUY LOC 56 Enhancing management efficiency and ensuring technical safety at inland waterway ports and wharves
- BAO CHAU 58 Vietnam Maritime University: Training high-quality human resources for marine economic development

TRANSPORTATION SAFETY

- HOANG LONG 60 Draft New Decree on penalties for road traffic violations: Strengthening sanctions and specifying enforcement authority
- VAN HUNG 62 Bac Ninh promotes the development of safe traffic culture in schools

ABOUT NEW BOOK

- AN NHIEU 64 Monitoring and evaluation of construction investment projects: Foundations - Processes - Tools

SCIENTIFIC RESEARCH

- NGUYEN HOANG ANH, NGO THI KIM DUNG 68 Influence of building height on microclimate and outdoor thermal comfort: The case of Da Nang, Vietnam
- NGUYEN VAN TUYEN 74 Religious and spiritual heritage landscapes: Cultural cores of Hanoi’s urban green spaces
- NGUYEN NGOC THANH 79 Sustainable development orientation for Tay ethnic housing architecture in Bac Giang under the impact of urbanization
- TRUONG THAI HOAI AN 81 Potentials and strategies for sustainable tourism development based on coastal spatial identity at ninh chu national tourist area, Khanh Hoa, Vietnam
- NGUYEN THE LU 86 The study proposes a set of criteria GIS application simulates criteria layers to serve as a basis for evaluating and selecting the planning of a multi-utility technical tunnel system in the center of Da Nang City
- TRUONG THI LAN ANH, LE TRUNG THANH 92 Evaluating key factors influencing tod using The Fuzzy Synthetic Evaluation method: A case of Ba Son station, Ho Chi Minh City
- LE HA MINH, TRAN QUANG PHU, DINH GIA HUY 98 Application of the anp model in assessing the impact level of technical risks in the operation of oil-chemical tanker fleets: A case study in Southern Vietnam
- HOANG HA 102 Calculation and comparison of dynamic coefficients for railway bridges and high-speed railways according to design standards of Vietnam and some countries in the world
- TRAN VIET HUNG 108 Study on the effectiveness of friction dampers for cable-stayed bridges
- DANG THI THU HANG, BUI MINH TUAN, DO KHAC TIEP 112 Genetic Algorithm-based Optimization of a PID Controller for Marine Winch Tension Control
- NGUYEN VAN NAM, NGUYEN TIEN MUOI 116 Technical infrastructure management solutions for Thuan Thanh III industrial park in Bac Ninh province
- DO THAI GIANG, THS PHAM THANH TUNG 121 Design of Buck-Boost converter voltage control based on mixed logical dynamical model combined with model predictive control

SCIENTIFIC COMMISSION:

Ass.Prof Pham Minh Ha, Ph.D

(Chairman of the Scientific Council)

Ass.Prof Le Trung Thanh, Ph.D

(Permanent Council)

Ass.Prof Vu Ngoc Anh, Ph.D

Prof. Nguyen Viet Anh, Ph.D

Dr. Le Van Cu

Ass.Prof Pham Xuan Duong, Ph.D

Ass.Prof Hoang Ha, Ph.D

Dr. Nguyen Hong Hai

Dr. Le Quang Hung

Ass.Prof Nguyen Van Hung, Ph.D

Dr. Khuat Viet Hung

Ass.Prof, Architect Hoang Vinh Hung

Prof. Pham Huy Khang, Ph.D

Prof, Dr, Architect Doan Minh Khoi

Prof, Dr, Architect Nguyen To Lang

Ass.Prof Nguyen Ngoc Long, Ph.D

Prof. Phan Quang Minh, Ph.D

Dr. Phan Huu Duy Quoc

Ass.Prof Nguyen Thanh Sang, Ph.D

Prof. Pham Cao Thang, Ph.D

Prof. Trinh Minh Thu, Ph.D

Ass.Prof Nguyen Hong Tien, Ph.D

Ass.Prof Nguyen Thi Tuyet Trinh, Ph.D

Ass.Prof Hoang Tung, Ph.D

Ass.Prof Tong Tran Tung, Ph.D

EDITOR-IN-CHIEF:

Nguyen Thai Binh

DEPUTY-EDITOR-IN-CHIEF:

Nguyen Van Huong

Pham Van Dung

Nguyen Thanh Hoa

Ly Ngoc Thanh

OFFICE:

37 LE DAI HANH, HAI BA TRUNG, HANOI

Editorial Board: 024.39740744

Email: banbientap@tapchixaydung.vn

Representative Office in Ho Chi Minh City:

17A Hong Ha, Tan Son Hoa, HCM City.

Publication:

No: 14/GP-BVHTTDL dated April 11, 2025.

ISSN: 2734-9888

Account: 113000001172

Joint Stock Commercial Bank of Vietnam

Industrial and Commercial Branch,

Hai Ba Trung, Hanoi

Designed by: Thac Cuong

Printed at Quang Minh Company Limited

Address: No. 27, Alley 785, Truong Dinh Street,

Hoang Mai, Hanoi City, Vietnam.

MỤC LỤC CONTENT

11.2025 tapchixaydung.vn

HỘI ĐỒNG KHOA HỌC:

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

TỔNG BIÊN TẬP:

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

- THS ĐÀO QUANG HUY, TRẦN THU MINH, NGUYỄN ĐÌNH THÀNH, NGUYỄN HUYỀN MAI, GS.TS TRẦN THẾ TRUYỀN
TS MẠC VĂN HÀ, TS ĐẶNG VĂN PHÚ, KS NGUYỄN TRUNG NGÂN
TS HOÀNG HIẾU NGHĨA
PGS.TS ĐÀO VIỆT ĐOÀN
- PGS.TS KHÚC ĐĂNG TÙNG, THS NGUYỄN TIẾN PHÁT, PGS.TS LÊ BÁ DANH, THS NGUYỄN HÙNG SƠN
TS TRẦN VIỆT TÂM
- KS NGUYỄN DUYÊN THÀNH TRUNG, PGS.TS TRƯƠNG ĐÌNH NHẬT, PGS.TS NGUYỄN HỮU ANH TUẤN, THS LÊ THỊ THÙY LINH
SOK HEANG, NGUYỄN HOÀNG TÙNG
- TS PHAN VĂN HUỆ, TRƯƠNG QUANG HẢI
VŨ HUY HOÀNG, NGUYỄN THỊ THANH HƯƠNG
- NGUYỄN TRUNG KIẾN, NGUYỄN QUANG TRƯỜNG
BUI THỊ ÁI MY, NGUYỄN HỮU HUỆ, NGUYỄN VĂN SƠN, NGUYỄN ĐÌNH CHỨC
NCS NGÔ VĂN TÌNH, TS LƯƠNG XUÂN CHIỂU, PGS.TS NGUYỄN THANH SANG
TRƯƠNG ĐỨC CẢNH, PHẠM ĐỨC TIẾN
- PGS.TS NGUYỄN ĐÌNH THẠCH
- PGS.TS NGUYỄN VĂN TIÊM, GS.TS LÊ HÙNG LÂN, KIỀU VIỆT CƯỜNG
TS NGUYỄN XUÂN LONG, KS CHU VĂN HOÀNG
THS PHẠM TẤT TIỆP, PGS.TS NGUYỄN VĂN SƯỚNG
THS.NCS NGUYỄN THỊ PHƯỢNG
- PGS.TS NGUYỄN HỒNG THÁI, THS CAO QUANG KHẢI
THS TRẦN TUẤN PHONG, PGS.TS NGUYỄN LƯƠNG HẢI
- PGS.TS LƯU TRƯỜNG VĂN, NGUYỄN LÊ MINH LONG
- THS LÊ VIỆT HÒA
TS VŨ MINH TÂM, TS THÁI HỒNG NAM, PGS.TS VŨ HOÀI NAM, PGS.TS ĐÌNH VĂN HIỆP,
PGS.TS VŨ NGỌC TRỤ, PGS.TS NGUYỄN VIỆT PHƯƠNG
- THS PHẠM THỊ HỒNG ANH
TS NGUYỄN ĐÌNH TỬ, PGS.TS NGUYỄN HỒNG THÁI
- TS ĐỖ VĂN THUẬN, PGS.TS NGUYỄN LƯƠNG HẢI
- PGS.TS NGUYỄN THANH CHƯƠNG
TS PHẠM THỊ LÝ, KS NGUYỄN VINH HOÀNG, THS NGUYỄN THỊ HỒNG HOA
TS ĐÌNH QUANG TOÀN
LÊ ĐÌNH THỰC, NGUYỄN VĂN MINH
- HUỲNH HÀN PHONG
- 129** Nghiên cứu ứng dụng vật liệu bê tông nhẹ và cốt thanh GFRP cho kết cấu cầu lắp ghép nhanh trong đô thị
- 132** Ứng xử động của hệ vòm bê tông cốt thép đúc sẵn phân mảnh có hệ neo được chôn trong đất thông qua mô phỏng số
- 136** Thiết kế kết cấu dàn phẳng liên hợp thép - bê tông theo tiêu chuẩn Eurocode 4
- 144** Về cửa hầm xuyên núi và một số kiến nghị trong thiết kế, thi công cửa hầm đường sắt tốc độ cao tại Việt Nam
- 150** Nghiên cứu xác định tần số và dạng dao động kết cấu trụ điện gió trong điều kiện vận hành
- 155** Nghiên cứu khảo sát sự thay đổi thiết kế móng cọc nhà bê tông cốt thép theo hai tiêu chuẩn TCVN 10304-2025 và TCVN 10304-2014
- 162** Tối ưu hóa tiết diện thép tổ hợp nhà công nghiệp bằng các thuật toán metaheuristic tích hợp với SAP2000-OAPI
- 167** Nghiên cứu ảnh hưởng hệ số điều chỉnh độ cứng của cấu kiện bê tông cốt thép trong phân tích nhà cao tầng chịu tải ngang
- 174** Tính toán chọc thủng cho sàn phẳng bê tông cốt thép tại liên kết với cột ống thép nhồi bê tông ở vị trí cột biên và cột góc
- 180** Độ bền của cấu kiện chữ C tạo hình nguội chịu uốn quanh trục không đối xứng theo các phương pháp của Tiêu chuẩn AISI S100
- 185** Chuyển vị bề mặt đất khi sóng cắt lan truyền trong môi trường đất ngẫu nhiên
- 190** Rủi ro địa chất - thủy văn và sụt lún đô thị TP.HCM: Hệ quả và thách thức cho phát triển không gian ngầm
- 194** Ảnh hưởng của hàm lượng tro bay, xỉ lò cao đến các đặc trưng cơ học của bê tông xi măng cốt liệu tái chế trong xây dựng mặt đường
- 198** Đánh giá khả năng xây dựng hệ công trình xử lý chất thải theo định hướng kinh tế tuần hoàn sinh học cho dự án Trang trại CMC tại Mường La
- 203** Ứng dụng trí tuệ nhân tạo cho giao diện hiển thị trước mắt (HUD) hỗ trợ điều động USV trong môi trường cảng thông minh
- 208** Phương pháp điều khiển bộ chuyển đổi nguồn DC-DC buck trên cơ sở PID, GA và logic mờ
- 213** Giải pháp nâng cao hiệu quả hệ thống báo hiệu luồng hàng hải cảng Sơn Dương
- 216** Thiết kế bộ điều khiển trượt với thời gian hội tụ hữu hạn cho hệ thống ổn định lắc Rotor Magnus
- 221** Đánh giá tác động rủi ro trong giai đoạn thực hiện dự án xây dựng chung cư cao tầng tại Hà Nội bằng mô hình SEM
- 226** Chuyển đổi xanh trong giao thông vận tải đô thị: Từ chính sách đến thực tiễn tại Việt Nam
- 230** Nghiên cứu sự vận động của các chỉ tiêu tổ chức thực hiện kế hoạch vốn đầu tư công xây dựng công trình giao thông tại Việt Nam
- 234** Xếp hạng các nhân tố ảnh hưởng đến quản lý năng suất của nhà thầu xây dựng: Góc nhìn BALANCED SCORECARD
- 240** Đầu thầu bến vững: Các yếu tố cần được tích hợp trong quá trình lựa chọn nhà thầu
- 244** Nghiên cứu về phí sử dụng đường trong nội đô tại các nước tiên tiến và khả năng áp dụng tại Việt Nam
- 248** Nghiên cứu hệ thống lưu kho tự động
- 252** Kinh nghiệm các nước về chính sách chuyển đổi xanh đối với thiết bị xây dựng công trình giao thông - bài học cho Việt Nam
- 255** Xây dựng hệ thống chỉ tiêu đánh giá hoạt động điều hành kế hoạch vốn đầu tư công trong xây dựng công trình giao thông tại Việt Nam
- 258** Nghiên cứu các yếu tố tác động tới hành vi lái xe nguy hiểm của người lái xe buýt ở Hà Nội
- 262** Nghiên cứu phương pháp Random Forest và XGBoost trong dự báo lưu lượng giao thông
- 266** Tối ưu hóa kết nối giao thông xanh với người trùng tuyến đường
- 271** Tiêu chí đầu tư hạ tầng giao thông đồng bộ vùng ĐBSCL ứng phó với biến đổi khí hậu: Phương pháp phân tích mạng lưới xã hội
- 276** Phân tích phần tử hữu hạn của tấm sàn bê tông cốt thép trọng lượng nhẹ



NGUYEN PHAN ANH, BUI NGOC DUNG	124	Application of an estimation model for emissions and NOx removal efficiency of TiO ₂ coated pavements in Hai Phong urban area
DAO QUANG HUY, TRAN THU MINH, NGUYEN DINH THANH, NGUYEN HUYEN MAI, TRAN THE TRUYEN	129	Application of lightweight concrete and grp bars for rapidly assembled bridge structures in urban areas
MAC VAN HA, DANG VAN PHU, NGUYEN TRUNG NGAN	132	Dynamic behavior of a segmental precast reinforced concrete buried arch system with outrigger through numerical simulation
HOANG HIEU NGHIA	136	Design of steel - concrete composite plane truss structures according to Eurocode 4
DAO VIET DOAN	144	The mountaintunnel portal and recommendations for the design and construction of high-speed railway tunnel portals in Vietnam
KHUC DANG TUNG, NGUYEN TIEN PHAT, LE BA DANH, NGUYEN HUNG SON	150	Research on determining the frequency and mode shape of wind turbine tower under operating conditions
TRAN VIET TAM	155	Research and investigation of changes in design of pile foundation of reinforced concrete buildings according to two design standards TCVN 10304-2025 and TCVN 10304-2014
NGUYEN DUYEN THANH TRUNG, TRUONG DINH NHAT, NGUYEN HUU ANH TUAN, LE THI THUY LINH	162	Optimization of steel sections for industrial buildings using metaheuristic algorithms integrated with SAP2000-OAPI
SOK HEANG, NGUYEN HOANG TUNG	167	Research on the effects of stiffness modification factors of reinforced concrete members in the lateral load analysis of high-rise buildings
PHAN VAN HUE, TRUONG QUANG HAI	174	Punching Shear Calculation for Reinforced Concrete Flat Slabs at Connections with Concrete-Filled Steel Tube Columns in Edge and Corner Positions
VU HUY HOANG, NGUYEN THI THANH HUONG	180	Ultimate strength of flexural cold-formed channel members subjected to asymmetrical axis bending using AISI S100 methods
NGUYEN TRUNG KIEN, NGUYEN QUANG TRUONG	185	The surface displacements of soil random fields under the propagation of shear waves
BUI THI AI MY, NGUYEN HUU HUE, NGUYEN VAN SON, NGUYEN DINH CHUC	190	Geological-hydrogeological risks and urban subsidence in Ho Chi Minh City: Consequences and challenges for under ground space development
NGO VAN TINH, LUONG XUAN CHIEU, NGUYEN THANH SANG	194	Effect of fly ash and blast furnace slag ratios on mechanical properties of recycled aggregate concrete in road construction
TRUONG DUC CANH, PHAM DUC TIEN	198	Assessing the feasibility of constructing a waste treatment system oriented towards circular bioeconomy for the CMC Farm project in Muong La
NGUYEN DINH THACH	203	Application of artificial intelligence to a head-up display (HUD) supporting USV maneuvering in smart port environment
NGUYEN VAN TIEM, LE HUNG LAN, KIEU VIET CUONG	208	DC-DC buck power converter control methods based on PID, GA and Fuzzy logic
NGUYEN XUAN LONG, CHU VAN HOANG	213	Solutions to improve the efficiency of the maritime navigation aids system in Son Duong port channel
PHAM TAT TIEP, NGUYEN VAN SUONG	216	Finite-time sliding mode controller design for Magnus Rotor roll stabilization system
NGUYEN THI PHUONG	221	Assessment of risk impacts during the implementation phase of high-rise residential construction projects in Hanoi using the SEM model
NGUYEN HONG THAI, CAO QUANG KHAI	226	Green transformation in urban transport: From policy to practice in Vietnam
TRAN TUAN PHONG, NGUYEN LUONG HAI	230	Analysis of implementation indicators in public investment planning for transport infrastructure in Vietnam
LUU TRUONG VAN, NGUYEN LE MINH LONG	234	Ranking factors affecting productivity management of small and medium contractors: A BSC Approach
LE VIET HOA	240	Sustainable procurement: Factors to be integrated in the contractor selection process
VU MINH TAM, THAI HONG NAM, VU HOAI NAM, DINH VAN HIEP, VU NGOC TRU, NGUYEN VIET PHUONG	244	Research on urban road user charging in developed countries and its applicability in Vietnam
PHAM THI HONG ANH	248	Research on automated storage and retrieval systems
NGUYEN DINH TU, NGUYEN HONG THAI	252	Green transformation policies for transport construction machinery - experiences for Vietnam
DO VAN THUAN, NGUYEN LUONG HAI	255	Developing a system of indicators to evaluate the management of public investment capital plans for transportation infrastructure construction in Vietnam
NGUYEN THANH CHUONG	258	Studying factors influencing risky driving behaviours of bus drivers in Hanoi
PHAM THI LY, NGUYEN VINH HOANG, NGUYEN THI HONG HOA	262	A study on Random Forest and XGBoost methods for traffic flow prediction
DINH QUANG TOAN	266	Optimize green transport connections with co-road people
THUC LE DINH, MINH NGUYEN VAN	271	Criteria for synchronized transport infrastructure investment in the Vietnamese Mekong Delta for climate change adaptation: A Social Network Analysis approach
HUYNH HAN PHONG	276	Finite element analysis of lightweight RC slabs

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

Xác lập cơ chế giám thủ tục tiền kiểm, tăng trách nhiệm chủ thể



CAO NGÀ

Dự thảo Luật Xây dựng (sửa đổi) xác lập cơ chế giám thủ tục tiền kiểm, tăng trách nhiệm chủ thể và chuẩn hóa quản lý chất lượng công trình.

Chính phủ đã có các Báo cáo tiếp thu, giải trình Kết luận của Ủy ban Thường vụ Quốc hội, ý kiến thẩm tra của Ủy ban KHCN&MT của Quốc hội cũng như ý kiến của các thành viên Chính phủ về dự án Luật Xây dựng (sửa đổi).

Qua các Báo cáo của Chính phủ cho thấy định hướng nhất quán: chỉ giữ các nguyên tắc khung ở cấp Luật; đẩy mạnh phân cấp và giảm tiền kiểm, đồng thời tăng cường hậu kiểm, kiểm soát chất lượng công trình và trách nhiệm chủ thể. Các ý kiến từ Ủy ban Thường vụ Quốc hội, Ủy ban KHCN&MT và các thành viên Chính phủ đã được tiếp thu theo hướng đồng bộ, khả thi và minh bạch.

BẢO ĐẢM THỐNG NHẤT HỆ THỐNG PHÁP LUẬT

Ủy ban Thường vụ Quốc hội nhấn mạnh yêu cầu lớn nhất trong quá trình sửa đổi Luật Xây dựng lần này là bảo đảm tính thống nhất của hệ thống pháp luật, tránh tình trạng mỗi Luật quy định một phần, chồng lấn hoặc mâu thuẫn, dẫn đến vướng mắc trong thực tiễn thi hành. Luật Xây dựng chỉ nên tập trung điều chỉnh hoạt động xây dựng với tư cách là hoạt động kỹ thuật - thi công - an toàn công trình, còn các nội dung về chủ trương đầu tư, nguồn vốn, bố trí vốn, chấp thuận nhà đầu tư, quy hoạch đô thị - nông thôn... phải được dẫn chiếu và tuân thủ Luật chuyên ngành tương ứng (Luật Đầu tư công, Luật Đầu tư, Luật Quy hoạch, Luật Đất đai, Luật Nhà ở, Luật PPP...). Đây là yêu cầu nền tảng nhằm tránh trùng lặp pháp lý, hạn chế việc các địa phương hoặc cơ quan có thẩm quyền phải "đọc chéo Luật" để áp dụng, đồng thời giải quyết tình trạng thủ tục bị kéo dài do xung đột văn bản.

Ủy ban Thường vụ Quốc hội cũng yêu cầu Bộ Xây dựng làm rõ vai trò "Luật khung" của Luật Xây dựng, theo hướng chỉ quy định nguyên tắc cốt lõi và giao Chính phủ quy định chi tiết đối với các quy trình, tiêu chuẩn và nghiệp vụ kỹ thuật, phù hợp

với chủ trương phân cấp mạnh - tăng hậu kiểm - giảm tiền kiểm, nhưng không buông lỏng quản lý chất lượng công trình.

Tiếp thu yêu cầu này, Bộ Xây dựng đã chỉnh lý phạm vi điều chỉnh ngay tại Điều 1: "Luật này quy định về hoạt động xây dựng; quyền, nghĩa vụ, trách nhiệm của cơ quan, tổ chức, cá nhân và quản lý nhà nước trong hoạt động xây dựng", và bỏ khái niệm "hoạt động đầu tư xây dựng" tại Điều 3, chỉ giữ phạm vi "hoạt động xây dựng", qua đó tránh chồng lấn với Luật Đầu tư và Luật Đầu tư công.

Đồng thời, Điều 4 về áp dụng pháp luật cũng được sửa theo hướng không duy trì nguyên tắc ưu tiên Luật Xây dựng, mà dẫn chiếu cụ thể sang từng Luật chuyên ngành tương ứng để bảo đảm thống nhất tuyệt đối trong áp dụng.

Bộ Xây dựng cũng thực hiện việc lược giản 35 Điều mang tính quy trình, hồ sơ, thủ tục; chỉ giữ nguyên tắc chung do Quốc hội ban hành, còn toàn bộ trình tự chi tiết giao Chính phủ quy định, phù hợp với tinh thần đổi mới kỹ thuật lập pháp mà Ủy ban Thường vụ Quốc hội đặt ra.

Đối với yêu cầu đẩy mạnh phân cấp, Bộ Xây dựng khẳng định, các thủ tục thẩm định - phê duyệt sẽ được đơn giản hóa nội dung thẩm định Báo cáo nghiên cứu khả thi của cơ quan chuyên môn về xây dựng, nâng cao trách nhiệm của người quyết định đầu tư và chủ đầu tư với các nội dung còn lại cũng như tăng cường khâu kiểm tra, giám sát.

Việc tiếp thu này thể hiện sự điều chỉnh mang tính nền tảng, giúp Luật Xây dựng sửa đổi rõ ràng hơn về vai trò, rành mạch hơn về phạm vi, đồng bộ hơn với hệ thống pháp luật hiện hành, từ đó tăng tính khả thi khi triển khai.

CĂN CỨ CHẾ HẬU KIỂM ĐỦ MẠNH

Ý kiến thẩm tra của Ủy ban KHCN&MT của Quốc hội tập trung vào tính hợp lý - khả thi - minh bạch của các cơ chế quản lý xây dựng trong thực tế, đặc biệt trong bối cảnh cách mạng

công nghiệp 4.0, chuyển đổi số và nhu cầu giảm chi phí tuân thủ cho doanh nghiệp, nhưng vẫn bảo đảm an toàn công trình.

Nội dung quan trọng được Ủy ban KHCN&MT nhấn mạnh là nguyên tắc hậu kiểm. Khi cắt giảm tiền kiểm và bãi bỏ thủ tục thẩm định thiết kế triển khai sau thiết kế cơ sở, cần có cơ chế hậu kiểm đủ mạnh, bao gồm: yêu cầu về năng lực tổ chức tư vấn thẩm tra - giám sát; trách nhiệm của chủ đầu tư; chế tài đối với hành vi thay đổi thiết kế trái phép; và phương thức kiểm tra xác suất có trọng tâm để bảo đảm an toàn công trình trong suốt vòng đời xây dựng.

Tiếp thu các đề nghị này, Bộ Xây dựng đã hoàn thiện Điều 14 về hệ thống thông tin và cơ sở dữ liệu xây dựng, quy định rõ bảo đảm kết nối đồng bộ và cập nhật thường xuyên, đồng thời giao Chính phủ quy định chi tiết về lộ trình triển khai và chuẩn kết nối dữ liệu giữa các ngành.

Đối với nguyên tắc hậu kiểm, dự thảo Luật đã bổ sung thêm Điều 47 về quản lý trật tự xây dựng theo hướng: Việc quản lý trật tự xây dựng được thực hiện xuyên suốt từ khi thông báo khởi công đến khi công trình được nghiệm thu, đưa vào sử dụng, nhằm kịp thời phát hiện và xử lý vi phạm. Việc quản lý được áp dụng phù hợp với từng loại công trình có hoặc không có yêu cầu cấp phép xây dựng, tránh áp dụng một cách máy móc. UBND cấp tỉnh chịu trách nhiệm toàn diện đối với trật tự xây dựng trên địa bàn, còn UBND cấp xã thực hiện theo phân cấp của tỉnh. Khi phát hiện vi phạm, cơ quan quản lý phải yêu cầu dừng thi công và xử lý hoặc kiến nghị xử lý theo thẩm quyền. Chính phủ sẽ quy định chi tiết nội dung và phương thức thực hiện điều này trong Nghị định. Quy định này cho thấy tư duy quản lý chuyển từ “hậu xử lý vi phạm” sang “giám sát liên tục để phòng ngừa vi phạm từ đầu”. Việc xác định rõ trách nhiệm của UBND cấp tỉnh và cấp xã giúp tránh tình trạng đùn đẩy, né tránh hoặc quản lý hình thức, vốn là điểm yếu kéo dài trong thực tiễn trật tự xây dựng ở nhiều địa phương. Đồng thời, quy định tách bạch công trình có phép và không có phép là phù hợp, bởi cơ chế giám sát không thể cứng nhắc áp dụng cho mọi loại công trình.

Cách tiếp thu và chỉnh lý này cho thấy Bộ Xây dựng hướng đến mô hình quản lý xây dựng dựa trên tiêu chuẩn - dữ liệu - trách nhiệm, thay vì mô hình giấy phép - hồ sơ - xin - cho, từ đó giảm thủ tục mà không giảm an toàn công trình.

LÀM RÕ VIỆC DỪNG CÔNG TRÌNH, THỐNG NHẤT QUY ĐỊNH PCCC

Trong số các ý kiến của thành viên Chính phủ, ý kiến của Thống đốc Ngân hàng Nhà nước tập trung vào một vấn đề có ý nghĩa then chốt đối với quản lý đầu tư xây dựng, đó là việc xử lý các dự án hoặc công trình phải dừng thực hiện vì lý do khách quan hoặc bất khả kháng.

Thống đốc đề nghị cơ quan chủ trì soạn thảo nghiên cứu bổ sung cơ chế xác định rõ trường hợp dừng chủ trương đầu tư cũng như quy trình xử lý phần khối lượng công việc đã triển khai thi công trước khi dự án bị buộc phải dừng, nhằm tránh phát sinh vướng mắc trong quyết toán, thanh toán và xử lý trách nhiệm giữa các chủ thể liên quan. Đây là vấn đề đã từng gây nhiều tranh cãi trong thực tiễn, nhất là đối với các dự án sử

dụng vốn đầu tư công hoặc dự án PPP, khi việc dừng thi công diễn ra tại thời điểm khối lượng thi công đã đạt tới một tỷ lệ nhất định, nhưng chưa có cơ chế pháp lý thật sự rõ ràng để quyết toán hoặc xử lý phần giá trị đã thực hiện.

Tiếp thu ý kiến này, Bộ Xây dựng đã làm rõ cơ sở pháp lý về việc dừng công trình, đồng thời chỉnh lý tại khoản 2 Điều 78 của dự thảo Luật Xây dựng (sửa đổi), theo hướng xác định rõ nguyên tắc quyết toán đối với phần giá trị khối lượng đã thực hiện, trên cơ sở hồ sơ nghiệm thu, khối lượng đã được thẩm tra, giám sát và phù hợp với tiến độ hợp đồng.

Bộ Xây dựng cũng viện dẫn các quy định liên quan trong pháp luật về đầu tư công và pháp luật PPP, theo đó, việc dừng dự án chỉ được quyết định bởi cấp có thẩm quyền và phải đi kèm với phương án xử lý giá trị phần công việc đã hoàn thành. Việc bổ sung và làm rõ cơ chế này không chỉ bảo đảm tính minh bạch và thống nhất giữa Luật Xây dựng và Luật Đầu tư công/PPP, mà còn góp phần hạn chế rủi ro phát sinh tranh chấp, khiếu kiện về sau, đồng thời tạo cơ sở pháp lý rõ ràng để bảo đảm quyền lợi hợp pháp của nhà thầu, nhà đầu tư và cơ quan chủ đầu tư trong trường hợp dự án buộc phải dừng không do lỗi chủ quan.

Một trong những ý kiến quan trọng khác đến từ Bộ trưởng Bộ Công an, liên quan đến vấn đề bảo đảm đồng bộ pháp luật trong lĩnh vực PCCC đối với công trình xây dựng. Bộ trưởng đề nghị thay thế cụm từ “công trình thuộc diện thẩm định về PCCC” bằng “công trình thuộc diện thẩm định thiết kế về PCCC” để bảo đảm thống nhất với Luật chuyên ngành. Đây là vấn đề tưởng chừng mang tính kỹ thuật này lại có ý nghĩa quan trọng trong thực tiễn thi hành, bởi sự thiếu thống nhất về thuật ngữ pháp lý giữa các luật và văn bản dưới luật có thể dẫn đến cách hiểu khác nhau, tạo ra rủi ro trong quá trình thẩm định, cấp phép hoặc kiểm tra nghiệm thu. Đặc biệt, trong bối cảnh thời gian qua, nhiều dự án, công trình xây dựng bị ách tắc do yêu cầu về PCCC chưa được giải thích, hướng dẫn rõ ràng, việc điều chỉnh thuật ngữ theo hướng thống nhất với Luật PCCC và các quy chuẩn kỹ thuật liên quan sẽ góp phần hạn chế vướng mắc ngay từ khâu hồ sơ thiết kế.

Bộ Xây dựng đã tiếp thu đầy đủ kiến nghị này và chỉnh lý tại khoản 2 Điều 29 và điểm b khoản 1 Điều 45 của dự thảo Luật. Việc tiếp thu này thể hiện định hướng nhất quán là không mở thêm thủ tục, không sinh thêm giấy phép, mà tập trung thống nhất hóa ngôn ngữ pháp lý, bảo đảm cơ quan quản lý nhà nước các cấp áp dụng chính xác và đồng bộ. Điều này đồng thời giúp chủ đầu tư, nhà thầu và đơn vị tư vấn thiết kế có căn cứ rõ ràng khi lập và trình thẩm định thiết kế PCCC, giảm thiểu tình trạng phải chỉnh sửa hồ sơ nhiều lần hoặc bị trả lại hồ sơ do cách hiểu khác biệt.

Có thể thấy, việc chỉnh lý mà Bộ Xây dựng thực hiện không đơn thuần là sửa câu chữ, mà là bước hoàn thiện quan trọng nhằm tăng tính khả thi của quy định pháp luật trong thực tiễn, giảm chi phí tuân thủ, hạn chế rủi ro pháp lý cho doanh nghiệp và bảo đảm yêu cầu an toàn tính mạng, tài sản của người dân trong hoạt động xây dựng và khai thác công trình.

Dự kiến, dự án Luật Xây dựng (sửa đổi) sẽ được Quốc hội xem xét thông qua tại Kỳ họp này. ❖

Tập trung "luồng xanh", tháo gỡ thủ tục phát triển nhà ở xã hội



HUY THẢO

Bám sát chỉ đạo quyết liệt của Chính phủ về phát triển nhà ở xã hội (NOXH), Bộ Xây dựng đã thể hiện rõ vai trò quản lý nhà nước, vừa tích cực đôn đốc, tập trung "luồng xanh" tháo gỡ thủ tục tại địa phương, vừa chủ động hoàn thiện thể chế. Đến nay Đề án 1 triệu căn NOXH đạt 60% mục tiêu.

QUYẾT LIỆT ĐÔN ĐỐC, THÁO GỖ VƯỚNG MẮC TỪ THỰC TIỄN

Phát triển NOXH không chỉ là giải quyết nhu cầu "an cư lạc nghiệp" cho người thu nhập thấp, mà như Thủ tướng Phạm Minh Chính đã nhấn mạnh, đây còn là "động lực của phát triển nhanh và bền vững", góp phần ổn định kinh tế vĩ mô. Với tinh thần đó, Bộ Xây dựng, với vai trò là cơ quan quản lý nhà nước chuyên ngành, đã triển khai một loạt giải pháp đồng bộ, quyết liệt trên cả hai phương diện thực thi và thể chế.

Nhận diện các "điểm nghẽn" tại địa phương là một trong những nhiệm vụ trọng tâm. Bám sát tinh thần chỉ đạo của Thủ tướng về việc cắt giảm thủ tục, đẩy mạnh triển khai "luồng xanh", trong tháng 10/2025 Bộ Xây dựng đã tổ chức 5 Đoàn công tác đi kiểm tra, đôn đốc, hướng dẫn tháo gỡ các khó khăn, vướng mắc, đẩy mạnh phát triển NOXH.

Công tác giám sát này nhằm đảm bảo các địa phương thực hiện nghiêm túc mục tiêu của Đề án 1 triệu căn hộ NOXH. Đây cũng là hành động cụ thể nhằm thực thi "5 bảo đảm" mà Thủ tướng yêu cầu: Chấn chỉnh kỷ cương; thanh tra, phòng ngừa tiêu cực; bảo đảm công bằng, đúng đối tượng; xử lý nghiêm mọi giới trái phép và tạo điều kiện cho doanh nghiệp có quỹ đất sạch.

Song song với đôn đốc, Bộ Xây dựng đã tập trung cao độ cho công tác hoàn thiện thể chế, giải quyết gốc rễ các vướng mắc. Đây là hành động trực tiếp thực hiện mục tiêu thứ nhất mà Thủ tướng đề ra là tháo gỡ khó khăn về thủ tục, quy trình.

Bộ đã tích cực tham mưu, xây dựng để Chính phủ ban hành Nghị định số 261/2025/NĐ-CP sửa đổi, bổ sung một số nghị định về NOXH. Bên cạnh đó, Bộ Xây dựng cũng đã hoàn thiện, trình Chính phủ dự thảo Nghị định quy định về Quỹ nhà ở quốc gia và biện pháp thi hành Nghị quyết số 201/2025/QH15.

ĐI VÀO THỰC CHẤT, HIỆU QUẢ

Sự chỉ đạo quyết liệt của Chính phủ và vai trò chủ động

của Bộ Xây dựng, cùng nỗ lực của các địa phương, doanh nghiệp đã mang lại những kết quả tích cực, đưa Đề án 1 triệu căn NOXH đi vào thực chất, hiệu quả.

Lũy kế đến nay cả nước có 696 dự án NOXH đang được triển khai với quy mô 637.048 căn. Trong đó, 191 dự án đã hoàn thành 128.648 căn; 195 dự án đã khởi công 123.057 căn và 310 dự án được chấp thuận chủ trương đầu tư 385.343 căn. Con số này cho thấy tổng số dự án đã hoàn thành, khởi công và được chấp thuận chủ trương đầu tư đã đạt 60% so với chỉ tiêu Đề án.

Xét riêng năm 2025, bức tranh cũng cho thấy nhiều điểm sáng. 10 tháng qua cả nước đã hoàn thành 61.893/100.275 căn, đạt 62% kế hoạch năm. Dự kiến đến hết năm 2025, tổng số căn hoàn thành là 91.585 căn, đạt 91% chỉ tiêu năm. Đáng chú ý, có 17/34 địa phương dự kiến hoàn thành và vượt chỉ tiêu, bao gồm các đầu tàu kinh tế như: Hà Nội (102%), TP.HCM (100%), Hải Phòng (101%), Bắc Ninh (102%), Đồng Nai (110%).

Sự vào cuộc của các Bộ, ngành khác cũng rất tích cực. Bộ Công an đã khởi công 8 dự án (4.554 căn); Tổng Liên đoàn Lao động Việt Nam khởi công 3 dự án (1.700 căn); Bộ Quốc phòng dự kiến khởi công 8 dự án (6.547 căn).

Tuy nhiên, bên cạnh kết quả đạt được, thực tiễn vẫn còn nhiều thách thức, tại phiên họp thứ 3 của Ban Chỉ đạo Trung ương về chính sách nhà ở và thị trường bất động sản (BĐS) ngày 11/11, Thủ tướng Phạm Minh Chính đã thẳng thắn chỉ rõ, nguồn cung NOXH còn thiếu, chưa có ngân sách ưu đãi ổn định, giá bán chưa phù hợp và thủ tục hành chính còn rườm rà...

Theo các số liệu báo cáo, tiến độ triển khai một số dự án NOXH còn chậm, ngay cả khi Quốc hội đã ban hành Nghị quyết 201 (hiệu lực từ 01/6/2025) và Chính phủ có Nghị định 192/2025/NĐ-CP (hiệu lực từ 01/7/2025) về cơ chế đặc thù. Đặc biệt, việc bố trí quỹ đất 20% cho NOXH tại các dự án nhà ở thương mại chưa được thực hiện nghiêm túc, ảnh hưởng đến chất lượng quỹ đất, vốn dĩ không được nằm ở nơi "khí ho cò gáy" mà phải đồng bộ hạ tầng.



ẢNH NGUYỄN HÀ HIỆP

Bộ Xây dựng đang nghiên cứu xây dựng quy trình, trình tự thủ tục đầu tư NOXH thống nhất trên cả nước, rút ngắn thời gian chuẩn bị đầu tư không quá 6 tháng.

NHẬN DIỆN THÁCH THỨC ĐỂ HÀNH ĐỘNG

Để giải quyết các tồn tại và phần đầu đạt kết quả cao nhất trong phát triển NOXH, Bộ Xây dựng đã đề ra kế hoạch hành động cụ thể cho thời gian tới, bám sát các chỉ đạo tại Quyết định số 338/QĐ-TTg, các Thông báo 120, 320, 446/TB-VPCP và Công điện 190/CD-TTg.

Theo đó, các nhiệm vụ trọng tâm Bộ Xây dựng tập trung triển khai bao gồm việc khẩn trương hoàn thiện báo cáo của Đảng ủy Chính phủ trình Bộ Chính trị xin chủ trương ban hành Nghị quyết của Quốc hội thí điểm mô hình Trung tâm giao dịch BĐS và quyền sử dụng đất do Nhà nước thành lập.

Đồng thời, Bộ sẽ chủ trì, phối hợp với các Bộ, ngành liên quan dự thảo Nghị quyết của Chính phủ về cơ chế kiểm soát, kiểm chế giá BĐS. Đặc biệt, Bộ Xây dựng sẽ tập trung hoàn thiện, trình Chính phủ ban hành Nghị quyết về cơ chế đặc biệt xử lý khó khăn, vướng mắc, chỉ tiêu pháp lệnh đột phá phát triển NOXH và hoàn thiện, trình Thủ tướng Chính phủ ban hành Chỉ thị về việc chấn chỉnh, tăng cường minh bạch, phòng ngừa tiêu cực trong việc xét duyệt, mua - bán, cho thuê NOXH, cả hai văn bản quan trọng này đều đặt mục tiêu hoàn thành trước ngày 15/11/2025.

Song song với công tác hoàn thiện thể chế, Bộ sẽ tiếp tục tổ chức các Đoàn công tác kiểm tra, đôn đốc các địa phương, doanh nghiệp đẩy mạnh triển khai đầu tư xây dựng NOXH, đảm bảo mục tiêu năm 2025 hoàn thành ít nhất 100.000 căn NOXH.

Tại phiên họp thứ 3 của Ban Chỉ đạo Trung ương về chính sách nhà ở và thị trường BĐS, Thủ tướng Phạm Minh Chính đã chỉ đạo rất cụ thể trách nhiệm của các địa phương, chủ đầu tư và doanh nghiệp nhằm tháo gỡ các vướng mắc trong phát triển NOXH. Theo đó, đối với các địa phương, phải tập trung chỉ đạo hoàn thành các chỉ tiêu NOXH năm 2025 đã được Thủ tướng Chính phủ giao với tinh thần "chỉ bàn làm, không bàn lùi" và chịu trách nhiệm toàn diện trước Chính phủ.

Đối với các chủ đầu tư dự án NOXH, Thủ tướng đề nghị thực hiện nghiêm trình tự, thủ tục mua bán; bảo đảm công bố công khai, minh bạch thông tin, đảm bảo dự án đến đúng đối tượng, không để xảy ra sai phạm. Phải áp dụng công nghệ số để tạo thuận lợi cho người dân, kiểm soát chất lượng công trình, đúng tiến độ, giá bán và tối ưu hóa đầu tư để giảm giá thành xây dựng nhưng vẫn phải đảm bảo tiêu chuẩn và các tiện ích, hạ tầng thiết yếu. Đối với các doanh nghiệp, cần chủ động phối hợp, làm việc với Bộ Xây dựng, các địa phương để nghiên cứu, đề xuất đầu tư xây dựng các dự án NOXH, sử dụng quỹ đất sạch của mình..

Bên cạnh các nhiệm vụ chủ động đề ra, Bộ Xây dựng cũng tích cực triển khai các nhiệm vụ cụ thể được Thủ tướng Chính phủ giao tại phiên họp thứ 3 của Ban Chỉ đạo Trung ương về chính sách nhà ở và thị trường BĐS, bao gồm: Nghiên cứu xây dựng một quy trình, trình tự thủ tục đầu tư NOXH thống nhất trên cả nước, rút ngắn thời gian chuẩn bị đầu tư không quá 6 tháng; chủ trì làm việc với các doanh nghiệp, tập đoàn lớn có uy tín để đề xuất sử dụng quỹ đất sạch cho các dự án NOXH; đồng thời tổ chức kiểm tra chuyên đề, kiến nghị xử lý nghiêm các trường hợp vi phạm, lợi dụng chính sách để trục lợi.

Những hành động quyết liệt này nhằm hiện thực hóa mục tiêu thứ hai được Thủ tướng nhấn mạnh, để người dân được thụ hưởng, tiếp cận nhanh nhất, dễ nhất, rẻ nhất, thuận lợi nhất về NOXH.❖

Không thể để đô thị mãi “chạy theo mưa”



ĐỨC TÚ

Theo Bộ Xây dựng, đến năm 2030 cả nước cần khoảng 300 nghìn tỷ đồng cho 288 dự án thoát nước đô thị. Quy mô vốn khổng lồ này đòi hỏi sớm ban hành Luật Cấp thoát nước nhằm thống nhất quản lý quy hoạch, đầu tư, vận hành hệ thống, khắc phục phân tán trách nhiệm và tạo cơ chế huy động nguồn lực xã hội hóa hiệu quả.

THIẾU QUY HOẠCH CHUYÊN NGÀNH THOÁT NƯỚC

Sau những đợt mưa lớn gây ngập sâu nhiều tuyến phố ở Hà Nội, TP.HCM và Đà Nẵng trong tháng 10 và 11/2025, câu chuyện về hệ thống thoát nước đô thị yếu kém một lần nữa được đặt ra như một “phép thử giới hạn” đối với năng lực quản lý và khung pháp lý hiện hành. Cục Kết cấu hạ tầng xây dựng (Bộ Xây dựng) cho biết, năng lực tiêu thoát nước của các đô thị Việt Nam hiện chưa theo kịp tốc độ đô thị hóa và chịu ảnh hưởng nghiêm trọng từ biến đổi khí hậu, trong khi khuôn khổ pháp lý điều chỉnh lĩnh vực này đã lạc hậu gần một thập kỷ.

Từ năm 1998 đến nay, Việt Nam đã tăng từ 633 lên 900 đô thị, trong đó hơn 200 đô thị từ loại IV trở lên. Tuy nhiên, mạng lưới thoát nước ở phần lớn địa phương vẫn là hệ thống chung, nơi mưa và nước thải sinh hoạt đi cùng một tuyến ống. Hơn 50% mạng lưới có tuổi thọ trên 50 năm, nhiều đoạn vẫn được sử dụng từ thời Pháp. Cục Kết cấu hạ tầng xây dựng nhận định, công tác đầu tư, cải tạo và vận hành còn chắp vá, thiếu đồng bộ; năng lực tiêu thoát nước chưa đáp ứng được lượng mưa cực đoan và tình hình biến đổi khí hậu.

Đáng chú ý, chỉ 18% lượng nước thải sinh hoạt trên cả nước được thu gom và xử lý đạt chuẩn, dù tỷ lệ phủ mạng lưới cống thoát nước đô thị đạt gần 90%. Hiện có 83 nhà máy xử lý nước thải đô thị với tổng công suất thiết kế 2,064 triệu m³/ngày, nhưng thực tế vận hành chỉ đạt 1,1 triệu m³/ngày do tỷ lệ đầu nối hộ dân thấp. Nhiều nhà máy hoạt động dưới 50% công suất thiết kế.

Tình trạng đầu tư thiếu vốn là nguyên nhân chính. Theo báo cáo tổng hợp của Bộ Xây dựng, nhu cầu đầu tư các dự án thoát nước và xử lý nước thải đến năm 2030 lên tới 250 - 300 nghìn tỷ đồng, trong khi ngân sách nhà nước mới đáp ứng khoảng 60%. Các dự án đối tác công tư (PPP) trong lĩnh vực này gần như “vắng bóng”, bởi khu vực tư nhân e ngại cơ chế giá dịch vụ và chi phí duy tu phức tạp, trong khi thu hồi vốn chậm.

Không chỉ thiếu vốn, việc thiếu quy hoạch chuyên ngành thoát nước cũng là điểm nghẽn pháp lý nghiêm trọng. Sau khi Luật Quy hoạch đô thị - nông thôn có hiệu lực, chỉ còn 6 thành phố trực thuộc Trung ương duy trì đồ án quy hoạch riêng, hầu hết đã lỗi thời và chưa cập nhật yếu tố biến đổi khí hậu. Các tỉnh, thành khác chỉ tích hợp thoát nước vào quy hoạch tổng thể, mang tính định hướng chung, thiếu cơ sở kỹ thuật để triển khai dự án cụ thể.

HỆ THỐNG THOÁT NƯỚC QUÁ TẢI

Theo Bộ Xây dựng, nguyên nhân cốt lõi của ngập úng diện rộng tại các đô thị nằm ở sự bất cập giữa năng lực hạ tầng và thực tế khí hậu. Hầu hết đô thị Việt Nam nằm ở vùng đồng bằng, có độ dốc nhỏ, thoát nước trọng lực kém, lại bị ảnh hưởng bởi triều cường và lũ thượng nguồn. Khi mưa lớn xảy ra cùng lúc với triều dâng, hệ thống thoát nước gần như tê liệt.

Tại Hà Nội, hệ thống thoát nước hiện vẫn được cải tạo theo quy hoạch từ năm 2013. Hệ thống này được tính toán cho lượng mưa 310 mm trong 2 ngày, trong khi thực tế

lượng mưa trong bão số 10 và 11 vừa qua đạt tới 500 mm chỉ trong chưa đầy một ngày. Kết quả là nhiều khu vực nội thành ngập sâu tới 0,5 - 1 m, mực nước sông Tô Lịch vượt mức khổng lồ 5,78 m, hồ Đống Đa lên 5,7 m cao hơn ngưỡng an toàn gần 2 m.

Hiện thành phố mới đầu tư 11 trạm bơm, trong đó công trình lớn nhất là trạm bơm Yên Nghĩa với công suất 120 m³/s; tuy nhiên, hệ thống này lại chưa phát huy hết khả năng do chưa hoàn thiện hệ thống kênh La Khê và hồ điều hòa. Tổng công suất thoát nước toàn thành phố mới đạt 20% theo Quy hoạch thoát nước Thủ đô Hà Nội đến năm 2030, tầm nhìn 2050 được Thủ tướng Chính phủ phê duyệt tại Quyết định số 725/QĐ-TTg năm 2013, còn diện tích hồ điều hòa chỉ đạt 18,7% (1.010 ha so với 5.405 ha trong quy hoạch).

Ở TP.HCM, theo Quyết định số 752/QĐ-TTg ngày 19/6/2001 của Thủ tướng Chính phủ phê duyệt “Quy hoạch tổng thể hệ thống thoát nước TP.HCM đến năm 2020”, hệ thống thoát nước được thiết kế với lượng mưa cực đại 95 mm/3h, nhưng thực tế hiện nay nhiều khu vực ghi nhận trên 120 mm chỉ trong một giờ. Mực triều tại các cửa sông đạt đỉnh +1,74 m, vượt mức thiết kế +1,32 m. Đến nay, thành phố mới hoàn thiện 75% hệ thống thoát nước, chỉ có 3/11 nhà máy xử lý nước thải vận hành (đạt 12,26% công suất quy hoạch). Bình quân chiều dài cống thoát nước trên đầu người chỉ 0,82 m/người, thấp hơn gấp 2,5 lần so với chuẩn thế giới (2 m/người).

Tại Đà Nẵng, hệ thống thoát nước đô thị được đánh giá là tiên tiến nhất cả nước, song vẫn không thể chịu nổi trận mưa lịch sử ngày 14/10/2022 với 165 mm trong một giờ và 417 mm trong ba giờ, trong khi năng lực hệ thống chỉ khoảng 40 mm/h. Triều cường đạt 1,4 m đã khiến toàn bộ khu vực Liên Chiểu, Hòa Vang ngập sâu. Thành phố đang phải điều chỉnh quy hoạch cao độ nền và thoát nước mặt, đồng thời xây dựng bản đồ ngập úng và hệ thống cảnh báo sớm.

Cần Thơ và Huế cũng trong tình trạng tương tự. Tại Cần Thơ, triều cường thường xuyên vượt 2,2 m, làm ngập 20 - 50 tuyến đường mỗi năm. Khu đô thị mới An Vân Dương (Huế) thường xuyên ngập từ 0,8 - 1,1 m do hệ thống thoát nước chưa hoàn chỉnh, địa hình thấp hơn mực nước lũ tự nhiên.

LUẬT CẤP THOÁT NƯỚC SỬA ĐỔI - KHUNG PHÁP LÝ CHO ĐÔ THỊ CHỐNG CHỊU KHÍ HẬU

Trước thực trạng trên, Bộ Xây dựng đã đề xuất sửa đổi toàn diện Luật Cấp thoát nước, dự kiến trình Chính phủ năm 2026 và Quốc hội thông qua vào năm 2027. Đồng thời, Bộ Xây dựng cũng đang rà soát, sửa đổi Nghị định số 80/2014/NĐ-CP về thoát nước và xử lý nước thải, nhằm bổ sung nội dung quản lý ngập úng đô thị, quy định rõ cơ chế vận hành, bảo trì, đầu tư, khai thác và bảo vệ hành lang thoát nước tự nhiên.

Việc điều chỉnh này giúp thống nhất quản lý từ khâu quy hoạch, đầu tư đến vận hành hệ thống, tránh tình trạng phân tán trách nhiệm giữa các cơ quan và địa phương. Đây sẽ là bước đệm quan trọng chuẩn bị cho việc ban hành Luật

Cấp thoát nước mới, bảo đảm tính đồng bộ, khả thi trong thực tiễn triển khai. Dự luật mới sẽ tập trung vào bốn nhóm chính sách trọng tâm:

Thứ nhất, hoàn thiện hệ thống quy hoạch và quản lý cao độ nền, quy định rõ trách nhiệm giữa các cấp chính quyền và cơ quan chuyên môn. Việc thiếu cơ chế thống nhất giữa Sở Xây dựng, Sở NN&MT và UBND cấp huyện khiến nhiều công trình sau đầu tư không có đơn vị vận hành. Luật mới sẽ thiết lập mô hình một đầu mối quản lý, gắn với trung tâm hạ tầng đô thị cấp tỉnh.

Thứ hai, xây dựng cơ chế tài chính bền vững. Hiện chỉ 25 địa phương ban hành giá dịch vụ thoát nước, với mức 700 - 2.600 đ/m³, chưa đủ bù chi phí vận hành. Luật mới sẽ quy định giá dịch vụ thoát nước theo lộ trình 5 năm, tính đúng, tính đủ, đồng thời mở cơ chế PPP và ưu đãi tín dụng xanh cho dự án thoát nước và xử lý nước thải.

Thứ ba, nâng chuẩn kỹ thuật theo hướng thích ứng biến đổi khí hậu. Bộ Xây dựng đang rà soát QCVN 07-2:2023/BXD và TCVN 7957:2023, bổ sung yêu cầu hồ điều hòa, diện tích lưu vực, và áp dụng mô hình “thành phố bọt biển” (sponge city), cho phép nước mưa thấm, giữ, điều tiết tự nhiên thay vì thoát nhanh. Các đô thị sẽ được yêu cầu tăng diện tích hồ, sông, kênh rạch ít nhất 20% so với hiện trạng đến năm 2030.

Thứ tư, ứng dụng công nghệ số và quản trị thông minh trong thoát nước. Luật mới hướng tới xây dựng hệ thống cơ sở dữ liệu số về toàn bộ mạng lưới cống, trạm bơm, nhà máy xử lý; phát triển bản đồ ngập úng, hệ thống cảnh báo sớm, và mô hình dự báo mưa, triều cường theo thời gian thực.

Bên cạnh sửa luật, Bộ Xây dựng cũng đề xuất Chính phủ xem xét chính sách hỗ trợ đầu tư công trình chống ngập cục bộ tại các đô thị lớn; ưu tiên bố trí vốn ODA và ngân sách nhà nước cho các dự án tiêu biểu tại Hà Nội, TP.HCM, Đà Nẵng, Cần Thơ.

Đặc biệt, các địa phương phải công bố danh mục hồ, ao, đầm không được san lấp, kiểm soát cao độ nền trong cấp phép xây dựng, kết hợp quy hoạch thoát nước với sử dụng đất và giao thông, thủy lợi. Giải pháp này không chỉ giúp chống ngập trước mắt mà còn định hình chiến lược “thoát nước bền vững” lâu dài cho Việt Nam.

Ngập úng đô thị không chỉ là hiện tượng thời tiết cực đoan mà là thước đo năng lực quản trị đô thị và tính hiện đại của hạ tầng. Khi nhiều đô thị chỉ có thể chịu được lượng mưa 310 mm trong 2 ngày, trong khi thực tế vượt 500 mm trong 24 giờ, khi công suất nhà máy xử lý nước thải chỉ đạt 50% thiết kế, và mức đầu tư toàn quốc mới đáp ứng 60% nhu cầu, thì việc sửa đổi Luật Cấp thoát nước trở thành đòi hỏi cấp thiết, mang tính sống còn.

Xây dựng Luật Cấp thoát nước đồng bộ, dựa trên dữ liệu, có cơ chế tài chính minh bạch và định hướng phát triển bền vững sẽ là nền tảng để các đô thị Việt Nam xây dựng hệ thống thoát nước hiện đại, chống chịu khí hậu, đảm bảo mỗi đô thị không chỉ “chống ngập” mà còn “sống hòa cùng nước”, đúng tinh thần phát triển xanh, bền vững của thời đại.❖

Khai mở cơ chế phát triển nhân lực đường sắt



CÔNG THÀNH

Luật Đường sắt 2025 mở đường cho ứng dụng khoa học công nghệ, chuyển giao công nghệ và phát triển nguồn nhân lực, hướng đến hiện đại hóa, tự chủ ngành đường sắt Việt Nam.

Luật Đường sắt 2025 khẳng định yêu cầu phát triển công nghiệp đường sắt phải dựa trên nền tảng khoa học công nghệ tiên tiến, hiện đại, bảo đảm khả năng làm chủ và chuyển giao công nghệ, phù hợp với quy hoạch mạng lưới và chiến lược phát triển ngành. Điểm nổi bật của luật là việc dành riêng Điều 39 để quy định cụ thể về nghiên cứu, ứng dụng khoa học công nghệ (KHCN), chuyển giao công nghệ và đào tạo nguồn nhân lực.

Theo đó, việc nghiên cứu, ứng dụng KHCN và chuyển giao công nghệ trong lĩnh vực đường sắt phải bảo đảm đẩy mạnh ứng dụng công nghệ số, trí tuệ nhân tạo, phù hợp với pháp luật về KHCN, đổi mới sáng tạo và chuyển giao công nghệ. Các doanh nghiệp đầu tư, nghiên cứu, ứng dụng KHCN, phát triển công nghiệp đường sắt được trích tối đa 20% thu nhập tính thuế để lập Quỹ phát triển KHCN, sử dụng theo quy định pháp luật. Ngoài ra, tổ chức, cá nhân tham gia hoạt động KHCN được hưởng nhiều chính sách ưu đãi như miễn thuế thu nhập doanh nghiệp và thuế thu nhập cá nhân, được hưởng ưu đãi như doanh nghiệp công nghệ cao, nhận hỗ trợ ngân sách Nhà nước trong mua sắm, vận hành thiết bị phục vụ nghiên cứu. Các hoạt động đào tạo nhân lực cho công nghiệp đường sắt cũng được hưởng cơ chế tương tự doanh nghiệp công nghệ cao.

Theo ông Nguyễn Tiến Thịnh - Phó cục trưởng Cục Đường sắt Việt Nam, việc ban hành Luật Đường sắt 2025 được Quốc hội đã thông qua luật với nhiều cơ chế, chính sách đột phá thay thế Luật Đường sắt 2017, đặc biệt là tạo hành lang pháp lý, huy động nguồn lực xã hội tham gia phát triển hạ tầng đường sắt, rút ngắn thủ tục đầu

tư, bảo đảm công khai, minh bạch và thúc đẩy ứng dụng KHCN.

Cục Đường sắt Việt Nam sẽ tiếp tục đẩy mạnh chuyển đổi số, hoàn thiện hệ thống liên thông, chia sẻ dữ liệu giữa các cơ sở dữ liệu hiện có để hình thành Kho dữ liệu Đường sắt tập trung (Data Warehouse); xây dựng bản đồ tọa độ tài sản kết cấu hạ tầng đường sắt nhằm nâng cao hiệu quả quản lý, khai thác tài sản; nghiên cứu xây dựng hệ thống phân tích dự báo rủi ro để giảm thiểu tai nạn, sự cố giao thông đường sắt. Cục Đường sắt Việt Nam phấn đấu đến năm 2030 đạt 100% thủ tục hành chính công trực tuyến thuộc thẩm quyền được thực hiện toàn trình.

Theo PGS.TS Lê Trung Thành - Vụ trưởng Vụ KHCNMT&VLXD, đường sắt tốc độ cao là dự án hạ tầng lớn nhất trong lịch sử Việt Nam, đòi hỏi đội ngũ nhân lực có quy mô lớn và trình độ đặc thù. Từ thiết kế, xây dựng, chế tạo thiết bị đến vận hành và bảo trì, tất cả đều cần đội ngũ được đào tạo bài bản, am hiểu công nghệ hiện đại.

Nhằm chuẩn bị cho giai đoạn phát triển mới, Thủ tướng Chính phủ đã phê duyệt Đề án "Đào tạo, phát triển nguồn nhân lực đường sắt Việt Nam đến năm 2030, định hướng đến năm 2045". Đề án xác định việc đào tạo nhân lực là nhiệm vụ trọng yếu, phải đi trước một bước để đáp ứng yêu cầu tiếp nhận, vận hành và làm chủ công nghệ hiện đại. Việc đào tạo dựa trên nguyên tắc kế thừa, đào tạo lại và phát triển nguồn nhân lực hiện có, bảo đảm đồng bộ giữa các cấp trình độ, giữa lý thuyết và thực hành, trong nước và quốc tế, phù hợp với đặc thù kỹ thuật - công nghệ cao của hệ thống đường sắt.

Đề án cũng nhấn mạnh ưu tiên đào tạo nhân lực chất lượng cao phục vụ triển khai các dự án đường sắt tốc độ



Việc đào tạo dựa trên nguyên tắc kế thừa, đào tạo lại và phát triển nguồn nhân lực hiện có, bảo đảm đồng bộ giữa các cấp trình độ, giữa lý thuyết và thực hành, trong nước và quốc tế, phù hợp với đặc thù kỹ thuật - công nghệ cao của hệ thống đường sắt.



Trong giai đoạn 2025 - 2030, Việt Nam sẽ đào tạo ít nhất 35 nghìn nhân lực, trong đó có lực lượng chuyên sâu cho các dự án đường sắt tốc độ cao và điện khí hóa, cùng 5 nghìn nhân lực phục vụ vận hành, khai thác, bảo trì đường sắt đô thị. Giai đoạn 2031 - 2035, quy mô đào tạo dự kiến đạt 70 nghìn người, trong đó có 13,8 nghìn nhân lực cho đường sắt tốc độ cao, 5 nghìn cho đường sắt quốc gia và hơn 21 nghìn cho đường sắt đô thị. Định hướng đến năm 2045, tiếp tục đào tạo, bồi dưỡng bổ sung nguồn nhân lực đáp ứng nhu cầu thực tế triển khai các dự án đường sắt và nhân lực vận hành, khai thác, bảo trì các tuyến đường sắt; hướng tới hình thành một số trung tâm đào tạo, chuyển giao công nghệ đường sắt hiện đại trong khu vực.

cao, đường sắt điện khí hóa và đường sắt đô thị, hướng đến tự chủ trong thiết kế, thi công, vận hành, khai thác và bảo trì. Bên cạnh đó, chú trọng gắn kết giữa đào tạo, nghiên cứu khoa học và thực tiễn triển khai; nâng cao năng lực nghiên cứu, triển khai của các cơ sở đào tạo, nghiên cứu và doanh nghiệp, hướng tới hình thành hệ sinh thái đổi mới sáng tạo ngành đường sắt Việt Nam.

Phát triển nguồn nhân lực được xác định là nhiệm vụ của cả hệ thống chính trị, đặc biệt là các cơ quan quản lý nhà nước, cơ sở đào tạo và doanh nghiệp. Chính phủ

khuyến khích chuyên gia, kỹ sư, nhà khoa học, tổ chức và cá nhân tham gia đầu tư, phối hợp đào tạo, tiếp nhận chuyển giao công nghệ, qua đó nâng cao năng lực cạnh tranh quốc gia trong lĩnh vực đường sắt.

Luật Đường sắt 2025 cùng Đề án phát triển nhân lực đến năm 2045 được kỳ vọng sẽ tạo nền tảng pháp lý và nguồn lực cần thiết để hiện đại hóa ngành đường sắt Việt Nam, hướng tới mục tiêu tự chủ công nghệ, phát triển bền vững và nâng cao vị thế quốc gia trong lĩnh vực giao thông vận tải.❖

Hoàn thiện tiêu chuẩn, công nghệ và nhân lực cho hạ tầng đường sắt tốc độ cao

THANH NGÀ (thực hiện)

"Điểm nghẽn" lớn nhất của hạ tầng đường sắt tốc độ cao (ĐSTĐC) hiện nay nằm ở sự thiếu đồng bộ giữa tiêu chuẩn, công nghệ và nguồn nhân lực. Vì vậy, cần sớm xây dựng một Đề án quốc gia về làm chủ vật liệu, công nghệ chế tạo và đào tạo đội ngũ chuyên gia để bảo đảm tính tự chủ, an toàn và hiệu quả trong đầu tư phát triển ĐSTĐC. Phóng viên Tạp chí Xây dựng đã có cuộc trao đổi với TS Nguyễn Huy Hiệp - chuyên gia trong lĩnh vực địa kỹ thuật và đường sắt về những vấn đề then chốt trong phát triển hạ tầng ĐSTĐC của Việt Nam.

Theo TS Nguyễn Huy Hiệp, để hiện thực hóa các dự án trọng điểm quốc gia, Việt Nam cần khẩn trương hoàn thiện đồng bộ hệ thống tiêu chuẩn - công nghệ - nhân lực, hướng tới mục tiêu tự chủ trong thiết kế, thi công và vận hành, bảo đảm an toàn và phát triển bền vững.

♦ Ông đánh giá thế nào về thực trạng hệ thống tiêu chuẩn, quy chuẩn và định mức kỹ thuật trong lĩnh vực xây dựng hạ tầng hiện nay, đặc biệt là đối với các dự án ĐSTĐC Bắc - Nam?

- Trước hết, có thể khẳng định rằng các vấn đề kỹ thuật, kinh tế và an toàn quốc gia trong phát triển hạ tầng luôn gắn bó mật thiết với nhau. Các công trình có yêu cầu kỹ thuật cao như: metro, ĐSTĐC, sân bay, nhà máy điện hạt nhân... đều đòi hỏi hệ thống tiêu chuẩn, công nghệ và nhân lực đặc biệt, được quản lý ở mức độ cao nhất về chất lượng và an toàn.

Khi triển khai các dự án ODA về hầm xuyên núi, hầm đô thị do nước ngoài tài trợ tại Việt Nam, chúng ta vẫn chưa được chuyển giao đầy đủ công nghệ nền - công nghệ lõi hoặc hệ thống tiêu chuẩn kỹ thuật gốc. Dù đã có 3 tuyến metro và nhiều công trình hạ tầng ngầm được triển khai song việc tiếp nhận và nội địa hóa công nghệ, tiêu chuẩn vẫn còn hạn chế.

Xét về khía cạnh kỹ thuật, ở các quốc gia phát triển, hệ thống tiêu chuẩn kỹ thuật được xây dựng thống nhất cho mọi loại hình công trình, từ dân dụng, công nghiệp đến hạ tầng giao thông, trên cơ sở nghiên cứu chuyên sâu, chi phí

đầu tư lớn và đội ngũ chuyên gia đầu ngành. Nhiều nội dung trong tiêu chuẩn chỉ vài dòng ngắn gọn, nhưng đằng sau đó là bí quyết công nghệ được xác lập qua các thí nghiệm đặc thù và quy trình kiểm chứng nghiêm ngặt.

Tại Việt Nam, phần lớn tiêu chuẩn được biên dịch hoặc tham khảo từ nước ngoài, nhưng chưa gắn liền với việc mua bản quyền, chuyển giao công nghệ hoặc tiến hành thí nghiệm kiểm chứng độc lập. Điều này khiến nhiều tiêu chuẩn chỉ dừng ở mức "dịch nghĩa", thiếu phần công nghệ nền và thông tin về chuyên gia biên soạn, dẫn đến tính khoa học và tính pháp lý còn hạn chế, chậm cập nhật thực tiễn.

Xét về khía cạnh kinh tế, do nhu cầu vốn đầu tư lớn, chúng ta phải huy động nhiều nguồn tài trợ quốc tế, dẫn đến việc áp dụng song song nhiều hệ tiêu chuẩn khác nhau tùy theo nước đầu tư. Trước mắt có thể giúp dự án triển khai nhanh, nhưng về lâu dài sẽ tạo ra nguy cơ thiếu thống nhất trong kết nối, vận hành, bảo trì công trình. Khi phụ thuộc vào chuyên gia và công nghệ nước ngoài, chi phí duy tu, bảo trì có thể bị đội lên cao, làm giảm hiệu quả đầu tư, dẫn đến nghịch lý "giá rẻ ban đầu nhưng tổng chi phí lại đắt".

Xét về khía cạnh an toàn và phòng thủ dân sự, Việt Nam có điều kiện địa hình, khí hậu và rủi ro thiên tai phức tạp, nên các công trình hạ tầng ngầm hoặc quy mô lớn cần được nghiên cứu theo hướng đa mục tiêu, vừa phục vụ dân sinh, vừa bảo đảm an toàn trong tình huống khẩn cấp. Theo quy định của Luật Phòng thủ dân sự năm 2023,



TS Nguyễn Huy Hiệp

những công trình quan trọng như: metro, hầm giao thông, ĐSTĐC nên được thiết kế với khả năng ứng phó thảm họa và phòng hộ kỹ thuật cao, đồng thời cần có sự phối hợp giữa các cơ quan dân sự và lực lượng kỹ thuật chuyên ngành trong quá trình khảo sát, thiết kế, thi công và quản lý vận hành.

Về định mức xây dựng, nhiều đầu việc có hàm lượng khoa học cao, đặc biệt trong thiết kế metro và ĐSTĐC chưa được cập nhật trong hệ thống định mức hiện hành. Nhiều hạng mục phải do chủ đầu tư và hội đồng khoa học tự tách riêng để thẩm định, gây khó khăn khi triển khai thực tế. Nguyên nhân là do thiếu chuyên gia đầu ngành tham gia xây dựng, quản lý và cập nhật định mức đặc thù cho các công trình kỹ thuật cao.

♦ Từ thực tiễn triển khai các dự án đường sắt đô thị và ĐSTĐC Bắc - Nam, ông đánh giá đâu là các điều kiện tiên quyết cần hoàn thiện để bảo đảm tiến độ và hiệu quả đầu tư?

- Có thể khái quát thành 4 nhóm vấn đề: Thứ nhất, thiếu một chương trình thí điểm công nghệ tổng thể. Chúng ta cần một Đề án thí điểm cấp quốc gia cho metro và ĐSTĐC, bao trùm các phần then chốt như: đầu máy - toa xe, hệ thống điều khiển - tín hiệu, kết cấu ray - nền đường - cầu cạn, an toàn điện tử - phòng cháy chữa cháy. Mục tiêu là tập hợp chuyên gia, tiếp nhận công nghệ nền và công nghệ lõi một

cách thực chất, từ đó mới nhân rộng. Cách làm này giúp giảm rủi ro chi phí vòng đời, tránh tình trạng giá hợp đồng ban đầu thấp nhưng tổng chi phí thực tế tăng cao.

Thứ hai, chưa phát huy đầy đủ vai trò của đội ngũ chuyên gia đầu ngành. Cần có cơ chế lắng nghe và trọng dụng chuyên gia kỹ thuật độc lập ngay từ khâu quy hoạch - thiết kế, nhất là trong bối cảnh biến đổi khí hậu, ngập lụt nhiều vùng ảnh hưởng trực tiếp đến lựa chọn tuyến và giải pháp kết cấu. Khi huy động trí tuệ khoa học trong nước một cách bài bản, chúng ta sẽ giảm phụ thuộc vào tư vấn bên ngoài và tối ưu hiệu quả sử dụng vốn.

Thứ ba, hệ thống tiêu chuẩn - quy trình còn phân tán. Hiện có nhiều bộ tiêu chuẩn khác nhau đang được áp dụng tùy nguồn vốn, gây khó cho kết nối, vận hành và bảo trì; cần một chương trình hợp nhất tiêu chuẩn cho metro, ĐSTĐC và sân bay, đồng thời thống nhất quy trình khảo sát, thí nghiệm, xử lý dữ liệu, quan trắc - duy tu - bảo dưỡng trên phạm vi toàn quốc, gắn với kho dữ liệu và nền tảng số để chia sẻ kết quả thí nghiệm, tham số thiết kế.

Thứ tư, năng lực vật liệu - luyện kim trong nước còn hạn chế. Điểm mấu chốt là làm chủ các vật liệu cường độ cao, bền mỏi, chống ăn mòn và ổn định rung động cho các kết cấu chủ đạo của metro và ĐSTĐC. Cần chương trình nội địa hóa có lộ trình, chuẩn hóa chứng chỉ kỹ thuật và liên kết viện - trường - doanh nghiệp để sản xuất trong nước, bảo đảm tuổi thọ - an toàn - chi phí bảo trì.

◆ Theo ông, yếu tố con người, đặc biệt là đội ngũ kỹ sư, chuyên gia trong các lĩnh vực nền, móng, kết cấu, địa kỹ thuật đang đóng vai trò như thế nào trong năng lực tự chủ của Việt Nam đối với các dự án hạ tầng quy mô lớn?

- Có thể nói, nhân lực kỹ thuật chất lượng cao là yếu tố quyết định sự thành công của các dự án hạ tầng hiện đại. Tuy nhiên, hiện nay thu nhập và điều kiện làm việc của kỹ sư xây dựng ở nước ta còn thấp so với yêu cầu chuyên môn và trách nhiệm thực tế, trong khi yêu cầu kỹ thuật ngày càng cao, đòi hỏi đầu tư lớn cho nghiên cứu, thí nghiệm và thực hành.

Các nước phát triển đều đã phải mất hàng chục năm để hình thành đội ngũ chuyên gia nòng cốt, có khả năng làm chủ công nghệ nền, công nghệ lõi và quy trình thi công phức tạp. Trong khi đó, Việt Nam mới ở giai đoạn nghiên cứu tiền khả thi, chưa tích lũy đủ kinh nghiệm thực tiễn và dữ liệu kỹ thuật để hình thành hệ thống chuyên gia chuyên sâu tương ứng.

Các công trình metro, ĐSTĐC đòi hỏi năng lực chuyên môn cao về địa kỹ thuật, tải trọng động, vật liệu cường độ cao và tương thích khí hậu Việt Nam. Đây là những lĩnh vực không thể “đi tắt” bằng vốn hay thiết bị nhập khẩu, mà cần đầu tư có lộ trình cho đào tạo, chuyển giao và thực hành lâu dài.

Nếu không xây dựng được đội ngũ chuyên gia làm chủ công nghệ, khi các công trình vận hành 5 - 10 năm, các vấn đề kỹ thuật phát sinh sẽ khó xử lý, phụ thuộc vào đối tác nước ngoài, làm giảm hiệu quả đầu tư. Vì vậy, phát triển nhân lực kỹ thuật phải được coi là nền tảng của tự chủ công nghệ, song hành với hoàn thiện tiêu chuẩn, định mức và công nghệ vật liệu.

◆ Ở góc độ khoa học vật liệu và cơ học công trình, ông đánh giá thế nào về những khoảng trống trong các tiêu chuẩn hiện hành liên quan đến móng cọc, nền đất, vật liệu, tải trọng động...? Theo ông, Việt Nam có thể xây dựng một “hệ tiêu chuẩn quốc gia hợp nhất” ra sao để vừa bảo đảm tính tương thích quốc tế, vừa phản ánh điều kiện địa chất - khí hậu trong nước?

- Vấn đề tuổi thọ và độ bền của vật liệu có ý nghĩa đặc biệt quan trọng đối với các công trình chịu tải trọng động như metro hay ĐSTĐC. Các yếu tố từ biến, lưu biến và dao động rung động ảnh hưởng trực tiếp đến ổn định lâu dài của kết cấu. Không phải quốc gia nào cũng có thể tự xây dựng được hệ tiêu chuẩn riêng cho loại công trình này, bởi nó đòi hỏi nền tảng công nghệ thí nghiệm phức tạp, dữ liệu lâu dài và đội ngũ chuyên gia chuyên sâu.

Thực tế, nhiều nước phát triển khi xây dựng hệ tiêu chuẩn riêng cũng bắt đầu từ việc học hỏi, tham chiếu và nội địa hóa công nghệ quốc tế, sau đó phát triển tiếp cho phù hợp với điều kiện địa chất, nhiệt độ, khí hậu của mình.

Tại Việt Nam, hiện đang tồn tại song song nhiều hệ tiêu chuẩn khác nhau như: hệ tiêu chuẩn Nga, Eurocode của châu Âu, AASHTO của Mỹ và một số tiêu chuẩn do các nước đầu tư ODA áp dụng. Trong đó, tiêu chuẩn của Nga được sử dụng phổ biến nhất, tiếp đến là tiêu chuẩn AASHTO trong lĩnh vực giao thông đường bộ.

Để xây dựng được một “hệ tiêu chuẩn quốc gia hợp nhất”,

chúng ta cần rà soát toàn bộ hệ thống hiện hành, phân loại và đánh giá từng nhóm theo mức độ đầy đủ về công nghệ, thí nghiệm và cơ sở dữ liệu gốc. Những tiêu chuẩn không có dữ liệu thí nghiệm nền, đặc biệt là thiếu mô hình về từ biến, lưu biến và tải trọng động, cần được loại bỏ hoặc hiệu chỉnh. Ngược lại, những tiêu chuẩn có cơ sở thí nghiệm rõ ràng cần được tích hợp và điều chỉnh để phù hợp với đặc điểm địa chất và khí hậu Việt Nam.

Ngay cả các quốc gia tiên tiến như Nga cũng từng tham khảo và chuyển hóa một phần tiêu chuẩn Eurocode để hình thành bộ tiêu chuẩn riêng cho ĐSTĐC, bằng cách kết hợp với các tiêu chuẩn nền, móng cọc, nền đường và sân bay. Về bản chất, khi xác định được sơ đồ tải trọng, phương pháp tính toán và dữ liệu đầu vào chuẩn, các tiêu chuẩn đều có thể quy đổi tương thích lẫn nhau.

Vì vậy, điều quan trọng không phải là chọn hệ tiêu chuẩn nào, mà là xây dựng được nền tảng công nghệ thí nghiệm và cơ sở dữ liệu kỹ thuật quốc gia, từ đó làm chủ công cụ tính toán và quản lý chất lượng công trình. Khi có hệ dữ liệu đủ mạnh, việc hợp nhất và chuẩn hóa tiêu chuẩn Việt Nam sẽ trở nên khả thi, bền vững và mang tính độc lập.

◆ Với tuyến ĐSTĐC có quy mô hơn 1.500 km, ông đánh giá thế nào về yêu cầu bảo đảm an toàn - ổn định kết cấu, cũng như sự cần thiết của cơ chế phối hợp liên ngành trong công tác quy hoạch, giám sát và bảo trì hạ tầng trọng điểm quốc gia?

- Như tôi đã phân tích, với chiều dài khoảng 1.500 km, khối lượng khảo sát địa chất, thí nghiệm vật liệu và đánh giá điều kiện tự nhiên là vô cùng lớn. Biến động khí hậu, mưa lũ, sạt trượt ở nhiều khu vực địa hình khác nhau sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến độ ổn định của toàn tuyến. Đây là thách thức đặc thù của Việt Nam, bởi hiếm có quốc gia nào triển khai một tuyến ĐSTĐC dài và phức tạp đến như vậy.

Khi thiết kế, cần đặc biệt chú ý đến yếu tố địa hình, thủy văn và khí hậu vùng. Việc phát triển các khu đô thị xung quanh các ga ĐSTĐC phải được cân nhắc kỹ về khả năng hạ tầng và tính kết nối, vì trên thực tế, không phải ga nào cũng đủ điều kiện trở thành trung tâm đô thị tập trung. Ở nhiều nước, các tuyến ĐSTĐC phải bù lỗ cho vận hành do lượng khách phân bố không đồng đều, đây là kinh nghiệm đáng tham khảo.

Trước ảnh hưởng của biến đổi khí hậu và mực nước biển dâng, việc tăng cường sử dụng cầu cạn, xây dựng ga trên cao và quy hoạch khu dân cư ở địa hình an toàn là cần thiết để giảm thiểu nguy cơ ngập lụt. Đồng thời, các ga ĐSTĐC cũng cần được bố trí hợp lý, bảo đảm hành lang kỹ thuật và tiếng ồn, tránh ảnh hưởng đến khu dân cư hiện hữu.

Công tác giám sát, quan trắc và bảo trì tuyến phải được thực hiện thường xuyên, liên tục, với hệ thống thiết bị cảm biến tự động để theo dõi độ lún, dao động, độ lệch của toàn tuyến. Trong vận hành, có thể sử dụng các đoàn tàu kỹ thuật không tải chạy ban đêm để thu thập dữ liệu dao động và biến dạng kết cấu, đây là thông lệ quốc tế giúp bảo đảm an toàn cho các đoàn tàu thương mại trong ngày.



Bên cạnh đó, việc bảo đảm an ninh, an toàn cho tuyến ĐSTĐC cần được thực hiện đồng bộ, có sự phối hợp giữa các cơ quan quản lý nhà nước, doanh nghiệp vận hành và lực lượng chuyên trách về an toàn hạ tầng. Cơ chế phối hợp liên ngành cần phân định rõ trách nhiệm giữa các bên trong lĩnh vực kỹ thuật, vận hành, bảo trì và ứng phó sự cố, nhằm bảo đảm nguyên tắc “xây dựng gắn liền với an toàn - phòng ngừa rủi ro”.

♦ Theo ông, đâu là điểm nghẽn lớn nhất hiện nay trong triển khai các dự án hạ tầng chiến lược: cơ chế, tiêu chuẩn - định mức, năng lực kỹ thuật hay tư duy phối hợp liên ngành? Nếu đề xuất với Chính phủ ban hành một Đề án quốc gia về tiêu chuẩn - định mức xây dựng và bảo trì hạ tầng chiến lược giai đoạn 2025 - 2030, vậy những nội dung trọng tâm trong Đề án này cần được ưu tiên là gì để khôi phục năng lực tự chủ và chuẩn hóa kỹ thuật quốc gia?

- Câu hỏi này rất lớn, nhưng có thể thấy rằng, điểm nghẽn cốt lõi hiện nay là sự thiếu đồng bộ giữa thể chế, tiêu chuẩn - định mức và cơ chế phối hợp liên ngành trong triển khai các dự án hạ tầng chiến lược. Các công trình quy mô lớn như: metro, ĐSTĐC, sân bay... đòi hỏi sự tham gia thống nhất của các cơ quan quản lý nhà nước, lực lượng kỹ thuật chuyên ngành và doanh nghiệp. Ở nhiều quốc gia, các dự án loại này được tổ chức theo mô hình “liên hợp kỹ thuật - công nghệ - an toàn hạ tầng”, trong đó vai trò điều phối của Chính phủ là trung tâm, nhằm đảm bảo các yếu tố kỹ thuật, kinh tế và an toàn được gắn kết chặt chẽ.

Nếu Chính phủ xem xét ban hành một Đề án quốc gia về tiêu chuẩn - định mức xây dựng và bảo trì hạ tầng chiến lược giai đoạn 2025 - 2030, theo tôi, trọng tâm đầu tiên phải là làm

chủ công nghệ vật liệu và công nghệ chế tạo trong nước. Với các công trình có quy mô trên 1.500 km như ĐSTĐC, lượng vật liệu xây dựng, thép và bê tông sử dụng là khổng lồ, nên việc chủ động về nguồn cung, tiêu chuẩn vật liệu, và công nghệ luyện kim trong nước sẽ quyết định tính bền vững và chi phí bảo trì dài hạn.

Chỉ vài năm nữa, các tuyến metro đầu tiên ở Việt Nam sẽ bước vào giai đoạn bảo trì - thay thế vật tư, khi đó nếu phụ thuộc vào linh kiện nhập khẩu, giá thành sẽ rất cao. Vì vậy, Đề án quốc gia cần đặt mục tiêu cụ thể về làm chủ vật liệu, thiết bị và công nghệ bảo trì, nhằm đảm bảo an toàn vận hành và giảm gánh nặng ngân sách.

Tiếp đến, cần xác định rõ hai trụ cột công nghệ: (1) Xây dựng - hạ tầng nền, bao gồm thiết kế, tiêu chuẩn kỹ thuật, công nghệ móng - kết cấu - địa kỹ thuật; (2) Thiết bị - đầu máy - hệ thống điều khiển, là phần thể hiện trình độ công nghiệp và năng lực tự chủ của quốc gia.

Khi xác định được tỷ lệ nội địa hóa phù hợp giữa hai trụ cột này, Việt Nam có thể từng bước làm chủ công nghệ metro và ĐSTĐC, tương tự như cách Hàn Quốc, Nhật Bản hay Trung Quốc đã đi, với lộ trình rõ ràng, chọn lọc công nghệ, và phát triển dần năng lực nội sinh.

Hiện nay, thế và lực của đất nước đã khác trước, chúng ta có đội ngũ chuyên gia, có khả năng tiếp cận công nghệ và có nhu cầu phát triển đồng bộ. Vấn đề còn lại là có chiến lược, mục tiêu và cơ chế điều phối thống nhất, để biến tiềm năng thành năng lực thực tế, đưa Việt Nam tiến tới tự chủ trong thiết kế, thi công và quản lý hạ tầng hiện đại.❖

♦ Trân trọng cảm ơn ông!

Phát triển công nghiệp đường sắt **tự chủ và hội nhập quốc tế**

> VŨ THÀNH VŨ

Trong bối cảnh đất nước đẩy mạnh công nghiệp hóa và hội nhập sâu rộng, ngành Đường sắt được xác định là lĩnh vực trọng tâm cần ưu tiên đầu tư. Với định hướng đổi mới toàn diện, khung pháp lý mới và tầm nhìn dài hạn, nền công nghiệp đường sắt tự chủ, hiện đại và bền vững đang dần thành hình.

NỀN TẢNG CHO NHỮNG BƯỚC ĐỘT PHÁ

Nghị quyết Đại hội XIII của Đảng, Kết luận số 49-KL/TW ngày 28/02/2023 của Bộ Chính trị và các quy hoạch phát triển giao thông vận tải đều khẳng định đường sắt là một trong những lĩnh vực vận tải cần được ưu tiên đầu tư, bởi có nhiều ưu thế về an toàn, năng suất, tiết kiệm và thân thiện môi trường.

Với quy mô đầu tư rất lớn trong thời gian tới, hệ thống đường sắt sẽ bao gồm các dự án trọng điểm như đường sắt tốc độ cao Bắc - Nam, tuyến Lào Cai - Hà Nội - Hải Phòng, các tuyến đường sắt đô thị tại Hà Nội và TP.HCM, cùng các tuyến kết nối quan trọng khác như Lạng Sơn - Hà Nội, Hải Phòng - Hạ Long - Móng Cái. Quy hoạch mạng lưới đến năm 2050 đặt mục tiêu hình thành 25 tuyến đường sắt với tổng chiều dài hơn 6.300 km, trong đó có 18 tuyến mới.

Thủ tướng Chính phủ Phạm Minh Chính từng nhấn mạnh: đây là thời cơ để Việt Nam “tự làm chủ công nghệ, phát triển sản xuất công nghiệp đường sắt”. Mục tiêu đặt ra là đến giai đoạn 2030 - 2045 đất nước phải phát triển được ngành công nghiệp đường sắt hiện đại, tự chủ trong sản xuất toa xe, đầu máy và hình thành hệ sinh thái công nghiệp đường sắt hoàn chỉnh. Thủ tướng cũng khẳng định quyết tâm “xây dựng bằng được ngành công nghiệp đường sắt, làm chủ công nghệ, sản xuất được toa xe, đầu máy, phát triển hệ sinh thái công nghiệp đường sắt”, coi đó là “cơ hội để dân tộc ta có thêm động lực, cảm hứng để vươn lên, phát triển đất nước trong kỷ nguyên mới”, như lời của Tổng Bí thư Tô Lâm.

Một bước ngoặt lớn trong hoàn thiện thể chế phát triển công nghiệp đường sắt Việt Nam là Luật Đường sắt (sửa đổi) năm 2025, được Quốc hội thông qua ngày 27/6/2025 và có hiệu lực từ ngày 01/01/2026. Luật đã bổ sung hàng loạt cơ chế đột phá, tạo hành lang pháp lý quan trọng nhằm thúc đẩy phát triển ngành công nghiệp đường sắt trong nước.

Lần đầu tiên, Luật Đường sắt quy định riêng mục về đầu tư phát triển công nghiệp đường sắt, xác định rõ nhóm sản phẩm, hàng hóa và cơ chế hỗ trợ nội địa hóa. Trong đó, nhóm

sản phẩm, hàng hóa gồm: Phương tiện giao thông đường sắt; hệ thống thông tin, tín hiệu; hệ thống cấp điện sức kéo; ray, ghi, phụ kiện liên kết và các thiết bị, vật tư kỹ thuật đặc biệt thuộc Danh mục công nghệ cao được ưu tiên đầu tư phát triển theo quyết định của Thủ tướng Chính phủ.

Luật cũng quy định hàng loạt chính sách nhằm khuyến khích chuyển giao công nghệ và nâng cao năng lực sản xuất trong nước. Đối với các gói thầu quốc tế, tổng thầu và nhà thầu bắt buộc phải cam kết chuyển giao công nghệ, đồng thời đào tạo nguồn nhân lực Việt Nam để làm chủ kỹ thuật trong vận hành, quản lý, bảo trì. Việc nhập khẩu dây chuyền sản xuất, lắp ráp thiết bị, phương tiện giao thông đường sắt cũng phải kèm theo điều kiện chuyển giao công nghệ toàn phần hoặc một phần, theo quy định của pháp luật về chuyển giao công nghệ.

Một điểm đáng chú ý, các doanh nghiệp trong nước cung cấp hàng hóa, dịch vụ thuộc Danh mục do Thủ tướng phê duyệt sẽ được Nhà nước bảo đảm đầu ra thông qua cơ chế đặt hàng nếu đáp ứng đủ tiêu chí. Chủ đầu tư và nhà thầu cũng có trách nhiệm ưu tiên sử dụng hàng hóa, dịch vụ trong nước sản xuất, cung cấp. Đối với các cơ sở sản xuất, lắp ráp, sửa chữa, hoán cải phương tiện đường sắt, Luật Đường sắt 2025 quy định Nhà nước sẽ hỗ trợ đầu tư xây dựng và bảo trì kết cấu hạ tầng kết nối từ đường sắt quốc gia, đường sắt địa phương đến các cơ sở này.

Với các dự án tổ hợp công nghiệp đường sắt, Luật cho phép áp dụng cơ chế đặc thù về quy hoạch và lựa chọn nhà thầu. Theo đó, nếu dự án có thay đổi so với quy hoạch khác liên quan thì vẫn được phê duyệt mà không cần điều chỉnh quy hoạch cũ; các quy hoạch liên quan sẽ được cập nhật, công bố theo quy định. Luật cũng cho phép sử dụng các hình thức đấu thầu hạn chế, chỉ định thầu đối với các gói thầu cung cấp hàng hóa, dịch vụ tư vấn, xây lắp, EPC, EC, EP, hợp đồng “chìa khóa trao tay” nhằm đảm bảo tính linh hoạt, hiệu quả trong triển khai.

Việc luật hóa các cơ chế đầu tư, sản xuất, hỗ trợ chuyển giao công nghệ là bước đi quan trọng nhằm nội địa hóa công nghiệp đường sắt, từng bước làm chủ các công nghệ then



chốt và thúc đẩy hình thành hệ sinh thái công nghiệp đường sắt hiện đại.

TẦM NHÌN PHÁT TRIỂN DÀI HẠN

Theo Thứ trưởng Nguyễn Danh Huy, trong các chuyên ngành giao thông vận tải gồm đường bộ, hàng không, hàng hải và đường thủy nội địa, Việt Nam đã làm chủ nhiều công nghệ hiện đại kể từ năm 1986 đến nay. Đặc biệt, các công trình như cầu dây văng, hầm... đã đạt trình độ tương đương với các quốc gia tiên tiến trên thế giới. Tuy nhiên, lĩnh vực đường sắt vẫn phát triển chậm do yêu cầu nguồn vốn đầu tư rất lớn và chỉ thực sự phát huy hiệu quả khi khai thác trên các tuyến có cự ly từ 300 km trở lên.

Bộ Xây dựng đặt ra mục tiêu đầy tham vọng trong phát triển công nghiệp đường sắt. Cụ thể, đến năm 2030, Việt Nam phấn đấu làm chủ toàn bộ các khâu từ khảo sát, thiết kế đến thi công các tuyến đường sắt có tốc độ dưới 160 km/h và hệ thống đường sắt đô thị. Sau mốc thời gian này, ngành sẽ từng bước nội địa hóa việc sản xuất phần mềm, thiết bị điều khiển tín hiệu, hệ thống điện động lực, cũng như chế tạo đầu máy và toa xe trong nước.

Thực hiện chỉ đạo của Thủ tướng Chính phủ, Bộ Xây dựng đang khẩn trương hoàn thiện nghị định về giao nhiệm vụ, đặt hàng và tiêu chí lựa chọn doanh nghiệp cung cấp dịch vụ, hàng hóa trong lĩnh vực công nghiệp đường sắt. Đây được xem là bước cụ thể hóa chủ trương của Đảng và Nhà nước về phát triển ngành công nghiệp đường sắt theo hướng hiện đại, bền vững và có trọng tâm, trọng điểm. Song song đó, Bộ cũng hướng tới mục tiêu từng bước tự chủ trong công tác bảo trì, sản xuất phương tiện, vật tư và trang thiết bị phục vụ hệ thống đường sắt đô thị và đường sắt quốc gia, bao gồm cả đường sắt tốc độ cao.

Mới đây, Chính phủ ghi nhận và đánh giá cao nỗ lực của Bộ Xây dựng trong việc xây dựng dự thảo Nghị định về phát triển công nghiệp đường sắt. Từ những kết quả đã đạt được, Chính phủ yêu cầu Bộ tiếp tục nghiên cứu, bổ sung danh mục dịch

vụ và hàng hóa công nghiệp đường sắt được giao nhiệm vụ, đặt hàng vào Nghị định nhằm tạo thuận lợi cho quá trình triển khai. Đồng thời, cần xác định rõ các sản phẩm trọng tâm, tránh dàn trải, ưu tiên lĩnh vực then chốt, đặc biệt là các sản phẩm ứng dụng công nghệ cao, kỹ thuật hiện đại.

Chính phủ cũng giao Bộ Xây dựng rà soát hệ thống tiêu chí về năng lực, kinh nghiệm, nhân sự, cơ sở vật chất và tài chính của doanh nghiệp tham gia, bảo đảm phù hợp với thực tiễn và khả thi trong triển khai. Bên cạnh đó, cần xây dựng lộ trình tăng tỷ lệ nội địa hóa; khuyến khích các doanh nghiệp có kế hoạch chuyển giao công nghệ cụ thể, ưu tiên đơn vị sở hữu năng lực thiết kế, chế tạo và đội ngũ nghiên cứu mạnh.

Hiện nay, các cơ chế, chính sách ưu đãi cho phát triển công nghiệp đường sắt đã được quy định tương đối đầy đủ. Tuy nhiên, Chính phủ vẫn yêu cầu tiếp tục hoàn thiện các chính sách ưu đãi vượt trội nhằm hỗ trợ doanh nghiệp trong nghiên cứu, chuyển giao công nghệ và bảo đảm thị trường tiêu thụ ổn định. Bộ Xây dựng cần công bố rõ danh mục, tiêu chí lựa chọn doanh nghiệp và thành lập hội đồng thẩm định để bảo đảm tính minh bạch, cơ sở pháp lý chặt chẽ trong quá trình đặt hàng, giao nhiệm vụ.

Cùng với đó, Chính phủ giao Bộ Xây dựng tiếp tục rà soát và nghiên cứu quy định về chủ thể đặt hàng, giao nhiệm vụ trong dự thảo Nghị định, bảo đảm tính khả thi, phù hợp thực tiễn và triển khai đồng bộ, hiệu quả. Bộ cũng cần đề xuất cơ chế đặc thù cho cả doanh nghiệp nhà nước và tư nhân, tạo điều kiện chủ động đầu tư dây chuyền công nghệ, sản xuất, đáp ứng tiến độ các dự án và nhu cầu vận hành khai thác hệ thống đường sắt.

Với quyết tâm chính trị cao, hành động đồng bộ và khát vọng tự chủ công nghệ, Việt Nam đang từng bước hiện thực hóa mục tiêu xây dựng ngành công nghiệp đường sắt trở thành trụ cột của nền kinh tế hiện đại, thể hiện tầm nhìn chiến lược và ý chí vươn lên của cả dân tộc, khẳng định năng lực quản trị và sức mạnh tự chủ trong giai đoạn phát triển mới.❖

Tạo lập “chuỗi giá trị nhân lực” để phát triển công nghiệp đường sắt hiện đại, tự chủ và bền vững



ĐỖ HOÀNG THẠCH (thực hiện)

Chiến lược phát triển công nghiệp đường sắt hiện đại, tự chủ và bền vững với hàng loạt các dự án đường sắt tốc độ cao Bắc - Nam, đường sắt quốc gia điện khí hóa và đường sắt đô thị... đang đòi hỏi Việt Nam phải có nguồn nhân lực đồng bộ, có trình độ chuyên môn, kỹ năng nghề nghiệp và năng lực công nghệ cao, đáp ứng yêu cầu phát triển chung của đất nước. BTV Tạp chí Xây dựng có cuộc trò chuyện với ThS Nguyễn Thị Phương Hiền - Phó giám đốc Học viện Chiến lược, bồi dưỡng cán bộ xây dựng (Bộ Xây dựng) về vấn đề này.

CHỦ ĐỘNG TRƯỚC KHÓ KHĂN ĐỂ CHUẨN BỊ CHO TƯƠNG LAI

♦ Là người tham gia lĩnh vực đào tạo chuyên ngành đã lâu, bà có thể đánh giá ngắn gọn về chất lượng nguồn nhân lực ngành Đường sắt Việt Nam hiện nay?

- Thực ra, nhìn xuyên suốt quá trình phát triển của ngành Đường sắt Việt Nam cho đến nay, chúng ta cần phải thẳng thắn mà nhận xét rằng, tổng thể nguồn nhân lực ngành Đường sắt Việt Nam hiện nay vừa thiếu về số lượng, yếu về chất lượng và mất cân đối giữa các lĩnh vực.

Điều này là một thực tế. Bạn thấy đấy, sau nhiều năm không có dự án mới, hạ tầng ít được đầu tư mở rộng, đội ngũ kỹ sư, cán bộ kỹ thuật và công nhân có tay nghề ngày càng già hóa, trong khi lực lượng lao động trẻ chưa có điều kiện được đào tạo bài bản và tiếp cận công nghệ hiện đại. Nhân lực đường sắt hiện chỉ chiếm khoảng 3% tổng lao động của ngành GTVT, phần lớn tập trung ở khâu khai thác - vận hành, trong khi nhân lực cho các hoạt động thiết kế, xây dựng, công nghiệp chế tạo, nghiên cứu và đào tạo còn rất hạn chế.

Cùng với bề dày truyền thống của ngành, Đường sắt có nhiều kỹ sư, cán bộ kỹ thuật dày dặn kinh nghiệm trong công tác quản lý vận hành, bảo trì hệ thống đường sắt quốc

gia, đặc biệt trên tuyến đường sắt Bắc - Nam; một số đơn vị và kỹ sư trẻ đã bắt đầu tham gia các dự án đường sắt đô thị, từng bước tiếp cận công nghệ hiện đại, quy trình quản lý tiên tiến và tiêu chuẩn quốc tế.

Tuy nhiên, số lượng kỹ sư, công nhân có trình độ chuyên sâu, có thể sử dụng công nghệ số, phần mềm mô phỏng hoặc làm việc quốc tế còn thấp. Đào tạo chưa gắn sát với yêu cầu thực tiễn sản xuất và vận hành. Đội ngũ chuyên gia, giảng viên, nghiên cứu viên có khả năng giảng dạy, nghiên cứu phát triển công nghệ đường sắt hiện đại rất ít; cơ sở vật chất phục vụ đào tạo, mô phỏng và thí nghiệm kỹ thuật còn rất thiếu.

♦ Những điều bà nhắc đến quả đáng lo ngại. Vậy, thời gian qua chúng ta đã triển khai những nội dung gì để nâng cao chất lượng nguồn nhân lực của lĩnh vực này?

- Đây là tôi nói những mặt chung nhất để khi nhìn đến tương lai, chúng ta thấy sẽ cần phải cố gắng rất nhiều để chuẩn bị, để đào tạo được một đội ngũ nhân lực đáp ứng yêu cầu của thời đại. Thời gian qua, cùng với chủ trương phát triển tuyến đường sắt tốc độ cao Bắc - Nam, các tuyến điện khí hóa và mạng lưới đường sắt đô thị tại Hà Nội, TP.HCM, công tác đào tạo và phát triển nhân lực ngành



Ngành Đường sắt Việt Nam đang đứng trước một giai đoạn bản lề: Hoặc nhanh chóng xây dựng được đội ngũ nhân lực có năng lực tiếp cận và làm chủ công nghệ, hoặc sẽ phải đối mặt với tình trạng phụ thuộc kéo dài vào chuyên gia nước ngoài ngay cả trong các khâu cốt lõi như vận hành, bảo trì và quản lý an toàn".

ThS Nguyễn Thị Phương Hiền



Đường sắt đã có nhiều chuyển biến rõ rệt. Dù quy mô còn khiêm tốn, nhưng nhận thức và hành động của các cơ quan quản lý, cơ sở đào tạo và doanh nghiệp đã thay đổi tích cực.

Đối với khối quản lý nhà nước, nhiều chương trình bồi dưỡng, tập huấn chuyên sâu đã được triển khai trong và ngoài nước về quy hoạch mạng lưới, an toàn hệ thống, tín hiệu - điều độ, điện khí hóa và quản lý đầu tư công. Cán bộ, kỹ sư Việt Nam được cử đi học tập tại Nhật Bản, Hàn Quốc, Đức, Trung Quốc, Pháp, từng bước tiếp cận tiêu chuẩn quốc tế và kỹ thuật hiện đại.

Khối đào tạo, Trường Đại học GTVT, Trường Đại học GTVT TP.HCM, Cao đẳng Đường sắt Việt Nam và Cao đẳng GTVT Trung ương I đã có nhiều đổi mới, chủ động hợp tác với các trường đại học, cao đẳng ở Trung Quốc, Hàn Quốc, Nhật Bản trong đào tạo song bằng, trao đổi giảng viên, sinh viên; chuẩn hóa đào tạo nghề theo khung kỹ năng ASEAN, tăng cường thực hành, liên kết doanh nghiệp và đưa sinh viên trực tiếp thực tập tại các dự án đường sắt đô thị.

Bên cạnh đó, khối doanh nghiệp, nhiều tổng công ty, tập đoàn lớn như TEDI, Đèo Cả, Vinaconex, CIENCO 1, FECO, Tổng công ty Đường sắt Việt Nam... đã chủ động tham gia vào công tác đào tạo và chuyển giao công nghệ. Một số doanh nghiệp đã phối hợp với các trường trong nước và đối

tác quốc tế để tổ chức chương trình đào tạo kỹ sư, cán bộ kỹ thuật, cử nhân sự đi học tập, thực hành tại các cơ sở đào tạo nước ngoài, đồng thời mời chuyên gia quốc tế hướng dẫn, chuyển giao kỹ thuật tại chỗ. Những hoạt động này giúp hình thành nguồn nhân lực kỹ thuật có kinh nghiệm thực tế, sẵn sàng cho các dự án quy mô lớn sắp tới.

Song song với đó, các dự án đường sắt đô thị tại Hà Nội và TP.HCM đang là nơi "thực hành" rất hiệu quả cho đội ngũ kỹ sư Việt Nam. Việc tham gia trực tiếp vào lắp đặt, vận hành, bảo trì dưới sự hướng dẫn của chuyên gia quốc tế giúp họ rèn luyện kỹ năng nghề, tác phong công nghiệp và từng bước làm chủ công nghệ điện khí hóa, tín hiệu tự động tạo nền tảng cho tương lai ngành Đường sắt Việt Nam.

SƠM HÌNH THÀNH TRUNG TÂM ĐÀO TẠO NHÂN LỰC ĐƯỜNG SẮT

Ở thời điểm hiện tại, chất lượng nguồn nhân lực đường sắt liệu có đáp ứng yêu cầu thực tiễn, thưa bà?

- Dù đã có nhiều chuyển biến tích cực như đã nêu trên, chất lượng nguồn nhân lực đường sắt Việt Nam hiện vẫn chưa đáp ứng yêu cầu phát triển mới. Sự chuyển động trong công tác đào tạo và hợp tác quốc tế mới chỉ là bước khởi đầu, trong khi yêu cầu của giai đoạn tới đòi hỏi một lực



Từ góc độ quản lý nhà nước, các chính sách thu hút, đãi ngộ và phát triển nhân lực chất lượng cao cho ngành Đường sắt vẫn thiếu tính cạnh tranh. Nếu không có cơ chế đủ mạnh, nguy cơ mất nhân lực trẻ giỏi sang các lĩnh vực khác là rất rõ ràng".



lượng nhân lực có trình độ cao, làm chủ được công nghệ, quy trình và tiêu chuẩn quốc tế.

Khoảng cách giữa năng lực hiện có và năng lực cần thiết còn lớn. Nhiều kỹ sư, công nhân kỹ thuật được đào tạo theo mô hình truyền thống, chưa tiếp cận đầy đủ công nghệ số, mô phỏng vận hành và các quy trình tự động hóa của hệ thống đường sắt hiện đại. Các kỹ năng then chốt như điện khí hóa, điều độ tự động, tín hiệu thông minh, bảo trì dự phòng và quản lý an toàn hệ thống còn thiếu hụt nghiêm trọng.

Tuy một số mô hình liên kết giữa nhà trường, viện nghiên cứu và doanh nghiệp đã hình thành, nhưng chưa thật sự trở thành cơ chế bền vững. Việc đào tạo chưa gắn chặt với yêu cầu thực tế của doanh nghiệp và dự án, khiến kỹ sư sau khi tốt nghiệp vẫn phải đào tạo lại, làm chậm quá trình thích nghi với công việc.

Từ góc độ quản lý nhà nước, các chính sách thu hút, đãi ngộ và phát triển nhân lực chất lượng cao cho ngành Đường sắt vẫn thiếu tính cạnh tranh. Nếu không có cơ chế đủ mạnh, nguy cơ mất nhân lực trẻ giỏi sang các lĩnh vực khác là rất rõ ràng.

♦ Vậy trong ngắn hạn, chúng ta có giải pháp gì để giải quyết vấn đề này?

- Có thể nói, ngành Đường sắt Việt Nam đang đứng trước một giai đoạn bản lề: Hoặc nhanh chóng xây dựng được đội ngũ nhân lực có năng lực tiếp cận và làm chủ công nghệ,

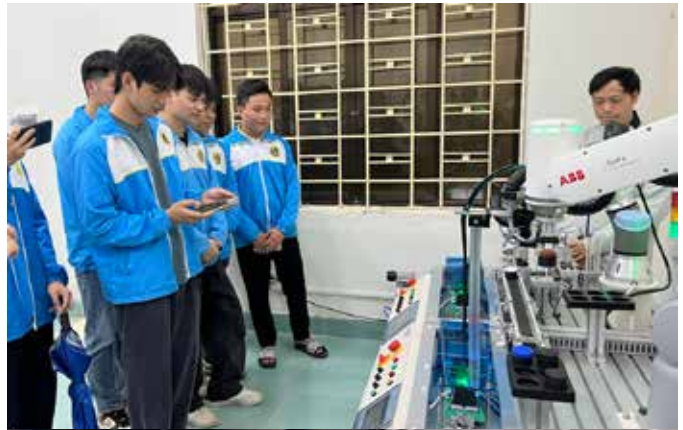
hoặc sẽ phải đối mặt với tình trạng phụ thuộc kéo dài vào chuyên gia nước ngoài ngay cả trong các khâu cốt lõi như vận hành, bảo trì và quản lý an toàn. Vì vậy, theo tôi, trong ngắn hạn, cần tập trung vào 3 hướng chính: Đào tạo lại và chuyển đổi nghề cho lực lượng hiện có, gắn với thực hành tại công trình; tăng cường liên kết Nhà nước - Nhà trường - Doanh nghiệp để sinh viên ra trường có thể làm việc ngay và do đặc thù công nghệ, đào tạo sau tuyển dụng, nhất là đối với các đơn vị khai thác vận hành rất quan trọng. Vì vậy, trước mắt Tổng công ty Đường sắt Việt Nam, Hanoi Metro, HCM Metro cần sớm hình thành trung tâm đào tạo để chủ động đào tạo, đào tạo lại nhân lực vận hành các tuyến phụ trách.

Nếu được triển khai đồng bộ và có sự phối hợp chặt chẽ giữa các bên, trong 5 năm tới, Việt Nam có thể hình thành đội ngũ kỹ sư và kỹ thuật viên đủ năng lực tiếp nhận, vận hành và bảo trì các hệ thống đường sắt hiện đại, tạo nền tảng vững chắc cho giai đoạn hiện đại hóa tiếp theo.

CHÌA KHÓA ĐỂ CÔNG NGHIỆP ĐƯỜNG SẮT HIỆN ĐẠI VÀ TỰ CHỦ

♦ Vừa qua, Thủ tướng Chính phủ đã phê duyệt Đề án đào tạo, phát triển nguồn nhân lực đường sắt Việt Nam đến năm 2035, định hướng đến năm 2045. Bà có thể đánh giá tổng quan về Đề án này?

- Đề án phát triển nguồn nhân lực đường sắt đến năm 2035, định hướng đến năm 2045 được Thủ tướng Chính phủ



Các dự án đường sắt đô thị tại Hà Nội và TP.HCM đang là nơi “thực hành” rất hiệu quả cho đội ngũ kỹ sư Việt Nam.

phê duyệt tại Quyết định 2230/QĐ-TTg ngày 09/10/2025 vừa qua có ý nghĩa chiến lược, đặt nền tảng cho quá trình chuyển đổi toàn diện của ngành Đường sắt Việt Nam từ vận hành theo mô hình truyền thống sang hiện đại, công nghiệp hóa và tự chủ công nghệ.

Điểm đặc biệt của Đề án là cách tiếp cận theo “chuỗi giá trị nhân lực”, bao trùm toàn bộ các khâu của ngành - từ hoạch định chính sách, quy hoạch - thiết kế, thi công xây dựng, vận hành - bảo trì đến công nghiệp đường sắt, nghiên cứu và phát triển (R&D).

Mục tiêu của Đề án được xác định rõ theo từng giai đoạn và nhóm chuyên môn cụ thể. Giai đoạn đến năm 2035, ngành Đường sắt sẽ đào tạo và huy động khoảng 80 nghìn lao động kỹ thuật phục vụ xây dựng, vận hành và bảo trì hệ thống đường sắt quốc gia; đồng thời phát triển khoảng 6 nghìn nhân lực chuyên sâu tham gia công tác tiếp nhận chuyển giao, nghiên cứu và từng bước làm chủ công nghệ đường sắt tốc độ cao, điện khí hóa.

Một điểm đột phá quan trọng của Đề án là gắn kết chặt chẽ công tác đào tạo và phát triển nhân lực với quá trình đầu tư xây dựng các dự án đường sắt mới, đặc biệt là đường sắt tốc độ cao và đường sắt đô thị. Cách tiếp cận này không chỉ bảo đảm việc chuyển giao công nghệ diễn ra tại chỗ, mà còn biến các dự án đầu tư trở thành môi trường thực hành, học tập và nâng cao năng lực chuyên môn cho lực lượng nhân lực trong nước.

Đề án cũng hướng tới xây dựng hệ thống đào tạo nhân



Sau nhiều năm không có dự án mới, hạ tầng ít được đầu tư mở rộng, đội ngũ kỹ sư, cán bộ kỹ thuật và công nhân có tay nghề ngày càng già hóa, trong khi lực lượng lao động trẻ chưa có điều kiện được đào tạo bài bản và tiếp cận công nghệ hiện đại”.

lực liên thông và thống nhất, từ phổ thông hướng nghiệp - trường nghề - cao đẳng - đại học - sau đại học, bảo đảm tính kế thừa và phát triển liên tục. Các trường đại học kỹ thuật lớn sẽ đóng vai trò hạt nhân đào tạo kỹ sư và chuyên gia, trong khi các trường cao đẳng và trung cấp nghề đảm nhiệm đào tạo lực lượng công nhân kỹ thuật lành nghề, tạo nên hệ sinh thái nhân lực đồng bộ cho toàn ngành.

◆ Mục tiêu là rõ ràng, vậy theo bà, thách thức lớn nhất hiện nay là gì?

- Thách thức lớn nhất hiện nay không nằm ở việc thiếu chủ trương hay định hướng, mà là tổ chức thực thi. Với một



Phát triển nguồn nhân lực chất lượng cao chính là chìa khóa để ngành Đường sắt Việt Nam vươn lên làm chủ công nghệ, bảo đảm tính tự chủ.



Giai đoạn đến năm 2035, ngành Đường sắt sẽ đào tạo và huy động khoảng 80 nghìn lao động kỹ thuật phục vụ xây dựng, vận hành và bảo trì hệ thống đường sắt quốc gia; đồng thời phát triển khoảng 6 nghìn nhân lực chuyên sâu tham gia công tác tiếp nhận chuyển giao, nghiên cứu và từng bước làm chủ công nghệ đường sắt tốc độ cao, điện khí hóa.

lĩnh vực đặc thù, công nghệ cao như đường sắt, nếu thiếu cơ chế điều phối thống nhất, chúng ta rất dễ rơi vào tình trạng “vừa làm vừa dò đường”. Để Đề án thực sự đi vào cuộc sống, theo tôi, cần tập trung vào 3 nhóm giải pháp trọng tâm.

Thứ nhất, cần tổ chức theo dõi, đánh giá, điều tiết quy mô và chất lượng đào tạo, bảo đảm gắn kết chặt chẽ giữa kế hoạch đào tạo và kế hoạch đầu tư các dự án đường sắt, tránh trùng lặp và phân tán nguồn lực.

Thứ hai, cần chuẩn hóa chương trình và tăng cường liên thông đào tạo ở các bậc đại học và giáo dục nghề nghiệp;

xây dựng chuẩn đầu ra, khung kỹ năng nghề quốc gia và cơ chế đặt hàng nhân lực theo nhu cầu dự án. Các cơ sở đào tạo cần được tăng quyền tự chủ nhưng gắn trách nhiệm đầu ra, bảo đảm người học được đào tạo đúng nhu cầu thực tế và có việc làm ngay sau tốt nghiệp.

Thứ ba, cần ưu tiên xây dựng phòng thí nghiệm, phòng thực hành và hệ thống thiết bị phục vụ đào tạo và nghiên cứu phát triển. Việc này cần được thực hiện song song với hợp tác quốc tế và chuyển giao công nghệ, tận dụng nguồn lực từ các chương trình hỗ trợ kỹ thuật của Nhật Bản, Hàn Quốc, Pháp, Đức, Trung Quốc để rút ngắn quá trình tiếp cận công nghệ mới.

Bên cạnh đó, cần có tầm nhìn dài hạn về tái cơ cấu việc làm sau 2035. Khi các dự án lớn hoàn thành, lực lượng kỹ sư và công nhân cần được chuyển hướng sang bảo trì, chế tạo và dịch vụ kỹ thuật đường sắt, tránh “đứt gãy” nhân lực. Kinh nghiệm từ Trung Quốc, Nhật Bản và Hàn Quốc cho thấy duy trì liên tục chuỗi đào tạo - sản xuất - bảo trì là chìa khóa phát triển bền vững.

◆ Đào tạo nguồn nhân lực đã khó nhưng việc sử dụng nguồn nhân lực thế nào cho đúng và hiệu quả lại càng khó hơn. Theo bà, tôi đây cần có chính sách gì để thu hút được nguồn nhân lực chất lượng cao cho lĩnh vực này?

- Thu hút và giữ chân nhân lực chất lượng cao luôn là thách thức lớn đối với ngành hạ tầng công nghệ như đường sắt. Trong nhiều năm, mức thu nhập và cơ hội thăng tiến của kỹ sư, công nhân kỹ thuật trong lĩnh vực này còn thấp hơn

ThS Nguyễn Thị Phương Hiền - Phó giám đốc Học viện Chiến lược, bồi dưỡng cán bộ xây dựng (Bộ Xây dựng), sinh năm 1974, quê quán: Đồng Hới, Quảng Trị.

Bà là kỹ sư Kinh tế vận tải đường sắt, (Trường Đại học GTVT, 1996), cử nhân Anh văn (Trường Đại học Ngoại ngữ Hà Nội, 1995), kỹ sư Công trình cầu đường bộ (Trường Đại học GTVT, 2000), thạc sĩ Kinh tế giao thông (Đại học Leeds, Vương quốc Anh, 2001).

Với 29 năm công tác tại Viện Chiến lược và Phát triển GTVT (Bộ GTVT) nay là Học viện Chiến lược, bồi dưỡng cán bộ xây dựng (Bộ Xây dựng). ThS Nguyễn Thị Phương Hiền đã tham gia, chủ trì hàng chục đề án chiến lược, quy hoạch, chính sách phát triển các chuyên ngành GTVT; đặc biệt, bà là người chủ trì soạn thảo Đề án đào tạo, phát triển nguồn nhân lực đường sắt Việt Nam đến năm 2035, định hướng đến năm 2045.



các ngành có yêu cầu tương đương, khiến nhiều người giỏi dịch chuyển sang khu vực khác, làm mất cân đối nghiêm trọng trong đội ngũ chuyên môn. Để khắc phục tình trạng này, theo tôi, Chính phủ, Bộ Xây dựng và các bộ, ngành liên quan cần triển khai đồng bộ 3 nhóm chính sách sau:

Một là, xây dựng cơ chế tiền lương và phúc lợi đặc thù, đãi ngộ xứng đáng.

Hai là, phát triển đội ngũ chuyên gia, nhân tài, sinh viên tài năng, ưu tiên tuyển dụng đặc cách, cấp học bổng, cam kết đầu ra, cử tuyển chọn đi đào tạo ở nước ngoài...

Ba là, xây dựng môi trường nghề nghiệp hấp dẫn và bền vững.

Tôi cho rằng sự kết hợp hài hòa giữa thu nhập - cơ hội - môi trường - sự ghi nhận sẽ giúp thu hút và giữ chân nhân tài cho ngành đường sắt.

❖ **Còn với các cơ sở đào tạo, bà có khuyến cáo gì?**

- Thật sự đây là một thách thức rất lớn, nhất là trong bối cảnh suy giảm mạnh về nguồn tuyển sinh ngành Đường sắt. Chắc bạn theo dõi lĩnh vực này cũng thấy, thực tế những năm qua, nhiều trường chỉ tuyển sinh được khoảng 50 - 60% chỉ tiêu, trong khi giai đoạn 2025 - 2035 dự kiến cần thêm hàng chục nghìn kỹ sư và công nhân kỹ thuật để đáp ứng nhu cầu các dự án lớn. Vì vậy, theo tôi, để thu hút người học và bảo đảm đầu ra, các cơ sở đào tạo cần đổi mới mạnh mẽ theo 3 hướng chính:

Thứ nhất, cập nhật và hoàn thiện chương trình đào tạo sát với thực tiễn công nghệ mới như điện khí hóa, tín hiệu tự

động, điều độ thông minh. Mỗi khóa học nên có nội dung mô phỏng, thí nghiệm hoặc thực hành gắn với dự án, giúp sinh viên tiếp cận công nghệ thực tế ngay trong quá trình học.

Thứ hai, tăng cường liên kết giữa nhà trường, viện nghiên cứu và doanh nghiệp, hình thành mô hình "đào tạo gắn với dự án". Doanh nghiệp tham gia từ khâu thiết kế chương trình, giảng dạy đến đánh giá đầu ra, bảo đảm sinh viên có kỹ năng thực hành và cơ hội việc làm sau tốt nghiệp.

Thứ ba, thực hiện các chính sách khuyến khích người học: học bổng, miễn giảm học phí, đặt hàng đào tạo, cấp chứng chỉ kỹ năng nghề quốc gia song song với bằng tốt nghiệp.

Cùng với đó, cần đẩy mạnh truyền thông và hướng nghiệp về định hướng và tương lai của ngành đường sắt. Khi người học nhìn thấy cơ hội nghề nghiệp rõ ràng và ý nghĩa xã hội lớn, Ngành đường sắt sẽ lấy lại sức hút của mình.

Phát triển nguồn nhân lực chất lượng cao chính là chìa khóa để ngành Đường sắt Việt Nam vươn lên làm chủ công nghệ, bảo đảm tính tự chủ, bền vững và đáp ứng yêu cầu phát triển trong kỷ nguyên mới. Tôi tin tưởng rằng, với nỗ lực chung của cả bộ máy và tinh thần đổi mới mạnh mẽ, Việt Nam sẽ sớm xây dựng được một đội ngũ kỹ sư, chuyên gia và công nhân lành nghề đủ năng lực làm chủ những công trình đường sắt hiện đại, vươn tầm khu vực.

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

Phát triển đô thị Việt Nam **thông minh, bền vững và bao trùm**

**TUẤN ĐÔNG**

Sau hơn 40 năm đổi mới, tiến trình đô thị hóa tại Việt Nam đã tạo nên những động lực tăng trưởng quan trọng, song cũng đặt ra không ít thách thức về quy hoạch, môi trường và chất lượng sống.

ĐÔ THỊ HÓA TRONG GIAI ĐOẠN CHUYỂN MÌNH: CƠ HỘI VÀ THÁCH THỨC

3 năm sau khi Bộ Chính trị ban hành Nghị quyết số 06-NQ/TW (năm 2022) về quy hoạch, xây dựng, quản lý và phát triển bền vững đô thị Việt Nam, quá trình đô thị hóa đã đạt được nhiều thành tựu nổi bật.

Trước ngày 01/7/2025, cả nước có hơn 900 đô thị, tỷ lệ đô thị hóa đạt khoảng 43%, đóng góp gần 70% GDP quốc gia. Các địa phương đã chủ động hoàn thiện chính sách pháp luật, đẩy mạnh phân cấp, cắt giảm thủ tục hành chính, tăng cường đầu tư hạ tầng, đồng thời chú trọng đến cải thiện môi trường và dịch vụ công đô thị. Hàng loạt khu đô thị mới, khu nhà ở xã hội, khu công nghiệp - dịch vụ tích hợp hạ tầng xanh được hình thành, góp phần thay đổi căn bản diện mạo phát triển của đất nước.

Tuy nhiên, theo Phó trưởng Ban Chính sách, Chiến lược Trung ương Nguyễn Duy Hưng, phát triển đô thị vẫn bộc lộ nhiều hạn chế: Quy hoạch còn chồng chéo, thiếu liên kết vùng; chất lượng quy hoạch chưa theo kịp yêu cầu phát triển nhanh; hệ thống hạ tầng kỹ thuật, hạ tầng xã hội chưa đồng bộ; tình trạng “quy hoạch treo”, còn nhiều “dự án treo” ở địa phương. Các đô thị trung tâm chưa phát huy đầy đủ vai trò dẫn dắt; trong khi đó, các đô thị vệ tinh phát triển manh mún, thiếu kết nối.

Ngoài ra, vấn đề ô nhiễm không khí, ùn tắc giao thông, thiếu không gian công cộng, cùng những tác động tiêu cực của biến đổi khí hậu đang đặt ra thách thức ngày càng lớn cho công tác quy hoạch và quản trị đô thị.

Theo Thứ trưởng Bộ Xây dựng Nguyễn Tường Văn, giai đoạn hiện nay, với việc triển khai mô hình chính quyền địa phương 2 cấp, đòi hỏi Việt Nam phải chuyển mạnh từ tư duy quản lý sang tư duy kiến tạo, tập trung phát triển các đô thị chất lượng, đáng sống, có khả năng chống chịu cao, đồng thời giữ gìn bản sắc và tăng cường tính bao trùm xã hội. Bởi lẽ, “Phát triển đô thị bền vững không chỉ là vấn đề kỹ thuật, mà còn là chiến lược phát triển con người, văn hóa và thể chế quản trị” - Thứ trưởng Văn khẳng định.

3 TRỤ CỘT CHIẾN LƯỢC CHO ĐÔ THỊ THÔNG MINH, BỀN VỮNG VÀ BAO TRÙM

Đổi mới sáng tạo - động lực trung tâm của đô thị thông minh

Đổi mới sáng tạo và chuyển đổi số đang trở thành yếu tố quyết định trong phát triển đô thị hiện đại. Các mô hình thành công ở Đà Nẵng, Bình Dương, Huế hay Thủ Đức cho thấy việc ứng dụng Internet vạn vật (IoT), trí tuệ nhân tạo (AI), dữ liệu lớn (Big Data) và mô hình đô thị ảo (Digital Twin) đã mang lại hiệu quả rõ rệt trong quản lý quy hoạch, giao thông, năng lượng và dịch vụ công.

Do đó, Diễn đàn Phát triển bền vững đô thị Việt Nam 2025, do Bộ Xây dựng và Ban Chính sách, Chiến lược Trung ương đồng chủ trì, đã đề xuất sớm ban hành Bộ tiêu chí quốc gia về đô thị thông minh, xây dựng nền tảng dữ liệu đô thị liên thông, đồng thời phát triển hệ sinh thái đổi mới sáng tạo đô thị với sự tham gia của Nhà nước, doanh nghiệp, viện nghiên cứu và cộng đồng.

Theo ông Nguyễn Duy Hưng, chuyển đổi số không chỉ là quá trình ứng dụng công nghệ, mà là đổi mới toàn diện trong phương thức quản trị, từ quy hoạch, đầu tư đến vận hành đô thị. Việc phát triển các đô thị thông minh phải được thực hiện một cách thực chất, có lộ trình, đảm bảo người dân là trung tâm, dữ liệu là nền tảng và đổi mới sáng tạo là động lực.

Tăng trưởng xanh và thích ứng khí hậu - con đường tất yếu

Biến đổi khí hậu đang ảnh hưởng sâu sắc đến các đô thị Việt Nam, đặc biệt tại khu vực ĐBSCL, miền Trung và vùng ven biển.

Theo báo cáo của Bộ Xây dựng, hơn 70% hạ tầng đô thị hiện nay chưa đạt chuẩn thích ứng biến đổi khí hậu. Do đó, việc phát triển hạ tầng xanh, năng lượng tái tạo, công trình tiết kiệm năng lượng và các giải pháp giảm phát thải carbon trở thành định hướng bắt buộc. Diễn đàn thống nhất thúc đẩy hợp tác tài chính khí hậu, mở rộng nguồn vốn xanh và đẩy mạnh quy hoạch đô thị sinh thái - đô thị biển - đô thị tăng trưởng xanh.

Ngoài ra, việc lồng ghép yếu tố biến đổi khí hậu vào quy hoạch đô thị và đầu tư hạ tầng được xem là giải pháp quan



trọng để bảo đảm tính bền vững lâu dài. Các thành phố trung tâm vùng cần được quy hoạch trở thành đô thị có khả năng thích ứng, lan tỏa phát triển cho các khu vực phụ cận. Kinh nghiệm quốc tế từ Thụy Sĩ, Nhật Bản, Hàn Quốc cũng được khuyến nghị vận dụng phù hợp với điều kiện Việt Nam.

Quy hoạch và quản trị hiện đại - nền tảng nâng cao chất lượng sống

Phát triển đô thị bền vững đòi hỏi quy hoạch tích hợp, đa ngành và minh bạch. Quy hoạch đô thị cần được số hóa, gắn với hệ thống dữ liệu không gian địa lý (GIS) và liên thông với các ngành đất đai, giao thông, năng lượng, môi trường.

Đồng thời, cần thiết lập cơ chế giám sát - đánh giá phát triển đô thị hiện đại, có khả năng đo lường, dự báo và cảnh báo sớm rủi ro. Đặc biệt, việc áp dụng mô hình chính quyền đô thị 2 cấp từ 01/7/2025 đòi hỏi hệ thống quy hoạch phải được tổ chức lại theo hướng tích hợp, phân cấp hợp lý và tăng cường trách nhiệm giải trình.

Thông điệp xuyên suốt được các nhà chuyên môn thống nhất: “Không có quy hoạch tốt thì không thể có đô thị đáng sống; và không có quản trị hiện đại thì không thể có phát triển bền vững.” Do đó, cùng với đổi mới quy hoạch, cần chú trọng phát triển nguồn nhân lực đô thị, tăng cường năng lực số và tinh thần phục vụ trong đội ngũ cán bộ quản lý.

HOÀN THIỆN THỂ CHẾ, HUY ĐỘNG NGUỒN LỰC VÀ ĐỊNH HƯỚNG TƯƠNG LAI

Thứ trưởng Nguyễn Tường Văn cho rằng, hoàn thiện thể chế là yếu tố then chốt để thúc đẩy đô thị phát triển đúng hướng. Bộ Xây dựng đang phối hợp với các Bộ, ngành rà soát, sửa đổi đồng bộ các quy định pháp luật về quy hoạch, đất đai, phát triển đô thị, xây dựng, nhà ở và chính quyền địa phương, đảm bảo thống nhất và khả thi.

Song song với đó, Bộ Xây dựng sẽ triển khai Chương trình phát triển đô thị quốc gia, ưu tiên các đô thị động lực, đô thị sinh thái, thông minh, gắn với hành lang phát triển kinh tế trọng điểm.

Một trong những nhiệm vụ trọng tâm là xây dựng Cơ sở dữ liệu đô thị quốc gia, tích hợp dữ liệu về quy hoạch, hạ tầng, dân cư, môi trường và đất đai, kết nối với các nền tảng quốc gia khác để hỗ trợ công tác quản lý và ra quyết định thông minh. Đây là bước đột phá trong quá trình chuyển đổi số của ngành Xây dựng, tạo nền tảng cho quản trị đô thị hiệu quả và minh bạch.

Về nguồn lực, các chuyên gia nhấn mạnh cần đa dạng hóa hình thức huy động vốn, đặc biệt thông qua mô hình hợp tác công - tư (PPP), nguồn vốn tín dụng xanh và các quỹ đầu tư phát triển đô thị.

Bên cạnh đó, cần tạo cơ chế khuyến khích khu vực tư nhân và doanh nghiệp công nghệ tham gia vào chuỗi giá trị đô thị thông minh, thúc đẩy kinh tế số, kinh tế tuần hoàn và phát triển bền vững. Các đô thị lớn như Hà Nội, TP.HCM, Đà Nẵng cần đóng vai trò tiên phong trong thử nghiệm các chính sách mới, làm cơ sở nhân rộng mô hình trên toàn quốc.

Vì vậy, Phó Trưởng Ban Chính sách, Chiến lược Trung ương Nguyễn Duy Hưng cho rằng: “Phát triển đô thị Việt Nam không chỉ là bài toán hạ tầng mà còn là bài toán thể chế, công bằng xã hội và chất lượng sống. Chúng ta cần phát triển đô thị vừa hiện đại vừa nhân văn, vừa tăng trưởng vừa bao trùm”. Còn Thứ trưởng Nguyễn Tường Văn khẳng định: “Phát triển đô thị thông minh, bền vững và bao trùm là hành trình dài hạn, đòi hỏi sự đồng hành của Nhà nước, doanh nghiệp và người dân. Đây là con đường tất yếu để Việt Nam hiện thực hóa khát vọng trở thành quốc gia phát triển, thu nhập cao vào năm 2045”.

Trong bối cảnh chuyển đổi mạnh mẽ về thể chế, kinh tế và công nghệ, phát triển đô thị Việt Nam cần tiếp tục được nhìn nhận như một quá trình liên kết đa chiều - giữa tăng trưởng và công bằng, giữa công nghệ và con người, giữa hiện đại và bản sắc. Từ tầm nhìn và các giải pháp được đề xuất tại Diễn đàn Phát triển bền vững đô thị Việt Nam 2025, có thể khẳng định: Chỉ khi đặt người dân ở trung tâm, đô thị Việt Nam mới thực sự trở thành không gian sống đáng mơ ước - thông minh, xanh, an toàn và bao trùm.❖

Từ cải tạo đến tái thiết - hướng tiếp cận đô thị bao trùm và bền vững phù hợp với mô hình chính quyền 2 cấp



PGS.TS.KTS NGUYỄN VŨ PHƯƠNG*

Trong bối cảnh chính quyền địa phương 2 cấp, tái thiết đô thị không chỉ là yêu cầu của cải cách thể chế, mà còn là cơ hội chiến lược để kiến tạo mô hình đô thị xanh - thông minh - bao trùm - thích ứng khí hậu, với cộng đồng là trung tâm, thể chế là trụ cột và quản trị hiện đại là nền tảng.

Quá trình đô thị hóa nhanh cùng những hệ lụy môi trường và tác động của biến đổi khí hậu toàn cầu đặt ra yêu cầu chuyển đổi tư duy từ urban renewal sang urban regeneration - hướng tới phát triển bao trùm, bền vững và quản trị tích hợp (integrated governance). Urban renewal (cải tạo đô thị) chủ yếu tập trung phục hồi khu vực cũ, nâng cấp hạ tầng và cải thiện cảnh quan; trong khi Urban regeneration (tái thiết đô thị) đòi hỏi "tái thiết" toàn diện về không gian, kinh tế, xã hội và môi trường, dựa trên sự tham gia cộng đồng và quản trị số (Digital governance).

Tại Việt Nam, cải cách hành chính theo mô hình chính quyền địa phương 2 cấp - với việc xóa bỏ cấp trung gian (thị trấn, thị xã, quận, thành phố trực thuộc tỉnh), đã làm thay đổi đáng kể cơ chế và vai trò quản trị đô thị. Trong bối cảnh đó, việc hình thành khung quản trị tái thiết đô thị URG (Urban Regeneration Governance) trở nên cấp thiết, nhằm điều phối quy hoạch, huy động nguồn lực và liên kết đa tác nhân trong vùng chức năng đô thị FUA (Functional Urban Areas).

Bài viết này tập trung phân tích tiến trình đô thị hóa, xu hướng và khung quản trị tái thiết đô thị phù hợp với bối cảnh ở Việt Nam, hướng tới phát triển bao trùm, bền vững và thích ứng biến đổi khí hậu (SDG 11).

1. THỰC TRẠNG VÀ BỐI CẢNH PHÁT TRIỂN ĐÔ THỊ Ở VIỆT NAM

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

1.1. Đô thị hóa và phát triển đô thị

Sau thời kỳ Đổi mới năm 1986, Việt Nam có hơn 300 đô thị, với tỷ lệ đô thị hóa khoảng 19%, tương đương gần 11,8 triệu người sinh sống tại khu vực đô thị. Trải qua gần bốn thập kỷ, hệ thống đô thị đã mở rộng nhanh chóng cả về quy mô và chất lượng. Đến tháng 12/2024, cả nước có 926 đô thị, tỷ lệ đô thị hóa đạt 44,3%.

Quá trình phát triển đô thị đã đạt nhiều kết quả tích cực, tập trung vào mở rộng không gian đô thị, xây dựng các khu đô thị mới, nâng cấp hạ tầng, chỉnh trang không gian công cộng và cải thiện chất lượng sống. Nhiều địa phương đã kết hợp giữa cải tạo, tái định cư và bảo tồn di sản, vừa hình thành diện mạo đô thị mới, vừa duy trì bản sắc văn hóa địa phương.

Đặc biệt, các chương trình như "Đô thị tăng trưởng xanh", "Đô thị thông minh", "Đô thị di sản", và việc lồng ghép thích ứng BĐKH trong các đồ án quy hoạch chung đã bước đầu đặt nền tảng cho chuyển đổi hướng tới đô thị bao trùm và bền vững (SDG 11, Target 11.3 - Inclusive and Sustainable Urbanization)

1.2. Công tác quản lý phát triển đô thị

Hiện nay, công tác quản lý đô thị vẫn thiếu tính liên kết và đồng bộ, khi quy hoạch, đất đai, hạ tầng và môi trường chưa được điều phối hiệu quả theo chức năng đô thị. Nguồn lực tài chính cho cải tạo, nâng cấp đô thị vẫn phụ thuộc chủ yếu vào ngân sách nhà nước, trong khi hợp tác công - tư (PPP) và xã hội hóa đầu tư chưa phát huy hiệu quả. Sự tham gia của cộng đồng còn hạn chế, dẫn đến xung đột lợi ích hoặc làm phai nhạt bản sắc đô thị trong một số dự án.



Bên cạnh đó, thời tiết cực đoan và biến đổi khí hậu, cùng các vấn đề đặc thù như tắc nghẽn giao thông, ngập úng, sụt lún, đảo nhiệt và ô nhiễm môi trường vẫn chưa được tích hợp đầy đủ trong quy hoạch và quản lý đô thị, làm gia tăng rủi ro và giảm khả năng thích ứng của các đô thị hiện nay.

1.3. Bối cảnh cải cách hành chính

Từ ngày 01/7/2025, Việt Nam chính thức chuyển sang mô hình chính quyền địa phương hai cấp. Theo đó, từ 926 đô thị hiện có, cả nước chỉ còn 6 thành phố trực thuộc Trung ương, trong khi khoảng 920 đô thị còn lại được tổ chức ở cấp phường/xã.

Tại cấp cơ sở, năng lực chuyên môn và khả năng quản lý liên ngành còn hạn chế, đồng thời thiếu công cụ số phục vụ điều phối và giám sát. Việc xóa bỏ cấp trung gian (thị trấn, thị xã, quận, thành phố trực thuộc tỉnh) tiềm ẩn nguy cơ phân tán, giảm tính liên kết vùng, nếu không có cơ chế điều phối thống nhất và hệ thống dữ liệu tích hợp.

Thực tế này đặt ra thách thức lớn về thể chế, quy hoạch và huy động nguồn lực, đòi hỏi Việt Nam phải tái thiết đô thị theo hướng liên phường/xã, hình thành vùng chức năng đô thị (FUA) phù hợp với mô hình chính quyền hai cấp và định hướng phát triển bền vững trong giai đoạn mới.

2. TỪ CẢI TẠO ĐẾN TÁI THIẾT: YÊU CẦU ĐỔI MỚI TƯ DUY

2.1. Chuyển đổi tư duy phát triển đô thị

Về học thuật, urban regeneration (tái thiết đô thị) có phạm vi rộng hơn urban renewal (cải tạo/chỉnh trang), bao quát tái cấu trúc không gian - thể chế - cộng đồng - môi

trường. Bài tham luận sử dụng thuật ngữ “tái thiết đô thị” tương đương urban regeneration để phản ánh tinh thần đổi mới - phục hồi - kiến tạo phù hợp bối cảnh Việt Nam, đồng thời nhấn mạnh tiếp cận quản trị tích hợp - phát triển bao trùm - bền vững theo mục tiêu Phát triển bền vững số 11 (SDG 11 - Sustainable cities and Communities) của Liên Hợp Quốc.

Chuyển từ urban “cải tạo đô thị” sang “tái thiết đô thị” thể hiện sự thay đổi căn bản trong tư duy phát triển đô thị: từ cách làm thiên về kỹ thuật, nâng cấp từng phần và xử lý cục bộ, sang tái thiết hệ thống - không gian, hạ tầng, xã hội, môi trường và văn hóa - theo lộ trình dài hạn, dựa trên dữ liệu, có sự tham gia của cộng đồng và bảo đảm công bằng đô thị. (Bảng 1)

Hệ thống hóa các thuật ngữ quốc tế về cải tạo và tái thiết đô thị (Bảng 1), giúp làm rõ sự khác biệt giữa các khái niệm như urban renewal, regeneration... Mỗi thuật ngữ phản ánh một giai đoạn hoặc cấp độ khác nhau trong tiến trình phát triển đô thị - từ nâng cấp hạ tầng đến tái thiết toàn diện, góp phần hỗ trợ việc lựa chọn thuật ngữ, công cụ và giải pháp phù hợp trong bối cảnh Việt Nam

2.2. Tái thiết đô thị trong mô hình chính quyền 2 cấp

Tái thiết đô thị, nhất là ở các đô thị lớn ở Việt Nam, đòi hỏi quá trình “tái cấu trúc không gian đô thị”: phát triển nén, đa chức năng, gắn với giao thông công cộng, hạ tầng xanh và không gian mở. Trọng tâm tái thiết đô thị cũng cần được mở rộng từ cải thiện hạ tầng vật chất sang các chiều cạnh kinh tế, xã hội và văn hóa, nhằm tăng tính bao trùm, khả năng thích ứng và giữ gìn bản sắc địa phương.

Bảng 1. Thuật ngữ quốc tế và cách hiểu gợi ý trong bối cảnh Việt Nam

THUẬT NGỮ TIẾNG ANH	NGHĨA TIẾNG VIỆT	NỘI HÀM & BỐI CẢNH ÁP DỤNG
Urban Renewal	Cải tạo, chỉnh trang đô thị	Thuật ngữ kinh điển, chỉ quá trình phục hồi khu vực cũ hoặc xuống cấp.
Urban Regeneration	Tái thiết / Tái sinh đô thị	Nhấn mạnh khía cạnh phục hồi kinh tế, xã hội, môi trường toàn diện (Anh, EU).
Urban Redevelopment	Tái phát triển đô thị	Tập trung vào đầu tư xây mới, thay thế công trình cũ.
Urban Rehabilitation	Phục hồi đô thị	Tập trung vào cải tạo hạ tầng, môi trường, kiến trúc mà không phá dỡ toàn bộ.
Urban Transformation	Chuyển đổi đô thị	Biểu hiện xu hướng tái cấu trúc không gian và chức năng đô thị.
Urban Revitalization	Hồi sinh đô thị	Thường dùng cho khu trung tâm, khu di sản, khu phố cũ.
Urban Renaissance	Phục hưng đô thị	Gắn với chính sách tái sinh và đổi mới văn hóa – xã hội (Nhật, Anh).
Urban Conservation	Bảo tồn đô thị	Kết hợp bảo tồn di sản với phát triển mới.

Yêu cầu này gắn trực tiếp với bối cảnh cải cách hành chính theo mô hình chính quyền địa phương hai cấp. Trong mô hình hai cấp, vai trò quản trị tái thiết đô thị cần được phân định rõ:

Cấp tỉnh/thành phố: giữ vai trò chiến lược và điều phối; chịu trách nhiệm định hướng quy hoạch, ban hành chính sách, ưu tiên đầu tư công và huy động nguồn lực xã hội hóa.

Cấp xã/phường: là cấp thực thi và giám sát cộng đồng; trực tiếp quản lý không gian đô thị, vận hành dự án và thúc đẩy sự tham gia của người dân trong quá trình tái thiết.

Để nâng cao hiệu quả quản trị, cần xây dựng mô hình quản lý đô thị phù hợp với cấu trúc hành chính hai cấp, linh hoạt và dựa trên nền tảng số. Việc ứng dụng các công nghệ như BIM, GIS, CIM, Digital Twin và hệ thống Dashboard KPI trong quy hoạch và điều hành sẽ tạo cơ sở cho quản trị đô thị thông minh và minh bạch, cho phép giám sát tiến độ, hiệu quả đầu tư và chất lượng phát triển không gian đô thị.

2.3. Khung quản trị tái thiết đô thị (URG) và 3 trụ cột cốt lõi

Tái thiết đô thị bền vững chỉ có thể thành công khi được xây dựng trên ba trụ cột liên kết: thể chế, tài chính và công nghệ, các nền tảng cốt lõi của quản trị đô thị hiện đại.

Thể chế linh hoạt: Tăng cường phân cấp, phối hợp liên ngành và cơ chế giám sát đa bên; tạo điều kiện để địa phương chủ động, sáng tạo và huy động sự tham gia của cộng đồng trong quá trình tái thiết đô thị.

Tài chính đa nguồn: Hình thành các quỹ tái thiết đô thị, phát triển nguồn vốn xanh, mở rộng cơ chế hợp tác công – tư (PPP) và huy động nguồn lực xã hội hóa, qua đó giảm gánh nặng cho ngân sách nhà nước.

Công nghệ số: Xây dựng hạ tầng dữ liệu đô thị tích hợp và ứng dụng các nền tảng như BIM, GIS, CIM, Digital Twin và hệ thống Dashboard KPI, nhằm minh bạch hóa thông tin, giám sát tiến độ và ra quyết định dựa trên dữ liệu.

Quản lý phát triển đô thị ở Việt Nam cần chuyển từ tư duy cải tạo thuần túy sang tái thiết đô thị theo hướng bao

trùm và thông minh, gắn với cơ chế quản trị theo vùng chức năng đô thị (FUA) và các thiết chế điều phối tái thiết đô thị theo mô hình đối tác công – tư (PPP)

Trong bối cảnh chính quyền địa phương 2 cấp, Quản trị tái thiết đô thị (Urban Regeneration Governance – URG) là khung tiếp cận phù hợp. URG giúp liên kết và điều phối thể chế, nguồn lực và cộng đồng trong quản lý phát triển vùng đô thị; đồng thời kết nối cấp chiến lược (tỉnh/thành phố) với cấp thực thi (phường/xã), hình thành hệ thống quản trị liên ngành, minh bạch và thích ứng và có khả năng chống chịu trước biến động tương lai.

3. KINH NGHIỆM QUỐC TẾ

3.1. Seoul (Hàn Quốc): Tái thiết toàn diện với sự tham gia của cộng đồng

Seoul là một trong những đô thị tiên phong chuyển từ “mở rộng” sang “tái thiết toàn diện”, chú trọng yếu tố xã hội, môi trường và bản sắc địa phương. Chính quyền thành phố giữ vai trò điều phối và hỗ trợ, trong khi cấp cơ sở - phường và khu dân cư trở thành hạt nhân thực thi, huy động sự tham gia của cộng đồng, tổ chức xã hội và doanh nghiệp nhỏ.

Thông qua cơ quan tái thiết đô thị, Seoul đã triển khai hơn 130 dự án cải tạo - tái thiết, tiêu biểu như dự án hồi sinh dòng suối lịch sử Cheonggyecheon Restoration, cải thiện môi trường và không gian công cộng. Nhiều khu vực như Jangwi-dong hay Sangdo 4-dong đã tích hợp giải pháp thích ứng khí hậu và hạ tầng xanh vào quy hoạch. Mô hình này thể hiện rõ nguyên tắc tái thiết đô thị - lấy con người làm trung tâm, cho thấy URG có thể vận hành hiệu quả trong hệ thống chính quyền phân cấp, thông qua sự phối hợp giữa chính quyền đô thị, địa phương và cộng đồng.

3.2. Singapore: Quản trị tích hợp và phát triển gắn với bảo tồn

Singapore là điển hình trong việc kết hợp tái thiết đô thị gắn với bảo tồn di sản thông qua mô hình quản trị tập trung, minh bạch và đa cấp. Cơ quan tái thiết và phát triển

Bảng 2: Các bài học và hướng áp dụng cho Việt Nam

STT	NỘI DUNG CHÍNH	Ý NGHĨA VÀ HƯỚNG ÁP DỤNG CHO VIỆT NAM
1	Phân cấp rõ ràng và linh hoạt	Cấp tỉnh giữ vai trò chiến lược, điều phối và giám sát. Cấp phường/xã là đơn vị thực thi, gắn kết cộng đồng.
2	Thiết lập mô hình hợp tác bốn bên	Kết nối Nhà nước - Doanh nghiệp - Cộng đồng - Khoa học. Cần có đầu mối địa phương làm cầu nối và thúc đẩy dự án.
3	Tích hợp tái thiết – bảo tồn – sáng tạo	Nâng cấp hạ tầng song song bảo tồn di sản và bản sắc. Thể chế phải linh hoạt, tránh chia cắt theo ngành.
4	Ứng dụng công cụ và cơ chế mới	Sử dụng tái cơ cấu đất, PPP, quỹ tái thiết, chỉ số đô thị bền vững (ISO 37120/22/23). Hoàn thiện khung pháp lý khuyến khích đổi mới sáng tạo.
5	Thí điểm cấp liên xã / phường trong vùng FUA	Thử nghiệm triển khai mô hình URG tại các đô thị lớn phù hợp thể chế hai cấp, trước khi nhân rộng toàn quốc.
6	Kiểm soát rủi ro và công bằng xã hội	Tránh gentrification, hỗ trợ tái định cư, đảm bảo quyền lợi cư dân gốc và cân bằng phát triển – công bằng xã hội.
7	Áp dụng và điều chỉnh từ thực tiễn	Rút kinh nghiệm từ các khu thí điểm. Điều chỉnh chính sách theo kết quả thực tế và đặc thù từ mỗi địa phương.

đô thị URA (Urban Redevelopment Authority) đóng vai trò trung tâm trong điều phối quy hoạch, kiểm soát phát triển và liên kết giữa chính quyền và khu vực tư nhân.

URA đã triển khai nhiều chương trình “Urban Regeneration” như Jurong Lake District, phát triển trung tâm phụ trợ nhằm giảm tải cho khu lõi; dự án Golden Mile Complex thể hiện sự kết hợp hài hòa giữa tái thiết và bảo tồn kiến trúc biểu tượng; trong khi dự án cải tạo hệ thống sông của Singapore là minh chứng cho mô hình quản lý phát triển đô thị gắn với môi trường, văn hóa và kinh tế du lịch.

3.3. Tokyo (Nhật Bản): Tái thiết trung tâm đô thị và điều phối đa cấp

Tokyo là đô thị tiên phong trong chương trình Urban Renaissance tập trung tái thiết khu trung tâm theo hướng bền vững và có quản trị đa cấp. Chính phủ Nhật Bản chỉ định các vùng tái thiết khẩn cấp như Shibuya Station Redevelopment Area (từ năm 2005) để tập trung nguồn lực, chính sách và đầu tư cho các khu vực trọng điểm.

Quá trình quy hoạch được điều phối chặt chẽ giữa chính quyền trung ương, thành phố, phường và khu vực tư nhân, thông qua cơ chế hợp tác linh hoạt. Cơ quan chỉ đạo phục hưng đô thị URH (Urban Renaissance Headquarters) thành lập năm 2001, giữ vai trò trung tâm trong hoạch định chính sách và điều phối các dự án tái thiết trên toàn vùng đô thị Tokyo. Land readjustment - công cụ tái cơ cấu đất cho phép điều chỉnh ranh giới và tái phân chia đất đai để phát triển hạ tầng mà không cần giải phóng mặt bằng lớn, giúp giảm chi phí, duy trì quyền sở hữu của người dân và phát triển hạ tầng đồng bộ.

3.4. Barcelona (Thây Ban Nha): Tái thiết đô thị gắn đổi mới sáng tạo và kinh tế tri thức

Dự án 22@ Barcelona là hình mẫu điển hình về tái thiết đô thị gắn với đổi mới sáng tạo, chuyển đổi khu công nghiệp cũ Poblenou thành “khu đô thị sáng tạo” (innovation district) kết hợp nhà ở, nghiên cứu, công nghệ và văn hóa. Chính quyền thành phố giữ vai trò định hướng và điều phối,

liên kết doanh nghiệp, viện nghiên cứu và cộng đồng trong một mạng lưới đối tác mở theo nguyên tắc “mixed-use + multi-stakeholder governance” - quản trị nhiều bên trong mô hình đô thị đa chức năng

Quá trình tái thiết, không chỉ cải thiện hạ tầng mà còn tái cấu trúc kinh tế đô thị, bảo tồn di sản công nghiệp và tích hợp yếu tố văn hóa, sáng tạo để hình thành bản sắc mới cho thành phố. Dự án minh chứng rằng tái thiết đô thị có thể đồng thời thúc đẩy phát triển kinh tế tri thức, nâng cao chất lượng sống và khả năng cạnh tranh toàn cầu.

3.5. Vương quốc Anh: Mô hình hợp tác công - tư (PPP) và quản trị đa cấp

Vương quốc Anh là một trong những quốc gia tiên phong trong tiếp cận Urban Regeneration dựa trên quan hệ đối tác công - tư PPP. Chính phủ Anh đã thành lập các Urban Regeneration Companies (URCs), đây là tổ chức hợp tác giữa chính quyền địa phương, khu vực tư nhân và cộng đồng, chịu trách nhiệm lập kế hoạch và triển khai các dự án tái thiết ở những khu vực suy thoái như Sheffield, Bristol, Manchester.

URCs giữ vai trò then chốt trong việc huy động nguồn vốn tư nhân, giảm gánh nặng cho ngân sách nhà nước, đồng thời nâng cao tính chuyên nghiệp và linh hoạt trong quản lý dự án so với mô hình hành chính truyền thống. Song song với những thành công ban đầu, một số dự án vẫn đối mặt với nguy cơ “gentrification” - tức là tái cấu trúc dân cư khiến nhóm thu nhập thấp bị đẩy ra ngoài khu vực tái thiết, dẫn đến xung đột lợi ích và mất cân bằng xã hội trong cộng đồng.

3.6. Hồng Kông: Cơ quan tái thiết đô thị - URA

Urban Renewal Authority - URA của Hồng Kông là một cơ quan công quyền chuyên trách về tái thiết đô thị, được thành lập nhằm xử lý tình trạng khu dân cư cũ xuống cấp, hạ tầng lạc hậu và không gian sống chật hẹp. URA có quyền thu hồi đất, giải phóng mặt bằng và hợp tác với khu vực tư nhân để triển khai các dự án tái phát triển đô thị, thường tập trung ở những khu vực trung tâm cũ.

Tuy nhiên, cách tiếp cận của URA cũng gặp nhiều tranh cãi, nhất là việc phá bỏ nhiều công trình di sản, di dời cư dân gốc và làm suy yếu mạng lưới cộng đồng địa phương. Dù vậy, đây vẫn là một ví dụ điển hình về mô hình quản trị tập trung trong thực thi tái thiết đô thị, thể hiện khả năng điều phối mạnh mẽ, minh bạch và hiệu quả trong huy động nguồn lực.

4. BÀI HỌC VÀ ĐỊNH HƯỚNG CHO VIỆT NAM

4.1. Những bài học từ kinh nghiệm quốc tế

Kinh nghiệm quốc tế từ Seoul, Singapore, Tokyo, Barcelona, Vương quốc Anh và Hong Kong cho thấy sáu mô hình tiêu biểu của quản trị đa cấp (multi-level governance) và sự tham gia của cộng đồng (community participation) trong các chương trình tái thiết - cải tạo, hồi sinh và phát triển đô thị. Thành công của quá trình tái thiết đô thị không chỉ phụ thuộc vào quy hoạch hay đầu tư hạ tầng, mà quan trọng hơn nằm ở cơ chế quản trị linh hoạt, sự phối hợp hiệu quả giữa các cấp - các ngành, và vai trò chủ động của cộng đồng địa phương trong từng giai đoạn của mỗi dự án.

Đối với Việt Nam, việc xây dựng mô hình Quản trị tái thiết đô thị (Urban Regeneration Governance - URG) là cần thiết, kết hợp:

- Tư duy đổi mới của châu Âu của Barcelona, Vương quốc Anh;
- Tính cộng đồng và nhân văn của Hàn Quốc - Nhật Bản;
- Tính kỷ luật và hiệu quả quản lý của Singapore và Hong Kong.

Việt Nam có nhiều điểm tương đồng về thể chế với Hàn Quốc và Nhật Bản, đặc biệt trong mô hình hành chính tập trung và phân cấp hai tầng. Đây là cơ sở thuận lợi để vận dụng linh hoạt các bài học quốc tế, hình thành mô hình URG “Made in Vietnam” - phù hợp với bối cảnh thể chế và định hướng phát triển đô thị bền vững của quốc gia.

4.2. Áp dụng mô hình quản trị tái thiết đô thị - URG

Để mô hình và khung quản trị tái thiết đô thị - “URG - Made in Vietnam” phát huy hiệu quả, Việt Nam cần đồng thời đổi mới thể chế, tăng cường năng lực địa phương và thúc đẩy hợp tác đa chiều - đa tác nhân.

Trước hết, cần xây dựng khung thể chế và ban hành hướng dẫn chính thức về quản trị tái thiết đô thị URG phù hợp với bối cảnh chính quyền hai cấp, đảm bảo sự thống nhất trong quy hoạch, quản lý và đầu tư. Song song đó, cần nâng cao năng lực quản trị và tài chính cho địa phương, hình thành quỹ tái thiết đô thị nhằm bảo đảm nguồn lực ổn định cho các dự án tái thiết dài hạn. Việc phát huy vai trò của cộng đồng và khu vực tư nhân phải gắn liền với chuyển đổi số và công bằng xã hội, để các bên cùng tham gia vào quá trình lập kế hoạch, thực hiện và giám sát.

Cuối cùng, thí điểm quản trị tái thiết đô thị (URG) ở cấp liên phường cho các khu vực chức năng đô thị, tiến tới tái cấu trúc theo vùng chức năng đô thị (FUA) cấp tỉnh và quốc gia, góp phần định hình mô hình quản trị đô thị bao trùm, linh hoạt và thích ứng trong giai đoạn mới. (bảng 3)

4.3. Định hướng chiến lược

Tái thiết đô thị cần được xác định là một trụ cột chiến

lược trong tiến trình phát triển bền vững quốc gia, định hướng này cần gắn kết chặt chẽ với Nghị quyết 06-NQ/TW (01/2022) về quy hoạch, xây dựng, quản lý và phát triển bền vững đô thị Việt Nam đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045; Nghị quyết 57-NQ/TW (12/2024) xác định khoa học, công nghệ, đổi mới sáng tạo và chuyển đổi số là đột phá chiến lược; và Nghị quyết số 66-NQ/TW (4/2025) nhấn mạnh đổi mới công tác xây dựng và thực thi pháp luật trong bối cảnh chuyển đổi số và hội nhập Quốc tế; và mục tiêu SDG11 - Đô thị và cộng đồng bền vững của Liên Hợp Quốc.

Tái thiết đô thị không chỉ là cải tạo không gian vật lý mà còn là tái định hình hệ thống đô thị theo hướng hiệu quả tài nguyên, công bằng xã hội, thích ứng khí hậu và quản trị hiện đại. Quá trình quy hoạch, tái thiết và đầu tư phát triển đô thị cần được thiết kế theo 3 trục phát triển chiến lược:

1) Chuyển đổi xanh và kinh tế tuần hoàn: Thúc đẩy năng lượng tái tạo, vật liệu tái chế, giảm phát thải carbon và phát triển hạ tầng xanh, bền vững.

2) Chuyển đổi số và quản trị thông minh: Xây dựng hạ tầng dữ liệu thống nhất, ứng dụng BIM, GIS, CIM và Digital Twin trong quy hoạch và quản lý đô thị.

3) Thích ứng biến đổi khí hậu: Bảo vệ hạ tầng trọng yếu, kiểm soát ngập lụt, sụt lún và các rủi ro khí hậu, đảm bảo an toàn cho hệ thống đô thị.

Xây dựng “Bộ tiêu chí tái thiết đô thị bao trùm và bền vững” dựa trên bộ chỉ số quốc tế ISO 37120 (phát triển đô thị bền vững), ISO 37122 (đô thị thông minh) và ISO 37123 (đô thị thích ứng), làm cơ sở giám sát và đánh giá quá trình chuyển đổi của các địa phương. Bộ tiêu chí này sẽ giúp chuẩn hóa cách tiếp cận, đảm bảo tính đo lường, minh bạch và khả năng tích hợp vào hệ thống đánh giá năng lực đô thị quốc gia.

4.4. Giải pháp chính sách

Để hiện thực hóa định hướng trên, cần triển khai đồng bộ một số giải pháp:

Ban hành hướng dẫn quốc gia: Xây dựng hướng dẫn về tái thiết đô thị trong bối cảnh chính quyền hai cấp, làm cơ sở cho địa phương triển khai thống nhất.

Thiết lập quỹ tái thiết: Thành lập quỹ đô thị và hạ tầng xanh, khuyến khích PPP và xã hội hóa để huy động nguồn lực bền vững.

Nâng cao năng lực cơ sở: Tăng cường quản lý dữ liệu, quy hoạch số và tham vấn cộng đồng, nâng cao hiệu quả thực thi chính sách tại địa phương.

Thí điểm mô hình: Triển khai tại các địa phương có đặc thù riêng để thử nghiệm, rút kinh nghiệm và nhân rộng toàn quốc.

Phát triển mạng lưới “5 Nhà”: Tăng cường phối hợp giữa Trung ương (Bộ Xây dựng) - Chính quyền - Viện nghiên cứu - Doanh nghiệp - Cộng đồng, tạo hệ sinh thái hợp tác bền vững.

4.5. Vai trò Học viện ACST

Học viện Chiến lược, bồi dưỡng cán bộ xây dựng (ACST) là đơn vị sự nghiệp công lập trực thuộc Bộ Xây dựng, giữ vai trò trung tâm trong hệ sinh thái nghiên cứu, đào tạo về quản lý xây dựng và phát triển đô thị:

Đào tạo và bồi dưỡng: Phát triển đội ngũ cán bộ quy

Bảng 3: Phân tích SWOT khi áp dụng mô hình URG ở Việt Nam

ĐIỂM MẠNH (Strengths)	ĐIỂM YẾU (Weaknesses)
• Chính phủ định hướng mạnh mẽ phát triển đô thị xanh, thông minh, bền vững, tạo nền tảng chính sách rõ ràng. • Kinh nghiệm từ các chương trình đô thị xanh - thông minh - bền vững là cơ sở quan trọng cho tái thiết và nâng cao chất lượng sống. • Chính quyền 2 cấp giúp thuận lợi thí điểm mô hình URG, gắn kết chiến lược và cộng đồng. • Các đô thị lớn đã có mô hình tái thiết khả thi, có thể điều chỉnh và nhân rộng toàn quốc. • Hợp tác quốc tế trong phát triển đô thị bền vững ngày càng hiệu quả và thực chất.	• Rủi ro mất cân bằng xã hội tại các khu tái thiết, giữa cư dân gốc và người mới. • Khung pháp lý, thể chế về cải tạo / phát triển đô thị còn thiếu đồng bộ, thiếu hướng dẫn cụ thể. • Phối hợp liên ngành, liên cấp còn hạn chế, gây phân tán nguồn lực. • Nguồn lực và năng lực cấp cơ sở còn yếu, khó đáp ứng yêu cầu quản lý. • Cộng đồng tham gia còn hình thức, thiếu cơ chế phản hồi thực chất. • Dữ liệu đô thị chưa được tích hợp, thống nhất phục vụ quản lý hiệu quả.
CƠ HỘI (Opportunities)	THÁCH THỨC (Threats)
• Chính quyền 2 cấp tạo cơ hội tái định hình quản trị đô thị, tăng tính liên thông và phân quyền. • Thí điểm tái cấu trúc liên phường giúp kiểm nghiệm mô hình tái thiết gắn với cộng đồng. • Chuyển đổi số và kinh tế tuần hoàn mở ra động lực mới cho phát triển xanh, bền vững. • Hợp tác quốc tế với Seoul, Singapore, Tokyo tạo điều kiện trao đổi kinh nghiệm, công nghệ. • Hỗ trợ từ UN-Habitat, GIZ, UNDP... tăng cường nguồn lực và tư vấn chính sách cho tái thiết đô thị.	• Khung pháp lý và cơ chế huy động vốn chưa hoàn thiện, thiếu công cụ tài chính linh hoạt. • Thiếu cơ chế giám sát, đánh giá hiệu quả để nhân rộng mô hình tái thiết. • Năng lực thể chế cấp cơ sở còn yếu, thiếu nhân lực và công cụ quản lý hiện đại. • Phát triển thiếu liên kết vùng, quy hoạch và đầu tư chưa đồng bộ. • Biến đổi khí hậu, ngập úng, ô nhiễm môi trường gây áp lực lớn lên quá trình tái thiết.

hoạch, quản lý đô thị hai cấp, đáp ứng yêu cầu quản trị số và phát triển bền vững.

Xây dựng chương trình: Triển khai nội dung “Tái thiết đô thị bao trùm, thông minh và bền vững”, lồng ghép mô hình URG trong chương trình đào tạo.

Tư vấn chính sách: Hỗ trợ thí điểm, tổng kết mô hình, góp phần hình thành nền tảng khoa học và cơ sở dữ liệu phục vụ quản trị đô thị hiện đại.

ACST không chỉ là hạt nhân tri thức, đào tạo nguồn nhân lực mà còn là cầu nối giữa chính sách - thực tiễn - công nghệ trong tiến trình phát triển đô thị Việt Nam.

5. KẾT LUẬN

Tiến trình từ cải tạo đến tái thiết đô thị phản ánh bước chuyển căn bản trong tư duy phát triển đô thị của Việt Nam. Trong bối cảnh chính quyền địa phương 2 cấp, tái thiết đô thị không chỉ là yêu cầu của cải cách thể chế, mà còn là cơ hội chiến lược để kiến tạo mô hình đô thị xanh - thông minh - bao trùm - thích ứng khí hậu, với cộng đồng là trung tâm, thể chế là trụ cột và quản trị hiện đại là nền tảng.

Việt Nam có đủ điều kiện để hình thành mô hình và xây dựng khung quản trị tái thiết đô thị “URG - Made in Vietnam” mang tính linh hoạt, hiệu quả và giàu bản sắc địa phương, gắn với vùng chức năng đô thị (FUA) và các ủy ban tái thiết đô thị theo hình thức đối tác công - tư (PPP). Đây sẽ là nền tảng quan trọng để định hình tương lai đô thị Việt Nam bền vững, chống chịu và nhân văn.

Tái thiết đô thị không chỉ là tái định hình không gian sống, mà còn là tái tạo năng lượng phát triển - hướng tới

một Việt Nam xanh, sáng tạo và bền vững.❖

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bộ Xây dựng (2022). Báo cáo tổng kết phát triển đô thị bền vững.
2. Bộ KH&ĐT (2021). Chiến lược quốc gia về tăng trưởng xanh.
3. Bộ TT&TT (2022). Bộ chỉ số chuyển đổi số quốc gia (DTI).
4. Nguyễn Vũ Phương, TCXD (8/2025), Tích hợp quy hoạch đô thị bền vững gắn với cải cách chính quyền 2 cấp ở Việt Nam.
5. Nguyễn Vũ Phương, TCXD (9/2025), Đổi mới phân loại đô thị - nông thôn ở Việt Nam: Tiếp cận chức năng – không gian và kinh nghiệm quốc tế.
6. Nguyễn Vũ Phương, TCXD 10/2025, 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.
7. Frank FRIESECKE, Germany (2007), The role of partnerships in Urban Regeneration - Similarities and differences between germany and united kingdom
8. Andrew Tallon (2015), Urban Regeneration in the UK
9. CEPA (2018), Towards Re-Imagining Infrastructure and Urban Development
10. Vegara, A., & De Las Rivas, J. L. (2020). Supercities-Territorial Intelligence.
11. UN-Habitat (2021). Urban regeneration as a tool for inclusive and sustainable recovery.
12. Fangyun X, Guiwen L and Taozhi Z, MDPI (2021), A Comprehensive Review of Urban Regeneration Governance for Developing Appropriate Governance Arrangements.
13. UN-Habitat (2022). Smart Cities and Public Participation.
14. UN-Habitat (2023). Our City Plan - In Action.
15. Liangzi Wu and Jiawei Leng, MDPI (2025), An Overview of Sustainable Urban Regeneration Development: A Synergistic Perspective of CIM and BIM.
16. IUTC - Korea (2024). KPIs for Smart Sustainable Cities and Communities.

QUẢN TRỊ ĐÔ THỊ - NÔNG THÔN THEO CHÍNH QUYỀN 2 CẤP Ở VIỆT NAM:

Thách thức, cơ hội và giải pháp hoàn thiện thể chế



TS NGUYỄN QUANG*

Bài viết phân tích và làm rõ những thách thức, cơ hội và giải pháp hoàn thiện khung pháp lý, thể chế trong quản trị phát triển đô thị và nông thôn theo chính quyền 2 cấp ở Việt Nam.

Việt Nam đang trong giai đoạn đô thị hóa mạnh mẽ, với hơn 870 đô thị, tỷ lệ dân số đô thị đạt trên 42% năm 2025. Tuy nhiên, hệ thống quản trị hiện hành vẫn chịu ảnh hưởng của mô hình hành chính tập trung, trong khi yêu cầu phát triển đòi hỏi phân cấp - phân quyền - tự chủ địa phương - liên kết đô thị - nông thôn.

1. BỐI CẢNH VÀ KHUNG PHÁP LÝ VỀ QUẢN TRỊ ĐÔ THỊ - NÔNG THÔN THEO CHÍNH QUYỀN 2 CẤP

1.1. Bối cảnh đô thị hóa và yêu cầu đổi mới mô hình quản trị địa phương

Ba thập niên qua, Việt Nam đã đạt tốc độ đô thị hóa cao trong khu vực Đông Nam Á. Nếu năm 1990 cả nước mới có 500 đô thị với khoảng 19% dân số đô thị, thì đến năm 2025 con số này là trên 870 đô thị, chiếm hơn 42% dân số, đóng góp khoảng 70% GDP quốc gia.

Quá trình đô thị hóa đã tạo động lực mạnh mẽ cho tăng trưởng kinh tế, hiện đại hóa hạ tầng và chuyển dịch cơ cấu lao động. Tuy nhiên, mặt trái của quá trình này là sự phân hóa không gian phát triển, gia tăng bất bình đẳng giữa trung tâm và ngoại vi, cùng với tình trạng quản lý chồng chéo, thiếu hiệu quả trong bộ máy hành chính địa phương.

Các đô thị lớn như Hà Nội, TP.HCM, Đà Nẵng, Cần Thơ đều đối mặt với sức ép dân số, giao thông, môi trường và

nhà ở. Trong khi đó, khu vực nông thôn lại thiếu đầu tư hạ tầng, dẫn đến dòng di cư mạnh, làm mất cân bằng phát triển lãnh thổ. Điều này đòi hỏi một mô hình quản trị mới - linh hoạt, đa cấp và tích hợp giữa đô thị và nông thôn. Đặc biệt, trong bối cảnh Việt Nam bước vào một giai đoạn phát triển mới với kỳ vọng tăng trưởng hai con số, khi công nghiệp hóa theo định hướng sáng tạo - công nghệ - xanh kết hợp với đô thị hóa bền vững - tăng năng suất.

Trên thực tế, đô thị hóa hiện nay phần lớn theo chiều rộng (mở rộng địa giới, phân lô) hơn là chất lượng đô thị hóa (hạ tầng, việc làm phi nông nghiệp, dịch vụ đô thị chất lượng cao). Năng suất lao động ở khu vực đô thị cao gấp 2,2 lần nông thôn, nhưng tốc độ di cư ròng đang giảm vì chi phí sống đô thị cao và hạn chế nhà ở, hạ tầng. Khi đô thị hóa gắn với công nghiệp - dịch vụ - hạ tầng đồng bộ, nó tạo "cú nhảy năng suất". Tuy nhiên, nếu đô thị hóa không đi đôi với quy hoạch không gian, giao thông, nhà ở xã hội, thì lại gây tắc nghẽn, bất bình đẳng, ô nhiễm, và làm giảm hiệu quả tăng trưởng dài hạn.

Rõ ràng, đô thị hóa cần kết nối với công nghiệp hóa để đạt tăng trưởng nhanh - nếu tách rời hoặc lệch pha, hiệu quả sẽ giảm mạnh. Việt Nam có dư địa đô thị hóa và công nghiệp hóa sâu hơn, nhưng cần tái cấu trúc mô hình tăng trưởng: (bảng 1)

1.2. Sự chuyển đổi mô hình chính quyền địa phương từ 3 xuống 2 cấp ở Việt Nam

a. Cấu trúc 3 cấp trong hệ thống chính quyền địa phương

^(*) Nguyên Giám đốc Chương trình UN-Habitat tại Việt Nam



Bảng 1. Sự tương tác công nghiệp hoá - đô thị hoá

Yếu tố	Vai trò với tăng trưởng	Tình hình Việt Nam hiện nay	Rào cản chính
Công nghiệp hoá	Nâng năng suất, xuất khẩu, lan toả FDI	Tỷ trọng công nghiệp cao nhưng giá trị gia tăng thấp	Phụ thuộc FDI, công nghệ thấp, hạ tầng và năng lượng hạn chế
Đô thị hoá	Tăng cầu nội địa, năng suất lao động, thu hút dịch vụ	Tốc độ 42%, còn tiềm năng lớn	Quy hoạch, tắc nghẽn hạ tầng, nhà ở, bất bình đẳng không gian
Liên kết công nghiệp - đô thị	Tạo “vành đai tăng trưởng” (industrial-urban corridors)	Đang hình thành Hà Nội - Hải Phòng - Quảng Ninh, TP.HCM - Đồng Nai.	Thiếu quy hoạch vùng, kết nối giao thông yếu, chính quyền vùng chưa hiệu quả

Theo quy định của Luật Tổ chức chính quyền địa phương (2015, sửa đổi 2023), hệ thống hành chính ở Việt Nam được chia thành 4 cấp: 1 cấp trung ương, và 3 cấp địa phương: tỉnh/thành phố trực thuộc trung ương, quận/huyện/thị xã/thành phố thuộc tỉnh, và xã/phường/thị trấn.

Ở các đô thị lớn và đô thị loại I như TP.HCM, Đà Nẵng, Hà Nội, Cần Thơ, Quảng Ninh... Nhà nước đã từng bước thực hiện mô hình chính quyền đô thị, xóa bỏ HĐND cấp quận và phường nhằm tinh giản bộ máy, giảm tầng nấc trung gian, và tăng tính chủ động cho đô thị cơ sở.

Trong 10 năm qua, mô hình chính quyền đô thị đã góp phần quan trọng trong việc tăng tốc phát triển hạ tầng

đô thị, cải thiện năng lực quản lý địa phương, và nâng cao chất lượng dịch vụ công. Các địa phương có thẩm quyền cao hơn đã chủ động hơn trong triển khai chương trình phát triển đô thị, cải tạo hạ tầng, huy động vốn xã hội hóa.

Đà Nẵng đã vận hành chính quyền đô thị không có HĐND cấp quận, phường, giúp việc ra quyết định nhanh, thống nhất và linh hoạt. Một số tỉnh thành như Quảng Ninh và Huế đã xây dựng quy hoạch cấp tỉnh tích hợp toàn diện (phê duyệt 2023 - 2024), kết hợp giữa quy hoạch đô thị, nông thôn, công nghiệp, hạ tầng, môi trường, văn hóa. TP.HCM: triển khai mô hình “thành phố trong thành phố” (Thủ Đức) từ năm 2021 - đây là thử nghiệm đầu tiên

của Việt Nam trong tổ chức cấp hành chính đô thị trung gian, cho phép địa phương này được giao quyền như cấp huyện nhưng có cơ chế tự chủ tài chính cao hơn, hướng tới “chính quyền đô thị thông minh”.

Tuy nhiên, nhìn chung trong thực tiễn, phân định thẩm quyền giữa các cấp chính quyền vẫn còn mờ nhạt. Cấp tỉnh vẫn nắm quyền chủ đạo trong phê duyệt quy hoạch, cấp phép đầu tư, quản lý ngân sách và hạ tầng, trong khi cấp dưới (quận, huyện, thị xã) và phường chưa có đủ nguồn lực tài chính, nhân sự và công cụ pháp lý để thực hiện các nhiệm vụ phát triển đô thị và nông thôn. Hệ quả là nhiều địa phương thiếu tính chủ động, phụ thuộc vào quyết định hành chính cấp trên, làm giảm hiệu quả của các chương trình phát triển đô thị và xây dựng nông thôn mới.

b. Hệ thống pháp luật liên quan đến quản trị đô thị - nông thôn cho chính quyền địa phương 3 cấp

Khung pháp lý điều chỉnh trực tiếp hoạt động quản lý phát triển đô thị - nông thôn và quản trị ba cấp trước đây gồm các văn bản chính sau:

Luật Quy hoạch (2017): đặt nền tảng cho việc xây dựng hệ thống quy hoạch thống nhất và tích hợp từ trung ương đến địa phương. Tuy nhiên, quy định về mối liên hệ giữa quy hoạch cấp tỉnh và cấp dưới tỉnh và ngành còn thiếu cụ thể, khiến quá trình triển khai còn chông chéo.

Luật Tổ chức chính quyền địa phương (2015, sửa đổi 2023): chưa quy định rõ phạm vi trách nhiệm trong quản lý đất đai, đầu tư hạ tầng, và điều hành kinh tế - xã hội giữa các cấp.

Luật Đất đai (2024): có bước tiến mới khi bổ sung quy định về quản lý, sử dụng và khai thác đất đô thị, song vẫn chưa có cơ chế chia sẻ nguồn thu từ giá trị tăng thêm của đất giữa các cấp chính quyền.

Luật Xây dựng (2014, sửa đổi 2020) và Luật Nhà ở (2023): điều chỉnh hoạt động đầu tư xây dựng, quản lý công trình, nhưng chưa xác lập rõ vai trò của cấp dưới tỉnh trong quy hoạch và kiểm soát phát triển không gian đô thị - nông thôn.

Dự thảo Luật Quản lý phát triển đô thị: là bước ngoặt hướng tới một khung pháp lý tích hợp và linh hoạt hơn, quy định rõ cơ chế phối hợp đa cấp, đa ngành, cùng với các nguyên tắc phát triển đô thị - nông thôn bền vững.

Ngoài ra, các Nghị quyết và Chiến lược quốc gia như Nghị quyết 06-NQ/TW (2022) của Bộ Chính trị và Chiến lược phát triển hệ thống đô thị quốc gia giai đoạn 2021-2030, tầm nhìn 2050 đã xác định rõ yêu cầu: “Phát triển hệ thống đô thị quốc gia thống nhất, đồng bộ, đa trung tâm, kết nối hài hòa giữa đô thị và nông thôn; hoàn thiện thể chế và mô hình quản trị đô thị theo hướng hiện đại, phân cấp, tự chủ và minh bạch.”

c. Xây dựng mô hình chính quyền địa phương 2 cấp

Từ ngày 01/7/2025 theo Luật số 72/2025/QH15, cả nước thực hiện mô hình chính quyền địa phương 2 cấp bao gồm cấp tỉnh (tỉnh, thành phố trực thuộc trung ương) và cấp xã

(xã, phường, đặc khu ở hải đảo), với mục tiêu tinh gọn bộ máy và nâng cao hiệu quả quản lý. Chính phủ ban hành Nghị quyết 268/NQ CP ngày 03/9/2025 về việc triển khai và vận hành mô hình chính quyền địa phương 2 cấp. Các bộ, ngành và địa phương được giao rà soát, ban hành Nghị định, Thông tư để cụ thể hóa việc vận hành mô hình 2 cấp. Việc triển khai mô hình chính quyền địa phương hai cấp đem lại nhiều cơ hội tích cực, có thể kể đến như sau:

Tinh gọn bộ máy: Loại bỏ tầng cấp huyện giúp giảm đầu mối trung gian, bộ máy hành chính gọn hơn, chi phí quản lý có thể giảm, thủ tục hành chính có thể thông suốt hơn.

Tăng cường vai trò cấp xã: Khi chỉ có cấp tỉnh và cấp xã, cấp xã có thể gần dân hơn, xử lý nhanh hơn các vấn đề cơ sở, nâng cao hiệu quả phục vụ nhân dân và doanh nghiệp.

Rõ phân định thẩm quyền: Luật nhấn mạnh phân quyền, phân cấp rõ hơn giữa trung ương - địa phương, giữa cấp tỉnh và cấp xã. Điều này giúp giảm chông chéo và nâng cao trách nhiệm.

Ứng dụng công nghệ thông tin, chuyển đổi số: Luật đặt ra yêu cầu chính quyền địa phương “hiện đại, chuyên nghiệp, ứng dụng CNTT, chuyển đổi số” để nâng cao hiệu quả.

Thúc đẩy phát triển địa phương, doanh nghiệp và người dân: Theo thông báo của Chính phủ, mô hình được xem là mở “không gian phát triển”, tạo thuận lợi cho người dân và doanh nghiệp

Tuy nhiên, trong thực thi cũng có không ít thách thức như xác định thẩm quyền trong từng nội dung quản lý, khối lượng lớn văn bản cần sửa đổi, bổ sung một cách đồng bộ, nguồn lực và năng lực cấp phường xã, việc chuyển đổi bộ máy và văn hóa quản lý, sự khác biệt thực tiễn tại địa phương, việc triển khai đồng bộ, tránh gián đoạn dịch vụ hành chính.

d. Những hạn chế và thách thức cơ bản hiện nay

Mặc dù mục tiêu là tiến bộ, mô hình quản trị 2 cấp tại Việt Nam sẽ đối mặt với nhiều vướng mắc ảnh hưởng từ mô hình quản lý cũ, có thể chia thành 4 nhóm chính:

(1) Thể chế - pháp lý chưa đồng bộ: Các quy định về chức năng, nhiệm vụ giữa tỉnh và cấp dưới tỉnh chưa được thực tế chứng minh hiệu quả quản lý và phối hợp. Chưa có văn bản hướng dẫn cụ thể cho việc phối hợp giữa quy hoạch cấp tỉnh và cấp phường xã, giữa quy hoạch đô thị và quy hoạch nông thôn. Thiếu quy định về phân chia nguồn lực tài chính giữa các cấp trong phát triển hạ tầng, nhà ở và dịch vụ công.

(2) Năng lực và nguồn lực của cấp dưới tỉnh còn hạn chế: Cán bộ cấp phường xã chưa được đào tạo chuyên sâu về quy hoạch, hạ tầng, kinh tế đô thị, dẫn đến năng lực phân tích - điều hành yếu. Ngân sách địa phương còn phụ thuộc lớn vào tỉnh, thiếu công cụ tài chính (thuế đất, phí phát triển đô thị, trái phiếu địa phương). Công tác quản lý đất đai, trật tự xây dựng, hạ tầng kỹ thuật còn thủ công, chưa số hóa.

(3) Thiếu cơ chế phối hợp vùng và chia sẻ dữ liệu: Hệ thống dữ liệu đô thị - nông thôn chưa đồng bộ giữa các cấp. Ví dụ, dữ liệu đất đai và quy hoạch thường do các sở ngành tỉnh quản lý, cấp phường xã khó truy cập hoặc cập nhật. Chưa có cơ chế điều phối vùng đô thị giữa các đô thị liền kề - như Hà Nội với Bắc Ninh, Hưng Yên; TP.HCM với Đồng Nai - dẫn đến cạnh tranh thu hút đầu tư và sử dụng đất không hiệu quả.

(4) Chênh lệch giữa đô thị và nông thôn: Ở nhiều tỉnh, các đô thị được đầu tư mạnh về hạ tầng, nhưng vùng nông thôn lại chậm tiếp cận dịch vụ cơ bản (giao thông, nước sạch, y tế, giáo dục). Quy hoạch nông thôn nhiều nơi còn mang tính hình thức, thiếu gắn kết với chiến lược phát triển đô thị của tỉnh.

e. Kinh nghiệm quốc tế và bài học cho Việt Nam

Các nước có đặc điểm tương đồng với Việt Nam như Hàn Quốc, Nhật Bản, Indonesia đều tổ chức quản trị đô thị - nông thôn theo mô hình 2 hoặc 3 cấp chính quyền, trong đó: Cấp tỉnh (hoặc vùng) đảm nhiệm điều phối quy hoạch vùng và chiến lược phát triển kinh tế - xã hội; Cấp địa phương (thành phố, quận, huyện) có thẩm quyền cao về quản lý đất đai, hạ tầng, và dịch vụ công. Ví dụ:

- Hàn Quốc phân quyền mạnh cho các thành phố và quận trong quy hoạch và đầu tư hạ tầng, nhưng có cơ chế phối hợp vùng đô thị Seoul để bảo đảm thống nhất chiến lược phát triển.

- Nhật Bản áp dụng cơ chế “vùng đô thị mở rộng” (Metropolitan Region), nơi chính quyền tỉnh và các đô thị con cùng chia sẻ cơ sở dữ liệu và ngân sách.

- Indonesia sau khi dời đô (Jakarta - Nusantara) đã ban hành Luật Thủ đô mới (2023), trong đó quy định rõ phân quyền tài chính và quản trị giữa trung ương - tỉnh - thành phố.

Bài học kinh nghiệm đô thị hóa ở các nước công nghiệp mới nổi (các “Con Rồng” và Trung Quốc) cho thấy đô thị hóa nhanh tạo tập trung lao động, tri thức, dịch vụ, thúc đẩy năng suất và tiêu dùng nội địa. Chính vì vậy, chính sách quy hoạch và phát triển đô thị được điều phối chặt với chiến lược công nghiệp hoá. Ví dụ: Hàn Quốc tạo hành lang công nghiệp quanh Seoul; Trung Quốc xây dựng đặc khu như Thâm Quyển.

Những kinh nghiệm này cũng cho thấy, phân quyền phải đi đôi với tích hợp quy hoạch và điều phối vùng, nếu không sẽ dẫn đến mâu thuẫn trong quản lý không gian, đầu tư, và dịch vụ công. Mục tiêu là chuyển từ “quản lý hành chính” sang “quản trị phát triển”, nơi chính quyền địa phương có thể chủ động hoạch định, triển khai, điều phối và giám sát phát triển đô thị - nông thôn trong phạm vi của mình.

2. CƠ HỘI VÀ ĐỊNH HƯỚNG ĐỐI MỚI QUẢN TRỊ 2 CẤP

2.1. Động lực mới từ cải cách thể chế và Dự thảo

Luật Quản lý phát triển đô thị

Việc xây dựng Luật Quản lý phát triển đô thị đánh dấu bước ngoặt quan trọng trong tiến trình đổi mới quản trị đô thị - nông thôn ở Việt Nam. Đây là lần đầu tiên một đạo luật quy định toàn diện và tích hợp các khía cạnh của phát triển đô thị, bao gồm: quy hoạch, hạ tầng, không gian, quản lý đất đai, nhà ở, và cơ chế điều hành phát triển.

Luật mới có 3 điểm đột phá mang lại cơ hội lớn cho chính quyền 2 cấp:

(1). Đưa nguyên tắc “quản lý phát triển đô thị tích hợp” vào luật: Thay vì quản lý theo ngành, luật quy định đô thị phải được phát triển trên cơ sở phối hợp đồng bộ giữa quy hoạch, hạ tầng, môi trường, kinh tế - xã hội.

(2). Phân quyền mạnh mẽ cho địa phương: Các đô thị cấp tỉnh và cấp dưới tỉnh (phường và đặc khu) được quyền lập chương trình phát triển đô thị, điều chỉnh cục bộ quy hoạch, huy động vốn và triển khai các dự án hạ tầng theo cơ chế ủy quyền.

(3). Xác lập mô hình quản trị đa cấp - đa ngành: Luật nên đề xuất thành lập “Hội đồng phát triển đô thị cấp tỉnh” và “Ban điều phối phát triển đô thị cấp phường”, tạo hành lang thể chế mới để các cấp phối hợp chặt chẽ hơn trong quản trị không gian và nguồn lực.

Dự thảo Luật Quy hoạch phát triển đô thị đồng thời khuyến khích việc lồng ghép phát triển đô thị - nông thôn, coi đây là quá trình thống nhất trong quy hoạch không gian lãnh thổ. Đây chính là bước tiến quan trọng giúp mô hình quản trị 2 cấp phát huy hiệu quả trong thực tiễn.

2.2. Cơ hội từ chuyển đổi số và quản trị thông minh

Cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ tư mang đến cơ hội chưa từng có cho các đô thị Việt Nam trong việc hiện đại hóa bộ máy quản lý. Với sự phát triển của dữ liệu lớn (Big Data), hệ thống thông tin địa lý (GIS) và trí tuệ nhân tạo (AI), chính quyền các cấp có thể quản lý hạ tầng, đất đai, dân cư và dịch vụ công theo thời gian thực.

Một số địa phương đã tiên phong: Đà Nẵng vận hành Trung tâm điều hành đô thị thông minh (IOC) từ năm 2019, tích hợp 16 lĩnh vực dữ liệu như quy hoạch, giao thông, y tế, môi trường, an ninh. Hà Nội và TP.HCM triển khai cơ sở dữ liệu địa chính số, hỗ trợ quy hoạch và cấp phép trực tuyến.

Những tiến bộ này mở ra cơ hội lớn cho việc xây dựng nền tảng dữ liệu liên thông 2 cấp, giúp chính quyền cấp tỉnh - phường xã có thể chủ động phân tích, dự báo và ra quyết định nhanh hơn, chính xác hơn.

Việc triển khai “chính quyền số - đô thị thông minh - xã hội số” nếu được đồng bộ ở cả 2 cấp sẽ giúp: Nâng cao hiệu quả phục vụ người dân và doanh nghiệp; Giảm chi phí hành chính; Minh bạch hóa thông tin quy hoạch và đầu tư; Hỗ trợ công tác giám sát, đánh giá chính sách đô thị - nông thôn.

2.3. Cơ hội từ định hướng phát triển bền vững và liên kết vùng

Nghị quyết 06-NQ/TW (2022) của Bộ Chính trị đặt mục tiêu: “Đẩy nhanh tốc độ và nâng cao chất lượng đô thị hóa, phát triển đô thị bền vững, hình thành mạng lưới đô thị quốc gia hiện đại, liên kết chặt chẽ giữa đô thị và nông thôn”. Đây là định hướng chiến lược để chuyển từ phát triển đơn lẻ từng đô thị sang phát triển vùng đô thị – nông thôn tích hợp. Mỗi địa phương không còn là “ốc đảo” mà là một mắt xích trong mạng lưới đô thị quốc gia. Các cơ hội nổi bật gồm:

Liên kết vùng đô thị: Các vùng kinh tế trọng điểm như Bắc Bộ (Hà Nội - Hải Phòng - Quảng Ninh), miền Trung (Đà Nẵng - Huế), và phía Nam (TP.HCM - Đồng Nai) đang hình thành các cụm đô thị - công nghiệp - dịch vụ gắn bó chặt chẽ.

Phát triển hành lang kinh tế - đô thị: Nhiều tuyến hạ tầng chiến lược (cao tốc Bắc - Nam, vành đai 3 - 4, đường ven biển, đường sắt tốc độ cao) sẽ tạo hành lang phát triển liên vùng, thúc đẩy các khu vực đô thị phụ thuộc trở thành trung tâm vệ tinh.

Chương trình quốc gia về phát triển đô thị thích ứng biến đổi khí hậu: Tập trung cho ĐBSCL, miền Trung và ven biển, giúp gắn kết giữa quản lý đô thị - nông thôn và bảo tồn sinh thái.

Tất cả những xu hướng này đều đòi hỏi một cơ chế quản trị 2 cấp hiệu quả, trong đó cấp tỉnh đảm nhận điều phối liên vùng, còn cấp dưới tỉnh triển khai và kết nối trực tiếp với cộng đồng dân cư và doanh nghiệp.

2.4. Cơ hội từ đổi mới tài chính đô thị và cơ chế huy động nguồn lực

Việt Nam đang từng bước xây dựng chính quyền đô thị tự chủ tài chính, theo hướng phân cấp nguồn thu và chi hợp lý hơn. Đây là cơ hội lớn để các địa phương cấp tỉnh và dưới tỉnh phát huy vai trò chủ động. Các hướng đổi mới gồm:

Phân quyền tài chính: Cho phép chính quyền đô thị cấp tỉnh và chính quyền địa phương được giữ lại một phần nguồn thu từ thuế sử dụng đất, lệ phí trước bạ, hoặc phí phát triển hạ tầng để tái đầu tư tại chỗ.

Công cụ tài chính mới: Thúc đẩy việc phát hành trái phiếu đô thị xanh, trái phiếu phát triển hạ tầng, và cơ chế PPP (hợp tác công - tư) minh bạch hơn.

Cơ chế chia sẻ giá trị gia tăng từ đất: Áp dụng nguyên tắc “land value capture” - phần giá trị tăng thêm từ phát triển hạ tầng phải được phân bổ lại cho cộng đồng địa phương và ngân sách 2 cấp.

Thành lập Quỹ phát triển hạ tầng đô thị địa phương: Hỗ trợ các đô thị và nông thôn ven đô trong công tác cải tạo, chỉnh trang hạ tầng cơ bản.

Ví dụ, Đà Nẵng đã thành lập Quỹ đầu tư phát triển đô thị có thể cho vay lại dự án hạ tầng, trong khi Quảng Ninh áp dụng cơ chế chia sẻ nguồn thu giữa các khu vực đô thị trong cùng tỉnh để cân bằng phát triển.

2.5. Đổi mới mô hình quản trị hướng tới phát triển toàn diện và bao trùm

Cơ hội cải cách không chỉ nằm ở thể chế hay tài chính, mà còn ở triết lý quản trị: chuyển từ “hành chính - quản lý” sang “kiến tạo - phục vụ - đồng hành”.

Trong mô hình 2 cấp, cấp tỉnh đóng vai trò hoạch định và điều phối, còn cấp dưới tỉnh phải trở thành “chính quyền gần dân”, trực tiếp đáp ứng nhu cầu sống, làm việc, sinh kế và văn hóa của người dân địa bàn.

Xu hướng mới của thế giới được các tổ chức như UN-Habitat, OECD, World Bank khuyến nghị, là: Quản trị đô thị - nông thôn phải bao trùm và có sự tham gia của cộng đồng; Khu vực đô thị phải là trung tâm đổi mới sáng tạo, nơi thử nghiệm mô hình năng lượng sạch, giao thông công cộng, quản lý chất thải, và phát triển xanh; Phát triển đô thị không thể tách rời nông thôn: đô thị phải hỗ trợ tiêu thụ nông sản, tạo việc làm phi nông nghiệp cho dân cư nông thôn, hình thành vòng tuần hoàn kinh tế - xã hội vùng.

Việt Nam, với mô hình chính quyền 2 cấp, có điều kiện thuận lợi để áp dụng cách tiếp cận này - nếu cấp tỉnh thực sự trao quyền, hỗ trợ, và giám sát hiệu quả, còn cấp dưới tỉnh vận hành linh hoạt, sáng tạo và minh bạch.

3. GIẢI PHÁP VÀ KHUYẾN NGHỊ CHÍNH SÁCH

3.1. Nguyên tắc chỉ đạo

Để mô hình quản trị đô thị - nông thôn 2 cấp vận hành hiệu quả, các nguyên tắc chỉ đạo sau cần được xác lập thống nhất:

Phân quyền rõ, trách nhiệm rành mạch: Mỗi cấp phải có quyền hạn thực chất, đồng thời chịu trách nhiệm giải trình trước cấp trên và người dân.

Phối hợp liên ngành và liên cấp: Quy hoạch, đầu tư, đất đai, môi trường và hạ tầng phải được điều phối thống nhất.

Minh bạch, công khai dữ liệu: Mọi quyết định quy hoạch, đầu tư công, tài chính phải được số hóa và công khai.

Tự chủ có điều kiện: Cấp dưới tỉnh được quyền quyết định trong phạm vi quy định, nhưng phải bảo đảm cân đối ngân sách và tuân thủ pháp luật.

Phát triển bền vững và bao trùm: Kết hợp giữa tăng trưởng kinh tế, công bằng xã hội và bảo vệ môi trường.

3.2. Giải pháp thể chế

Hoàn thiện khung pháp lý về quản trị đô thị - nông thôn: Sớm ban hành Luật Quản lý phát triển đô thị và các Nghị định hướng dẫn, tạo khung pháp lý thống nhất; Xây dựng Nghị định về phân quyền và phối hợp giữa tỉnh - cấp dưới tỉnh, nêu rõ thẩm quyền, cơ chế kiểm tra, giám sát; Áp dụng quy trình đánh giá dự án đầu tư công theo ICOR & MDG (ít nhất 3 chỉ số: IRR xã hội, ICOR dự báo, khả năng giải ngân) trước khi duyệt.

Tăng cường điều phối vùng và liên kết phát triển: Thành lập Hội đồng phát triển vùng, có chức năng tư vấn, điều phối và giám sát quy hoạch vùng; Áp dụng mô hình “vùng hành chính - kinh tế đặc thù” để xử lý các vấn đề liên tỉnh (giao thông, môi trường, logistics); Tạo các hành lang công nghiệp - đô thị (industrial-urban corridors) để tận dụng hiệu ứng agglomeration, giảm chi phí logistics. Thí dụ: Chọn 3 hành lang chiến lược (ví dụ: Hà Nội - Hải Phòng - Quảng Ninh; TP.HCM - Đồng Nai; Đà Nẵng) và ban hành regional master plans tích hợp (logistics, nhà ở công nhân, đào tạo nghề, cảng/giao thông); Khuyến khích phát triển nhà ở công nhân và dịch vụ xã hội trong khu công nghiệp để giữ chân lao động và giảm chi phí di cư.

Cải cách tài chính đô thị: Ban hành cơ chế thí điểm trái phiếu đô thị và quỹ phát triển đô thị quốc gia; Áp dụng công cụ thu hồi giá trị tăng thêm từ đất (Land Value Capture) để tái đầu tư vào hạ tầng; Tăng tỷ lệ điều tiết ngân sách để lại cho địa phương có hiệu quả cao.

Thúc đẩy chuyển đổi số quốc gia: Xây dựng nền tảng dữ liệu liên thông quốc gia về đô thị và nông thôn (OneMap - OneData); Ban hành Bộ chỉ số quản trị đô thị quốc gia (National Urban Governance Index - NUGI) làm căn cứ đánh giá, xếp hạng địa phương; Khuyến khích đầu tư cho hạ tầng số (băng thông rộng, data centers) và hỗ trợ chuyển đổi số cho DN vừa và nhỏ (SMEs digital vouchers).

3.3. Giải pháp cấp tỉnh

Quy hoạch tích hợp đô thị - nông thôn: Lập Chương trình phát triển đô thị - nông thôn tích hợp (CPĐT) cho toàn tỉnh, gắn kết các lĩnh vực: quy hoạch, đất đai, đầu tư, hạ tầng, xã hội; Sử dụng cơ sở dữ liệu GIS để đồng bộ hóa quy hoạch và theo dõi tiến độ phát triển.

Thực hiện “Thỏa thuận phát triển đô thị” giữa tỉnh và cấp dưới tỉnh: Xác định rõ trách nhiệm, quyền hạn và cam kết nguồn lực; Hàng năm đánh giá kết quả thực hiện, công khai trước nhân dân.

Phát triển tài chính đô thị bền vững: Thành lập Quỹ phát triển hạ tầng đô thị tỉnh, huy động vốn từ ngân sách, trái phiếu và khu vực tư nhân; Xây dựng cơ chế PPP linh hoạt, ưu tiên dự án hạ tầng xã hội và xanh.

Nâng cao năng lực quản trị địa phương: Tổ chức chương trình đào tạo, tập huấn thường xuyên cho cán bộ cấp tỉnh, phường xã về quy hoạch, tài chính, dữ liệu; Hình thành mạng lưới “Trung tâm phát triển đô thị - nông thôn” ở cấp tỉnh làm đầu mối hỗ trợ kỹ thuật.

3.4. Giải pháp cấp cơ sở

Đổi mới quản trị hành chính: Xây dựng chính quyền điện tử - chính quyền số cấp phường xã, tích hợp dịch vụ công trực tuyến, dữ liệu dân cư, quản lý đất đai và quy hoạch; Tăng cường vai trò HĐND và cơ chế giám sát của người dân.

Phát triển cộng đồng và doanh nghiệp địa phương: Hỗ trợ khởi nghiệp sáng tạo, hợp tác xã nông nghiệp - đô thị,

dịch vụ đô thị thông minh; Khuyến khích đối tác công - tư (PPP) và công ty/hợp tác xã dịch vụ công ở quy mô nhỏ: chiếu sáng, thu gom rác, không gian xanh; Thành lập Quỹ đào tạo doanh nghiệp - đồng tài trợ (tax credit cho doanh nghiệp đào tạo lao động, đặc biệt FDI cam kết nội địa hoá).

Thúc đẩy quản trị minh bạch: Công khai dữ liệu quy hoạch, tài chính và môi trường; Ứng dụng nền tảng phản ánh trực tuyến để người dân tham gia giám sát.

3.5. Chuyển đổi số và dữ liệu liên thông

Việc triển khai chuyển đổi số hai cấp cần được xem như nhiệm vụ trọng tâm của cải cách quản trị địa phương. Các địa phương cần xây dựng hệ thống dữ liệu thống nhất, gồm: Bản đồ quy hoạch số hóa (One Map); Hệ thống dữ liệu dân cư, đất đai, hạ tầng (One Database); Trung tâm điều hành đô thị - nông thôn (IOC) kết nối 2 cấp.

Mô hình này giúp tăng hiệu quả điều hành, giảm thời gian xử lý, đồng thời tạo môi trường minh bạch để người dân, doanh nghiệp giám sát. Ngoài ra, xây dựng chương trình nâng cao kỹ năng số (digital upskilling) cho cán bộ và doanh nghiệp, tập trung vào kỹ thuật số, bảo trì tự động hoá, QC, logistics.

4. TRIỂN VỌNG VÀ KẾT LUẬN CHUNG

Quản trị đô thị - nông thôn tích hợp theo chính quyền 2 cấp là xu hướng bắt buộc của Việt Nam trong tiến trình công nghiệp hóa, hiện đại hóa và hội nhập quốc tế. Đây không chỉ là một mô hình hành chính, mà là một bước tiến về tư duy quản trị lãnh thổ, đặt người dân và cộng đồng làm trung tâm.

Thành công của mô hình này phụ thuộc vào 3 yếu tố then chốt: Thể chế linh hoạt - minh bạch - đồng bộ; Phân quyền gắn với năng lực và trách nhiệm giải trình; Cơ chế tài chính - dữ liệu - nhân lực hỗ trợ cho phát triển bền vững.

Nếu được triển khai quyết liệt, mô hình 2 cấp sẽ giúp Việt Nam: Rút ngắn khoảng cách phát triển đô thị - nông thôn; Tăng năng lực cạnh tranh vùng, hiệu quả đầu tư công; Xây dựng chính quyền phục vụ, kiến tạo và gắn dân; Đưa Việt Nam tiến gần hơn đến mục tiêu phát triển đô thị bền vững và bao trùm đến năm 2045.❖

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Quốc hội Việt Nam (2015, sửa đổi 2023). Luật Tổ chức chính quyền địa phương.
- Quốc hội Việt Nam (2024). Luật Đất đai.
- Bộ Xây dựng (2025). Dự thảo Luật Quản lý phát triển đô thị.
- Chính phủ (2022). Nghị quyết 06-NQ/TW về quy hoạch, xây dựng, quản lý và phát triển bền vững đô thị Việt Nam đến năm 2030, tầm nhìn 2045.
- UN-Habitat Việt Nam (2023). Báo cáo Đánh giá quản trị đô thị và năng lực thể chế địa phương.
- Bình Dương Smart City (2023). ICF Report on Smart City Performance.
- Quảng Ninh (2024). Đề án Liên kết vùng và quản trị đô thị toàn tỉnh.
- Đà Nẵng (2023). Báo cáo tổng kết mô hình chính quyền đô thị.

Dòng chảy phố Hội



PGS.TS.KTS PHẠM TRỌNG THUẬT

Để phố Hội không bị cạn dòng, thì đừng bảo tồn nó như một đô thị hóa thạch mà hãy gìn giữ như một dòng sông, có nguồn, có lưu vực, có bờ bãi sinh kế, và luôn chảy.

Vừa đọc VnExpress, thấy Hội An lại được xướng tên trong top 10 thành phố đáng sống nhất thế giới 2025 do Travel + Leisure bình chọn, đứng thứ sáu nhờ kiến trúc phố cổ và những trải nghiệm không thể sao chép. Một lần nữa, sức hút của nơi này được khẳng định. Nhưng rồi chợt tự hỏi điều gì đang giữ cho mạch sống ấy không cạn, để Hội An không chỉ là điểm dừng chân, mà còn là phần đang chảy từ ký ức đến hiện tại?

Có những thành phố lớn lên cùng quyền lực chính trị, nơi lưỡi gươm và mũ miện vẽ nên bản đồ. Lại có những thành phố trôi theo dòng thương mại, nơi dấu chân người buôn vẽ nên ranh giới của văn minh. Hội An, đô thị nhỏ nằm bên bờ sông Thu Bồn, không thuộc về về đầu tiên, cũng chưa hẳn gắn mình tuyệt đối vào về sau. Một đô thị được hình thành từ giao thương quốc tế nhưng nuôi lớn bởi văn hóa bản địa, tồn tại lặng lẽ như một lớp trầm tích kiên trì bên bờ những biến thiên của lịch sử.

Trong tiến trình hình thành đô thị khu vực Đông Nam Á, lịch sử tồn tại hai dạng thức đô thị chính: đô thị ruộng đất gắn với nông nghiệp, quyền lực phong kiến và tôn giáo như Angkor, Pagan hay Luang Phrabang; và đô thị thương mại, phát triển bên các cửa biển, nơi buôn bán trở thành nhựa sống chính, như Pasai, Malacca, Makassar hay chính Hội An.

Khác với Phố Hiến, Thanh Hà hay Nước Mặn, những cảng thị bị lụi tàn do biến động chính trị, địa lý hay triều đình kiểm soát chặt chẽ, Lâm Ấp (Hội An) được hưởng một khoảng đệm quyền lực khá đặc biệt. Nó không quá gần kinh đô để bị kiểm soát, cũng không quá xa để bị lãng quên. Chính thời kỳ các

chúa Nguyễn (trong Nam) và cả sự dung dưỡng từ triều Trịnh (ở ngoài Bắc), đã tạo nên một vùng trung chuyển “nằm giữa” mà không lệ thuộc, đủ tự chủ để phát triển thương mại quốc tế, nhưng vẫn nằm trong bản đồ chính trị thống nhất.

Không giống các đô thị Trung Hoa phát triển theo mô hình bàn cờ như Bắc Kinh hay Lạc Dương, nơi từng đường trục được quy hoạch đối xứng, Hội An chọn cấu trúc bám sông, tổ chức không gian theo trục tuyến tính, mở đầu là cửa sông và kết thúc bằng những con ngõ nhỏ. Cách tổ chức này gần hơn với Malacca, nơi người Bồ Đào Nha và người Mã Lai xây dựng một thương cảng xoay quanh dòng sông Melaka, hoặc như Ayutthaya với những kênh đào bao quanh các tuyến phố thương mại. Nếu Malacca là quá khứ thuộc địa, nếu Batavia là sản phẩm của kiểm soát hành chính, thì Hội An là bằng chứng rằng một đô thị có thể được tạo ra không phải bằng quyền lực, mà bằng nhu cầu buôn bán, sinh hoạt của cư dân.

Chính vì thế, phố Hội không toan tính quy hoạch cứng. Nó là một đô thị được dệt nên từ nhịp sống của con người, từ cách mà thương nhân Trung Hoa chọn nơi thờ tự, từ những dãy nhà dọc sông mà người Nhật dựng lên để tiện giao thương, từ từng mái hiên được nổi lên để che mưa che nắng cho người qua đường. Ngôn ngữ đô thị của Hội An, vì thế là ngôn ngữ của cộng sinh văn hóa, nơi kiến trúc không mang tính độc tôn, mà là sự đối thoại không lời giữa các nền văn hóa.

Một trong những điểm nhấn quan trọng của cấu trúc đô thị Hội An là các trục giao thông chính chạy song song với

sông Hoài, không theo logic thẳng tắp của hình học Hy Lạp La Mã, mà theo tinh thần của các đô thị thương mại phương Đông. Cứ khoảng 40 - 50 m lại có một ngõ nhỏ (kiệt) vuông góc với tuyến phố chính, với các khu dân cư có hạt nhân là đình, miếu, hay hội quán. Chính nhịp điệu đó tạo nên một không gian sống nén, nơi đô thị không mở rộng theo chiều ngang mà co rút, tụ tại, như một bức tranh thủy mặc vẽ bằng thời gian.

Ảnh hưởng rõ ràng nhất đến hình thái đô thị Hội An đến từ người Hoa, đặc biệt là nhóm người Phúc Kiến, Triều Châu, Hải Nam và Quảng Đông. Họ không chỉ đem đến nguồn lực thương mại, mà còn mang theo hình mẫu tổ chức không gian truyền thống của Trung Hoa: nhà hình ống, phân chia theo trục sâu, với trước nhà buôn bán và phía sau làm nơi ở, lồng ghép với không gian nội thất theo phong thủy. Những hội quán không chỉ là trung tâm tín ngưỡng, mà còn là tâm điểm cộng đồng, định hình nên cấu trúc xã hội của từng nhóm người Hoa, tạo thành những "tiểu đô thị trong đô thị".

Tuy nhiên, Hội An không chỉ chịu ảnh hưởng của kiến trúc người Hoa mà còn bởi sự hiện diện song hành của người Nhật từ đầu thế kỷ 17, với ảnh hưởng của lối tổ chức nhà ở theo phong cách minka, đơn giản, ít tầng, vật liệu tự nhiên như gỗ, giấy, tre. Người Nhật tuy đến ngắn ngủi, nhưng để lại dấu vết sâu sắc. Tiêu biểu là chùa Cầu, biểu tượng giao cảm văn hóa, nối hai bờ dòng kênh bằng một cây cầu, vừa là đường, vừa là chùa, vừa là biểu tượng. Phong cách kiến trúc Nhật không phô trương mà tiết chế, nhấn mạnh đến tỷ lệ con người và thiên nhiên. Chính tinh thần ấy đã được bản địa hóa vào những ngôi nhà cổ Hội An với mái thấp, sân trong, hiên dài, sử dụng ánh sáng tự nhiên, màu gỗ trầm mặc, tương phản với sự hào nhoáng của các hội quán Trung Hoa.

Sự tồn tại đồng thời và không triệt tiêu nhau giữa ảnh hưởng Trung Hoa và Nhật Bản tại Hội An là minh chứng điển hình cho tính cộng sinh kiến trúc của các đô thị cảng Đông Nam Á. So với Malacca, nơi người Bồ và Hà Lan để lại dấu ấn kiên cố bằng đá và vữa vôi, Hội An nhẹ hơn, mềm hơn, mang tính chống lớp nhiều hơn. So với Makassar, nơi quy hoạch chịu ảnh hưởng Hồi giáo và kiến trúc bản địa Bugis, Hội An đa tộc hơn, nhưng ít phân biệt tộc. Không có một phố Nhật riêng biệt hay phố Hoa tách biệt như ở Manila hay Batavia, mà tất cả cùng hiện diện trong cùng một không gian, chia sẻ cùng một dòng nước và nhịp sống.

Đó chính là cốt lõi của Hội An, một đô thị không chia lô văn hóa, mà hòa quyện. Cấu trúc của nó không hướng đến kiểm soát, mà để sống cùng. Phố là nơi buôn bán, là nơi đám cưới rước dâu, là nơi trẻ con đá cầu, là nơi người già ngồi trầm ngâm nhìn khách bộ hành qua lại. Không gian công cộng trải dài chứ không tụ lại, đúng với tinh thần phương Đông, nhẹ nhàng, phi tập trung, và mang tính cộng cảm hơn là phô diễn.

Trong một lần trở lại Hội An, tôi gặp Thụy - một cựu sinh viên kiến trúc làm cán bộ quản lý đô thị. Thụy chia sẻ về những xung đột âm ỉ giữa cư dân gần bó lâu đời và doanh nghiệp mới đến, giữa giá trị văn hóa và áp lực kinh tế. "Nếu thiếu sự đồng thuận cộng đồng, và một chiến lược dài hạn, Hội An sẽ chỉ còn

Phố Hội không toan tính quy hoạch cứng. Nó là một đô thị được dệt nên từ nhịp sống của con người, từ cách mà thương nhân Trung Hoa chọn nơi thờ tự, từ những dãy nhà dọc sông mà người Nhật dựng lên để tiện giao thương, từ từng mái hiên được nối liền để che mưa che nắng cho người qua đường. Ngôn ngữ đô thị của Hội An, vì thế là ngôn ngữ của cộng sinh văn hóa, nơi kiến trúc không mang tính độc tôn, mà là sự đối thoại không lời giữa các nền văn hóa.

là nơi đẹp để chụp hình nhưng xa lạ với bà con".

Ở một số nơi, quá trình trùng tu có xu hướng đồng bộ hóa theo các mẫu dựng sẵn, dẫn tới sự mất mát của lớp patina tự nhiên, những dấu vết thời gian làm nên vẻ đẹp lặng thầm của đô thị cổ. Khi cái cũ bị làm mới một cách vội vã, bản sắc không được bảo tồn mà bị sao chép vụng về. Sự phục dựng nếu không thấu hiểu kỹ thuật nguyên gốc sẽ không phải là cứu rỗi, mà là nguy tạo.

Muốn Hội An tiếp tục là một đô thị di sản sống, thì trước hết phải nhìn nhận nó không chỉ là một điểm dừng chân, mà là một đô thị hạt nhân văn hóa và du lịch trong chuỗi đô thị ven biển từ Đà Nẵng đến Tam Kỳ - Chu Lai. Định hướng quy hoạch vì vậy cũng không nên bị giới hạn trong ranh giới hành chính của thành phố, mà cần mở rộng ra toàn lưu vực văn hóa, nơi Hội An đã hút về và trao đi dòng chảy lịch sử, sinh kế và ký ức cộng đồng. Những làng nghề như Cẩm Kim, Cẩm Thanh, Thanh Hà, Trà Quế, Kim Bồng, làng chài Cửa Đại, những bãi bồi nông nghiệp ven sông... cần được nhìn nhận như các cấu phần thiết yếu của cấu trúc đô thị sinh thái, chứ không phải là vùng đệm chờ quy hoạch đô thị hóa.

Bên cạnh định hướng không gian, cần chủ động gìn giữ những vùng đệm sinh thái gồm các cánh đồng, vườn rau truyền thống ven đô, như một phần không thể tách rời của hệ sinh thái phố cổ. Việc chuyển đổi đất nông nghiệp thành biệt thự du lịch nên được kiểm soát chặt chẽ, nhường chỗ cho một vành đai sinh học bao quanh khu lõi di sản. Song song đó, có thể cân nhắc quy hoạch các điểm lưu trú quy mô phù hợp ở ngoài vùng nhạy cảm, đồng thời áp dụng cơ chế đăng ký tham quan theo khung giờ, kết hợp hệ thống giao thông thân thiện với môi trường để đưa đón khách từ xa. Đó không chỉ là biện pháp quản lý du lịch, mà còn là cách để Hội An có thể thở chậm rãi, vừa đủ, không bị vất kiệt bởi chính sự hiếu khách của mình.

Và cuối cùng, để phố Hội không bị cạn dòng, thì đừng bảo tồn nó như một đô thị hóa thạch mà hãy gìn giữ như một dòng sông, có nguồn, có lưu vực, có bờ bãi sinh kế, và luôn chảy.❖

QUY HOẠCH ĐÔ THỊ HAI BÊN BỜ SÔNG LÔ:

Gắn kết chặt chẽ giữa “cội nguồn dân tộc” với phát triển văn minh hiện đại



TS.KTS NGUYỄN TẤT THẮNG*

Với nghiên cứu ý tưởng Quy hoạch phân khu tỷ lệ 1/2000 phát triển khu đô thị hai bên bờ sông Lô, tỉnh Phú Thọ, Đồ án được triển khai trong bối cảnh thực hiện Nghị quyết sắp xếp đơn vị hành chính cấp tỉnh, sáp nhập tỉnh Hòa Bình và Vĩnh Phúc (cũ) vào Phú Thọ, định vị đô thị Việt Trì (mới) là trung tâm hành chính - chính trị. Mục tiêu là xây dựng một đô thị xanh bền vững, gắn kết chặt chẽ giữa “cội nguồn dân tộc” (Đất Tổ) với sự phát triển văn minh hiện đại.

Bài báo này tập trung phân tích các chiến lược quy hoạch, đặc biệt là việc phát huy giá trị văn hóa lịch sử, truyền thống, bảo tồn di sản và các giải pháp bảo vệ môi trường, phát triển bền vững. Các giải pháp cụ thể bao gồm tác động môi trường của phương án quy hoạch, xử lý nước thải, chống ô nhiễm, bảo tồn cảnh quan ven sông và ứng phó với biến đổi khí hậu. Phương án quy hoạch xác định sông Lô là mạch nguồn cảm hứng và vùng lõi xanh, kết hợp các mô hình tiên tiến như TOD (Transit-Oriented Development) và Đô thị thông minh (Smart City), tạo ra một vùng động lực mới, nâng tầm vị thế đô thị Việt Trì trong khu vực Trung du và miền Núi phía Bắc.

1. NHỮNG CƠ SỞ KHOA HỌC VÀ THỰC TIỄN CHO ĐỒ ÁN QUY HOẠCH MỞ RỘNG

1.1. Bối cảnh sắp xếp đơn vị hành chính và nhu cầu phát triển đô thị mới mở rộng

Việt Nam đang trong giai đoạn sắp xếp lại các đơn vị hành chính cấp tỉnh nhằm tối ưu hóa nguồn lực và không gian phát triển. Quyết định của Quốc hội về việc sắp xếp đơn vị hành chính, trong đó sáp nhập tỉnh Vĩnh Phúc và Hòa Bình (cũ) vào

Phú Thọ, là cơ sở pháp lý và động lực quan trọng thúc đẩy việc lập đồ án Quy hoạch phân khu tỷ lệ 1/2000 phát triển đô thị hai bên bờ sông Lô.

Đô thị Việt Trì mới, được xác định là trung tâm hành chính - chính trị của tỉnh Phú Thọ mở rộng, phải đối mặt với áp lực gia tăng dân số cơ học, nhu cầu về nhà ở, dịch vụ xã hội và đặc biệt là sự đồng bộ hóa về hạ tầng kỹ thuật và xã hội. Việc mở rộng đô thị sang khu vực hai bên bờ sông Lô, bao gồm cả phần đất thuộc địa giới hành chính Vĩnh Phúc (cũ), là một chiến lược tất yếu nhằm: Phân tán áp lực phát triển khỏi khu vực Việt Trì hiện hữu, nơi tập trung các di tích lịch sử quan trọng; Khai thác không gian cảnh quan dọc bờ sông, tạo ra một trung tâm đô thị mới có chất lượng sống cao, gắn liền với thiên nhiên; Tạo ra vùng động lực mới (Driving zone) nhằm thúc đẩy tăng trưởng kinh tế - xã hội và kết nối giữa các khu vực mới và cũ của tỉnh.

1.2. Mục tiêu và phạm vi nghiên cứu

Đồ án quy hoạch phân khu này cụ thể hóa định hướng của Quy hoạch tỉnh Phú Thọ và điều chỉnh Quy hoạch chung thành phố Việt Trì đến năm 2040. Tổng diện tích lập quy hoạch khoảng 11.547,1 ha, trải dài trên địa giới hành chính của nhiều xã, phường thuộc cả Phú Thọ (cũ) và Vĩnh Phúc (cũ).

Tầm nhìn quy hoạch: hình thành đô thị Việt Trì mở rộng với định hướng “Đồng bộ, đặc sắc, gắn kết giữa cội nguồn dân tộc với văn minh hiện đại”. Xây dựng một đô thị xanh bền vững, khai thác tối đa lợi thế cảnh quan sông Lô.

Trên cơ sở đó, mục tiêu nghiên cứu của bài báo hướng tới phân tích chiến lược quy hoạch không gian và hạ tầng kỹ thuật nhằm cân bằng giữa hai yếu tố then chốt: Văn hóa - Di sản và Môi trường - Bền vững.

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



Hình 1: Bản đồ sau sáp nhập của Phú Thọ, Hòa Bình, Vĩnh Phúc và vị trí hợp lưu của sông Hồng, sông Đà và sông Lô tại Việt Trì.

2. CHIẾN LƯỢC PHÁT HUY GIÁ TRỊ VĂN HÓA VÀ BẢO TỒN DI SẢN

Khu vực Phú Thọ, đặc biệt là Việt Trì, được mệnh danh là “Đất Tổ”, mang trong mình giá trị lịch sử và văn hóa sâu sắc. Do đó, quy hoạch đô thị hai bên sông Lô không thể tách rời chiến lược bảo tồn và phát huy di sản.

Trong dòng chảy quy hoạch vùng Trung du và miền núi phía Bắc, Việt Trì không chỉ là thủ phủ của Phú Thọ mà đang dần trở thành trung tâm liên kết của một “siêu tỉnh” sau sáp nhập Phú Thọ - Vĩnh Phúc - Hòa Bình. Xét trong quy hoạch vùng trung tâm của Trung du miền núi phía Bắc (gồm Phú Thọ, Yên Bái, Tuyên Quang, Lào Cai, Hà Giang, Lai Châu), Việt Trì được xem như một cực tăng trưởng chiến lược, kết nối các hành lang kinh tế lớn đi Hà Nội, Lào Cai, Điện Biên và vùng Đông Bắc. (Hình 1)

2.1. Định vị sông Lô là trục cảnh quan văn hóa lịch sử

Sông Lô được định vị không chỉ là một tuyến giao thông thủy hay nguồn nước, mà là mạch nguồn cảm hứng và trục xương sống sinh thái - văn hóa của đô thị mới mở rộng. Vành đai sinh thái - văn hóa (dải công viên ven sông) nên được quy hoạch dành một diện tích lớn ven sông Lô để hình thành dải công viên cây xanh sinh thái và hành lang không gian công cộng. Chiến lược này giúp tạo ra một vùng đệm tự nhiên, ngăn xây dựng đô thị hóa tràn lan ven sông và là tiền đề tạo ra các không gian mở để tổ chức các hoạt động lễ hội, sự kiện văn hóa, thể thao và du lịch sinh thái... Trục tiếp đưa giá trị văn hóa và lịch sử truyền thống vào không gian sinh hoạt cộng đồng đô thị. Đồng thời, nên lấy sông Lô làm trục phát triển cốt lõi theo trục Bắc - Nam, thay vì chỉ là ranh giới hành chính như trước đây. Tuy nhiên, cần lưu ý vấn đề trị thủy cùng dành vị trí và hành lang thoát lũ cho toàn hệ thống sông theo

hướng dòng chảy Tây Bắc - Đông Nam.

Trên cơ sở đó, cần kết hợp khai thác và gắn kết với du lịch di sản về nguồn cội. Các di tích lịch sử và văn hóa (bao gồm di sản vật thể và phi vật thể) trong khu vực quy hoạch cần phải được lập danh mục chi tiết, xác định hành lang bảo vệ và xây dựng hệ thống kết nối. Thay vì cô lập, các di tích này được kết nối bằng các trục giao thông cảnh quan và đường đi bộ ven sông, tích hợp vào mạng lưới du lịch của thành phố Lễ hội. Ví dụ, việc kết nối khu đô thị mới với khu di tích lịch sử Đền Hùng (thuộc phạm vi quy hoạch phân khu lân cận) thông qua các tuyến đường giao thông đối ngoại chất lượng cao sẽ tạo thành một tour du lịch “Về với cội nguồn” kết hợp nghỉ dưỡng và trải nghiệm đô thị mới. Từ đó, tạo ra khả năng và cơ hội để hình thành du lịch liên vùng Đền Hùng - Tam Đảo - Mai Châu. Trong đó, Phú Thọ sẽ thiên về du lịch tâm linh và văn hóa lễ hội (Đền Hùng, hát Xoan), Vĩnh Phúc sẽ thiên về du lịch nghỉ dưỡng gắn với sơn thủy (Tam Đảo, Đại Lải) và Hòa Bình sẽ thiên về du lịch sinh thái gắn với bản sắc nông lâm ngư nghiệp địa phương (Mai Châu, Kim Bôi, hồ Hòa Bình). Tạo điều kiện lý tưởng để phát triển các chuỗi du lịch liên kết 3 trong 1, kéo dài thời gian lưu trú, tăng chi tiêu của du khách, đồng thời quảng bá thương hiệu vùng ra quốc tế...

2.2. Tổ chức không gian dựa trên nguyên tắc bảo tồn và kết nối

Quy hoạch phân khu chia khu vực nghiên cứu thành 5 phân khu chức năng dựa trên các tài liệu, gồm: Báo cáo phương án Quy hoạch phân khu tỷ lệ 1/2000 phát triển đô thị khu vực hai bên bờ sông Lô, số 1024/SXD-QHKT ngày 13/8/2025 của Sở Xây dựng Phú Thọ và Báo cáo chủ trương nghiên cứu Quy hoạch phân khu tỷ lệ 1/2000 phát triển khu đô thị hai bên bờ sông Lô và kế hoạch lập quy hoạch phân

Bảng 1: Vai trò của văn hóa và di sản chi phối, quyết định đến tính chất và chức năng của các phân khu đô thị Việt Trì mở rộng.

Phân khu	Tính chất/Chức năng Chính	Vai trò Văn hóa/Di sản
Phân khu 1	Đô thị sinh thái mật độ thấp, cảnh quan hồ đầm	Bảo tồn cảnh quan tự nhiên, tăng cường không gian xanh làm nền tảng văn hóa sinh thái.
Phân khu 2 & 3	Đô thị Thông minh, Công nghiệp Dịch vụ & Logistic	Hiện đại hóa, phục vụ đào tạo nhân lực, tạo cơ sở vật chất hỗ trợ du lịch và dịch vụ văn hóa.
Phân khu 4	Đô thị TOD, Thương mại dịch vụ tổng hợp, Nghỉ dưỡng	Tạo trục thương mại - dịch vụ - văn hóa mới, phát triển mô hình phố ẩm thực, làng nghề truyền thống...
Phân khu 5	Đô thị ven sông - Trung tâm hành chính mới	Trọng tâm bảo tồn cảnh quan và phát huy văn hóa. Nơi tổ chức sự kiện lớn, kết nối di sản hai bờ.

khu theo Quy hoạch chung thành phố Việt Trì (cũ) số 105/BC-SXD ngày 03/9/2025 của Sở Xây dựng Phú Thọ. Trong đó, với việc phân khu chức năng, đã xác định rõ tính chất, chức năng chính của từng phân khu đô thị, được gắn kết với vai trò của tài nguyên văn hóa và di sản. Từ đó, có xu hướng trở thành đô thị hỗn hợp đa chức năng. (Bảng 1)

Việc di chuyển Trung tâm hành chính mới sang khu vực ven sông Lô (Phân khu 5) là một chiến lược táo bạo. Hướng tới quy hoạch này không chỉ giúp giảm áp lực xây dựng và mật độ dân cư lên khu vực Việt Trì cũ (gần các di tích lịch sử), mà còn tạo ra một không gian công cộng đại diện, nơi kiến trúc hiện đại hòa hợp với yếu tố sông nước, tượng trưng cho sự phát triển tiếp nối của “Thành phố Lễ hội” trong kỷ nguyên mới. Tuy vậy, cũng nên xem xét tính pháp lý khi chưa có quy hoạch tỉnh hoặc quy hoạch chung, sau khi chính quyền 2 cấp đi vào hoạt động. Điều đó có nghĩa, cần cân nhắc sự logic và tính khả thi khi tích hợp các đồ án quy hoạch phân khu này vào các đồ án quy hoạch tỉnh hoặc quy hoạch chung sau này.

3. GIẢI PHÁP BẢO VỆ MÔI TRƯỜNG VÀ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG

Phát triển đô thị trên nền tảng bền vững, đặc biệt là tại khu vực sông nước, đòi hỏi một chiến lược tổng thể về hạ tầng kỹ thuật và quản lý môi trường theo chuẩn mực môi trường, xã hội và quản trị ESG (Environmental, Social and Governance).

3.1. Thiết kế đô thị xanh và ứng dụng mô hình TOD

Quy hoạch lấy chiến lược đô thị xanh bền vững làm kim chỉ nam, được thể hiện qua 2 giải pháp không gian và giao thông then chốt sau đây:

3.1.1. Lõi xanh sông Lô (Green Core Strategy)

Sông Lô chảy qua địa bàn tỉnh Vĩnh Phúc, sông Đà chảy qua tỉnh Hòa Bình đều cùng với sông Hồng hợp lưu tại Việt Trì, tỉnh Phú Thọ. Sông Lô với chiều rộng quy hoạch lớn, được giữ lại làm vùng đệm xanh tự nhiên, đối lập với mô hình đô thị hóa lấn sông truyền thống. Trong đó, cần lưu ý đến mật độ xây dựng và bố trí quy hoạch hệ thống hồ, đầm điều hòa cho các phân khu, gồm:

+ Kiểm soát mật độ xây dựng thông qua việc áp dụng các

quy chuẩn xây dựng với mật độ thấp tại các phân khu ven sông (phân khu 1, 4, 5) để tối đa hóa không gian xanh, tăng khả năng thấm nước và giảm thiểu tác động đến dòng chảy.

+ Phát triển hệ thống công viên - hồ đầm bằng việc khai thác các mặt nước hồ đầm hiện hữu (như tại phân khu 1) để xây dựng hệ thống hạ tầng xanh, vừa là cảnh quan, vừa là công trình điều tiết nước mưa và chống ngập úng.

3.1.2. Mô hình giao thông TOD (Transit-Oriented Development)

Việc tích hợp tuyến đường sắt tốc độ cao Lào Cai - Hà Nội - Hải Phòng chạy qua khu vực là cơ hội để áp dụng mô hình TOD (phân khu 3 và 4), một giải pháp phát triển đô thị theo hướng hiện đại hàng đầu hiện nay. Tuy nhiên, để mô hình này thực sự hiệu quả, cần bổ sung thêm giải pháp giao thông dành cho người đi bộ POD (Person Oriented Development) tại các không gian mở, không gian công cộng, nhằm thỏa mãn các chức năng kết nối... Sự kết hợp hai giải pháp giao thông này sẽ giải quyết giảm thiểu khí thải và ô nhiễm khi phát triển đô thị mật độ cao và đa chức năng quanh nhà ga đường sắt. Sẽ khuyến khích người dân sử dụng phương tiện giao thông công cộng, giảm sự phụ thuộc vào ô tô cá nhân, từ đó giảm đáng kể khí thải CO₂ và ô nhiễm không khí. Đồng thời, tối ưu hóa tài nguyên đất, thông qua TOD giúp sử dụng đất đai hiệu quả, tránh phát triển phân tán (urban sprawl), bảo vệ đất nông nghiệp và các vùng sinh thái lân cận.

3.2. Giải pháp quản lý nước và xử lý môi trường

Tác động môi trường lớn nhất của phương án quy hoạch là việc xây dựng trên nền đất bãi ven sông và gia tăng tải lượng ô nhiễm từ dân số mới. Để giải quyết vấn đề này, quy hoạch phải đảm bảo hạ tầng kỹ thuật đồng bộ, thông minh, có kiểm soát, bao gồm:

+ Xử lý nước thải tập trung: toàn bộ khu đô thị mới bắt buộc phải xây dựng hệ thống thu gom và xử lý nước thải riêng biệt (tách riêng với nước mưa). Cần xây dựng các trạm xử lý nước thải tập trung theo công nghệ tiên tiến, đảm bảo nước thải sau xử lý đạt tiêu chuẩn trước khi xả ra sông Lô, nhằm chống ô nhiễm nguồn nước mặt. Các KCN (KCN sông Lô I, II, III thuộc Phân khu 2) phải có hệ thống xử lý riêng đạt chuẩn nghiêm ngặt.

+ Quản lý chất thải rắn: áp dụng công nghệ đô thị thông

minh (Smart City) vào quản lý chất thải rắn, bao gồm thu gom, phân loại tại nguồn và xử lý bằng công nghệ đốt phát điện hoặc tái chế, giảm thiểu chôn lấp, hạn chế ô nhiễm đất và nước ngầm.

+ Bảo vệ chất lượng không khí: ngoài giải pháp TOD và POD, quy hoạch cần tăng cường các vành đai cây xanh cách ly giữa khu công nghiệp (Phân khu 2) và khu dân cư, đồng thời quản lý nghiêm ngặt việc phát thải từ các nhà máy.

3.3. Ứng phó với biến đổi khí hậu và rủi ro lũ lụt

Quy hoạch đô thị ven sông luôn đối diện với rủi ro lũ lụt, sạt lở bờ sông do biến đổi khí hậu (BĐKH). Vì vậy, cần lồng ghép các nội dung sau vào đồ án quy hoạch chung và các quy hoạch phân khu, bao gồm:

+ Kiểm soát phát triển vùng lũ: tuyệt đối tuân thủ các quy định về đề điều và quy hoạch phòng chống lũ. Các công trình xây dựng, đặc biệt là nhà ở và khu công nghiệp, phải được bố trí ngoài phạm vi hành lang thoát lũ và vùng nguy hiểm, hoặc áp dụng giải pháp xây dựng công trình chịu lũ (nếu được phép).

+ Hạ tầng thoát nước và điều tiết: thiết kế hệ thống thoát nước đô thị với khả năng tiêu thoát lớn, kết hợp sử dụng các hồ điều hòa (như tại Phân khu 1) làm bể chứa nước tạm thời, giảm áp lực lên hệ thống tiêu thoát chính trong mùa mưa lũ.

+ Bảo tồn bờ sông (chống sạt lở): ưu tiên giải pháp kè sinh thái (Biotechnical Solutions) hoặc trồng cây xanh ven bờ thay vì kè bê tông hóa. Giải pháp kỹ thuật này không chỉ bảo tồn cảnh quan tự nhiên mà còn tăng cường khả năng chống xói mòn và sạt lở bờ sông, thích ứng với sự thay đổi của dòng chảy do BĐKH.

4. MỘT SỐ KHUYẾN NGHỊ

Để đồ án Quy hoạch phân khu tỷ lệ 1/2000 phát triển đô thị hai bên bờ sông Lô tỉnh Phú Thọ mở rộng thực sự là một nghiên cứu chiến lược, đồng bộ, giải quyết song hành và hiệu quả bài toán “sắp xếp hành chính - mở rộng không gian” và “bảo tồn văn hóa - phát triển bền vững”, cần lồng ghép, tích hợp các mô hình quy hoạch có tính liên ngành, đi cùng các giải pháp kỹ thuật tiên tiến, trong đó sông Lô đóng vai trò là nhân tố kết nối và cốt lõi sinh thái. Việc áp dụng mô hình TOD, POD và phát triển đô thị thông minh hứa hẹn tạo ra một trung tâm đô thị mới có sức cạnh tranh cao, không chỉ phục vụ nhu cầu kinh tế mà còn nâng cao chất lượng môi trường và đời sống tinh thần của người dân.

Những đề xuất từ những nghiên cứu này, không những cho đô thị Việt Trì, mà còn đóng góp vào lý luận quy hoạch đô thị Việt Nam trong bối cảnh sắp xếp các đơn vị hành chính và BĐKH, bao gồm:

+ Định hướng sử dụng hệ sinh thái sông nước làm trục phát triển cốt lõi, thay vì chỉ là ranh giới hành chính.

+ Lồng ghép các yếu tố văn hóa cộng đồng và di sản văn hóa một cách hữu cơ vào thiết kế không gian đô thị hiện đại thông qua các trục cảnh quan và không gian công cộng ven sông.

+ Áp dụng chiến lược hạ tầng xanh - thông minh để giải quyết đồng thời các thách thức về ô nhiễm môi trường, lũ lụt,

sạt lở và hiệu quả năng lượng.

Để đồ án đạt được hiệu quả tối ưu và tính bền vững lâu dài, cần có những hành động cụ thể sau:

+ Chi tiết hóa kế hoạch bảo tồn: lập kế hoạch chi tiết về việc trùng tu, phục dựng và kết nối các di tích lịch sử hiện hữu (vật thể và phi vật thể) trong khu vực quy hoạch, đảm bảo không gian đô thị mới tôn vinh được giá trị “Thành phố Lễ hội về với cội nguồn dân tộc”.

+ Đầu tư ưu tiên cho hạ tầng môi trường: Chính phủ và tỉnh cần ưu tiên vốn cho các dự án xây dựng hệ thống xử lý nước thải tập trung và hạ tầng thoát nước thông minh, xem đây là điều kiện tiên quyết trước khi phát triển các khu định cư mới.

+ Thực hiện mô hình TOD và POD nghiêm túc: đảm bảo việc phát triển mật độ cao chỉ diễn ra trong bán kính đi bộ quanh ga đường sắt và các trạm dừng giao thông công cộng, tránh sự lãng phí đất đai và phát triển đô thị không kiểm soát.

Với chiến lược quy hoạch toàn diện này, khu đô thị hai bên bờ sông Lô sẽ trở thành hình mẫu về sự cân bằng giữa Cội nguồn - Phát triển - Bền vững. Tạo ra một vùng động lực mới, nâng tầm vị thế đô thị Việt Trì trong khu vực Trung du và miền núi phía Bắc. Hơn thế, việc sáp nhập 3 tỉnh Vĩnh Phúc, Phú Thọ và Hòa Bình không chỉ là câu chuyện hành chính, mà là cơ hội chiến lược để kiến tạo một vùng phát triển mới, năng động, bản sắc và kết nối. Với sự đồng thuận của cộng đồng, định hướng quy hoạch đúng đắn và tầm nhìn dài hạn, tỉnh Phú Thọ mới nói chung và đô thị Việt Trì nói riêng hoàn toàn có thể trở thành hình mẫu phát triển vùng và đô thị đa trung tâm, đa chức năng, hiệu quả tại Việt Nam.❖

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

1. Công ước quốc tế về Du lịch văn hoá (đã được Hội đồng Di tích và Di chỉ quốc tế ICOMOS thông qua tại Đại Hội đồng lần thứ 12 ở Mexico, tháng 10/1999).
2. Hiến chương về Di sản xây cất bản xứ (đã được Hội đồng Di tích và Di chỉ quốc tế ICOMOS thông qua tại Đại Hội đồng lần thứ 12 ở Mexico, tháng 10/1999).
3. Butler, B. (2006). Heritage and the Present Past. In Handbook of Material Culture, edited by C. Tilley, W. Keane, S. Kuchler, M. Rowlands, and P. Spyer. London : Sage.
4. Byrne, D. (2008). Heritage as Social Action. In g. Fairclough et al. (Eds), The Heritage Reader. London, Routledge.
5. Nguyễn Tất Thắng “Văn hóa kiến trúc bản địa kết hợp với công nghệ 4.0 - Cuộc cách mạng hóa Kiến trúc theo xu hướng bền vững” - Tạp chí Xây dựng - Bộ Xây dựng, số 09/2021.
6. Nguyễn Tất Thắng “Văn hóa và Kiến trúc Việt Nam - Sự chuyển hóa và duy trì tiếp nối bản sắc theo xu thế phát triển bền vững” - Slider tham luận tại hội thảo khoa học quốc tế : Kiến trúc tạo lập không gian bền vững cho cộng đồng, tháng 9/2023 tại TP Phú Quốc.
7. Nguyễn Tất Thắng “Lưu truyền hữu thức văn hóa bản địa qua hoạt động du lịch - Giải pháp song hành để bảo tồn và phát huy kiến trúc nhà ở truyền thống tại miền Trung Việt Nam”. Sách Kỷ yếu hội thảo khoa học quốc gia “Bảo tồn và phát huy các giá trị nhà truyền thống nông thôn gắn với phát triển du lịch khu vực miền Trung” - NXB Xây dựng tháng 9/2025.
8. <https://senvangdata.com.vn/tinh-phu-tho-moi-sau-sap-nhap-vinh-phuc-hoa-binh-phu-tho-hinh-thanh-sieu-vung-kinh-te-du-lich-chien-luoc-phia-tay-ha-noi.html>

ISO 37120 - “lời cam kết của thế hệ hôm nay đối với tương lai”



THS LÊ TÙNG LÂM*

ISO 37120 không chỉ là một bộ tiêu chuẩn, nó là lời cam kết của thế hệ hôm nay đối với tương lai: cam kết rằng sự phát triển của thành phố sẽ được đo lường, được kiểm chứng, và được thực hiện vì con người.

ISO 37120 là một tiêu chuẩn quốc tế về chỉ số chất lượng và dịch vụ đô thị, giúp các thành phố đo lường và đánh giá hiệu quả dịch vụ công và chất lượng cuộc sống. Tiêu chuẩn này là một phần của bộ khung ISO về đô thị thông minh và bền vững, được xây dựng dựa trên ISO 37120:2014 và được áp dụng cho bất kỳ đô thị nào cam kết đo lường hiệu suất một cách có thể so sánh và xác minh được.

QUẢN TRỊ ĐÔ THỊ HIỆN ĐẠI

ISO 37120 được xem như bước ngoặt trong lịch sử quản trị đô thị hiện đại. Nó không phải là bộ quy định cứng nhắc, mà là ngôn ngữ chung của các thành phố toàn cầu - nơi dữ liệu trở thành nền tảng của sự phát triển bền vững. Bằng việc đo lường, so sánh và công khai các chỉ số về chất lượng sống, hiệu quả dịch vụ công và khả năng chống chịu, ISO 37120 khuyến khích một mô hình phát triển đô thị minh bạch, khoa học và lấy con người làm trung tâm. Trong kỷ nguyên mà năng lượng, hạ tầng và dân số đều đang chịu áp lực, việc có một khung đo thống nhất giúp thành phố biết mình đang ở đâu, tiến bộ ra sao và cần cải thiện điều gì trở thành nhu cầu cấp bách hơn bao giờ hết.

Khác với nhiều bộ tiêu chuẩn kỹ thuật khác, ISO 37120 không chỉ quan tâm đến hạ tầng vật lý mà còn hướng đến toàn bộ cấu trúc sống của thành phố. Nó đo lường sức khỏe, giáo dục, an ninh, văn hóa, năng lượng, môi trường và cả sự hài lòng của người dân. Tổng cộng 104 chỉ số được chia thành 19 chủ đề, phản ánh sự phức hợp của đời sống đô thị. Tất cả được phân cấp thành 3 tầng: Core, Supporting và Profile. Core là xương sống, bắt buộc cho mọi thành phố muốn đạt chứng nhận; Supporting mở rộng khả năng phân tích sâu hơn; còn Profile cung cấp thông tin nền như dân số, diện tích, GDP. Chính cấu trúc này biến ISO 37120 thành bản đồ dữ liệu sống, nơi mỗi chỉ số là một toạ độ thể hiện tình trạng phát triển của đô thị.

Khi triển khai, các thành phố phải tuân thủ 7 nguyên tắc: minh bạch, nhất quán, khách quan, cập nhật, khả thi, chuẩn hóa và trách nhiệm. Mỗi nguyên tắc vừa là cam kết đạo đức vừa là

yêu cầu kỹ thuật. Minh bạch để dữ liệu có thể kiểm chứng. Nhất quán để so sánh được giữa các đô thị. Khách quan để tránh tô hồng thành tích. Cập nhật để theo dõi biến động thời gian. Khả thi để các thành phố ở mọi mức phát triển đều có thể tham gia. Chuẩn hóa để dữ liệu trở thành ngôn ngữ chung. Và cuối cùng, trách nhiệm để bảo đảm rằng việc đo lường dẫn tới hành động cải thiện thực chất chứ không dừng ở báo cáo.

Quy trình triển khai ISO 37120 thường bắt đầu bằng việc thiết lập thể chế và bộ máy điều phối dữ liệu. Mỗi thành phố cần một ban chỉ đạo, nơi lãnh đạo chính quyền cam kết chính trị rõ ràng. Tiếp theo là giai đoạn rà soát dữ liệu, xác định nguồn và độ tin cậy. Khi dữ liệu được chuẩn hóa, thành phố tiến hành tính toán, kiểm chứng độc lập, rồi lập báo cáo hiệu suất đô thị. Bước cuối cùng là công khai kết quả và lên kế hoạch cải thiện cho năm kế tiếp. Cả chu trình ấy được lặp lại hằng năm như một “nhịp tim dữ liệu” phản ánh sức khỏe của đô thị.

THỰC TẾ VÀ THÁCH THỨC ĐỐI VỚI VIỆT NAM

Lợi ích mà ISO 37120 mang lại cho Việt Nam không chỉ nằm ở năng lực thống kê. Nó tạo ra cú hích thể chế, buộc các sở ngành phải nói cùng một ngôn ngữ dữ liệu, tránh tình trạng mạnh ai nấy làm. Khi áp dụng, thành phố có thể nhìn thấy toàn cảnh các hệ thống đang vận hành: nước, rác, năng lượng, giáo dục, y tế, giao thông. Những con số khô khan bỗng trở thành kim chỉ nam giúp lãnh đạo ra quyết định dựa trên bằng chứng, chứ không theo cảm tính. Minh bạch dữ liệu cũng tạo niềm tin mới giữa chính quyền và người dân, khi mỗi chỉ số công bố đều là lời hứa về trách nhiệm và tiến bộ.

Đối với nhà đầu tư và cộng đồng quốc tế, ISO 37120 là bằng chứng về độ tin cậy. Một thành phố được WCCD chứng nhận giống như doanh nghiệp có báo cáo tài chính được kiểm toán. Dữ liệu rõ ràng, quy trình chuẩn mực giúp họ đánh giá rủi ro và tiềm năng. Đó cũng là lý do nhiều đô thị tiên phong như Toronto, Dubai hay Singapore đã coi chứng nhận ISO 37120 là một phần của thương hiệu toàn cầu. Với Việt Nam, các đô thị lớn hướng tới chứng nhận này không chỉ mang ý nghĩa danh dự mà

(*) Trưởng ban Đô thị, HĐND TP Đà Nẵng

còn mở ra cơ hội hợp tác, học hỏi và thu hút đầu tư.

Thực tế ở Việt Nam cho thấy, mặc dù TCVN 37120:2018 đã được ban hành, song việc áp dụng còn rời rạc. Dữ liệu vẫn phân tán theo ngành, thiếu nền tảng chia sẻ chung. Nhiều đô thị có IOC và cổng dữ liệu mở, nhưng chưa đạt mức tích hợp và kiểm chứng theo chuẩn ISO. Điều này cho thấy thách thức lớn nhất không nằm ở công nghệ, mà ở thể chế và con người. Cần một cơ quan điều phối quốc gia tương tự URA của Singapore hoặc WCCD của Canada để thống nhất phương pháp và chứng nhận. Nếu không có đầu mối như vậy, mỗi địa phương sẽ phải tự dò đường trong mê cung dữ liệu của chính mình.

Trong 3 năm tới, Việt Nam có thể xây dựng chiến lược triển khai theo 3 tầng: thể chế, kỹ thuật và dữ liệu. Ở tầng thể chế, cần có quyết định cấp Chính phủ quy định việc áp dụng bộ chỉ số ISO 37120 là tiêu chí đánh giá hiệu quả quản lý đô thị. Ở tầng kỹ thuật, xây dựng hướng dẫn quốc gia, đào tạo cán bộ dữ liệu và kiểm toán viên đô thị. Ở tầng dữ liệu, phát triển trung tâm dữ liệu đô thị quốc gia kết nối 34 tỉnh/thành bảo đảm định dạng và metadata thống nhất. Khi 3 tầng này vận hành đồng bộ, Việt Nam sẽ có hạ tầng dữ liệu đủ mạnh để đo lường và điều hành phát triển đô thị một cách chính xác.

Tầm quan trọng của ISO 37120 càng rõ khi đặt trong bức tranh lớn của chiến lược quốc gia. Nó hỗ trợ trực tiếp cho Nghị quyết 06-NQ/TW ngày 24/01/2022 về phát triển bền vững đô thị, Nghị quyết 57-NQ/TW ngày 22/12/2024 về khoa học công nghệ, đổi mới sáng tạo và chuyển đổi số quốc gia, Nghị quyết 59-NQ/TW ngày 24/01/2025 về hội nhập quốc tế trong tình hình mới, Chiến lược quốc gia về tăng trưởng xanh, Chiến lược chuyển đổi số quốc gia... Đồng thời, nó gắn kết với SDG 11 của Liên Hợp Quốc về "Thành phố và cộng đồng bền vững", giúp Việt Nam có ngôn ngữ chung để báo cáo tiến trình với quốc tế. Như vậy, ISO 37120 không chỉ phục vụ từng địa phương, mà còn là công cụ đo sức khỏe toàn hệ thống đô thị quốc gia.

Song song với cơ hội là hàng loạt thách thức: thiếu cơ chế pháp lý ràng buộc, thiếu nhân lực dữ liệu, thiếu văn hóa chia sẻ và minh bạch. Nhiều nơi vẫn xem dữ liệu là tài sản nội bộ, sợ công khai sẽ làm lộ điểm yếu. Chính tâm lý ấy là rào cản lớn nhất cho cải cách. Cần một thể hệ công chức mới - những người coi dữ liệu là công cụ phục vụ nhân dân chứ không phải để bảo vệ vị thế của cơ quan. Khi chính quyền dám mở dữ liệu, công chúng sẽ dám tin tưởng; khi niềm tin được khôi phục, cải cách mới thật sự diễn ra.

ĐỂ DỮ LIỆU TRỞ THÀNH DI SẢN CHUNG

Giải pháp nằm ở 3 hướng. Thứ nhất, thể chế hóa ISO 37120, đưa các chỉ số này vào hệ thống đánh giá thi đua và đầu tư công. Thứ hai, phát triển chương trình đào tạo quốc gia về Urban Data Governance, hợp tác với WCCD và UN-Habitat để đào tạo chuyên gia và kiểm toán viên. Thứ ba, xây dựng cơ chế thưởng - phạt rõ ràng: địa phương nào công khai và đạt chuẩn sẽ được ưu tiên ngân sách, ODA hoặc dự án hợp tác quốc tế. Song song, tổ chức Giải thưởng "Thành phố Dữ liệu Bền vững Việt Nam" để khuyến khích tinh thần đổi mới.

Khi áp dụng ISO 37120, điều quý giá nhất không phải là chứng nhận, mà là sự thay đổi trong cách nhìn về quản trị.

Một thành phố bắt đầu đặt câu hỏi: Vì sao tuổi thọ người dân tăng chậm, vì sao năng lượng tiêu hao lớn, vì sao giao thông kém hiệu quả, vì sao không gian xanh thiếu? Mỗi câu hỏi đều bắt đầu từ dữ liệu, và mỗi hành động cải thiện đều được đo lường bằng dữ liệu. Quản trị đô thị khi đó không còn là chuỗi quyết định hành chính, mà là quá trình học hỏi liên tục giữa chính quyền, người dân và doanh nghiệp.

Nếu được triển khai đồng bộ, Việt Nam có thể hình thành mạng lưới đô thị dữ liệu quốc gia vào năm 2045. Mỗi đô thị sẽ là một nút dữ liệu, kết nối vào hệ sinh thái quản trị quốc gia, chia sẻ thông tin theo chuẩn ISO 37120 - 37122 - 37123. Khi đó, việc điều hành phát triển sẽ giống như vận hành một hệ thống sống: mọi biến động đều được cảm nhận, phân tích và phản ứng kịp thời. Các quyết định quy hoạch, đầu tư, và ứng phó thiên tai sẽ dựa trên bằng chứng chứ không theo cảm tính. Chính phủ, doanh nghiệp và người dân cùng chung một bảng điều khiển - một "dashboard Việt Nam" của thế kỷ 21.

Ở tầm toàn cầu, ISO 37120 giúp Việt Nam bước vào cuộc đối thoại bình đẳng với các thành phố tiên tiến. Khi dữ liệu được chuẩn hóa, so sánh trở nên minh bạch. Thành phố có thể học hỏi mô hình xử lý rác của Helsinki, chính sách giao thông công cộng của London, hay quản trị môi trường của Singapore. Ngược lại, thế giới cũng có thể học từ Việt Nam về khả năng huy động cộng đồng, về tinh thần thích ứng trong bối cảnh tài nguyên hạn chế. Chính trao đổi ấy sẽ giúp Việt Nam không chỉ là người theo sau mà còn trở thành người đóng góp tích cực trong mạng lưới đô thị bền vững toàn cầu.

Tuy nhiên, thành công chỉ đến khi ISO 37120 được coi là nền tảng lâu dài, chứ không phải phong trào ngắn hạn. Cần một lộ trình 10 năm, được hỗ trợ bởi chính phủ trung ương và giám sát thường xuyên. Mỗi năm, các thành phố công bố báo cáo hiệu suất, đối chiếu tiến bộ và chia sẻ bài học. Khi dữ liệu trở thành di sản chung, quá trình phát triển sẽ mang tính kế thừa và bền vững, không phụ thuộc vào nhiệm kỳ hay cá nhân lãnh đạo. Đó mới là tinh thần sâu xa của ISO 37120 - tạo nên "bộ nhớ đô thị" tập thể, nơi tri thức được gìn giữ và cải thiện qua từng thế hệ.

Ở tầng sâu hơn, ISO 37120 còn mang ý nghĩa triết học: nó dạy con người đô thị biết lắng nghe chính thành phố mình. Mỗi con số là một nhịp thở, mỗi chỉ số là một tín hiệu sinh học của cơ thể đô thị. Khi các chỉ số năng lượng, nước, môi trường, giáo dục và sức khỏe cùng vận động hài hòa, thành phố trở nên khỏe mạnh. Khi một chỉ số suy giảm, đó là dấu hiệu cảnh báo cần hành động. Nhìn ở góc độ này, ISO 37120 giống như một hệ thần kinh cảm biến, giúp thành phố tự nhận biết và điều chỉnh - một bước tiến từ "thành phố cơ học" sang "thành phố có tri giác".

ISO 37120 vì thế không chỉ là một bộ tiêu chuẩn, nó là lời cam kết của thể hệ hôm nay đối với tương lai: cam kết rằng sự phát triển của thành phố sẽ được đo lường, được kiểm chứng, và được thực hiện vì con người. Một thành phố biết đo lường chính mình sẽ biết cách hoàn thiện mình. Một đất nước dám lấy chuẩn quốc tế làm thước đo cho từng đô thị sẽ trở nên tự tin hơn trên con đường hội nhập. Và khi dữ liệu trở thành tiếng nói chung, mọi đô thị Việt Nam - từ đồng bằng đến miền núi, từ ven biển đến cao nguyên - đều có thể cùng nhau bước vào thời đại của quản trị thông minh, phát triển bền vững và hạnh phúc toàn dân. ❖

Vật liệu xanh và tư duy vòng đời – hướng đi tất yếu cho công trình phát thải thấp



THU THẢO

Trong quá trình chuyển đổi xanh của ngành Xây dựng, phát thải carbon không chỉ phát sinh khi công trình vận hành, mà bắt đầu ngay từ khâu sản xuất vật liệu, thiết kế và thi công. Việc áp dụng tư duy vòng đời (Life-Cycle Thinking) trở thành xu hướng chủ đạo trên thế giới, giúp đánh giá toàn diện tác động môi trường của công trình và định hướng phát triển vật liệu, năng lượng theo hướng bền vững.

PHÁT THẢI KHÔNG BẮT ĐẦU TỪ KHI CÔNG TRÌNH VẬN HÀNH

Trong ngành Xây dựng, phát thải khí nhà kính thường được nhìn nhận chủ yếu ở giai đoạn sử dụng - khi công trình tiêu thụ điện, nước, năng lượng. Tuy nhiên, các nghiên cứu gần đây chỉ ra rằng, một tỷ lệ lớn lượng phát thải carbon đã hình thành từ những giai đoạn sớm hơn - trong quá trình sản xuất vật liệu, thiết kế và thi công.

Điều này đòi hỏi một cách tiếp cận mới, toàn diện hơn đó là “tư duy vòng đời công trình” (Life-Cycle Thinking). Phương pháp này không chỉ đánh giá phát thải trong giai đoạn vận hành, mà xem xét toàn bộ chuỗi giá trị của công trình: từ khai thác nguyên liệu, sản xuất vật liệu, vận chuyển, thi công, sử dụng, bảo trì cho đến tháo dỡ, tái chế và xử lý chất thải.

Đây chính là cách nhìn tổng thể giúp ngành Xây dựng không chỉ “giảm phát thải ở đầu ra”, mà còn chủ động ngăn phát thải ngay từ đầu vào, hướng đến phát triển công trình xanh thực chất, chứ không chỉ dừng ở các giải pháp tiết kiệm năng lượng khi vận hành.

VẬT LIỆU XANH - HẠT NHÂN CỦA CÔNG TRÌNH PHÁT THẢI THẤP

Vật liệu là “mạch máu” của ngành Xây dựng, đồng thời là nguồn phát thải lớn nhất trong vòng đời công trình. Việc chuyển đổi sang vật liệu xanh, vật liệu tuần hoàn được xem là giải pháp trọng tâm để giảm phát thải trong giai đoạn đầu của chuỗi giá trị.

Vật liệu xanh được hiểu là vật liệu có mức tiêu hao năng lượng thấp trong sản xuất, thân thiện với môi trường, có thể tái chế hoặc phân hủy sinh học, và giúp tiết kiệm năng lượng trong sử dụng. Còn vật liệu tuần hoàn nhấn mạnh nguyên tắc

“giảm - tái sử dụng - tái chế”, biến phế thải công nghiệp, tro xỉ, cốt liệu cũ thành nguồn nguyên liệu mới, giảm áp lực khai thác tài nguyên thiên nhiên.

Hiện nay, nhiều doanh nghiệp trong nước đã phát triển các dòng gạch không nung, xi măng giảm clinker, bê tông tái chế, vật liệu cách nhiệt, sơn phản quang, gỗ nhân tạo từ phế thải nhựa... góp phần đáng kể vào mục tiêu giảm phát thải carbon.

Đặc biệt, công nghệ sản xuất minh bạch về phát thải, cho phép đo lường và công bố lượng CO₂ tương ứng cho mỗi tấn sản phẩm (Environmental Product Declaration - EPD), đang trở thành yêu cầu bắt buộc tại nhiều quốc gia. Ở Việt Nam, việc sớm hình thành hệ thống đánh giá và chứng nhận phát thải cho vật liệu xây dựng là cơ sở để đưa tiêu chí carbon trở thành yếu tố cạnh tranh của doanh nghiệp.

TƯ DUY VÒNG ĐỜI - NỀN TẢNG ĐÁNH GIÁ PHÁT THẢI VÀ QUYẾT ĐỊNH ĐẦU TƯ

Phương pháp đánh giá vòng đời công trình (Life-Cycle Assessment - LCA) được xem là công cụ hiệu quả nhất để lượng hóa và so sánh các phương án thiết kế, vật liệu, công nghệ thi công về mặt phát thải và năng lượng.

Thông qua LCA, các nhà thiết kế, chủ đầu tư có thể nhận biết được giai đoạn nào phát thải nhiều nhất để đưa ra giải pháp tối ưu. Ví dụ, lựa chọn vật liệu có EPD thấp, giảm chiều dày cầu kiện, hay áp dụng cấu kiện lắp ghép nhằm tiết kiệm vật liệu và năng lượng.

Tại nhiều quốc gia, báo cáo LCA đã trở thành một phần bắt buộc trong hồ sơ thiết kế công trình lớn. Việt Nam đang từng bước xây dựng cơ sở dữ liệu về phát thải vật liệu, hướng tới tích hợp LCA vào tiêu chuẩn công trình xanh trong thời gian tới.

Trong tư duy vòng đời công trình, giai đoạn sử dụng tiêu thụ



năng lượng lớn nhất và là nơi vật liệu phát huy giá trị lâu dài. Một công trình sử dụng vật liệu cách nhiệt, vật liệu phản xạ nhiệt hay kính tiết kiệm năng lượng sẽ giảm đáng kể nhu cầu làm mát, chiếu sáng, qua đó cắt giảm phát thải trong vận hành.

Từ góc độ kinh tế, nếu chỉ tính chi phí đầu tư ban đầu, vật liệu xanh có thể đắt hơn so với vật liệu truyền thống. Tuy nhiên, khi xét đến chi phí vòng đời công trình (Life-Cycle Cost) - bao gồm chi phí vận hành, bảo trì và giá trị thu hồi sau sử dụng - vật liệu xanh lại mang hiệu quả cao hơn.

Do đó, việc lựa chọn vật liệu cần được đánh giá dựa trên vòng đời, thay vì chỉ dựa vào chi phí đầu tư ban đầu. Đây là bước chuyển tư duy quan trọng trong thiết kế và quản lý công trình hiện đại.

ĐỔI MỚI CÔNG NGHỆ - BƯỚC ĐỘT PHÁ TRONG GIẢM PHÁT THẢI

Để vật liệu không chỉ “xanh ở đầu vào”, mà còn góp phần giảm phát thải trong suốt vòng đời công trình, cần đến những bước đột phá công nghệ:

Ứng dụng công nghệ sản xuất xanh: sử dụng năng lượng tái tạo trong nhà máy xi măng, gạch, thép; tái sử dụng nhiệt thải trong sản xuất.

Phát triển vật liệu thông minh: vật liệu tự phục hồi, tự làm sạch, vật liệu hấp thụ CO₂ trong quá trình sử dụng.

Thi công công nghiệp hóa, lắp ghép: giảm phế thải, giảm thời gian thi công, kiểm soát tốt chất lượng cấu kiện và lượng vật liệu sử dụng.

Hệ thống quản lý năng lượng thông minh (BMS) trong vận hành: giám sát tiêu thụ năng lượng theo thời gian thực, tối ưu hoạt động thiết bị, kéo dài tuổi thọ vật liệu.

Đây là hướng đi quan trọng giúp ngành vật liệu và Xây dựng cùng tiến tới trung hòa carbon, đáp ứng các tiêu chuẩn công trình xanh ngày càng khắt khe của thế giới.

CHỨNG NHẬN XANH - THƯỚC ĐO CHO PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG

Trong bối cảnh thị trường vật liệu chuyển mạnh sang sản xuất xanh và minh bạch phát thải, việc đạt được chứng nhận, nhãn xanh hoặc tiêu chuẩn công trình xanh (LEED, LOTUS, EDGE, BREEAM...) trở thành minh chứng rõ ràng cho cam kết phát triển bền vững của doanh nghiệp.

Các chủ đầu tư, nhà thầu có công trình đạt chứng nhận xanh không chỉ khẳng định uy tín, mà còn được hưởng lợi

từ ưu đãi tín dụng xanh, chính sách thuế và sự tin cậy của thị trường quốc tế. Đây là xu hướng không thể đảo ngược khi Việt Nam hội nhập sâu vào chuỗi cung ứng vật liệu và xây dựng toàn cầu.

CHUỖI KHÉP KÍN “VẬT LIỆU - THI CÔNG - TÁI SỬ DỤNG”

Để xây dựng hệ sinh thái công trình xanh hoàn chỉnh, cần mở rộng mô hình “vật liệu - thi công - tái sử dụng” theo hướng khép kín. Nghĩa là, từ khâu thu gom phế thải xây dựng, tái chế vật liệu, sản xuất cấu kiện tái sử dụng, đến thi công lắp ghép và quản lý vận hành thông minh đều phải kết nối trong một chuỗi dữ liệu thống nhất.

Điều này đòi hỏi sự vào cuộc đồng bộ của các cơ quan quản lý, doanh nghiệp và nhà nghiên cứu. Bộ Xây dựng đang phối hợp với các bộ, ngành liên quan để hoàn thiện chiến lược phát triển vật liệu xây dựng xanh, xây dựng cơ sở dữ liệu phát thải, thúc đẩy mô hình kinh tế tuần hoàn trong ngành Xây dựng, góp phần thực hiện cam kết giảm phát thải ròng về “0” vào năm 2050.

HƯỚNG TỚI NGÀNH XÂY DỰNG TRUNG HÒA CARBON

Trong xu thế toàn cầu hóa và chuyển đổi năng lượng, ngành Xây dựng Việt Nam buộc phải thay đổi. Việc tối ưu hóa năng lượng, sử dụng vật liệu xanh và áp dụng tư duy vòng đời công trình không chỉ là lựa chọn, mà là yêu cầu bắt buộc để thích ứng với quy chuẩn quốc tế và mục tiêu phát triển bền vững của đất nước.

Giảm phát thải carbon từ ngành Xây dựng không thể đạt được chỉ bằng các giải pháp đơn lẻ. Nó đòi hỏi một chiến lược tổng thể, kết hợp giữa đổi mới công nghệ, hoàn thiện thể chế, thúc đẩy tài chính xanh và nâng cao nhận thức xã hội.

Tối ưu vòng đời công trình - từ vật liệu, thiết kế, thi công đến vận hành và tái chế - chính là chìa khóa để vừa tiết kiệm tài nguyên, vừa giảm phát thải, vừa đảm bảo hiệu quả đầu tư và chất lượng công trình.

Phát triển công trình xanh không chỉ là xu hướng của tương lai mà là trách nhiệm của hiện tại. Khi mỗi vật liệu, mỗi chi tiết thiết kế, mỗi quyết định thi công đều được đặt trong tư duy vòng đời, ngành Xây dựng sẽ không chỉ kiến tạo những công trình bền vững, mà còn góp phần hiện thực hóa cam kết Net-Zero 2050 của Chính phủ Việt Nam - vì một nền kinh tế xanh, tiết kiệm năng lượng và phát thải thấp.❖

Chính sách giao thông xanh phải đi kèm tiêu chuẩn kỹ thuật và hỗ trợ tín dụng



CAO NGA



NGUYỄN VĂN ĐỨC*

Chuyển đổi giao thông xanh chỉ thành công khi có sự phối hợp nhịp nhàng giữa Nhà nước, doanh nghiệp và hệ thống tài chính. Cơ chế chính sách phải đi kèm tiêu chuẩn kỹ thuật và hỗ trợ tín dụng, từ đó tạo điều kiện để xe điện và hạ tầng sạc phát triển đồng bộ trong đô thị.

ĐỊNH DANH TRẠM SẠC LÀ “HẠ TẦNG KỸ THUẬT GIAO THÔNG ĐÔ THỊ”

Ngày 22/7/2022, Thủ tướng Chính phủ ban hành Quyết định 876/QĐ-TTg phê duyệt Chương trình hành động về chuyển đổi năng lượng xanh, giảm phát thải khí carbon và khí methan của ngành GTVT, trong bối cảnh Việt Nam chuyển từ tư duy “tiết kiệm năng lượng” sang “chuyển dịch năng lượng có cấu trúc”, tức là không chỉ giảm tiêu thụ xăng dầu đơn lẻ, mà cải tổ mô hình vận tải và hạ tầng năng lượng đi kèm.

Quyết định 876/QĐ-TTg quy định lộ trình điện hóa phương tiện giao thông theo hướng có trọng tâm và khả thi, ưu tiên các phân khúc dễ triển khai trước (xe máy điện, taxi điện, xe bus điện) để tạo ra hiệu ứng quy mô và hiệu ứng hành vi trong giao thông đô thị.

Điểm a khoản 3 Điều 1 Quyết định 876/QĐ-TTg quy định về lộ trình chuyển đổi năng lượng xanh đối với lĩnh vực đường bộ như sau: “Giai đoạn 2022-2030, thúc đẩy sản xuất, lắp ráp, nhập khẩu và chuyển đổi sử dụng các loại phương tiện giao thông cơ giới đường bộ sử dụng điện; mở rộng phối trộn, sử dụng 100% xăng E5 đối với phương tiện giao thông cơ giới đường bộ. Phát triển hạ tầng sạc điện đáp ứng nhu cầu của người dân, doanh nghiệp. Khuyến khích các bến xe, trạm dừng nghỉ xây dựng mới và hiện hữu chuyển đổi theo tiêu chí xanh; Giai đoạn 2031-2050, đến năm 2040,

từng bước hạn chế tiến tới dừng sản xuất, lắp ráp và nhập khẩu xe ô tô, xe mô tô, xe gắn máy sử dụng nhiên liệu hóa thạch để sử dụng trong nước. Đến năm 2050, 100% phương tiện giao thông cơ giới đường bộ, xe máy thi công tham gia giao thông chuyển đổi sang sử dụng điện, năng lượng xanh. Toàn bộ các bến xe, trạm dừng nghỉ đạt tiêu chí xanh; chuyển đổi toàn bộ máy móc, trang thiết bị xếp, dỡ sử dụng nhiên liệu hóa thạch sang sử dụng điện, năng lượng xanh. Hoàn thiện hạ tầng sạc điện, cung cấp năng lượng xanh trên phạm vi toàn quốc đáp ứng nhu cầu của người dân, doanh nghiệp”.

Điều này có ý nghĩa rất lớn, bởi trong cơ cấu phát thải của ngành GTVT, hoạt động vận tải đô thị và phương tiện cá nhân chiếm tỷ trọng áp đảo, đặc biệt tại các thành phố lớn như Hà Nội và TP.HCM. Và, việc thay thế xe máy xăng cũ nát bằng xe máy và xe bus điện không chỉ giảm phát thải, mà còn giảm ô nhiễm bụi mịn PM2.5 và tiếng ồn, hai yếu tố trực tiếp liên quan đến sức khỏe cộng đồng và chi phí y tế.

Đáng chú ý, điểm đột phá thể chế quan trọng nhất của Quyết định 876/QĐ-TTg là xác định trạm sạc và trạm cấp năng lượng xanh là một cấu phần của hệ thống hạ tầng giao thông, thay vì chỉ coi đây là “công trình năng lượng” như cách tiếp cận trước đây.

Điểm b, khoản 4 Điều 1 Quyết định 876/QĐ-TTg quy định: “Quy hoạch và xây dựng: hệ thống trạm sạc điện, trạm cấp năng lượng xanh trên mạng quốc lộ chính yếu, mở rộng

(*) Giảng viên, Trường Đại học Công đoàn

ra mạng lưới đường bộ toàn quốc; hạ tầng trạm sạc điện, trạm cấp năng lượng xanh cho phương tiện giao thông cơ giới đường bộ tại các cảng biển, cảng thủy nội địa, cảng hàng không, bến xe và nhà ga”.

Sự thay đổi này mở ra cơ sở pháp lý để tích hợp trạm sạc trực tiếp trong quy hoạch và phân bổ quỹ đất giao thông. Nhờ đó, trạm sạc có thể được bố trí tại mạng quốc lộ chính yếu, hệ thống đường bộ, cảng biển, cảng thủy nội địa, cảng hàng không, bến xe, nhà ga, cũng như bãi đỗ và depot xe bus, các điểm trung chuyển và khu vực TOD (Transit-Oriented Development), tạo nên mạng lưới cung cấp năng lượng theo tuyến vận tải thực tế thay vì mô hình cấp điện tập trung như trước.

Đồng thời quy định tại nội dung này cũng cho thấy, Quyết định 876/QĐ-TTg khuyến khích kết hợp điện mặt trời áp mái tại depot và bãi đỗ xe nhằm tự sản xuất - tự tiêu thụ tại chỗ, góp phần giảm phụ tải giờ cao điểm và giảm áp lực lên lưới điện đô thị.

Nói cách khác, chuyển đổi giao thông xanh không chỉ là thay đổi phương tiện, mà là tái cấu trúc quan hệ giữa hạ tầng giao thông và hạ tầng năng lượng, hướng tới vận hành hiệu quả và phát thải thấp.

BÀI HỌC TỪ THỰC TIỄN CỦA HÀ NỘI VÀ TP.HCM

Thực tiễn triển khai tại Hà Nội và TP.HCM cho thấy, việc hiện thực hóa Quyết định 876/QĐ-TTg không chỉ phụ thuộc vào khung chính sách quốc gia, mà còn gắn chặt với cấu trúc quản lý đô thị, năng lực điều hành và cách thức phối hợp liên ngành của từng địa phương.

Hà Nội lựa chọn cách làm chủ động theo hướng điều hành tập trung và dùng công cụ chính sách tài chính công khi sửa đổi Nghị quyết của HĐND để tăng mức hỗ trợ đầu tư xe bus điện từ 50% lên đến 70%, đồng thời đặt mục tiêu điện hóa toàn bộ xe bus trước năm 2030, sớm hơn 20 năm so với lộ trình quốc gia. Từ đó, thành phố tạo được “điểm tựa thị trường” thông qua đội xe bus - một lĩnh vực có cơ chế trợ giá và quản lý vận hành tập trung, giúp giảm rủi ro cho doanh nghiệp và xây dựng niềm tin chuyển đổi.

Ngược lại, TP.HCM áp dụng mô hình thị trường mở và huy động nguồn lực xã hội, kết hợp tín dụng xanh, trợ lực tài chính cho doanh nghiệp vận tải và nhà đầu tư trạm sạc, cùng với hợp tác quốc tế (UNDP) để xây dựng quy chuẩn kỹ thuật và mô hình đầu thầu trạm sạc. Điều này giúp TP.HCM tăng tốc quy mô hóa, thể hiện qua tỷ lệ taxi điện, bus điện và mạng lưới trạm sạc tăng nhanh trong thời gian ngắn.

Song, với tốc độ tăng trưởng hơn 2.000 xe mỗi tháng (6 tháng đầu năm 2025) đang gây áp lực lớn cho hạ tầng sạc. TP.HCM đang phối hợp với Chương trình phát triển của Liên Hợp Quốc - UNDP xây dựng Sổ tay hướng dẫn đầu thầu và quy chuẩn trạm sạc xe bus, rà soát tiêu chí, vị trí lắp đặt trạm sạc gắn với Vành đai 4 và các đầu mối giao thông trọng điểm... Khó khăn lớn nhất hiện nay là chưa có cơ chế thu hồi, xử lý phương tiện cũ và chính sách cụ thể cho đầu tư trạm sạc.

Kinh nghiệm từ hai đô thị lớn cũng cho thấy những thách thức mang tính nền tảng chưa được giải quyết triệt để.

Thứ nhất, cả Hà Nội và TP.HCM đều đang đối mặt với bài toán tài chính chuyển đổi, khi chi phí đầu tư phương tiện và hạ tầng sạc vẫn cao so với năng lực tích lũy của doanh nghiệp và người dân.

Thứ hai, hệ thống trạm sạc, đặc biệt tại khu dân cư, chung cư và bãi đỗ trong nhà, đang thiếu chuẩn kỹ thuật thống nhất, dẫn tới tình trạng chỗ cần không sạc được, chỗ có sạc lại không bảo đảm an toàn hoặc kết nối thuận tiện.

Thứ ba, chưa có cơ chế thu hồi và xử lý phương tiện cũ - một mắt xích quan trọng để loại bỏ xe phát thải cao và tránh gia tăng tổng lượng phương tiện.

CẦN XÂY DỰNG BIỂU GIÁ ĐIỆN CHUYÊN BIỆT CHO TRẠM SẠC

Theo các chuyên gia, khi đưa Quyết định 876/QĐ-TTg vào triển khai, nhiều điểm “nút thắt” thể chế - kỹ thuật - kinh tế đang khiến tốc độ chuyển đổi năng lượng của ngành GTVT có nguy cơ chậm hơn so với yêu cầu của NDC và mục tiêu Net Zero. Trong đó thách thức lớn nhất chính là chưa có cơ chế giá điện theo khung giờ (TOU) dành riêng cho hạ tầng sạc công cộng và đội xe vận tải công cộng. Khi xe điện sạc theo biểu giá điện sinh hoạt hoặc công nghiệp thông thường, chi phí vận hành bus điện và taxi điện thường cao hơn hoặc chỉ tương đương xe chạy nhiên liệu hóa thạch, khiến các doanh nghiệp vận tải ngần ngại đầu tư chuyển đổi đội xe.

Đối với các đô thị lớn, nếu không sớm có biểu giá TOU ưu tiên sạc đêm và thấp điểm, hoạt động sạc sẽ dồn vào giờ cao điểm, gây căng thẳng lưới điện và tăng tổn thất hệ thống.

Vì vậy, cần xây dựng biểu giá điện chuyên biệt cho trạm sạc cùng cơ chế hợp đồng phụ tải linh hoạt (Demand Response), để doanh nghiệp cam kết dịch chuyển thời điểm sạc sang khung giờ ít tác động đến lưới điện.

Một vướng mắc khác mang tính “đô thị học” là không có quy chuẩn hoàn chỉnh cho trạm sạc trong chung cư và bãi đỗ xe trong nhà. Nhiều ban quản trị lo ngại rủi ro “cháy lan nhiệt pin” (thermal runaway) và không cho phép lắp đặt, dẫn đến tình trạng “có xe điện nhưng không có nơi sạc”. Đây không phải là vấn đề kỹ thuật đơn thuần, mà là vấn đề thiết kế công trình và vận hành tòa nhà.

Do đó, cần sớm ban hành quy chuẩn PCCC riêng cho khu vực để xe có trạm sạc, bao gồm yêu cầu thông gió, cảm biến nhiệt, dải cách ly an toàn, khu vực cách ly pin khi xảy ra sự cố, quy trình quản lý nhiệt và kiểm định thiết bị định kỳ.

Song song, Nhà nước cần ban hành mẫu nội quy sạc chuẩn áp dụng cho chung cư và bãi đỗ, để tránh mỗi tòa nhà “một kiểu quản lý”, gây trì trệ chuyển đổi năng lượng...

Bối cảnh này cho thấy, chuyển đổi giao thông xanh không thể chỉ dựa vào ý chí chính quyền hay xu hướng thị trường, mà cần một hệ sinh thái phối hợp ba bên: Nhà nước tạo khung pháp lý và tiêu chuẩn; doanh nghiệp cung ứng giải pháp công nghệ - vận hành; hệ thống tài chính cung cấp vốn với điều kiện phù hợp, minh bạch dựa trên tiêu chí môi trường - xã hội - quản trị (ESG).❖

Phát triển vận tải đường bộ xanh - thông minh

KHÁNH LÊ

Sau 10 năm thực hiện Chiến lược phát triển dịch vụ vận tải đường bộ giai đoạn 2015 - 2025, lĩnh vực vận tải đường bộ đã đạt được nhiều kết quả tích cực, góp phần quan trọng nâng cao năng lực vận tải quốc gia và từng bước đáp ứng nhu cầu hội nhập quốc tế với tiêu chí giao thông xanh và ITS.

VẬN TẢI ĐƯỜNG BỘ CHIẾM ƯU THẾ

Từ năm 2015 - 2025, kết cấu hạ tầng giao thông của nước ta đã có những bước phát triển mạnh mẽ, đóng vai trò quan trọng trong thúc đẩy tăng trưởng kinh tế - xã hội, bảo đảm quốc phòng an ninh. Nổi bật là lĩnh vực đường bộ, với tổng chiều dài mạng lưới đạt khoảng 594.000 km vào năm 2023, trong đó có gần 2.000 km đường cao tốc, tăng mạnh so với khoảng 600 km năm 2015 và cuối năm 2025 sẽ có 3.000 km đường cao tốc. Nhiều tuyến cao tốc trọng điểm đã hoàn thành và đưa vào khai thác, tiêu biểu như các đoạn tuyến thuộc tuyến cao tốc Bắc - Nam phía Đông. Các tuyến kết nối vùng Tây Nguyên, Tây Bắc, ĐBSCL cũng từng bước được triển khai, tạo động lực phát triển kinh tế liên vùng.

Theo Cục Đường bộ Việt Nam, thực hiện Chiến lược dịch vụ vận tải đường bộ tính đến đầu năm 2025, vận tải đường bộ vẫn đảm nhận hơn 70% khối lượng vận chuyển hàng hóa nội địa. Tính theo tấn.km (khối lượng x quãng đường), thị phần đường bộ vẫn chiếm khoảng 60% vượt xa các phương thức còn lại như đường thủy nội địa (~17%), đường sắt (~2%), hàng hải nội địa (~19%), hàng không (~0,1%). Tuy nhiên, điều này cũng đưa vận tải đường bộ chịu nhiều áp lực như chi phí vận tải cao, ùn tắc tại các cửa ngõ đô thị, phát thải lớn, rủi ro tai nạn giao thông.

Bên cạnh đó, phương tiện vận tải được tăng trưởng về số lượng và chất lượng (khoảng 8 - 10%/năm): Theo thống kê, năm 2013 cả nước có tổng số 121.897 phương tiện kinh doanh vận tải (bao gồm xe khách và xe công-ten-nơ); đến năm 2016, cả nước có tổng số 219.038 phương tiện kinh doanh vận tải, tăng 97.141 phương tiện so với năm 2013. Tính đến hết năm 2024, cả nước có khoảng 956.062 ô tô kinh doanh vận tải đã lắp đặt thiết bị giám sát hành trình (trong đó 348.450 ô tô vận chuyển hành khách, 607.612 ô tô vận chuyển hàng hóa) với tổng số 100.303 đơn vị kinh doanh vận tải...

Sự xuất hiện loại hình xe hợp đồng ứng dụng công nghệ

phần mềm như Grab, Be, Gojek... đã thúc đẩy cạnh tranh và làm thay đổi mạnh mẽ cơ cấu đội xe. Chất lượng phương tiện cũng được cải thiện rõ rệt; nhiều doanh nghiệp đầu tư xe đời mới, trang bị điều hòa, wifi, GPS, camera hành trình, góp phần nâng cao trải nghiệm và an toàn cho hành khách. Các quy định kỹ thuật được cập nhật theo lộ trình kiểm soát khí thải Euro 4, Euro 5, đặc biệt là với xe tải và xe khách. Một số địa phương đã đưa vào vận hành xe buýt sử dụng nhiên liệu sạch như CNG (Hà Nội, TP.HCM, Cần Thơ), và thí điểm xe buýt điện (VinBus), đánh dấu bước đầu trong quá trình chuyển đổi xanh trong vận tải hành khách công cộng.

ỨNG DỤNG KHOA HỌC CÔNG NGHỆ TRONG QUẢN LÝ VẬN TẢI

Theo Cục Đường bộ Việt Nam, với việc ứng dụng công nghệ thông tin trong quản lý hoạt động kinh doanh vận tải và cải cách hành chính đã góp phần thay đổi diện mạo với việc số hóa các dịch vụ công toàn phần.

Cụ thể, năm 2009 đã bắt đầu thực hiện việc lắp thiết bị giám sát hành trình (TBGSHT) trên ô tô kinh doanh vận tải, số lượng và đối tượng phải lắp TBGSHT được mở rộng và tăng dần qua từng năm. Hệ thống TBGSHT đối với ô tô kinh doanh vận tải có thể xem xét trên 3 góc độ: Quản lý nhà nước, doanh nghiệp vận tải, và an toàn - xã hội. Đây là một công cụ chính giúp cho công tác quản lý hoạt động vận tải, giúp cơ quan chức năng giám sát liên tục về vị trí, tốc độ, hành trình, thời gian lái xe... của phương tiện; tạo cơ sở dữ liệu để xử lý vi phạm (quá tốc độ, chạy sai tuyến, quá thời gian lái xe...); Hỗ trợ triển khai các chính sách về an toàn giao thông, giảm thiểu tai nạn; bên cạnh đó giúp cho công tác kiểm soát xe ra/vào cho lực lượng Hải quan, Biên phòng, hỗ trợ cho công tác thu thuế đối với đơn vị kinh doanh vận tải (ngành thuế một số địa phương thông qua thiết bị giám sát hành trình để áp mức thu thuế). Ngoài ra còn góp phần hỗ trợ công tác điều tra tai nạn giao thông, điều tra, phòng chống tội phạm; hỗ



trợ công tác truy vết người bị dịch bệnh, đặc biệt trong thời gian phòng chống đại dịch Covid-19 đã phát huy hiệu quả trong công tác quản lý. Có thể khẳng định hệ thống TBGSHT đã mang lại hiệu quả rõ rệt trong quản lý và nâng cao an toàn giao thông cho ô tô kinh doanh vận tải. Kết quả 5 năm gần đây cơ quan quản lý đã thu hồi phù hiệu/biển hiệu của 101.262 phương tiện; nhắc nhở/chấn chỉnh 1.132.465 phương tiện; điều tra hỗ trợ tai nạn giao thông khoảng 275 vụ; giảm vi phạm tốc độ bình quân 15 - 20% so với trước khi áp dụng đồng bộ.

Đối với phần mềm dịch vụ công trực tuyến cấp độ 4 về cấp, đổi giấy phép kinh doanh vận tải, đổi biển hiệu, phù hiệu ô tô. Trong đó quản lý, cập nhật toàn bộ cơ sở dữ liệu về tuyến và biểu đồ tuyến vận tải hành khách cố định toàn quốc. Phần mềm dịch vụ công trực tuyến cấp độ 4 về cấp, đổi giấy phép kinh doanh vận tải đường bộ quốc tế và cấp, đổi sổ liên vận quốc tế tham gia Cơ chế một cửa quốc gia và Cơ chế một cửa ASEAN được đưa vào sử dụng từ năm 2018 tại Cục Đường bộ Việt Nam và 63 Sở GTVT (nay là Sở Xây dựng).

Cùng với sự phát triển của công nghệ thông tin ngày càng mạnh mẽ, trong thời gian gần đây, nhiều doanh nghiệp kinh doanh vận tải bằng xe taxi đã ứng dụng phần mềm điều hành thay thế cho phương pháp điều hành truyền thống (sử dụng bộ đàm). Bên cạnh đó, trên thế giới cũng như ở Việt Nam đã xuất hiện nhiều phương thức trợ giúp người dùng đặt (gọi) xe một cách nhanh chóng và thuận tiện thông qua các thiết bị thông minh (smartphone). Nổi bật là các ứng dụng Grab, Uber, BE, Emdid, ... đã và đang có chiều hướng ngày một phát triển mạnh.

PHÁT TRIỂN VẬN TẢI XANH, ITS

Cũng theo Cục Đường bộ Việt Nam, để thực hiện Chiến lược phát triển dịch vụ vận tải trong thời gian tới (tầm nhìn 2050) cần thiết phải xây dựng một chiến lược dịch vụ vận tải toàn diện và bền vững, có tầm nhìn dài hạn, phản ánh đầy đủ những thay đổi

trong phát triển kinh tế - xã hội của Việt Nam trong giai đoạn tới. Chiến lược mới cần phải đáp ứng các yêu cầu phát triển của đất nước; đồng thời giải quyết hiệu quả những tồn tại, hạn chế hiện tại trong lĩnh vực vận tải. Chiến lược này cần đề xuất các quan điểm, mục tiêu và giải pháp cụ thể nhằm phát triển mạnh mẽ mạng lưới cao tốc 5.000 km đến năm 2030, phát triển hệ thống dịch vụ vận tải có năng lực, ứng dụng giao thông thông minh (ITS), quản lý vận tải bằng dữ liệu số; chất lượng và hiệu quả cao, an toàn, thân thiện với môi trường trong giai đoạn phát triển tiếp theo. Đồng thời, cần nghiên cứu để phù hợp với chỉ đạo của Thủ tướng Chính phủ tại Quyết định 876/QĐ-TTg ngày 22/7/2022 phê duyệt Chương trình hành động về chuyển đổi năng lượng xanh, giảm phát thải khí các-bon và khí mê-tan của ngành giao thông vận tải, tăng liên kết vùng, phát triển trung tâm logistics, giảm phụ thuộc vào vận tải đường bộ đơn lẻ.

Để đáp ứng yêu cầu phát triển bền vững và định hướng xanh - thông minh trong giai đoạn đến năm 2030, cần tiếp tục hoàn thiện các cơ chế khuyến khích đầu tư vào lĩnh vực vận tải theo hướng thiết thực, ổn định và hấp dẫn. Nhà nước cần có chính sách tín dụng riêng cho ngành vận tải, đặc biệt là đầu tư vào xe buýt điện, xe tải sạch, trạm sạc, trạm tiếp nhiên liệu CNG; đồng thời, nghiên cứu ưu đãi thuế thu nhập doanh nghiệp và khấu hao nhanh cho các phương tiện thân thiện môi trường. Mô hình PPP cần được áp dụng rộng rãi trong xây dựng bến xe, bãi đỗ, trung tâm logistics, tuyến xe buýt nhanh BRT hoặc metro, với quy trình lựa chọn nhà đầu tư minh bạch, công khai và có cơ chế chia sẻ rủi ro rõ ràng. Ngoài ra, nên có các chương trình hỗ trợ kỹ thuật cho doanh nghiệp nhỏ, hợp tác xã về nâng cao năng lực quản trị, quản lý tài chính và tiếp cận công nghệ vận tải hiện đại. Chỉ khi có chính sách khuyến khích hiệu quả và lâu dài, lực lượng doanh nghiệp vận tải mới có thể phát triển ổn định, góp phần thực hiện thành công các mục tiêu chiến lược đã đề ra.❖

Doanh nghiệp xã hội - Cánh tay của chính quyền địa phương!



NGUYỄN HOÀNG LINH

Sau những đợt bão lụt liên tiếp xảy ra, sau một thời gian chính quyền địa phương 2 cấp đi vào hoạt động, sau chứng kiến làn sóng người dân cả nước ủng hộ đồng bào gặp khó khăn, mất mát trước thiên tai..., nhiều người chợt nhận ra rằng, Việt Nam đang có một tài sản vô cùng quý giá cho sự phát triển bền vững của đất nước, đó là văn hóa chia sẻ, là "bầu ơi thương lấy bí cùng", là "lá lành đùm lá rách"... Một vấn đề được đặt ra: Vậy mô hình doanh nghiệp xã hội (DNXH) của nước ta hiện nay có đang được khuyến khích phát triển?

MỤC TIÊU PHỤC VỤ XÃ HỘI VÀ PHI LỢI NHUẬN

Trước hết, có thể hiểu ngắn gọn, DNXH là một mô hình kinh doanh được thành lập nhằm thực hiện các mục tiêu xã hội và sử dụng lợi nhuận để tái đầu tư cho mục tiêu đó hoặc cho cộng đồng, thay vì tối đa hóa lợi nhuận cho cổ đông hoặc chủ sở hữu. Luật Doanh nghiệp 2014 quy định, DNXH là doanh nghiệp được đăng ký thành lập theo quy định pháp luật; sử dụng ít nhất 51% tổng lợi nhuận hàng năm của doanh nghiệp để tái đầu tư nhằm thực hiện mục tiêu xã hội, môi trường như đã đăng ký.

Chính vì mục tiêu phục vụ xã hội và phi lợi nhuận ấy nên DNXH được hệ thống pháp luật của Việt Nam khuyến khích phát triển.

Thứ nhất, chủ sở hữu doanh nghiệp, người quản lý DNXH được xem xét, tạo thuận lợi và hỗ trợ trong việc cấp giấy phép, chứng chỉ và giấy chứng nhận có liên quan theo quy định pháp luật.

Thứ hai, DNXH được tiếp nhận viện trợ phi chính phủ nước ngoài để thực hiện mục tiêu giải quyết các vấn đề xã hội, môi trường theo quy định của pháp luật về tiếp nhận viện trợ phi chính phủ nước ngoài. Ngoài khoản viện trợ này, DNXH được tiếp nhận bằng tài sản, tài chính hoặc hỗ trợ kỹ thuật từ các cá nhân, cơ quan, tổ chức trong nước và tổ chức nước ngoài đã đăng ký hoạt động tại Việt Nam.

Thứ ba, DNXH hoạt động trong lĩnh vực khoa học, công

nghệ được hưởng các ưu đãi về thuế thu nhập doanh nghiệp, như doanh nghiệp thực hiện dự án đầu tư mới trong lĩnh vực nghiên cứu khoa học và công nghệ được hưởng thuế suất ưu đãi 10% trong thời hạn 15 năm; Miễn thuế thu nhập doanh nghiệp 4 năm, giảm 50% số thuế phải nộp trong 9 năm tiếp theo...

Ưu đãi là thế, khuyến khích như thế nhưng cho đến nay, số liệu thống kê về đội ngũ DNXH được hình thành và hoạt động trên cả nước rất khan hiếm và không đầy đủ. Tuy nhiên, có một con số thống kê đáng tin cậy cho thấy, sau gần 6 năm Luật Doanh nghiệp năm 2014 có hiệu lực, số lượng DNXH đăng ký hoạt động với cơ quan đăng ký kinh doanh tính đến cuối tháng 4/2020 mới khoảng 140 doanh nghiệp. Một con số ước tính khác cho biết, có khoảng 25.600 tổ chức có khả năng trở thành DNXH, bao gồm các hợp tác xã, quỹ tín dụng và các tổ chức phi lợi nhuận khác...

NHỮNG NGUYÊN NHÂN SÂU XA...

Với một dân tộc giàu lòng nhân ái như Việt Nam trải qua chiều dài lịch sử đã chứng minh, ở một đất nước đang vươn lên sau muôn vàn khó khăn của hậu quả chiến tranh và thiên tai bão lũ, lẽ ra mô hình DNXH phải được phát triển rộng rãi mới đúng. Vậy nguyên nhân từ đâu?

Hẳn nhiều người còn nhớ trong Lễ kỷ niệm 80 năm Ngày truyền thống ngành Văn hóa, Tổng Bí thư Tô Lâm đã khẳng



XI MĂNG CẨM PHẢ
CÔNG NGHỆ NHẬT BẢN

HÂN HẠNH TÀI TRỢ CHUYÊN MỤC

định: “Văn hóa là nền tảng tinh thần của xã hội, vừa là mục tiêu, vừa là động lực của sự phát triển; văn hóa là sức mạnh mềm, là năng lượng gốc vô tận của dân tộc Việt Nam”.

Quả thật, từ ngàn đời nay, Việt Nam có một tài sản vô cùng quý giá cho sự phát triển bền vững của đất nước, đó là văn hóa chia sẻ, là "bầu ơi thương lấy bí cùng", là "lá lành đùm lá rách"... là nguồn động lực cốt lõi cho DNXH phát triển, lẽ gì không được tôn vinh và khuyến khích?

Đã có nhận xét rằng thông điệp ấy của Tổng Bí thư Tô Lâm không chỉ là định hướng; đó là lời hiệu triệu, gợi nhắc chúng ta về căn cốt của dân tộc. Trong suốt chiều dài lịch sử, từ những ngày đầu dựng nước, qua những cuộc kháng chiến vệ quốc vĩ đại, cho đến hành trình kiến thiết đất nước hôm nay, văn hóa luôn là sức mạnh mềm nhưng bền bỉ nhất, xây dựng nên phẩm chất Việt Nam: yêu nước, nhân nghĩa, hiếu học, kiên cường, đoàn kết, sáng tạo, thích ứng linh hoạt với mọi biến động. Những phẩm chất ấy không tự nhiên có, mà được hun đúc qua hàng nghìn năm lịch sử, trở thành “mã gen tinh thần” của dân tộc Việt Nam.

Đến đây, nguyên nhân đầu tiên có thể xác định rằng cho đến nay, các cấp chính quyền của ta chưa đặt DNXH vào đúng sứ mệnh vốn có của nó, đó là đưa văn hóa chia sẻ trở thành một trong những nguồn lực quan trọng để phát triển đất nước, là cánh tay nối dài của chính quyền các cấp trong trách nhiệm an sinh xã hội.

Nguyên nhân thứ hai xuất phát từ nền tảng nguồn lực xã hội còn hạn chế. Các nghiên cứu cho thấy tại Việt Nam, hơn 60% DNXH hoạt động phải tự bỏ vốn để thực hiện khởi sự kinh doanh, trong khi ở các nước phát triển chỉ số này thấp hơn, ở mức 30 - 40%. DNXH có đặc thù là không vì mục tiêu lợi nhuận, lại kinh doanh trên các thị trường có rủi ro cao, như bảo tồn và phát triển làng nghề thủ công truyền thống; giáo dục - đào tạo, y tế..., lợi suất tài chính thấp nên không hấp dẫn đối với các nguồn vốn đầu tư. Các DNXH rất khó huy động nguồn vốn vay ngân hàng vì thường không có tài sản, nhà xưởng thế chấp do phần lớn DNXH hoạt động ở quy mô nhỏ; lãi suất cho vay của ngân hàng cao hơn nhiều so với khả năng sinh lời của DNXH; thời gian hoàn vốn kéo dài hơn các dự án thông thường...

Thứ ba, DNXH là một hoạt động đặc thù trên thương trường nên việc huy động nguồn nhân lực phù hợp cũng có hạn chế nhất định. Đó là cần nguồn nhân sự gồm đủ 2 tố chất, vừa có tư duy quản trị, điều hành của một doanh nhân, vừa có tấm lòng chia sẻ với sứ mệnh và giá trị xã hội của doanh nghiệp.

CẦN THÊM ĐIỂM TỰA VỀ PHÁP LÝ

Do hoạt động đặc thù nên DNXH cần có những quy định pháp lý minh bạch và rõ ràng hơn. Chẳng hạn như phải rành mạch khái niệm DNXH là một pháp nhân thương mại hay phi thương mại?

Theo phân tích của các chuyên gia, Bộ luật Dân sự xác định DNXH là một pháp nhân phi thương mại. Với quy định này, DNXH sẽ không được thành lập dưới hình thức là doanh nghiệp tư nhân, do doanh nghiệp tư nhân không

có tư cách pháp nhân "phi thương mại". Bên cạnh đó còn quy định ràng buộc rằng, vì DNXH là pháp nhân phi thương mại nên không có mục tiêu chính là tìm kiếm lợi nhuận; nếu có lợi nhuận thì cũng không được phân chia cho các thành viên. Điều này có thể ảnh hưởng đến động lực cho các tổ chức, cá nhân thành lập DNXH.

Ở góc độ khác, Luật Doanh nghiệp xác định DNXH là pháp nhân thương mại, phải sử dụng ít nhất 51% tổng lợi nhuận hằng năm của doanh nghiệp để tái đầu tư nhằm thực hiện mục tiêu xã hội, môi trường như đã đăng ký. DNXH có thể sử dụng 49% lợi nhuận còn lại theo cách thức do doanh nghiệp lựa chọn và quyết định. Thậm chí, nếu các thành viên trong công ty quyết định sử dụng 49% chia cho các thành viên trong năm tài chính thì cũng được coi là hợp pháp.

Cách tiếp cận của Luật Doanh nghiệp đối với mô hình DNXH được đánh giá cởi mở hơn, linh hoạt hơn, phù hợp với nét đặc thù của DNXH, tạo nên sự cân bằng giữa việc thực hiện các mục tiêu xã hội mà doanh nghiệp hướng tới và việc tạo nên lợi nhuận cho các thành viên thành lập nên doanh nghiệp.

RẤT NÊN PHÁT TRIỂN DNXH Ở CẤP XÃ

Kể từ ngày chính quyền địa phương 2 cấp đi vào hoạt động nhằm mục tiêu gần dân hơn để phục vụ người dân tốt hơn, trách nhiệm về an sinh xã hội tại các địa phương trở nên quan trọng hơn bao giờ hết.

Không chỉ lo toan cắt giảm các thủ tục hành chính, giảm phiền hà cho người dân và doanh nghiệp, nhiều nhiệm vụ quan trọng an sinh xã hội thường xuyên phải đặt lên hàng đầu, như xóa đói, giảm nghèo; giải quyết việc làm và tạo việc làm mới; vấn đề hỗ trợ người khuyết tật; bảo trợ trẻ em; vấn đề chăm sóc người cao tuổi do quá trình già hóa dân số; vấn đề tái hòa nhập cộng đồng cho những người mãn hạn tù, nghiện ma túy, tệ nạn mại dâm... Ngoài ra, còn rất nhiều vấn đề liên quan đến giáo dục, y tế dự phòng, an toàn giao thông, an ninh trật tự, giảm nhẹ tác động ô nhiễm môi trường và biến đổi khí hậu, vấn đề văn hóa và tiếp biến văn hóa trong quá trình phát triển...

Trách nhiệm nặng nề như vậy, nếu chính quyền địa phương các cấp biết khai thác nguồn lực văn hóa chia sẻ đầy tiềm năng trong dân, hình thành những "cánh tay nối dài" là các DNXH, một sức mạnh vốn được ghi nhận từ ngàn đời "Để trăm lần không dân cũng chịu, khó vạn lần dân liệu cũng xong" thì vấn đề an sinh xã hội ở địa phương sẽ nhẹ gánh hơn rất nhiều!

Theo con số thống kê, hầu hết các DNXH hiện nay có tới 70% quy mô dưới 20 nhân viên, hoàn toàn phù hợp với tầm hỗ trợ phát triển và quản lý Nhà nước ở cấp xã. Với sự phân cấp trách nhiệm và quyền hạn mạnh mẽ hiện nay, chính quyền cấp xã hoàn toàn có thể hỗ trợ về mặt pháp lý cho các tổ chức xã hội, cá nhân các sáng lập viên muốn chuyển đổi, thành lập mới; hỗ trợ đào tạo nguồn nhân lực quản lý; ghi nhận và vinh danh thành quả của DNXH tại địa phương mình.❖

Nâng cao hiệu quả quản lý, bảo đảm an toàn kỹ thuật cảng, bến thủy nội địa



HUY LỘC

Để phù hợp với mô hình chính quyền địa phương 2 cấp, Bộ Xây dựng đã điều chỉnh các quy định và công tác quản lý đối với hệ thống cảng, bến thủy nội địa, nhằm tạo điều kiện thuận lợi cho hoạt động đầu tư, xây dựng, khai thác và vận hành, đồng thời bảo đảm an toàn trong quá trình thực hiện.

PHÂN CẤP QUẢN LÝ PHÙ HỢP VỚI MÔ HÌNH TỔ CHỨC HIỆN HÀNH

Theo Cục Hàng hải và Đường thủy Việt Nam, cả nước hiện có hơn 3.500 sông, kênh nội tỉnh và liên tỉnh, phần lớn đổ ra biển qua 124 cửa sông với tổng chiều dài trên 80.500 km. Trong đó, khoảng 42.000 km sông, kênh có khả năng khai thác vận tải đường thủy.

Tính đến giữa năm 2025, hệ thống cảng, bến thủy nội địa trên toàn quốc gồm 310 cảng, trong đó có 202 cảng hàng hóa, 11 cảng hành khách và 97 cảng chuyên dùng. Riêng trên tuyến đường thủy quốc gia có 274 cảng, còn lại 36 cảng thuộc tuyến địa phương. Cả nước hiện có 6.274 bến thủy nội địa, trong đó 5.135 bến được cấp phép hoạt động (3.091 bến trên tuyến quốc gia và 2.004 bến trên tuyến địa phương) cùng khoảng 2.526 bến khách ngang sông. Ngoài ra, còn có 25 cảng và 537 bến thủy nằm trong vùng nước cảng biển, chủ yếu phân bố trên các tuyến sông lớn như sông Hậu, sông Tiền, sông Đồng Nai, sông Vàm Cỏ, sông Sài Gòn, sông Ngã Bảy, sông Giá và Bạch Đằng...

Nhìn chung, hệ thống cảng, bến thủy nội địa đã được đầu tư, xây dựng phủ khắp cả nước. Nhiều cảng, bến tọa lạc tại vị trí thuận lợi gần cửa sông, cửa biển, trở thành đầu mối quan trọng trong mạng lưới kết nối giữa vận tải đường bộ, đường thủy và hàng hải. Hạ tầng kỹ thuật tại các cảng, bến thủy ngày càng được hiện đại hóa, kiên cố hóa, quy mô đầu tư không ngừng được mở rộng. Đến nay, đã có 18 cảng đủ khả năng tiếp nhận tàu trọng tải đến 5.000 tấn và 20 cảng có thể đón phương tiện thủy nước ngoài.

Đáng chú ý, lĩnh vực đầu tư cảng, bến thủy nội địa mang đậm dấu ấn xã hội hóa. Phần lớn công trình hiện nay do doanh nghiệp và cá nhân trực tiếp đầu tư, quản lý, bảo trì và khai thác, góp phần quan trọng thúc đẩy phát triển vận tải thủy nội địa và hoàn thiện chuỗi logistics quốc gia.

Về công tác quản lý nhà nước chuyên ngành đối với cảng, bến thủy nội địa, việc phân cấp được thực hiện theo hướng rõ trách nhiệm và phù hợp với mô hình tổ chức hiện hành. Theo đó, Bộ Giao thông vận tải (nay là Bộ Xây dựng, trực tiếp là Cục Hàng hải và Đường thủy Việt Nam) chịu trách nhiệm quản lý luồng tuyến cùng hệ thống cảng, bến trên các tuyến đường thủy quốc gia; UBND cấp

tỉnh (trực tiếp là Sở Xây dựng và UBND cấp huyện) quản lý đối với tuyến đường thủy và cảng, bến thuộc phạm vi địa phương.

Từ ngày 01/7/2025, nhằm phù hợp với mô hình chính quyền địa phương 2 cấp, việc phân cấp quản lý bến thủy nội địa được điều chỉnh theo quy định tại Nghị định số 144/2025/NĐ-CP về phân định thẩm quyền của chính quyền địa phương trong lĩnh vực quản lý nhà nước thuộc Bộ Xây dựng.

Theo đó, UBND cấp xã được giao thêm nhiệm vụ và thẩm quyền trong việc thỏa thuận thông số kỹ thuật xây dựng bến thủy nội địa, bến khách ngang sông và bến phục vụ thi công công trình chính; công bố, gia hạn hoặc chấm dứt hoạt động của các bến trên địa bàn thuộc phạm vi quản lý. Ngoài ra, cấp xã còn có trách nhiệm tham gia ý kiến đối với việc sửa chữa, cải tạo, nâng cấp hoặc nạo vét bến thủy, không phân biệt thuộc tuyến quốc gia hay địa phương.

Riêng tại TP Hải Phòng, theo Nghị quyết số 226/2025/QH15 ngày 27/6/2025 của Quốc hội về thí điểm một số cơ chế, chính sách đặc thù phát triển thành phố (có hiệu lực từ ngày 01/7/2025), Hải Phòng được trao thẩm quyền quản lý đồng thời luồng tuyến, cảng và bến thủy nội địa trên các tuyến đường thủy quốc gia đi qua địa bàn. Quy định này nhằm tạo điều kiện để thành phố chủ động hơn trong công tác quy hoạch, đầu tư, khai thác và bảo đảm an toàn giao thông đường thủy, đồng thời phát huy tối đa tiềm năng, lợi thế về hạ tầng và vị trí cảng biển của trung tâm logistics lớn nhất miền Bắc.

QUY ĐỊNH AN TOÀN KỸ THUẬT ÁP DỤNG ĐỐI VỚI CẢNG, BẾN THỦY

Theo Cảng vụ Đường thủy nội địa khu vực II, đến nay, hệ thống hành lang pháp lý về quản lý chất lượng an toàn kỹ thuật, bảo vệ môi trường, phòng cháy chữa cháy đối với cảng, bến thủy nội địa trong quá trình đầu tư xây dựng, nâng cấp, cải tạo, bảo trì và khai thác đã được hoàn thiện tương đối đầy đủ.

Cụ thể, các quy định chung và một số nội dung cụ thể liên quan đến đầu tư, xây dựng và hoạt động của cảng, bến thủy nội địa được nêu rõ trong Luật Giao thông đường thủy nội địa năm



Một cảng thủy container trên tuyến đường thủy quốc gia sông Đuống.

2004 (sửa đổi, bổ sung năm 2014) cùng các hướng dẫn chi tiết tại Điều 15, 16, 17, 18 và 19 Nghị định số 08/2021/NĐ-CP về quản lý hoạt động đường thủy nội địa (được sửa đổi, bổ sung bởi Nghị định số 06/2024/NĐ-CP).

Về công tác bảo trì cảng, bến thủy nội địa, hiện nay đã có hệ thống văn bản quy phạm pháp luật quy định khá đầy đủ và cụ thể. Các nội dung này được quy định tại Nghị định số 06/2021/NĐ-CP về quản lý chất lượng, thi công xây dựng và bảo trì công trình xây dựng; Thông tư số 10/2021/TT-BXD của Bộ Xây dựng hướng dẫn thực hiện Nghị định số 06/2021/NĐ-CP và Nghị định số 44/2016/NĐ-CP; Thông tư số 06/2021/TT-BXD của Bộ Xây dựng quy định về phân cấp công trình xây dựng và hướng dẫn áp dụng trong quản lý hoạt động đầu tư xây dựng và Thông tư số 21/2022/TT-BGTVT của Bộ Giao thông vận tải quy định về quản lý và bảo trì công trình thuộc kết cấu hạ tầng đường thủy nội địa.

Bên cạnh đó, đối với cảng thủy nội địa, việc xây dựng, thẩm định, công bố quy hoạch hoặc phê duyệt các dự án đầu tư xây dựng, cải tạo, nâng cấp cảng phải căn cứ theo tiêu chuẩn “TCVN 10305:2015 - Cảng thủy nội địa: Phân cấp kỹ thuật”, do Bộ Xây dựng đề nghị và Bộ KH&CN công bố. Tiêu chuẩn này được sử dụng để xác định và công bố cấp kỹ thuật của các cảng thủy nội địa.

Theo quy định tại Tiêu chuẩn TCVN 10305:2015, cảng thủy hành khách được chia thành 3 cấp kỹ thuật (từ cấp I đến cấp III), còn cảng hàng hóa được phân thành 4 cấp kỹ thuật (từ cấp I đến cấp IV), làm căn cứ cho việc quy hoạch, thiết kế và quản lý khai thác phù hợp với quy mô, tính chất của từng loại cảng.

Đối với cảng và bến thủy nội địa, việc xây dựng mới, nâng cấp, sửa chữa hoặc cải tạo công trình bến phải tuân thủ theo “Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 12250:2018 Cảng thủy nội địa - Công trình bến - Yêu cầu thiết kế”. Theo tiêu chuẩn này, công trình bến được hiểu là hạng mục phục vụ phương tiện thủy neo đậu, xếp dỡ hàng hóa, đón trả hành khách và thực hiện các dịch vụ hỗ trợ khác. Các loại công trình bến cảng thủy nội địa bao gồm bến hàng hóa, bến hành khách, bến tổng hợp và bến chuyên dùng.

Riêng đối với cảng thủy nội địa, trong quá trình khai thác, chủ đầu tư hoặc đơn vị quản lý, khai thác cảng có trách nhiệm thực



Cảng, bến thủy nội địa phải tuân thủ các quy định hiện hành về bảo trì công trình, bảo đảm an toàn kỹ thuật trong quá trình khai thác.

hiện kiểm định định kỳ theo quy định tại Điều 21 Nghị định số 08/2021/NĐ-CP, nhằm bảo đảm an toàn kỹ thuật và duy trì chất lượng công trình trong suốt quá trình vận hành.

Cũng theo Cảng vụ Đường thủy nội địa khu vực II, để cảng, bến thủy đáp ứng các quy định hiện hành về an toàn kỹ thuật, chủ đầu tư cần bảo đảm dự án phù hợp với quy hoạch được phê duyệt (của UBND cấp tỉnh hoặc quy hoạch quốc gia), đồng thời tuân thủ nghiêm ngặt tiêu chuẩn TCVN 12250:2018 về thiết kế công trình bến và các tiêu chuẩn kỹ thuật chuyên ngành liên quan. Ngoài ra, phải hoàn thiện đầy đủ các thủ tục về xây dựng, nghiệm thu phòng cháy chữa cháy, an toàn giao thông và bảo vệ môi trường trước khi đưa vào khai thác.

Đối với cảng thủy nội địa, chủ cảng có trách nhiệm thực hiện nghiêm túc việc kiểm định định kỳ công trình bến cảng nhằm bảo đảm duy trì chất lượng và an toàn kỹ thuật. Tuy nhiên, thực tế cho thấy dù lực lượng cảng vụ thường xuyên tuyên truyền, vận động, nhắc nhở, nhiều chủ cảng vẫn chậm trễ hoặc chưa chủ động thực hiện kiểm định định kỳ. Nguyên nhân chủ yếu xuất phát từ chi phí kiểm định cao, cùng với việc một số cảng không có hồ sơ kỹ thuật gốc, dẫn đến khó khăn trong việc áp dụng các tiêu chuẩn kỹ thuật cụ thể phục vụ công tác kiểm định.❖

TRƯỜNG ĐẠI HỌC HÀNG HẢI VIỆT NAM:

Đào tạo nguồn nhân lực chất lượng cao cho phát triển kinh tế biển

> BẢO CHÂU

Với những thành tựu đạt được trong gần 70 năm xây dựng và phát triển, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam đã được tặng nhiều phần thưởng cao quý. Đặc biệt, tại Đại hội Thi đua yêu nước Bộ Xây dựng lần thứ I (2025 - 2030), Trường Đại học Hàng hải Việt Nam vinh dự được trao tặng Huân chương Lao động hạng Nhất.

Đây là phần thưởng cao quý của Đảng và Nhà nước, ghi nhận thành tích xuất sắc tiêu biểu trong ứng dụng khoa học công nghệ, đổi mới công tác đào tạo, huấn luyện nguồn nhân lực hàng hải chất lượng cao, đóng góp lớn vào sự phát triển kinh tế biển của đất nước.

VƯƠN TẦM QUỐC GIA

Thủ tướng Chính phủ vừa phê duyệt Đề án xây dựng Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trở thành trường trọng điểm quốc gia về đào tạo, nghiên cứu phục vụ phát triển bền vững kinh tế biển đến năm 2030, định hướng đến năm 2045.

Đề án hướng tới phát triển Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trở thành trường trọng điểm quốc gia về đào tạo, nghiên cứu và chuyển giao công nghệ trong lĩnh vực kinh tế biển, phục vụ mục tiêu phát triển bền vững kinh tế biển, đồng thời góp phần bảo đảm quốc phòng, an ninh khu vực đồng bằng sông Hồng và cả nước.

Đối với việc phát triển đào tạo, nghiên cứu, chuyển giao công nghệ phải bám sát yêu cầu Chiến lược phát triển bền vững kinh tế biển Việt Nam, chủ trương về đột phá phát triển giáo dục và đào tạo, khoa học công nghệ, đổi mới sáng tạo, chuyển đổi số quốc gia cũng như chủ trương phát triển kinh tế - xã hội và bảo đảm quốc phòng - an ninh vùng đồng bằng sông Hồng, tập trung vào một số ngành, lĩnh vực mang tính mũi nhọn mà Trường có truyền thống và thế mạnh.

Bên cạnh đó, Đề án đặt mục tiêu tăng cường huy động và sử dụng hiệu quả các nguồn lực cho sự phát triển của Trường Đại học Hàng hải Việt Nam, trong đó ngân sách nhà nước giữ vai trò chủ đạo, tập trung hiện đại hóa cơ sở vật chất, hạ tầng kỹ thuật, nâng cao năng lực đào tạo, nghiên cứu và mở rộng không gian phát triển.

Đề án đặt mục tiêu tổng quát phát triển Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trở thành trung tâm đào tạo chất lượng

cao, nghiên cứu khoa học, đổi mới sáng tạo, hợp tác chuyển giao và ứng dụng công nghệ, sản xuất thử nghiệm. Trong đó, các lĩnh vực giao thông vận tải và kinh tế biển đạt trình độ khu vực và thế giới. Nhà trường phấn đấu trở thành một trong những trung tâm đào tạo nguồn nhân lực chất lượng cao hàng đầu châu Á trong lĩnh vực hàng hải, kinh tế biển và đại dương.

TẦM NHÌN VÀ CHIẾN LƯỢC

Theo Đề án, đến năm 2030, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam đặt mục tiêu phát triển quy mô đào tạo đạt từ 26.000 - 28.000 sinh viên; tỷ lệ học viên sau đại học chiếm khoảng 7,5% tổng số sinh viên; thu hút trên 150 sinh viên quốc tế theo học. Nhà trường sẽ ưu tiên phát triển các nhóm ngành, lĩnh vực trọng điểm gồm: Khoa học hàng hải, Cơ khí động lực, Đóng tàu, Điều khiển và tự động hóa, Kinh tế biển, Logistics, Công trình biển và Môi trường biển.

Trường Đại học Hàng hải Việt Nam phấn đấu xây dựng đội ngũ giảng viên chất lượng cao, với trên 50% có trình độ tiến sĩ và hơn 15% đạt chức danh giáo sư, phó giáo sư. Mỗi năm, nhà trường thực hiện tối thiểu 5 nhiệm vụ khoa học và công nghệ cấp quốc gia, 20 nhiệm vụ cấp bộ, ngành và tương đương; số lượng bài báo quốc tế tăng trên 12% mỗi năm, hướng tới năm 2030 đạt ít nhất 400 bài báo quốc tế/năm. Mục tiêu đến năm 2030, Trường trở thành 1 trong 5 trung tâm đào tạo nguồn nhân lực hàng hải, kinh tế biển chất lượng cao hàng đầu khu vực ASEAN, trong đó các ngành Khoa học hàng hải và Cơ khí động lực thuộc Top 10 châu Á.

Đến năm 2035, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam đặt mục tiêu phát triển quy mô đào tạo đạt từ 28.000 - 30.000 sinh viên; tỷ lệ học viên sau đại học chiếm 10% tổng số sinh viên; thu hút trên 200 sinh viên quốc tế theo học. Nhà trường tiếp tục ưu tiên phát triển các nhóm ngành, lĩnh vực trọng điểm gồm: Khoa học hàng hải, Cơ khí động lực, Đóng tàu, Điều khiển và Tự động hóa, Kinh tế biển, Logistics, Công trình biển, Môi



Trường Đại học Hàng hải Việt Nam đón nhận Huân chương Lao động hạng Nhất.



Một trong số những giải pháp trọng tâm là tăng cường hợp tác và hội nhập quốc tế.

trường biển, Viễn thám và Dẫn đường trên biển, Vật liệu.

Cùng với đó, Trường chú trọng xây dựng đội ngũ giảng viên chất lượng cao, trong đó trên 60% có trình độ tiến sĩ và hơn 25% đạt chức danh giáo sư, phó giáo sư. Mỗi năm thực hiện tối thiểu 10 nhiệm vụ khoa học và công nghệ cấp quốc gia, 30 nhiệm vụ cấp bộ, ngành và tương đương; số lượng bài báo quốc tế tăng bình quân trên 12%/năm, hướng tới năm 2035 đạt ít nhất 600 bài báo quốc tế.

Mục tiêu đến năm 2035, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trở thành 1 trong 3 trung tâm đào tạo nguồn nhân lực hàng hải và kinh tế biển chất lượng cao hàng đầu khu vực ASEAN, trong đó các ngành Khoa học hàng hải, Cơ khí động lực, Điều khiển và tự động hóa, Kinh tế biển và Logistics nằm trong Top 10 châu Á.

Định hướng đến năm 2045, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam sẽ tiếp tục nâng cao chất lượng đào tạo, tạo đột phá trong phát triển nhân lực chất lượng cao, nghiên cứu khoa học, đổi mới sáng tạo và chuyển giao công nghệ, đáp ứng yêu cầu phát triển bền vững kinh tế biển, đại dương; góp phần



Mở rộng quy mô, nâng cao chất lượng đào tạo, nhất là các ngành, lĩnh vực trọng điểm có thế mạnh, truyền thống của Trường.

thúc đẩy phát triển kinh tế - xã hội, bảo đảm quốc phòng - an ninh khu vực đồng bằng sông Hồng và toàn quốc, phấn đấu đạt trình độ ngang bằng với các trường đại học hàng hải tiên tiến trong khu vực châu Á - Thái Bình Dương và trên thế giới.

Quyết định số 1901/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ thể hiện sự quan tâm đặc biệt của Đảng và Nhà nước đối với sự nghiệp phát triển kinh tế biển của đất nước nói chung và của TP Hải Phòng nói riêng. Đây là bước đi mang tính chiến lược, khẳng định vị thế và hiện thực hóa mục tiêu đưa Hải Phòng trở thành trung tâm kinh tế biển, đồng thời là trung tâm quốc tế về đào tạo, nghiên cứu và ứng dụng khoa học - công nghệ biển, theo định hướng của các nghị quyết Trung ương và Thành phố về phát triển bền vững kinh tế biển Việt Nam đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045.

Đối với Trường Đại học Hàng hải Việt Nam, Quyết định 1901 là dấu mốc quan trọng, vừa là trách nhiệm vừa là niềm vinh dự lớn, mở ra cơ hội để Trường phát triển mạnh mẽ, góp phần xây dựng Việt Nam trở thành quốc gia mạnh về biển, giàu từ biển, phát triển bền vững, an toàn và thịnh vượng.❖

DỰ THẢO NGHỊ ĐỊNH MỚI VỀ XỬ PHẠT VI PHẠM ĐƯỜNG BỘ:

Tăng chế tài, cụ thể hóa thẩm quyền xử lý

> HOÀNG LONG

Bộ Xây dựng vừa trình Chính phủ dự thảo quy định xử phạt vi phạm hành chính trong hoạt động đường bộ để sửa đổi thay thế Nghị định 100/2019/NĐ-CP và Nghị định số 123/2021/NĐ-CP nhằm khắc phục những khó khăn, vướng mắc trong thực hiện công tác xử phạt vi phạm hành chính hoạt động đường bộ.

XỬ PHẠT NẶNG HÀNH VI VI PHẠM

Theo tờ trình của dự thảo Nghị định nội dung sửa đổi, bổ sung (bao gồm các Điều 5, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19 dự thảo Nghị định) để bảo đảm phù hợp với các quy định tại Luật Đường bộ 2024. Trong đó, sửa đổi, bổ sung một số hành vi vi phạm hành chính về sử dụng, khai thác trong phạm vi đất dành cho kết cấu hạ tầng đường bộ; thi công, bảo trì công trình trong phạm vi đất dành cho kết cấu hạ tầng đường bộ; quản lý, khai thác, bảo trì, bảo vệ kết cấu hạ tầng giao thông đường bộ như:

Tăng mức phạt tiền đối với hành vi vi phạm về sử dụng, khai thác trong phạm vi đất dành cho kết cấu hạ tầng đường bộ như: dựng cổng chào, treo băng rôn, đặt biển hiệu, sử dụng đất làm nơi sửa chữa phương tiện, đổ rác, vật liệu, chất phế thải trái phép, tự ý đào đắp, gắn treo nội dung không liên quan đến báo hiệu, xây dựng nhà ở trái phép, đấu nối trái phép, tháo dỡ, di chuyển công trình đường bộ trái phép (15 - 20 triệu đồng đối với cá nhân, từ 30 - 40 triệu đồng đối với tổ chức); bổ sung quy định xử phạt các hành vi liên quan đến xây dựng, quản lý, vận hành, khai thác, bảo trì công trình hạ tầng kỹ thuật sử dụng chung với đường bộ; tăng mức phạt đối với các hành vi làm hư hỏng, phá hoại công trình đường bộ, hệ thống thoát nước, biển báo hiệu, đèn tín hiệu giao thông.

Sửa đổi, bổ sung một số hành vi vi phạm hành chính về vận tải đường bộ, dịch vụ hỗ trợ vận tải đường bộ gồm: Xử phạt người điều khiển xe ô tô, xe chở người bốn bánh có gắn động cơ kinh doanh vận tải vi phạm quy định về vận tải đường bộ, bao gồm không mặc đồng phục, không đeo thẻ tên sẽ bị xử phạt từ 300 - 500 ngàn đồng, không sử dụng đồng hồ tính tiền cước hoặc phần mềm tính tiền đúng quy định, thu tiền vé cao hơn quy định.

Xử phạt các hành vi vi phạm của cá nhân, tổ chức kinh doanh vận tải, dịch vụ hỗ trợ vận tải, bao gồm không thanh toán tiền vé, không thu hồi phù hiệu, không bố trí nhân sự

giám sát hoạt động, tiếp nhận hàng hóa ký gửi không đúng quy định, không niêm yết nội quy/giá dịch vụ; tăng nặng mức phạt đối với các hành vi sử dụng xe không đúng loại hình kinh doanh, sử dụng lái xe/nhân viên không có hợp đồng từ 3 - 5 triệu đồng đối với cá nhân, từ 6 - 10 triệu đồng đối với tổ chức kinh doanh vận tải không bố trí người điều hành, bến xe không xác nhận lệnh vận chuyển, bán vé/thu tiền ngoài hợp đồng, không thực hiện báo cáo, không xây dựng/thực hiện nhiệm vụ đảm bảo an toàn giao thông, không kê khai/niêm yết giá dịch vụ, không công bố tiêu chuẩn chất lượng dịch vụ vận tải, không mua bảo hiểm cho hành khách, sử dụng xe giường nằm hai tầng trên đường cấp V, VI miền núi;

Xử phạt nhân viên phục vụ trên xe buýt, xe vận chuyển hành khách theo tuyến cố định, xe vận chuyển hành khách theo hợp đồng vi phạm quy định về vận tải đường bộ (không bố trí chỗ ngồi ưu tiên, không mặc đồng phục, thu tiền vé cao hơn quy định).

Đặc biệt, dự thảo Nghị định sửa đổi, bổ sung thẩm quyền xử phạt phù hợp với tổ chức chính quyền hai cấp, về tổ chức, hoạt động của thanh tra gồm: Phân định cụ thể thẩm quyền xử phạt của Chủ tịch UBND các cấp, Cảnh sát giao thông, Cảnh sát cơ động, Cảnh sát quản lý hành chính về trật tự xã hội, Trưởng Công an cấp xã, Trưởng đồn Công an, Trưởng trạm Công an của khẩu, khu chế xuất, Cục trưởng Cục Đường bộ Việt Nam, Giám đốc Sở Xây dựng, Trưởng đoàn kiểm tra của Bộ Xây dựng, Thủ trưởng cơ quan quản lý đường bộ khu vực thuộc Cục Đường bộ Việt Nam đối với từng hành vi vi phạm; đồng thời bổ sung thẩm quyền của Trưởng phòng kiểm tra chuyên ngành của Sở Xây dựng Hà Nội, TP.HCM để phù hợp với yêu cầu thực tiễn đặt ra, các quy định của Luật Xử lý vi phạm hành chính, Luật Thanh tra và các quy định về kiểm tra chuyên ngành.

Quy định chi tiết hơn về thủ tục xử phạt như: Cụ thể hóa quy trình xử lý vi phạm phát hiện qua phương tiện, thiết bị kỹ



thuật nghiệp vụ, bao gồm việc gửi thông báo, nghĩa vụ hợp tác của chủ phương tiện; gửi thông báo cho cơ quan đăng kiểm, cơ quan đăng ký xe, cơ quan cấp giấy phép lái xe khi quá thời hạn giải quyết vụ việc hoặc chấp hành quyết định xử phạt; gửi quyết định xử phạt, quyết định tạm giữ tang vật, giấy phép, chứng chỉ hành nghề có thể thực hiện thông qua tài khoản đã đăng ký trên Cổng dịch vụ công Quốc gia. Đồng thời đã bổ sung nguyên tắc xử phạt đối với các hành vi vi phạm trùng nhau.

THÊM CHẾ TÀI MỚI VỀ HẠ TẦNG, ĐÀO TẠO, THANH TOÁN VÀ VẬN TẢI NỘI BỘ

Theo Điều 6, 7, 10, 15 dự thảo Nghị định, đã bổ sung một số hành vi vi phạm, mức phạt tiền, hình phạt bổ sung và biện pháp khắc phục hậu quả về xây dựng công trình hạ tầng kỹ thuật sử dụng chung và công trình kỹ thuật lắp đặt trong công trình hạ tầng kỹ thuật sử dụng chung; công trình bồi hoàn theo quy định tại Luật Đường bộ 2024, Nghị định số 165/2024/NĐ-CP ngày 26/12/2024 của Chính phủ quy định chi tiết, hướng dẫn thi hành một số điều của Luật Đường bộ và Điều 77 của Luật Trật tự, an toàn giao thông đường bộ.

Bổ sung một số hành vi vi phạm, mức phạt tiền, hình thức xử phạt bổ sung và biện pháp khắc phục hậu quả về đào tạo thẩm tra viên an toàn giao thông đường bộ theo quy định của Luật Đường bộ, Nghị định số 165/2024/NĐ-CP ngày 26/12/2024 của Chính phủ quy định chi tiết, hướng dẫn thi hành một số điều của Luật Đường bộ 2024 và Điều 77 của Luật Trật tự, an toàn giao thông đường bộ; Thông tư số 40/2024/TT-BGTVT.

Bổ sung một số hành vi vi phạm, mức phạt tiền, hình phạt bổ sung và biện pháp khắc phục hậu quả đối với các hành vi về thanh toán điện tử giao thông đường bộ, hoạt động trạm thu phí bao gồm các hành vi liên quan đến thẻ đầu cuối, liên quan đến các quy trình nghiệp vụ trong hoạt động thu phí, trong việc bán vé, phát hành chứng từ thu tiền, sử dụng nguồn tiền

thu được trong thu phí đường bộ, các hành vi liên quan đến hệ thống thanh toán điện tử giao thông...

Bổ sung một số hành vi vi phạm, mức phạt tiền, hình phạt bổ sung và biện pháp khắc phục hậu quả đối với các hành vi về quản lý vận tải nội bộ, bao gồm sử dụng xe bốn bánh có gắn động cơ để vận tải người nội bộ không đúng quy định, không tổ chức/thực hiện không đảm bảo công tác quản lý an toàn, không theo dõi/giám sát hoạt động của lái xe/phương tiện; xử phạt đơn vị kinh doanh dịch vụ cho thuê phương tiện vi phạm các quy định về vận tải đường bộ (không ký kết hợp đồng cho thuê phương tiện tự lái, bố trí lái xe cho người thuê, cho thuê phương tiện khi người thuê không có giấy phép lái xe phù hợp) đảm bảo phù hợp quy định Luật Đường bộ 2024, Nghị định số 158/2024/NĐ-CP. Bổ sung quy định việc thi hành các hình thức xử phạt vi phạm hành chính, các biện pháp khắc phục trong hoạt động đường bộ.

Tuy nhiên, dự thảo Nghị định đã bổ sung 01 điều (Điều 22) về thủ tục xử phạt để làm rõ quy trình xử lý đối với các trường hợp hành vi vi phạm hành chính được phát hiện thông qua sử dụng phương tiện, thiết bị kỹ thuật nghiệp vụ mà cơ quan chức năng chưa dùng ngay được phương tiện để xử lý; phương thức xử lý đối với các trường hợp quá thời hạn giải quyết vụ việc được ghi trong biên bản vi phạm hành chính.

Các quy định này cho phép tăng cường ứng dụng công nghệ trong phát hiện xử lý vi phạm, liên thông dữ liệu và chế tài liên quan đến đăng kiểm khi chưa chấp hành quyết định xử phạt vi phạm hành chính, đa dạng hóa phương thức gửi quyết định xử phạt (Cổng dịch vụ công quốc gia nhằm giảm bớt các thủ tục, giấy tờ, thời gian đi lại) nâng cao trách nhiệm của cá nhân, tổ chức trong việc hợp tác và chấp hành quyết định xử phạt (đặc biệt là trách nhiệm của chủ phương tiện), cụ thể hóa và minh bạch các quy trình, chế tài để đảm bảo hiệu quả thi hành và tính thống nhất trong áp dụng pháp luật.❖

Bắc Ninh đẩy mạnh xây dựng văn hóa giao thông học đường



VĂN HÙNG

Nhằm nâng cao ý thức cho thế hệ trẻ, thời gian qua, các trường học, đoàn thể và cơ quan chức năng trên địa bàn tỉnh Bắc Ninh đã triển khai nhiều hoạt động thiết thực, sáng tạo trong công tác giáo dục an toàn giao thông.

XÂY DỰNG Ý THỨC, HÌNH THÀNH VĂN HÓA GIAO THÔNG TRONG THẾ HỆ TRẺ

Những năm qua, cùng với sự phát triển kinh tế - xã hội, Bắc Ninh ngày càng có nhiều tuyến đường mới, phương tiện giao thông tăng nhanh. Tuy nhiên, đi cùng với đó là nguy cơ tai nạn giao thông, đặc biệt trong lứa tuổi học sinh, sinh viên, do sự chủ quan, thiếu kinh nghiệm và chưa chấp hành nghiêm quy định khi tham gia giao thông.

Theo thống kê của Ban An toàn giao thông tỉnh Bắc Ninh, trong số các vụ tai nạn giao thông xảy ra trên địa bàn thời gian qua, tỷ lệ người bị nạn là học sinh, sinh viên vẫn còn chiếm tỷ lệ đáng lo ngại, chủ yếu do không đội mũ bảo hiểm khi đi xe đạp điện, vượt đèn đỏ, đi hàng ba hàng bốn trên đường, hoặc sử dụng điện thoại khi điều khiển phương tiện.

Nhằm nâng cao ý thức cho thế hệ trẻ, thời gian qua, các trường học, đoàn thể và cơ quan chức năng trên địa bàn tỉnh đã triển khai nhiều hoạt động thiết thực, sáng tạo trong công tác giáo dục an toàn giao thông. Các hoạt động nổi bật gồm: Lồng ghép nội dung giáo dục pháp luật giao thông vào các tiết học ngoại khóa, sinh hoạt dưới cờ; Tổ chức các cuộc thi "Tìm hiểu Luật Giao thông đường bộ", "Rung chuông vàng", "An toàn giao thông cho nụ cười ngày mai" do Sở GD&ĐT phối hợp với Phòng Cảnh sát giao thông tổ chức; Mô phỏng tình huống giao thông thực tế, giúp học sinh nhận diện nguy cơ và biết cách xử lý an toàn; Tăng cường phối hợp giữa nhà trường

- gia đình - lực lượng công an trong việc quản lý, nhắc nhở học sinh khi tham gia giao thông...

Không chỉ dừng ở các hoạt động tuyên truyền, nhiều trường học còn phát động phong trào "Học sinh, sinh viên Bắc Ninh với văn hóa giao thông", khuyến khích các em trở thành tuyên truyền viên nhỏ tuổi, lan tỏa thông điệp "An toàn giao thông - Hạnh phúc của mọi nhà" đến bạn bè và người thân.

CHUNG TAY CỦA TOÀN XÃ HỘI TRONG XÂY DỰNG VĂN HÓA GIAO THÔNG

Để xây dựng văn hóa giao thông bền vững trong giới trẻ, rất cần sự chung tay của toàn xã hội: từ nhà trường, phụ huynh, đoàn thể đến chính quyền địa phương. Mỗi học sinh, sinh viên cần ý thức rằng, việc tuân thủ Luật Giao thông không chỉ bảo vệ bản thân mà còn thể hiện nếp sống văn minh, trách nhiệm công dân đối với cộng đồng như: "Đã uống rượu bia - Không lái xe"; "Đội mũ bảo hiểm - Trọn tình cha mẹ"; "An toàn giao thông - Niềm vui đến trường"...

Cùng với đó, Nhà trường phối hợp với lực lượng Công an, Đoàn Thanh niên, các phòng, ban và tổ chức chính trị - xã hội cấp xã tiếp tục duy trì hoạt động các mô hình văn hóa chấp hành các quy định của pháp luật về an toàn giao thông tại cổng trường cho trẻ em, học sinh, sinh viên và phụ huynh như: "Cổng trường an toàn giao thông", "Xếp hàng đón con", "Nút giao thông an toàn",



Cán bộ Phòng Cảnh sát giao thông tặng mũ bảo hiểm cho học sinh Trường Trung học cơ sở Trần Phú.^()*



Cán bộ Phòng Cảnh sát giao thông phát tờ rơi tuyên truyền cho học sinh Trường Trung học phổ thông Ngô Sĩ Liên.^()*



Phòng CSGT đã trao 300 chiếc mũ bảo hiểm đạt chuẩn cho học sinh.^()*

"Nhà xe học sinh, sinh viên an toàn giao thông", "Đi đến trường an toàn - Về đến nhà an toàn"...

Tuyên truyền, vận động học sinh, sinh viên và gia đình tích cực, tự giác chấp hành các quy định pháp luật về đảm bảo trật tự an toàn giao thông đường bộ, đường sắt và đường thủy... Các cơ sở giáo dục phối hợp với Ban đại diện cha mẹ học sinh để vận động phụ huynh hướng dẫn kỹ năng tham gia giao thông an toàn; nhắc nhở, giáo dục con em mình tự giác chấp hành pháp luật về an toàn giao thông, văn hóa giao thông.

Các cơ sở giáo dục có nhu cầu đưa, đón trẻ em, học sinh bằng xe ô tô tích cực tuyên truyền, phối hợp với Ban đại diện

cha mẹ học sinh lựa chọn đơn vị vận chuyển bảo đảm theo đúng quy định của pháp luật và an toàn cho trẻ em, học sinh; chấp hành nghiêm các văn bản quy định của Trung ương, tỉnh quy định về xe đưa đón trẻ em, học sinh.

Với sự quan tâm chỉ đạo của các cấp, ngành và tinh thần tự giác của thế hệ trẻ, tin tưởng rằng tỉnh Bắc Ninh sẽ tiếp tục là điểm sáng trong công tác giáo dục an toàn giao thông học đường, góp phần giảm thiểu tai nạn, bảo đảm an toàn, hạnh phúc cho mỗi gia đình và toàn xã hội.❖

^(*) Ảnh "Nguồn Báo và phát thanh, truyền hình Bắc Ninh"

GIÁM SÁT VÀ ĐÁNH GIÁ DỰ ÁN ĐẦU TƯ XÂY DỰNG:

Cơ sở - Quy trình - Công cụ

> AN NHIÊN

Cuốn sách hệ thống hóa cơ sở lý luận, quy trình và công cụ giám sát - đánh giá dự án đầu tư xây dựng, hướng tới nâng cao hiệu quả quản trị, minh bạch và chất lượng đầu tư công.

Sách do PGS.TS Lê Anh Dũng (Chủ biên) cùng các đồng tác giả PGS.TS Bùi Mạnh Hùng, PGS.TS Nguyễn Thị Thuyết Dung, ThS Nguyễn Duy Vinh và ThS Vũ Gia Bách biên soạn, được NXB Xây dựng ấn hành.

Đây là một trong số ít công trình chuyên khảo hiện nay hệ thống hóa toàn diện khung lý luận, quy trình tổ chức và công cụ thực hành giám sát - đánh giá (M&E) dự án đầu tư xây dựng trong bối cảnh đổi mới quản trị đầu tư công và yêu cầu nâng cao hiệu quả sử dụng nguồn lực xã hội.

Trong phần Lời nói đầu, nhóm tác giả nhấn mạnh, trong điều kiện yêu cầu công khai, minh bạch và trách nhiệm giải trình ngày càng cao đối với các dự án xây dựng, đặc biệt là dự án sử dụng vốn nhà nước, hoạt động giám sát - đánh giá không chỉ là một thủ tục pháp lý bắt buộc, mà còn là một phương thức quản lý hiệu quả dự án dựa trên bằng chứng và kết quả. Việc chuẩn hóa cách tiếp cận M&E trở thành công cụ đảm bảo chất lượng, tiến độ, chi phí và hiệu quả khai thác công trình sau đầu tư.

Cấu trúc cuốn sách được trình bày theo logic từ lý luận đến thực hành. Trong đó, Chương 1 làm rõ khái niệm, mục tiêu và phân loại đầu tư dự án xây dựng, đồng thời chỉ ra nét đặc thù của đầu tư xây dựng với tư cách là hoạt động tạo lập tài sản cố định gắn với điều kiện địa điểm, yêu cầu kỹ thuật - công nghệ và tính liên ngành cao. Trên nền tảng đó, nhóm tác giả chỉ ra sự cần thiết phải tổ chức giám sát - đánh giá như bộ phận không tách rời của chu trình dự án.

Các chương tiếp theo trình bày phương pháp, tiêu chí và công cụ M&E theo chuẩn quốc tế (UNDP, OECD DAC, World Bank) và phân tích mức độ tương thích với pháp luật Việt

Nam hiện hành (Luật Đầu tư công, Luật Xây dựng, các Nghị định và Thông tư hướng dẫn).

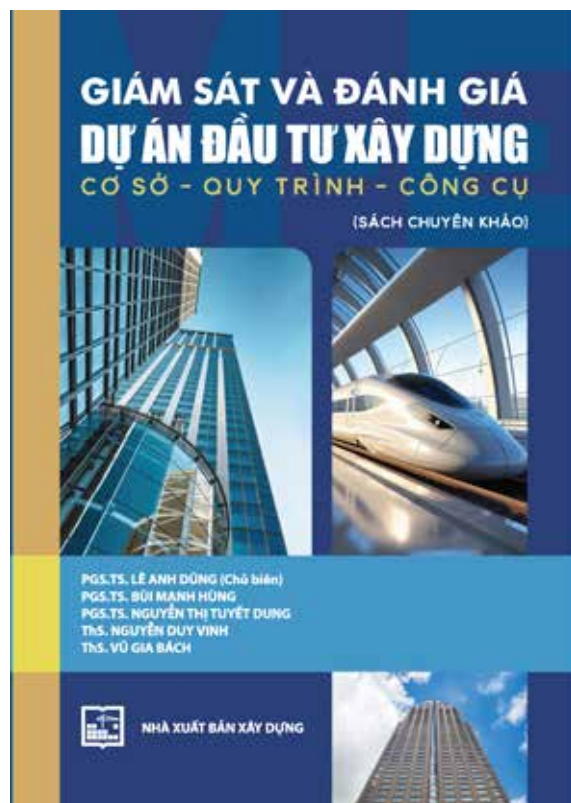
Điểm mạnh của cuốn sách là so sánh các cấp độ và nội dung giám sát (tiến độ, chất lượng, chi phí) với các loại hình đánh giá (đánh giá hiệu quả, đánh giá tác động) một cách rõ ràng và dễ áp dụng trong thực tiễn.

Ngoài ra, cuốn sách chú trọng liên hệ thực tiễn tại Việt Nam, phân tích những thách thức trong tổ chức giám sát - đánh giá tại các ban quản lý dự án, cơ quan chủ đầu tư và cơ quan kiểm tra cấp trên, giúp sách tránh khuynh hướng lý luận thuần túy, có giá trị ứng dụng đối với người làm nghề.

Về giá trị học thuật, cuốn sách thể hiện sự nghiên cứu nghiêm túc, logic rõ ràng, tham chiếu đầy đủ và có sự hòa giải thuyết phục giữa chuẩn quốc tế và bối cảnh pháp lý Việt Nam. Về giá trị thực tiễn, đây là tài liệu phù hợp cho cơ quan quản lý nhà nước khi hoàn thiện quy trình giám sát - đánh giá; chủ đầu tư và ban quản lý dự án trong quá trình thực thi; giảng viên và học viên ngành xây dựng - kinh tế xây dựng - chính sách công trong đào tạo và nghiên cứu.

Nhìn chung, cuốn sách góp phần lấp khoảng trống tài liệu tiếng Việt về giám sát - đánh giá dự án xây dựng ở mức độ vừa có tính lý luận chuẩn hóa, vừa có tính thực hành áp dụng; là tài liệu hữu ích cho đào tạo, nghiên cứu và tổ chức thực thi đầu tư xây dựng trong bối cảnh yêu cầu nâng cao hiệu quả đầu tư công và thu hút nguồn lực xã hội cho phát triển kết cấu hạ tầng.

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



Ảnh hưởng của chiều cao công trình đến điều kiện vi khí hậu và tiện nghi nhiệt ngoài trời: Trường hợp TP Đà Nẵng, Việt Nam

Influence of building height on microclimate and outdoor thermal comfort: The case of Da Nang, Vietnam

> NGUYỄN HOÀNG ANH¹, NGÔ THỊ KIM DUNG²

¹NCS Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội

²Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội

TÓM TẮT

Nhiệt độ ngoài trời quá cao đã được chứng minh là ảnh hưởng tiêu cực đến sức khỏe và năng suất lao động ngoài trời của con người. Do đó, việc cải thiện điều kiện tiện nghi nhiệt ngoài trời trở thành một vấn đề cần được quan tâm đối với các đô thị định hướng phát triển bền vững. Nghiên cứu này đánh giá tác động của chiều cao công trình đến tiện nghi nhiệt ngoài trời trong các hẻm núi đô thị dưới điều kiện khí hậu của TP Đà Nẵng. Phần mềm ENVI-met (phiên bản 5.6.1) được sử dụng để mô phỏng và phân tích kết quả. Kết quả cho thấy việc gia tăng chiều cao công trình mang lại hiệu quả tích cực trong việc cải thiện điều kiện nhiệt trong các hẻm núi. Việc che chắn bức xạ trực tiếp từ mặt trời được xem là yếu tố quan trọng giúp giảm các vùng PET nóng tại Đà Nẵng. Những hẻm núi được che chắn khỏi bức xạ trực tiếp trong thời gian buổi chiều ghi nhận mức giảm đáng kể của vùng PET nóng. Hướng Đông - Tây được xem là hướng bất lợi nhất đối với điều kiện tiện nghi nhiệt ngoài trời. Mặt đường hướng Đông - Tây ở phía Bắc của các công trình cao tầng hầu như không nhận được bóng đổ từ công trình; ngược lại, mặt đường hướng Nam luôn được che chắn một phần trong tháng nóng nhất của năm tại thành phố này. Tuy nhiên, vùng bóng đổ của công trình cao tầng với tỷ lệ H/W = 4,5 vẫn không đủ để che phủ hoàn toàn bề mặt đường ở các tuyến phố hướng Đông - Tây trong mùa hè.

Từ khóa: Tiện nghi nhiệt ngoài trời, ENVI-met, hình học đô thị, mô phỏng, nhiệt độ sinh lý tương đương.

ABSTRACT

Excessive outdoor air temperature negatively affects human health and outdoor work productivity. Improving outdoor thermal comfort conditions thus becomes an essential concern for cities pursuing sustainable development. This study investigates the influence of building height on outdoor thermal comfort within urban canyons under the climatic conditions of Da Nang City. ENVI-met (v5.6.1) was used to simulate microclimatic conditions, producing data for analysis. The study indicates that increasing building height improves thermal conditions within urban canyons. Shading from direct sunlight significantly reduces hot PET areas in Da Nang. Urban canyons shaded from direct sunlight in the afternoon show a significant reduction in hot PET areas. The East - West orientation is considered the least favorable for outdoor thermal comfort. East - West streets located on the northern side of high-rise buildings receive almost no shading from the buildings; in contrast, streets on the southern side remain partially shaded throughout the day during the hottest month. High-rise buildings with an H/W ratio of 4.5 cannot fully shade East - West street surfaces during summer months.

Keywords: Outdoor thermal comfort, ENVI-met, urban geometry, simulation, PET.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

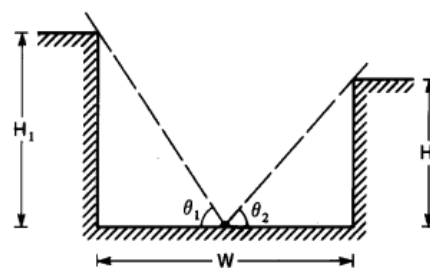
Cải thiện môi trường tiện nghi nhiệt ngoài trời đang trở thành vấn đề quan trọng tại Đà Nẵng. Trong hai thập kỷ gần đây, gia tăng dân số đã làm ảnh hưởng đáng kể đến tiện nghi nhiệt ngoài trời của thành phố này. Theo thống kê, dân số

thành phố đã tăng gấp đôi, từ 568.000 năm 2000 lên 1.125.000 năm 2020 [12]. Sự bùng nổ dân số khiến nhu cầu về nhà ở và cơ sở hạ tầng tăng cao, dẫn đến việc mở rộng diện tích xây dựng và sử dụng các vật liệu nhân tạo hấp thụ nhiệt cao, góp phần gây nên hiện tượng đảo nhiệt đô thị

(UHI). Ước tính, đảo nhiệt đô thị đã làm nhiệt độ tại các khu vực đô thị dày đặc tại Đà Nẵng ấm hơn từ 4 đến 6°C so với các khu vực xung quanh [7]. Ngoài ra, biến đổi khí hậu (BĐKH) còn làm tình hình căng thẳng nhiệt ở Đà Nẵng thêm nghiêm trọng. Là thành phố ven biển miền trung Việt Nam, Đà Nẵng nằm trong khu vực chịu ảnh hưởng nặng nề bởi BĐKH. Các đợt nắng nóng và tần suất ngày nóng kéo dài do BĐKH, kết hợp với độ ẩm tự nhiên cao, đã làm gia tăng đáng kể căng thẳng nhiệt trong thành phố [10]. Theo dự báo đến năm 2050, giá trị chỉ số nhiệt ban ngày trên ngưỡng 32°C ngưỡng khuyến nghị công việc nhẹ của Bộ Y tế Việt Nam (NOH) sẽ diễn ra gần như liên tục từ tháng 4 đến tháng 10. Người dân Đà Nẵng và người lao động ngoài trời sẽ có nguy cơ bị căng thẳng nhiệt và say nắng nếu không có các chiến lược cải thiện tiện nghi nhiệt ngoài trời.

Nhiệt độ ngoài trời quá cao đã được chứng minh là ảnh hưởng tiêu cực đến năng suất lao động ngoài trời của con người [6]. Ngoài ra, nhiệt độ cao còn liên quan đến các vấn đề sức khỏe do nhiệt, như phát ban, say nắng, thậm chí có thể dẫn đến tử vong [3]. Khi nhiệt độ môi trường tăng, con người có xu hướng ở trong không gian được điều hòa nhiều hơn, làm gia tăng đáng kể mức tiêu thụ năng lượng của các công trình. Từ đó gây áp lực lên hệ thống điện đô thị và nhấn mạnh sự cần thiết của việc cải thiện tiện nghi nhiệt ngoài trời (OTC) như một vấn đề quan trọng trong định hướng phát triển bền vững của đô thị [11]. Trong thập kỷ gần đây, đã có sự gia tăng đáng kể về số lượng các nghiên cứu liên quan đến tiện nghi nhiệt ngoài trời (OTC). Riêng tại khu vực Đông Nam Á, theo tổng quan của Fong và cộng sự [5], các nghiên cứu về OTC chủ yếu tập trung tại những quốc gia có nền kinh tế khá và cao như Malaysia và Singapore, trong khi các nước còn lại như Indonesia, Việt Nam và Thái Lan có số lượng công trình nghiên cứu còn hạn chế. Đây là một khoảng trống nghiên cứu đáng chú ý, đặc biệt trong bối cảnh Việt Nam có nhiều đô thị lớn đang chịu ảnh hưởng nghiêm trọng bởi hiệu ứng UHI và BĐKH. Các thành phố ven biển thuộc vùng khí hậu nhiệt đới nóng ẩm như Đà Nẵng thường chịu tác động mạnh hơn của UHI so với các đô thị nằm sâu trong nội địa. Trong khi các dự báo đều cho thấy tần suất và cường độ các đợt nắng nóng tiếp tục gia tăng, việc cải thiện tiện nghi nhiệt ngoài trời trở thành một yêu cầu cấp thiết hướng tới mục tiêu phát triển bền vững của thành phố này.

Tiện nghi nhiệt ngoài trời có thể được quản lý thông qua những dự đoán về nhiệt ở giai đoạn đầu của quá trình thiết kế đô thị. Một số thành phần khó thay đổi như chiều cao công trình đã trở thành ưu tiên hàng đầu cho quá trình thiết kế hướng đến tiện nghi nhiệt ngoài trời [9]. Chiều cao của công trình trong một hẻm núi có thể được mô tả thông qua tỷ lệ hẻm núi đô thị (H/W), một tỷ lệ giữa chiều cao công trình và chiều rộng đường phố [8]. Khi công trình càng cao, giá trị H/W càng lớn và ngược lại. Yếu tố này quyết định bóng râm đến các khu vực vỉa hè hai bên, qua đó giảm nhiệt độ bức xạ trung bình cho người đi bộ [1]. Nghiên cứu này nhằm đánh giá tác động của yếu tố này đến các thông số vi khí hậu ngoài trời trong điều kiện khí hậu của TP Đà Nẵng.

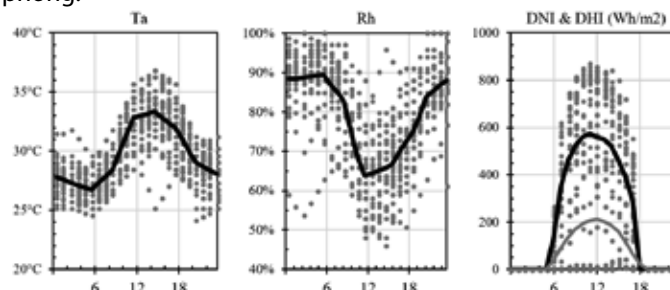


Hình 1. Hình học của một hẻm núi được bao quanh bởi tòa nhà với chiều cao H_1 và H_2 . (Nguồn: Oke, 1988)

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Dữ liệu vi khí hậu

Nghiên cứu sử dụng phương pháp mô phỏng để tính toán tham số vi khí hậu, làm cơ sở đúc kết các kết luận. Nhằm phân tích tác động của công trình cao tầng vào tháng nóng nhất trong năm, nghiên cứu sử dụng giá trị trung bình của tập dữ liệu tháng 6, tháng nóng nhất trong năm tại Đà Nẵng, trích xuất từ dữ liệu đo đạc tại sân bay Quốc tế Đà Nẵng năm 2004 - 2018, để làm dữ liệu đầu vào cho quá trình tính toán các kịch bản mô phỏng. Biến thiên của các số tham số vi khí hậu trong ngày tại Đà Nẵng có một số đặc điểm như sau. Giá trị nhiệt độ trung bình thường ghi nhận mức thấp vào buổi sáng, ở mức 26,7°C vào lúc 5:30, và đạt giá trị cao nhất vào thời gian buổi trưa, dao động quanh mức 33,15°C từ 12:00 đến 14:00; trong đó, một số ngày có thể ghi nhận giá trị nhiệt độ cực đại rất cao (Hình 2). Độ ẩm tại thành phố có chu kỳ dao động ngày đêm, với giá trị trung bình thấp nhất ghi nhận xung quanh mức 65,4% vào thời gian giữa trưa, và đạt mức cao vào buổi tối, với dao động xung quanh mức 88,1%. Bức xạ trực tiếp và bức xạ tán xạ thường ghi nhận giá trị lớn nhất trong ngày vào lúc giữa trưa với giá trị trung bình 573,9 Wh/m² và 121 Wh/m². Hướng gió tại thành phố có sự thay đổi đáng kể giữa các ngày trong tháng nóng nhất này. Thời gian ban đêm ghi nhận hướng gió tương đối ổn định, với hướng gió chính Tây Nam; trong khi đó, thời gian buổi sáng ghi nhận hướng gió đa dạng hơn, dao động xung quanh ba hướng chính: Tây Nam, Đông và Bắc. Một số hướng đường phố có thể được hưởng lợi khi cùng chiều với hướng gió ngày hôm nay, nhưng không duy trì được lợi thế đó vào những ngày còn lại. Để loại bỏ yếu tố gây nhiễu lên đánh giá tác động giảm nhiệt của bóng đổ công trình, nghiên cứu sử dụng hướng gió vuông góc với hướng đường phố ở tất cả các kịch bản mô phỏng.



Hình 2. Thông số vi khí hậu đầu vào cho tính toán mô phỏng: nhiệt độ không khí (T_a), độ ẩm (R_h), bức xạ trực tiếp (DNI) và bức xạ tán xạ (DHI)

2.2. Xây dựng kịch bản nghiên cứu

Để đánh giá tác động của công trình với chiều cao vượt trội lên vùng vi khí hậu xung quanh trong các hẻm núi, nghiên cứu xây dựng kịch bản bao gồm ba dãy công trình với chiều cao lần lượt thấp - cao - thấp. Hai khối công trình ngoài cùng có chiều cao theo tỷ lệ $H/W = 1,5$ (tỷ lệ giữa chiều cao và bề rộng mặt đường) và khối công trình cao tầng ở giữa có chiều cao với tỷ lệ $H/W = 4,5$ (Hình 3). Với bề rộng mặt đường được thiết lập cố định ở 16 m, chiều cao của công trình hai bên và công trình cao tầng ở giữa sẽ tương ứng là 24 m và 72 m. Bốn hướng đường phố chính được sử dụng xây dựng các kịch bản bao gồm: Bắc - Nam (N - S), Đông Bắc - Tây Nam (NE - SW), Đông - Tây (E - W), và Tây Bắc - Đông Nam (NW - SE). Ở mỗi kịch bản, vùng vi khí hậu phía trước và phía sau dãy công trình cao tầng có các đặc điểm khác biệt đáng kể. Để thuận tiện cho quá trình theo dõi và phân tích, mặt đường ở những hẻm núi này được phân chia thành hai nhóm, A và B, dựa trên khả năng tiếp nhận bức xạ mặt trời vào buổi chiều của mỗi nhóm. Nhóm A bao gồm các mặt đường không được công trình cao tầng che chắn bức xạ trực tiếp vào buổi chiều; và ngược lại, nhóm B bao gồm mặt đường được công trình cao tầng che chắn phần lớn bức xạ trực tiếp của mặt trời vào thời gian buổi chiều. Việc phân loại này giúp xác định rõ vị trí tương đối của từng hẻm núi với công trình cao tầng, tạo cơ sở thuận lợi cho việc phân tích và so sánh sự khác biệt về vi khí hậu giữa các khu vực này.



Hình 3. Kịch bản công trình cao tầng ở giữa hai dãy công trình và các hẻm núi tương ứng

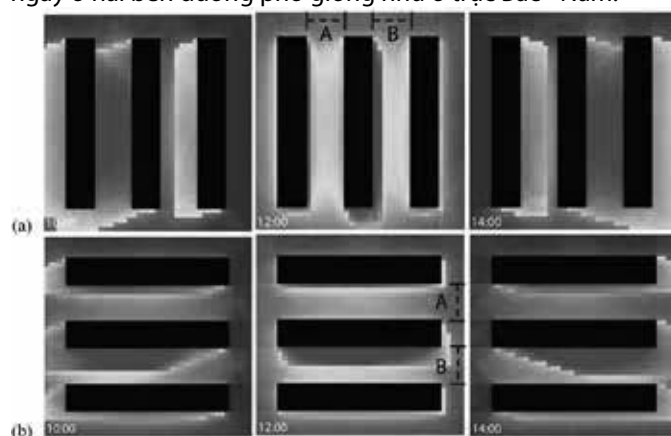
2.3. Mô phỏng với ENVI-met

Nghiên cứu này sử dụng mô hình ENVI-met (phiên bản 5.6.1) để thực hiện tính toán các tham số vi khí hậu ngoài trời. Mô hình này đã được sử dụng rộng rãi trong các nghiên cứu về phân tích vi khí hậu và đánh giá tiện nghi nhiệt ngoài trời. Miền mô phỏng được thiết lập với kích thước 78 x 114 ô lưới, với độ phân giải mỗi ô 2 m. Mô hình bao gồm ba dãy nhà song song, cách nhau cố định 16 m, với chiều cao công trình được thiết lập lần lượt theo $H/W = 1,5$; 4,5 và 1,5. Ngày 10/6, ngày nóng điển hình trong tháng nóng nhất trong năm, được lựa chọn để tính toán mô phỏng. Các tham số vi khí hậu đầu vào như nhiệt độ không khí, độ ẩm, bức xạ trực tiếp và khuếch tán được thiết lập thủ công dựa trên giá trị trung bình theo giờ trong ngày của tháng này. Vận tốc gió và hướng gió được thiết lập cố định với giá trị vận tốc 2,1 m/s và luôn vuông góc với hướng đường phố. Thời gian chạy mô phỏng được thiết lập trong 14 giờ, từ 6:00 đến 20:00. Các yếu tố ảnh hưởng đến điều kiện tiện nghi nhiệt ngoài trời khác như yếu tố cây xanh và vật liệu công trình không được xem xét trong nghiên cứu này.

3. KẾT QUẢ

3.1. Nhiệt độ bức xạ trung bình (Tmrt)

Bức xạ trực tiếp từ mặt trời có ảnh hưởng quan trọng đến nhiệt độ không khí và mức độ tiện nghi nhiệt ngoài trời trong các không gian hẻm núi [4]. Việc gia tăng chiều cao công trình góp phần mở rộng vùng bóng đổ, từ đó làm giảm lượng bức xạ mặt trời tiếp nhận tại bề mặt và hạn chế sự gia tăng nhiệt độ không khí [2]. Tuy nhiên, hiệu quả che chắn này phụ thuộc đáng kể vào hướng tuyến đường và thời điểm trong ngày. Những đường phố theo trục Bắc - Nam tại Đà Nẵng vào mùa hè luôn được che chắn một phần nhờ vào bóng đổ luân phiên vào buổi sáng và buổi chiều từ công trình hai bên. Mốc thời gian hiếm hoi trong ngày phần lớn mặt đường ở hướng đường phố này tiếp xúc trực tiếp với bức xạ mặt trời là vào lúc giữa trưa, khi mặt trời cao nhất trong ngày (Hình 4.a). Trái ngược với hướng Bắc - Nam, vùng bóng đổ của công trình theo hướng Đông - Tây có sự bất đối xứng rõ rệt giữa hai đường phố ở phía Bắc và phía Nam của công trình. Mặt đường phía Bắc tiếp xúc với bức xạ trực tiếp từ mặt trời hầu hết thời gian trong ngày, trong khi mặt đường ở phía Nam được che chắn tốt hơn, ngay cả khi mặt trời ở vị trí cao nhất (Hình 4.b). Ở hai hướng trung gian còn lại, vùng bóng đổ do công trình cao tầng vẫn luân phiên bao phủ vào đầu và cuối ngày ở hai bên đường phố giống như ở trục Bắc - Nam.

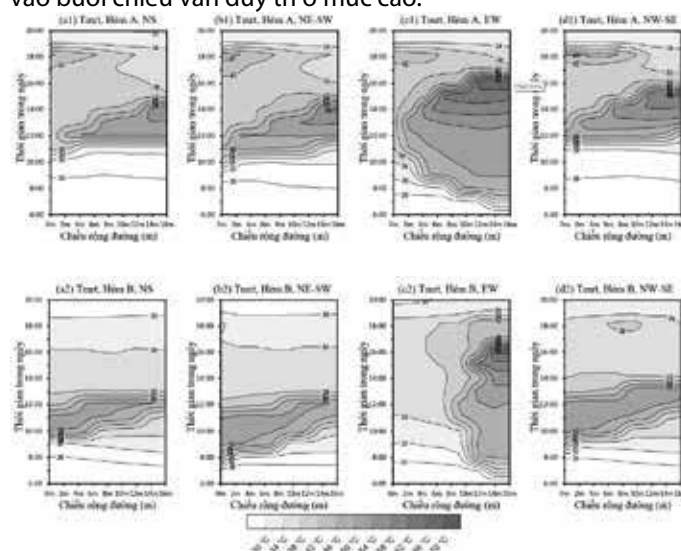


Hình 4. Sự thay đổi của bóng đổ ở hai hướng đường phố (a) hướng Bắc - Nam và (b) hướng Đông - Tây tại ba mốc thời gian trong ngày 10:00, 12:00 và 14:00 trong tháng 6 tại TP Đà Nẵng

Hình 5 thể hiện sự biến thiên của bức xạ trung bình giữa hai loại hẻm núi: hẻm núi nhận bức xạ trực tiếp vào buổi chiều (Hẻm núi A) và hẻm núi được che chắn khỏi bức xạ trực tiếp vào buổi chiều (Hẻm núi B). Hai loại hẻm núi này có sự khác biệt đáng kể về sự phân bố của vùng Tmrt nóng. Những hẻm núi B, hẻm núi được che chắn bức xạ vào buổi chiều, ghi nhận vùng Tmrt ổn định trong khoảng thời gian này. Trong khi đó, ở những hẻm núi A, tần suất vùng Tmrt nóng cao đáng kể trong khoảng thời gian này. Việc che chắn bức xạ vào buổi chiều mang lại hiệu quả rõ rệt hơn, giúp duy trì mức Tmrt ổn định và ngăn chặn sự xuất hiện của vùng Tmrt nóng trong toàn bộ thời gian buổi chiều.

Khi xem xét trong thời gian đầu ngày, những hẻm núi A có vùng Tmrt tương đối ổn định hơn trong thời gian này. Thời điểm xuất hiện vùng Tmrt nóng cũng có sự khác biệt giữa các hướng của hẻm núi. Những hướng như N - S và NE - SW cho

thời gian xuất hiện vùng Tmrt nóng sớm hơn, vào khoảng 11:00; trong khi đó, NW - SE có vùng Tmrt nóng trễ hơn, với thời gian bắt đầu lúc 12:00. Mặc dù vùng Tmrt nóng không xuất hiện vào buổi sáng, những hẻm núi A ghi nhận vùng Tmrt nóng tập trung với cường độ lớn trong hầu hết thời gian buổi chiều. Trong khi đó, ở những hẻm núi B, vùng Tmrt nóng xuất hiện với tần suất tương đối thấp vào buổi sáng và hầu như không xuất hiện vào buổi chiều. Việc che chắn bức xạ trực tiếp vào buổi sáng cũng giúp duy trì vùng Tmrt ổn định đến khoảng 11:00 đầu ngày; mặc dù vậy, hiệu quả giảm vùng Tmrt nóng này không duy trì suốt ngày, khi vùng Tmrt nóng vào buổi chiều vẫn duy trì ở mức cao.



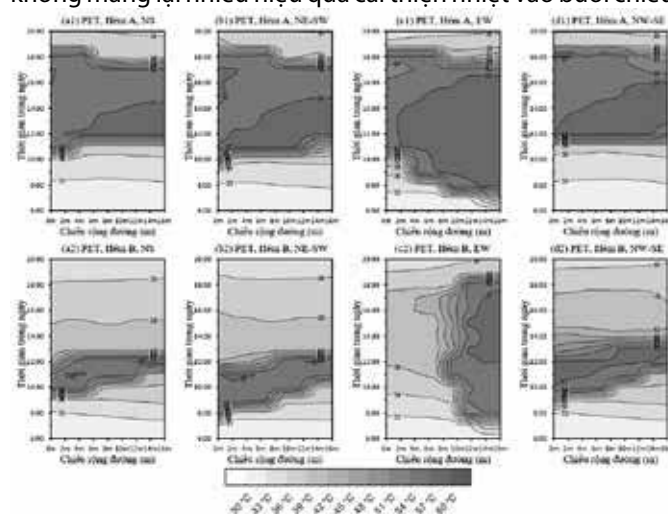
Hình 5. Biến thiên theo không gian và thời gian của Tmrt ở hẻm núi A và hẻm núi B ở bốn hướng đường phố: (a) N - S, (b) NE - SW, (c) E - W và (d) NW - SE.

Khác với ba hướng nêu trên, vùng Tmrt nóng ở hướng đường phố Đông - Tây có sự chênh lệch lớn giữa hẻm núi phía Bắc và phía Nam của công trình. Những hẻm núi phía Bắc hầu như không được che chắn bởi công trình cao tầng; cường độ và tần suất vùng Tmrt nóng ở kịch bản này do đó luôn ở mức cao. Ngược lại, một phần hẻm núi phía Nam được che chắn trong toàn bộ thời gian trong ngày, kể cả thời điểm mặt trời ở vị trí cao nhất giữa trưa. Vùng bóng đổ ở hẻm núi này luôn bao phủ hơn một nửa bề mặt của mặt đường, qua đó hạn chế đáng kể vùng Tmrt nóng ở hẻm núi này. Chênh lệch vùng Tmrt nóng trên 42°C ở hai hẻm núi này luôn ở mức cao, với 22,5 điểm phần trăm (50,8% và 28,3% tương ứng). Tương tự, vùng Tmrt rất nóng (trên 50°C) cũng có mức chênh lệch lớn ở hai hẻm núi này, với 23,3 p.p. (32,5% và 9,2% tương ứng). Mặc dù luôn được che chắn ở một nửa làn đường, hẻm núi phía nam ở hướng Đông - Tây vẫn ghi nhận vùng Tmrt nóng cao hơn ba hướng còn lại. Gần một nửa mặt đường ở hướng đường phố này vẫn luôn tiếp xúc với bức xạ trực tiếp từ mặt trời trong suốt thời gian trong ngày.

3.2. Nhiệt độ sinh lý tương đương (PET)

Kết quả phân bố nhiệt độ sinh lý tương đương (PET) theo thời gian và không gian của ba loại hẻm núi được thể hiện trong Hình 6. Vùng PET nóng ở những hẻm núi A, hẻm núi được che chắn vào buổi sáng, được trì hoãn cho đến thời gian

giữa trưa ở các hẻm núi N - S, NE - SW và NW - SE. Thời gian xuất hiện vùng PET nóng này thường bắt đầu sớm nhất ở hẻm núi NE - SW, vào lúc 11:00, sớm hơn một giờ so với hai hẻm núi còn lại. Những công trình cao tầng đóng vai trò che chắn bức xạ trực tiếp vào thời gian đầu ngày, giúp trì hoãn vùng PET nóng ở những hẻm núi này. Mặc dù vậy, những công trình này không mang lại nhiều hiệu quả giảm vùng PET nóng trong thời gian buổi chiều. Vùng PET nóng trên 54°C vẫn duy trì hầu hết thời gian buổi chiều ở cả ba hướng hẻm núi, với 44,2% (N - S), 49,2% (NE - SW) và 41,7% (NW - SE); trong đó, vùng nóng trên 57°C cũng chiếm một tỷ lệ cao, với giá trị lần lượt 14,2% (N - S), 20,8% (NE - SW) và 21,7% (NW - SE). Việc bố trí công trình cao tầng giúp che chắn bức xạ buổi sáng giúp trì hoãn thời điểm xuất hiện vùng PET nóng, nhưng không mang lại nhiều hiệu quả cải thiện nhiệt vào buổi chiều.



Hình 6. Biến thiên theo không gian và thời gian của PET ở hẻm núi A và hẻm núi B ở bốn hướng đường phố: (a) N - S, (b) NE - SW, (c) E - W và (d) NW - SE

Trái ngược với hẻm núi trên, ở ba hẻm núi B, nơi các công trình cao tầng tạo vùng bóng đổ đáng kể che chắn bức xạ vào buổi chiều, vùng PET nóng đã được cải thiện rõ rệt. Vùng PET nóng ở các hẻm núi này xuất hiện vào buổi sáng, duy trì trong thời gian ngắn và kết thúc sớm vào thời gian giữa trưa. Thời gian vùng PET nóng thường bắt đầu từ 9:00 đến 10:00 và chỉ kéo dài trong 2 đến 3 tiếng sau đó. Hướng N - S được coi là hướng thuận lợi nhất trong ba hướng, khi vùng PET nóng bắt đầu tương đối muộn, vào lúc 10:00, và kết thúc sớm nhất, chỉ trong 2 giờ đồng hồ. Hai hướng còn lại có thời gian vùng PET nóng bắt đầu cách nhau một giờ và duy trì trong khoảng thời gian tương đối giống nhau, cùng trong 3 giờ đồng hồ. Tần suất vùng PET nóng ở những hẻm núi này cũng thấp hơn so với những hẻm núi không được che chắn bức xạ vào buổi chiều, với giá trị trung bình 16,1% với PET trên 54°C và 5,84% với PET trên 57°C. Trong suốt thời gian buổi chiều, nhờ vào hiệu quả bóng đổ từ công trình, vùng PET nóng hoàn toàn không xuất hiện ở hẻm núi N - S và NE - SW. Những kết quả này cho thấy, trong điều kiện khí hậu tại Đà Nẵng, việc bố trí công trình cao tầng che chắn bức xạ vào buổi chiều có tác dụng rõ rệt trong việc giảm mức PET và cải thiện điều kiện nhiệt ngoài trời.

Riêng hướng E - W, vùng PET nóng có sự chênh lệch đáng kể giữa hai hẻm núi ở hướng đường phố này. Vùng PET nóng có sự tương đồng đáng kể so với vùng Tmrt nóng ở hai hẻm núi. Những khu vực tiếp xúc trực tiếp với bức xạ mặt trời ghi nhận vùng PET nóng; trong khi đó, khu vực được che chắn cho vùng PET ổn định hơn. Hẻm núi A, hẻm núi phía bắc, hầu như không được che chắn bởi công trình cao tầng phía Nam; và do đó, vùng PET nóng ở hẻm núi này có tần suất tương đối lớn và kéo dài hầu như suốt cả ngày. Trong khi đó, hẻm núi B, hẻm núi phía Nam, luôn được che chắn một phần nhờ bóng đổ công trình; do đó vùng PET nóng ở hướng đường phố này tập trung chủ yếu ở nửa mặt đường còn lại. Mặc dù được che chắn tốt hơn, vùng PET nóng ở hẻm núi B vẫn xuất hiện sớm và duy trì hầu hết thời gian trong ngày ở nửa mặt đường phía nam. Tần suất vùng PET nóng ở cả hai hẻm núi này tương đối lớn, với vùng PET nóng trên 54°C duy trì 61,7% ở hẻm núi A và 26,7% ở hẻm núi B. Vùng PET nóng trên 57°C cũng ghi nhận kết quả tương tự, với 38,3% hẻm núi A và 10,8% hẻm núi B. Mặc dù được che chắn hầu hết thời gian trong ngày, hẻm núi phía nam vẫn tiếp xúc trực tiếp với bức xạ mặt trời ở một nửa mặt đường, và do đó duy trì vùng PET nóng cao so với ba hướng đường phố còn lại.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đánh giá tác động của chiều cao công trình đến vùng tiện nghi nhiệt ngoài trời trong điều kiện khí hậu của TP Đà Nẵng. Từ các kết quả phân tích, nghiên cứu ghi nhận một số phát hiện chính như sau: Việc gia tăng chiều cao công trình có tác động tích cực đến việc cải thiện vi khí hậu trong các hẻm núi đô thị dưới điều kiện khí hậu đặc trưng của Đà Nẵng. Việc che chắn bức xạ trực tiếp từ mặt trời được xác định là yếu tố quan trọng góp phần nâng cao tiện nghi nhiệt ngoài trời. Tuy nhiên, hiệu quả che chắn của công trình phụ thuộc lớn vào mối tương quan vị trí giữa công trình và các hẻm núi đô thị.

Những hẻm núi được che chắn bức xạ trực tiếp từ mặt trời vào buổi chiều ghi nhận vùng Tmrt và PET nóng giảm rõ rệt; ngược lại, tại các hẻm núi không được che chắn, vùng Tmrt và PET nóng duy trì với tần suất lớn trong thời gian này. Những hẻm núi hướng Đông - Tây được xem là bất lợi nhất đối với tiện nghi nhiệt ngoài trời, khi vùng Tmrt và PET nóng xuất hiện trong hầu hết thời gian trong ngày. Mặt đường hướng Đông - Tây về phía Bắc của công trình cao tầng hầu như không nhận được bóng đổ từ công trình trong tháng 6, tháng nóng nhất trong năm, tại TP Đà Nẵng. Ngược lại, mặt đường phía Nam luôn nhận được một phần bóng đổ, nhờ đó, một nửa mặt đường ở hướng này duy trì được giá trị Tmrt và PET ổn định trong hầu hết thời gian trong ngày. Mặc dù vậy, vùng bóng đổ tạo bởi công trình cao tầng có tỷ lệ $H/W = 4,5$ vẫn chưa đủ để che chắn hoàn toàn bề mặt đường này trong thời gian mùa hè tại thành phố.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Acero, J. A., E. J. Y. Koh, L. A. Ruefenacht, and L. K. Norford, "Modelling the influence of high-rise urban geometry on outdoor thermal comfort in Singapore," *Urban Clim*, vol. 36, p. 100775, Mar. 2021.

[2]. Ali-Toudert, F. and H. Mayer, "Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate," *Build Environ*, vol. 41, no. 2, pp. 94-108, Feb. 2006.

[3]. Buchin, O., M. T. Hoelscher, F. Meier, T. Nehls, and F. Ziegler, "Evaluation of the health-risk reduction potential of countermeasures to urban heat islands," *Energy Build*, vol. 114, pp. 27-37, Feb. 2016.

[4]. Deng, J. Y. and N. H. Wong, "Impact of urban canyon geometries on outdoor thermal comfort in central business districts," *Sustain Cities Soc*, vol. 53, p. 101966, Feb. 2020.

[5]. Fong, C. S., N. Aghamohammadi, L. Ramakreshnan, N. M. Sulaiman, and P. Mohammadi, "Holistic recommendations for future outdoor thermal comfort assessment in tropical Southeast Asia: A critical appraisal," *Sustain Cities Soc*, vol. 46, p. 101428, Apr. 2019.

[6]. Huang, C., A. G. Barnett, X. Wang, P. Vaneckova, G. Fitzgerald, and S. Tong, "Projecting Future heat-related mortality under climate change scenarios: A systematic review," *Environ Health Perspect*, vol. 119, no. 12, pp. 1681-1690, 2011.

[7]. Linh, N. H. K. and H. Van Chuong, "Assessing the impact of urbanization on urban climate by remote sensing perspective: A case study in Danang city, Vietnam," *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, vol. 40, no. 7W3, pp. 207-212, Apr. 2015.

[8]. Oke, T. R., "Street design and urban canopy layer climate," *Energy Build*, vol. 11, no. 1-3, pp. 103 - 113, Mar. 1988.

[9]. Oke, T. R., G. Mills, A. Christen, and J. A. Voogt, "Urban climates. Cambridge university press," 2017.

[10]. Opitz-Stapleton, S., L. Sabbag, K. Hawley, P. Tran, L. Hoang, and P. H. Nguyen, "Heat index trends and climate change implications for occupational heat exposure in Da Nang, Vietnam," *Clim Serv*, vol. 2-3, pp. 41-51, Sep. 2016.

[11]. Pyrgou, A., V. L. Castaldo, A. L. Pisello, F. Cotana, and M. Santamouris, "Differentiating responses of weather files and local climate change to explain variations in building thermal-energy performance simulations," *Solar Energy*, vol. 153, pp. 224-237, Sep. 2017.

[12]. UN, "World Population Prospects 2022. Available online: <https://population.un.org/wpp/>," 2022.

Cảnh quan di tích tôn giáo, tín ngưỡng: Hạt nhân kiến tạo đặc trưng không gian xanh đô thị Hà Nội

Religious and spiritual heritage landscapes: Cultural cores of Hanoi's urban green spaces

> TS.KTS NGUYỄN VĂN TUYỀN

Khoa Kiến trúc và Quy hoạch, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

TÓM TẮT

Bài báo phân tích vai trò của cảnh quan văn hóa gắn với di tích tôn giáo, tín ngưỡng trong cấu trúc không gian xanh đô thị Hà Nội, xét trên cả phương diện lý thuyết và thực tiễn. Dựa trên Khuyến nghị của UNESCO về Cảnh quan đô thị lịch sử (Historic Urban Landscape - HUL) cùng các lý thuyết về hệ sinh thái đô thị và hành lang xanh, nghiên cứu xác định rằng các di tích tôn giáo, tín ngưỡng không chỉ là di sản văn hóa mà còn là những “hạt nhân xanh văn hóa” góp phần điều hòa vi khí hậu, cải thiện môi trường sống và định hình bản sắc không gian đô thị Hà Nội. Kết quả nghiên cứu nhấn mạnh sự cần thiết của việc lồng ghép bảo tồn di tích tôn giáo - tín ngưỡng với quy hoạch không gian xanh, nhằm đảm bảo hài hòa giữa phát triển đô thị và bảo vệ di sản.

Từ khóa: Cảnh quan văn hóa, không gian xanh, hạt nhân xanh văn hóa, di tích tôn giáo tín ngưỡng, bản sắc đô thị.

ABSTRACT

The paper analyzes the role of cultural landscapes associated with religious and spiritual heritage sites within the urban green space structure of Hanoi, from both theoretical and practical perspectives. Based on UNESCO's Recommendation on the Historic Urban Landscape (HUL) and the theories of urban ecology and green corridors, the study identifies that religious and spiritual sites are not only cultural heritage assets but also act as “cultural green cores”, contributing to microclimate regulation, environmental enhancement, and the shaping of Hanoi's urban identity. The findings emphasize the necessity of integrating the conservation of religious and spiritual heritage with green space planning, ensuring a harmonious balance between urban development and heritage preservation.

Keywords: Cultural landscape, urban green space, cultural green cores, religious and spiritual heritage sites, urban identity.

1. GIỚI THIỆU

Trong bối cảnh đô thị hóa nhanh và sức ép cải tạo chỉnh trang không gian trung tâm Hà Nội, việc bảo tồn và phát huy giá trị cảnh quan di tích tôn giáo, tín ngưỡng đang trở thành vấn đề cấp thiết. Các hoạt động cải tạo đô thị gần đây, như dự án chỉnh trang khu vực Quảng trường Đông Kinh Nghĩa Thục và quy hoạch bờ bãi sông Hồng đã cho thấy rõ xung đột giữa yêu cầu phát triển đô thị và bảo tồn bản sắc lịch sử văn hóa của đô thị trung tâm. Nhiều không gian di sản, di tích và tôn giáo, tín ngưỡng vốn gắn với cảnh quan xanh, mặt nước, cây cổ thụ... đang chịu sức ép thu hẹp hoặc biến đổi mạnh mẽ.

Theo Khuyến nghị của UNESCO về cảnh quan đô thị lịch sử, di sản đô thị cả vật thể và phi vật thể, là nguồn lực then chốt để tăng cường sức sống của các thành phố, đồng thời thúc đẩy phát triển kinh tế và gắn kết xã hội trong bối cảnh biến đổi toàn cầu. Từ góc nhìn hệ sinh thái đô thị, thành phố không chỉ là tập hợp công trình kiến trúc mà là hệ thống mở, nơi con người, tự nhiên và văn hóa luôn có sự tương tác liên tục.

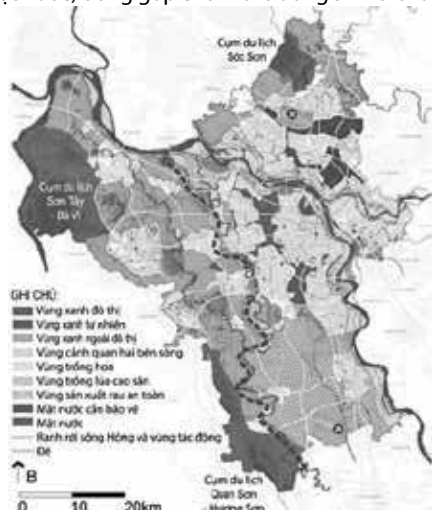
Trong cấu trúc đô thị Hà Nội, các di tích tôn giáo, tín ngưỡng không chỉ mang giá trị tinh thần và lịch sử sâu sắc, mà còn là những hạt nhân xanh văn hóa. Nhờ đó, chúng trở thành điểm tựa sinh thái và biểu tượng bản sắc, góp phần duy trì cân bằng giữa thiên nhiên, kiến trúc đô thị và đời sống tinh thần cư dân. Chính vì vậy, việc nghiên cứu mô hình cảnh quan di tích tôn giáo, tín ngưỡng trong cấu trúc không gian xanh Hà Nội không chỉ mang ý nghĩa học thuật, mà còn có giá trị thực tiễn to lớn trong định hướng quy hoạch đô thị, cải tạo và phát triển bền vững trung tâm đô thị lịch sử như khu vực Hồ Gươm và vùng lân cận.

Không gian xanh là phần không gian trong đô thị hoặc khu dân cư được phủ xanh bằng cây xanh, thảm cỏ, mặt nước, hoặc các yếu tố tự nhiên khác, có chức năng cải thiện vi khí hậu, cảnh quan, môi trường, và phục vụ nhu cầu nghỉ ngơi, thể dục thể thao, sinh hoạt cộng đồng của người dân [3]. Không gian xanh TP Hà Nội bao gồm hành lang xanh, vành đai xanh dọc các dòng sông, các nêm xanh và các công viên đô thị [13]. Không gian xanh được lồng ghép với khu vực đô thị nhằm cân bằng sinh thái, đảm bảo vi khí hậu và chất lượng không khí, tăng cường khả năng thích ứng của đô thị. Không gian xanh đô thị không chỉ được tổ chức theo các lớp chức năng sinh thái - sản xuất - cảnh quan, mà còn gắn bó mật thiết với hệ thống di tích tôn giáo, tín ngưỡng để hình thành bản sắc không gian xanh đặc thù của Thủ đô (xem Hình 1).

2. KHUNG LÝ THUYẾT

2.1. Tiếp cận cảnh quan đô thị lịch sử của UNESCO

Từ năm 2011, UNESCO khuyến nghị tiếp cận đô thị theo Cảnh quan



2.2. Lý thuyết hệ sinh thái đô thị

Khái niệm hệ sinh thái đô thị cung cấp cơ sở lý thuyết để lý giải mối liên hệ giữa không gian tự nhiên và con người trong thành phố. Hệ sinh thái đô thị là một hệ thống nhân tạo phức hợp, trong đó thành phần hữu sinh chủ yếu là con người và xã hội đô thị, kết hợp với thành phần vô sinh gồm đất đai, nước, bầu không khí, cây xanh, hạ tầng kỹ thuật.... Mục tiêu nghiên cứu hệ sinh thái đô thị là xây dựng giải pháp quy hoạch và vận hành bền vững cho đô thị, cân bằng các luồng năng lượng, tài nguyên và dịch vụ môi trường. Theo quan điểm này, cây xanh, mặt nước là các thành tố môi trường quan trọng, góp phần điều hòa khí hậu, thích ứng biến đổi khí hậu cực đoan và cải thiện chất lượng sống. Thông qua “mối quan hệ giữa con người với môi trường sống đô thị”, lý thuyết này khuyến khích tích hợp các không gian xanh vào quy hoạch đô thị nhằm duy trì hệ cân bằng sinh thái. Đối với đô thị Hà Nội, yếu tố cảnh quan di tích thường gắn với các khu vườn, cây cổ thụ và đôi khi cả mặt nước có thể được nhìn nhận như cấu phần trong hệ sinh thái đô thị, kết nối với mạng lưới rừng núi, sông hồ và cây xanh tự nhiên.

Khái niệm hành lang xanh (green corridor) xuất hiện trong quy hoạch đô thị và cảnh quan từ giữa thế kỷ XX, gắn với các trào lưu quy hoạch sinh thái cảnh quan tại Hoa Kỳ và châu Âu. Về bản chất, hành lang xanh là các dải không gian liên tục gồm cây xanh, mặt nước, đất tự nhiên hoặc bán tự nhiên, được tổ chức theo tuyến để kết nối các “mảnh xanh” riêng lẻ trong đô thị (sông hồ, di tích, công viên vườn hoa, nông nghiệp) thành một hệ thống có tính liên tục. Chức năng cơ bản của hành lang xanh là kết nối sinh thái (ecological connectivity), giúp các loài sinh vật di chuyển, duy trì đa dạng sinh học và tạo dòng chảy năng lượng - vật chất trong hệ sinh thái đô thị.

giữa thiên nhiên và không gian xây dựng. Forman & Godron (1986) khi phát triển lý thuyết mạng lưới sinh thái (ecological networks) đã khẳng định: hành lang xanh chính là tuyến kết nối giữa các “hạt nhân sinh thái” (ecological patches), giúp duy trì sự ổn định sinh thái trong môi trường bị chia cắt bởi phát triển đô thị [7]. Từ đó, nhiều mô hình quy hoạch hiện đại đã áp dụng “mạng lưới xanh” (green network) với ba thành tố: hạt nhân xanh (green cores), hành lang xanh (green corridors) và vùng đệm xanh (green buffers).

Trong đô thị, hành lang xanh không chỉ mang ý nghĩa sinh thái mà còn có giá trị văn hóa, tín ngưỡng. Các tuyến xanh dọc sông, ven hồ, đường phố thường trở thành không gian công cộng cho hoạt động đi bộ, nghỉ ngơi, thể thao và tổ chức lễ hội. Đồng thời, nhiều nghiên cứu gần đây nhấn mạnh khái niệm hành lang văn hóa (cultural greenways), tức hành lang xanh gắn với di sản lịch sử văn hóa, nơi mà cây xanh, mặt nước song hành cùng các di tích, kiến trúc cổ, tạo nên “hành lang cảnh quan văn hóa” (cultural landscape corridor) hấp dẫn.

Tại Việt Nam, lý thuyết hành lang xanh được tiếp cận khá rõ trong các đồ án quy hoạch đô thị gần đây, đặc biệt tại Hà Nội. Điều chỉnh quy hoạch chung Thủ đô đến năm 2045, tầm nhìn 2065 đã xác định hệ thống hành lang xanh chiếm khoảng 70% diện tích lãnh thổ, bao gồm hành lang ven sông Hồng, sông Đáy, sông Tích, cùng các vùng nông nghiệp sinh thái, rừng ngoại thành [4]. Đây là cơ chế kiểm soát phát triển, hạn chế đô thị hóa vươn ra chiếm lĩnh không gian ngoại thành, đồng thời tạo “vùng đệm” môi trường cho khu vực nội đô. Luật Thủ đô 2024 cũng đã xác định “phải bảo đảm diện tích và tỷ lệ đất không gian xanh theo quy hoạch, hình thành các hành lang xanh kết nối di sản, thiên nhiên và cộng đồng” [1].

Qua các lý thuyết trên, đối chiếu với thực tiễn tại Việt Nam có thể nhận diện các nguyên tắc thiết lập không gian xanh gắn với hạt nhân di tích tôn giáo tín ngưỡng cho TP Hà Nội như sau:

- Tích hợp - Toàn diện: Gắn di tích với cảnh quan thiên nhiên và không gian đô thị, hài hòa giữa bảo tồn và phát triển.
- Sinh thái - Bền vững: Coi di tích là hạt nhân duy trì hệ sinh thái đô thị bền vững.
- Kết nối - Mạng lưới: Liên kết liên tục các di tích bằng hành lang xanh.
- Cộng đồng - Bản sắc: Không gian xanh văn hóa lưu giữ ký ức đô thị và gắn kết cộng đồng.

3.1. Phân bố di tích

Hà Nội là trung tâm văn hóa, chính trị lâu đời của cả nước, có tổng số 5.211 di tích tôn giáo, tín ngưỡng với đủ các loại hình và số lượng nhiều nhất trong cả nước [6]. Hình 2 cho thấy di tích hiện diện dày đặc trên khắp địa bàn thành phố, tạo thành những vùng, cụm, tuyến di tích tôn giáo tín ngưỡng có tính tập trung cao, đồng thời nằm xen kẽ các khu vực cư trú, sản xuất ở hầu hết các phường, xã.

Các vùng, cụm di tích lớn: Sơn Tây, Quốc Oai, Chúc Sơn, Hương Sơn, Sóc Sơn và Cổ Loa. Đây đều là những vùng đất gắn với các trung tâm văn hóa - lịch sử - tín ngưỡng quan trọng, phản ánh sự giao thoa giữa không gian tự nhiên (sông hồ, rừng núi, địa hình) với không gian cư trú (làng xã, thị trấn, đô thị).

Các tuyến di tích bám theo hành lang sông: Hệ thống di tích tôn giáo, tín ngưỡng Hà Nội có mối quan hệ chặt chẽ với mạng lưới sông ngòi, đặc biệt là sông Hồng, sông Đuống, sông Đáy và sông Tô Lịch. Các dòng sông này không chỉ đóng vai trò địa hình tự nhiên mà còn là hành lang văn hóa - tín ngưỡng hình thành xuyên suốt lịch sử Thăng Long - Hà Nội. Các tuyến di tích này phân bố như sau:

- Dọc sông Hồng, phân bố dày đặc các di tích nổi tiếng như đình Chèm, đền Mẫu Phúc Xá, đền Ghềnh, đình Bát Tràng,... cùng với di sản

cầu Long Biên tạo thành hành lang “di sản ven sông” tạo thành trục không gian văn hóa trung tâm của Thủ đô.

- **Dọc sông Đáy**, hình thành chuỗi di tích tín ngưỡng dân gian và Phật giáo, chùa Trăm Gian, đền Và, nhà thờ giáo xứ Cát Ngòi,... gắn với hệ thống cảnh quan núi đá, bãi bồi, đồng ruộng ven sông.

- **Dọc sông Nhuệ**, hệ thống di tích phân bố liên tục qua các phường, xã tạo thành tuyến văn hóa - tín ngưỡng đặc trưng vùng ven đô. Nhiều di tích tiêu biểu như đình La Khê, chùa Bồ Đề, đền Đa Sĩ, đình Cự Đà... gắn liền với làng nghề và không gian cư trú truyền thống.

- **Dọc sông Tô Lịch**, tuy hiện nay đã bị đô thị hóa mạnh, nhưng vẫn còn lưu giữ các di tích có giá trị cao như chùa Láng, chùa Lũ, chùa Vực, đền Voi Phục, đền Văn,... tạo nên “hành lang di tích nội đô” phản ánh dấu tích lịch sử của đô thị cổ Thăng Long.

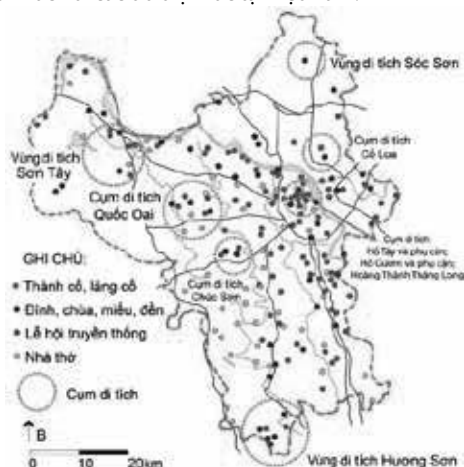
Ngoài ra, các điểm di tích phân bố dày đặc trong không gian đô thị và nông thôn, tạo thành mạng lưới di sản đa tầng. Dù quy mô không lớn, nhưng các di tích này có vai trò quan trọng trong việc duy trì bản sắc địa phương, gắn kết cộng đồng và bổ sung cho cấu trúc cảnh quan xanh đô thị. Các điểm di tích này phân bố như sau:

- Trong khu vực nội đô lịch sử, nhiều đình, chùa, miếu vẫn được bảo tồn giữa các khu phố cổ và khu dân cư hiện đại, như chùa Quán Sứ, đền Bạch Mã, đình Kim Liên,... Những di tích này trở thành “điểm xanh văn hóa” giữa lòng đô thị, nơi cư dân tìm về sinh hoạt tín ngưỡng và giao lưu cộng đồng.

- Tại các khu vực nội đô mở rộng, xuất hiện nhiều cụm di tích nhỏ nằm xen giữa không gian ở và hạ tầng mới, như đình làng Mọc, chùa Linh Quang, đình Mai Động, đền Phú Gia... Các di tích này tạo ra “điểm xanh văn hóa” - không gian bán mở kết hợp cây xanh, sân đình, vườn hoa, góp phần cải thiện vi khí hậu và duy trì yếu tố truyền thống trong khu đô thị hóa nhanh.

- Tại vùng ngoại thành, các di tích nhỏ như đình, chùa, phủ, miếu, nhà thờ họ, nhà thờ thờ tổ nghề (Bát Tràng, Vạn Phúc, Nghi Tàm...) gắn với không gian cây xanh mặt nước (ao làng, giếng làng, cây cổ thụ...) là “khu vực cây xanh, cảnh quan truyền thống” vẫn giữ vai trò trung tâm trong cấu trúc làng truyền thống [6]. Bao quanh di tích gắn với vườn cây, ao hồ, bãi sông hoặc đồng ruộng, tạo thành cảnh quan nông thôn - sinh thái - tín ngưỡng đặc trưng.

Như vậy, các di tích tôn giáo tín ngưỡng có giá trị cảnh quan, sinh thái và xã hội sâu sắc. Cảnh quan di tích góp phần hình thành mạng lưới cảnh quan đa tầng. Sự chuyển tiếp từ vùng cụm cảnh quan di tích lớn đến các tuyến cảnh quan di tích ven sông, hòa trộn với hệ thống điểm di tích nhỏ trải đều trên toàn lãnh thổ. Chính sự phân hóa đa dạng nhưng có trật tự này đã tạo nên bản sắc cảnh quan văn hóa đặc trưng của Thủ đô khác với các đô thị khác tại Việt Nam.



Hình 2. Phân bố di tích tôn giáo, tín ngưỡng tại TP Hà Nội [10]

3.2. Cơ cấu loại hình di tích

Hệ thống di tích tôn giáo - tín ngưỡng của Hà Nội gồm nhiều thành phần:

- **Thành cổ và làng cổ**: Đại diện cho chiều sâu lịch sử đô thị, tiêu biểu như thành Thăng Long, thành Cổ Loa, thành Sơn Tây, làng cổ Đường Lâm. Đây là vùng di sản vừa mang giá trị quân sự, chính trị, vừa gắn liền với đời sống tâm linh.

- **Đình, chùa, miếu, phủ, đền, miếu**: Chiếm số lượng lớn nhất, là trung tâm sinh hoạt cộng đồng và tín ngưỡng dân gian. Đình làng thờ Thành hoàng, đền miếu thờ anh hùng dân tộc, thần tự nhiên, còn chùa gắn với Phật giáo - một tôn giáo có ảnh hưởng sâu rộng trong đời sống tinh thần người Hà Nội. Chùa Hương, chùa Trấn Quốc, đình Tây Đằng, phủ Tây Hồ, miếu Hát Môn... là những công trình tiêu biểu.

- **Nhà thờ Thiên Chúa giáo và Tin Lành**: Phân bố nhiều ở khu vực ngoại thành phía Nam và vùng ven đô, phản ánh sự giao lưu văn hóa và tôn giáo từ thời kỳ Pháp thuộc đến nay. Nhà thờ Lớn thuộc không gian Hồ Gươm và vùng phụ cận, với vẻ đẹp cổ kính trong lòng phố Cổ, là di tích đặc biệt, điểm du lịch hấp dẫn của du khách trong và ngoài nước.

- **Lễ hội truyền thống**: Diễn ra ở hầu khắp các di tích và len lỏi vào không gian đô thị, gắn với huyền thoại, truyền thuyết, tôn vinh anh hùng dân tộc và các hoạt động tín ngưỡng nông nghiệp. Lễ hội Gióng, lễ hội Chùa Hương, hội Cổ Loa là những ví dụ tiêu biểu có tầm ảnh hưởng quốc gia.

3.3. Vai trò và đặc trưng cảnh quan của di tích tôn giáo tín ngưỡng

Theo UNESCO (2003) “cảnh quan văn hóa” là sự kết hợp giữa hoạt động con người và thiên nhiên, trong đó hình thái vật thể và ý nghĩa tinh thần gắn bó chặt chẽ với nhau [11]. Trong đó cảnh quan gắn liền với tôn giáo và biểu tượng (associative cultural landscape) là nơi giá trị thiêng, tín ngưỡng hay huyền thoại trở thành yếu tố chủ đạo. Theo luật Di sản văn hóa thì cảnh quan văn hóa của di tích là cảnh quan thiên nhiên, môi trường sinh thái và không gian cảnh quan vật chất tự nhiên chứa đựng giá trị lịch sử, văn hóa, khoa học, thẩm mỹ cùng không gian văn hóa vật thể và phi vật thể liên quan có tầm quan trọng trong việc hình thành giá trị của di tích lịch sử - văn hóa, danh lam thắng cảnh [2]. Như vậy có thể làm rõ hơn khái niệm cảnh quan di tích tôn giáo, tín ngưỡng là cảnh quan văn hóa di tích, được kết tinh qua quá trình lịch sử lâu dài, thể hiện qua tổ hợp cảnh quan không gian tích hợp giữa không gian thiêng (công trình thờ tự, lễ hội, biểu tượng tinh thần) và yếu tố tự nhiên (địa hình, cây xanh, mặt nước, bầu không khí, ánh sáng), trong bối cảnh đô thị đương đại. Đây là không gian sinh thái - văn hóa đặc thù, nơi con người giao hòa với thiên nhiên thông qua hoạt động tín ngưỡng và nghệ thuật kiến trúc.

Trong cấu trúc đô thị Hà Nội, hạt nhân xanh văn hóa là không gian xanh mang giá trị văn hóa - sinh thái hình thành quanh di tích tôn giáo, tín ngưỡng. Đây là nơi cây xanh, mặt nước và sinh hoạt cộng đồng tín ngưỡng kết nối chặt chẽ, tạo mối cân bằng năng động giữa thiên nhiên, kiến trúc đô thị và đời sống tinh thần của cư dân. Từ góc nhìn này, có thể nhận diện bốn đặc trưng chính của cảnh quan di tích tôn giáo - tín ngưỡng trong không gian đô thị Hà Nội như sau:

- **Đa dạng về loại hình**: Hà Nội hội tụ hệ thống di tích phong phú, từ tôn giáo chính thống (Phật giáo, Thiên Chúa giáo, Tin Lành...) đến tín ngưỡng dân gian (thờ Mẫu, Thành hoàng, anh hùng dân tộc). Mỗi loại hình đều gắn với không gian cảnh quan đặc thù, góp phần tạo nên không gian thiêng, định hình bản sắc đô thị khác biệt cần phải được gìn giữ và phát huy giá trị.

- **Tập trung thành vùng, cụm, tuyến**: Các di tích không tồn tại đơn lẻ mà hình thành vùng, cụm, tuyến di tích lớn, liên kết với nhau bởi nhân tố tự nhiên và các hoạt động tín ngưỡng, trở thành trung tâm văn hóa của cộng đồng. Những vùng, cụm, tuyến di tích này đóng vai trò hạt

nhân trong việc tổ chức không gian xanh, kết nối các mảng xanh rời rạc của đô thị thành mạng lưới liên tục cần phải phát huy vai trò.

- Gắn bó với yếu tố tự nhiên: Phần lớn di tích gắn liền với cảnh quan tự nhiên theo nguyên tắc phong thủy, triết lý hay quan điểm tín ngưỡng của cộng đồng tạo thành những tổ hợp cảnh quan hỗn hợp tự nhiên và nhân văn. Cảnh quan tự nhiên bao gồm hệ thống địa hình núi rừng, gò đồi, cây xanh, mặt nước (tĩnh và động) [9]. Chúng không chỉ gắn với truyền thuyết (Hồ Hoàn Kiếm, núi Tản Viên...) mà còn là nơi các công trình nương tựa cảnh quan để hình thành và thực hành nghi lễ (đỉnh Chèm nhìn ra sông Hồng; đền Hai Bà Trưng trên gò Đống Nhân...). Đôi khi, một gò đất, cây cổ thụ hoặc đá thiêng cũng hình thành nên không gian tín ngưỡng riêng của cộng đồng. Đây là nền tảng hình thành hệ sinh thái văn hóa - cảnh quan đặc sắc của Hà Nội cần phải được phục hồi.

- Mang tính biểu tượng tinh thần: Không chỉ lưu giữ truyền thuyết và ký ức cộng đồng, nhiều di tích còn trở thành biểu tượng gắn liền với hình ảnh Thủ đô (Hồ Gươm - Đền Ngọc Sơn, Chùa Trấn Quốc bên Hồ Tây...). Di tích vì vậy vừa là biểu tượng văn hóa tinh thần, vừa là điểm nhấn trong cấu trúc không gian kiến trúc cảnh quan đô thị cần phải bảo vệ nghiêm ngặt.

- Thích ứng và biến đổi: Không gian cảnh quan di tích thích ứng và biến đổi theo nhu cầu tín ngưỡng của cộng đồng. Cùng với sự gia tăng của khách hành hương và du khách, nhiều hạng mục phụ trợ như khu dịch vụ, bãi đỗ xe, nhà vệ sinh công cộng, hay khu lưu trú ngắn ngày đã được hình thành (như chùa Hương). Những yếu tố này giúp đáp ứng tốt hơn nhu cầu sinh hoạt, nghỉ ngơi và trải nghiệm văn hóa, tâm linh của người dân. Tuy nhiên, việc phát triển này cần được kiểm soát chặt chẽ để không làm ảnh hưởng tiêu cực đến giá trị gốc và cảnh quan thiêng của di tích.

Như vậy, di tích tôn giáo, tín ngưỡng tại Hà Nội vừa phản ánh bề dày lịch sử và tính thích ứng của đời sống tinh thần cộng đồng, vừa giữ vai trò hạt nhân xanh văn hóa trong việc kiến tạo tạo bản sắc đô thị và định hình cấu trúc không gian xanh đa tầng của Thủ đô, phù hợp với định hướng phát triển đến năm 2045, tầm nhìn 2065.

4. MÔ HÌNH CẤU TRÚC KHÔNG GIAN XANH HÀ NỘI DỰA TRÊN HẠT NHÂN CẢNH QUAN DI TÍCH

Không gian xanh Hà Nội được tổ chức lấy hạt nhân xanh văn hóa làm trung tâm để kiến tạo tinh thần nơi chốn, lấy thiên nhiên làm nền cảnh, đồng thời tích hợp đa chức năng giữa sinh thái, văn hóa - tín ngưỡng, vui chơi giải trí và du lịch, hình thành mạng lưới liên kết hài hòa giữa con người và môi trường đô thị.

4.1. Nguyên tắc thiết lập không gian xanh

- Cảnh quan di tích là hạt nhân tổ chức không gian: Các di tích tôn giáo tín ngưỡng không chỉ là di sản văn hóa, mà còn gắn liền với rừng núi, sông hồ, vườn cây, ruộng lúa; toàn bộ cảnh quan này phải được coi là hạt nhân định hình không gian xanh đô thị.

- Tạo không gian đệm quanh di tích: Không gian xanh vây quanh di tích vừa tạo khoảng nhìn, hỗ trợ bảo vệ các giá trị không gian thiêng, vừa phát huy tiềm năng kinh tế thông qua các hoạt động du lịch văn hóa tín ngưỡng, làng nghề truyền thống và dịch vụ cộng đồng.

- Thích ứng, linh hoạt với không gian đô thị: Tổ chức cảnh quan di tích cần thích ứng với nhu cầu đô thị hiện đại, giữ gìn tính thiêng và bản sắc. Việc kết nối hài hòa giữa di tích với hệ thống cây xanh, mặt nước, quảng trường và tuyến đi bộ giúp hình thành không gian mở thân thiện và linh hoạt. Nhờ đó, di tích trở thành trung tâm cân bằng giữa sinh thái và văn hóa trong cấu trúc đô thị Hà Nội.

- Đa tầng, đa chức năng của cảnh quan di tích: Khu vực lõi di tích giữ chặt giá trị thiêng di tích; khu vực đệm là không gian tổ chức lễ hội và phát huy giá trị; khu vực liên kết định hình mảng xanh, tuyến xanh

lớn kết nối không gian một cách liên hoàn; tất cả tạo nên hệ Sinh thái - Văn hóa - Du lịch cộng đồng thống nhất, đặc trưng cho Hà Nội.

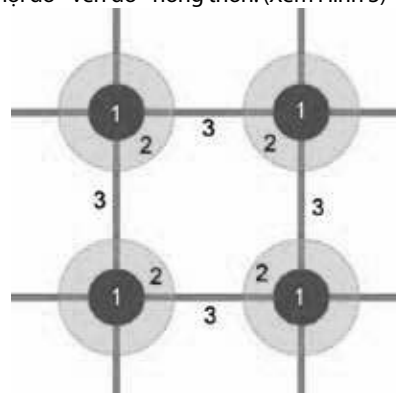
4.2. Mô hình cấu trúc không gian xanh

Mô hình cấu trúc cảnh quan không gian xanh gồm 3 khu vực xoay quanh hạt nhân cảnh quan văn hóa như sau:

1. Khu vực lõi (Core): Là “cảnh quan thiêng” của di tích, tính cố định là chủ đạo, bao gồm di tích tôn giáo tín ngưỡng (đỉnh, chùa, đền, nhà thờ, thành cổ) cùng không gian sân đình, giếng cổ, cây cổ thụ. Có thể lấy khu vực bảo vệ di tích đã xếp hạng theo Luật di sản văn hóa làm khu vực lõi. Đây là khu vực trung tâm không gian xanh văn hóa và cần được bảo tồn nghiêm ngặt để bảo vệ các cảnh quan đặc thù.

2. Khu vực đệm (Buffer): Là “cảnh quan mở” bao quanh di tích, tính thích ứng là chủ đạo, bao gồm công viên, vườn cây, ao hồ, bãi sông, cánh đồng, cây xanh ven đường. Đây là khu vực cảnh quan vừa bảo vệ tầm nhìn và sự tôn nghiêm của di tích, vừa là không gian xanh cộng đồng cho lễ hội, nghi lễ tín ngưỡng và sinh hoạt xã hội.

3. Khu vực liên kết (Corridor/Network): Là “cảnh quan kết nối” các di tích, tính linh hoạt là chủ đạo, bao gồm hệ thống không gian kết nối di tích với nhau bằng hành lang sông, tuyến cây xanh, công viên, vườn hoa. Khu vực này biến mỗi di tích từ hạt nhân xanh riêng lẻ thành một mắt xích trong mạng lưới xanh văn hóa toàn đô thị, tạo mạng lưới xanh liên tục giữa nội đô - ven đô - nông thôn. (Xem Hình 3)



Hình 3. Mô hình cấu trúc không gian xanh lấy cảnh quan văn hóa làm hạt nhân kiến tạo

4.3. Tổ hợp cảnh quan không gian xanh đặc trưng

Trên cơ sở mô hình cấu trúc không gian, có thể nhận thấy đặc trưng không gian xanh Hà Nội bám chặt với 03 vùng, 04 tuyến, 05 cụm và 01 trung tâm cảnh quan di tích tôn giáo, tín ngưỡng được xác định cụ thể trong Hình 4.



Hình 4. Phân bố các tổ hợp cảnh quan không gian xanh chủ đạo lấy cảnh quan văn hóa làm hạt nhân

Những tổ hợp không gian cảnh quan văn hóa này có phạm vi rộng lớn, vừa đóng vai trò sinh thái, thúc đẩy hoạt động du lịch, vừa là trung tâm văn hóa - tâm linh của Thủ đô, được thể hiện trong Bảng 1 dưới đây.

Bảng 1. Thành phần cấu trúc và vai trò các tổ hợp cảnh quan không gian xanh chủ đạo lấy di tích tôn giáo, tín ngưỡng làm hạt nhân xanh văn hóa

TT	Thành phần cấu trúc	Thành phần cấu trúc	Vai trò
1	Trung tâm cảnh quan	Hồ Gươm - di tích - cây xanh - không gian đô thị lịch sử	Biểu tượng văn hóa Thủ đô, là không gian xanh lõi của đô thị
2	Vùng cảnh quan	Rừng núi - di tích - cây xanh - mặt nước	Vệ tinh sinh thái - văn hóa cấp vùng
3	Tuyến cảnh quan	Sông - di tích - cây xanh - làng xã truyền thống	Hành lang xanh - di sản, kết nối không gian đô thị
4	Cụm cảnh quan	Công viên - di tích - cây xanh - mặt nước - làng xã truyền thống	Hạt nhân thứ cấp lan tỏa giá trị ở quy mô địa phương

a. Một trung tâm cảnh quan:

• Biểu tượng đặc trưng của Thủ đô, gắn với đền Ngọc Sơn, tháp Rùa, đền Bà Kiệu, nhà thờ Lớn, nơi giao thoa giữa phố Cổ và phố Mới, kết hợp hệ thống di tích tôn giáo tín ngưỡng, quảng trường - cây xanh - mặt nước, là “trái tim xanh văn hóa” của Thủ đô, mang tầm quốc gia (xem Hình 5). Nếu thực hiện cải tạo chỉnh trang không gian công cộng ven hồ, cần phải bảo đảm sự chuyển hóa mềm giữa không gian phố Cổ, phố Mới với quần thể di sản Hồ Gươm và vùng phụ cận.



Hình 5. Cảnh quan di tích Hồ Gươm và vùng phụ cận - trái tim xanh văn hóa của Thủ đô (Nguồn: Internet)

b. Ba vùng cảnh quan:

1. Vùng cảnh quan Sơn Tây - Ba Vì: Trung tâm là làng cổ Đường Lâm, thành cổ Sơn Tây, đền Thánh Tản Viên, đình Tây Đằng,... gắn kết với rừng quốc gia Ba Vì và các công viên lịch sử văn hóa. Đây là “không gian xanh văn hóa xứ Đoài”, vừa lưu giữ giá trị lịch sử văn hóa, vừa đóng vai trò điều hòa sinh thái cho vùng phía Tây Hà Nội.

2. Vùng cảnh quan Hương Sơn - Quan Sơn: Trung tâm là quần thể chùa Hương, kết hợp hệ núi đá vôi, suối Yến, hồ Quan Sơn. Đây là một mô hình điển hình về “cảnh quan xanh - sinh thái - tín ngưỡng”, nơi thiên nhiên và di sản hòa quyện, vừa là điểm hành hương, vừa là không gian du lịch bền vững, vùng sinh thái cho khu vực phía Nam Hà Nội.

3. Vùng cảnh quan Sóc Sơn: Gắn với đền Sóc và rừng núi Sóc Sơn. Đây là không gian xanh đặc trưng, vừa bảo tồn tín ngưỡng dân gian, vừa đóng vai trò vùng sinh thái cho khu vực phía Bắc Hà Nội.

c. Bốn tuyến cảnh quan:

1. Tuyến cảnh quan sông Hồng: Cùng với sông Đuống tạo

thành Trục xanh trung tâm của Hà Nội, với hành lang sinh thái hai bên sông kết hợp hệ thống di tích quan trọng. Nếu Cảnh quan Hồ Gươm là trái tim của đô thị, thì trục cảnh quan sông Hồng là trục cảnh quan công viên văn hóa sáng tạo quan trọng nhất của đô thị, vừa gắn kết di sản, vừa định hướng phát triển cấu trúc không gian toàn bộ đô thị. Đề xuất mô hình “hành lang xanh sông Hồng đa tầng thích ứng lũ” như một giải pháp tích hợp giữa không gian tự nhiên và di sản văn hóa, gắn với các hoạt động sản xuất và cư trú.

2. Tuyến cảnh quan sông Đáy - sông Tích: Là một trong những tuyến cảnh quan - văn hóa quan trọng của vùng Tây Nam Hà Nội, gắn với hệ thống di tích đình, chùa cùng các làng nghề và đồng ruộng trong lòng sông. Dải cảnh quan này vừa mang tính sinh thái - nông nghiệp - tín ngưỡng, vừa đóng vai trò vành đai xanh kiểm soát sự phát triển lan tỏa, kết nối đô thị vệ tinh và đô thị trung tâm.

3. Tuyến cảnh quan sông Nhuệ: hình thành tuyến cảnh quan xanh văn hóa đặc trưng vùng ven đô Hà Nội. Hai bên bờ sông tập trung nhiều di tích có giá trị như đình chùa, cùng các làng nghề và vườn cây truyền thống. Tuyến cảnh quan này không chỉ phản ánh mối quan hệ hài hòa giữa nước - cây xanh - làng xã truyền thống - di tích, mà còn có vai trò quan trọng trong duy trì bản sắc cảnh quan môi trường sinh thái văn hóa, giới hạn sự phát triển khu vực đô thị lịch sử và đô thị mở rộng.

4. Tuyến cảnh quan sông Tô Lịch: là tuyến cảnh quan tâm linh quan trọng khu vực nội đô lịch sử, với nhiều đền, đình chùa ven sông. Song song với việc phục hồi các công trình di tích ven sông là làm sống lại môi trường cảnh quan tự nhiên sông Tô Lịch và các nhánh sông Kim Ngưu, Lừ, Sét sẽ tái thiết một hành lang xanh văn hóa xuyên suốt khu vực nội đô lịch sử (như Hình 6).



Hình 6. Giải pháp cải tạo chỉnh trang tuyến cảnh quan sông Tô Lịch đoạn chảy qua nội đô lịch sử (Nguồn: ChatGpt)

d. Năm cụm cảnh quan:

1. Cụm cảnh quan Hồ Tây: Không gian xanh và mặt nước lớn nhất nội đô, gắn với chùa Trấn Quốc, Phủ Tây Hồ, đền Quán Thánh. Đây là “lá phổi xanh” và trung tâm tín ngưỡng quan trọng, nơi hội tụ nhiều lớp văn hóa lịch sử và tôn giáo tín ngưỡng.

2. Cụm cảnh quan Hoàng thành Thăng Long: Khu di sản thế giới, kết hợp thăm cổ, vườn cây, hồ nước, hình thành công viên lịch sử văn hóa quy mô lớn ngay trong khu vực nội đô.

3. Cụm cảnh quan thành Cổ Loa: Quần thể thành cổ gắn với ao hồ, đầm lầy, hệ thống cây xanh, vừa mang giá trị lịch sử quốc gia, vừa là mô hình không gian xanh văn hóa vùng ven đô.

4. Cụm cảnh quan di tích Chúc Sơn: Cụm đền chùa cổ, gắn kết với vùng nông nghiệp ven đô và hệ sinh thái làng truyền thống, có tiềm năng phát triển thành công viên văn hóa sinh thái.

5. Cụm cảnh quan di tích Quốc Oai: cụm cảnh quan này hội tụ nhiều di tích có giá trị lịch sử - tín ngưỡng tiêu biểu như chùa Thầy,

chùa Long Đầu, đình So, đình Phúc Đức,... Toàn khu vực được bao bọc bởi hệ thống đồng ruộng, ao hồ, làng xóm và vườn cây lâu năm, tạo nên cảnh quan sinh thái văn hóa đặc trưng vùng xứ Đoài.

Bên cạnh các tổ hợp cảnh quan không gian xanh gắn với vùng, cụm, tuyến di tích lớn, Hà Nội còn có hệ thống điểm cảnh quan văn hóa với quy mô nhỏ đan xen trong lòng đô thị, tạo thành các “ốc đảo xanh” [8] và “điểm xanh văn hóa” phục vụ cộng đồng hàng ngày. Những không gian này thường kết hợp di tích tôn giáo tín ngưỡng với vườn hoa, cây xanh và sân chung, góp phần duy trì cân bằng sinh thái, đồng thời giữ gìn bản sắc tinh thần cho khu vực cư trú. Có thể phân thành ba nhóm chính:

- Điểm cảnh quan di tích trong khu vực dân cư đô thị: Các đình, chùa, miếu, đền nằm đan xen trong khu dân cư (như đình Kim Liên). Bao quanh di tích thường có vườn cây, giếng cổ, sân đình hoặc vườn hoa công cộng nhỏ. Đây là những “vườn xanh cộng đồng” vừa đảm bảo không gian sinh hoạt tín ngưỡng, vừa là nơi nghỉ ngơi, giao lưu cho người dân đô thị.

- Điểm cảnh quan di tích trong khu vực dân cư nông thôn: Ở làng quê Hà Nội, các đình, chùa, miếu, nhà thờ họ thường nằm tại trung tâm hoặc rìa làng, gần với cây đa, giếng nước, sân đình - những yếu tố tạo nên cấu trúc cảnh quan nông thôn truyền thống đặc trưng của vùng Đồng bằng Bắc Bộ nói chung. Bao quanh di tích thường là vườn cây, bãi đất, ao hồ nhỏ, vừa phục vụ sinh hoạt tín ngưỡng, vừa là nơi tổ chức lễ hội, họp chợ hay sinh hoạt cộng đồng.

- Điểm cảnh quan di tích trong khu vực sản xuất nông thôn: Nhiều di tích tín ngưỡng gắn liền với cảnh quan làng nghề và không gian sản xuất nông nghiệp truyền thống như đền thờ Tổ nghề hay quán nằm giữa cánh đồng. Những di tích này thường kết hợp không gian thờ tự với vườn cây, ao hồ, đồng ruộng, bãi đất trống bao quanh làng. Chúng không chỉ là không gian xanh góp phần điều hòa môi trường sinh thái sản xuất, mà còn là nơi lưu giữ ký ức nghề, tôn vinh Tổ nghề và tổ chức lễ hội cộng đồng, tạo nên sự gắn kết chặt chẽ giữa hoạt động sản xuất, văn hóa tín ngưỡng và cảnh quan làng xã truyền thống [5].

Hệ thống cảnh quan văn hóa gắn với di tích tôn giáo tín ngưỡng trên hòa quyền tạo thành khung cảnh quan không gian xanh đặc trưng của Hà Nội, định vị mạng lưới Xanh - Văn hóa - Sinh thái đa tầng thích ứng linh hoạt. Trong đó, cảnh quan di tích giữ vai trò hạt nhân, còn thiên nhiên là nền tảng kết nối, đảm bảo cho sự cân bằng giữa bảo tồn di sản, thiết lập không gian xanh và phát triển đô thị bền vững.

5. KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ

Từ phân tích lý thuyết và thực tiễn, có thể khẳng định cảnh quan di tích tôn giáo, tín ngưỡng là thành phần trung tâm trong cấu trúc đô thị Hà Nội. Nhờ gắn bó với cây xanh, mặt nước và sinh hoạt cộng đồng, các di tích này góp phần hình thành hạt nhân xanh văn hóa đặc trưng, qua đó điều hòa vi khí hậu, cải thiện môi trường sống và nuôi dưỡng bản sắc đô thị. Các hạt nhân xanh văn hóa này cần được nhìn nhận như thành phần cấu trúc chính thức của mạng lưới không gian xanh đô thị, có vai trò định hình cấu trúc sinh thái, kết nối Con người - Thiên nhiên - Văn hóa trong quá trình phát triển đô thị. Trong bối cảnh Hà Nội hướng tới mục tiêu phát triển “Xanh - Văn hiến - Văn minh - Hiện đại”, việc lồng ghép bảo tồn cảnh quan di tích tôn giáo, tín ngưỡng vào quy hoạch không gian xanh là yêu cầu cấp thiết, vừa đảm bảo bảo vệ di sản, vừa tạo động lực cho phát triển bền vững.

Khuyến nghị:

- Về chính sách, pháp lý: Xây dựng quy chuẩn quy hoạch riêng cho khu vực cảnh quan di tích (bao gồm di tích tôn giáo tín ngưỡng, cây xanh, mặt nước, không gian phát huy giá trị); Lồng ghép các chỉ

tiêu diện tích xanh của di tích vào hệ thống chỉ tiêu xanh toàn đô thị, coi di tích là một bộ phận chính thức của “quỹ đất không gian xanh công cộng”; Vận dụng Luật Thủ đô 2024 để ưu tiên bảo vệ, đầu tư, phát huy giá trị không gian xanh gắn di sản, đặc biệt tại Hồ Hoàn Kiếm, Hồ Tây, sông Hồng.

- Về quy hoạch, thiết kế đô thị: Thiết lập hệ thống không gian xanh văn hóa gắn với khu vực rừng núi, sông hồ, công viên cây xanh gắn kết với di tích nội thành và ngoại thành; Tích hợp cảnh quan di tích với công viên, vườn hoa, không gian công cộng thành công viên lịch sử văn hóa (ví dụ như Hồ Gươm, Hoàng thành Thăng Long); Kết nối các “điểm xanh văn hóa” nhỏ quanh đình, chùa, đền trong khu dân cư vào mạng lưới xanh đô thị bằng đường đi bộ, tuyến cây xanh, dòng sông cải tạo.

- Về quản lý, cộng đồng: Áp dụng nguyên tắc HUL (Historic Urban Landscape) và quản trị cộng đồng, khuyến khích sự tham gia của người dân, tăng cường cộng đồng quản lý cảnh quan văn hóa; Khuyến khích mô hình hợp tác công - tư (PPP) trong cải tạo cảnh quan văn hóa thành công viên mở, vừa bảo tồn, vừa phục vụ cộng đồng và phát triển du lịch; Tăng cường giáo dục bảo vệ và phát huy giá trị di tích tôn giáo tín ngưỡng và môi trường sinh thái thông qua các lễ hội, hoạt động cộng đồng tại không gian di tích.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Luật Thủ đô năm 2024.
- [2]. Luật Di sản văn hóa năm 2024.
- [3]. Thông tư 01/2021/TT-BXD ngày 19/05/2021 của Bộ trưởng Bộ Xây dựng ban hành
- [4]. Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về Quy hoạch xây dựng QCVN 01:2021/BXD.
- [5]. Quyết định 1668/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ phê duyệt điều chỉnh Quy hoạch chung Thủ đô Hà Nội đến năm 2045, tầm nhìn đến năm 2065.
- [6]. Phạm Hùng Cường (2020), Bảo tồn thích ứng các di sản làng xã truyền thống trong quy hoạch nông thôn mới, Tạp chí Kiến trúc.
- [7]. Vũ Thế Duy (2020), Quản lý nhà nước về tôn giáo ở thành phố Hà Nội, <https://www.quanlynhanuoc.vn>.
- [8]. Forman, R. T. T., & Godron, M. (1986). Landscape Ecology. New York: John Wiley & Sons.
- [9]. Nguyễn Luận (2024), Giá trị cảnh quan đô thị Hà Nội - Kế thừa và phát huy, Tạp chí Kiến trúc Việt Nam
- [10]. Phạm Anh Tuấn (2024), Kiến trúc cảnh quan đô thị Hà Nội - bảo tồn và phát huy giá trị, Tạp chí Kiến trúc Việt Nam.
- [11]. Nguyễn Văn Tuyên (2022), Cấu trúc Hành lang xanh TP Hà Nội, NXB Xây dựng.
- [12]. UNESCO (2003), Cultural Landscape: The Challenges of Conservation.
- [13]. UNESCO (2021), Recommendation on the Historic Urban Landscape.
- [14]. Viện quy hoạch quốc gia Việt Nam - Viup (2024), Quy hoạch chung Thủ đô Hà Nội đến năm 2045, tầm nhìn đến năm 2065, Báo cáo hồ sơ quy hoạch.

Định hướng phát triển bền vững kiến trúc nhà ở dân tộc Tày tại Bắc Giang dưới tác động của đô thị hóa

Sustainable development orientation for Tay ethnic housing architecture in Bac Giang under the impact of urbanization

> NGUYỄN NGỌC THANH

Viện Bảo tồn và Phát triển bền vững, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội
Email: thanhkts2011@gmail.com

TÓM TẮT

Bắc Giang là một khu vực miền núi phía Bắc với cơ cấu dân cư đa dạng, trong đó dân tộc Tày là một trong những cộng đồng lớn (đứng thứ ba sau dân tộc Kinh và Nùng). Quá trình đô thị hóa và phát triển kinh tế - xã hội trong những năm gần đây đã làm thay đổi rõ rệt không gian cư trú của đồng bào dân tộc thiểu số. Sự chuyển biến này góp phần nâng cao điều kiện sống, song đồng thời cũng tạo ra những biến đổi đáng kể trong tổ chức không gian cư trú và đặt ra thách thức đối với việc bảo tồn kiến trúc truyền thống cũng như giữ gìn bản sắc văn hóa địa phương. Từ thực tế đó, nghiên cứu tập trung đánh giá hiện trạng kiến trúc nhà ở của người Tày tại Bắc Giang, xác định các yếu tố ảnh hưởng đến sự biến đổi kiến trúc truyền thống và đề xuất định hướng phát triển bền vững cho kiến trúc nhà ở dân tộc Tày.

Nghiên cứu sử dụng các phương pháp sưu tầm tài liệu, khảo sát thực địa, điều tra xã hội học kết hợp với phân tích và đánh giá tổng hợp. Kết quả nghiên cứu đã đề xuất các định hướng phát triển kiến trúc dựa trên nguyên tắc hài hòa giữa truyền thống và hiện đại, giữa bảo tồn và thích ứng, góp phần duy trì và phát huy giá trị kiến trúc của dân tộc Tày trong tiến trình phát triển kinh tế - xã hội của vùng.

Từ khóa: Kiến trúc nhà ở dân tộc Tày, phát triển bền vững, đô thị hóa, nhà ở truyền thống, Bắc Giang.

ABSTRACT

Bac Giang is a mountainous area in Northern Vietnam with a diverse population structure, in which the Tay ethnic group constitutes one of the largest communities (ranking third after the Kinh and Nùng). In recent years, the processes of urbanization and socio-economic development have significantly transformed the residential spaces of ethnic minority groups. These transformations have contributed to improving living conditions; however, they have also led to considerable changes in spatial organization, posing challenges for the preservation of traditional architecture and the maintenance of local cultural identity.

In this context, the study focuses on assessing the current status of Tay housing architecture in Bac Giang, identifying factors influencing the transformation of traditional architectural forms, and proposing sustainable development orientations for Tay ethnic housing. The research employs methods such as document analysis, field surveys, sociological investigation, and analytical evaluation. The results propose development directions based on principles of harmony between tradition and modernity, conservation and adaptation, thereby contributing to preserving the architectural values of the Tay people within the broader regional development process.

Keywords: Tay ethnic housing architecture, sustainable development, urbanization, traditional dwellings, Bac Giang.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Phát triển bền vững là khái niệm chỉ sự phát triển toàn diện của xã hội nhằm đáp ứng được nhu cầu của thế hệ hiện tại mà không làm tổn hại đến khả năng đáp ứng nhu cầu của các thế hệ tương lai. Quá trình này phải được xây dựng trên cơ sở kết hợp chặt chẽ, hài hòa giữa tăng trưởng kinh tế, giải quyết các vấn đề xã hội và bảo vệ môi trường [13].

Trong quá trình đô thị hóa, phát triển bền vững kiến trúc nhà ở được hiểu là quá trình xây dựng và cải tạo nhà ở theo hướng gìn giữ, kế thừa các giá trị truyền thống, đồng thời thích ứng linh hoạt với điều kiện sống hiện đại. Đây là sự kết hợp giữa ba nguyên tắc: kinh tế, xã hội, môi trường, trong đó kiến trúc nhà ở đóng vai trò then chốt, thể hiện tri thức bản địa và mối quan hệ hài hòa giữa con người với môi trường tự nhiên.

Từ đó, để kiến trúc nhà ở phát triển bền vững cần hiểu thứ nhất là ngôi nhà phải đáp ứng chức năng ăn, ở, nghỉ ngơi, học tập và kết nối các thành viên trong gia đình, đảm bảo mối quan hệ thương yêu trong cộng đồng thành viên gia đình - một đơn vị cộng đồng nhỏ nhất trong môi trường cộng đồng xã hội lớn tại nông thôn, đây chính là đảm bảo vấn đề xã hội bền vững trong ngôi nhà; thứ hai nhà ở phải đáp ứng điều kiện hoạt động sinh kế, phải là một đơn vị làm kinh tế hộ gia đình trong các hoạt động kinh tế nông thôn, đây là đảm bảo vấn đề kinh tế bền vững; thứ ba nhà ở phải thích ứng với môi trường tự nhiên như tiết kiệm năng lượng, khai thác và sử dụng và tái tạo năng lượng mặt trời, nước mưa; tăng cường thông gió và chiếu sáng tự nhiên cho không gian nhà ở; lựa chọn vị trí xây dựng nhà ở cần nương theo địa hình, tránh san lấp làm thay đổi địa hình của khu đất đồng thời giữ gìn cảnh quan thiên nhiên bản, làng và khu vực nông thôn, đây là vấn đề bảo vệ môi trường bền vững.

Tuy nhiên, trong tiến trình phát triển kinh tế - xã hội, đô thị hóa là xu hướng tất yếu, tác động mạnh mẽ đến không gian cư trú nông thôn. Đối với cộng đồng dân tộc thiểu số, đặc biệt là người Tày tại Bắc Giang, quá trình này mang lại những thay đổi sâu sắc về hình thức nhà ở, tổ chức không gian và lối sống. Nhiều ngôi nhà sàn gỗ truyền thống đã được thay thế bằng nhà xây kiên cố, làm phai nhạt dần những giá trị văn hóa kiến trúc đặc trưng của người Tày [14].

Tại Chỉ thị số 42/CT-TTg ngày 9/11/2024 của Thủ tướng Chính phủ: Về việc đẩy nhanh triển khai xóa nhà tạm, nhà dột nát trên địa bàn cả nước, đã nêu rõ “Nhà ở là một trong những nhu cầu thiết yếu của con người, là một trong những yếu tố góp phần phát triển nguồn nhân lực của đất nước” [8].

Trong bối cảnh đó, việc nghiên cứu định hướng phát triển bền vững kiến trúc nhà ở dân tộc Tày tại Bắc Giang là cần thiết, nhằm tìm ra giải pháp bảo tồn giá trị văn hóa truyền thống đồng thời đáp ứng nhu cầu cuộc sống hiện đại của cộng đồng dân cư nông thôn.

2. THỰC TRẠNG PHÁT TRIỂN KIẾN TRÚC NHÀ Ở DÂN TỘC TÀY TẠI BẮC GIANG

- *Cấu trúc không gian thôn, bản*: Không gian cư trú người Tày chuyển dịch từ vùng sườn đồi, ven suối (Hình 1) sang khu trung tâm, ven trục giao thông - nơi thuận tiện sinh hoạt và kinh doanh (Hình 2). Nhu cầu đất ở tăng khiến nhiều khu dân cư mới mọc lên dọc quốc lộ, trên đất canh tác cũ. Sự thay đổi vị trí và hình thái làng phản ánh xu hướng đô thị hóa lan tới vùng nông thôn. Cấu trúc bản làng truyền thống bị phá vỡ, thay vào đó là mô hình ô bàn cờ, nhà ống thẳng hàng, làm mất đi tính gắn bó giữa con người và cảnh quan tự nhiên - yếu tố cốt lõi của không gian làng, xóm người Tày.



Hình 1. Cấu trúc làng dạng điểm



Hình 2. Nhà ở tập trung tại An Châu

- *Cấu trúc khuôn viên ngôi nhà*: Khuôn viên nhà ở hiện nay đang thu hẹp, mật độ xây dựng tăng cao; các công trình phụ như bếp, nhà tắm, kho được bổ sung tùy tiện, gây xáo trộn bố cục truyền thống. Hàng rào cây xanh được thay bằng tường gạch, lưới sắt; sân vườn bị bê tông hóa và thu nhỏ đáng kể. Sự biến đổi này thể hiện quá trình thích ứng với đời sống hiện đại nhưng làm giảm tính sinh thái và tính mở của không gian sống. Việc tận dụng đất để kinh doanh hay xây thêm nhà cho con cháu khiến khuôn viên không còn giữ được sự hài hòa, thoáng mát vốn có (Hình 3).



Hình 3. Nhà xây mới trong cùng khuôn viên với nhà cũ



Hình 4. Nhà sàn cải tạo phục vụ du lịch cộng đồng

- *Không gian chức năng và hình thức kiến trúc*: Nhà ở truyền thống dân tộc Tày có 2 hình thức nhà ở, đó là nhà sàn và nhà đất.

Hiện nay, nhiều gia đình cải tạo nhà sàn truyền thống bằng cách nâng cao gấm sàn, giảm vách ngăn nhằm mở rộng không gian sử dụng, xây thêm khu phụ trợ khép kín, chuồng trại đưa ra xa không gian ở. Hay chức năng trong nhà giảm bớt như phòng ngủ con do gia đình người con tách ra ở riêng. Một số gia đình kết hợp ở và kinh doanh, số khác

phát triển du lịch cộng đồng nên bố trí thêm khu lưu trú (Hình 4). Bên cạnh đó, nhà đất chưa đủ điều kiện khai thác phục vụ du lịch. Vì vậy, nhà đất chủ yếu được mở rộng thêm không gian chức năng và hiện đại hóa: các khu phụ trợ (bếp, tắm, vệ sinh) được khép kín; chuồng trại được chuyển đổi thành kho, hoặc phá bỏ. Một vài gia đình xây nhà hiện đại và chuyển nhà đất thành chức năng khác như kho, bếp.

Về hình thức, xuất hiện nhiều kiểu nhà lô phố, biệt thự; nhà sàn được cải tiến để phù hợp với nhu cầu sử dụng, còn nhà đất được trát xi măng hoặc thay bằng tường gạch. Đây là biểu hiện của sự thay đổi chức năng từ “ở để sinh hoạt nông nghiệp” sang “ở kết hợp kinh tế - dịch vụ”. Tuy giúp nâng cao tiện nghi, nhưng hình thức kiến trúc dần mất đi tính biểu tượng văn hóa và bản sắc dân tộc.

- **Vật liệu và phương thức xây dựng:** Vật liệu truyền thống như đất trình, gỗ, tre nứa được thay thế bằng gạch, xi măng, bê tông, kính, tôn lạnh... Nhà ở chuyển từ khung gỗ, mái lá sang nhà xây gạch, mái proximang hoặc mái tôn. Việc thay đổi vật liệu giúp tăng độ bền, tiết kiệm chi phí và thời gian thi công, nhưng đồng thời làm mất các kỹ thuật truyền thống (như trình tường, mộng gỗ) - vốn là di sản phi vật thể quý giá. Hệ quả là kiến trúc nhà ở người Tày ngày càng tiệm cận kiểu đô thị, giảm dấu ấn văn hóa bản địa (Hình 5).



Nhà đất cải tạo mái nhà proximang



Gạch không nung thay thế vật liệu kê đá, tường đất

Hình 5. Thay đổi về vật liệu trong nhà đất

3. MỘT SỐ YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN PHÁT TRIỂN KIẾN TRÚC NHÀ Ở DÂN TỘC TÀY TẠI BẮC GIANG

- **Yếu tố đô thị hoá:** Quá trình đô thị hóa tại Bắc Giang, đặc biệt trong hai thập niên trở lại đây, đã tạo ra những biến đổi đáng kể đối với kiến trúc nhà ở truyền thống của cộng đồng người Tày. Sự chuyển dịch không gian sống từ vùng cao, trung du về các khu vực ven đô và gần trục giao thông chính khiến mô hình nhà sàn truyền thống - vốn gắn bó mật thiết với điều kiện tự nhiên và phong tục tập quán - đang dần bị thay thế bằng những kiểu nhà hiện đại mang xu hướng đô thị.

Trước kia, nhà sàn gỗ mái cọ hoặc ngói âm dương thích ứng tốt với khí hậu, địa hình và thể hiện lối sống hòa hợp thiên nhiên. Nay, do nhu cầu đất ở tăng và quỹ đất thu hẹp, người Tày chuyển sang nhà nền đất, làm mất yếu tố “nâng sàn” chống ẩm và không gian sinh hoạt cộng đồng. Vật liệu truyền thống như gỗ, tre, nứa bị thay bằng bê tông, sắt thép; nghề mộc và kỹ thuật xây dựng dân gian đứng trước nguy cơ mai một. Hướng nhà cũng thay đổi, ưu tiên quay ra đường lớn để thuận tiện giao thông và kinh doanh, phản ánh sự hội nhập và biến đổi mục tiêu sử dụng không gian.

Tuy nhiên, một số cộng đồng vẫn nỗ lực bảo tồn giá trị truyền thống thông qua phục dựng nhà sàn, phát triển du lịch cộng đồng và lồng ghép yếu tố truyền thống trong kiến trúc hiện đại như mái ngói, hoa văn chạm khắc, cầu thang gỗ...

- **Điều kiện kinh tế, xã hội:** Sự chuyển dịch cơ cấu kinh tế từ nông nghiệp sang công nghiệp - dịch vụ đã làm thay đổi vai trò của không gian nhà ở [7]. Nhà ở không còn chỉ là nơi cư trú, mà còn là không gian sản xuất, kinh doanh và du lịch cộng đồng. Thu nhập tăng kéo theo xu hướng xây nhà kiên cố, nhưng đồng thời cũng tạo cơ hội đầu tư cải tạo, bảo tồn các ngôi nhà truyền thống phục vụ du lịch. Tuy nhiên, chênh lệch thu nhập giữa các nhóm dân cư làm nảy sinh sự khác biệt rõ rệt

trong hình thái kiến trúc: hộ khá giả xây nhà tầng, còn hộ nghèo vẫn giữ nhà cũ xuống cấp. Điều này đặt ra yêu cầu định hướng quy hoạch và hỗ trợ kỹ thuật phù hợp cho cộng đồng.

- **Yếu tố văn hóa - tín ngưỡng:** Quá trình đô thị hóa làm thay đổi không gian thờ tự, nhiều gia đình di chuyển bàn thờ hoặc thu hẹp khu thờ cúng để mở rộng công năng khác, dẫn đến biến dạng bố cục truyền thống. Bên cạnh đó, lối sống hiện đại và tiếp xúc văn hóa đô thị khiến nhiều giá trị phi vật thể - như lễ hội, phong tục dựng nhà, lễ nhập trạch - dần bị giản lược. Tuy nhiên, một bộ phận người dân, đặc biệt trong các dự án du lịch cộng đồng, đang có xu hướng phục hồi các nghi lễ truyền thống như một cách khẳng định bản sắc dân tộc.

- **Một số chính sách:** Nhà nước đã ban hành nhiều chính sách hỗ trợ nhà ở và phát triển vùng dân tộc thiểu số, tiêu biểu như Chương trình mục tiêu quốc gia phát triển kinh tế - xã hội vùng dân tộc thiểu số và miền núi (2021-2030) [7]. Tại Bắc Giang, các chương trình “xây dựng nông thôn mới”, “xóa nhà tạm”, “bảo tồn văn hóa dân tộc” đã mang lại hiệu quả tích cực, giúp người dân cải thiện điều kiện sống [10] [11].

Tuy nhiên, một số chính sách quy hoạch chưa chú trọng yếu tố bản sắc kiến trúc; tiêu chuẩn nhà ở dân tộc còn thiếu tính đặc thù vùng miền. Do đó, cần sớm xây dựng khung hướng dẫn kỹ thuật riêng cho từng nhóm dân tộc, trong đó có người Tày, nhằm định hướng phát triển bền vững và bảo tồn kiến trúc truyền thống trong điều kiện mới.

4. ĐỊNH HƯỚNG PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG KIẾN TRÚC NHÀ Ở DÂN TỘC TÀY TẠI BẮC GIANG

4.1. Quan điểm và nguyên tắc phát triển bền vững

- Quan điểm phát triển nhà ở bền vững:
 - + Thứ nhất: Phát triển kiến trúc nhà ở dân tộc Tày theo hướng giữ gìn giá trị văn hóa truyền thống dân tộc.
 - + Thứ hai: Kết hợp hài hòa giữa truyền thống và hiện đại.
 - + Thứ ba: Phát triển kiến trúc nhà ở theo hướng phát triển bền vững và thân thiện với môi trường.
 - + Thứ tư: Phát triển kiến trúc nhà ở kết hợp với hoạt động sinh kế cho người dân.
- Nguyên tắc:
 - + Thứ nhất: Kiến trúc hòa nhập với thiên nhiên, tôn trọng cảnh quan thiên nhiên.
 - + Thứ hai: Tôn trọng bản sắc văn hóa.
 - + Thứ ba: Đáp ứng nhu cầu hiện đại trong bối cảnh đô thị hóa
 - + Thứ tư: An toàn và thích ứng, có khả năng chống chịu thiên tai, thảm họa tự nhiên.
 - + Thứ năm: Đảm bảo hiệu quả hoạt động sản xuất kinh tế hộ gia đình.

4.2. Định hướng phát triển bền vững

- **Cấu trúc không gian thôn, bản:**

Không gian thôn, bản người Tày cần được phát triển theo hướng bền vững, kết hợp hài hòa giữa truyền thống và hiện đại. Quy hoạch nên dựa vào địa hình tự nhiên, đồng thời khi mở rộng điểm dân cư nông thôn cần kết nối hợp lý với thôn, bản hiện hữu và khu vực đồng ruộng canh tác để tránh phá vỡ cảnh quan và đáp ứng nhu cầu sản xuất nông nghiệp. Tuy nhiên, nhằm hạn chế lũ ống, lũ quét, sạt lở đất cần chú ý khi lựa chọn vị trí xây dựng nhà ở cần ở nơi khô ráo, không nên quá gần ven sông, suối, khu vực sườn đồi thường xuyên sạt lở đất vì dễ gây sạt lở đất và lũ ống.

Các khu vực sản xuất, dịch vụ và du lịch cộng đồng cần được phân tách rõ ràng, tránh tình trạng xây dựng tự phát làm biến dạng cấu trúc bản làng. Việc tổ chức không gian sinh thái, vườn cây, nương rẫy, ruộng bậc thang cần được giữ lại như một phần bản sắc không gian Tày.

Phát triển du lịch di sản văn hóa, du lịch nông nghiệp sinh thái là hướng đi phù hợp, do đó cần khai thác nhà truyền thống phục vụ lưu trú, kết hợp lễ hội, ẩm thực và nghề thủ công để tạo sinh kế và lan tỏa

giá trị văn hóa. Đồng thời, cần chú trọng quy hoạch cây xanh, không gian công cộng, bảo vệ nguồn nước và rừng đầu nguồn, sử dụng vật liệu thân thiện môi trường và năng lượng tái tạo để đảm bảo phát triển bền vững.

Hệ thống hạ tầng kỹ thuật cần được phát triển đồng bộ nhưng phù hợp với quy mô và điều kiện tự nhiên của khu vực miền núi. Mạng lưới đường giao thông nên được nâng cấp theo hướng bê tông hóa hoặc lát đá tự nhiên đối với đường nội bản, kết nối thuận tiện với các tuyến liên thôn, liên xã, đảm bảo thoát nước và an toàn trong mùa mưa. Hệ thống thủy lợi, mương, máng cần được kiên cố hóa, tận dụng vật liệu địa phương, kết hợp với các giải pháp sinh thái nhằm cung cấp nước tưới cho ruộng và phòng chống xói mòn đất.

Các công trình công cộng như trường học, trạm y tế, sân sinh hoạt, khu cây xanh nên bố trí tại trung tâm bản, thuận tiện cho sinh hoạt chung. Kiến trúc cần hài hòa về quy mô, hình thức, kế thừa bản sắc văn hóa Tày và thích ứng khí hậu.

Đối với hệ thống cấp nước sạch, cấp điện và viễn thông, cần mở rộng mạng lưới phân phối, ưu tiên các nguồn năng lượng tái tạo như điện mặt trời. Hệ thống viễn thông nên được nâng cấp để đảm bảo kết nối thông tin, phục vụ phát triển kinh tế, giáo dục và du lịch cộng đồng.

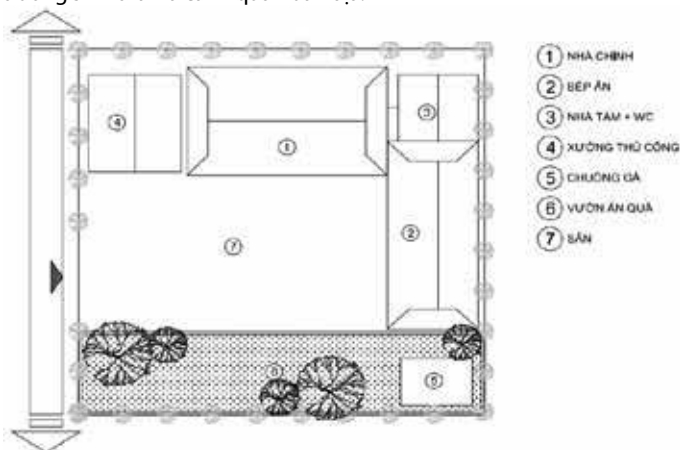
Hệ thống thu gom và xử lý rác thải, nước thải sinh hoạt cần được tổ chức đồng bộ, khuyến khích phân loại rác tại nguồn, xây dựng bể tự hoại hợp vệ sinh, kết hợp mô hình xử lý sinh học quy mô hộ gia đình hoặc cụm dân cư nhỏ để giảm thiểu ô nhiễm.

Trong quá trình mở rộng và phát triển thôn, bản, việc bảo tồn cảnh quan thiên nhiên cần được đặt lên hàng đầu. Cấu trúc sinh thái đặc trưng gồm rừng đầu nguồn, ruộng bậc thang, suối, hồ và vườn nhà cần được bảo vệ nghiêm ngặt. Các khu vực mở rộng dân cư nên hạn chế san gạt địa hình, giữ lại cây xanh bản địa, đồng thời tạo vành đai xanh bao quanh khu dân cư để đảm bảo cân bằng sinh thái, chống xói mòn và duy trì vẻ đẹp đặc trưng của không gian dân tộc Tày.

Bên cạnh đó, phát triển du lịch di sản văn hóa và du lịch nông nghiệp sinh thái là hướng đi phù hợp, cần khai thác nhà truyền thống phục vụ lưu trú, kết hợp lễ hội, ẩm thực và nghề thủ công để tạo sinh kế và lan tỏa giá trị văn hóa. Việc quy hoạch cây xanh, không gian công cộng, bảo vệ nguồn nước và rừng đầu nguồn, sử dụng vật liệu thân thiện môi trường và năng lượng tái tạo sẽ góp phần đảm bảo phát triển bền vững cho không gian cư trú người Tày trong tương lai.

- Khuôn viên ngôi nhà:

Khuôn viên nhà ở cần được tổ chức mở, giữ vai trò trung tâm là ngôi nhà chính (nhà sàn hoặc nhà đất truyền thống), xung quanh là các công trình phụ trợ bố trí hợp lý, không phá vỡ hình thái cũ. Không gian sân, vườn và hàng rào cây xanh nên được duy trì hoặc phục hồi để tạo môi trường sinh thái và cảnh quan bản địa.



Hình 6. Định hướng cấu trúc khuôn viên dân tộc Tày phục vụ kinh tế, du lịch cộng đồng

Khuôn viên nhà Tày cần thích ứng với đời sống mới thông qua việc bổ sung các không gian và chức năng phù hợp với nhu cầu hiện đại, như khu vực sinh hoạt chung, nhà vệ sinh khép kín. Ngoài ra, khuôn viên có thể kết hợp sản xuất, thủ công, khu sản xuất nhỏ hoặc dịch vụ du lịch cộng đồng (homestay, bán hàng thủ công) vừa bảo tồn nghề truyền thống, vừa mở rộng sinh kế cho cộng đồng. Tuy nhiên, việc mở rộng hay cải tạo này vẫn phải giữ được tinh thần gắn bó với tự nhiên và văn hóa bản địa thông qua cách bố trí sân vườn, hàng rào cây xanh, vật liệu thân thiện môi trường và hướng nhà truyền thống, đảm bảo vừa đáp ứng tiêu chí sinh hoạt hiện đại vừa duy trì nét đặc trưng trong không gian cư trú của người Tày (Hình 6).

- Không gian nhà ở:

Trong định hướng phát triển kiến trúc nhà ở người Tày, các công trình có giá trị cao như nhà sàn truyền thống cần được giữ hướng Đông hoặc Nam, bảo tồn trọn vẹn không gian chức năng theo bản sắc. Đối với những ngôi nhà đất còn nguyên bản, cần ưu tiên bảo tồn nguyên trạng, bố cục “ba gian hai chái”, vị trí thờ, ngủ, bếp và hướng nhà đặc trưng như một minh chứng cho nếp sống người Tày.

Với nhóm nhà cải tạo, nhà sàn có thể được sửa chữa, nâng cấp tiện nghi để phù hợp nhu cầu sống hiện đại, bổ sung các không gian như phòng vệ sinh khép kín, sân phơi hoặc khu sinh hoạt chung, song vẫn phải giữ nguyên hướng nhà và cầu thang gỗ, lan can, bố cục gian. Nhà đất cải tạo nên duy trì không gian thờ cúng, tiếp khách, vệ sinh khép kín, ngăn chia không gian linh hoạt, đồng thời có thể thêm các chức năng mới đáp ứng nhu cầu sản xuất, kinh doanh của gia chủ.

Đối với nhà xây mới, việc bố trí, mở rộng hay thu hẹp không gian cần phải phù hợp với nhu cầu sử dụng hiện đại, đáp ứng chức năng ăn, ở, nghỉ ngơi, học tập và sinh hoạt văn hoá nhằm kết nối các thành viên trong gia đình. Ngoài ra có thể kết hợp mô hình sản xuất - kinh doanh - du lịch, nhưng vẫn phải bảo đảm các yếu tố nhận diện văn hóa như lấy cảm hứng từ hình thức nhà sàn hoặc nhà đất cổ, tuân thủ bố cục ngang - dọc, mái dốc, hiên rộng, ... Việc hiện đại hóa không gian nhà ở cần được thực hiện trên nền tảng tiếp nối tinh thần truyền thống trong, nhằm gìn giữ “linh hồn ngôi nhà” trong đời sống hiện đại.



Hình 7. Hình thức nhà sàn xây mới

- **Hình thức kiến trúc:** Nhà sàn và nhà đất đều có giá trị văn hóa, lịch sử, cần được bảo tồn linh hoạt theo mức độ hiện trạng.

Trong định hướng phát triển không gian nhà ở người Tày, các công trình có giá trị cao cần được bảo tồn nguyên trạng nhằm duy trì bản sắc kiến trúc truyền thống. Nhà sàn cần giữ kết cấu, tỷ lệ gian, cầu thang gỗ và hệ khung gỗ lắp mộng với vật liệu truyền thống như mái lá cọ hoặc ngói máng, vách gỗ, một cửa chính. Nhà đất với tường vách gỗ hoặc đan nửa và trát đất sét trộn rơm, mái ngói máng hoặc lá cọ, hiên thấp, sàn bằng hỗn hợp cát pha vôi.

Đối với nhà cải tạo, nhà sàn cần giữ các yếu tố nhận diện như cầu thang, lan can gỗ, bố cục gian. Có thể kết hợp cửa 2 lớp kính khung gỗ để lấy sáng, mái ngói máy thay cho mái lá, sân và sân tầng 1 trảng xi măng. Nhà đất cải tạo cần hướng tới duy trì hình thức

truyền thống, tường gỗ, tường đất có thể bổ sung lớp trát ngoài xi măng, sàn nhà lát gạch hoặc tráng xi măng, cửa 2 lớp kết hợp kính lấy sáng, mái lợp ngói máy.

Nhà xây mới nên lấy cảm hứng từ hình thức kiến trúc truyền thống, tuân thủ bố cục ngang - dọc, mái dốc, hiên rộng và màu sắc tự nhiên, tạo sự thống nhất cảnh quan. Nhà sàn có thể bổ sung cầu thang bên, khung nhà BTCT, tường/vách ngăn chia không gian sử dụng, mái ưu tiên lợp ngói, tăng diện tích cửa 2 lớp nhằm lấy sáng và thông gió tốt, sàn lát gạch (Hình 7). Nhà đất nên tuân theo tỷ lệ gian, cấu trúc nhà truyền thống, tường sử dụng gạch không nung hoặc tường cay đất dày khung thép/BTCT, sàn lát gạch, mái khuyến khích lợp ngói, cửa và thông gió trên mái dùng loại 2 lớp.

- *Vật liệu và phương thức xây dựng:*

Ưu tiên bảo tồn kỹ thuật và vật liệu truyền thống: khung gỗ mộng, tường đất trình, mái ngói đất nung, lá cọ. Với công trình mới, khuyến khích sử dụng gạch không nung, bê tông nhẹ, tre ép, ngói sinh thái và sơn màu nâu đất để hòa hợp với cảnh quan. Hạn chế mái bằng bê tông hoặc vật liệu phản quang, thay vào đó là mái dốc cách nhiệt, hiên rộng, cửa chớp gỗ để đảm bảo thông gió tự nhiên. Khuyến khích ứng dụng công nghệ xanh, tường hai lớp, năng lượng mặt trời, vật liệu cách nhiệt - nhằm nâng cao độ bền và tính bền vững sinh thái. Việc thay thế vật liệu cần có chọn lọc, vừa bảo tồn giá trị truyền thống, vừa đáp ứng yêu cầu kỹ thuật và môi trường của thời đại mới.

- *Ứng dụng thiết bị và tiện nghi hiện đại:*

Nâng cấp hệ thống điện, nước, chiếu sáng, xử lý nước thải và thông tin liên lạc theo tiêu chuẩn hiện đại nhưng lắp đặt khéo léo để không phá vỡ hình thức kiến trúc truyền thống. Khuyến khích tận dụng ánh sáng tự nhiên, dùng đèn LED, thiết bị tiết kiệm năng lượng, bình nước nóng mặt trời. Các vật liệu hiện đại nên kết hợp với yếu tố tự nhiên (gỗ, tre, nứa), trang trí hoa văn dân tộc, đồ thủ công truyền thống để giữ sự hài hòa văn hóa.

→ Sự tích hợp công nghệ hiện đại không đối lập với truyền thống nếu được xử lý tinh tế. Đây là hướng phát triển kiến trúc nhà ở người Tày bền vững và giàu bản sắc.

5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

5.1. Kết luận

Đô thị hóa tại Bắc Giang đã tác động mạnh đến kiến trúc nhà ở truyền thống của người Tày, làm thay đổi cấu trúc không gian cư trú, hình thức kiến trúc và phương thức xây dựng. Nhà sàn và nhà đất là di sản văn hóa kiến trúc của dân tộc Tày đang dần bị thay thế bởi nhà hiện đại, đe dọa bản sắc truyền thống. Do đó, việc bảo tồn cần gắn với phát triển, hướng tới mô hình kiến trúc bền vững kết hợp truyền thống và hiện đại.

Kiến trúc nhà ở của người Tày tại Bắc Giang chịu ảnh hưởng chủ yếu từ quá trình đô thị hóa, biến đổi kinh tế - xã hội, văn hóa - tín ngưỡng và chính sách phát triển vùng dân tộc thiểu số. Đô thị hóa làm thay đổi hình thức, vật liệu và không gian sinh hoạt truyền thống; phát triển kinh tế mở rộng nhu cầu nhà ở kiên cố, đa chức năng; biến đổi văn hóa dẫn tới giảm lược các yếu tố tín ngưỡng, lễ nghi trong bố cục nhà; trong khi chính sách hỗ trợ tuy cải thiện điều kiện sống nhưng còn thiếu định hướng bảo tồn bản sắc kiến trúc đặc trưng của người Tày.

Nghiên cứu đã đề xuất định hướng phát triển kiến trúc nhà ở dân tộc Tày gồm: 1) Tổ chức không gian thôn bản: Giữ hình thái truyền thống ven đồi, ven suối, gắn kết hài hòa khu dân cư - ruộng đồng - rừng, đồng thời phát triển hạ tầng kỹ thuật và năng lượng tái tạo phù hợp miền núi; 2) Khuôn viên nhà ở: Tổ chức mở, kết hợp ở - sản xuất - du lịch, bảo tồn cảnh quan sinh thái; 3) Không gian nhà ở: Phân loại giá trị để bảo tồn, cải tạo hoặc xây mới phù hợp, vừa đáp

ứng nhu cầu hiện đại, vừa giữ cấu trúc, hướng nhà và yếu tố văn hóa; 4) Hình thức kiến trúc: Kế thừa bản sắc truyền thống, kết hợp vật liệu tự nhiên và vật liệu xanh, hài hòa với cảnh quan; 5) Vật liệu và kỹ thuật xây dựng: Ưu tiên kỹ thuật truyền thống kết hợp công nghệ hiện đại, sử dụng vật liệu thân thiện môi trường; 6) Trang thiết bị, tiện nghi: Tích hợp tinh tế, đảm bảo hiện đại nhưng không phá vỡ hình thức truyền thống. Tất cả hướng đến mục tiêu bảo tồn "hồn cốt" kiến trúc dân tộc Tày song song với phát triển kinh tế - du lịch cộng đồng và xây dựng không gian cư trú bền vững.

5.2. Kiến nghị

- Với chính quyền cấp ban hành chính sách hỗ trợ tài chính, quy hoạch bảo tồn và phát triển điểm dân cư nông thôn, kiến trúc nhà ở dân tộc Tày tại Bắc Giang; tổ chức tuyên truyền, tập huấn nâng cao nhận thức về bảo tồn và giữ gìn giá trị kiến trúc nhà ở cho cộng đồng người Tày.

- Với các hội nghề nghiệp cần phối hợp nghiên cứu, tổ chức hội thảo, cuộc thi thiết kế, phản biện chính sách nhằm bảo tồn và phát huy giá trị văn hóa kiến trúc dân tộc Tày.

- Với giới chuyên môn, đối với các chuyên gia văn hóa, bảo tồn cần xây dựng bộ tiêu chí và giám sát hoạt động bảo tồn; đối với kiến trúc sư cần đưa ra các mẫu thiết kế nhà ở cải tiến phù hợp bản sắc văn hóa dân tộc, kết hợp hài hòa giữa yếu tố hiện đại với giá trị kiến trúc truyền thống; đối với các tổ chức lữ hành, du lịch cần hỗ trợ người dân phát triển mô hình du lịch cộng đồng gắn với kiến trúc bản địa.

- Với cộng đồng người Tày cần chủ động tham gia bảo tồn, gìn giữ các yếu tố đặc trưng văn hóa kiến trúc như gian thờ, bếp lửa, mái ngói; tham gia du lịch cộng đồng và truyền dạy giá trị văn hóa cho thế hệ trẻ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Trần Quốc Bảo (2023), "Phân loại kiến trúc nhà ở truyền thống các dân tộc thiểu số vùng miền núi phía Bắc, nhằm quản lý bảo tồn và phát huy giá trị", Tạp chí Xây dựng, Hà Nội.
- [2]. Bộ Xây dựng (2012), Quy hoạch xây dựng nông thôn - tiêu chuẩn thiết kế, Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 4454:2012, Hà Nội.
- [3]. Chính Phủ (2008), Nghị quyết số 24/2008/NQ-CP ngày 28/10/2008 của Chính phủ về phát triển nông thôn mới, Hà Nội.
- [4]. Trần Thị Nhung, Võ Dao Chi (2013), "Phát triển bền vững- Lý thuyết và nghiên cứu thực nghiệm ở Nam Bộ và Việt Nam", Tạp chí Khoa học và Xã hội số 1.
- [5]. Nguyễn Đình Thi (chủ biên), Trần Quốc Bảo (2024), Phát triển bền vững kiến trúc nhà ở truyền thống các dân tộc thiểu số miền núi phía Bắc, NXB Xây dựng, Hà Nội.
- [6]. Thủ tướng Chính Phủ (2022), Quyết định số 150/QĐ-TTg ngày 28/01/2022 của Thủ tướng Chính phủ phê duyệt Chiến lược phát triển nông nghiệp và nông thôn bền vững giai đoạn 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050, Hà Nội.
- [7]. Thủ tướng Chính Phủ (2022), Quyết định số 263/QĐ-TTg ngày 22/02/2022 của Thủ tướng Chính phủ phê duyệt Chương trình mục tiêu quốc gia xây dựng nông thôn mới giai đoạn 2021 - 2025, Hà Nội.
- [8]. Thủ tướng Chính Phủ (2024), Chỉ thị số 42/CT-TTg của Thủ tướng Chính phủ: Về việc đẩy nhanh triển khai xóa nhà tạm, nhà dột nát trên địa bàn cả nước, Hà Nội.
- [9]. Nguyễn Khắc Tụng (1978), Nhà cửa các dân tộc ở trung du Bắc Bộ Việt Nam, NXB Khoa học Xã hội, Hà Nội.
- [10]. Sở Văn hóa, Thể thao & Du lịch Bắc Giang (2021), Nghiên cứu bảo tồn kiến trúc nhà truyền thống các dân tộc Bắc Giang, Báo cáo nội bộ.
- [11]. <https://m.mattran.org.vn/cac-cuoc-van-dong-phong-trao-thi-dua/bac-giang-sang-tao-trong-xoa-nha-tam-nha-dot-nat->
- [12]. <https://doingoi.bacgiang.gov.vn/vi/bac-giang-no-luc-bao-ton-thuc-hanh-then.html>
- [13]. <https://netzero2050.vn/khai-niem-phat-trien-ben-vung-lo-trinh-tai-viet-nam/>
- [14]. <https://vietnamnet.vn/bac-giang-no-luc-xoa-nha-tam-cho-dong-bao-kho-khan-2356575.html>

Tiềm năng và giải pháp phát triển du lịch bền vững dựa trên không gian đặc trưng ven biển tại khu du lịch quốc gia Ninh Chữ, Khánh Hòa, Việt Nam

Potentials and strategies for sustainable tourism development based on coastal spatial identity at ninh chu national tourist area, Khanh Hoa, Vietnam

> TS.KTS TRƯƠNG THÁI HOÀI AN

Khoa Quy hoạch, Trường Đại học Kiến trúc TP.HCM

TÓM TẮT

Khu du lịch quốc gia Ninh Chữ nổi bật với cảnh quan ven biển độc đáo, kết hợp địa hình đa dạng (biển, núi, đồi cát) và di sản văn hóa Chăm, làng chài truyền thống. Dựa trên lý thuyết không gian đặc trưng, nghiên cứu phân tích sự tương tác tự nhiên-văn hóa để đề xuất giải pháp phát triển du lịch bền vững. Nghiên cứu sử dụng phương pháp kết hợp phân tích hình thái cảnh quan qua dữ liệu vệ tinh, khảo sát thực địa, và phân loại theo tiêu chí tự nhiên-văn hóa. Kết quả xác định 11 hình thái cảnh quan, bao gồm từ bãi biển, vách đá đến không gian văn hóa, qua đó định hướng phát triển du lịch sinh thái, văn hóa, và nghỉ dưỡng cao cấp. Nghiên cứu nhấn mạnh bảo vệ hệ sinh thái, tích hợp văn hóa địa phương, và đối phó thách thức như biến đổi khí hậu, đô thị hóa. Kết quả này hỗ trợ nhà quản lý, cộng đồng, và nhà đầu tư xây dựng mô hình du lịch bền vững, với đóng góp mới là ứng dụng lý thuyết không gian đặc trưng vào bối cảnh phía nam tỉnh Khánh Hòa (tỉnh Ninh Thuận cũ).

Từ khóa: Không gian đặc trưng, du lịch bền vững, cảnh quan ven biển, Khánh Hòa, tương tác tự nhiên-văn hóa, du lịch sinh thái.

ABSTRACT

The Ninh Chu National Tourism Area is distinguished by its unique coastal landscape, blending diverse topography (sea, mountains, sand dunes) with rich cultural heritage (Cham relics, traditional fishing villages). Employing the spatial identity theory, this study analyzes the interaction between natural and cultural frameworks to propose strategies for sustainable tourism development. The methodology integrates morphological analysis using satellite data, field surveys, and classification based on natural-cultural criteria. The findings identify 11 key landscape morphologies, including beaches, cliffs, sand dunes, and cultural spaces, guiding the development of ecotourism, cultural tourism, and high-end resorts. The study emphasizes ecosystem conservation, local cultural integration, and addressing challenges such as climate change and urbanization. The results provide a scientific basis for policymakers, communities, and investors to build sustainable tourism models. A novel contribution lies in applying the spatial identity theory to Ninh Thuan's context (old), offering tailored solutions for sustainable coastal tourism.

Keywords: Spatial identity, Sustainable tourism, coastal landscape, Khanh Hoa, natural-cultural interaction, ecotourism.

1. GIỚI THIỆU

Khu du lịch quốc gia Ninh Chữ có vị trí tại phía Nam Khánh Hòa (tỉnh Ninh Thuận cũ) với quy mô 12.200 ha, có bờ biển dài 105 km. Đây là một trong những điểm đến tiềm năng của Việt Nam nhờ sự đa dạng về cảnh quan tự nhiên và giá trị văn hóa đặc sắc. Các bãi biển hoang sơ, hệ sinh thái rừng, biển độc đáo tại Vườn quốc gia Núi Chúa, và di sản văn hóa Chăm tạo nên sức hút đặc biệt cho khu vực. Tuy nhiên, sự phát triển du lịch thiếu kiểm soát đang tiềm ẩn nguy cơ làm suy giảm các giá trị tự nhiên và văn hóa này. Nghiên cứu này hướng đến ba mục tiêu chính: (1) Đánh giá cấu trúc không gian đặc trưng của khu vực ven biển; (2) Xác định các hình thái cảnh quan đặc trưng và đánh giá tiềm năng du lịch của chúng; và (3) Đề xuất các giải pháp phát triển du lịch bền vững, đảm bảo cân bằng giữa khai thác kinh tế, bảo vệ môi trường, và bảo tồn văn hóa.

Phương pháp nghiên cứu kết hợp phân tích hình thái cảnh quan, sử dụng dữ liệu vệ tinh, khảo sát thực địa và phân loại theo các tiêu chí tự nhiên - văn hóa nhằm xác định các vùng cảnh quan cần được bảo tồn hoặc phát triển.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Khái niệm không gian đặc trưng và vai trò trong phát triển du lịch

Lý thuyết về không gian đặc trưng là một cách tiếp cận liên ngành, được ứng dụng rộng rãi trong các lĩnh vực như địa lý nhân văn, kiến trúc, quy hoạch đô thị, và du lịch học nhằm phân tích sự hình thành và phát triển của các không gian địa lý. Không gian đặc trưng là sản phẩm của sự tương tác phức tạp giữa các yếu tố tự nhiên (địa hình, khí hậu, hệ sinh thái)

và văn hóa (tín ngưỡng, phong tục, lịch sử, kinh tế). Theo Carl Sauer (1925), trong bài viết *The Morphology of Landscape*, cảnh quan không chỉ là một thực thể vật lý mà còn là biểu hiện của mối quan hệ giữa con người và môi trường tự nhiên. Quan điểm này nhấn mạnh rằng mỗi không gian địa lý mang một bản sắc riêng, được định hình bởi các yếu tố vật lý và ý nghĩa văn hóa mà con người gán cho nó.

Trong bối cảnh phát triển du lịch, không gian đặc trưng đóng vai trò quan trọng trong việc tạo ra các điểm đến độc đáo, thu hút du khách thông qua sự kết hợp giữa cảnh quan tự nhiên và giá trị văn hóa. Ví dụ, các nghiên cứu về Hội An (UNESCO, 1999) cho thấy sự kết hợp giữa kiến trúc cổ, sông Thu Bồn, và văn hóa giao thương đã tạo nên một không gian đặc trưng, biến nơi đây thành điểm đến du lịch văn hóa hàng đầu. Tại khu du lịch quốc gia Ninh Chữ, sự giao thoa giữa các bãi biển hoang sơ, hệ sinh thái rừng-biển của Vườn quốc gia Núi Chúa, và di sản văn hóa Chăm tạo nên một không gian đặc trưng lý tưởng cho các loại hình du lịch sinh thái, văn hóa, và nghỉ dưỡng.

Paul Vidal de la Blache (1911), trong *Tableau de la géographie de la France*, đã nhấn mạnh rằng không gian địa lý là kết quả của sự tương tác giữa con người và môi trường tự nhiên, trong đó con người không chỉ bị động thích nghi mà còn chủ động định hình môi trường. Quan điểm này đặc biệt phù hợp với nghiên cứu, nơi các cộng đồng làng chài đã tận dụng địa hình ven biển để phát triển nghề cá, đồng thời tạo ra các lễ hội văn hóa như cầu ngư, góp phần định hình bản sắc không gian.

2.2. Khung tự nhiên: Các yếu tố vật lý định hình cảnh quan

Khung tự nhiên bao gồm các yếu tố vật lý và môi trường định hình không gian địa lý, bao gồm địa hình, khí hậu, tài nguyên thiên nhiên, và hệ sinh thái. Các yếu tố này không chỉ đặt ra các giới hạn mà còn tạo ra cơ hội cho sự phát triển của các hoạt động kinh tế và văn hóa.

- **Yếu tố địa hình:** Địa hình là yếu tố nền tảng định hình cách con người tổ chức và sử dụng không gian. Theo Nguyễn Đình Toàn (2005), trong *Không gian kiến trúc làng cổ Việt Nam*, địa hình sông, đồng bằng, và bờ biển ảnh hưởng trực tiếp đến mô hình định cư và hoạt động kinh tế. Tại khu vực nghiên cứu, địa hình ven biển với các bãi cát dài, vách đá, và đồi cát tạo nên các cảnh quan độc đáo.

- **Yếu tố khí hậu:** Khí hậu ảnh hưởng đến thiết kế không gian và các hoạt động kinh tế. Amos Rapoport (1969), trong *House Form and Culture*, chỉ ra rằng khí hậu định hình kiến trúc và cách con người tương tác với môi trường. Với khí hậu khô nóng và lượng mưa thấp nhất Việt Nam (trung bình 700-800 mm/năm), đã hình thành hệ sinh thái khô hạn độc đáo, đặc biệt tại Vườn quốc gia Núi Chúa. Khí hậu này cũng ảnh hưởng đến các loại hình du lịch, với mùa khô kéo dài (từ tháng 1 đến tháng 8) tạo điều kiện thuận lợi cho du lịch biển và khám phá thiên nhiên.

- **Yếu tố tài nguyên thiên nhiên:** Tài nguyên thiên nhiên, bao gồm đất, nước, và khoáng sản, định hình các hoạt động kinh tế và mô hình định cư. Carl Sauer (1925) nhấn mạnh rằng sự phân bố của tài nguyên thiên nhiên ảnh hưởng trực tiếp đến sự phát triển của các cộng đồng. Tại phía nam tỉnh Khánh Hòa, các nhóm đất cát và đất mặn hỗ trợ sản xuất muối và nuôi trồng thủy sản, trong khi đất phù sa tại đồng bằng phù hợp cho trồng lúa và hoa màu. Hiện tượng nước trời (upwelling) tại vùng biển làm tăng sản lượng sinh vật biển, tạo nguồn lợi lớn cho nghề cá và du lịch khám phá san hô.

- **Hệ sinh thái:** Hệ sinh thái đóng vai trò quan trọng trong việc duy trì sự cân bằng của cảnh quan. Edward T. Hall (1966), trong *The Hidden Dimension*, nhấn mạnh rằng cách con người tương tác với hệ sinh thái định hình không gian sống. Vườn quốc gia Núi Chúa, với hơn 1.600 loài thực vật và đa dạng sinh học biển, là một ví dụ điển hình về hệ sinh thái rừng-biển độc đáo. Hệ sinh thái này không chỉ cung cấp các dịch vụ sinh thái (như bảo vệ đất, điều hòa khí hậu) mà còn là nguồn tài nguyên cho du lịch sinh thái và nghiên cứu khoa học.

2.3. Khung văn hóa: Các yếu tố xã hội và lịch sử

Khung văn hóa bao gồm các yếu tố xã hội, lịch sử, và văn hóa định hình cách con người nhận thức, tổ chức, và sử dụng không gian. Các yếu tố này tạo nên ý nghĩa và bản sắc cho không gian, biến nó thành biểu tượng của cộng đồng.

- **Tín ngưỡng và tôn giáo:** giúp định hình các không gian tâm linh và văn hóa. Hoàng Đạo Kinh (1995), trong *Kiến trúc dân gian Việt Nam*, chỉ ra rằng các không gian như đình, chùa, và tháp Chăm phản ánh tín ngưỡng và bản sắc văn hóa của cộng đồng. Tháp Chăm Po Klong Garai là một biểu tượng văn hóa, thu hút du khách quan tâm đến di sản Chăm. Các lễ hội như Katê và cầu ngư không chỉ mang ý nghĩa tâm linh mà còn là cơ hội để quảng bá văn hóa địa phương.

- **Phong tục tập quán:** ảnh hưởng đến cách bố trí không gian và các hoạt động kinh tế. Clifford Geertz (1973), trong *The Interpretation of Cultures*, xem không gian như một văn bản văn hóa, phản ánh các giá trị và niềm tin của cộng đồng. Tại phía nam tỉnh Khánh Hòa, nghề dệt thổ cẩm Chăm và các hoạt động đánh cá truyền thống của làng chài đã định hình các không gian văn hóa đặc trưng.

- **Lịch sử và ký ức tập thể:** Lịch sử và ký ức tập thể tạo nên các không gian cộng đồng mang ý nghĩa biểu tượng. Kevin Lynch (1960), trong *The Image of the City*, nhấn mạnh rằng các không gian như quảng trường, di tích, và làng cổ mang dấu ấn của lịch sử và ký ức cộng đồng. Tại đây, các di tích Chăm và làng chài truyền thống là những không gian lưu giữ lịch sử, góp phần tạo nên bản sắc du lịch văn hóa.

- **Xã hội và kinh tế:** Cơ cấu xã hội và kinh tế định hình cách không gian được phân bố và sử dụng. Henri Lefebvre (1974), trong *The Production of Space*, lập luận rằng không gian là sản phẩm của các thực hành xã hội, trong đó kinh tế đóng vai trò cốt lõi. Tại tỉnh Khánh Hòa, sự phát triển của nghề cá, nông nghiệp, và du lịch đã định hình các không gian như làng chài, khu nghỉ dưỡng, và các khu vực sản xuất muối.

- **Ngôn ngữ và biểu tượng:** Ngôn ngữ và biểu tượng phản ánh các giá trị văn hóa của không gian. Edward Soja (1996), trong *Thirdspace*, giới thiệu khái niệm không gian như một thực thể vừa vật lý vừa tưởng tượng, chịu ảnh hưởng từ các biểu tượng văn hóa. Tại khu vực này, các tên gọi như Vịnh Vĩnh Hy, đầm Nai, và tháp Po Klong Garai mang ý nghĩa biểu tượng, gắn liền với lịch sử và văn hóa địa phương.

2.4. Sự tương tác giữa khung tự nhiên và văn hóa

Sự tương tác giữa khung tự nhiên và văn hóa là yếu tố cốt lõi trong việc hình thành không gian đặc trưng. Tuy nhiên, xung đột cũng có thể xảy ra khi các hoạt động kinh tế, như đô thị hóa hoặc du lịch đại chúng, làm suy giảm cảnh quan tự nhiên hoặc mai một văn hóa truyền thống. Để giải quyết xung đột này, các nhà quy hoạch cần áp dụng cách tiếp cận bền vững, đảm bảo khai thác du lịch hài hòa với bảo vệ môi trường và văn hóa.



Hình 1. Bản đồ hiện trạng tài nguyên du lịch toàn tỉnh Ninh Thuận (Nguồn: Đề án phát triển du lịch tỉnh Ninh Thuận giai đoạn 2021-2025, tầm nhìn đến năm 2030)

3. HIỆN TRẠNG VÀ GIÁ TRỊ CẢNH QUAN VEN BIỂN PHÍA NAM TỈNH KHÁNH HÒA

Khu du lịch quốc gia Ninh Chữ, tỉnh Khánh Hòa, theo lý thuyết về không gian đặc trưng cảnh quan được hình thành từ sự tương tác phức tạp giữa khung tự nhiên (địa hình, khí hậu, hệ sinh thái, tài nguyên thiên nhiên) và khung văn hóa (tín ngưỡng, phong tục, lịch sử, kinh tế).

3.1. Khung tự nhiên: Các yếu tố vật lý định hình cảnh quan

- **Địa hình:** Địa hình ven biển là sự kết hợp độc đáo giữa các bãi biển cát trắng, vách đá, đồi cát, và các dãy núi thấp chạy sát biển. Tại phía Nam tỉnh Khánh Hòa, địa hình ảnh hưởng trực tiếp đến mô hình định cư và cách con người tổ chức không gian, các bãi biển như Ninh Chữ và Bình Tiên được bao bọc bởi các dãy núi, tạo nên các không gian thung lũng lý tưởng cho du lịch nghỉ dưỡng. Có thể thấy rằng, bãi biển Bình Tiên, nằm kế Vườn quốc gia Núi Chúa, có địa hình giáp núi và rừng, mang lại vẻ đẹp hoang sơ và không khí trong lành, thu hút du khách yêu thích thiên nhiên. Các vách đá tại Vịnh Vĩnh Hy và Mũi Đá Vách, với độ cao vượt trội và tầm nhìn ra biển, tạo nên các điểm ngắm cảnh ấn tượng. Đồi cát Nam Cương, với diện tích lớn và độ thoải nhẹ, là không gian lý tưởng cho các hoạt động thể thao mạo hiểm như trượt cát hoặc đua xe địa hình. Địa hình đa dạng này không chỉ định hình cảnh quan mà còn tạo ra các không gian đặc trưng, phù hợp với nhiều loại hình du lịch.



Hình 2. Hình ảnh địa hình thay đổi liên tục tạo ra sự đa dạng cảnh quan và tầng không gian đặc trưng cho dải ven biển Ninh Chữ. Nguồn: Nhóm tác giả

- **Khí hậu:** Khí hậu khô nóng đặc trưng của khu vực nghiên cứu, với lượng mưa trung bình hàng năm thấp nhất Việt Nam (700-800 mm), định hình hệ sinh thái khô hạn và các hoạt động kinh tế. Mùa khô kéo dài (từ tháng 1 đến tháng 8) tạo điều kiện thuận lợi cho du lịch biển, trong khi mùa mưa ngắn (từ tháng 9 đến tháng 12) hỗ trợ nông nghiệp và nuôi trồng thủy sản. Tuy nhiên, khí hậu khô hạn cũng đặt ra thách thức về nguồn nước, đòi hỏi các giải pháp quản lý tài nguyên bền vững để hỗ trợ du lịch và sinh kế địa phương.

- **Tài nguyên đất:** Tài nguyên đất rất đa dạng, với 8 nhóm đất chính và 19 loại đất, phân bố dọc theo bờ biển và vùng nội địa. Các loại đất phổ biến tại các xã ven biển như Ninh Hải và TP Phan Rang - Tháp Chàm (ranh địa danh cũ), bao gồm đất cồn cát trắng, đất cát điển hình, và đất tơi vữa. Loại đất này phù hợp cho trồng cây ăn quả (như nho, táo) và sản xuất muối, đồng thời tạo nên các bãi biển cát trắng đặc trưng. Đất mặn thì tập trung tại đầm Nai và Nhơn Hải, phù hợp cho nuôi trồng thủy sản (tôm, cá) và sản xuất muối. Ở các vùng chủ động nước, đất mặn có thể được cải tạo để trồng lúa và hoa màu. Đất phù sa phân bố tại đồng bằng, dùng để trồng lúa, ngô, và các loại hoa màu... Đất xói mòn trơ sỏi đá phân bố tại các khối núi như núi Chúa, ít giá trị nông nghiệp nhưng có tiềm năng khai thác đá xây dựng. Các loại đất này không chỉ định hình hệ sinh thái mà còn phản ánh sự đa dạng địa chất của khu vực. Ví dụ, đất cát tại bãi biển Ninh Chữ tạo nên cảnh quan bãi cát dài, trong khi đất mặn tại đầm Nai hỗ trợ các hoạt động nuôi trồng thủy sản, góp phần vào không gian văn hóa-kinh tế của các làng chài.

- **Tài nguyên rừng:** Tổng diện tích rừng và đất lâm nghiệp tại khu vực là 2.673,58 ha, bao gồm 1.743,41 ha rừng đặc dụng và 930,16 ha rừng phòng hộ. Vườn quốc gia Núi Chúa, nằm tại huyện Ninh Hải (cũ), là điểm nhấn với diện tích khoảng 30.000 ha (trong đó 7.500 ha là biển). Hệ sinh thái rừng-biển tại đây được đánh giá là độc đáo nhất Đông Nam Á, với hơn 1.600 loài thực vật, nhiều loài quý hiếm chỉ có ở khu vực này. Các loại rừng

như rừng tre nứa, rừng lá kim, và rừng núi đá tạo nên các cảnh quan kỳ vĩ, từ rừng trên cao đến sa mạc dưới thấp và biển phía trước. Tại Núi Chúa, bãi Chà Là, bãi Thùng là những điểm đến lý tưởng cho du lịch sinh thái, cung cấp các hoạt động như trekking, ngắm cảnh, và nghiên cứu đa dạng sinh học.

- **Tài nguyên biển:** Biển ở đây nổi bật với các bãi tắm đẹp như Ninh Chữ, Bình Tiên, Cà Ná, và Vịnh Vĩnh Hy. Hiện tượng nước trời (upwelling) làm tăng sản lượng sinh vật biển, hỗ trợ nghề cá và du lịch khám phá san hô. Khu vực có 120 loài san hô cứng, với các rạn san hô điển hình như Sơn Hải và Mỹ Hòa, tạo điều kiện cho các hoạt động lặn biển và nghiên cứu sinh thái. Các đầm và vịnh như đầm Nai và Vịnh Hy cung cấp không gian cho nuôi trồng thủy sản, với các loài có giá trị kinh tế cao. Vịnh Vĩnh Hy, với các bãi cát trắng, núi đá cao, và dòng suối len lỏi giữa rừng, là một trong những vịnh biển đẹp nhất Việt Nam. Bãi biển Ninh Chữ, dài khoảng 10 km, được bình chọn là một trong 10 bãi biển đẹp nhất cả nước, thu hút du khách bởi bãi cát dài và không gian thoáng đãng. Các bãi tắm nhỏ hơn như bãi Hời, bãi Thùng, và Hòn Đỏ mang lại trải nghiệm hoang sơ, phù hợp cho du lịch khám phá.

- **Tài nguyên thủy văn:** Mặc dù chiếm tỷ lệ nhỏ trong cảnh quan tổng thể, các suối, hồ, đầm, và thác tại khu vực này là những điểm nhấn du lịch quan trọng. Đầm Nai, với diện tích 1.200 ha, là một trong 12 đầm phá lớn nhất Việt Nam, nổi bật với cảnh quan hoàng hôn và nguồn thủy sản phong phú. Suối Lồ Ổ, nằm tại Vịnh Vĩnh Hy, là điểm đến lý tưởng cho du lịch khám phá thiên nhiên, với dòng nước trong xanh len lỏi giữa rừng. Các yếu tố thủy văn này không chỉ góp phần vào đa dạng sinh học mà còn tạo nên các không gian cảnh quan đặc trưng, thu hút du khách.

3.2. Khung văn hóa: Các yếu tố xã hội và lịch sử

Khung văn hóa bao gồm các yếu tố tín ngưỡng, phong tục, lịch sử, và kinh tế định hình không gian ven biển tại khu du lịch quốc gia Ninh Chữ.

- **Tín ngưỡng và tôn giáo:** Đây là yếu tố quan trọng định hình các không gian tâm linh, tháp Chăm Po Klong Garai, một di sản văn hóa quốc gia, không chỉ là biểu tượng của văn hóa Chăm mà còn là điểm đến du lịch tâm linh. Các lễ hội như Katê, được tổ chức hàng năm tại các tháp Chăm, thu hút du khách trong và ngoài nước. Lễ cầu ngư, một phong tục truyền thống của các làng chài, phản ánh tín ngưỡng thờ cá Ông và mong ước mùa màng bội thu, góp phần tạo nên bản sắc văn hóa ven biển.



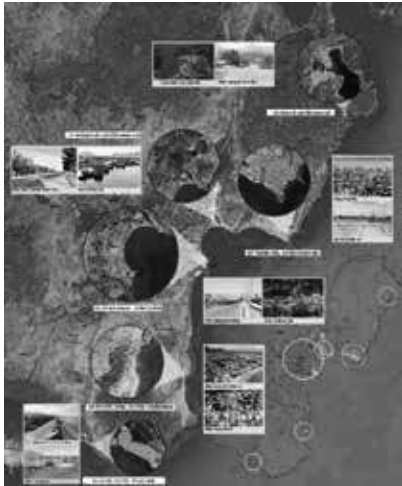
Hình 3. Lễ hội Kate ở Tháp Chăm Po Klong Garai và làng gốm Bàu Trúc ở Ninh Thuận (cũ) Nguồn: <https://ninhphuoc.ninhthuan.gov.vn>

- **Phong tục tập quán:** Tại khu vực phía nam Khánh Hòa, nghề dệt thổ cẩm Chăm tại làng Mỹ Nghiệp, làng gốm Bàu Trúc với các sản phẩm thủ công tinh xảo thu hút du khách. Các làng chài như Hải Chữ và Nhơn Hải, với các hoạt động đánh cá và sinh hoạt cộng đồng sôi động, tạo nên các không gian văn hóa sống động, phù hợp cho du lịch trải nghiệm.

- **Lịch sử và ký ức tập thể:** Lịch sử và ký ức tập thể tạo nên các không gian mang ý nghĩa biểu tượng. Tại đây, di sản Chăm, với các tháp và làng nghề, là minh chứng cho lịch sử lâu đời của vùng đất này. Các làng chài truyền thống, với các hoạt động đánh cá hàng trăm năm, là không gian lưu giữ ký ức về mối quan hệ giữa con người và biển.

- **Xã hội và kinh tế:** Cơ cấu xã hội và kinh tế định hình cách không gian được phân bố. Các làng chài ven phát triển dựa trên nghề cá và nuôi trồng thủy sản, trong khi các khu vực như TP Phan Rang - Tháp Chàm (địa danh cũ) tập trung vào thương mại và du lịch. Sự phát triển của các khu nghỉ dưỡng cao cấp, như Amanoi, đã biến một số khu vực ven biển thành

điểm đến du lịch quốc tế, đồng thời tạo ra các thách thức về bảo vệ cảnh quan tự nhiên và văn hóa.



Hình 4. Sự tương tác giữa khung tự nhiên và văn hóa trên dải ven biển. Nguồn: Nhóm tác giả

3.3. Sự tương tác giữa khung tự nhiên và văn hóa

Sự tương tác giữa khung tự nhiên và văn hóa là yếu tố cốt lõi định hình không gian đặc trưng của tại khu vực phía Nam tỉnh Khánh Hòa.

Bảng 1. Phân tích hình thái các không gian đặc trưng dọc theo khu du lịch quốc gia Ninh Chữ. Nguồn: Tác giả

STT	MÔ TẢ	CẤU TRÚC			ĐẶC TRƯNG HÌNH THÁI KHUNG TỰ NHIÊN - VĂN HÓA	TIỀM NĂNG DU LỊCH
1	Không gian vách đá tiếp cận trực tiếp với mặt biển				Các dãy núi chạy ra biển, hình thành vách đá cao, tạo điểm nhìn đẹp.	Du lịch ngắm cảnh, leo núi, chụp ảnh.
2	Bãi tắm tiếp cận trực tiếp với mặt biển				Bãi cát được bao bọc bởi núi, địa hình thung lũng, mặt biển thoáng.	Du lịch nghỉ dưỡng, tắm biển, khám phá thiên nhiên.
3	Bãi tắm tiếp cận trực tiếp với mặt biển và đường giao thông				Bãi cát dài, kết nối trực tiếp với đường bờ biển, địa hình bằng phẳng.	Du lịch đại chúng, thể thao biển.
4	Bãi tắm tiếp cận trực tiếp với mặt biển và không gian sản xuất nông nghiệp				Khu vực có địa hình bằng phẳng. Dễ dàng kết nối với bãi cát từ đường giao thông chính bằng ngang qua không gian nông nghiệp.	Đa dạng hóa các hoạt động trên bãi biển. Phù hợp phát triển đô thị du lịch, cung cấp các dịch vụ du lịch.
5	Không gian văn hóa tiếp cận trực tiếp với mặt nước				Làng chài, không gian sinh hoạt sôi động, bao quanh bởi núi và biển.	Du lịch trải nghiệm văn hóa, tham quan làng chài.
6	Không gian dân cư và nông nghiệp xen kẽ, không có bãi tắm				Khu vực dân cư ven biển, phát triển dọc theo hệ thống đường bộ, xen giữa là không gian sản xuất nông nghiệp như trồng lúa, hoa màu.	Hoạt động gắn kết các yếu tố đời sống - nông nghiệp - thương mại - dịch vụ du lịch. Phát triển các Hub động lực, đảm bảo liên kết giữa các trung tâm với nhau và với không gian ở xung quanh.
7	Không gian nuôi trồng thủy sản và nông nghiệp tiếp cận trực tiếp giao thông				Khu vực nuôi trồng thủy sản ven biển tiếp cận trực tiếp với không gian nông nghiệp và liên kết đến trục giao thông thông qua các tuyến giao thông nhỏ hơn.	Sản xuất thủy sản, trở thành nguồn cung thủy sản lớn trong tỉnh. Hỗ trợ động lực, đảm bảo liên kết giữa các trung tâm và không gian xung quanh.
8	Không gian Đầm Nại				Không gian Đầm Nại là trung tâm, là vùng cảnh quan cốt lõi với hệ sinh thái đất ngập nước và cảnh quan tự nhiên.	Nghỉ dưỡng sinh thái xen kẽ với không gian thương mại vừa và nhỏ, đa dạng hóa sản phẩm du lịch.

Không gian là sự kết hợp giữa thực thể vật lý và ý nghĩa tưởng tượng, chịu ảnh hưởng từ cả tự nhiên lẫn văn hóa. Các ví dụ tiêu biểu bao gồm:

- Làng chài Hải Chữ: Tận dụng địa hình bãi cát để phát triển nghề cá, đồng thời hình thành lễ hội cầu ngư, phản ánh sự tích hợp giữa tự nhiên (biển) và văn hóa (tín ngưỡng).
- Vịnh Vĩnh Hy: Địa hình núi-biển tạo điều kiện cho du lịch sinh thái, trong khi các hoạt động nuôi trồng thủy sản và văn hóa làng chài định hình không gian văn hóa-kinh tế.
- Tháp Chăm Po Klong Garai: Được xây dựng trên địa hình đồi cao, hài hòa với nguyên tắc phong thủy, tháp không chỉ là công trình kiến trúc mà còn là biểu tượng văn hóa Chăm.

Tuy nhiên, xung đột giữa khung tự nhiên và văn hóa cũng xuất hiện. Sự phát triển của các khu nghỉ dưỡng và đô thị hóa có thể làm suy giảm cảnh quan tự nhiên, như xói mòn bờ biển hoặc suy thoái rạn san hô. Biến đổi khí hậu, với nước biển dâng và thời tiết cực đoan, là một thách thức lớn, đe dọa cả hệ sinh thái và sinh kế của các cộng đồng ven biển.

4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu xác định 11 hình thái cảnh quan đặc trưng tại khu vực ven biển phía Nam tỉnh Khánh Hòa, phân loại theo cấu trúc tự nhiên và văn hóa. Dưới đây là một số hình thái tiêu biểu:

STT	MÔ TẢ	CẤU TRÚC		ĐẶC TRƯNG HÌNH THÁI KHUNG TỰ NHIÊN - VĂN HÓA	Tiềm năng du lịch
9	Không gian dân cư ven mặt nước			Phần dân cư hai bên đoạn của biển dẫn vào Đầm Nại, có cảnh quan sông nước và kết nối với hệ sinh thái đầm	Đa dạng hóa các loại hình tiện ích công cộng, chức năng công cộng, thương mại, và du lịch cộng đồng.
10	Không gian du lịch tiếp cận với đường giao thông và bãi tắm			Không gian phục vụ du lịch hỗn hợp bao gồm hệ thống khách sạn, resort, công viên công cộng,... nằm sát biển.	Đa dạng hóa các sản phẩm hoạt động du lịch. Giữ gìn tính toàn vẹn của bãi biển, có các biện pháp ứng xử với mặt biển, giữ gìn cảnh quan môi trường.
11	Không gian đổi cát tiếp cận bãi biển			Khu vực đổi cát lớn gần bãi biển, tạo cảnh quan sa mạc độc đáo kết hợp với không gian biển.	Du lịch mạo hiểm (trượt cát, xe địa hình), tham quan cảnh quan đổi cát, và chụp ảnh thiên nhiên.

Với các phân tích phân cụm theo các tiêu chí của không gian đặc trưng, nghiên cứu mô hình hóa khung cấu trúc các hình thái cảnh quan tại khu du lịch được tổ chức thành ba nhóm chính trên 11 hình thái phía trên :

- 1. **Cảnh quan tự nhiên:** Bao gồm bãi biển, vách đá, đổi cát, và rừng, tập trung vào khai thác du lịch sinh thái và nghỉ dưỡng.
- 2. **Cảnh quan văn hóa:** Làng chài, di sản Chăm, và lễ hội, phù hợp cho du lịch trải nghiệm và văn hóa.
- 3. **Cảnh quan hỗn hợp:** Kết hợp tự nhiên và văn hóa, như các bãi tắm giáp làng chài, phù hợp cho du lịch tổng hợp.

5. THẢO LUẬN

5.1. Tiềm năng phát triển du lịch dựa trên không gian đặc trưng
Khu nghiên cứu sở hữu các không gian đặc trưng độc đáo, được hình thành từ sự giao thoa giữa khung tự nhiên và văn hóa. Những tiềm năng này mở ra cơ hội cho nhiều loại hình du lịch, từ sinh thái, văn hóa, đến nghỉ dưỡng cao cấp du lịch quốc gia Ninh Chữ.

- Phát triển du lịch sinh thái: Vườn quốc gia Núi Chúa, là một trong những điểm đến sinh thái hàng đầu tại Đông Nam Á. Các rạn san hô tại Vịnh Vĩnh Hy và Sơn Hải cung cấp cơ hội cho các hoạt động lặn biển, khám phá đa dạng sinh học, và nghiên cứu khoa học. Tại khu vực, các tour trekking qua rừng Núi Chúa hoặc lặn biển tại Vịnh Vĩnh Hy có thể thu hút du khách quốc tế, đặc biệt là những người yêu thích thiên nhiên và phiêu lưu. Khu du lịch Amani, nằm gần Vườn quốc gia Núi Chúa, đã thành công trong việc kết hợp cảnh quan tự nhiên (bãi biển, núi, rừng) với các dịch vụ nghỉ dưỡng cao cấp, tạo ra mô hình du lịch sinh thái bền vững. Các hoạt động như quan sát động vật hoang dã hoặc tham quan hệ sinh thái khó hạn có thể được mở rộng để tăng sức hấp dẫn của khu vực.

- Du lịch văn hóa: Di sản văn hóa Chăm, với các tháp như Po Klong Garai và các làng nghề như Mỹ Nghiệp (dệt thổ cẩm) và Bàu Trúc (gốm), là nguồn tài nguyên văn hóa quan trọng. Lễ hội Katê, tổ chức hàng năm, không chỉ mang ý nghĩa tâm linh mà còn là cơ hội để quảng bá văn hóa Chăm đến du khách. Các làng chài như Hộ Hải và Nhơn Hải, với lễ hội cầu ngư và hoạt động đánh cá truyền thống, cung cấp trải nghiệm văn hóa sống động, phù hợp với xu hướng du lịch trải nghiệm. Không gian văn hóa là biểu hiện của các giá trị cộng đồng, các không gian này không chỉ là điểm đến mà còn là nơi lưu giữ ký ức tập thể, tạo nên bản sắc độc đáo. Việc tổ chức các tour du lịch văn hóa, kết hợp tham quan tháp Chăm, trải nghiệm nghề dệt thổ cẩm, và tham gia lễ hội cầu ngư, có thể nâng cao giá trị du lịch và mang lại lợi ích kinh tế cho cộng đồng địa phương.

- Du lịch nghỉ dưỡng: Các bãi biển như Ninh Chữ, Bình Tiên, và Cà Ná, với cát trắng mịn và không gian thoáng đãng, là nền tảng cho du lịch nghỉ dưỡng. Các khu nghỉ dưỡng cao cấp như Amani đã khẳng định vị thế trên bản đồ du lịch quốc tế, hướng đến phân khúc khách hàng cao cấp.

- Du lịch mạo hiểm: Đổi cát Nam Cương và các vách đá tại Mũi Đá Vách cung cấp không gian lý tưởng cho các hoạt động thể thao mạo hiểm như

trượt cát, leo núi, và đua xe địa hình. Các hoạt động này không chỉ thu hút giới trẻ mà còn góp phần đa dạng hóa sản phẩm du lịch. Đổi cát Nam Cương, với địa hình thoải nhẹ và diện tích lớn, có thể được phát triển thành trung tâm thể thao sa mạc, tương tự như các điểm đến nổi tiếng ở Dubai.

5.2. Thách thức trong khai thác không gian đặc trưng

Mặc dù sở hữu tiềm năng lớn, việc phát triển du lịch tại khu du lịch quốc gia Ninh Chữ đối mặt với nhiều thách thức, từ tác động của biến đổi khí hậu, đô thị hóa và phát triển thiếu kiểm soát, đến bảo tồn văn hóa và quản lý tài nguyên. Di sản văn hóa Chăm là một trong những điểm nhấn của tỉnh Khánh Hòa, nhưng việc bảo tồn và quảng bá chưa được thực hiện hiệu quả. Nhiều tháp Chăm đang xuống cấp, trong khi các làng nghề như dệt thổ cẩm và gốm Bàu Trúc thiếu sự hỗ trợ để duy trì và phát triển. Điều này đặt ra thách thức văn hóa là yếu tố cốt lõi trong việc tạo ra không gian đặc trưng, và sự mai một văn hóa có thể làm giảm sức hấp dẫn của điểm đến.

6. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã xác định các hình thái cảnh quan đặc trưng của khu vực ven biển phía nam tỉnh Khánh Hòa, từ đó đánh giá được các tiềm năng phát triển du lịch hướng đến bền vững. Việc khai thác hợp lý các giá trị tự nhiên và văn hóa không chỉ thúc đẩy kinh tế mà còn góp phần bảo vệ môi trường và bản sắc địa phương.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Geertz, C. (1973). The Interpretation of Cultures. New York: Basic Books.
[2]. Hall, E. T. (1966). The Hidden Dimension. New York: Doubleday.
[3]. Hoàng Đạo Kính (1995). Kiến trúc dân gian Việt Nam. Hà Nội: NXB Văn hóa.
[4]. Lefebvre, H. (1974). The Production of Space. Oxford: Blackwell.
[5]. Lynch, K. (1960). The Image of the City. Cambridge: MIT Press.
[6]. Nguyễn Đình Toàn (2005). Không gian kiến trúc làng cổ Việt Nam. Hà Nội: NXB Xây dựng.
[7]. Rapoport, A. (1969). House Form and Culture. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
[8]. Sauer, C. (1925). The Morphology of Landscape. Berkeley: University of California Press.
[9]. Soja, E. (1996). Thirdspace: Journeys to Los Angeles and Other Real-and-Imagined Places. Oxford: Blackwell.
[10]. UNESCO (1999). Hoi An Ancient Town. Retrieved from <https://whc.unesco.org/en/list/948>.
[11]. Ủy ban nhân dân tỉnh Khánh Hòa, (2021), Đề án phát triển du lịch tỉnh phía Nam tỉnh Khánh Hòa giai đoạn 2021-2025, tầm nhìn đến năm 2030.
[12]. Vidal de la Blache, P. (1911). Tableau de la géographie de la France. Paris: Hachette.

Nghiên cứu đề xuất bộ tiêu chí ứng dụng GIS mô phỏng các lớp tiêu chí, làm cơ sở đánh giá và lựa chọn quy hoạch hệ thống tunnel kỹ thuật đa tiện ích tại trung tâm TP Đà Nẵng

The study proposes a set of criteria GIS application simulates criteria layers to serve as a basis for evaluating and selecting the planning of a multi-utility technical tunnel system in the center of Da Nang City

> THS NGUYỄN THẾ LỮ

Ban Quản lý các dự án đầu tư cơ sở hạ tầng ưu tiên TP Đà Nẵng

Email: nguyenthelu1@gmail.com

TÓM TẮT

Trong bối cảnh đô thị hóa nhanh và nhu cầu sử dụng không gian ngầm ngày càng tăng tại các thành phố lớn của Việt Nam, đặc biệt là Đà Nẵng. Việc thực hiện các phương án quy hoạch hệ thống tunnel kỹ thuật đa tiện ích đóng vai trò quan trọng trong vấn đề nghiên cứu giải pháp tích hợp các hệ thống hạ tầng kỹ thuật đô thị, góp phần nâng cao hiệu quả quản lý và phát triển đô thị bền vững. Nghiên cứu này tập trung xây dựng và đề xuất bộ tiêu chí đánh giá, lựa chọn phương án quy hoạch hệ thống tunnel kỹ thuật đa tiện ích cho khu vực trung tâm TP Đà Nẵng, cụ thể trên các trục đường chính của trung tâm. Đồng thời ứng dụng công nghệ GIS để mô phỏng, phân tích và trực quan hóa các lớp thông tin không gian tương ứng với từng nhóm tiêu chí được xây dựng.

Phương pháp nghiên cứu được lựa chọn thực hiện: Điều tra khảo sát; phân tích, so sánh tổng hợp; kế thừa và tham vấn ý kiến chuyên gia; phương pháp bản đồ; và phương pháp AHP (Analytic Hierarchy Process). Ứng dụng hệ thống thông tin địa lý (GIS) để mô phỏng các lớp tiêu chí, từ đó xác định các khu vực phù hợp cho bố trí hệ thống tunnel kỹ thuật đa tiện ích. Kết quả nghiên cứu cho thấy, việc tích hợp các công cụ hỗ trợ ra quyết định AHP trên nền GIS giúp đánh giá trực quan, định lượng và minh bạch hơn trong lựa chọn phương án quy hoạch. Bộ tiêu chí được đề xuất có thể áp dụng linh hoạt cho các đô thị khác của Việt Nam không chỉ riêng Đà Nẵng trong công tác quy hoạch hạ tầng ngầm, góp phần hướng tới phát triển đô thị thông minh và khai thác hiệu quả không gian ngầm.

Từ khóa: Tiêu chí quy hoạch MUTS, quy hoạch MUTS, phương pháp AHP.

ABSTRACT

In the context of rapid urbanization and the increasing demand for underground space in major cities of Vietnam in general and Da Nang in particular, the implementation of multi-utility technical tunnel system planning options plays a very important role in the research of integrated solutions for urban technical infrastructure systems to bring about efficiency in management and sustainable development for the city. This study focuses on developing and proposing a set of criteria for evaluating and selecting multi-utility technical tunnel system planning options for the central area of Da Nang city specifically on the main roads of the center, at the same time applying GIS technology to simulate, analyze and visualize spatial information layers corresponding to each group of criteria built.

The research methods selected for implementation are: Investigation and survey; comparative analysis and synthesis; inheritance and consultation with experts; map method; AHP (Analytic Hierarchy Process) method. Applying geographic information system (GIS) to simulate criteria layers, thereby determining suitable areas for arranging multi-utility technical tunnel systems. Research results show

that integrating AHP decision support tools on GIS platform helps to evaluate more intuitively, quantitatively and transparently in choosing planning options. The proposed set of criteria can be flexibly applied to other urban areas in Vietnam, not only in Da Nang, in underground infrastructure planning, contributing towards smart urban development and effective use of underground space.

Keywords: MUTS planning criteria, MUTS planning, AHP method.

1. GIỚI THIỆU [1]

Trong bối cảnh đổi mới và hội nhập, trung tâm TP Đà Nẵng sở hữu bờ biển dài khoảng 74 km, cảng nước sâu Tiên Sa, thềm lục địa rộng 200 m và nhiều bãi biển nổi tiếng như Mỹ Khê, Non Nước, Thanh Khê, Nam Ô, Làng Vân... Đây là những lợi thế nổi bật để phát triển kinh tế biển, du lịch, thương mại và giao lưu quốc tế; là khu vực trung tâm hành chính, thương mại và dịch vụ quan trọng của thành phố, đóng vai trò là hạt nhân trong chiến lược phát triển đô thị theo mô hình đa cực mà Đà Nẵng đang hướng tới. Vị trí và ranh giới đô thị trung tâm TP Đà Nẵng được xác định cụ thể trong quy hoạch chung xây dựng TP Đà Nẵng đến năm 2030 tầm nhìn đến năm 2045 và đã được Thủ tướng Chính phủ phê duyệt.

Với sự cần thiết đó, đề tài "Nghiên cứu đề xuất bộ tiêu chí (ứng dụng GIS mô phỏng các lớp tiêu chí) nhằm làm cơ sở đánh giá lựa chọn quy hoạch hệ thống tunnel kỹ thuật đa tiện ích tại trung tâm TP Đà Nẵng" áp dụng các phương pháp nghiên cứu định lượng như phân tích đa tiêu chí MCDM, phân tích thứ bậc - AHP (Analytic Hierarchy Process) để thực hiện hiệu quả vấn đề nghiên cứu. Kết quả nghiên cứu không chỉ góp phần giải quyết bất cập hạ tầng hiện nay mà còn đóng vai trò quan trọng trong định hướng phát triển TP Đà Nẵng theo hướng thông minh, bền vững, xứng tầm là trung tâm động lực của khu vực miền Trung và Tây Nguyên.

2. TỔNG QUAN CÁC NGHIÊN CỨU LIÊN QUAN VÀ LỰA CHỌN ĐỐI TƯỢNG ĐIỂN HÌNH NGHIÊN CỨU TẠI TRUNG TÂM TP ĐÀ NẴNG

2.1. Underground Infrastructures Planning, Design, and Construction (Quy hoạch, thiết kế và xây dựng cơ sở hạ tầng ngầm) tác giả R. K. Goel; Bhawani Singh; Jian Zhao. [2]

- Cuốn sách này được viết dành cho các chuyên gia trong lĩnh vực thiết kế không gian ngầm với nhiều mục đích sử dụng khác nhau. Tốt hơn là nhóm không gian ngầm thành nhiều loại khác nhau dựa trên các thông số như vị trí, hình dạng, hình học và mục đích sử dụng. Phân loại như vậy hữu ích cho các nhà thiết kế trong việc hiểu nhóm/lớp không gian ngầm nào mà họ đang xử lý.

- Bản chất đa dạng và chồng chéo của các tham số phân loại này không cho phép có một lược đồ phân loại theo thứ bậc duy nhất. Thay vào đó, các tham số này hữu ích nhất trong lược đồ phân loại theo kiểu từ khóa, có thể cho phép nhóm các dự án theo nhiều cách khác nhau theo bất kỳ sự kết hợp mong muốn nào của các tham số phân loại. Những thành phố ngầm tuyệt đẹp là giấc mơ của các kỹ sư xây dựng và khai khoáng, kiến trúc sư, nhà quy hoạch đô thị và nhà địa chất. Mọi người ở khắp mọi nơi đều thích tàu điện ngầm, trung tâm mua sắm ngầm gần đó và công viên ngầm trong thế kỷ 21. Tính hữu ích của cơ sở hạ tầng ngầm trong kinh doanh không hề kém ở các quốc gia phát triển và đang phát triển. Sự an toàn trước những trận động đất, lở đất, lốc xoáy và chiến tranh tàn phá lớn là điểm thu hút chính ở các thành phố ngầm.

2.2. Multi-Criteria Spatial Analysis of Multi-Purpose Utility Tunnels (Phân tích không gian đa chiều của đường hầm tiện ích đa năng), tác giả Yis ha Luo. [3]

- Việc lắp đặt các tiện ích ngầm (như cáp điện, ống nước, ống gas) bằng phương pháp đào xới lắp đi lắp lại đã gây ra nhiều vấn đề đô thị nghiêm trọng như tắc nghẽn giao thông, xung đột bảo trì và làm tăng đáng kể chi phí xã hội. Ngoài ra, sự can thiệp của các tiện ích ngầm trong không gian ngầm hạn chế không đáp ứng yêu cầu phát triển không gian ngầm đô thị bền vững.

- Đường hầm tiện ích đa năng (MUTs - Multi-purpose Utility Tunnels) là một giải pháp thay thế hiệu quả. MUTs tích hợp tất cả các tiện ích ngầm trong một đường hầm duy nhất, dễ tiếp cận. Điều này giúp giảm nhu cầu đào xới, giảm chi phí liên quan và tránh được tình trạng tắc nghẽn giao thông do xây dựng. MUTs cũng cho phép kiểm tra và bảo trì các tiện ích quanh năm.

- Nghiên cứu đã chứng minh rằng việc kết hợp GIS và MCDM là một phương pháp có cấu trúc, hệ thống và hiệu quả để giải quyết tính phức tạp của việc lựa chọn vị trí MUTs trong môi trường đô thị hiện có. Kinh nghiệm châu Á: Kinh nghiệm quy hoạch, xây dựng và quản lý MUTs ở châu Á, đặc biệt là Trung Quốc, cung cấp một mô hình thay thế hữu ích để các quốc gia khác đánh giá tính khả thi của việc áp dụng MUTs cho các dự án cải tạo cơ sở hạ tầng trong tương lai. Bằng cách tính toán và kết hợp điểm số của từng đoạn đường (dựa trên dữ liệu GIS) với trọng số của từng tiêu chí (tính bằng AHP), nghiên cứu đã đưa ra một bảng xếp hạng rõ ràng về các vị trí tiềm năng nhất để xây dựng MUTs.

2.3. Đề tài "Giải pháp đường hầm thông minh cho đô thị Hà Nội", tác giả Hồ Bá Tuấn Anh, Nguyễn Trường Huy. [4]

- Đường hầm thông minh là một trong những dự án đem lại nhiều lợi ích cho người dân, để giải quyết ìu lút và tắc nghẽn giao thông. Đây là loại đường hầm đã áp dụng thành công trên thế giới kết hợp kênh thoát lũ và đường giao thông trong cùng một hệ thống ngầm (Malaysia). Hệ thống giao thông ở đô thị Hà Nội cần đường hầm này vì nó là giải pháp tốt nhất cho những vấn đề hiện tại.

- Kết quả chính của nghiên cứu nhằm đánh giá hiệu quả, để hiểu công nghệ và máy móc có thể ứng dụng ở dự án này đối với đô thị Hà Nội. Đường hầm vẫn còn mới ở Malaysia vì có rất ít thông tin liên quan đến dự án, vì vậy chúng ta phải tiến hành đánh giá khi ứng dụng vào đô thị Hà Nội. Hệ thống công trình ngầm đóng vai trò quan trọng, cung cấp giải pháp giao thông mới cho các khu vực đô thị cũng như vùng sâu, vùng xa trong tương lai.

- Nhóm tác giả đã đề xuất tuyến hầm, kích thước và hình dạng của hầm. Dựa vào số liệu khảo sát địa chất của tuyến hầm để tiến hành tính toán thiết kế đường hầm. Mặt cắt ngang hầm được mô hình hóa trong phần mềm Plaxis 3D V20 sẽ cho kết quả sát với điều kiện thi công thực tế. Đây là điểm khác biệt, làm nổi bật tính mới, tính khoa học của đề tài. Bài báo đã phân tích từ việc đánh giá tính ứng dụng khả thi, hướng tuyến, thông số hầm, đề xuất quy trình thi công và quản lý rủi ro để đảm bảo việc ứng dụng khả thi đường hầm thông minh.

2.4. Đối tượng nghiên cứu cụ thể các trục đường chính trung tâm TP Đà Nẵng[5]



Hình 1. Thực trạng các tuyến trục chính trung tâm TP Đà Nẵng

3. PHƯƠNG PHÁP

3.1. Phương pháp MCDM và AHP

a) Phương pháp đa tiêu chí MCDM [6]

Việc lựa chọn địa điểm cho MUTS là một giai đoạn quan trọng trong việc lập kế hoạch MUTS và nó rất phức tạp vì nó phụ thuộc vào một số tiêu chí, chẳng hạn như lưu lượng giao thông và mật độ tiện ích... Điều này nghiên cứu cung cấp một phương pháp chung để lựa chọn vị trí MUTS ở các quy mô đô thị khác nhau (ví dụ đường phố, quận, huyện) bằng cách sử dụng phân tích không gian Hệ thống thông tin địa lý (GIS). Quá trình ra quyết định đa tiêu chí (Multi-Criteria Decision Making - MCDM) bao gồm một tập hợp các phương pháp cho phép xử lý sự đánh đổi giữa nhiều phương án thay thế dựa trên một tập hợp các tiêu chí khác nhau. Lựa chọn vị trí MUTS sử dụng mô hình MCDM. Sau khi thu thập dữ liệu, dữ liệu GIS và thực trạng được xử lý trước dựa trên từng đoạn đường bằng các thao tác như nối bảng, chồng lớp các lớp dữ liệu và kết hợp các phần đoạn nhỏ. Tất cả các lớp dữ liệu đều được chuẩn hóa. Trọng số của các tiêu chí được lấy từ phương pháp AHP được sử dụng để tính toán điểm đánh giá toàn diện của đường các phần đoạn. Điểm đánh giá toàn diện được xếp hạng để lựa chọn các phần đoạn đường tiềm năng để xây dựng MUTS.

Bảng 1. Chỉ số ngẫu nhiên ứng với số các tiêu chí

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.54	1.56	1.57	1.59

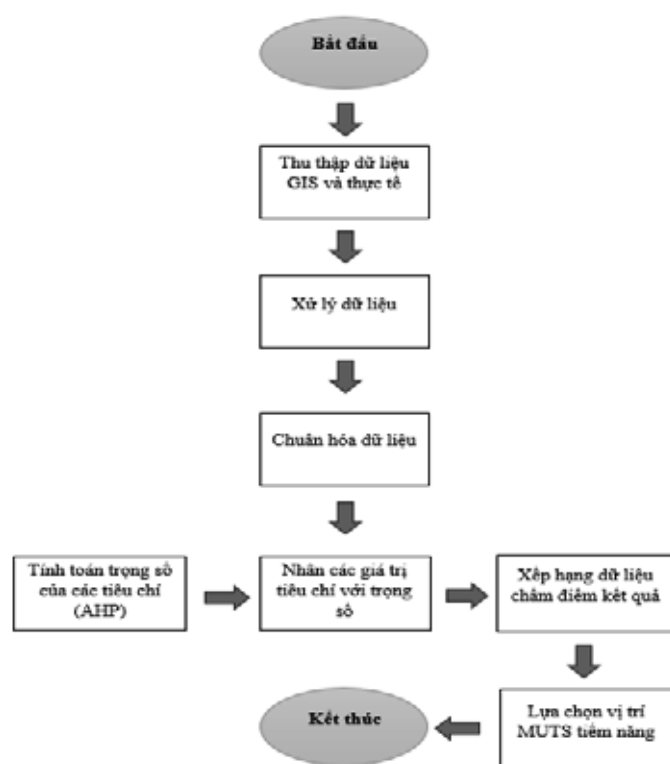
- Công thức 1 và công thức 2:

$\lambda_{\max}$ là giá trị riêng lớn nhất của ma trận so sánh cặp ($n \times n$), giá trị riêng lớn nhất luôn luôn lớn hơn hoặc bằng số hàng hay cột n . Nhận định càng nhất quán, giá trị tính toán càng gần n (chính là kích thước ma trận tính toán):

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}; CR = \frac{CI}{RI}$$

3.2. Phương pháp kế thừa và tham vấn ý kiến chuyên gia [8]

Phương pháp tham vấn ý kiến chuyên gia (Expert Consultation/Expert Judgment) là phương pháp thu thập, phân tích và tổng hợp ý kiến từ những người có trình độ chuyên môn, kinh nghiệm thực tiễn trong một lĩnh vực nhất định nhằm giải quyết các vấn đề khoa học hoặc thực tiễn. Đây là phương pháp hữu ích khi dữ liệu định lượng còn hạn chế, đối tượng nghiên cứu phức tạp, hoặc khi cần dự báo, xây dựng kịch bản, lựa chọn giải pháp tối ưu. Theo Linstone & Turoff (2002), ý kiến chuyên gia có thể coi là một dạng "dữ liệu thay thế" (surrogate data), phản ánh tri thức và kinh nghiệm tích lũy, giúp đưa ra dự báo và quyết định trong điều kiện bất định. Các bước thực hiện:



Hình 2. Mô hình MCDM

b) Lý thuyết về phương pháp AHP [7]

Khái niệm: AHP (Analytic Hierarchy Process - Phương pháp phân tích thứ bậc) là một phương pháp ra quyết định đa tiêu chí (Multi-Criteria Decision Making - MCDM) do GS Thomas L. Saaty phát triển vào những năm 1970. Phương pháp này giúp đưa ra quyết định hợp lý khi phải lựa chọn giữa nhiều phương án dựa trên nhiều tiêu chí khác nhau. Phương pháp là phép đo trọng số của các yếu tố tiêu chí khác nhau, có thể được thực hiện bằng cách so sánh từng cặp ma trận. Trọng số tương đối của các tiêu chí và so sánh thay thế có thể được tính toán cho MCDM.

- Thành lập các nhóm chuyên gia tham gia vào quá trình quyết định cần đáp ứng các tiêu chuẩn;

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n w_i * \sum_{j=1}^n a_{ij}$$

- Tiếp đó, một bảng câu hỏi liên quan đến sự quan trọng của hệ thống hạ tầng kỹ thuật đối với việc bố trí hệ thống tuynel kỹ thuật đa tiện ích trên 1 số trục đường chính được đưa ra, và yêu cầu các chuyên gia đưa ra sự đánh giá tầm quan trọng của các tiêu chí thông qua so sánh cặp, từ đó xây dựng ma trận và tính toán trọng số.

3.3. Phương pháp điều tra khảo sát [8]

Phương pháp điều tra khảo sát là cách thu thập thông tin thông qua việc quan sát, phỏng vấn, phát phiếu hỏi, hoặc đo đạc trực tiếp tại hiện trường. Đây là phương pháp phổ biến trong nghiên cứu khoa học xã hội, kỹ thuật và quản lý đô thị, đặc biệt hữu ích khi cần số liệu gốc phản ánh thực trạng khách quan. Điều tra khảo sát là "một phương pháp khoa học nhằm thu thập dữ liệu có hệ thống từ một tập hợp đối tượng, nhằm mô tả, phân tích và đưa ra kết luận phục vụ cho nghiên cứu hoặc quản lý". Các bước thực hiện điều tra khảo sát:

- Xác định mục tiêu và phạm vi khảo sát xác định mục tiêu;
- Chuẩn bị công cụ và kế hoạch khảo sát: Tài liệu nền, bản đồ quy hoạch, hồ sơ hạ tầng kỹ thuật, báo cáo ngập lụt, bản đồ địa hình;

- Khảo sát hiện trường;

- Báo cáo kết quả khảo sát trình bày.

3.4. Phương pháp xử lý bản đồ [9]

Quy trình xử lý bản đồ trong nghiên cứu MUTS:

- Bước 1. Thu thập và chuẩn hóa dữ liệu: Thu thập bản đồ từ nhiều nguồn (quy hoạch, quản lý hạ tầng, khảo sát); Chuyển đổi định dạng về hệ tọa độ thống nhất (VN-2000 hoặc WGS84); Chuẩn hóa tỷ lệ bản đồ (thường dùng 1/2000 hoặc 1/5000 cho quy hoạch chi tiết).

- Bước 2. Số hóa và xây dựng cơ sở dữ liệu GIS: Số hóa (digitizing) các lớp dữ liệu từ bản đồ giấy hoặc ảnh raster; Xây dựng các lớp dữ liệu vector: đường giao thông, mạng lưới thoát nước, điểm ngập, vị trí cột điện, ống cấp nước...Gắn thuộc tính (attribute) cho từng đối tượng không gian (ví dụ: đường kính cống, tải trọng đường, công suất trạm điện).

- Bước 3. Chồng lớp bản đồ (Overlay Analysis): Chồng ghép các lớp dữ liệu tiêu chí (mật độ dân cư, giá đất, ngập lụt, HTKT hiện hữu); Xác định vùng phù hợp/không phù hợp cho xây dựng MUT.

- Bước 4. Chuẩn hóa và tính trọng số tiêu chí: Chuẩn hóa dữ liệu theo thang đo chung (ví dụ 0-1); Tích hợp kết quả từ MCDM (AHP, TOPSIS, v.v.) để gán trọng số cho từng lớp dữ liệu.

- Bước 5. Phân tích không gian: Sử dụng các công cụ GIS; Buffering (vùng ảnh hưởng quanh trục đường); Spatial Join (ghép dữ liệu thuộc tính với vị trí); Raster Calculation (tổng hợp chỉ số thích hợp); Xác định các tuyến/đoạn đường ưu tiên xây dựng MUT.

- Bước 6. Trực quan hóa và xuất bản đồ: Xuất bản đồ chuyên đề: bản đồ ngập lụt, bản đồ phân bố HTKT, bản đồ thích hợp xây dựng MUT; Trình bày kết quả dưới dạng bản đồ GIS (ArcGIS, QGIS) hoặc bản đồ hiện trạng - quy hoạch, kèm chú giải, ký hiệu, tỷ lệ.

4. KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

4.1. Xây dựng bộ tiêu chí đánh giá lựa chọn quy hoạch hệ thống tunnel kỹ thuật đa tiện ích trên các trục chính trung tâm Đà Nẵng

4.1.1. Đề xuất các tiêu chí và công thức tính toán

a) Đề xuất các tiêu chí tham vấn ý kiến chuyên gia đưa ra lựa chọn

Dự trên cơ sở đánh giá các nghiên cứu liên quan phần trên, tác giả đưa ra 12 tiêu chí phổ biến nhất nên áp dụng vào quyết định lựa chọn quy hoạch hệ thống tunnel kỹ thuật đa tiện ích trên các trục chính trung tâm TP Đà Nẵng:

- Lưu lượng giao thông trung bình hàng ngày (AADT): MUTs góp phần giảm đáng kể nhu cầu đào đường phục vụ công tác bảo trì, sửa chữa hạ tầng kỹ thuật. Điều này giúp hạn chế ùn tắc giao thông do thi công, đặc biệt trên các tuyến đường có AADT cao. Vì vậy, MUTs nên ưu tiên triển khai dưới những tuyến đường có mật độ giao thông lớn.

- Loại đường: Tương tự như AADT, các tuyến đường có phân cấp cao (quốc lộ, đường tỉnh, đường đô thị chính, cao tốc, v.v.) cần được ưu tiên do vai trò huyết mạch, đảm bảo lưu thông liên vùng và liên đô thị.

- Mật độ hạ tầng kỹ thuật ngầm (tiện ích): MUTs giúp giảm tần suất đào đường khi nâng cấp, thay thế các công trình ngầm. Do đó, các tuyến đường có mật độ hạ tầng kỹ thuật và tiện ích cao sẽ được ưu tiên lựa chọn. Mật độ này được đánh giá dựa trên: (i) tổng số lượng ống và cáp, (ii) quy mô và cấp độ tiện ích (đường kính ống cấp nước, điện áp cấp điện, áp suất đường ống khí, v.v.).

- Số lượng và tần suất đào xới để sửa chữa: Các khu vực thường xuyên phải đào xới để sửa chữa, bảo trì tiện ích nên được ưu tiên xây dựng MUTs. Việc đánh giá có thể dựa trên: (i) dữ liệu lịch sử số lần đào đường, (ii) kế hoạch nâng cấp, cải tạo hạ tầng của các đơn vị quản lý tiện ích và cơ quan giao thông.

- Số lượng các dự án phát triển ngầm: Việc triển khai MUTs có thể đồng thời với các dự án công trình ngầm khác như tuyến metro, lối đi bộ ngầm, trung tâm thương mại dưới lòng đất. Điều này giúp tiết kiệm chi phí đầu tư, tối ưu không gian ngầm và hạn chế trùng lặp thi công.

- Mật độ dân số: Khu vực có mật độ dân số cao thường có nhu cầu hạ tầng kỹ thuật lớn. Do đó, việc bố trí MUTs ở các khu vực này mang lại hiệu quả kinh tế - xã hội cao hơn.

- Đặc điểm sử dụng đất: Loại hình sử dụng đất (dân cư, thương mại, công nghiệp, hỗn hợp) phản ánh nhu cầu khác nhau về hạ tầng kỹ thuật và lưu lượng sử dụng dịch vụ. Chẳng hạn, khu vực thương mại và công nghiệp có yêu cầu hạ tầng kỹ thuật lớn hơn so với khu dân cư thuần túy.

- Gần các cơ sở công cộng: MUTs khi được xây dựng gần bệnh viện, trường học, trung tâm hành chính, v.v. sẽ phục vụ một lượng lớn người dùng, đồng thời giảm chi phí vận hành và quản lý.

- Gần các tòa nhà cao tầng: Tương tự các cơ sở công cộng, khu vực có nhiều tòa nhà cao tầng thường yêu cầu các kết nối kỹ thuật ngầm phức tạp. MUTs giúp đáp ứng nhu cầu này một cách tập trung và bền vững.

- Điều kiện địa chất (loại đất): Loại đất ảnh hưởng trực tiếp đến phương pháp và chi phí xây dựng. Các khu vực có địa chất thuận lợi (đất ổn định, ít đá cứng, không bị sạt lở) nên được ưu tiên để giảm chi phí thi công.

- Độ dốc của hệ thống tiện ích: Một số tiện ích như cống thoát nước, cống thải dựa trên nguyên tắc trọng lực. Độ dốc địa hình có thể làm tăng đáng kể chi phí nếu phải đưa vào MUTs. Vì vậy, yếu tố này cần được cân nhắc khi quyết định bố trí.

- Điều kiện ngập lụt: Việc xây dựng MUTs tại vùng đồng bằng ngập lụt làm tăng chi phí và rủi ro kỹ thuật. Đây là điều kiện cơ bản để loại trừ vị trí không phù hợp, thay vì chỉ là một tiêu chí bổ sung.

b) Kết quả đánh giá lựa chọn:

Sau khi xem xét 12 tiêu chí, chúng ta có thể loại bỏ được 4 tiêu chí dựa theo đánh giá thực trạng cũng như tìm hiểu theo các chuyên gia. Trong đó tiêu chí số 8 và tiêu chí số 9 sẽ gộp thành một tiêu chí, do tính chất của các công trình này đều có quy mô về số lượng người sử dụng và diện tích khai thác lớn. Đối với tiêu chí “đặc tính đất”, các chuyên gia cho rằng, trong điều kiện Đà Nẵng, tính đồng nhất là khá cao đối với lớp đất tầng nông, do đó có thể bỏ qua tiêu chí này. Đối với tiêu chí “độ dốc tiện ích”, các chuyên gia cho rằng phụ thuộc vào sự hợp lý của phương án thiết kế, và đảm bảo độ dốc tiện ích theo quy chuẩn và tiêu chuẩn. Vì vậy, tiêu chí “độ dốc tiện ích” có thể bỏ qua. Đối với tiêu chí “khu vực ngập lụt”, các chuyên gia cho rằng khu vực trung tâm, tại các trục đường chính đi qua, tần suất ngập lụt thấp, thời gian ngập ngắn (trong vòng 1 tiếng). Tiêu chí này cũng không ảnh hưởng nhiều tới việc lựa chọn bố trí MUTs. Vậy các tiêu chí lựa chọn đánh giá bố trí MUTs trên tuyến đường được liệt kê trong bảng sau:

Bảng 2. Tiêu chí đánh giá lựa chọn xác định quy hoạch hệ thống MUTS

STT	Tiêu chí
1	Lưu lượng giao thông trung bình hàng ngày (AADT)
2	Loại đường bộ
3	Mật độ tiện ích
4	Số lượng dự kiến đào xới để sửa chữa tiện ích
5	Dự án phát triển ngầm
6	Mật độ dân số
7	Sử dụng đất
8	Gần các cơ sở công cộng/cao tầng

Bảng 3. Các tiêu chí và công thức tính toán theo phương pháp AHP

STT	Tên tiêu chí	Giải thích	Công thức	Thước số
1	Loại tuyến đường	MUTs góp phần giảm đáng kể nhu cầu đầu tư đường phố và công tác bảo trì, sửa chữa hạ tầng kỹ thuật. Điều này giúp hạn chế áp lực chi phí đầu tư cho các tuyến đường có AADT cao. Vì vậy, MUTs nên ưu tiên triển khai trên những tuyến đường có mật độ giao thông lớn.	$N = k * P_{ij} * I_{ij} * H_{ij}$	H là hệ số độ lợi trung bình của 1 người dân Đà Nẵng (k=2.50) P _{ij} là số người tham gia loại hình vận tải (VD: xe đạp, xe máy, ô tô, xe buýt...) I _{ij} là hệ số số lượng phương tiện (Vận tải: xe đạp, xe máy, ô tô, xe buýt...) H _{ij} là loại tuyến đường được nghiên cứu (do các tuyến đường thuộc loại đường trục chính nên H _{ij} =0.40)
2	Loại đường	Tương tự như AADT, các tuyến đường có phân cấp cao (quốc lộ, đường tỉnh, đường đô thị chính, các trục, v.v.) cần được ưu tiên do vai trò huyết mạch, đảm bảo lưu thông liên vùng và tính độ thị.	$RC = \frac{\sum_{i=1}^n Length_i \times Score_i}{\sum_{i=1}^n Length_i}$	RC: Tổng điểm của đường Length: Chiều dài đường Score: Điểm của các tuyến đường
3	Mật độ dân số	MUTs giúp giảm tải sức ép đầu tư đường khi mật độ dân số cao (đặc biệt là các khu vực trung tâm). Do đó, các tuyến đường có mật độ dân số cao cần được ưu tiên để giảm tải áp lực giao thông, giảm chi phí đầu tư cho các tuyến đường khác.	$UD = \frac{UD_i - L_i}{L_i}$	UD = Mật độ dân số của một đoạn đường L _i = Chiều dài của các tuyến đường khác nhau L ₀ = Chiều dài của các tuyến đường khác nhau L ₁ = Chiều dài của các tuyến đường khác nhau
4	Mật độ dân số	Khu vực có mật độ dân số cao thường có nhu cầu hạ tầng kỹ thuật lớn. Do đó, việc bố trí MUTs ở các khu vực này mang lại hiệu quả kinh tế - xã hội cao hơn.	$PD_i = \frac{\sum_{i=1}^n Length_i \times PD_i}{\sum_{i=1}^n Length_i}$	PD: Mật độ dân số (= Tổng dân số / Diện tích) Length: Chiều dài đoạn đường PD _i : Mật độ dân số trong khu vực
5	Chỉ số CTEC/INCI	MUTs hỗ trợ giảm tải áp lực giao thông, giảm chi phí đầu tư, giảm chi phí vận hành và quản lý.		Số lượng xe tải trọng lớn được sử dụng trong vùng nghiên cứu được xác định dựa trên kết quả khảo sát thực địa và các báo cáo thống kê.
6	Số lượng dự kiến đầu tư	Các khu vực thường xuyên phải đầu tư để sửa chữa, bảo trì hiện tại nên được ưu tiên xây dựng MUTs. Việc đánh giá có thể dựa trên: (i) độ hiện tại của các tuyến đường, (ii) kế hoạch đầu tư, và (iii) các dự án đầu tư đang được thực hiện.	$N_i = \sum R_i * I_i$	NI = Số lượng dự kiến đầu tư R _i là tần suất trung bình (đầu tư/đầu tư) I _i là chi phí đầu tư trung bình
7	Độ an toàn	Việc triển khai MUTs có thể đồng thời với các công trình nâng cấp như: sửa chữa, bảo trì, thay thế, v.v. Điều này giúp giảm thiểu chi phí đầu tư, chi phí vận hành và chi phí quản lý.		Có thể điều chỉnh = 1 Không thể điều chỉnh = 0
8	Sử dụng đất	Loại hình sử dụng đất (dân cư, thương mại, công nghiệp, hỗn hợp) phản ánh nhu cầu đầu tư hạ tầng kỹ thuật và hạ tầng trong khu vực. Chẳng hạn, khu vực thương mại và công nghiệp có nhu cầu hạ tầng kỹ thuật lớn hơn so với khu dân cư thuần túy.	$LU = \frac{\sum_{i=1}^n Length_i \times Score_i}{\sum_{i=1}^n Length_i}$	LC: Tổng điểm của đường Length: Chiều dài đường Score: Điểm của các tuyến đường

4.1.2. Kết quả nghiên cứu điển hình trên các trục chính trung tâm TP Đà Nẵng

Bảng 4. Kết quả tính toán điểm các tuyến trục chính trên cơ sở 8 tiêu chí lựa chọn

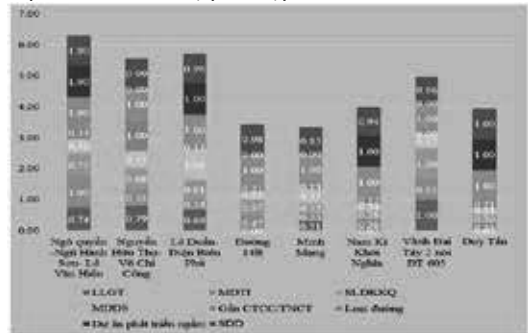
	Ngo Quyển - Ngũ Hành Sơn - Lê Văn Hiến	Ngô Quyền - Ngũ Hành Sơn - Lê Văn Hiến	Lê Duẩn - Điện Biên Phủ	Đường 14B	Minh Mạng	Nam Kỳ Khởi Nghĩa	Vành Đai Tây 2 (Vành Đai 2 cũ)	Duy Tân
AADT	0.74	0.79	0.69	0	0.31	0.02	1	0
RC	1	0.53	0.34	0.47	0.25	0.36	0.65	0.24
UD	0.77	0.68	0.61	0.57	0.32	0.38	1	0.30
MD	0.48	0.57	1	0.22	0.47	0.24	0.47	0.21
Chỉ số CTEC/INCI	0.53	1	0.13	0.21	0.13	0.17	0	0.21
Loại đường	1	1	1	1	1	1	1	1
Độ an toàn	1	0	1	0	0	1	0	1
DD	1	0.99	0.96	0.98	0.87	0.94	0.96	1
Tổng điểm theo phương án	3.03	2.97	2.72	2.68	2.63	2.67	3.97	2.95
Trọng số phương án	22%	21%	19%	19%	19%	19%	29%	19%
Tổng điểm sau khi tính trọng số	1.43	0.98	0.84	0.27	0.23	0.27	0.67	0.39

Đánh giá mức độ lựa chọn ưu tiên có thể chia giai đoạn thực hiện quy hoạch hệ thống MUTs trên các trục chính trung tâm Đà Nẵng: Để đánh giá mức độ tác động của các tiêu chí tới việc ưu tiên lựa chọn bố trí MUTs trên các tuyến đường trục chính, tác giả dựa trên bảng kết quả tính toán điểm các phương án khi chưa tính đến trọng số phương án. Sau đó sẽ có những so sánh với kết quả tính toán phương án có kể đến trọng số, để thấy sự thay đổi về thứ tự ưu tiên các tuyến đường bố trí MUTs.

Dựa trên kết quả tính toán, 3 phương án cao điểm nhất là Ngô Quyển - Ngũ Hành Sơn - Lê Văn Hiến; Nguyễn Hữu Thọ - Võ Chí Công và Lê Duẩn - Điện Biên Phủ. Trong đó, phương án 1 là trục đường Ngô Quyển - Ngũ Hành Sơn - Lê Văn Hiến được đánh giá cao nhất.

Để thuận tiện cho quá trình phân tích và đánh giá mức độ phù hợp, thang đo Likert được chia thành 5 khoảng điểm đều nhau: 0-20, 21-40, 41-60, 61-80 và 81-100. Các khoảng điểm này lần lượt được quy đổi thành các mức đánh giá: rất không phù hợp, không phù hợp, ít phù hợp, phù hợp và rất phù hợp. Tuy nhiên, nhằm mục đích phân tích thống kê và rút gọn dữ liệu, các mức đánh giá trên tiếp tục được gộp lại thành 3 nhóm chính như sau:

- Nhóm 1: Bao gồm các mức đánh giá rất không phù hợp, không phù hợp, ít phù hợp (tương ứng với các khoảng điểm từ 0 đến 60) - phản ánh mức độ phù hợp thấp.
- Nhóm 2: Bao gồm mức đánh giá phù hợp (khoảng điểm 61-80) - phản ánh mức độ phù hợp trung bình.
- Nhóm 3: Bao gồm mức đánh giá rất phù hợp (khoảng điểm 81-100) - phản ánh mức độ phù hợp cao.



Hình 3. Biểu đồ tính điểm cho các phương án lựa chọn trước khi tính đến trọng số

Bảng 5. Phân loại 4 mức độ ưu tiên bố trí MUTs trên các trục đường dựa theo đánh giá mức độ phù hợp phương án (có tính đến trọng số)

STT	Tuyến đường	Điểm gốc	Điểm chuẩn hóa	Mức độ phù hợp
1	Ngô Quyển - Ngũ Hành Sơn - Lê Văn Hiến	1.43	100%	Rất phù hợp
2	Nguyễn Hữu Thọ - Võ Chí Công	0.98	62.50%	Phù hợp
3	Lê Duẩn - Điện Biên Phủ	0.84	50.80%	Phù hợp
4	Duy Tân	0.39	13.30%	Không phù hợp
5	Vành Đai Tây 2	0.37	11.70%	Không phù hợp
6	Đường 14B	0.27	3.30%	Rất không phù hợp
7	Minh Mạng	0.23	0%	Rất không phù hợp
8	Nam Kỳ Khởi Nghĩa	0.27	3.30%	Rất không phù hợp

4.2. Mô phỏng các lớp tiêu chí trên nền GIS phục vụ công tác quản lý

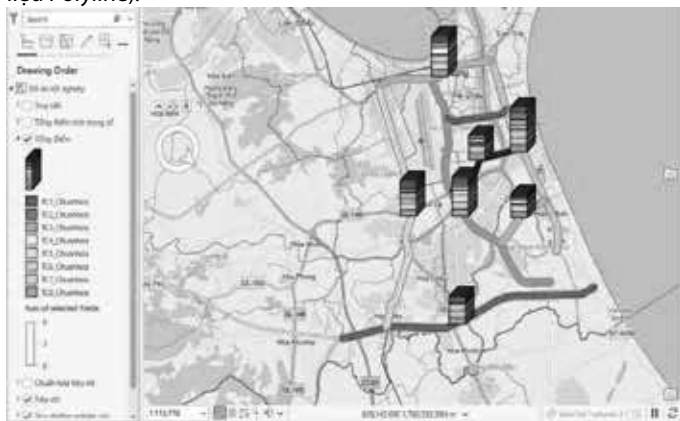
Thiết lập cấu trúc CSDL: Thu thập những thông tin và số liệu đã được kế thừa ta lọc ra các đối tượng đóng vai trò quan trọng, các thông số cơ bản quan trọng của từng đối tượng và mối quan hệ giữa các đối tượng. Dựa trên những thông tin này tiến hành xây dựng CSDL cho các tiêu chí cho các tuyến đường trục chính tại Đà Nẵng. Cấu trúc CSDL bao gồm 1 Feature Dataset và 8 Feature Class tương ứng với 8 đối tượng là 8 tuyến đường. Thiết lập bản đồ cơ sở: Tạo một lớp bản đồ mới trong ArcGIS Pro tại mục Map, đặt tên và chọn địa chỉ lưu thư mục.

Tại Mục Menu chọn Project -> Option -> Map and scene -> Spatial Reference -> Chọn Choose spatial reference. Tại mục Projected Coordinate System chọn UTM -> Asia -> Chọn hệ tọa độ VN2000 UTM Zone 48N. Trên thanh Menu chọn Map rồi chọn Base Map để chọn dữ liệu của bản đồ nền. Ta chọn Openstreet Map.

Bảng 6. Thiết lập Feature Class tương ứng với 8 trục đường chính tại Đà Nẵng

STT	Tên
1	TrucDuongNgoQuyenNguHanhSonLeVanHien
2	TrucDuongNguyenHuuThoVoChiCong
3	TrucDuongLeDuanDienBienPhu
4	TrucDuong14B
5	TrucDuongMinhMang
6	TrucDuongNamKyKhoiNghia
7	TrucDuongVanhDaiTay2NoiDT605
8	TrucDuongDuyTan

- Ở bảng Catalog, chọn thư mục Database, chọn file geodatabase có đuôi .gdb, chuột phải chọn New -> Feature Class. Tại cửa sổ Feature Class yêu cầu nhập các trường thông tin: Name: Tên của lớp không gian. Alias: Mô tả của lớp không gian. Feature Class Type: Kiểu dữ liệu của lớp không gian (chọn Polygon đối với các dạng dữ liệu kiểu vùng, chọn Point đối với các dạng dữ liệu kiểu điểm, chọn Polyline đối với các dạng dữ liệu kiểu đường, do thể hiện cho các tuyến đường trục chính nên ta chọn kiểu dạng dữ liệu Polyline).



Hình 4. Mô hình GIS cho các tiêu chí tổng hợp trên 8 trục chính (đã chuẩn hóa)

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã góp phần xác định cơ sở khoa học và thực tiễn cho việc xác định phương án quy hoạch hệ thống tunnel kỹ thuật đa tiện ích tại các đô thị Việt Nam. Kết quả cho thấy nghiên cứu

này hoàn toàn khả thi và phù hợp với xu hướng xây dựng đô thị hiện đại, thông minh và bền vững. Giải pháp quy hoạch hệ thống tunnel kỹ thuật đa tiện ích này cần được nghiên cứu triển khai thí điểm và nhân rộng, kết hợp với ứng dụng công nghệ hiện đại và quy hoạch đồng bộ, nhằm nâng cao chất lượng hạ tầng, đảm bảo phát triển đô thị bền vững và an toàn. Việc ứng dụng công nghệ hiện đại vào quản lý hệ thống tunnel kỹ thuật đa tiện ích là xu thế tất yếu, phù hợp với định hướng xây dựng đô thị thông minh, bền vững tại các đô thị Việt Nam.

Các hướng nghiên cứu tiếp theo có thể thực hiện: Thí điểm giải pháp quy hoạch hệ thống tunnel kỹ thuật đa tiện ích tại một số tuyến đường trọng điểm tại Hà Nội, TP.HCM... hoặc khu đô thị mới. Bổ sung và điều chỉnh các quy chuẩn xây dựng liên quan để phù hợp với các loại hình quy hoạch chuyên ngành hạ tầng kỹ thuật, quy hoạch không gian ngầm đô thị. Xây dựng cơ sở dữ liệu hạ tầng ngầm quốc gia tích hợp GIS & BIM. Xây dựng cơ chế tổ chức quản lý chung hệ thống tunnel kỹ thuật đa tiện ích là chủ sở hữu các hạ tầng (điện, cấp nước, thoát nước, viễn thông...) trong khai thác hệ thống tunnel kỹ thuật đa tiện ích. Đề xuất nghiên cứu giải pháp mô hình quản lý dựa trên IoT, cảm biến, SCADA cho hệ thống tunnel kỹ thuật đa tiện ích nhằm nâng cao chất lượng quản lý khai thác hệ thống tunnel kỹ thuật đa tiện ích hiệu quả hướng đến đô thị thông minh và bền vững.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Điều chỉnh quy hoạch chung TP Đà Nẵng đến năm 2030 tầm nhìn đến năm 2045 phê duyệt tại Quyết định 359/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ ngày 15/3/2021.
- [2]. Tác giả R. K. Goel; Bhawani Singh; Jian Zhao "Underground Infrastructures Planning, Design, and Construction" (Quy hoạch, Thiết kế và Xây dựng cơ sở hạ tầng Ngầm).
- [3]. Yisha Luo tác giả Luận án "Multi-Criteria Spatial Analysis of Multi-Purpose Utility Tunnels" trường đại học Concordia- Canada, tháng 12/2019.
- [4]. Tác giả Hồ Bá Tuấn Anh, Nguyễn Trường Huy Đề tài "Giải pháp đường hầm thông minh cho đô thị Hà Nội" tạp chí khoa học kiến trúc- xây dựng, tháng 8/2020.
- [5]. Đồ án điều chỉnh quy hoạch chung thành phố Đà Nẵng đến năm 2030 tầm nhìn đến năm 2045.
- [6]. Truy cập website https://en.wikipedia.org/wiki/Multiple_criteria_decision_analysis.
- [7]. Truy cập website <https://www.studocu.vn/vn/document/truong-dai-hoc-thuong-mai/nghien-cuu-khoa-hoc-phuong-phap-nghien-cuu-ahp/87991056>.
- [8]. Hồ sơ báo cáo điều tra khảo sát tham vấn các chuyên gia địa phương thành phố Đà Nẵng liên quan đến bộ tiêu chí đề xuất phương án quy hoạch hệ thống tunnel kỹ thuật đa tiện ích trên các trục chính trung tâm thành phố Đà Nẵng năm 2025.
- [9]. Truy cập website <https://dathop.com.vn/post/tong-quan-ve-gis-va-2-phuong-phap-nghien-cuu.html>

Đánh giá tổng hợp mờ (FSE) các yếu tố ảnh hưởng đến phát triển đô thị TOD tại ga Ba Son, TP.HCM

Evaluating key factors influencing tod using The Fuzzy Synthetic Evaluation method: A case of Ba Son station, Ho Chi Minh City

> **TRƯƠNG THỊ LAN ANH¹, LÊ TRUNG THÀNH^{2,*}**

¹Phòng Phát triển dự án, Tập đoàn Sungroup

²Trường Đại học Thủy lợi; *Email: Thanh@tlu.edu.vn

TÓM TẮT

Phát triển đô thị định hướng giao thông công cộng (Transit-Oriented Development - TOD) là một giải pháp quan trọng nhằm xây dựng đô thị bền vững. Nghiên cứu này tập trung vào khu vực ga Ba Son (tuyến Metro số 1, TP.HCM) để đánh giá các yếu tố ảnh hưởng đến TOD bằng phương pháp Fuzzy Synthetic Evaluation (FSE). Dữ liệu được thu thập từ khảo sát cư dân, cán bộ quản lý, chuyên gia và nhà đầu tư, dựa trên thang đo Likert 5 mức, xoay quanh năm nhóm yếu tố chính: (1) Quy hoạch - thiết kế đô thị; (2) Giao thông công cộng - kết nối; (3) Kinh tế - xã hội và dân cư; (4) Chính sách - quản trị - khung pháp lý; (5) Tài chính và cơ chế thu hồi giá trị đất đai. Kết quả cho thấy nhóm "Quy hoạch và thiết kế đô thị" và "Tài chính và cơ chế đầu tư" có ảnh hưởng mạnh nhất đến khả năng phát triển TOD tại ga Ba Son. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất các định hướng như: tăng mật độ và sử dụng hỗn hợp đất; cải thiện kết nối đa phương thức; mở rộng hợp tác công - tư; và nâng cao tính minh bạch trong quản lý. Kết quả nghiên cứu góp phần cung cấp cơ sở khoa học cho hoạch định chính sách TOD tại các đô thị lớn ở Việt Nam.

Từ khóa: TOD, phát triển đô thị bền vững, FSE, Metro số 1, Ba Son.

ABSTRACT

Transit-Oriented Development (TOD) is a crucial approach for fostering sustainable urban growth. This study focuses on the Ba Son Station area (Metro Line 1, Ho Chi Minh City) to evaluate the key factors influencing TOD implementation using the Fuzzy Synthetic Evaluation (FSE) method. Data were collected through surveys of residents, government officials, experts, and investors, employing a five-point Likert scale across five major factor groups: Urban Planning & Design; Public Transport & Connectivity; Socioeconomic & Demographic Aspects; Policy, Governance & Legal Framework; and Finance & Land Value Capture Mechanisms. The results indicate that Urban Planning & Design and Finance & Investment Mechanisms exert the strongest impact on the TOD potential at Ba Son Station. Based on these findings, the study proposes several directions, including increasing density and mixed land use, enhancing multimodal connectivity, expanding public-private partnerships, and improving transparency in urban governance. The outcomes contribute to establishing a scientific foundation for TOD policy formulation in major Vietnamese cities.

Keywords: TOD, sustainable urban development, FSE, Metro Line 1, Ba Son.

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Trong bối cảnh toàn cầu, các đô thị đang chịu áp lực lớn từ gia tăng dân số, tắc nghẽn giao thông và biến đổi khí hậu. Việc tìm kiếm mô hình phát triển bền vững, cân bằng giữa tăng trưởng kinh tế, chất lượng sống và bảo vệ môi trường trở thành ưu tiên hàng đầu. Trong đó, phát triển đô thị định hướng giao thông công cộng (Transit-Oriented Development - TOD) được xem là hướng tiếp cận hiệu quả, thúc đẩy sử dụng phương tiện công cộng, giảm phụ thuộc vào xe cá nhân và tối ưu hóa quỹ đất quanh các đầu mối giao thông.

Các nghiên cứu quốc tế (Calthorpe, 1993; Cervero & Sullivan, 2011; Gehl, 2010; Speck, 2012; World Bank, 2020) chỉ ra rằng TOD thành công khi đảm bảo quy hoạch đất hỗn hợp, mật độ hợp lý, hạ tầng giao thông công cộng hiệu quả, chất lượng không gian sống và khung chính sách minh bạch. Năm nhóm yếu tố cốt lõi ảnh hưởng đến TOD gồm: (1) Quy hoạch - thiết kế đô thị, (2) Giao thông - kết nối, (3) Kinh tế - xã hội, (4) Chính sách - thể chế, và (5) Tài chính - đầu tư. Tại Việt Nam, TOD mới được áp dụng thử nghiệm trong quy hoạch metro Hà Nội và TP.HCM (Crossial Limited, 2025; Lý Khánh

Tâm Thảo, 2025). Trong đó, ga Ba Son thuộc tuyến Metro số 1 (Bến Thành - Suối Tiên) giữ vị trí chiến lược kết nối trung tâm với khu đô thị ven sông Sài Gòn (Ngọc Tân, 2025). Tuy nhiên, việc triển khai còn gặp rào cản về quy hoạch, thể chế và tài chính (Arup, 2025).

Từ thực tiễn đó, nghiên cứu này ứng dụng phương pháp Đánh giá tổng hợp mờ (Fuzzy Synthetic Evaluation - FSE) để lượng hóa mức độ ảnh hưởng của năm nhóm yếu tố đến phát triển TOD tại ga Ba Son, nhằm xác định yếu tố trọng yếu và đề xuất định hướng chính sách phù hợp cho bối cảnh đô thị Việt Nam.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Quy trình thực hiện nghiên cứu

Bước 1: Xác định các yếu tố ảnh hưởng

Để đảm bảo tính đầy đủ và độ tin cậy, nghiên cứu áp dụng hai phương pháp bổ trợ: (1) Tổng quan tài liệu có hệ thống (Systematic literature review): kế thừa kết quả học thuật từ các nghiên cứu quốc tế và trong nước liên quan đến TOD, quy hoạch đô thị và quản lý giao thông công cộng, nhằm xác định khung yếu tố lý thuyết ban đầu. (2) Phân tích kinh nghiệm thực tiễn (case/project analysis): rà soát các dự án TOD hoặc dự án hạ tầng đô thị có liên quan tại Việt Nam, nhằm bổ sung các đặc thù về chính sách, quản lý và tài chính.

Danh mục yếu tố ban đầu sau đó được hiệu chỉnh thông qua thảo luận chuyên gia (expert validation) với các nhà quản lý, chuyên gia quy hoạch - giao thông và nhà đầu tư bất động sản. Cách tiếp cận này giúp bộ yếu tố vừa đảm bảo tính học thuật, vừa phản ánh đúng đặc thù triển khai TOD trong bối cảnh TP.HCM.

Bảng 1. Nhận diện các yếu tố ảnh hưởng tới phát triển TOD tại nhà ga Ba Son

Nhóm	Mã hóa	Yếu tố ảnh hưởng
YT1 - Các yếu tố Quy hoạch & Thiết kế đô thị ảnh hưởng đến phát triển TOD	YT1.1	Mật độ & Sử dụng hỗn hợp (Tăng số lượng hành khách, tối ưu hóa sử dụng đất, tạo cộng đồng sôi động)
	YT1.2	Thiết kế thân thiện với người đi bộ (Khuyến khích đi bộ, cải thiện chất lượng sống, giảm phụ thuộc ô tô)
	YT1.3	Mô hình phát triển nhỏ gọn (Rút ngắn khoảng cách đi bộ, tối ưu hóa không gian, tăng hiệu quả giao thông)
	YT1.4	Tiêu chuẩn thiết kế đô thị (Nền tảng của TOD, thu hút số lượng hành khách lớn).
	YT1.5	Thiết kế tầng trệt (mặt tiền thương mại, dịch vụ...) của các công trình quanh nhà ga có thiết kế thân thiện và dễ tiếp cận cho người đi bộ.
YT2 - Các yếu tố Giao thông công cộng và kết nối ảnh hưởng đến phát triển TOD	YT2.1	Hệ thống giao thông quanh nhà ga (xe buýt, đường bộ, đường thủy..) ảnh hưởng đến tính kết nối với các khu vực khác.
	YT2.2	Giao thông chất lượng cao (Nền tảng của TOD, thu hút số lượng hành khách lớn)
	YT2.3	Khu vực có đầy đủ lối đi bộ, bãi đỗ xe đạp, vạch qua đường, biển chỉ dẫn giao thông hợp lý.
	YT2.4	Tần suất vận hành của các tuyến giao thông công cộng thường xuyên (Tăng số lượng hành khách, nâng cao sự hài lòng của hành khách).
	YT2.5	Năng lực giao thông (Đảm bảo hệ thống có thể đáp ứng mật độ dân số và việc làm cao hơn).
YT3 - Các yếu tố Kinh tế - xã hội và dân cư ảnh hưởng đến phát triển TOD	YT3.1	Mức độ ổn định BĐS khu vực quanh nhà ga (Thách thức lớn do giá bất động sản tăng, có thể làm suy yếu công bằng xã hội.)
	YT3.2	Hiện trạng dịch vụ cơ bản (y tế, giáo dục, sinh hoạt... phục vụ cư dân).
	YT3.3	Mức độ đáp ứng môi trường sống quanh nhà ga (phù hợp cho nhiều đối tượng, bao gồm trẻ em, người già).
	YT3.4	Sự biến động về chi phí sinh hoạt quanh khu vực nhà ga (đang ở mức quá cao so với thu nhập trung bình).
	YT3.5	Khả năng đáp ứng thói quen di chuyển của nhiều nhóm dân cư (Ảnh hưởng đến mức độ sử dụng giao thông công cộng và thiết kế môi trường đi bộ.)
YT4 - Các yếu tố Kinh tế - xã hội và dân cư ảnh hưởng đến phát triển TOD	YT4.1	Công tác quản lý khu vực TOD minh bạch, có trách nhiệm giải trình (Đảm bảo tầm nhìn dài hạn, trách nhiệm giải trình và minh bạch.)
	YT4.2	Quy hoạch tích hợp (Thiết yếu cho sự phối hợp giữa các cơ quan và bên liên quan).
	YT4.3	Chính sách, quy định hỗ trợ thực thi nguyên tắc TOD được áp dụng rõ ràng (Tạo điều kiện thuận lợi cho việc thực hiện các nguyên tắc TOD).
	YT4.4	Phối hợp và nhất quán (Đảm bảo sự hài hòa giữa các kế hoạch và dự án khác nhau).
	YT4.5	Ứng hộ việc thành lập một cơ quan điều phối riêng cho phát triển TOD nhằm tránh tình trạng manh mún và phân tán quản lý.
YT5 - Các yếu tố Tài chính và cơ hội đầu tư ảnh hưởng đến phát triển TOD	YT5.1	Phát triển quanh metro sẽ làm gia tăng giá trị bất động sản khu vực ((Tạo doanh thu từ đất đai để tài trợ cho phát triển cơ sở hạ tầng).
	YT5.2	Hợp tác công - tư (PPP) là mô hình có ảnh hưởng đến phát triển các khu TOD ở TP.HCM (Huy động vốn tư nhân, chia sẻ rủi ro và chuyên môn.)
	YT5.3	Nên áp dụng chính sách thu hồi một phần giá trị đất tăng thêm quanh nhà ga để đầu tư trở lại vào hạ tầng công cộng.
	YT5.4	Chính quyền cần minh bạch hóa các nguồn thu từ phát triển TOD để đảm bảo lợi ích công cộng và tránh đầu cơ bất động sản.
	YT5.5	Ứng hộ việc ưu đãi tài chính cho các doanh nghiệp đầu tư vào tiện ích công cộng (trường học, công viên, giao thông...) quanh nhà ga (Tạo nguồn thu bền vững để tài trợ cơ sở hạ tầng và chi phí vận hành).

Bước 2: Khảo sát chuyên gia

Các yếu tố ảnh hưởng được thông qua khảo sát chuyên gia, dựa trên tiêu chí mức độ tác động đến hiệu quả dự án theo thang đo

Likert 5 bậc như trong Bảng 2 với giá trị từ 1 đến 5 (Bảng 2). Kết quả được xử lý bằng phương pháp FSE ở bước tiếp theo để lượng hóa mức ảnh hưởng tổng hợp.

Bảng 2. Thang điểm đánh giá mức độ tác động

Điểm số	1	2	3	4	5
Mức độ tác động	Ảnh hưởng rất ít	Ảnh hưởng ít	Ảnh hưởng	Ảnh hưởng nhiều	Ảnh hưởng rất nhiều

Tổng cộng 164 phiếu khảo sát hợp lệ được đưa vào phân tích. Trong đó vai trò của người được khảo sát phân bố như trong Hình 1. Phân bố này cho thấy mẫu khảo sát có độ bao phủ tốt về cả vai trò chức năng và chiều sâu kinh nghiệm chuyên môn, tạo điều kiện thuận lợi cho việc đánh giá khách quan mức độ ảnh hưởng của các yếu tố ảnh hưởng.

Việc thu thập những dữ liệu cơ bản này giúp xác định bối cảnh xã hội - nghề nghiệp của mẫu khảo sát, đồng thời bảo đảm rằng kết quả nghiên cứu phản ánh cả quan điểm của cư dân, người lao động, chuyên gia và cán bộ quản lý - những nhóm chịu ảnh hưởng trực tiếp hoặc gián tiếp từ quá trình triển khai TOD tại ga Ba Son.

Để kiểm định lại độ tin cậy và tính chính xác của các kết quả khảo sát mô tả, nghiên cứu tiếp tục áp dụng phương pháp đánh giá tổng hợp mờ (Fuzzy Synthetic Evaluation-FSE) nhằm lượng hóa một cách khách quan mức độ ảnh hưởng thực tế của từng nhóm yếu tố đến sự phát triển khu vực TOD tại ga Ba Son.

FSE được lựa chọn vì khả năng tích hợp cả yếu tố định tính và định lượng, cho phép lượng hóa mức độ ảnh hưởng và xác định trọng số của từng nhóm yếu tố. Quy trình FSE bao gồm:

- Chuẩn hóa dữ liệu khảo sát.
- Tính toán giá trị trung bình và trọng số của từng yếu tố.
- So sánh và xếp hạng mức độ ảnh hưởng của năm nhóm yếu tố.

Bước 3: Phân tích, thống kê, mô tả và đo lường các yếu tố ảnh hưởng quyết định đến mức độ thành công của dự án bằng phương pháp đánh giá tổng hợp mờ FSE

2.2. Giới thiệu về phương pháp đánh giá tổng hợp mờ FSE

Kỹ thuật đánh giá tổng hợp mờ (Fuzzy Synthetic Evaluation - FSE) là một nhánh của lý thuyết tập mờ (FST), cho phép xử lý các vấn đề phức tạp có nhiều cấp độ và thuộc tính. FSE đặc biệt hiệu quả trong đánh giá đa tiêu chí với dữ liệu mơ hồ, không chắc chắn và có sự tham gia của nhiều chuyên gia.

Do đó, phương pháp này phù hợp để xác định mức độ quan trọng của các yếu tố ảnh hưởng trong nghiên cứu.

Quy trình FSE được trình bày như sau:

Bước 1: Xây dựng bộ tiêu chí hoặc biến/ nhân tố chính.

$F = \{f_1, f_2, f_3, f_i, \dots, f_m\}$

Trong đó: f_i ($i = 1 \div m$) = biến/nhân tố thứ i

Bước 2: Xây dựng một tập hợp các phương án cấp lớp.

$L = \{l_1, l_2, l_3, \dots, l_j\}$

Trong đó: l_j ($j = 1 \div 5$) là thang đo được sử dụng cho nghiên cứu

(l_1 = ảnh hưởng rất ít, l_2 = ảnh hưởng ít, l_3 = ảnh hưởng, l_4 = ảnh hưởng nhiều, l_5 = ảnh hưởng rất nhiều)

Bước 3: Tính trọng số của từng biến/nhân tố f_i .

Điểm trung bình có thể được sử dụng để xác định trọng số của từng biến/nhân tố.

$W_i = \{w_1, w_2, w_3, w_i, \dots, w_m\}$

Trong đó: $0 \leq w_i \leq 1$; $i = 1 \div m$;

Bước 4: Thiết lập ma trận mờ cho từng tiêu chí hoặc biến/nhân tố chính.

$R = [r_{ij}]m \times n$

Trong đó, r_{ij} biểu thị mức độ l_j liên quan đến tiêu chí f_m . Nó được xây dựng bởi hàm liên thuộc mờ của l_j trong tiêu chí f_m .

Ma trận mờ R có thể được trình bày dưới dạng:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

Bước 5: Tính toán ma trận đánh giá cuối cùng thông qua phương trình dưới đây:

$$D = W_i \cdot R_i \quad (2.1)$$

Trong đó:

D là ma trận đánh giá cuối cùng

W là vectơ trọng số

R là ma trận đánh giá mờ

' $\cdot$ ' = phép toán hỗn hợp mờ

Từ bước 3 và bước 4, phương trình (2.1) có thể được biểu diễn như sau (2.2):

$$D = \{w_1, w_2, w_i, \dots, w_m\} \cdot \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} = [d_1, d_2, d_i, \dots, d_n]$$

Bước 6: Tính toán ma trận đánh giá cuối cùng thông qua phương trình dưới đây:

$$G = \sum_{j=1}^5 D \times L \quad (2.3)$$

Trong đó:

L là biến ngôn ngữ ($L = 1 \div 5$)

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Nội dung khảo sát và các yếu tố ảnh hưởng

Kết quả khảo sát:

Yếu tố Đối tượng khảo sát

Bảng 3. Bảng phần trăm về đối tượng khảo sát

Đối tượng khảo sát	Số người	%
Lãnh đạo quản lý nhà ga	23	14.0
Lãnh đạo quản lý metro	28	17.1
Chuyên gia quy hoạch/ giao thông	31	18.9
Cán bộ vận hành nhà ga	35	21.3
Doanh nghiệp khai thác TOD	25	15.2
Người dân gần nhà ga	20	12.2
Khác (người dân, công chức)	2	1.3
Tổng cộng	164	100.0

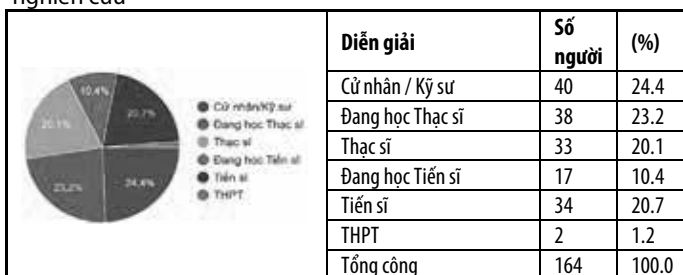
Yếu tố Chuyên ngành của đối tượng khảo sát

Bảng 4. Bảng phần trăm chuyên ngành của đối tượng khảo sát

Diễn giải	Số người	(%)
Kiến trúc sư	40	24.4
Kỹ sư xây dựng	37	22.6
Kỹ sư hạ tầng	48	29.3
Khác (buôn bán, NVVP, ...)	39	23.7
Tổng cộng	164	100.0

Yếu tố Trình độ học vấn

Bảng 5. Bảng phần trăm về trình độ học vấn của đối tượng nghiên cứu



Yếu tố về Phương tiện thường xuyên sử dụng để di chuyển của đối tượng nghiên cứu

Kết quả khảo sát cho thấy phương tiện được sử dụng thường xuyên nhất là xe máy (20,1%), tiếp đến là xe đạp và bus (cùng 16,5%), trong khi các phương án khác như đi bộ (13,4%), metro (14%), ô tô cá nhân (14%) và Taxi/Grab (11%) có tỷ lệ thấp hơn. Điều này phản ánh xu hướng phụ thuộc cao vào phương tiện cá nhân, đặc biệt là xe máy, đồng thời cho thấy vai trò của giao thông công cộng và các hình thức di chuyển bền vững (đi bộ, xe đạp, metro) vẫn còn hạn chế.

Yếu tố Mức độ sử dụng metro

Kết quả khảo sát cho thấy mức độ sử dụng metro chủ yếu ở mức thỉnh thoảng (31,7%) và 2-3 lần/tuần (26,2%), trong khi tỷ lệ sử dụng hằng ngày chỉ đạt 24,4% và không sử dụng chiếm 17,7%. Điều này phản ánh rằng metro chưa thực sự trở thành phương tiện di chuyển thường xuyên đối với phần lớn người dân, mà mới chỉ được sử dụng ở mức bổ trợ. Thực trạng này gợi ý cần có các giải pháp tăng cường kết nối, cải thiện tiện ích và khuyến khích hành vi dịch chuyển bền vững để gia tăng tỷ lệ sử dụng metro hằng ngày.

Kết quả khảo sát mức độ ảnh hưởng của năm yếu tố đến thực trạng Quản lý, vận hành của Khu vực TOD tại nhà ga Ba Son như sau:

Tác động của các nhóm yếu tố ảnh hưởng đến phát triển TOD tại ga Ba Son có mức tác động tương đối đồng đều, với điểm trung bình khoảng 3,2-3,3 trên thang Likert 5 mức. Điều này cho thấy tất cả các yếu tố đều giữ vai trò quan trọng và không có sự khác biệt lớn trong nhận thức của các bên liên quan. Xét theo mức độ ảnh hưởng giảm dần, Quy hoạch - thiết kế đô thị (3,35 điểm) đứng đầu, tiếp theo là Tài chính - cơ hội đầu tư (3,34 điểm), Chính sách - quản lý (3,28 điểm), Giao thông - kết nối (3,22 điểm), và Kinh tế - xã hội và dân cư (3,19 điểm). Kết quả này cho thấy Quy hoạch - thiết kế và Cơ chế tài chính là hai yếu tố có tác động mạnh nhất, trong khi các yếu tố Xã hội - dân cư và Hạ tầng giao thông công cộng tuy cần thiết nhưng thể hiện mức ảnh hưởng khiêm tốn hơn trong bối cảnh nghiên cứu tại khu vực ga Ba Son.

3.2. Kết quả của phương pháp đánh giá tổng hợp mờ FSE Phân tích các yếu tố

Nhóm yếu tố Quy hoạch và thiết kế đô thị

Bảng 6. Bảng Quy hoạch và thiết kế đô thị

	Số phiếu	Ảnh hưởng rất ít	Ảnh hưởng rất nhiều	Ảnh hưởng trung bình	Độ lệch chuẩn	Cronbach's Alpha (CrA)
YT1 - Yếu tố Quy hoạch và thiết kế đô thị						0,887
YT1.1	164	1	5	3.354	1.057	0.861
YT1.2	164	1	5	3.402	0.928	0.869
YT1.3	164	1	5	3.274	0.989	0.863
YT1.4	164	1	5	3.335	0.936	0.865
YT1.5	164	1	5	3.378	0.987	0.857

Nhóm tiêu chí về quy hoạch và thiết kế đô thị đạt mức trung bình khá (3.35/5), trong đó "thiết kế thân thiện với người đi bộ" được

đánh giá tích cực nhất, còn "thiết kế tầng trệt công trình" là khía cạnh cần ưu tiên cải thiện.

Nhóm yếu tố Giao thông công cộng và kết nối

Bảng 7. Bảng Giao thông công cộng và kết nối

	Số phiếu	Ảnh hưởng rất ít	Ảnh hưởng rất nhiều	Ảnh hưởng trung bình	Độ lệch chuẩn	Cronbach's Alpha (CrA)
YT2 - Yếu tố Giao thông công cộng và kết nối						0.800
YT2.1	164	1	5	3.28	0.788	0.745
YT2.2	164	2	5	3.256	0.800	0.779
YT2.3	164	1	5	3.152	0.816	0.757
YT2.4	164	1	5	3.238	0.922	0.758
YT2.5	164	1	5	3.183	0.927	0.772

Độ lệch chuẩn đều dưới 1, chứng tỏ các ý kiến đánh giá có sự tập trung, ít phân tán.

Nhóm yếu tố Kinh tế - xã hội và dân cư

Bảng 8. Bảng phân tích về Kinh tế - xã hội và dân cư

	Số phiếu	Ảnh hưởng rất ít	Ảnh hưởng rất nhiều	Ảnh hưởng trung bình	Độ lệch chuẩn	Cronbach's Alpha (CrA)
YT3 - Yếu tố Kinh tế - xã hội và dân cư						0.862
YT3.1	164	1	5	3.197	0.941	0.835
YT3.2	164	1	5	3.201	0.915	0.846
YT3.3	164	1	5	3.165	0.874	0.831
YT3.4	164	1	5	3.183	0.931	0.829
YT3.5	164	1	5	3.244	0.925	0.826

Độ lệch chuẩn đều dưới 1, cho thấy các ý kiến đánh giá có tính tập trung và tương đối đồng thuận.

Nhóm yếu tố Chính sách và quản lý

Bảng 9. Chính sách và quản lý

	Số phiếu	Ảnh hưởng rất ít	Ảnh hưởng rất nhiều	Ảnh hưởng trung bình	Độ lệch chuẩn	Cronbach's Alpha (CrA)
YT4 - Yếu tố Chính sách và quản lý						0.837
YT4.1	164	1	5	3.329	0.887	0.819
Ảnh hưởng rất ítYT4.2	164	1	5	3.146	0.861	0.801
YT4.3	164	1	5	3.250	0.855	0.789
YT4.4	164	1	5	3.183	0.899	0.785
YT4.5	164	1	5	3.244	0.895	0.823

Mức độ phân tán của ý kiến (độ lệch chuẩn dưới 0.9) cho thấy các đánh giá có sự hội tụ và khá đồng thuận.

Nhóm yếu tố Tài chính và cơ hội đầu tư

Bảng 10. Bảng phân tích Tài chính và cơ hội đầu tư

	Số phiếu	Ảnh hưởng rất ít	Ảnh hưởng rất nhiều	Ảnh hưởng trung bình	Độ lệch chuẩn	Cronbach's Alpha (CrA)
YT5 - Yếu tố Tài chính và cơ hội đầu tư						0.891
YT5.1	164	1	5	3.244	1.040	0.870
YT5.2	164	1	5	3.250	0.993	0.866
YT5.3	164	1	5	3.274	0.999	0.871
YT5.4	164	1	5	3.311	1.005	0.863
YT5.5	164	1	5	3.238	1.010	0.868

Mức độ phân tán ý kiến (độ lệch chuẩn khoảng 1.0) cao hơn so với các nhóm yếu tố khác, phản ánh sự khác biệt nhất định trong quan điểm của các nhóm đối tượng khảo sát.

Phân tích độ tin cậy thang đo Cronbach's Alpha

Theo Nunnally và Bernstein (1994), giá trị Cronbach's Alpha từ 0.7 trở lên được xem là chấp nhận được, trong khi giá trị trên 0.8 thể hiện mức độ tin cậy cao. Ngoài ra, hệ số tương quan biến - tổng (Corrected Item - Total Correlation) cần lớn hơn 0.3 để biến quan sát được giữ lại. Kết quả Cronbach's Alpha đều nằm trong khoảng 0.8-0.9, khẳng định thang đo có độ tin cậy cao. Điều này cho phép dữ

liệu tiếp tục được sử dụng trong bước phân tích nhân tố khám phá (EFA) nhằm kiểm định giá trị hội tụ và phân biệt của các nhóm yếu tố. Kết quả kiểm định cho thấy cả năm nhóm yếu tố đều đạt độ tin cậy tốt

Phân tích FSE (Fuzzy Synthetic Evaluation)

Tính giá trị trung bình của mỗi yếu tố và mỗi nhóm:

Giá trị trung bình của từng yếu tố trong mỗi nhóm, $W_i = \{w_1, w_2, w_3, w_i, \dots, w_m\}$ được tính toán dựa trên số trung bình từ dữ liệu

Bảng 11. Trọng số yếu tố và nhóm yếu tố

	Giá trị trung bình mỗi biến	Trọng số mỗi biến	Giá trị trung bình mỗi nhóm	Trọng số của mỗi nhóm	Hàm thành viên cấp hai				
YT1			16.744	0.206					
YT1.1	3.354	0.200			0.02	0.15	0.39	0.31	0.12
YT1.2	3.402	0.203			0.02	0.17	0.37	0.28	0.16
YT1.3	3.274	0.196			0.02	0.20	0.40	0.27	0.12
YT1.4	3.335	0.199			0.01	0.20	0.37	0.27	0.15
YT1.5	3.378	0.202			0.01	0.21	0.36	0.23	0.19
YT2			16.110	0.198					
YT2.1	3.280	0.204			0.00	0.16	0.47	0.29	0.08
YT2.2	3.256	0.202			0.03	0.15	0.43	0.32	0.07
YT2.3	3.152	0.196			0.02	0.21	0.44	0.25	0.08
YT2.4	3.238	0.201			0.01	0.15	0.49	0.29	0.06
YT2.5	3.183	0.198			0.02	0.21	0.40	0.32	0.05
YT3			15.927	0.196					
YT3.1	3.134	0.197			0.03	0.23	0.38	0.28	0.07
YT3.2	3.201	0.201			0.05	0.16	0.43	0.26	0.10
YT3.3	3.165	0.199			0.03	0.19	0.43	0.28	0.07
YT3.4	3.183	0.200			0.02	0.18	0.46	0.26	0.07
YT3.5	3.244	0.204			0.03	0.15	0.43	0.31	0.07
YT4			16.152	0.199					
YT4.1	3.329	0.209			0.02	0.13	0.41	0.38	0.06
YT4.2	3.146	0.198			0.03	0.20	0.43	0.26	0.07
YT4.3	3.250	0.204			0.01	0.18	0.41	0.34	0.06
YT4.4	3.183	0.200			0.02	0.20	0.43	0.27	0.07
YT4.5	3.244	0.204			0.02	0.20	0.40	0.30	0.09
YT5			16.317	0.201					
YT5.1	3.244	0.204			0.05	0.16	0.43	0.22	0.14
YT5.2	3.250	0.204			0.02	0.18	0.45	0.26	0.10
YT5.3	3.274	0.206			0.02	0.23	0.38	0.22	0.16
YT5.4	3.311	0.208			0.04	0.16	0.37	0.30	0.12
YT5.5	3.238	0.203			0.04	0.18	0.41	0.27	0.11

Xác định hàm thành viên cấp 2:

Trước khi đánh giá, lưu ý rằng có hai hàm thành viên là hàm thành viên cấp 2 và hàm thành viên cấp 1. Trong đó, hàm thành viên cấp 2 có 25 yếu tố ảnh hưởng tới công tác quản lý, vận hành, khai thác khu vực TOD.

Đầu tiên hàm cấp 2 được xác định và sau đó hàm thành viên cấp 1 được phân tích. Hàm thành viên cấp 2 được hình thành từ việc khảo sát và thu thập câu trả lời từ 164 người có kinh nghiệm chuyên môn và người trực tiếp sử dụng và chịu ảnh hưởng từ khu vực TOD.

Ví dụ, sau cuộc khảo sát, Trong tổng số 164 người tham gia khảo sát về yếu tố YT1.2 trong công tác quản lý, vận hành và khai thác khu vực TOD, có 3/164 người (0.02) cho rằng yếu tố này *ảnh hưởng rất ít*. Tiếp đến, 28/164 người (0.17) đánh giá ở mức *ảnh hưởng ít*, 61/164 người (0.37) cho rằng *ảnh hưởng*, 46/164 người (0.28) đánh giá là *ảnh hưởng nhiều*, và 26/164 người (0.16) nhận định yếu tố này *ảnh hưởng rất nhiều*.

thu được của những người đã có kinh nghiệm về lĩnh vực này.

$$w_i = \frac{M_i}{\sum M_i}, 0 \leq w_i \leq 1, \sum w_i = 1$$

Trong đó: W_i là Giá trị trung bình của các yếu tố CSR

M_i là Giá trị trung bình của yếu tố thứ i

ΣM_i : Tổng giá trị trung bình của nhóm có chứa yếu tố

Xác định hàm thành viên cấp 1:

Bảng 12. Hàm thành viên cấp 1

Mã hóa	Hàm thành viên của mỗi nhóm				
YT1	0.02	0.19	0.38	0.27	0.15
YT2	0.02	0.17	0.45	0.29	0.07
YT3	0.03	0.18	0.43	0.28	0.08
YT4	0.02	0.19	0.42	0.32	0.07
YT5	0.03	0.18	0.42	0.26	0.13

Xác định hệ số thực hiện của các nhóm:

Bảng 13. Giá trị hệ số thực hiện của các nhóm

Giá trị hệ số			
YT1	Quy hoạch và thiết kế đô thị	3.35	1
YT2	Giao thông công cộng và kết nối	3.22	4
YT3	Kinh tế - xã hội và dân cư	3.19	5
YT4	Chính sách và quản lý	3.28	3
YT5	Tài chính và cơ hội đầu tư	3.34	2

Kết quả nghiên cứu cho thấy năm nhóm yếu tố ảnh hưởng đến phát triển đô thị định hướng giao thông công cộng (TOD) tại ga Ba Son có mức tác động tương đối đồng đều, với điểm trung bình dao động từ 3,19 đến 3,35 trên thang Likert 5 mức. Trong đó, Quy hoạch - thiết kế đô thị (3,35) thể hiện mức ảnh hưởng cao nhất, tiếp theo là Tài chính - cơ hội đầu tư (3,34) và Chính sách - quản lý (3,28), trong khi Giao thông - kết nối (3,22) và Kinh tế - xã hội và dân cư (3,19) có giá trị thấp hơn nhưng vẫn duy trì tác động đáng kể. Phân tích bằng phương pháp Đánh giá tổng hợp mờ (Fuzzy Synthetic Evaluation - FSE) cho kết quả tương đồng với khảo sát định lượng, khẳng định vai trò chủ đạo của ba nhóm yếu tố đầu tiên trong quá trình hình thành và vận hành khu vực TOD. Mặc dù có điểm số thấp hơn, nhóm Giao thông - kết nối vẫn giữ vai trò nền tảng trong đảm bảo tính tích hợp đa phương thức - nguyên tắc cốt lõi của phát triển TOD, tương tự định hướng thực tiễn tại Singapore (Lê Trung Hiếu, 2023). Nhìn chung, các yếu tố được phân tích có mối quan hệ tương hỗ chặt chẽ, phản ánh tính phức hợp của quá trình quy hoạch, quản lý và phát triển bền vững khu vực TOD Ba Son.

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

4.1. Kết luận

Nghiên cứu đã áp dụng phương pháp Đánh giá tổng hợp mờ (FSE) để đánh giá mức độ ảnh hưởng của các nhóm yếu tố đến sự phát triển khu vực TOD tại ga Ba Son, TP.HCM. Kết quả phân tích cho thấy có sự trùng khớp hoàn toàn giữa khảo sát thực trạng và FSE, qua đó khẳng định tính phù hợp và độ tin cậy của phương pháp.

Số với các trường hợp TOD điển hình trong khu vực Đông Nam Á như Bangkok (Thái Lan), và Manila (Philippines), kết quả nghiên cứu tại ga Ba Son - TP.HCM cho thấy một số khác biệt đáng chú ý. Theo Trần Huy Ánh (2025), đối chiếu với mô hình TOD điển hình thì các trường hợp tại Thái Lan và Philippines vẫn chưa đáp ứng các yêu cầu tăng cường mạng lưới giao thông kết nối, mở rộng không gian công cộng và tái thiết đô thị. Còn tại TP.HCM, các đô thị trong khu vực thường đã hình thành khung thể chế và cơ chế điều phối liên ngành tương đối hoàn chỉnh, trong đó cơ quan giao thông đô thị giữ vai trò trung tâm, gắn chặt giữa quy hoạch đất đai, hạ tầng và đầu tư tư nhân. Ngược lại, tại Việt Nam, mô hình TOD mới dừng ở mức thí điểm, thiếu cơ chế điều phối thống nhất và công cụ tài chính hiệu quả như thu hồi giá trị đất (LVC) hay PPP toàn diện. Ngoài ra, yếu tố xã hội - dân cư ở Ba Son thể hiện mức độ ảnh hưởng thấp hơn do chưa hình thành cộng đồng cư dân ổn định quanh ga metro. Những khác biệt này phản ánh đặc thù thể chế phân tán và hạn chế về vốn đầu tư công của Việt Nam, đồng thời nhấn mạnh nhu cầu hoàn thiện khung pháp lý và cơ chế hợp tác công - tư trong giai đoạn sắp tới.

Trong năm nhóm yếu tố được xem xét, ba nhóm có tác động nổi bật và giữ vai trò then chốt là Quy hoạch - thiết kế đô thị, Tài chính - cơ hội đầu tư, và Chính sách - quản lý. Đây là những điều kiện quyết định đến hiệu quả quản lý, vận hành và khai thác TOD trong bối cảnh hiện nay. Hai nhóm còn lại là Giao thông công cộng - kết nối và Kinh tế - xã hội và dân cư, tuy có mức ảnh hưởng thấp hơn, nhưng vẫn là nền tảng cần thiết để bảo đảm sự phát triển bền vững lâu dài của mô hình TOD.

4.2. Kiến nghị

Dựa trên kết quả nghiên cứu, một số kiến nghị định hướng được đề xuất nhằm phát triển hiệu quả mô hình TOD tại TP.HCM. Trước hết, về Quy hoạch - thiết kế đô thị, cần thúc đẩy sử dụng đất hỗn hợp, phát triển mô hình đô thị nền với mật độ hợp lý quanh các ga metro, đồng thời chú trọng thiết kế không gian thân thiện với người đi bộ và bảo đảm sự kết nối giữa tầng trệt các công trình với hệ thống dịch vụ công cộng và thương mại.

Về Tài chính và đầu tư, việc triển khai cơ chế thu hồi giá trị đất (Land Value Capture) là cần thiết để tái đầu tư vào hạ tầng công cộng, kết hợp mở rộng hợp tác công - tư (PPP) và áp dụng các chính sách ưu đãi tài

chính cho doanh nghiệp tham gia phát triển tiện ích đô thị. Minh bạch hóa nguồn thu từ TOD cũng là giải pháp quan trọng nhằm ngăn ngừa đầu cơ bất động sản và bảo đảm lợi ích công cộng.

Đối với chính sách và quản lý, cần sớm hoàn thiện hành lang pháp lý chuyên biệt cho TOD, tích hợp quy hoạch không gian với quy hoạch giao thông, đồng thời thành lập cơ quan điều phối liên ngành để nâng cao hiệu quả điều hành, nhằm hạn chế sự phân tán và trùng lặp trong quản lý. Cần thiết lập cơ chế điều phối liên ngành thống nhất giữa các sở quy hoạch, giao thông, xây dựng, tài chính và môi trường nhằm bảo đảm quy hoạch tích hợp và triển khai đồng bộ TOD. Nền thành lập cơ quan điều phối chuyên trách TOD cấp đô thị, có quyền điều hành và chia sẻ dữ liệu giữa các bên, đồng thời áp dụng cơ chế PPP và thu hồi giá trị đất (LVC) minh bạch để huy động nguồn lực tư nhân. Cách tiếp cận này giúp giảm chồng chéo quản lý và nâng cao hiệu quả chính sách phát triển TOD tại Việt Nam. Bên cạnh đó, công tác giám sát, nghiệm thu và đánh giá ảnh hưởng trong suốt vòng đời dự án cần được chú trọng để bảo đảm tính minh bạch và hiệu quả thực tiễn.

Ngoài ra, dù được đánh giá thấp hơn, các yếu tố về Giao thông công cộng và kết nối cùng Kinh tế - xã hội và dân cư vẫn giữ vai trò nền tảng. Do đó, thành phố cần bổ sung các tuyến xe buýt gom, phát triển hệ thống xe đạp công cộng, cải thiện hạ tầng đi bộ và tăng cường kết nối liên vùng. Đồng thời, cần cân đối phát triển bất động sản thương mại với nhà ở xã hội và nâng cấp hạ tầng y tế, giáo dục, không gian xanh, qua đó nâng cao chất lượng sống và tạo sự đồng thuận từ cộng đồng dân cư.

Việc triển khai đồng bộ các nhóm giải pháp nêu trên sẽ giúp khu vực TOD tại ga Ba Son phát huy tối đa tiềm năng, trở thành hạt nhân trong chiến lược phát triển đô thị bền vững của TP.HCM, đồng thời tạo tiền đề cho việc nhân rộng mô hình TOD tại các đô thị lớn khác ở Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. ARUP (2025), Mô hình TOD Hàng Xanh - Quy hoạch ý tưởng phạm vi công việc và đề xuất. Báo cáo công ty ARUP.
- [2]. Bertolini, L. (1999). Spatial development patterns and public transport: The application of an analytical model in the Netherlands. *Planning Practice and Research*, 14(2), 199–210. <https://doi.org/10.1080/02697459915724>
- [3]. Calthorpe, P. (1993). *The next American metropolis: Ecology, community, and the American dream*. Princeton Architectural Press.
- [4]. Cervero, R. (2004). *Transit-oriented development in the United States: Experiences, challenges, and prospects* (TCRP Report 102). Transportation Research Board.
- [5]. Cervero, R., & Kockelman, K. (1997). Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2(3), 199–219. [https://doi.org/10.1016/S1361-9209\(97\)00009-6](https://doi.org/10.1016/S1361-9209(97)00009-6)
- [6]. Curtis, C., Renne, J. L., & Bertolini, L. (2009). *Transit oriented development: Making it happen*. Ashgate.
- [7]. Dittmar, H., & Ohland, G. (Eds.). (2012). *The new transit town: Best practices in transit-oriented development*. Island Press.
- [8]. Japan International Cooperation Agency (JICA, 2019). Báo cáo cuối kỳ: Đề xuất hướng dẫn thực hiện TOD tại Hà Nội và TP.HCM Japan International Cooperation Agency.
- [9]. Lê Trung Hiếu (2023), Chiến lược đặc biệt để kiến thiết đô thị - Phát triển theo định hướng TOD, Báo Kinh tế đô thị. <https://kinhtedothi.vn/chien-luoc-dac-biet-de-kien-thiet-do-thi.html>
- [10]. Lý Khánh Tâm Thảo (2025). Quy hoạch TOD tại Thành phố Hồ Chí Minh và kinh nghiệm thế giới. Tọa đàm “Giải pháp quy hoạch và thiết kế kiến trúc cho không gian công cộng tiếp cận nhà ga các tuyến metro tại Thành phố Hồ Chí Minh” Trường Đại học GTVT Phân hiệu tại TP.HCM.
- [11]. Ngọc Tân (2025). Tháp Saigon Marina - một hình dung về TOD dọc metro ở TP.HCM, <https://dantri.com.vn/thoi-su/thap-saigon-marina-mot-hinh-dung-ve-tod-dọc-metro-o-tphcm-20250819122341918.htm>.
- [12]. Trần Huy Ánh (2025), Phát triển Đường sắt đô thị theo định hướng TOD: kinh nghiệm quốc tế và Hà Nội; Tạp chí Kiến trúc, <https://www.tapchikientruc.com.vn/chuyen-muc/phan-trien-duong-sat-do-thi-theo-dinh-huong-tod-kinh-nghiem-quoc-te-va-ha-noi.html>.
- [13]. Trần Minh Đức (2025) Phát triển mô hình TOD gắn với kinh tế sẽ chia trong bối cảnh phát triển đô thị TP.HCM - Cơ hội và thách thức. Tọa đàm “Giải pháp quy hoạch và thiết kế kiến trúc cho không gian công cộng tiếp cận nhà ga các tuyến metro tại TP.HCM” Trường Đại học GTVT Phân hiệu tại TP.HCM
- [14]. World Bank. (2020). *Transforming urban transport*. World Bank.
- [15]. Encity (2023). *Transit-Oriented Development Strategy for Ho Chi Minh City*.

Ứng dụng mô hình ANP trong đánh giá mức độ tác động rủi ro kỹ thuật trong công tác khai thác đội tàu dầu - hóa chất áp dụng tại khu vực phía Nam Việt Nam

Application of the anp model in assessing the impact level of technical risks in the operation of oil-chemical tanker fleets: A case study in Southern Vietnam

> **THS LÊ HÀ MINH*, PGS.TS TRẦN QUANG PHÚ, TS ĐÌNH GIA HUY**

Trường Đại học Giao thông vận tải TP. Hồ Chí Minh

*Email: haminh.kvtb@gmail.com

TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu sử dụng phương pháp phân tích mạng ANP (Analytical network process) nhằm xác định mức độ tác động của một số rủi ro về mặt kỹ thuật đến ba mục tiêu chính của công tác khai thác đội tàu dầu - hóa chất tại khu vực phía Nam Việt Nam, bao gồm: Lợi nhuận, chất lượng vận tải, an toàn hàng hải. Với nhóm rủi ro này, 9 biến thành phần được xác định. Kết quả cho thấy, các biến rủi ro KT9 - cháy nổ có chỉ số ưu tiên (RPI) là 0.1164 và được xem là nhóm có chỉ số ưu tiên cao nhất. Các biến còn lại được xếp trong nhóm có mức độ ưu tiên quản lý nhỏ hơn.

Từ khóa: ANP; đánh giá rủi ro; khai thác đội tàu; tàu dầu - hóa chất.

ABSTRACT

This study employs the Analytical Network Process (ANP) to evaluate the extent to which selected technical risks affect three core objectives in the operation of oil-chemical tanker fleets in Southern Vietnam: profitability, transport quality and maritime safety. Within this risk group, nine component variables were identified. The findings indicate that the variable KT9 - Fire and Explosion attained the highest Risk Priority Index (RPI) of 0.1164, ranking as the most critical factor. The remaining variables fall into lower-priority categories for management attention.

Keywords: ANP; risk assessment; fleet operation; oil-chemical tanker.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong năm 2024, nhu cầu vận chuyển xăng dầu và hóa chất trong nước gia tăng mạnh mẽ cùng với sự ổn định của nguồn cung năng lượng. Điều này khiến đội tàu chuyên chở dầu - hóa chất, đặc biệt ở khu vực phía Nam tiếp tục giữ vai trò then chốt trong bảo đảm lưu thông hàng hóa và cân đối cung cầu. Tuy nhiên, quá trình khai thác các đội tàu này tiềm ẩn nhiều rủi ro kỹ thuật, do đặc thù hàng hóa dễ cháy nổ, độc hại và yêu cầu vận hành an toàn nghiêm ngặt. Việc duy trì hiệu suất khai thác trong khi vẫn bảo đảm tuân thủ quy chuẩn an toàn đặt ra áp lực lớn đối với doanh nghiệp vận tải, đặc biệt là các doanh nghiệp vừa và nhỏ [1, 2].

Song song đó, các tiêu chuẩn kỹ thuật và môi trường quốc tế như IMO 2020 hay lộ trình cắt giảm phát thải khí nhà kính tiếp tục siết chặt yêu cầu đối với đội tàu Việt Nam. Điều này buộc các doanh nghiệp phải đầu tư nâng cấp phương tiện, cải tiến công nghệ và quản lý bảo trì hiệu quả hơn để giảm thiểu sự cố kỹ thuật, tránh gián đoạn khai thác và duy trì khả năng cạnh tranh. Nếu không, nguy cơ phát sinh các rủi ro như hỏng hóc máy móc, rò rỉ hóa chất, cháy nổ

hoặc sự cố vận hành sẽ trực tiếp đe dọa đến an toàn hàng hải, chất lượng dịch vụ và lợi nhuận khai thác.

Các nghiên cứu trước đây tuy đã đề cập đến rủi ro trong vận hành đội tàu nhưng vẫn còn nhiều hạn chế khi phân tích khía cạnh kỹ thuật. Một số chỉ dừng lại ở việc liệt kê các rủi ro tiềm ẩn mà chưa sử dụng các phương pháp định lượng để đo lường mức độ ảnh hưởng. Số khác lại chỉ tập trung vào tình huống riêng lẻ, chưa đánh giá toàn diện tác động tổng hợp của rủi ro kỹ thuật đến hiệu quả khai thác, bao gồm lợi nhuận, an toàn hàng hải và chất lượng vận tải. Do đó, việc nhận diện, định lượng và xây dựng chiến lược ứng phó với nhóm rủi ro này trở thành vấn đề cấp thiết, nhằm bảo đảm khai thác bền vững đội tàu dầu - hóa chất trong bối cảnh hội nhập và biến động toàn cầu quản lý rủi ro.

2. NHẬN DẠNG CÁC RỦI RO KỸ THUẬT CỦA CÔNG TÁC KHAI THÁC ĐỘI TÀU DẦU - HÓA CHẤT

Thông qua việc nghiên cứu rủi ro kỹ thuật liên quan công tác khai thác đội tàu dầu - hóa chất ở khu vực phía Nam Việt Nam, tác

giả sẽ tiến hành xác định một số rủi ro liên quan đến rủi ro về mặt kỹ thuật ảnh hưởng đến các mục tiêu đã nêu trên. Bài báo sẽ đánh giá mức độ tác động của các nhóm rủi ro đến 3 mục tiêu chính của công tác khai thác đội tàu dầu - hóa chất là lợi nhuận, chất lượng vận tải, an toàn hàng hải. Nói cách khác, mức độ ưu tiên quản lý của các nhóm rủi ro được xác định căn cứ vào mức độ tác động của chúng. Để hoàn thành mục tiêu nghiên cứu, phương pháp định tính và định lượng sẽ thông qua phương pháp phân tích mạng ANP. Các biến rủi ro về mặt kỹ thuật được xác định dựa trên các nghiên cứu trước và thực trạng trong công tác khai thác đội tàu dầu - hóa chất và thể hiện trong Bảng 1 như sau:

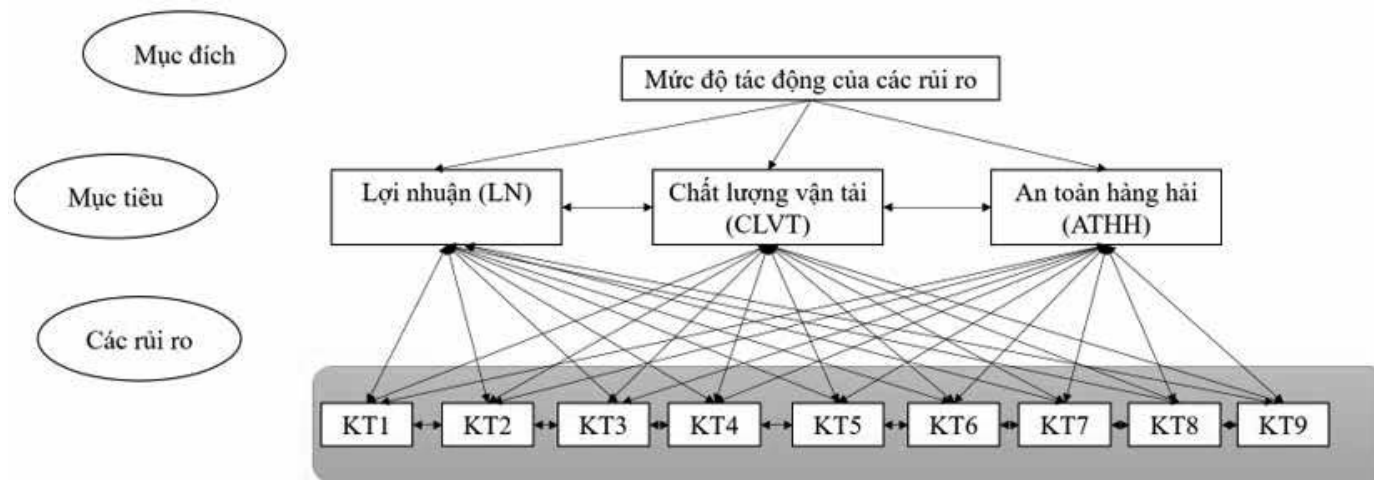
Bảng 1. Các biến rủi ro kỹ thuật tổng hợp từ các nghiên cứu trước đây

Mã hóa	Biến rủi ro thành phần	Nghiên cứu đã thực hiện
KT1	Tàu già ảnh hưởng đến tải trọng và độ bền kết cấu của tàu	Tianshou Liu, Chaojun Ding, Hongxiang Feng, Manel Grifoll, Vytautas Paulauskas 2009 [3], Arslan - 2009 [4], Jon Ivar Havold 2010 [5]
KT2	Lỗi hệ thống và thông tin không chính xác	Ramos Martins Marcos Coelho Maturana [6]
KT3	Tàu mắc cạn, va chạm, lật úp	Bulut Ozan Ceylan, Mehmet Serdar Celik [7]
KT4	Hư hỏng các thiết bị máy, lái, thiết bị xếp dỡ hàng hóa	Fei Gao [8]
KT5	Mất neo, hỏng xích neo	Ali Cem Kuzu [9]
KT6	Hàng hóa rò rỉ ra buồng, thải ra khí độc	Sukru Ilke Sezer, Gizem Elidolu, Emre Akyuz, Ozcan Arslan [10]
KT7	Không thể đo chính xác áp suất và các thông số khác	Sukru Ilke Sezer, Gizem Elidolu, Emre Akyuz, Ozcan Arslan [10]
KT8	Các lỗi trong quá trình giải phóng khí của tàu dầu và tàu hóa chất	Gizem Elidolu, Esmâ Uflaz, Muhammet Aydin, Erkan Celik, Emre Akyuz, Ozcan Arslan [11]
KT9	Cháy nổ	Cenk AyTaylan GülerElif Bal Beşikçi [12]

3. MÔ HÌNH VÀ KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Mô hình nghiên cứu

Hơn 120 phiếu khảo sát được gửi đi, tác giả thu được 101 phiếu khảo sát, trong đó 95 phiếu khảo sát được hoàn thành đầy đủ, tỉ lệ này chiếm 80%. Do vậy, 95 phiếu sẽ được sử dụng để phân tích trong nghiên cứu này. Kết quả cho thấy, phần lớn đối tượng được phỏng vấn trong nhóm này có kinh nghiệm làm việc trên 5 năm (69,474%). Trình độ học vấn của các chuyên gia được khảo sát thì 86,316% là trình độ đại học và 13,694% đạt trình độ sau đại học. Trong đó, phần lớn các chuyên gia được khảo sát thuộc chủ tàu với 73 phiếu, chiếm 76,842%, 23,158% các chuyên gia còn lại thuộc các đơn vị: Chủ hàng, đơn vị sửa chữa, môi giới, đăng kiểm, hoa tiêu. Thông qua phân tích thống kê mô tả, giá trị trung bình mức độ ưu tiên của các mục tiêu dự án (lợi nhuận, chất lượng vận tải, an toàn hàng hải) và mức độ tác động của rủi ro kinh tế đến các mục tiêu sẽ được xác định. Việc sử dụng ANP nhằm chuyển đổi điểm số của các chuyên gia cho các nhóm mục tiêu và nhóm rủi ro thành chỉ số xác định mức độ ưu tiên tổng hợp của các nhóm rủi ro. Quy trình thực hiện ANP bắt đầu với việc thiết lập mô hình, thể hiện trong Hình 1.



Hình 1. Mô hình ANP cho các biến rủi ro kỹ thuật

3.2. Kết quả nghiên cứu

Dựa vào Hình 1, ma trận đầu tiên được xây dựng đó là ma trận so sánh các mục tiêu, thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 2. Ma trận so sánh cặp cho các mục tiêu của công tác khai thác đội tàu dầu - hóa chất

Mục tiêu	Giá trị trung bình	Lợi nhuận	Chất lượng vận tải	An toàn hàng hải	Chỉ số nhất quán (CR)
Lợi nhuận	7,247	1	0,962	0,862	0,00051
Chất lượng vận tải	7,558	1,039	1	0,895	
An toàn hàng hải	8,442	1,162	1,118	1	

Giá trị CR = 0,00 < 0,1, điều này chỉ ra rằng ma trận so sánh cặp thể hiện trong Bảng 3 đồng nhất. Kết quả tính toán từ ma trận không trọng số, ma trận trọng số và ma trận giới hạn thể hiện trong Bảng 3.

Bảng 3. Kết quả tính toán mức độ ưu tiên của các mục tiêu

Tiêu chí	Tổng giá trị (TPV)	Giá trị được chuẩn hóa (NPV)	Giá trị lý tưởng (IPV)	Xếp hạng thứ tự ưu tiên
Lợi nhuận	0,0284	0,3126	0,8735	3
Chất lượng vận tải	0,2197	0,3295	0,9208	2
An toàn hàng hải	0,2386	0,3579	1,0000	1

Kết quả từ các siêu ma trận chỉ ra rằng các mục tiêu về lợi nhuận, chất lượng vận tải, an toàn hàng hải có mức độ tác động hay mức độ ưu tiên là khác nhau theo cách nhìn nhận của các chuyên gia tham gia trong cuộc khảo sát này. Theo kết quả này thì mục tiêu về an toàn hàng hải là mục tiêu có mức độ ưu tiên cao nhất với chỉ số ưu tiên là 0,3579, tiếp đến là chất lượng vận tải có giá trị là 0,3295 và cuối cùng là mục tiêu lợi nhuận với giá trị 0,3126. Tương tự, kết quả tính toán tổng hợp đối với các biến thuộc nhóm rủi ro kỹ thuật thể hiện trong Bảng 4.

Bảng 4. Tóm tắt kết quả ma trận giới hạn và các chỉ số ưu tiên cho các biến rủi ro kỹ thuật

Mức độ ưu tiên của rủi ro nội bộ				Kết quả tổng hợp		
Nhóm rủi ro	Lợi nhuận	Chất lượng vận tải	An toàn hàng hải	NPV	IPV	Xếp hạng
KT1	0,074496	0,074496	0,074496	0,1117	0,9602	4
KT2	0,072394	0,072394	0,072394	0,1086	0,9331	8
KT3	0,074953	0,074953	0,074953	0,1124	0,9661	3
KT4	0,073594	0,073594	0,073594	0,1104	0,9486	6
KT5	0,071627	0,071627	0,071627	0,1074	0,9232	9
KT6	0,075114	0,075114	0,075114	0,1127	0,9682	2
KT7	0,072683	0,072683	0,072683	0,109	0,9368	7
KT8	0,074223	0,074223	0,074223	0,1113	0,9567	5
KT9	0,077583	0,077583	0,077583	0,1164	1	1

4. THẢO LUẬN KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Kết quả phân tích theo phương pháp ANP chỉ ra rằng, trong nhóm rủi ro kỹ thuật, yếu tố “Cháy nổ” (KT9) được xác định là rủi ro nổi trội nhất với chỉ số NRPI = 0,1164. Đây là nguy cơ có khả năng gây ra những thiệt hại đặc biệt nghiêm trọng đối với con người, tài sản, môi trường cũng như uy tín doanh nghiệp, nhất là trong khai thác tàu chở dầu và hóa chất dễ cháy, nơi hiện tượng phát tán hơi dầu khí gặp nguồn lửa có thể dẫn đến sự cố nổ lớn. Đúng thứ hai là rủi ro “Hàng hóa rò rỉ ra boong, phát thải khí độc” (KT6) với NRPI = 0,1127. Dù không phải lúc nào cũng được đánh giá cao khi xem xét đơn lẻ, song rủi ro này có khả năng tạo ra tác động dây chuyền tới nhiều yếu tố khác, do đó cần được xếp vào nhóm ưu tiên trong quản lý.

Vị trí thứ ba thuộc về “Tàu mắc cạn, va chạm hoặc lật úp” (KT3) (NRPI = 0,1124), vốn gây hậu quả trực tiếp đến an toàn thuyền viên, tình trạng con tàu và môi trường biển; minh chứng điển hình là sự

cố tàu Chemroad Journey tại vùng biển Bình Thuận [13]. Các rủi ro tiếp theo bao gồm: “Tàu cao tuổi làm giảm tải trọng và độ bền kết cấu” (KT1, NRPI = 0,1117), phản ánh mối nguy tiềm ẩn do xuống cấp vật chất; “Sai sót trong quá trình giải phóng khí” (KT8), có thể dẫn đến tích tụ hỗn hợp dễ cháy hoặc phát tán khí độc; “Hư hỏng máy móc, thiết bị lái và hệ thống xếp dỡ” (KT4), dễ gây gián đoạn khai thác và làm tăng nguy cơ cháy nổ, tràn dầu; “Không đo lường chính xác áp suất và các thông số kỹ thuật” (KT7, NRPI = 0,109), ảnh hưởng đến công tác giám sát và kiểm soát an toàn; “Lỗi hệ thống hoặc thông tin sai lệch” (KT2, NRPI = 0,108), có thể dẫn tới quyết định không chính xác, làm gia tăng khả năng va chạm; cuối cùng là “Mất neo, hỏng xích neo” (KT5), được đánh giá có tần suất thấp hơn và có thể hạn chế thông qua bảo dưỡng định kỳ cũng như quy trình ứng phó thích hợp.

Tổng thể kết quả phân tích cho thấy, những rủi ro có khả năng gây tổn thất trực tiếp lớn và lan tỏa trong hệ thống (KT9, KT6,

KT3) luôn được xếp ở mức ưu tiên hàng đầu. Ngược lại, các rủi ro ít nghiêm trọng hơn hoặc đã có biện pháp kiểm soát hữu hiệu (KT5, KT2) thường được xếp cuối. Điều này nhấn mạnh tầm quan trọng của việc tập trung nguồn lực vào quản lý và kiểm soát các rủi ro trọng yếu, đặc biệt là những yếu tố có thể gây ra hậu quả thảm khốc và tạo hiệu ứng lan truyền trong khai thác đội tàu dầu - hóa chất.

5. KẾT LUẬN

Đội tàu chở dầu và hóa chất là một trong những lĩnh vực trọng điểm nhưng tiềm ẩn nhiều nguy cơ mất an toàn trong hoạt động hàng hải. Thực tế cho thấy, hệ thống khai thác loại tàu này đang phải đối mặt với hàng loạt rủi ro kỹ thuật có thể gây thiệt hại nghiêm trọng về người, tài sản, môi trường và uy tín doanh nghiệp. Bài báo đã xác định và đánh giá mức độ tác động tổng hợp của các rủi ro kỹ thuật này đến an toàn khai thác thông qua phương pháp phân tích mạng ANP.

Trong nhóm rủi ro kỹ thuật, biến KT9 - Cháy nổ với chỉ số ưu tiên 0,1164 được xác định là yếu tố có mức độ rủi ro cao nhất. Tiếp theo là KT6 - Hàng hóa rò rỉ ra boong, thải ra khí độc (NRPI = 0,1127) và KT3 - Tàu mắc cạn, va chạm, lật úp (NRPI = 0,1124). Các yếu tố này có khả năng gây hậu quả trực tiếp và lan tỏa đến nhiều rủi ro khác trong hệ thống, nên cần được ưu tiên hàng đầu trong quản lý an toàn. Các yếu tố còn lại như tàu già, lỗi giải phóng khí, hư hỏng thiết bị, sai số đo đạc, lỗi hệ thống thông tin và mất neo có chỉ số ưu tiên thấp hơn, phản ánh mức độ rủi ro có thể kiểm soát thông qua quy trình bảo trì, giám sát và ứng phó khẩn cấp.

Kết quả nghiên cứu góp phần hỗ trợ các doanh nghiệp khai thác và quản lý đội tàu dầu, hóa chất trong việc xác định mức độ ưu tiên quản lý rủi ro, từ đó xây dựng giải pháp kiểm soát phù hợp nhằm giảm thiểu tối đa các tác động tiêu cực đến mục tiêu an toàn, hiệu quả và bền vững trong khai thác.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Công ty chứng khoán MBS (2024), Báo cáo cập nhật cổ phiếu PVT - Tổng CTCP Vận tải Dầu k, Báo cáo thị trường vận tải dầu khí toàn cầu năm 2024. [Online]. Available: https://image.tinnhanhchungkhoan.vn/Uploaded/2024/cqjwqcqdh/2024_10_22/baocaocapnhatpvt-389.pdf.
- [2]. Công ty Vận tải biển Việt Nam (VOSCO), Tổng quan và triển vọng thị trường vận tải tàu dầu trong quý I năm 2023 (2023), [Online]. Available: <https://www.vosco.vn/vi/a/news/tong-quan-va-trien-vong-thi-truong-van-tai-tau-dau-trong-quy-1-nam-2023-1108.html>.
- [3]. Vytautas Paulauskas, The safety of tankers and single point mooring during loading operations, transport, doi: DOI:%2010.3846/1648-4142.2009.24.54-57,%20www.transport.vgtu.lt.
- [4]. O. Arslan (Mar., 2009), Quantitative evaluation of precautions on chemical tanker operations, Process Safety and Environmental Protection, vol.87, no.2, pp.113-120, doi: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2008.06.006>.
- [5]. J. I. Håvold (May, 2010), Safety culture and safety management aboard tankers, Reliability Engineering & System Safety, vol.95, no.5, pp.511-519, doi: <https://doi.org/10.1016/j.res.2010.01.002>.
- [6]. M. R. Martin and M. C. Maturana (Feb., 2013), Application of Bayesian Belief networks to the human reliability analysis of an oil tanker operation focusing on collision accidents, Reliability Engineering & System Safety, vol.110, pp.89-109, doi: <https://doi.org/10.1016/j.res.2012.09.008>.
- [7]. Bulut Ozan Ceylan and Mehmet Serdar Celik (2024), Operational risk assessment of marine boiler plant for on-board systems safety, Applied Ocean Research, vol.144, p.103914, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apor.2024.103914>.
- [8]. F. Gao (Dec., 2022), An integrated risk analysis method for tanker cargo handling operation using the cloud model and DEMATEL method, Ocean Engineering, vol.266, p.113021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.113021>.
- [9]. Ali Cem Kuzu (2023), Application of fuzzy DEMATEL approach in maritime

transportation: A risk analysis of anchor loss, Ocean Engineering, vol.273, p.113786, doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.113786>.

[10]. S. I. Sezer, G. Elidolu, E. Akyuz and O. Arslan (Dec., 2023), A quantified risk analysis for oil spill during crude oil loading operation on tanker ship under improved Z-number based Bayesian Network approach, Marine Pollution Bulletin, vol.197, p.115796, doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115796>.

[11]. Elidolu, Gizem, Uflaz, Esma, M. Aydin, E. Celik, E. Akyuz and O. Arslan (Dec., 2022), Numerical risk analysis of gas freeing process in oil/chemical tanker ships, Ocean Engineering, vol.266, p.113082, doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.113082>.

[12]. M. Jin, W. Shi, K. F. Yuen, Y. Xiao and K. X.Li (Oct., 2022), Implementation of ARAMIS methodology in the risk assessment of chemical tankers: The case of loading operation, Marine Policy, vol.108, p.103655, doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2019.103655>.

[13]. Khánh Hòa, Chạy đua “cứu” tàu chở hơn 33.000 tấn hoá chất mắc cạn ở Bình Thuận Khánh Hòa, thứ Bảy, 17/06/2017 19:16 (GMT+7). [Online]. Available: <https://laodong.vn/thoi-su/chay-dua-cuu-tau-cho-hon-33000-tan-hoa-chat-mac-can-o-binh-thuan-517350.ldo>.

Tính toán và so sánh hệ số động lực cho cầu đường sắt và đường sắt tốc độ cao theo tiêu chuẩn thiết kế của Việt Nam và một số nước trên thế giới

Calculation and comparison of dynamic coefficients for railway bridges and high-speed railways according to design standards of Vietnam and some countries in the world

> PGS.TS HOÀNG HÀ

Trường Đại học Giao thông vận tải

Email: hoangha@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Hệ số động lực (Dynamic Amplification Factor DAF) là một trong những thông số quan trọng nhất để đánh giá ứng xử động lực của cầu do tác dụng động lực của ô tô, đoàn tàu đường sắt, đoàn tàu cao tốc di động trên cầu. Thông số này được sử dụng trong các tiêu chuẩn thiết kế cầu thay cho việc phân tích trực tiếp hiệu ứng động lực theo mô hình đồng bộ đoàn tàu - đường ray - kết cấu cầu. Từ DAF và các mối quan hệ có thể suy ra những phương án thay thế tốt cho phân tích động lực học do tiết kiệm thời gian và chi phí tính toán. Mặc dù được đánh giá là có tầm quan trọng rất lớn nhưng phương pháp tính hệ số động lực theo các tiêu chuẩn thiết kế cầu đường sắt và cầu trên đường sắt tốc độ cao (ĐSTĐC) của các nước trên thế giới lại không thống nhất, dẫn đến các giá trị đưa vào tính toán có những khác biệt đáng kể. Bài báo giới thiệu kết quả phân tích so sánh cách tính hệ số động lực cho cầu đường sắt và cầu ĐSTĐC theo tiêu chuẩn Việt Nam và tiêu chuẩn của một số nước làm cơ sở phục vụ nghiên cứu và thiết kế các công trình cầu đường sắt và ĐSTĐC ở Việt Nam.

Từ khóa: Cầu trên đường sắt và đường sắt tốc độ cao; hiệu ứng động lực trong kết cấu cầu do hoạt tải đoàn tàu; so sánh phương pháp tính toán hệ số động lực theo các tiêu chuẩn thiết kế của các nước khác nhau.

ABSTRACT

Dynamic Amplification Factor (DAF) is one of the most important parameters to evaluate the dynamic behavior of the bridge due to the dynamic effect of cars, railway trains and high-speed trains moving on the bridge. This parameter is used in bridge design standards instead of directly analyzing dynamic effects according to the train-rail-bridge structure synchronous model. From DAF and the relationships, good alternatives to dynamic analysis can be deduced due to saving time and computational costs. Although it is considered to be of great importance, the method of calculating the dynamic coefficient according to the Design Standards for Railway Bridges and Bridges on High Speed Rail of countries around the world is not unified, leading to significant differences in the calculated values. This article introduces the results of comparative analysis of the calculation of dynamic coefficients for railway bridges and high-speed railway bridges according to Vietnamese Standards and Standards of some foreign countries as a basis for research and design of railway bridges and high-speed railways in Vietnam.

Keywords: Railway and high-speed railway bridges; dynamic effects in bridge structures due to train live loads; comparison of dynamic coefficient calculation methods according to design standards of different countries.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tác dụng động lực của đoàn tàu đường sắt lên kết cấu cầu là vấn đề phức tạp, liên quan đến nhiều đặc điểm động lực học như đặc điểm cấu tạo và tốc độ của tàu, dạng sơ đồ và các tham số kỹ thuật của kết cấu cầu, chất lượng của đường ray... Nghiên cứu về ứng xử động lực học của kết cấu cầu chịu tác động của phương tiện giao thông di động đã có từ khoảng một thế kỷ trước. Tuy nhiên, việc nghiên cứu ứng xử động lực của cầu chịu tác động của tàu cao tốc được bắt đầu kể từ khi tàu cao tốc đầu tiên được sử dụng ở Nhật Bản vào năm 1964 [11]. Rất nhiều nghiên cứu đã được thực hiện để đánh giá ứng xử động lực của kết cấu cầu chịu tác động của đoàn tàu di động tốc độ cao [10]. Tiêu chuẩn thiết kế cầu cho đường sắt và ĐSTĐC đã chỉ dẫn rõ có 2 mô hình phân tích kết cấu cầu dưới tác dụng của đoàn tàu đường sắt [1]:

- Mô hình động lực là mô hình được xây dựng với hệ thống đồng bộ xét tương tác động lực giữa đoàn tàu - đường ray - kết cấu.
- Mô hình bán tĩnh là mô hình được đơn giản hóa bằng cách phân tích kết cấu theo sơ đồ chịu tác động tĩnh nhưng các lực tác động được gia tăng bằng cách đưa thêm vào các hệ số động lực (ký hiệu $[1+IM]$ hoặc Φ).

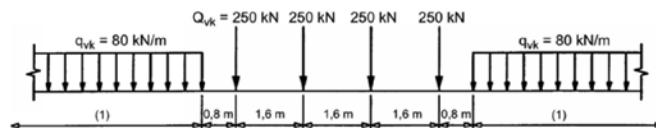
Phạm vi ứng dụng của 2 mô hình nêu trên cũng được chỉ dẫn cơ bản phụ thuộc vào tốc độ thiết kế của đoàn tàu đường sắt. Trong các tiêu chuẩn Việt Nam, Eurocode và của Liên minh Đường sắt thế giới (UIC) đã quy định yêu cầu phân tích theo mô hình động lực áp dụng cho kết cấu cầu trên các tuyến đường sắt có tốc độ thiết kế lớn hơn 200 km/h. Tuy nhiên, tại Điều 11 của TCVN 13594-3:2022 chỉ dẫn sự cần thiết và điều kiện áp dụng mô hình phân tích động, trong đó cho thấy có những trường hợp mặc dù vận tốc thiết kế lớn hơn 200 km/h nhưng cũng không yêu cầu phân tích động mà sử dụng mô hình phân tích bán tĩnh cùng với việc đưa thêm các hệ số động lực ($1+IM = \Phi$) khi xét hiệu ứng động lực do đoàn tàu ĐSTĐC. Hơn nữa, tại Mục 11.4.4.6.5 quy định về kiểm toán an toàn kết cấu cầu dưới tác dụng của các tổ hợp tải trọng có chỉ dẫn: “*Sự gia tăng hiệu ứng động của tải được cho phép bằng cách nhân tải tĩnh bởi hệ số động lực Φ xác định. Nếu phân tích động là cần thiết, kết quả phân tích động sẽ được so sánh với kết quả của phân tích tĩnh được tăng thêm bởi hệ số Φ (và nếu được yêu cầu nhân với α) và các hiệu ứng tải bất lợi nhất sẽ được sử dụng cho thiết kế cầu*”. Như vậy, dù kết cấu được phân tích theo mô hình động lực vẫn phải xác định hệ số động lực ($1+IM$ hoặc Φ) để đưa vào mô hình phân tích bán tĩnh và so sánh với kết quả phân tích động.

Mặc dù được đánh giá là có tầm quan trọng rất lớn nhưng cách tính hệ số động lực ($1+IM$) của các tiêu chuẩn thiết kế cầu đường sắt và ĐSTĐC trên các nước trên thế giới lại không thống nhất [5, 6, 9]. Một trong những nghiên cứu gần đây nhất về DAF của cầu liên tục ĐSTĐC của Viện Nghiên cứu Kỹ thuật Đường sắt Nhật Bản (JRTRI) đã chỉ ra rằng các công thức thực nghiệm trong tiêu chuẩn có thể đưa ra ước tính thận trọng về DAF của cầu liên tục ĐSTĐC [11]. Một nghiên cứu về cầu dầm thép đường sắt Hàn Quốc nhằm xác định DAF để nghiên cứu độ mỏi của cầu đã chỉ ra rằng quy chuẩn Hàn Quốc ước tính DAF quá cao [10]. Một nghiên cứu khác đã được thực hiện để xác định tác động của các thông số khác nhau lên DAF đã chỉ ra rằng việc tăng tốc độ tàu sẽ làm tăng DAF, tuy nhiên, tỷ lệ khoảng cách trục tải của toa xe đường sắt trên chiều dài nhịp lớn hơn sẽ tạo ra DAF nhỏ hơn [10]. Nghiên cứu gần đây nhất do Yazdani và Azimi [6] thực hiện trên cầu vòm dưới tàu cao tốc đang di chuyển đã cho thấy cầu nhịp dài nhạy hơn với phản ứng gia tốc, bất chấp cầu nhịp ngắn nhạy hơn với phản ứng độ võng của kết cấu. Thực trạng trên cho thấy cần nghiên cứu, so sánh phương pháp tính toán DAF cho cầu đường sắt và ĐSTĐC theo tiêu chuẩn Việt Nam và tiêu chuẩn một số nước ngoài làm cơ sở phục vụ nghiên cứu và thiết kế các công trình cầu đường sắt và ĐSTĐC ở Việt Nam.

2. MÔ HÌNH TẢI TRỌNG ĐOÀN TÀU ĐƯỜNG SẮT VÀ ĐSTĐC THEO TIÊU CHUẨN THIẾT KẾ

2.1. Mô hình đoàn tàu tốc độ cao thiết kế theo Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 13594-3:2022

Mô hình đoàn tàu tốc độ cao thiết kế theo Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 13594-3:2022 dựa trên cơ sở Tiêu chuẩn châu Âu EN1991-2 gồm 5 loại:

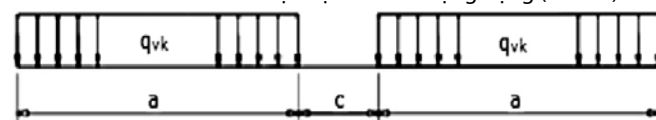


Hình 1. Mô hình tải trọng đường sắt tiêu chuẩn LM71

a - Mô hình tải trọng LM71 thể hiện trên Hình 1 (và mô hình tải trọng SW/0 cho cầu liên tục như trên Hình 2 và Bảng 1) để đại diện cho hoạt tải đường sắt tiêu chuẩn trên tuyến chính.

Mô hình LM71 áp dụng cho mỗi quốc gia được điều chỉnh bằng hệ số α (0,75; 0,83; 0,91; 1,00; 1,10; 1,21; 1,33; 1,46), được quy định trong Phụ lục Tiêu chuẩn của mỗi nước.

b - Mô hình SW/2 để đại diện cho tải trọng nặng (Hình 2).

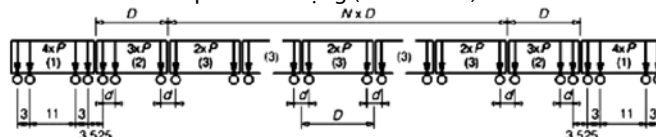


Hình 2. Mô hình tải trọng SW/0, SW/2

Bảng 1

Mô hình	q_{vk} (kN/m)	a (m)	c (m)
SW/0	133	15,0	5,3
SW/2	150	25,0	7,0

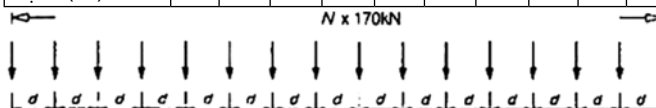
c - Mô hình đoàn tàu khách tốc độ cao (HSLM): Là đại diện cho đoàn tàu khách để phân tích động (Hình 3 và 4).



Hình 3. Mô hình HSLM-A

Bảng 2. Các thông số kỹ thuật của mô hình HSLM-A

Kí hiệu đoàn tàu	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
Số toa trung gian N	18	17	16	15	14	13	13	12	11	11
Chiều dài toa D (m)	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
K/c giá chuyển hướng d (m)	2,0	3,5	2,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,5	2,0	2,0
Tải trọng P (kN)	170	200	180	190	170	180	180	190	210	210



Hình 4. Mô hình đoàn tàu tốc độ cao HSLM-B

HSLM gồm hai mô hình là HSLM-A và HSLM-B, thể hiện tải trọng từ các tàu chở khách tốc độ trên 200 km/h. HSLM-A gồm 10 mô hình đoàn tàu, các phân tích yêu cầu cho biết tàu nào trong số 10 tàu sẽ được sử dụng, các đoàn tàu có số toa, khoảng cách trục và cường độ tải khác nhau. HSLM-B là một loạt các tải tập trung cách đều nhau, trong đó số lượng tải và khoảng cách của chúng phụ thuộc vào chiều dài nhịp. Tùy thuộc vào cấu hình cầu, HSLM-A

hoặc HSLM-B sẽ được chỉ định như giới thiệu trên Bảng 3. Thông thường, chỉ một đường ray được đặt tải với một tàu duy nhất cho mỗi trường hợp [1].

Bảng 3. Áp dụng mô hình HSLM-A và HSLM-B

Dạng kết cấu	Nhịp	
	L < 7 m	L ≥ 7 m
Nhịp gối giản đơn a	HSLM-B ^b	HSLM-A ^c
Kết cấu liên tục ^a hoặc kết cấu phức tạp ^e	HSLM-A ^b Bao gồm đoàn tàu A1 đến A10 ^d	HSLM-A Bao gồm đoàn tàu A1 đến A10 ^d

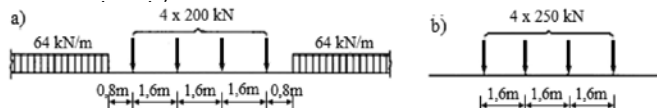
d - Mô hình tải trọng “đoàn tàu rỗng” gồm tải trọng thẳng đứng phân bố đều với giá trị đặc trưng 10,0 kN/m.

2.2. Mô hình đoàn tàu ĐSTĐC theo tiêu chuẩn của một số nước khác

Mô hình tải trọng đoàn tàu theo tiêu chuẩn châu Âu được áp dụng phổ biến ở nhiều nước trên thế giới và đã được sử dụng làm cơ sở xây dựng tiêu chuẩn thiết kế cầu đường sắt khổ 1.435 mm - vận tốc đến 350 km/h của Việt Nam TCVN 13594-2022. Tuy nhiên, một số nước khác có những sự phát triển mô hình tải trọng đoàn tàu có những khác biệt đáng kể.

2.2.1. Mô hình đoàn tàu ĐSTĐC theo tiêu chuẩn Trung Quốc

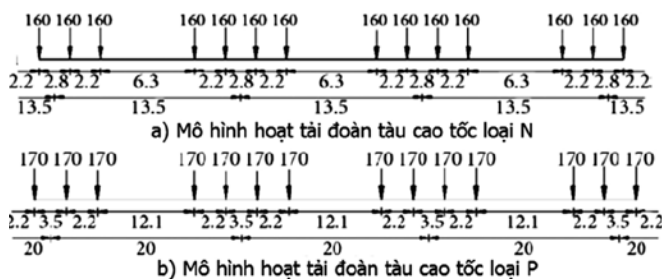
Theo Tiêu chuẩn TB10621:2014, Trung Quốc sử dụng mô hình đoàn tàu Z-K có giá trị bằng 0,8.LM71 của tiêu chuẩn châu Âu và mô hình Z-K đặc biệt, như ở Hình 5.



Hình 5. a) - Mô hình đoàn tàu ZK và b) - Mô hình đoàn tàu đặc biệt ZK

2.2.2. Mô hình đoàn tàu ĐSTĐC theo tiêu chuẩn Nhật Bản

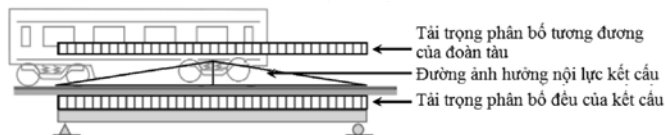
Nhật Bản đã sử dụng các mô hình hoạt tải loại “N” và “P” rất gần với sự phân bố tải trọng thực tế của đoàn tàu như giới thiệu trên Hình 6.



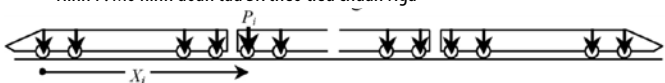
Hình 6. Các mô hình tải trọng đoàn tàu ĐSTĐC của Nhật Bản

2.2.3. Mô hình đoàn tàu đường sắt theo tiêu chuẩn ĐSTĐC Nga (SP.453. 1325800.2019)

Gồm mô hình tải trọng tiêu chuẩn (SK) như trên Hình 7. Các đoàn tàu khách cao tốc lấy mô hình HSLM-A của tiêu chuẩn Eurocode (Hình 3) và mô hình B1 đến B11 như Hình 8.



Hình 7. Mô hình đoàn tàu SK theo tiêu chuẩn Nga



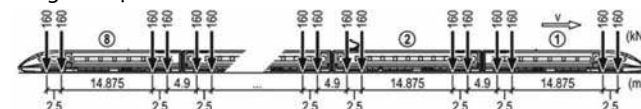
Hình 8. Mô hình đoàn tàu khách cao tốc loại B của Nga

Theo mô hình trên Hình 8 gồm 11 loại có các thông số số

lượng toa khác nhau, giá trị tải trọng trụ P_i sẽ thay đổi tùy thuộc vào khoảng cách từ đầu máy đến trục đầu tiên của toa thứ 2.

2.2.4. Mô hình đoàn tàu thực tế

Tùy theo yêu cầu cụ thể, nhiều dự án xây dựng ĐSTĐC sử dụng mô hình đoàn tàu thực để thiết kế. Một ví dụ mô hình đoàn tàu thực ICE giới thiệu trên Hình 7.



Hình 9. Cấu tạo toa xe đường sắt cao tốc ICE-3 của Đức

3. CÔNG THỨC TÍNH TOÁN HỆ SỐ ĐỘNG LỰC THEO TIÊU CHUẨN THIẾT KẾ CẦU CỦA VIỆT NAM VÀ CỦA MỘT SỐ NƯỚC TRÊN THẾ GIỚI

3.1. Định nghĩa hệ số động lực

Hệ số động lực (DAF) được tính toán bằng cách sử dụng tỷ lệ chênh lệch giữa các giá trị của phản ứng động và tĩnh (độ võng, mô-men uốn hoặc lực cắt) của cầu [1]. Các nghiên cứu trước đây chỉ ra rằng hệ số DAF thu được bằng cách lấy độ võng ở giữa nhịp đạt được sự tương đương với các giá trị dựa trên biến dạng [33, 34]. Theo các nghiên cứu gần đây và trong nghiên cứu này, tác động của tải trọng động lên cầu được xác định theo độ võng động và tĩnh tối đa trong suốt quá trình tác động của đoàn tàu lên kết cấu cầu.

DAF được mô tả bằng cách sử dụng tải trọng động cho phép (DLA) dựa trên các giá trị tối đa của phản ứng động và tĩnh ở nhịp giữa của cầu và được đưa ra bởi công thức [7]:

$$DLA = IM = \frac{S_{dyn} - S_{stat}}{S_{stat}} \text{ hay } DLA + 1 = \frac{S_{dyn}}{S_{stat}} = DAF \quad (1)$$

Trong đó: D_{dyn} và D_{stat} lần lượt biểu thị độ võng động và tĩnh tối đa, tính bằng mm, của các cầu được tính toán ở nhịp giữa.

3.2. Công thức tính toán hệ số động cho cầu đường sắt và ĐSTĐC

Các công thức DAF của các tiêu chuẩn thiết kế cầu đường sắt khác nhau được mô tả dựa trên nhiều biến số chính khác nhau [27, 35, 36]. Tốc độ tàu, dạng kết cấu và kích thước cấu tạo của cầu, chiều dài nhịp và tần số ở dạng thức dao động đầu tiên là một số thông số đã đề cập. Tuy nhiên, phương pháp tiếp cận vấn đề và biểu thức tính toán hệ số động lực theo các tiêu chuẩn thiết kế cầu đường sắt của các nước khác nhau lại không thống nhất, có thể tạm phân chia thành 3 nhóm chính:

- Nhóm 1: Công thức tính hệ số động lực chủ yếu chỉ dựa trên mối liên quan đến chiều dài nhịp cầu.
- Nhóm 2: Công thức tính hệ số động lực dựa trên chiều dài nhịp và dạng kết cấu cầu.
- Nhóm 3: Công thức tính hệ số động lực có đề cập đến vận tốc di chuyển của đoàn tàu và tần số dao động cơ bản của kết cấu nhịp cầu.

3.2.1. Công thức tính hệ số động lực nhóm 1

Chiều dài nhịp (L) được xác định là một thông số quan trọng liên quan đến phản ứng động của cầu đã được sử dụng trong hầu hết các công thức tính hệ số động lực của các tiêu chuẩn thiết kế cầu hành khách của các nước cho cầu đường sắt tốc độ tới 200 km/h.

3.2.1.1. Theo tiêu chuẩn thiết kế cầu đường sắt và ĐSTĐC của Việt Nam và Eurocode

$$DAF = \Phi_2 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\Phi - 0,2}} + 0,73 \text{ Điều kiện bảo trì tiêu chuẩn} \quad (2)$$

$$DAF = \Phi_3 = \frac{1,44}{\sqrt{L_\Phi - 0,2}} + 0,82 \text{ Điều kiện bảo trì cẩn thận} \quad (3)$$

3.2.1.2. Theo tiêu chuẩn thiết kế cầu đường sắt và ĐSTĐC của Trung Quốc (TB10621:2014)

$$DAF = (1 + IM) = 1 + \left(\frac{1,44}{\sqrt{L_\Phi - 0,2}} - 0,18 \right) \quad (4)$$

3.2.1.3. Theo Hiệp hội Kỹ thuật và Bảo trì Đường sắt Hoa Kỳ (AREMA) [6]:

$$DLA = (IM) = \begin{cases} \left(\frac{40 - 3L^2 / 148,6}{100} \right) & \text{cho } L \leq 24\text{m} \\ \left(\frac{16 + 182,9 / (L - 9,1)}{100} \right) & \text{cho } L > 24\text{m} \end{cases} \quad (5)$$

Trong (2) đến (5), L_0 - chiều dài nhịp (m), với dầm giản đơn là khoảng cách hai gối đỡ dọc cầu.

3.2.2. Công thức tính toán hệ số động lực theo nhóm 2

Tiêu biểu của nhóm này là công thức của Nga theo Tiêu chuẩn mới về Thiết kế đường sắt cao tốc (SP.453. 1325800.2019), hệ số động lực tính theo công thức ở Bảng 4 dùng cho mô hình các đoàn tàu đường sắt thông thường có tốc độ đến 200 km/h

Bảng 4. Công thức hệ số động lực của tải trọng đoàn tàu tiêu chuẩn theo Tiêu chuẩn Nga

Dạng kết cấu			Hệ số động lực	
Kết cấu nhịp	Thép và thép-bê tông liên hợp	Dàn liên tục	$DAF = (1 + \mu) = 1 + \frac{14}{30 + \lambda} \geq 1,15$	(6)
		Các dạng khác	$DAF = (1 + \mu) = 1 + \frac{18}{30 + \lambda} \geq 1,15$	(7)
	Bê tông cốt thép	Vòm	$DAF = (1 + \mu) = 1 + \frac{14}{100 + \lambda} \left(1 + \frac{0,4L}{f} \right) \geq 1,15$	(8)
		Các dạng khác	$DAF = (1 + \mu) = 1 + \frac{18}{20 + \lambda} \geq 1,15$	(9)
Trụ cầu, nền móng và cổng			$DAF = (1 + \mu) = 1,0$	(10)
Trong đó: λ - Chiều dài đường ảnh hưởng đặt tải (m); L - Chiều dài nhịp (m), f - Đường tên vòm				

Trong đó: λ - Chiều dài đường ảnh hưởng đặt tải (m); L - Chiều dài nhịp (m), f - Đường tên vòm

3.2.3. Công thức tính hệ số động lực theo nhóm 3

Các tiêu chuẩn thiết kế hầu như thống nhất quan điểm dùng các công thức ở nhóm 3 để tính toán hệ số động lực cho các đoàn tàu khách cao tốc với vận tốc lớn hơn 200 km/h.

3.2.3.1. Theo Tiêu chuẩn thiết kế cầu đường sắt và ĐSTĐC của Việt Nam và Eurocode

$$DAF = 1 + \varphi' + \varphi'' \quad \text{Điều kiện bảo trì tiêu chuẩn} \quad (11)$$

$$DAF = 1 + \varphi' + 0,5\varphi'' \quad \text{Điều kiện bảo trì cẩn thận} \quad (12)$$

Trong đó:

- φ' - Phần phụ xung kích do tác động của tốc độ chạy tàu.

$$\varphi' = \frac{K}{1 - K + K^4} \quad \text{cho } K < 0,76 \quad (13)$$

$$\varphi' = 1,325 \quad \text{cho } K \geq 0,76 \quad (14)$$

Với

$$K = \frac{v}{2 L n_0} \quad (15)$$

- φ'' - Sự gia tăng các hiệu ứng tải động được tính toán (ứng suất, chuyển vị, gia tốc dầm cầu...), do các khuyết tật tuyến đường và sự khiếm khuyết của xe tương ứng:

$$\varphi'' = \frac{\alpha}{100} \left[56e^{-\left(\frac{L\varphi}{10}\right)} + 50 \left(\frac{L\varphi n_0}{80} - 1 \right) e^{-\left(\frac{L\varphi}{20}\right)^2} \right] \geq 0 \quad (16)$$

$$\text{Với: } \alpha = v / 2 \text{ nếu } v \leq 22 \text{ m/s và } \alpha = 1 \text{ nếu } v > 22 \text{ m/s.} \quad (17)$$

- v - Vận tốc lớn nhất của phương tiện (km/h);

- n_0 - Tần số uốn thứ nhất của cầu chịu tải trọng thường xuyên, (Hz);

Giới hạn trên của n_0 được cho bởi:

$$n_0 = 94,76 L_0^{-0,748} \quad (18)$$

Giới hạn dưới của n_0 được cho bởi:

$$\begin{cases} n_0 = 80 / L_0 & \text{cho } 4\text{m} \leq L \leq 20\text{m} \\ n_0 = 23,58 L_0^{-0,592} & \text{cho } 20\text{m} < L \leq 100\text{m} \end{cases} \quad (19)$$

- L_0 - Chiều dài xác định, (m);

- α - Hệ số cho vận tốc.

Giới hạn áp dụng cho φ' trong biểu thức (13) và (14) là giới hạn dưới của tần số tự nhiên (18) và (19) và vận tốc 200 km/h. Cho các trường hợp khác φ' được xác định theo phân tích động. Giới hạn áp dụng cho φ'' theo biểu thức (16) là giới hạn trên của tần số tự (18) và (19). Cho các trường hợp khác φ'' có thể được xác định theo phân

tích động.

3.2.3.2. Theo Tiêu chuẩn thiết kế cầu đường sắt của Ontario (Canada)

Tiêu chuẩn này có cùng triết lý kỹ thuật như Eurocode và TCVN công thức được điều chỉnh như sau:

$$DLA = \frac{0,65K}{1 - K + K^2} \quad \text{trong đó } K = \frac{v}{2 L n_0} \quad (20)$$

3.2.3.3. Theo Tiêu chuẩn thiết kế cầu ĐSTĐC của Nga (SP.453.2019)

Về cơ bản, công thức tính hệ số động lực cho cầu ĐSTĐC của Nga thống nhất với Eurocode. Có một số khác biệt cơ bản sau:

- Quy định giá trị tối thiểu của các tham số thành phần μ_1 (tương đương φ') và μ_2 (tương đương φ'') cụ thể:

$$DAF = (1 + \mu) = 1 + \mu_1 + \mu_2 \quad (21)$$

$$\mu_1 = \frac{\max S_{dyn}}{\max S_{stat}} - 1 \geq 0,15 \quad \text{và} \quad \mu_2 \geq 0,05 \quad (22)$$

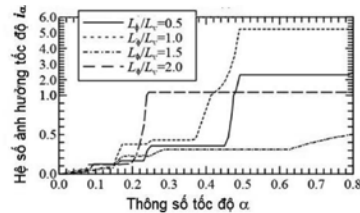
- Xét hệ số động lực ở 2 thời điểm: Khi đoàn tàu trên kết cấu nhịp cầu và thời điểm khi tàu đã đi qua (trạng thái đỡ tải). Trong trường hợp này, DAF sẽ được chiết giảm theo các mô hình tải trọng và thời điểm xem xét để tính các mô-men âm khi dao động vồng lên).

Trong các công thức (21) và (22), tham số μ_2 được tính như phương trình (16), tuy nhiên μ_1 yêu cầu xác định từ kết quả phân tích động.

3.2.3.4. Theo tiêu chuẩn thiết kế cầu ĐSTĐC của Nhật Bản (H16RC)

Hệ số động lực theo tiêu chuẩn Nhật Bản cho tàu khách cao tốc (Shikansen) ngoài việc xét đến yếu tố tốc độ còn xét tới tỷ lệ giữa chiều dài nhịp L_0 /chiều dài toa xe L_v . Công thức:

$$(1 + i) = (1 + i_\alpha)(1 + i_e) \quad (23)$$



Hình 10. Biểu đồ quan hệ giữa i_e với α và L_0/L_v

Trong (23): i_a - Hệ số xét đến sự gia tăng hiệu ứng động do yếu tố tốc độ, phụ thuộc vào thông số tốc độ $\alpha = v/(2 n_0 L_\phi)$ và tỷ lệ (L_ϕ/L_v) , xác định theo biểu đồ trên Hình 10; i_c - Hệ số xét đến sự gia tăng hiệu ứng động do yếu tố rung động của toa xe đường sắt $i_c = 10/(65+L_\phi)$.

4. TÍNH TOÁN VÀ SO SÁNH HỆ SỐ ĐỘNG LỰC CHO CẦU ĐƯỜNG SẮT THEO TIÊU CHUẨN THIẾT KẾ CỦA VIỆT NAM VÀ MỘT SỐ NƯỚC KHÁC

4.1. Trường hợp tải trọng đoàn tàu tiêu chuẩn, tốc độ đến 200 km/h

Áp dụng các công thức thuộc nhóm 1 và nhóm 2. Phạm vi khảo sát cho kết cấu nhịp cầu dầm giản đơn áp dụng cho ĐSTĐC với vận tốc đến 200 km/h, bê tông cấp 50, mặt cắt ngang hình hộp, chiều dài nhịp bằng 20, 24, 32, 40 và 60 m. Kết quả tính toán và so

sánh DAF cho các dầm bê tông dự ứng lực và trường hợp dầm liên hợp thép-bê tông cốt thép giản đơn nhịp dài 60 m ghi trên Bảng 5. Biểu đồ so sánh thể hiện trên Hình 11.

4.2. Trường hợp tải trọng đoàn tàu cao tốc và đoàn tàu thực, tốc độ đến 350 km/h

Áp dụng các phương trình (11) đến (23) để tính toán hệ số động lực của đoàn tàu cao tốc HSML và đoàn tàu thực trong thiết kế các cầu dầm giản đơn bê tông dự ứng lực mặt cắt dạng hộp, chiều dài nhịp là 20 m, 24 m, 32 m và 40 m sử dụng trên ĐSTĐC. Khi tính DAF theo tiêu chuẩn Nhật Bản, lấy chiều dài toa xe đường sắt cao tốc là 18 m (tương ứng với mô hình đoàn tàu tốc độ cao HSLM của tiêu chuẩn Việt Nam và Eurocode). Các mức vận tốc di chuyển xem xét là 150, 200, 250, 300 và 350 km/h, kết quả phân tích ghi trong Bảng 6.

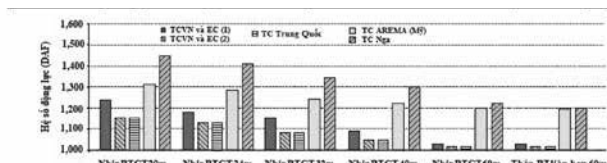
Bảng 5. Kết quả tính toán và so sánh hệ số động lực của cầu đường sắt bằng bê tông dự ứng lực và dầm thép-bê tông liên hợp nhịp từ 20 đến 60 m cho trường hợp mô hình tải trọng đoàn tàu tiêu chuẩn, vận tốc v đến 200 km/h

Chiều dài nhịp (m)	Hệ số động lực (DAF)								
	Theo TCVN và Eurocode			Theo TC Trung Quốc		Theo TC Mỹ (AREMA)		Theo TC Nga (SP.453.2019)	
	Bảo trì TC (1)	Bảo trì cẩn thận (2)							
Giá trị		So sánh với (1)	Giá trị	So sánh với (1)	Giá trị	So sánh với (1)	Giá trị	So sánh với (1)	
Dầm bê tông dự ứng lực mặt cắt hình hộp									
20	1,235	1,157	- 6,3%	- 1,157	- 6,3%	1,319	+ 6,8%	1,450	+ 17,4%
24	1,190	1,126	- 5,4%	- 1,126	- 5,4%	1,284	+ 8,0%	1,409	+ 18,4%
32	1,126	1,084	- 3,7%	- 1,084	- 3,7%	1,240	+ 10,1%	1,346	+ 19,5%
40	1,082	1,055	- 2,5%	- 1,055	- 2,5%	1,219	+ 12,7%	1,300	+ 20,1%
60	1,016	1,011	- 0,5%	- 1,011	- 0,5%	1,196	+ 17,7%	1,225	+ 20,6%
Dầm thép-bê tông liên hợp									
60	1,016	1,011	- 0,5%	- 1,011	- 0,5%	1,196	+ 17,7%	1,200	+ 18,1%

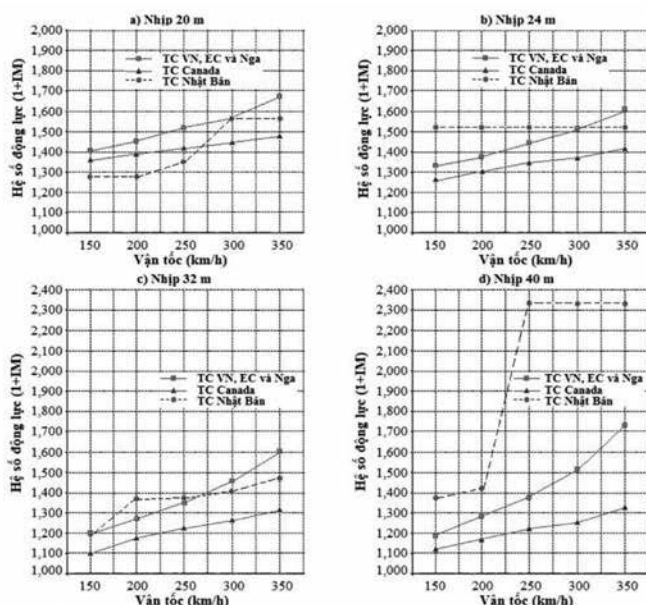
Bảng 6. Kết quả tính toán hệ số động lực (1+IM) cho các dầm giản đơn có chiều dài nhịp 20 m, 24 m, 32 và 40 m với vận tốc 150 km/h, 200 km/h, 300 km/h và 350 km/h

L_ϕ (m) [Tần số (Hz)]	Vận tốc v km/h (m/s)	(1+IM) theo TCVN, EC, Nga và Canada (bảo trì TC)						(1+IM) theo TC Nhật Bản			
		Hệ số K	ϕ''	TCVN, EC và Nga	TC Canada		α	i_a	i_c	(1+IM)	
					ϕ'	(1+IM)					ϕ'
20 [10,16]	150 (41,67)	0,1026	0,29308	0,1157	1,4088 (1,4431)	0,0735	1,3666	0,1025	0,1500	0,1177	1,2854
	200 (55,56)	0,1368		0,1648	1,4579	0,1008	1,3939	0,1367	0,1500		1,2854
	250 (69,44)	0,1710		0,2138	1,5069	0,1295	1,4226	0,1709	0,2015		1,3429
	300 (83,33)	0,2052		0,2727	1,5658	0,1597	1,4525	0,2052	0,4018		1,5668
	350 (97,22)	0,2395		0,3405	1,6336	0,1903	1,4834	0,2392	0,4038		1,5690
24 [7,36]	150 (41,67)	0,1180	0,18550	0,1359	1,3211 (1,3355)	0,0856	1,2711	0,1573	0,3502	0,1124	1,5020
	200 (55,56)	0,1573		0,1923	1,3778	0,1178	1,3033	0,1572	0,3502		1,5020
	250 (69,44)	0,1966		0,2570	1,4425	0,1517	1,3372	0,1966	0,3502		1,5020
	300 (83,33)	0,2359		0,3329	1,5184	0,1897	1,3752	0,2359	0,3502		1,5020
	350 (97,22)	0,2752		0,4237	1,6092	0,2235	1,4090	0,2752	0,3502		1,5020
32 [4,67]	150 (41,67)	0,1394	0,03357	0,1658	1,1993	0,0748	1,1084	0,1394	0,0950	0,1031	1,2079
	200 (55,56)	0,1859		0,2387	1,2720	0,1424	1,1759	0,1859	0,2502		1,3791
	250 (69,44)	0,2323		0,3255	1,3591	0,1827	1,2163	0,2323	0,2502		1,3791
	300 (83,33)	0,2788		0,4333	1,4669	0,2276	1,2612	0,2788	0,2734		1,4047
	350 (97,22)	0,32528		0,5718	1,6053	0,2709	1,3045	0,3253	0,3411		1,4794
40 [3,32]	150 (41,67)	0,1569	0,00577	0,1917	1,1975	0,1192	1,1250	0,1569	0,3550	0,0952	1,4839
	200 (55,56)	0,2092		0,2800	1,2858	0,1609	1,1667	0,2092	0,4002		1,5335
	250 (69,44)	0,2614		0,3901	1,3959	0,2106	1,2164	0,2614	1,1500		2,3547
	300 (83,33)	0,3137		0,5524	1,5337	0,2599	1,2657	0,3137	1,1500		2,3547
	350 (97,22)	0,3660		0,7321	1,7379	0,3098	1,3156	0,3660	1,1500		2,3547
Ghi chú: Trong bảng hệ số động lực theo TC Nga chỉ xét cho tàu cao tốc loại A (số liệu trong ngoặc)											

Ghi chú: Trong bảng hệ số động lực theo TC Nga chỉ xét cho tàu cao tốc loại A (số liệu trong ngoặc)



Hình 11. Biểu đồ so sánh DAF của tải trọng đoàn tàu tiêu chuẩn với vận tốc đến 200 km/h theo tiêu chuẩn thiết kế của các nước khác nhau



Hình 12. Biểu đồ so sánh DAF do tải trọng đoàn tàu tốc độ cao thực và mô hình đoàn tàu tốc độ cao (HSLM) vận tốc đến 350 km/h theo tiêu chuẩn thiết kế của các nước khác nhau

4.3. Các nhận xét và thảo luận

Các kết quả phân tích trên các Bảng 5, 6 và các Hình 11, 12 cho phép đưa ra một số nhận xét sau đây:

- Hệ số động lực cho các mô hình đoàn tàu đường sắt tiêu chuẩn theo quy định trong các tiêu chuẩn thiết kế của Việt Nam, Eurocode và Trung Quốc tương ứng với trường hợp bảo trì cẩn thận là bằng nhau do cùng dựa trên Eurocode và đều nhỏ hơn trị số tương ứng với điều kiện bảo trì tiêu chuẩn. So sánh với với điều kiện bảo trì tiêu chuẩn thì giá trị tương ứng của DAF tính theo tiêu chuẩn AREMA của Mỹ lớn hơn từ 6,8% đến 17,7% và giá trị tương ứng tính theo tiêu chuẩn SP.453.2019 của Nga lớn hơn từ 17,4% đến 20,6%.

- Hệ số động lực cho các đoàn tàu ĐSTĐC với mô hình đoàn tàu thực và mô hình thiết kế (HSLM) theo quy định của các tiêu chuẩn thiết kế của Việt Nam, Eurocode và Nga là thống nhất. Cách tính DAF theo tiêu chuẩn Canada có cùng triết lý kỹ thuật nhưng có điều chỉnh công thức tính dẫn đến các giá trị tương ứng nhỏ hơn từ 7,2% đến 11,1%. Trong khi đó, trị số DAF tính theo tiêu chuẩn Nhật Bản có sự khác biệt với giá trị tương ứng tính theo nhóm tiêu chuẩn dựa trên Eurocode nêu trên một cách rõ rệt. Mức độ khác biệt phụ thuộc cả vào chiều dài nhịp, tốc độ thiết kế của đoàn tàu, cá biệt cho trường hợp nhịp dài 40 m lớn hơn đến 68,7%.

5. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu trên đây cho phép đưa ra một số kết luận sau đây:

1) Hệ số động lực DAF cho tải trọng đoàn tàu đường sắt và ĐSTĐC thay đổi phức tạp thể hiện bản chất của ứng xử động lực trong kết cấu cầu đường sắt dưới tác dụng của tải trọng trực (có trị số biến đổi theo thời gian) di động. Tình trạng không thống nhất về công thức tính toán DAF của các tiêu chuẩn thiết kế của các nước

thể hiện triết lý về độ dự trữ an toàn và cấu hình đoàn tàu đường sắt và ĐSTĐC có những khác biệt.

2) Nghiên cứu cũng cho thấy ứng xử động lực của kết cấu cầu có sự liên hệ mật thiết với giới hạn vận tốc thiết kế. Với dải vận tốc đến 200 km/h, ứng xử động lực phụ thuộc chủ yếu vào chiều dài nhịp cầu và trị số DAF tính theo tiêu chuẩn thiết kế của Mỹ và Nga có xu thế lớn hơn khoảng 6,8% đến 20,6%. Tuy nhiên, với dải vận tốc thiết kế từ 200 km/h đến 350 km/h, ứng xử động lực của hệ thống đoàn tàu-đường ray-kết cấu cầu trở nên phức tạp hơn, DAF có xu thế giảm khi chiều dài nhịp tăng với chiều dài các nhịp từ 20 m đến 32 m nhưng lại có xu thế tăng cùng với chiều dài nhịp với chiều dài nhịp lớn hơn. Đáng chú ý là cách tính toán DAF theo tiêu chuẩn Nhật Bản có sự thể hiện đặc biệt như DAF không đổi với nhịp 24 m và tăng vọt khi vận tốc trên 200 km/h với nhịp 40 m với mức chênh lệch tới 68,7%.

3) Kết quả nghiên cứu cho thấy cần nghiên cứu kỹ lưỡng để đảm bảo sự lựa chọn thống nhất về cấu hình đoàn tàu, tiêu chuẩn áp dụng và các tham số cấu tạo của kết cấu cầu trong bài toán thiết kế cầu trên các tuyến ĐSTĐC ở Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. TCVN 13594:-2022, Thiết kế cầu đường sắt khổ 1.435 mm, vận tốc đến 350 km/h - (Phần 1, 2, 3, 4, 5).
- [2]. EN 1990+A2, Basic of Structure Design, EN 1991-2, Action on Bridge - Traffic loads on Bridges.
- [3]. California High-Speed Train Project Design Criteria (CHSTDC), 2014.
- [4]. TB 10621, Code for Design of High Speed railway.
- [5]. ORE Committee D23 "Determination of dynamic forces in bridges. Final Report", Office for Research and Experiments of the International Union of Railways, Utrecht, Netherlands, Rep. 17, 1970.
- [6]. AREMA (2013), Manual for Railway Engineering, American Railway Engineering and Maintenance-of-way Association, Lanham, MD, USA.
- [7]. CP.453. 1325800.2019, Engineering structures of high speed railway lines, Rules of design and construction (bản tiếng Nga).
- [8]. H. Gou, H., Xie, R., Liu, C., Bao, Y., Pu, Q. (2021), Analytical study on high-speed railway track deformation under long-term bridge deformations and interlayer degradation, Structures, 29, pp.1005-1015. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.10.079>.
- [9]. Azimi, P., Yazdani, M. (2022), Calculation of Dynamic Amplification Factor for Railway Concrete and Masonry Arch Bridges Subjected to Highspeed Trains, Periodica Polytechnica Civil Engineering. <https://doi.org/10.3311/PPci.19494>.

Nghiên cứu đánh giá hiệu quả giảm chấn ma sát cho cầu dây văng

Study on the effectiveness of friction dampers for cable-stayed bridges

> TS TRẦN VIỆT HƯNG

Trường Đại học Giao thông vận tải

Email: hungtv@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Ứng xử động là một đặc tính quan trọng của cầu dây văng. Có nhiều dạng dao động từ các nguồn kích thích khác nhau trong suốt vòng đời của cây cầu có thể gây ra các hư hại và an toàn cho kết cấu. Việc bổ sung giảm chấn, đặc biệt là giảm chấn cho dây văng là rất cần thiết. Bài báo tập trung nghiên cứu đánh giá dựa trên kết quả thực nghiệm đo hiệu quả giảm chấn ma sát được lắp đặt trên cầu dây văng.

Từ khóa: Dao động; giảm chấn; tần số.

ABSTRACT

Dynamic behavior is an important characteristic of cable-stayed bridges. Various types of vibrations from different sources of excitation can occur throughout the bridge's lifespan, potentially causing structural damage and safety concerns. Therefore, the addition of dampers especially those installed on stay cables is essential. This paper focuses on an evaluation study based on experimental results measuring the effectiveness of friction dampers installed on a cable-stayed bridge.

Keywords: Vibration; damping; frequency.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cầu dây văng là một trong những loại cầu có tính thẩm mỹ cao và phổ biến nhất trên thế giới nhờ các ưu điểm như trọng lượng nhẹ, tiết diện tương đối nhỏ và hiệu quả kết cấu cao. Cầu dây văng cũng đặc trưng bởi khả năng giảm chấn kết cấu thấp, ứng xử động học phức tạp và chu kỳ dao động tự nhiên dài [2]. Tiết diện nhỏ và trọng lượng nhẹ khiến chúng dễ bị dao động dưới các tải trọng động như gió, động đất, tải trọng người đi bộ và xe cộ [4]. Hơn nữa, khi chiều dài nhịp cầu tăng lên, độ mềm dẻo của kết cấu và chiều dài dây cáp cũng tăng, có thể dẫn đến các vấn đề về ổn định khí động học.

Biên độ dao động lớn có thể gây hư hại cho cáp do tải trọng uốn và mỏi, làm giảm độ bền của cáp và thậm chí có thể gây nguy hiểm cho an toàn kết cấu. Tùy thuộc vào các thông số cụ thể của từng cáp, mức độ dễ bị dao động sẽ khác nhau. Cáp càng dài thì càng dễ bị dao động hơn so với cáp ngắn.

Do đó, bổ sung giảm chấn đã trở thành một thành phần phổ biến trong hệ thống cáp dây văng của cầu dây văng. Giảm chấn lắp ở các đầu neo dây văng có tác dụng làm tắt dần các dao động của bó cáp văng một cách nhanh nhất, tránh việc cộng hưởng tần số dao động riêng của dây và tần số dao động do các kích thích bên ngoài gây ra. Vì vậy, nghiên cứu thiết kế và lắp đặt giảm chấn cho cáp dây văng là hết sức cần thiết và cần phải được nghiên cứu đánh giá hiệu quả của việc lắp đặt này. Mục tiêu hướng tới sự an toàn khai thác ổn định các công trình cầu dây văng thì các nghiên cứu nhằm tối ưu hóa giảm chấn cho cầu vẫn đang được đầu tư nghiên cứu và liên tục cải tiến.

2. NGUYÊN NHÂN GÂY RA DAO ĐỘNG CÁP DÂY VĂNG

Cáp dây văng có thể bị dao động do kích thích trực tiếp bởi gió hoặc gián tiếp thông qua chuyển động của mặt cầu và trụ tháp. Là nguồn kích thích trực tiếp gây dao động trên dây cáp, gió là một trong những yếu tố thách thức nhất trong thiết kế cầu dây văng. Các hiện tượng khí đàn hồi khác nhau xảy ra trên dây cáp bao gồm [6]:

- Dao động do chuyển động (motion-induced vibration);
- Dao động do tách dòng (vortex-induced vibration - VIV);
- Dao động do nhiễu động gió (buffeting);
- Dao động do gió - mưa kết hợp (rain-wind-induced vibration - RWIV);

- Dao động do dòng khí phía sau (wake galloping - WG);
- Dao động khô (dry galloping - DG);
- Dao động do băng giá (ice galloping - IG);
- Các hiện tượng khí động học khác...

Ngoài ra, hiện tượng nhiễu khí động học và ảnh hưởng kéo dài cũng được ghi nhận. Hai dây cáp liên kế có cấu hình tương tự nhau nhưng có thể trải qua các dạng dao động khác nhau khi chịu tác động của gió. Trong khi đó, hiện tượng dao động do gió - mưa kết hợp (RWIV) có thể gây ra sự kết hợp giữa dao động trong mặt phẳng và ngoài mặt phẳng của dây cáp.

Kích thích gián tiếp hoặc kích thích từ điểm tựa của dây cáp được tạo ra bởi chuyển động của dầm mặt cầu và trụ tháp thông qua các điểm neo hoặc giá đỡ của dây cáp. Ngoài ra, sự kết hợp mạnh giữa dao động cục bộ và dao động toàn cầu có thể xảy ra khi tần số dao động tự nhiên của hai dạng này gần bằng nhau. Việc này có thể gây ra các hư hại cho bề mặt ống cáp hoặc trực tiếp lên dây

văng. Thiệt hại này phản ánh tầm quan trọng của tương tác động giữa dây cáp và mặt cầu vòm là sự kết hợp giữa dạng dao động toàn cầu của mặt cầu và dạng dao động cục bộ của dây cáp [3].

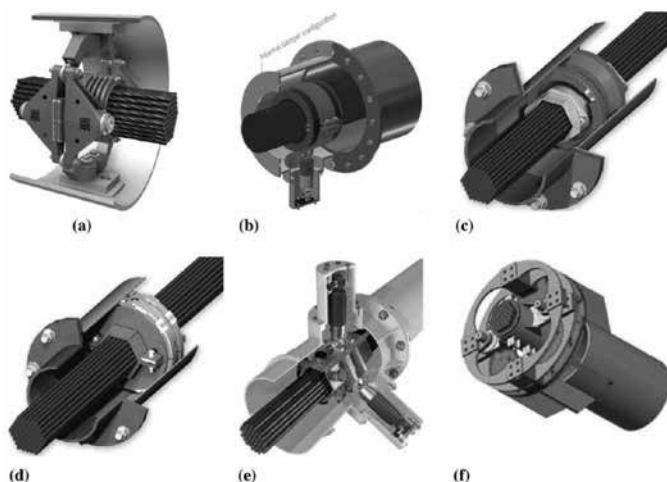
Các kích thích trực tiếp hoặc gián tiếp lên dây văng tiềm ẩn nhiều nguy cơ gây mất ổn định cho hệ dầm mặt cầu, hệ thống treo của cầu.

3. CÁC BIỆN PHÁP GIẢM DAO ĐỘNG CỦA CÁP DÂY VĂNG

Một số biện pháp đã được sử dụng để giảm thiểu dao động của dây cáp trong cầu dây văng, chẳng hạn như xử lý bề mặt dây cáp, sử dụng dây liên kết ngang (cross-ties) và kiểm soát dao động cho dây cáp bằng giảm chấn. Việc xử lý bề mặt dây cáp thường giúp giảm hiện tượng dao động do gió - mưa kết hợp (RWIVs). Có nhiều loại xử lý bề mặt như: Gân xoắn (helical fillet), vòng tròn (rings) và các dạng mẫu thiết kế đặc biệt [8].

Dây liên kết ngang là các dây phụ kết nối ngang giữa các dây cáp chính, tạo thành mạng lưới dây cáp và tăng độ cứng trong mặt phẳng của hệ thống dây. Mặc dù dây liên kết ngang được chứng minh là hiệu quả trong việc giảm dao động trong mặt phẳng của dây cáp, nhưng chúng lại kém hấp dẫn về mặt thẩm mỹ. Dây liên kết ngang cũng có thể làm tăng khả năng giảm chấn của dây cáp, tuy nhiên mức độ tăng giảm chấn phụ thuộc vào đặc tính của dây liên kết và cách chúng được kết nối với dây cáp.

Thiết bị giảm chấn dây cáp là một trong những giải pháp nổi bật nhất trong việc kiểm soát dao động của dây cáp. Nhìn chung, thiết bị giảm chấn dây cáp gồm hai loại: Giảm chấn bên trong và giảm chấn bên ngoài. Thiết bị giảm chấn dây cáp có thể được lắp đặt gần điểm neo dây cáp vào mặt cầu, hoặc nếu cần thiết ở cả hai đầu neo của dây cáp (cách tiếp cận ít phổ biến hơn). Thiết bị giảm chấn dây cáp cũng giúp giảm dao động của mặt cầu hoặc trụ tháp. Các nghiên cứu về tầm quan trọng của dao động dây cáp và các biện pháp giảm thiểu như thiết bị giảm chấn dây cáp đã bắt đầu từ những năm 1980 [7]. Thiết bị giảm chấn dây cáp không chỉ cải thiện phản ứng dao động của từng dây cáp riêng lẻ mà còn cung cấp thêm khả năng giảm chấn cho toàn bộ cây cầu, từ đó có thể nâng cao khả năng chịu động đất của cầu.



- a) - Giảm chấn ma sát dạng vuông;
- b) - Giảm chấn nhớt bên trong;
- c) - Giảm chấn đàn hồi bên trong;
- d) - Giảm chấn thủy lực bên trong;
- e) - Giảm chấn hướng tâm bên trong
- f) - Giảm chấn ma sát bên trong

Hình 1. Một số loại thiết bị giảm chấn bên trong [6]



Hình 2. Một số thiết bị giảm chấn bên ngoài [6]

Ủy ban về ứng suất trước của Pháp - CIP khuyến nghị cần phải tăng khả năng giảm chấn tự thân của cáp bằng cách sử dụng thiết bị giảm chấn bổ sung đối với các cáp có chiều dài trên 80 m. Hiện nay, rất nhiều cầu dây văng hiện đại trên toàn thế giới đã được trang bị thiết bị giảm chấn dây cáp, bao gồm hai loại chính là:

Giảm chấn bên trong (còn gọi là giảm chấn tích hợp) được đặt hoàn toàn bên trong ống neo của dây cáp hoặc tích hợp vào hệ thống dây cáp như minh họa trong Hình 1. Các dây văng được lắp đặt giảm chấn bên trong sẽ có hình dáng bên ngoài gọn đẹp.

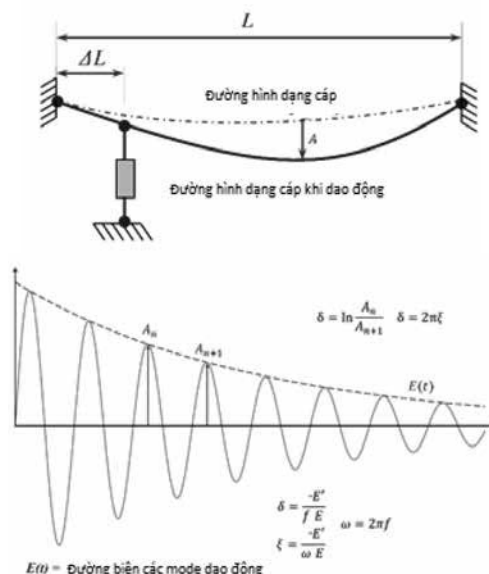
Thiết bị giảm chấn bên ngoài như trên Hình 2, được lắp đặt gần điểm neo của dây cáp, đặc biệt hiệu quả đối với dây cáp rất dài, vì chúng hiệu quả hơn so với thiết bị giảm chấn bên trong.

4. PHƯƠNG PHÁP ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ GIẢM CHẤN DÂY VĂNG

Theo quy định của các quy trình hiện hành, hiệu suất giảm chấn được định nghĩa là độ giảm chấn logarit δ của bó cáp văng được lắp đặt giảm chấn được xác định theo công thức sau:

$$\delta = \ln \frac{A_n}{A_{n+1}}$$

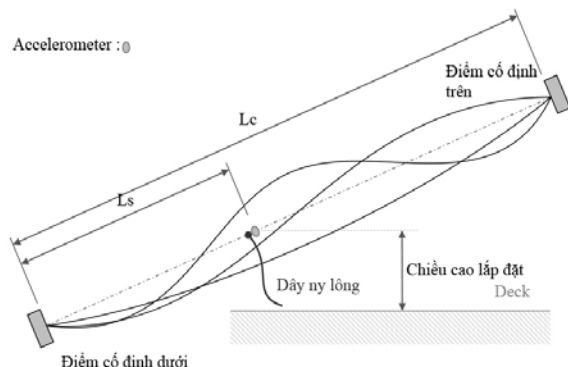
Ở đây, A_n và A_{n+1} đại diện cho biên độ của hai dao động liên tiếp của cáp, theo mô tả ở sơ đồ sau:



Hình 3. Dao động cáp văng - sơ đồ đo độ giảm chấn [1]

Theo Hội đồng Quốc tế về dự ứng lực của Pháp - CIP khuyến nghị các dây văng có chiều dài lớn (trên 80 m) có tổng cộng độ giảm chấn tính theo lượng giảm logarit lớn hơn 3% [5]. Theo Ủy ban Quốc tế về kết cấu bê tông - Fib khuyến nghị cho dây văng: Tăng thêm độ giảm chấn từ 3% đến 4% tính theo độ giảm logarit sẽ đủ để kiểm soát dao động do mưa và gió gây ra [1].

Như vậy, để đáp ứng yêu cầu của một giảm chấn dây văng theo các tiêu chuẩn thì giảm chấn được lựa chọn lắp thêm vào cần phải có hiệu suất giảm chấn ít nhất lớn hơn 4%.



Hình 4. Vị trí lắp đặt cảm biến trên cáp văng

Hiệu suất giảm chấn của bộ giảm chấn cáp dây văng phụ thuộc vào công nghệ lựa chọn. Các quy trình quốc tế hiện hành đều khuyến nghị giá trị hiệu suất này nên được đánh giá bằng các thí nghiệm tại hiện trường để đảm bảo rằng giải pháp giảm chấn đề xuất cung cấp đủ độ giảm chấn bổ sung theo yêu cầu. Để thực hiện thử nghiệm này tại chỗ, sử dụng cảm biến lắp đặt trên các dây văng. Cảm biến là một gia tốc kế đã được lắp đặt với cáp văng qua bộ kẹp và ở độ cao khoảng 15 m tính từ mặt cầu như trên Hình 4.

5. ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ GIẢM CHẤN LẮP ĐẶT TRÊN CẦU RẠCH MIỂU 2

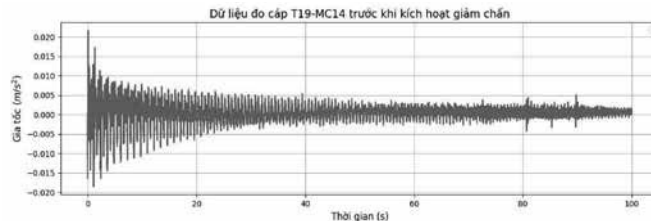
Cầu Rạch Miếu 2 là công trình giao thông trọng điểm tại khu vực đồng bằng sông Cửu Long, bắc qua sông Tiền, nối tỉnh Đồng Tháp và Vĩnh Long. Đây là cây cầu dây văng hai mặt phẳng dây, dầm bê tông cốt thép dự ứng lực với sơ đồ nhịp cầu chính (120+270+120)m. Hệ dây cáp văng dạng song song gồm 112 dây bố trí trên 2 mặt phẳng. Cáp văng sử dụng loại tạo song song (PSS) với số lượng 31 đến 50 tạo cáp mỗi bó. Cầu được bố trí giảm chấn loại ma sát cho 80/112 dây văng dài.

Quá trình đo đạc đánh giá hiệu quả giảm chấn sẽ thực hiện trong 2 giai đoạn trước và sau khi lắp đặt giảm chấn dây văng vào vị trí của cáp. Việc thí nghiệm trước khi lắp đặt giảm chấn để nhằm mục đích xác định độ giảm chấn tự thân của hệ cáp văng.

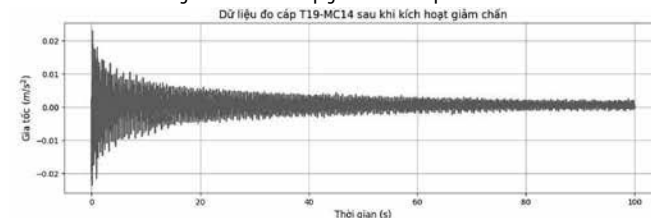


Hình 5. Đo đạc hiện trường xác định hiệu quả giảm chấn trên cầu Rạch Miếu 2

Dữ liệu đo đặc dao động các sợi cáp dây văng được thể hiện trên biểu đồ gia tốc thu được cho 2 trường hợp chưa lắp giảm chấn và có lắp giảm chấn thể hiện trên Hình 6 và Hình 7 dưới đây.



Hình 6. Biểu đồ gia tốc trước khi lắp giảm chấn - cáp T19-MC14HL



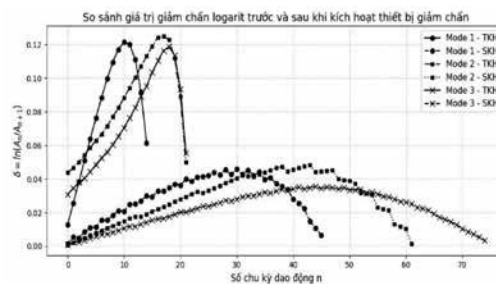
Hình 7. Biểu đồ gia tốc sau khi lắp giảm chấn - cáp T19-MC14HL

Mỗi dây văng sẽ được kích thích và đo 3 lần trước và sau khi lắp đặt giảm chấn, sau đó lấy giá trị trung bình. Kết quả xử lý số liệu đánh giá hiệu suất giảm chấn được lắp đặt trên các sợi cáp văng thí nghiệm như trong Bảng 1.

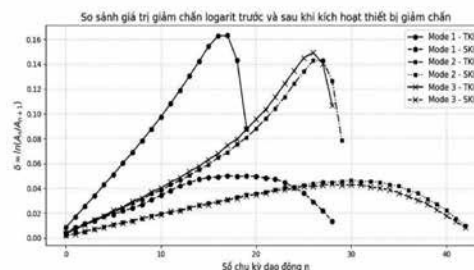
Bảng 1. Kết quả logarit đo hiệu quả giảm chấn dây văng

Sợi cáp	Trước khi lắp giảm chấn			Sau khi lắp giảm chấn			Hiệu suất giảm chấn δ (%)		
	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 1	Mode 2	Mode 3
T19-MC05HL	2,68	2,25	2,33	7,94	6,75	7,58	5,29	4,48	5,23
T19-MC14HL	1,26	1,73	1,88	6,81	6,96	6,80	5,55	5,23	4,92

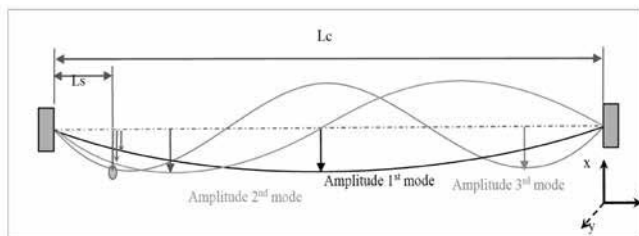
Kết quả thí nghiệm đo đặc hiệu suất của giảm chấn lắp đặt thêm cho các dây cáp văng đều lớn hơn 4%, con số này lớn hơn giá trị yêu cầu theo các tiêu chuẩn của Fib và CIP. Điều đó cho thấy các giảm chấn lắp đặt trên các cáp dây văng của cầu đều đáp ứng được các yêu cầu cần thiết của một giảm chấn dây văng.



Hình 8. Biểu đồ hệ số logarit giảm chấn theo chu kỳ dao động n - cáp T19-MC05HL



Hình 9. Biểu đồ hệ số logarit giảm chấn theo chu kỳ dao động n - cáp T19-MC14HL



Hình 10. Sơ đồ biến dạng 3 mode dao động chính của dây văng

Đánh giá hiệu quả của giảm chấn lắp thêm vào các bó cáp dây văng sau các chu kỳ dao động được thể hiện trên Hình 8 và Hình 9 cho cả 3 mode dao động của 2 bó cáp lựa chọn đo.

Đối với cáp dây văng, có nhiều dạng dao động khác nhau, trong đó các mode dao động thấp thường có biên độ dao động lớn, gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến độ bền của dây văng liên quan đến mỏi hoặc mất ổn định. Dải tần số cần quan tâm là dưới 3 Hz do các mode này ảnh hưởng trực tiếp tới dao động do gió - mưa tới cáp văng trên cầu dây văng. Ngoài ra, thiết bị giảm chấn được thiết kế để triệt tiêu năng lượng dao động hiệu quả nhất trong khoảng tần số dao động thấp. Do đó, tập trung vào 3 mode dao động đầu tiên (Hình 10) giúp đánh giá hiệu quả của giảm chấn một cách trực quan và rõ ràng.

Các dây cáp văng sau khi được lắp đặt giảm chấn thì có hiệu quả ngay, làm tắt nhanh dao động đối với các chu kỳ dao động đầu tiên sau kích thích (Hình 8 và Hình 9). Hiệu quả giảm chấn thể hiện rõ rệt ngay sau khi dây cáp bị kích thích dao động, sớm và trước nhiều so với giảm chấn tự thân của các sợi dây cáp khi chưa được lắp đặt giảm chấn sẽ dao động kéo dài và quá trình tắt dần dao động sẽ lâu hơn nhiều lần.

Kết quả phân tích trên Hình 8 và Hình 9 cũng cho thấy mode dao động thứ nhất (Mode 1) có tốc độ tắt dao động nhanh hơn rõ rệt so với các mode cao hơn, cả trong trường hợp chưa lắp đặt và sau khi lắp đặt kích hoạt thiết bị giảm chấn. Hiện tượng này xuất phát từ hai nguyên nhân chính:

- Khi chưa có thiết bị giảm chấn, Mode 1 có tần số riêng nhỏ hơn nên với cùng hệ số giảm chấn vật liệu, tỷ số giảm chấn tương đương $\zeta = c/(2m\omega)$ sẽ lớn hơn; đồng thời, dạng dao động toàn thân của mode này gây ra biến dạng tổng thể lớn, làm tăng ma sát và tổn hao năng lượng tại các gối, liên kết và vùng biên.

- Khi có thiết bị giảm chấn, hệ thống thường được thiết kế và hiệu chỉnh (tuning) gần với tần số của Mode 1, đồng thời damper được bố trí tại vị trí bụng dao động của mode này, nơi chênh lệch chuyển vị tương đối đạt giá trị cực đại, dẫn đến khả năng tiêu tán năng lượng cao nhất.

Do đó, Mode 1 luôn thể hiện đặc trưng giảm chấn mạnh hơn và tắt dao động nhanh hơn hai mode còn lại.

6. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày các nguyên nhân gây ra dao động đối với cáp dây văng, những ảnh hưởng của việc dao động của nó đến kết cấu cầu dây văng và phương pháp kiểm soát dao động của dây cáp bằng việc bổ sung giảm chấn cho cáp văng. Các bộ giảm chấn cáp dây văng sẽ làm cho dây văng nhanh chóng tắt dần các dao động khi bị kích thích, giúp cho các cây cầu dây văng được ổn định và an toàn khai thác. Bài báo cũng đã trình bày kết quả của việc đo đặc hiệu suất giảm chấn cáp văng được lắp đặt trên cầu Rạch Miễu 2. Thực nghiệm đo đạc và xử lý số liệu hiện trường trên một cây cầu dây văng cho thấy hiệu suất của các giảm chấn lắp đặt thêm trên cầu đều lớn hơn 4%. Con số này là đảm bảo lớn hơn các yêu cầu của các tiêu chuẩn hiện hành cho giảm chấn cáp văng, đồng thời đánh

giá được rõ hiệu quả của việc bổ sung giảm chấn sẽ làm tắt nhanh dao động ở ngay các chu kỳ đầu tiên sau khi dây văng bị kích thích so với việc dây văng không có giảm chấn thì dao động sẽ kéo dài và tắt dần chậm lại. Do vậy, các giảm chấn trên cầu đảm bảo được yêu cầu thiết kế, giúp tăng cường ổn định và an toàn khai thác cho công trình cầu dây văng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. FIB BULLETIN NO. 89, Acceptance of stay cable systems using prestressing steels.
- [2]. Shipyards A. và Orleans N. (1980), Dynamic behaviour of a cablestayed bridge, Earthq Eng Struct Dyn. 8:1-16.
- [3]. Caetano E., Cunha A., Gattulli V. và Lepidi M. (2008), Cable-deck dynamic interactions at the International Guadiana bridge: onsite measurements and finite element modelling, Struct Control Heal Monit, tr.15:237-264.
- [4]. Ali HM. and Abdel-ghaffar AM. (1994), Seismic energy dissipation for cable-stayed bridges using passive devices, Earthq Eng Struct Dyn, tr.23:877-893.
- [5]. PTI Post-Tensioning Institute, Recommendations for stay cable design, testing and installation, in, Cable-Stayed Bridges Committee Phoenix...
- [6]. A. Javanmardi, K. Ghaedi và F. Huang (2022), Application of Structural Control Systems for the Cables of Cable-Stayed Bridges: State-of-the-Art and State-of-the-Practice, Arch Computat Methods Eng. 29, pp.1611-1641.
- [7]. J. Wiancki (1983), Cables Wind Excited Vibrations of Cable-Stayed Bridge, Pergamon Press Ltd.
- [8]. Chang Y, Zhao L and Ge Y (2019), Experimental investigation on mechanism and mitigation of rain-wind-induced vibration of stay cables, J Fluids Struct, pp.88:257-274.

Tối ưu hóa bộ điều khiển PID bằng giải thuật di truyền (GA) cho bài toán điều chỉnh sức căng trên tời tàu thủy

Genetic Algorithm-based Optimization of a PID Controller for Marine Winch Tension Control

> KS ĐẶNG THỊ THU HẰNG¹, THS BÙI MINH TUẤN¹, TS ĐỖ KHẮC TIỆP^{2,*}

¹Viện Kỹ thuật Hải quân

²Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email: dokhactiep@vamaru.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày việc ứng dụng giải thuật di truyền (GA) để tối ưu hóa các tham số của bộ điều khiển PID (K_p , K_i , K_d) cho bài toán điều chỉnh sức căng trên hệ thống tời tàu thủy. Hệ thống tời trên tàu thủy đóng vai trò quan trọng trong các hoạt động hàng hải, đòi hỏi khả năng điều khiển sức căng dây chính xác để đảm bảo an toàn và hiệu quả. Tuy nhiên, các bộ điều khiển PID kinh điển thường không đáp ứng được yêu cầu vận hành trong môi trường thực tế do đáp ứng chậm, độ vọt lố cao, đặc biệt là kém ổn định khi chịu tác động phức tạp từ sóng và gió. Để giải quyết vấn đề này, nghiên cứu đề xuất ứng dụng Giải thuật di truyền (GA) để tối ưu hóa bộ thông số (K_p , K_i , K_d) cho bộ điều khiển PID, nhằm nâng cao chất lượng điều khiển cho hệ thống. Kết quả mô phỏng trong các kịch bản khác nhau, bao gồm cả khi có nhiễu và thay đổi tải trọng, đã chứng minh hiệu quả vượt trội của bộ điều khiển GA-PID. So với bộ PID kinh điển, bộ điều khiển được tối ưu hóa cho thấy đáp ứng nhanh hơn, giảm thiểu đáng kể độ vọt lố, đồng thời thể hiện khả năng kháng nhiễu và tính bền vững xuất sắc, duy trì sức căng gần như không đổi trước các tác động ngoại cảnh.

Từ khóa: Giải thuật di truyền; bộ điều khiển PID; điều khiển sức căng; Matlab/simulink.

ABSTRACT

This paper presents the application of Genetic Algorithm (GA) to optimize the parameters of PID controller (K_p , K_i , K_d) for the problem of tension adjustment on ship winch system. Ship winch system plays an important role in maritime activities, requiring the ability to accurately control the rope tension to ensure safety and efficiency. However, classic PID controllers often do not meet the requirements of operation in real environments due to slow response, high overshoot and especially poor stability when subjected to complex impacts from waves and wind. To solve this problem, the study proposes the application of Genetic Algorithm (GA) to optimize the parameter set (K_p , K_i , K_d) for PID controller, in order to improve the control quality of the system. Simulation results in different scenarios, including disturbances and load changes, have demonstrated the superior performance of GA-PID controller. Compared with the classical PID, the optimized controller shows faster response, significantly reduces overshoot, and exhibits excellent noise immunity and robustness, maintaining a nearly constant tension under external impacts.

Keywords: Genetic algorithm; PID controller; tension control; Matlab/simulink.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong các hoạt động hàng hải, hệ thống tời tàu thủy đóng một vai trò thiết yếu, đảm bảo an toàn và ổn định trong các quy trình quan trọng như neo đậu và lái dạt [1, 2, 3]. Tầm quan trọng của việc vận hành chính xác các thiết bị này được nhấn mạnh trong các hướng dẫn của Tổ chức Hàng hải Quốc tế (IMO) và các phân tích rủi ro chuyên sâu đã chỉ ra rằng hoạt động neo buộc tàu là một

trong những quy trình tiềm ẩn nhiều nguy cơ nhất. Việc duy trì một lực căng dây không đổi là cực kỳ quan trọng, bởi sự biến động đột ngột, gây ra bởi các yếu tố môi trường như sóng dài có thể làm thay đổi chuyển động của tàu và dẫn đến các sự cố nguy hiểm [4]. Do đó, việc giám sát lực căng và tự động hóa hệ thống neo đang là xu hướng tất yếu của ngành Hàng hải hiện đại.

Để giải quyết bài toán này, bộ điều khiển PID từ lâu đã là giải

pháp phổ biến trong công nghiệp nhờ cấu trúc đơn giản và đáng tin cậy, dựa trên các nguyên tắc cơ bản về động lực học của kết cấu nổi. Mặc dù vậy, hiệu quả của nó phụ thuộc hoàn toàn vào việc lựa chọn bộ thông số (K_p , K_i , K_d) [5]. Các phương pháp kinh điển như Ziegler-Nichols (1942) tuy đặt nền móng cho việc chỉnh định tự động nhưng lại bộc lộ nhiều nhược điểm khi áp dụng vào các hệ thống phức tạp, thường cho ra một hệ thống có độ vọt lố cao và dao động kéo dài, điều không thể chấp nhận được trong một ứng dụng đòi hỏi độ chính xác và an toàn cao như điều khiển tời. Nhằm khắc phục những hạn chế này, cộng đồng nghiên cứu đã hướng đến việc áp dụng các phương pháp điều khiển thông minh. Các công trình tiên phong đã khám phá tiềm năng của bộ điều khiển logic mờ (Fuzzy P+ID) và mạng nơ-ron mờ (BP fuzzy neural network PID) [7] để điều khiển sức căng tời. Tuy nhiên, một hạn chế cố hữu của các phương pháp này là chúng đòi hỏi kiến thức chuyên gia sâu rộng để xây dựng một bộ luật mờ hiệu quả, điều không phải lúc nào cũng có sẵn.

Nhận thấy khoảng trống này, bài báo đề xuất một giải pháp thay thế mạnh mẽ: Ứng dụng Giải thuật di truyền (GA) để tối ưu hóa tự động bộ thông số PID. Khác với các phương pháp dựa trên luật mờ, GA là một thuật toán tìm kiếm toàn cục, không yêu cầu kiến thức chuyên sâu về hệ thống, mà thay vào đó nó tự động "học" để tìm ra bộ thông số tối ưu nhất dựa trên một hàm mục tiêu định sẵn. Mục tiêu của nghiên cứu là chứng minh rằng bộ điều khiển GA-PID mang lại hiệu suất vượt trội về tốc độ đáp ứng, độ ổn định và tính bền vững trước sự thay đổi của tải trọng, qua đó nâng cao đáng kể mức độ an toàn và hiệu quả cho hệ thống tời tàu thủy.

2. MÔ HÌNH TOÁN HỌC CỦA HỆ THỐNG

Để phân tích và thiết kế bộ điều khiển, chúng ta cần xây dựng một mô hình toán học mô tả các đặc tính động học của hệ thống tời. Mô hình được xây dựng dựa trên các định luật vật lý cơ bản, áp dụng cho từng thành phần của hệ thống. Giả định hệ thống thực hiện nhiệm vụ nâng một vật có khối lượng M_L theo phương thẳng đứng.

2.1. Mô hình toán của bộ truyền động sử dụng động cơ điện một chiều

Động cơ điện một chiều kích từ độc lập (hoặc nam châm vĩnh cửu) là bộ phận chấp hành chính. Mô hình của nó bao gồm phương trình điện và phương trình cơ.

Phương trình mạch phần ứng: Dựa trên định luật Kirchhoff về điện áp (KVL), ta có:

$$V_a(t) = R_a i_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} + e_b(t) \quad (1)$$

$$\begin{cases} v_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d\psi_{ds}}{dt} - \omega_e \psi_{qs} \\ v_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d\psi_{qs}}{dt} + \omega_e \psi_{ds} \end{cases} \quad (2)$$

Phương trình mô-men và sức điện động phản kháng: Mô-men điện từ sinh ra bởi động cơ tỷ lệ thuận với dòng điện phần ứng và sức điện động phản kháng tỷ lệ thuận với tốc độ góc của rotor.

$$T_e(t) = K_t i_a(t) \quad (3)$$

$$e_b(t) = K_b \omega_m(t) \quad (4)$$

Trong đó:

- $V_a(t)$ - Điện áp đầu vào đặt vào phần ứng (V);
- $i_a(t)$ - Dòng điện phần ứng (A);
- $T_e(t)$ - Mô-men điện từ do động cơ sinh ra (Nm);
- $\omega_m(t)$ - Tốc độ góc của rotor động cơ (rad/s);
- $e_b(t)$ - Sức điện động phản kháng (V);

- R_a, L_a - Điện trở (Ω) và điện cảm (H) của cuộn dây phần ứng;
- K_t - Hằng số mô-men của động cơ (Nm/A);
- K_b - Hằng số sức điện động phản kháng (V.s/rad).

2.2. Mô hình hệ thống cơ khí

Mô hình này mô tả toàn bộ các bộ phận quay của tời, bao gồm rotor động cơ, hộp số giảm tốc và tang cuốn cáp. Bằng cách áp dụng Định luật II Newton cho chuyển động quay và quy đổi tất cả các tham số (mô-men quán tính, ma sát) về một trục quy chiếu duy nhất (thường là trục động cơ), ta có thể thiết lập một phương trình vi phân duy nhất mô tả quan hệ giữa mô-men động cơ, mô-men cản của tải và tốc độ góc của hệ thống.

Áp dụng định luật II Newton cho chuyển động quay của toàn hệ thống và quy đổi về trục động cơ:

$$T_e(t) - T_{Lm}(t) = J_{eq} \frac{d\omega_m(t)}{dt} + B_{eq} \omega_m(t) \quad (5)$$

Trong đó:

- $T_{Lm}(t)$ - Mô-men cản của tải quy đổi về trục động cơ (Nm);
- J_{eq} - Mô-men quán tính tổng hợp của hệ thống quy đổi về trục động cơ ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$);
- B_{eq} - Hệ số ma sát nhớt tổng hợp quy đổi về trục động cơ (Nm.s/rad).

Sức căng dây cáp F_L khi nâng tải M_L theo phương thẳng đứng bao gồm thành phần tĩnh (trọng lực) và thành phần động (lực quán tính):

$$F_L(t) = M_L g + M_L a_L(t) = M_L g + M_L \frac{dv_L(t)}{dt} \quad (6)$$

Vận tốc dài của tải v_L liên hệ với tốc độ góc của động cơ ω_m qua bán kính tang cuốn R và tỷ số truyền hộp số i :

$$v_L(t) = \frac{\omega_m(t) \cdot R}{i} \Rightarrow \frac{dv_L(t)}{dt} = \frac{R d\omega_m(t)}{i dt} \quad (7)$$

Thay thế vào phương trình sức căng, ta có mô-men cản quy đổi về trục động cơ:

$$T_{Lm}(t) = \frac{F_L(t)}{i} \cdot R = \frac{(M_L g + M_L \frac{R d\omega_m(t)}{i dt}) R}{i} = \frac{M_L g R}{i} + \frac{M_L R^2 d\omega_m(t)}{i^2 dt} \quad (8)$$

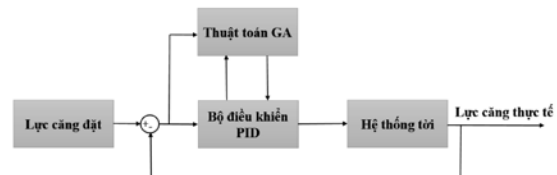
Thay $T_{Lm}(t)$ vào phương trình động lực học quay, ta được:

$$T_e(t) - \frac{M_L g R}{i} = (J_m + J_d + \frac{M_L R^2}{i^2}) \frac{d\omega_m(t)}{dt} + B_{eq} \omega_m(t) \quad (9)$$

Ở đây, ta đã định nghĩa mô-men quán tính tương đương $J_{eq} = J_m + J_d + \frac{M_L R^2}{i^2}$, bao gồm mô-men quán tính của rotor động cơ (J_m), của tang và hộp số (J_d) và của tải trọng quy đổi về.

3. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN GA-PID

Cấu trúc của hệ thống điều khiển GA-PID được mô tả trong sơ đồ Hình 1.



Hình 1. Sơ đồ cấu trúc bộ điều khiển GA-PID cho hệ thống tự động duy trì sức căng dây tời trên tàu thủy

3.1. Thiết kế bộ điều khiển PID

Phương trình toán học mô tả tín hiệu ra $u(t)$ của bộ điều khiển PID trong miền thời gian là:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (10)$$

Để thiết kế bộ điều khiển PID kinh điển cho hệ thống tời, bước đầu tiên và quan trọng nhất là lựa chọn một phương pháp hiệu quả để xác định bộ ba thông số K_p , K_i , K_d . Đối với bộ điều khiển PID cho hệ thống tự động duy trì sức căng dây tời, các thông số của bộ điều khiển được lựa chọn dựa trên phương pháp Ziegler-Nichols.

3.2. Thiết kế bộ điều khiển GA-PID

Việc xây dựng thuật toán di truyền (GA) để tối ưu hóa bộ điều khiển PID cho hệ thống tời bao gồm 4 bước cấu thành cơ bản: Mã hóa nhiễm sắc thể, xây dựng hàm thích nghi để đánh giá, lựa chọn các toán tử di truyền và thiết lập các tham số cho thuật toán. Mỗi bước đóng một vai trò quan trọng trong việc định hướng quá trình tìm kiếm đến bộ thông số (K_p , K_i , K_d) tối ưu nhất. Lưu đồ thuật toán của bộ điều khiển GA-PID được mô tả như Hình 2.

* **Xác định tham số và không gian tìm kiếm:** Ba tham số K_p , K_i , K_d của bộ điều khiển PID là các biến cần tối ưu. Một không gian tìm kiếm hợp lý, bao gồm khoảng giá trị chặn dưới và chặn trên cho từng tham số, cần được định nghĩa để giới hạn phạm vi hoạt động của GA, dựa trên hiểu biết về hệ thống hoặc các giá trị tham khảo ban đầu.

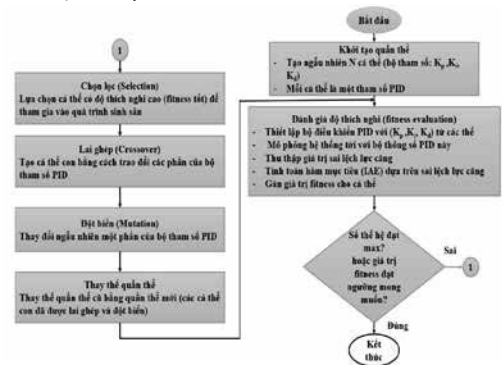
* **Lựa chọn và định nghĩa hàm mục tiêu:** Để định lượng hiệu suất điều khiển và hướng dẫn quá trình tối ưu hóa, hàm mục tiêu J cần được xác định rõ. Một lựa chọn phổ biến và hiệu quả cho việc tối ưu tham số PID, nhằm đạt được đáp ứng nhanh, ổn định và sai số thấp, là tối thiểu hóa tiêu chuẩn lỗi tích phân theo trọng số thời gian (ITAE - Integral Time-weighted Absolute Error):

$$J_{ITAE} = \int_0^T t |e(t)| dt = \int_0^T t |\psi_d(t) - \psi(t)| dt \quad (11)$$

Trong đó: T - Khoảng thời gian mô phỏng đánh giá và $e(t)$ - Sai lệch hướng tức thời. Việc tối thiểu hóa JITAE có xu hướng tạo ra các đáp ứng ít dao động và thời gian xác lập ngắn.

* **Cấu hình tham số GA:** Các tham số vận hành của thuật toán GA cần được thiết lập, bao gồm kích thước quần thể (số lượng bộ (K_p , K_i , K_d) trong mỗi thế hệ), số thế hệ tối đa (điều kiện dừng thuật toán), phương pháp chọn lọc xác suất lai ghép và xác suất đột biến. Việc lựa chọn các tham số này ảnh hưởng đến khả năng và tốc độ hội tụ của thuật toán.

* **Thực thi vòng lặp tối ưu hóa GA:** Quá trình tìm kiếm tối ưu tuân theo lưu đồ thuật toán tổng quát được minh họa trong Hình 3. Điểm mấu chốt là bước "Đánh giá độ thích nghi": Với mỗi bộ tham số PID (cá thể) trong quần thể, bộ điều khiển PID được cấu hình với các tham số này và chạy mô phỏng trên mô hình AUV trong một khoảng thời gian T . Dựa trên kết quả mô phỏng (đáp ứng sai lệch $e(t)$), giá trị hàm mục tiêu (JITAE) được tính toán, từ đó xác định độ thích nghi (fitness) của cá thể đó (thường là một hàm giảm của JITAE). Các toán tử chọn lọc, lai ghép, đột biến sau đó được áp dụng để tạo ra thế hệ kế tiếp tốt hơn.

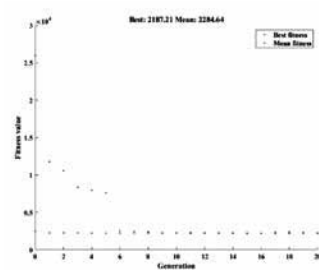


Hình 2. Lưu đồ thuật toán của bộ điều khiển GA-PID

4. KẾT QUẢ

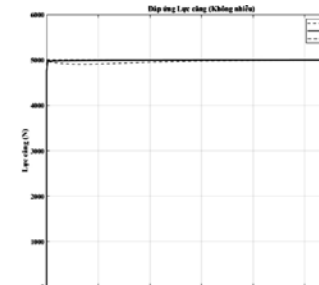
4.1. Mô phỏng hoạt động của hệ thống với trường hợp tải trọng của hệ thống là không đổi và không có nhiễu tác động

Đồ thị 3 minh họa quá trình hội tụ của Giải thuật di truyền, cho thấy giá trị thích nghi tốt nhất ("Best fitness") giảm mạnh và ổn định chỉ sau vài thế hệ. Điều này chứng tỏ thuật toán GA đã hoạt động hiệu quả, nhanh chóng tìm ra một bộ thông số PID tối ưu hơn nhiều so với bộ thông số ban đầu.



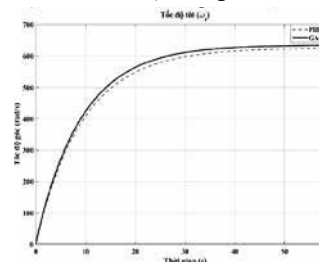
Hình 3. Quá trình tối ưu hóa của thuật toán GA qua các thế hệ với trường hợp không xét đến nhiễu và đáp ứng sức căng có dạng hằng số

Đồ thị 4, so sánh trực quan cho thấy bộ điều khiển GA-PID (đường nét liền) có đáp ứng nhanh hơn, thời gian ổn định ngắn hơn và ít bị sụt lồi hơn so với PID kinh điển (đường nét đứt). Rõ ràng, GA-PID đã cải thiện được chất lượng đáp ứng quá độ của hệ thống.



Hình 4. Đáp ứng lực căng của tời với bộ điều khiển GA-PID (đáp ứng lực căng là hằng số)

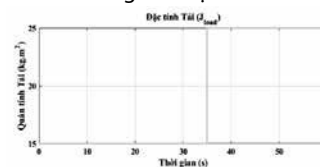
Tương ứng với đáp ứng lực căng tốt hơn (Hình 5), tốc độ của tời khi dùng GA-PID (đường nét liền) cũng đạt đến trạng thái ổn định nhanh hơn. Điều này khẳng định hệ thống hoạt động hiệu quả hơn dưới sự điều khiển của bộ thông số đã được tối ưu.



Hình 5. Tốc độ của tời với bộ điều khiển GA-PID (đáp ứng lực căng là hằng số)

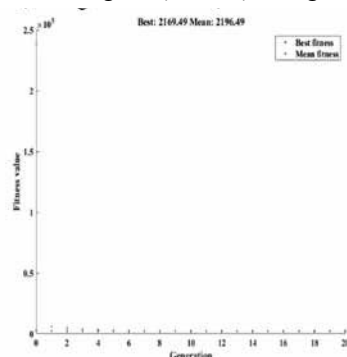
4.2. Mô phỏng hoạt động của hệ thống với trường hợp tải trọng của hệ thống thay đổi và không có nhiễu tác động

Đồ thị 6 mô tả một kịch bản thay đổi tải khác, với một bước nhảy lớn về quán tính từ 15 lên 25 kg.m^2 tại thời điểm 35 giây, dùng để kiểm tra tính bền vững của bộ điều khiển.



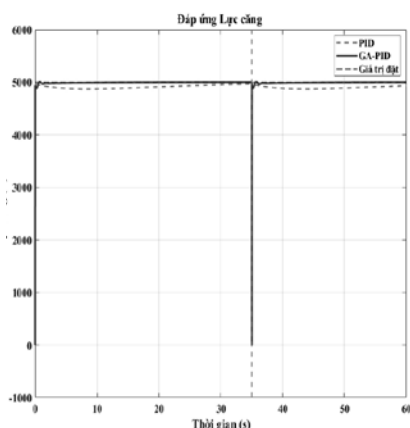
Hình 6. Đặc tính tải của hệ thống

Hình 7 thể hiện quá trình hội tụ của Giải thuật di truyền (GA) qua 20 thế hệ, theo dõi giá trị thích nghi (fitness) tốt nhất và trung bình. Thuật toán đã tìm thấy một giải pháp rất tốt ngay từ thế hệ đầu tiên, thể hiện qua việc giá trị fitness giảm đột ngột từ mức rất cao xuống gần như tối ưu. Sau đó, thuật toán nhanh chóng hội tụ khi cả giá trị tốt nhất (Best fitness) và trung bình (Mean fitness) đều ổn định ở mức thấp, cho thấy quần thể đã nhanh chóng đạt đến trạng thái tối ưu và không có sự cải thiện đáng kể ở các thế hệ sau.



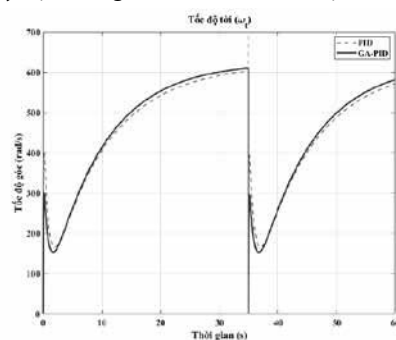
Hình 7. Quá trình tối ưu hóa của thuật toán GA qua các thế hệ với trường hợp tải trọng của hệ thống thay đổi (đáp ứng lực căng có dạng hằng số)

Từ Hình 8 ta thấy, tại thời điểm tải thay đổi vào giây thứ 35, đáp ứng của PID (đường nét đứt) bị sụt giảm rõ rệt trước khi hồi phục. Ngược lại, GA-PID chỉ bị ảnh hưởng rất nhỏ và giữ được lực căng ổn định hơn nhiều, chứng tỏ tính bền vững vượt trội.



Hình 8. Đáp ứng lực căng của tời với bộ điều khiển GA-PID với tải trọng thay đổi (đáp ứng lực căng có dạng hằng số)

Đồ thị tốc độ Hình 9 cho thấy, tại thời điểm tải thay đổi, cả hai bộ điều khiển đều phản ứng tốt, nhưng GA-PID (đường nét liền) phục hồi về quỹ đạo mong muốn nhanh và mượt mà hơn.



Hình 9. Tốc độ của tời với bộ điều khiển GA-PID với tải trọng thay đổi (đáp ứng lực căng có dạng hằng số)

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày thành công việc ứng dụng Giải thuật di truyền (GA) để tối ưu hóa các tham số của bộ điều khiển PID cho bài toán điều chỉnh sức căng trên hệ thống tời tàu thủy. Nghiên cứu đã giải quyết các hạn chế của bộ điều khiển PID kinh điển, vốn thường cho đáp ứng chậm, độ vọt lố cao và kém ổn định khi đối mặt với các tác động phức tạp từ môi trường biển.

Thông qua quá trình mô phỏng trên Matlab/Simulink, kết quả đã khẳng định rõ ràng hiệu quả vượt trội của bộ điều khiển GA-PID so với phương pháp chỉnh định Ziegler-Nichols truyền thống. Cụ thể:

- Trong điều kiện tải trọng không đổi và không có nhiễu: Bộ điều khiển GA-PID đã cải thiện chất lượng đáp ứng quá độ, cho thấy thời gian ổn định nhanh hơn và giảm thiểu đáng kể độ vọt lố so với bộ PID kinh điển.

- Trong điều kiện tải trọng thay đổi đột ngột: Bộ điều khiển GA-PID thể hiện tính bền vững xuất sắc, duy trì sức căng gần như không đổi và phục hồi nhanh chóng. Ngược lại, bộ điều khiển PID kinh điển bị ảnh hưởng rõ rệt, cho thấy sự sụt giảm đáng kể về lực căng tại thời điểm thay đổi tải.

Những kết quả này chứng minh rằng việc tích hợp giải thuật di truyền là một giải pháp mạnh mẽ và hiệu quả để nâng cao chất lượng điều khiển cho hệ thống tời tàu thủy. Bộ điều khiển GA-PID không chỉ đảm bảo hệ thống hoạt động với đáp ứng nhanh và chính xác mà còn tăng cường khả năng kháng nhiễu và tính bền vững, góp phần quan trọng vào việc đảm bảo an toàn và hiệu quả trong các hoạt động hàng hải.

Hướng phát triển trong tương lai có thể tập trung vào việc kiểm chứng thuật toán trên các mô hình thực nghiệm và hệ thống tời thực tế, đồng thời xem xét ảnh hưởng của các yếu tố nhiễu động phức tạp hơn như sóng và gió để hoàn thiện hơn nữa giải pháp điều khiển.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Kuzu, A.C.; Akyuz, E.; Arslan, O. (2019), Application of fuzzy fault tree analysis (FFTA) to maritime industry: A risk analysing of ship mooring operation. *Ocean Eng.*, 179, 128-134.
- [2]. International Maritime Organization (IMO) (2020), Revised Guidance on Shipboard Towing and Mooring Equipment (MSC.1/Circ.1175/Rev.1); International Maritime Organization: London, UK.
- [3]. Shi, X.-Y.; Zhang, N.-C.; Chen, C.-P.; Jiang, H.-Z.; Cui, L. (2014), Experimental Study of characteristics of motions of a large mooring ship in long-period waves, *J. Mar. Sci. Technol.*, 22, 15.
- [4]. Wu, L.; Yang, J.; Xiang, Z.; Liu, M.; Li, M.; Di, Y.; Jiang, H.; Dai, C.; Ji, X. (2023), An intelligent monitoring system for the force characteristics of floating bollards in a ship lock, *J. Mar. Sci. Eng.*, 11, 1948.
- [5]. Nazligul, Y.E.; Yazir, D. (2023), Comparison of automated mooring systems against existing mooring systems by using the IF-TOPSIS method, *Ocean Eng.*, 285, 115269.
- [6]. Chen, Q.; Li, W.; Chen, G. (2016), FUZZY P+ ID controller for a constant tension winch in a cable laying system. *IEEE Trans. Ind. Electron.*, 64, 2924-2932.
- [7]. Zhu, P.; Zhang, Q.; Zhao, Z.; Yang, B. (2023), BP fuzzy neural network PID based constant tension control of traction winch. *Meas. Control*, 56, 857-873.
- [8]. Barltrop, N.D.P. (1998), *Floating Structures: A Guide for Design and Analysis*, 1st ed.; Oilfield Publications Limited (OPL): Ledbury, UK.

Giải pháp quản lý kỹ thuật hạ tầng kỹ thuật khu công nghiệp Thuận Thành III, tỉnh Bắc Ninh

Technical infrastructure management solutions for Thuan Thanh III industrial park in Bac Ninh province

> NGUYỄN VĂN NAM¹, NGUYỄN TIẾN MƯỜI²

¹GV Khoa Đô thị, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội, Email: namnv@hau.edu.vn

²Cán bộ Trung tâm HTKT&MTĐT, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội

TÓM TẮT

Khu công nghiệp (KCN) Thuận Thành III, tỉnh Bắc Ninh, đã được Thủ tướng Chính phủ phê duyệt bổ sung vào Quy hoạch phát triển các KCN Việt Nam theo Văn bản số 1546/TTg-KTN ngày 18/09/2008 và Công văn số 1402/TTg-CN ngày 15/10/2020, với tổng diện tích 536,23 ha. Hiện nay, các công trình hạ tầng kỹ thuật của KCN Thuận Thành III đã được xây dựng và đưa vào sử dụng. Tuy nhiên, công tác quản lý các công trình hạ tầng kỹ thuật của KCN này vẫn còn một số bất cập. Hệ thống hạ tầng kỹ thuật giữa bên trong và bên ngoài KCN chưa đồng bộ, gây ảnh hưởng đến quá trình vận hành và khai thác sử dụng. Một số vấn đề trong công tác quản lý kỹ thuật vẫn chưa được thực hiện hiệu quả. Dựa trên một số cơ sở khoa học, nhóm tác giả đã đề xuất các giải pháp quản lý kỹ thuật cụ thể đối với một số hạng mục hạ tầng như: Giao thông, thoát nước thải, thoát nước mưa, quản lý chất thải rắn (CTR)... Đây là những giải pháp phù hợp với quy mô, tính chất và đặc thù của KCN, đồng thời hứa hẹn mang lại hiệu quả thiết thực cho KCN Thuận Thành III nói riêng và các KCN trên địa bàn tỉnh nói chung.

Từ khóa: Quản lý kỹ thuật, giao thông, thoát nước thải, thoát nước mưa, mô hình quản lý...

ABSTRACT

Thuan Thanh III Industrial Park, Bac Ninh province was approved by the Prime Minister to be added to the Master Plan for the Development of Industrial Parks in Vietnam under Official Letter No. 1546/TTg-KTN dated September 18, 2008, and Official Letter No. 1402/TTg-CN dated October 15, 2020, with a total approved area of 536.23 hectares. Currently, the technical infrastructure works of Thuan Thanh III Industrial Park have been constructed and put into use. However, the management of these infrastructure facilities still faces certain limitations; the internal and external technical infrastructure systems are not yet synchronized, which affects the operation and utilization of the park. In addition, some aspects of technical management remain ineffective. Based on a number of scientific grounds, the author has proposed specific technical management solutions for several key infrastructure components such as transportation, wastewater drainage, stormwater drainage, and solid waste management. These solutions are appropriate to the scale, characteristics, and particularities of the industrial park and are expected to bring practical and effective results for Thuan Thanh III Industrial Park in particular, as well as for other industrial parks in the province in general...

Keywords: Technical management, transportation, wastewater drainage, stormwater drainage, management model...

1. THỰC TRẠNG QUẢN LÝ HẠ TẦNG KỸ THUẬT KCN THUẬN THÀNH III, TỈNH BẮC NINH

KCN Thuận Thành III được Thủ tướng Chính phủ phê duyệt bổ sung vào Quy hoạch phát triển các KCN Việt Nam tại Văn bản số 1546/TTg-KTN ngày 18/09/2008, với diện tích quy hoạch ban đầu là 300 ha. Sau đó, diện tích quy hoạch của KCN đã được điều chỉnh tăng hai lần vào các năm 2014 và 2020. Đến nay, tổng diện tích quy hoạch của KCN Thuận Thành III đã được Thủ tướng Chính phủ phê duyệt là 536,23 ha (theo Công văn số 1402/TTg-CN ngày 15/10/2020).

Hiện tại, chủ đầu tư dự án đã cơ bản hoàn thành việc bàn giao, đưa vào sử dụng và kinh doanh kết cấu hạ tầng kỹ thuật của KCN Thuận Thành III theo đúng quy hoạch được duyệt, từng bước đưa khu công nghiệp vào vận hành và khai thác toàn bộ diện tích.



Hình 1. Hiện trạng sử dụng đất KCN Thuận Thành III [5,6,8]

Trong giai đoạn lập quy hoạch, KCN Thuận Thành III đã được phê duyệt quy hoạch chi tiết tỷ lệ 1/500 với các hạng mục hạ tầng kỹ thuật được xác định rõ ràng, bao gồm: giao thông, cấp - thoát nước,



xử lý nước thải và chất thải rắn. Tuy nhiên, công tác giám sát việc thực hiện quy hoạch còn lỏng lẻo, dẫn đến một số hạng mục được triển khai không đúng hoặc không đầy đủ so với quy hoạch được phê duyệt. Ví dụ, thiếu dải cây xanh, mặt cắt đường không đạt chuẩn, điểm đầu nối phụ bị cắt bỏ.

Trong giai đoạn đầu tư xây dựng, việc triển khai các hạng mục hạ tầng kỹ thuật vẫn còn tồn tại tình trạng thi công thiếu đồng bộ giữa các tuyến và giữa các lớp hạ tầng kỹ thuật. Một số công trình thoát nước chưa được hoàn thiện hoặc chưa được kết nối vào hệ thống chính, gây ra hiện tượng ứ đọng cục bộ. Công tác giám sát thi công vẫn còn nặng về thủ tục hành chính, chưa có cơ chế kiểm tra thực địa dựa trên số liệu kỹ thuật, và cũng chưa yêu cầu nhà thầu cập nhật đầy đủ hồ sơ kỹ thuật số phục vụ công tác quản lý sau đầu tư.

Trong giai đoạn khai thác và vận hành, hiện tượng vận hành bị động, thiếu ứng dụng công cụ số hóa và phản ứng chậm với các sự cố vẫn còn phổ biến. Các hệ thống như: Giao thông, thoát nước, xử lý nước thải và CTR hiện chưa được áp dụng quy trình kiểm tra định kỳ một cách hệ thống, thiếu dữ liệu giám sát tự động, dẫn đến hiệu quả khai thác chưa cao.

Bên cạnh đó, cơ chế phối hợp và phản hồi giữa các bên liên quan (chủ đầu tư, doanh nghiệp thuê đất, cơ quan chức năng) còn rời rạc, chưa rõ ràng trong phân định trách nhiệm, thiếu tính minh bạch trong quá trình vận hành và xử lý các vấn đề phát sinh.

a. Thực trạng quản lý hạ tầng kỹ thuật về giao thông trong KCN

Công tác quản lý vận hành hệ thống giao thông nội khu tại KCN Thuận Thành III hiện do chủ đầu tư hạ tầng chịu trách nhiệm chính, trong một số hạng mục có thuê đơn vị bảo trì kỹ thuật độc lập. Tuy nhiên, mô hình quản lý hiện nay còn thiếu tính chuyên nghiệp, chủ yếu vận hành theo hướng phản ứng thụ động khi có sự cố, chưa có quy trình kiểm tra - duy tu định kỳ rõ ràng.

Hiện tại, việc duy tu, bảo trì mặt đường, vạch sơn, biển báo giao thông... chủ yếu thực hiện khi có phản ánh từ doanh nghiệp trong khu. Hồ sơ kỹ thuật và bản vẽ hoàn công chưa được cập nhật thường xuyên, một số điểm không có sơ đồ bản vẽ chi tiết, gây khó khăn trong việc kiểm tra và quản lý.

Công tác giám sát - phản hồi giữa chủ đầu tư, doanh nghiệp thuê đất và đơn vị vận hành kỹ thuật còn thiếu cơ chế phối hợp rõ ràng. Do đó, các sự cố như lún nứt mặt đường, mất đèn chiếu sáng, biển báo hư hỏng thường xử lý chậm, thiếu thống nhất trong phản hồi và giám sát khắc phục.



Hình 2. Hiện trạng giao thông trong khu vực [8]

Một số tuyến giao thông nội khu hiện không còn phù hợp với quy hoạch chi tiết được duyệt: thiếu dải cây xanh, thiếu các điểm đầu nối phụ, mặt cắt đường bị thu hẹp do thay đổi ranh giới sử dụng đất. Điều này ảnh hưởng đến khả năng lưu thông, đặc biệt là xe tải nặng và phương tiện vận chuyển hàng hóa. Mối liên hệ giữa quy hoạch được phê duyệt - tổ chức thực hiện - quản lý vận hành thực tế còn thiếu sự giám sát chặt chẽ, dẫn đến nhiều lệch pha trong tổ chức hạ tầng.

Ngoài ra, việc chưa ứng dụng các công nghệ quản lý hiện đại như GIS (hệ thống thông tin địa lý) hoặc phần mềm kiểm tra hiện trạng khiến công tác quản lý còn thủ công, phụ thuộc vào ghi chép giấy tờ và kiểm tra hiện trường bằng mắt thường. Việc này làm giảm hiệu quả trong lưu trữ hồ sơ, phân tích dữ liệu và dự báo nhu cầu nâng cấp, sửa chữa hạ tầng giao thông nội bộ.

b. Thực trạng quản lý hạ tầng kỹ thuật về thoát nước trong KCN

Tại KCN Thuận Thành III, hệ thống thoát nước mưa và thoát nước thải được thiết kế tách riêng theo quy hoạch kỹ thuật, nhằm đảm bảo không gây ô nhiễm chéo và nâng cao hiệu quả xử lý tập trung. Nước thải từ các nhà máy, xí nghiệp được xử lý bằng hệ thống xử lý của bản thân các nhà máy và nước thải sinh hoạt được xử lý sơ bộ qua bể tự hoại, sau đó được thoát ra ngoài hệ thống đường cống thoát nước thải của KCN và được bơm hút (lưu lượng bơm 50-110 m³/h, được bơm 3 ca/ngày) về trạm xử lý nước thải tập trung của KCN (công suất trạm xử lý nước thải hiện có 2.000 m³/ngđ), xử lý đạt yêu cầu theo quy định, sau đó tự chảy ra ngoài môi trường tiếp nhận. Tuy nhiên, quá trình triển khai và vận hành cho thấy còn nhiều bất cập trong khâu quản lý kỹ thuật.

Hiện nay, việc quản lý vận hành hệ thống này chủ yếu do tổ kỹ thuật của chủ đầu tư hạ tầng phụ trách, phối hợp với đơn vị vận hành trạm xử lý nước thải tập trung (Công ty Cổ phần Môi trường Thuận Thành). Tuy nhiên, cơ chế phối hợp giữa các bên còn rời rạc, thiếu đầu mối điều phối chung, đặc biệt trong công tác giám sát, ghi nhận và xử lý sự cố kỹ thuật.

Mặc dù hệ thống được thiết kế tách biệt, thực tế vẫn ghi nhận nhiều doanh nghiệp đầu nối sai quy định, xả chung nước thải sản xuất và sinh hoạt vào hệ thống thoát nước mưa. Điều này gây quá tải cục bộ, làm phát sinh mùi hôi, ô nhiễm và suy giảm hiệu quả vận hành của cả hệ thống.

Việc kiểm tra - giám sát hiện trường vẫn mang tính thủ công: chủ yếu dựa vào phản ánh từ người dân, bảo vệ hoặc doanh nghiệp khác khi phát hiện bất thường. Chưa có hệ thống giám sát quan trắc tự động, không có camera tại các điểm xả, không có đồng hồ đo lưu lượng hoặc thiết bị cảnh báo sớm về chất lượng nước đầu vào/đầu ra của trạm xử lý.

Hệ thống thoát nước mưa tại KCN Thuận Thành III được quy hoạch tách biệt với hệ thống nước thải, chia làm 3 tiểu lưu vực thoát ra mương tiêu khu vực. Tuy nhiên, quá trình thực hiện còn thiếu đồng bộ, nhiều điểm hố ga không có ống đầu nối, hướng hờ không có nắp và song chắn rác gây tắc nghẽn. Việc đầu nối từ các nhà máy chưa được kiểm tra theo tiêu chuẩn kỹ thuật. Công tác đầu tư - vận hành còn thủ công, thiếu hồ sơ hoàn công và không có hệ thống giám sát từ xa, dẫn đến hiệu quả quản lý và thoát nước chưa đảm bảo theo quy chuẩn kỹ thuật.

Ngoài ra, hiện có khoảng 15/24 doanh nghiệp đang đầu nối và xả thải vào hệ thống xử lý tập trung, còn lại một số chưa đầu nối hoặc xử lý riêng chưa đảm bảo. Tuy nhiên, thiếu các biện pháp chế tài cụ thể, cũng như chưa có hỗ trợ kỹ thuật - hướng dẫn thủ tục - ưu đãi chi phí để khuyến khích doanh nghiệp tuân thủ. Điều này cho thấy lỗ hổng trong quản lý kỹ thuật đi đôi với thiếu chính sách điều hành đồng bộ.

c. Thực trạng quản lý hạ tầng kỹ thuật về CTR trong KCN

Hoạt động quản lý chất thải rắn và vệ sinh môi trường tại KCN Thuận Thành III hiện đang được thực hiện với sự tham gia của nhiều bên, tuy nhiên còn thiếu cơ chế điều phối tổng thể và minh bạch về trách nhiệm. Việc thu gom, vận chuyển chất thải sinh hoạt và chất thải rắn công nghiệp thông thường phần lớn do các đơn vị dịch vụ vệ sinh môi trường bên ngoài đảm nhiệm (Công ty Cổ phần Môi trường Thuận Thành), theo hợp đồng ký kết riêng với từng doanh nghiệp trong khu [1].

CTR trong KCN bao gồm 3 nhóm: CTR sinh hoạt (phát sinh từ nhà ăn, khu vệ sinh), CTR công nghiệp thông thường (bao bì, phế liệu), và CTR nguy hại (dầu nhớt, pin, hóa chất...); tuy nhiên việc phân loại tại nguồn còn chưa đồng bộ, chủ yếu do doanh nghiệp tự thực hiện.

Hoạt động thu gom và vận chuyển do đơn vị môi trường thuê ngoài thực hiện theo hợp đồng riêng với từng doanh nghiệp; CTR nguy hại được chuyển giao cho đơn vị có giấy phép xử lý, nhưng việc giám sát khối lượng - tuyến đường vận chuyển chưa có phần mềm theo dõi tập trung.

Chưa có cơ chế rõ ràng phân định trách nhiệm giữa chủ đầu tư - doanh nghiệp - chính quyền địa phương trong xử lý vi phạm; công tác kiểm tra chủ yếu theo định kỳ, chưa có công cụ cảnh báo sớm hay truy xuất vi phạm theo từng lô đất.

Hiện tại việc lưu trữ và thống kê chất thải rắn toàn khu vẫn chưa được thực hiện tập trung theo quý hoặc năm, dẫn đến khó khăn trong việc kiểm soát tổng khối lượng phát sinh, xu hướng thay đổi theo mùa vụ hay đặc thù ngành nghề. Thiếu các biểu mẫu báo cáo chuẩn hóa và cơ sở dữ liệu dùng chung giữa các bên khiến công tác tổng hợp, dự báo và lập kế hoạch xử lý còn mang tính hình thức, không theo dõi được tính hiệu quả thực tế.

Đặc biệt, việc ứng dụng công nghệ thông tin trong giám sát vệ sinh môi trường gần như chưa có: không có mã số định danh rác thải, không có phần mềm theo dõi khối lượng rác tại từng doanh nghiệp, không có bản đồ số đánh dấu điểm phát sinh rác lớn hay điểm lưu chứa tạm. Tình trạng này khiến công tác quản lý vệ sinh môi trường bị phụ thuộc hoàn toàn vào báo cáo thủ công, khó phát hiện điểm nóng phát sinh ô nhiễm, gây thụ động trong xử lý và giảm niềm tin từ phía cộng đồng doanh nghiệp.

Từ những phân tích nêu trên, có thể thấy công tác quản lý hạ tầng kỹ thuật tại KCN Thuận Thành III vẫn còn tồn tại nhiều bất cập cả về cơ chế vận hành, giám sát hiện trường lẫn năng lực tổ chức triển khai. Các hoạt động quản lý giao thông, thoát nước, xử lý nước thải, chất thải rắn và vệ sinh môi trường còn mang tính phân tán, thiếu cơ chế phối hợp đồng bộ giữa các chủ thể liên quan, chưa có công cụ kiểm soát và ứng dụng công nghệ hiệu quả...[1]

2. MỘT SỐ CƠ SỞ KHOA HỌC QUẢN LÝ HẠ TẦNG KỸ THUẬT KCN THUẬN THÀNH III, TỈNH BẮC NINH

2.1. Vai trò của hệ thống hạ tầng kỹ thuật đối với KCN

KCN là khu vực tập trung nhiều doanh nghiệp sản xuất, doanh nghiệp phục vụ sản xuất và kinh doanh dịch vụ, có ranh giới địa lý xác định. Các doanh nghiệp trong KCN cùng sử dụng chung hệ thống hạ tầng kỹ thuật và hạ tầng xã hội.

Hệ thống hạ tầng kỹ thuật trong KCN là hệ thống các công trình, các phương tiện kỹ thuật có nhiệm vụ cung cấp các dịch vụ hạ tầng cho các nhà máy sản xuất trong KCN, là yếu tố phản ánh mức độ đầu tư và tính chất của KCN.

Hệ thống hạ tầng là yếu tố tiền đề thúc đẩy sự phát triển và thành công của các KCN. Do đó việc đầu tư xây dựng nâng cấp, cải tạo cơ sở hạ tầng kỹ thuật ở KCN là hết sức cần thiết. Sự đầu tư hạ tầng kỹ thuật có ảnh hưởng trực tiếp đến sự phát triển sản xuất. Với

chức năng làm cầu nối giữa sản xuất với sản xuất, giữa sản xuất với tiêu dùng.

Hệ thống hạ tầng kỹ thuật đồng bộ sẽ giảm thiểu ô nhiễm môi trường không khí, đất và nước. Thực tế, ở những khu vực không quan tâm tới công tác quản lý các chất thải, KCN sẽ thải ra môi trường những chất thải gây ô nhiễm môi trường.

Ngoài ra, việc hình thành KCN cũng kéo theo rất nhiều ảnh hưởng đến kinh tế - xã hội của khu vực. KCN không chỉ tạo ra tăng trưởng kinh tế mà còn tạo ra việc làm cho người lao động, tạo sự ổn định xã hội.

2.2. Một số tiêu chí cơ bản trong quản lý hạ tầng kỹ thuật đối với KCN

Trong quản lý hạ tầng kỹ thuật đối với KCN, cần đảm bảo một hệ thống tiêu chí cơ bản để đáp ứng yêu cầu phát triển bền vững, an toàn vận hành, và hấp dẫn nhà đầu tư. Dưới đây là các tiêu chí cơ bản thường được áp dụng:

1) Đối với giao thông: Hệ thống đường nội bộ hợp lý, đảm bảo cho xe tải, container di chuyển thuận tiện. Kết nối thuận lợi với quốc lộ, cảng biển, ga đường sắt, sân bay. Có hệ thống biển báo, chiếu sáng, vạch kẻ đường đạt chuẩn kỹ thuật.

2) Đối với thoát nước: Hệ thống thoát nước mưa, nước thải riêng biệt. Việc thoát nước mưa phải đảm bảo thoát nhanh, tránh ngập úng. Có trạm xử lý nước thải tập trung, đạt quy chuẩn môi trường trước khi xả thải ra môi trường.

3) Đối với quản lý môi trường: Có hệ thống quan trắc môi trường (nước, không khí, tiếng ồn). Xử lý chất thải rắn, khí thải, nước thải đạt quy chuẩn. Bố trí cây xanh, mặt nước điều hòa, tạo cảnh quan.

2.3. Một số quan điểm trong quản lý hạ tầng kỹ thuật KCN

1) Quan điểm phát triển bền vững: Hạ tầng kỹ thuật phải đi trước một bước, đảm bảo đáp ứng yêu cầu sản xuất, sinh hoạt và bảo vệ môi trường. Cân bằng giữa tăng trưởng kinh tế - bảo vệ tài nguyên - nâng cao chất lượng sống cho người lao động. Khuyến khích áp dụng các mô hình KCN sinh thái, tuần hoàn.

2) Quan điểm tích hợp và đồng bộ: Quản lý hạ tầng kỹ thuật cần gắn với quy hoạch tổng thể, không tách rời quy hoạch xây dựng và quy hoạch sử dụng đất. Đồng bộ giữa các hệ thống: giao thông - cấp điện - cấp thoát nước - viễn thông - môi trường. Tránh tình trạng đầu tư manh mún, chắp vá, gây lãng phí và không phát huy hiệu quả.

3) Quan điểm lấy doanh nghiệp và người lao động làm trung tâm: Hạ tầng kỹ thuật phục vụ trực tiếp nhu cầu thu hút đầu tư, nâng cao năng lực cạnh tranh của khu công nghiệp. Cải thiện điều kiện sống, sinh hoạt cho người lao động: nhà ở, y tế, giáo dục, giao thông công cộng. Hướng đến môi trường sản xuất tiện nghi, an toàn và hiệu quả.

4) Quan điểm ứng dụng công nghệ và chuyển đổi số: Áp dụng công nghệ thông minh trong vận hành: SCADA, IoT, GIS, camera, hệ thống PCCC tự động. Quản lý hạ tầng qua hệ thống số hóa dữ liệu, giảm chi phí vận hành và tăng tính minh bạch. Tích hợp công nghệ thông tin vào quy hoạch - thiết kế - vận hành - bảo trì.

5) Quan điểm huy động đa nguồn lực và xã hội hóa: Nhà nước định hướng, doanh nghiệp đầu tư: quản lý hạ tầng kỹ thuật cần khuyến khích PPP, BOT, BT. Ưu tiên nguồn lực tư nhân trong đầu tư và khai thác các hạng mục hạ tầng dịch vụ: điện, nước, viễn thông. Tạo cơ chế tài chính bền vững, phân bổ hợp lý phí sử dụng hạ tầng.

6) Quan điểm thích ứng với biến đổi khí hậu và rủi ro thiên tai: Hạ tầng cần tính đến các yếu tố khí hậu cực đoan, lũ lụt, hạn hán, xâm nhập mặn. Quy hoạch hệ thống tiêu thoát nước, kè chống sạt lở, cây xanh điều hòa vi khí hậu. Tăng cường các tiêu chuẩn "xanh" trong thiết kế - vật liệu - vận hành.

7) Quan điểm phân cấp và kiểm soát hiệu quả: Giao quyền rõ ràng cho Ban quản lý KCN, các đơn vị vận hành hạ tầng. Thiết lập cơ chế kiểm tra, đánh giá, giám sát hoạt động đầu tư và bảo trì hạ tầng định kỳ. Gắn trách nhiệm với hiệu quả sử dụng đất và hạ tầng kỹ thuật.

3. MỘT SỐ GIẢI PHÁP QUẢN LÝ KỸ THUẬT HẠ TẦNG KỸ THUẬT KCN THUẬN THÀNH III, TỈNH BẮC NINH

3.1. Đề xuất giải pháp hoàn thiện đồng bộ hệ thống giao thông

- Rà soát và nâng cấp các tuyến đường nội bộ trong KCN theo đúng mặt cắt quy hoạch, đảm bảo đủ bề rộng làn xe, vỉa hè và dải cây xanh. Bổ sung biển báo giao thông, sơn kẻ đường, vạch phân làn, biển chỉ dẫn tại các nút giao để tăng tính an toàn và định hướng luồng phương tiện.

- Mặt cắt dọc tuyến đường thiết kế dựa trên những điểm khống chế cơ bản. Hệ cao độ, tọa độ sử dụng là hệ cao độ Nhà nước VN2000. Không ảnh hưởng đến cao độ đã khống chế trong quy hoạch phân khu, đấu nối hợp lý với cao độ nền đường hiện trạng khu vực lân cận. Tuân thủ cao độ san nền tại các vị trí tim đường giao nhau đã được phê duyệt tại Quy hoạch phân khu 1/2000. Đảm bảo tiêu thoát nước. Cao độ đường đồ thiết kế tại tim đường, các tuyến đường được thiết kế từ hiện trạng tự nhiên của dự án. Đối với các mặt cắt đường nội bộ còn lại được thiết kế từ nền đã san.

- Mặt cắt ngang các tuyến đường thiết kế, cải tạo đảm bảo: Cao độ các nút giao tuân theo cao độ quy hoạch phân khu đã được phê duyệt. Quy mô mặt cắt ngang tuân thủ theo quy hoạch giao thông đã được phê duyệt. Độ dốc ngang mặt đường 2%. Độ dốc ngang hè đường là 2%. Độ dốc ngang rãnh đan là 6-10%. Toàn bộ các tuyến đường trong khu công nghiệp sử dụng kết cấu mặt đường bê tông nhựa, với Mô đun đàn hồi yêu cầu Eyc = 155Mpa [9].

- Bảo đảm sự giao lưu thuận lợi trong khu vực cũng như giữa các khu vực lân cận và các địa phương khác trong vùng.



Hình 3. Thiết kế, cải tạo, tổ chức các nút giao thông trong KCN [10]

Tăng cường giải pháp đỗ xe và quản lý bãi đỗ xe: Đầu tư xây dựng và nâng cấp bãi đỗ xe tĩnh cho xe tải, xe chở hàng, container tại các lô đất P01 diện tích 8029 m² theo đúng quy hoạch, được bố trí gần khu trung tâm và dịch vụ 05 của KCN. Bề mặt bãi đỗ xe sử dụng bê tông xi măng, kết cấu. Bố trí các khu vực đỗ xe máy, ô tô cá nhân trong nội bộ từng nhà máy và tại các khu dịch vụ, khu văn phòng. Áp dụng chế tài xử phạt với tình trạng đỗ xe sai quy định, lấn chiếm lòng lề đường [3].

Bổ sung hệ thống an toàn giao thông: Tại các điểm giao cắt lớn, bố trí đèn tín hiệu giao thông dùng năng lượng mặt trời. Lắp đặt gờ giảm tốc, vạch qua đường tại các vị trí nguy hiểm và trước khu vực

có mật độ người qua đường cao (như khu dịch vụ, nhà ăn...). Hoàn thiện hệ thống chiếu sáng giao thông dọc các tuyến chính, đặc biệt tại các nút giao và tuyến đường không có ánh sáng ban đêm. Toàn bộ các tuyến đường tổ chức lại hệ thống vạch sơn, biển báo tuân thủ theo Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về báo hiệu đường bộ, QCVN 41-2024/BGTVT ngày 15/11/2024 do Bộ Giao thông vận tải ban hành. Các vạch sơn và biển báo được sử dụng trong KCN. Tổ chức lại luồng tuyến lưu thông, phân làn hợp lý giữa xe máy, ô tô, xe tải nặng nhằm giảm xung đột giao thông tại giờ cao điểm [9].

Kiểm soát và bảo trì hệ thống giao thông: Xây dựng phần mềm quản lý tài sản giao thông; ghi nhận các vị trí hư hỏng, lịch bảo trì, vật liệu sử dụng và thời gian sửa chữa. Lập quy trình bảo trì thường xuyên và định kỳ mặt đường, hệ thống thoát nước dọc đường, biển báo, camera. Chủ đầu tư phối hợp với Ban quản lý KCN, chính quyền địa phương thực hiện kiểm tra hiện trạng giao thông hàng quý, báo cáo và xử lý kịp thời các hư hỏng.

Đề xuất xây dựng hoàn thiện hệ thống, quy trình, quy chế bảo vệ, duy tu bảo dưỡng, sửa chữa và cải tạo hệ thống giao thông; Hoàn thiện quy chế quản lý bảo vệ và khai thác tài sản hạ tầng kỹ thuật của KCN. Công tác này cần được phối hợp chặt chẽ với các cơ quan quản lý Nhà nước và các doanh nghiệp:

+ Xây dựng các hướng dẫn, quy định về việc quản lý, sử dụng hệ thống tài sản trong KCN (biển báo, camera, vệ sinh lòng đường...);

+ Thường xuyên cập nhật các văn bản của địa phương về quản lý và hướng dẫn cộng đồng thực hiện;

+ Xây dựng hệ thống (phần mềm, app...) nhằm cung cấp các thông tin về việc quản lý tài sản (thông tin về tài sản, thời gian cần nâng cấp sửa chữa, bảo dưỡng) để thuận tiện trong công tác quản lý của Chủ đầu tư, lớn hơn có thể là một hệ thống cho toàn huyện Thuận Thành hoặc toàn tỉnh Bắc Ninh.

3.2. Đề xuất giải pháp nâng cao hiệu quả thoát nước mưa

- Khắc phục chênh lệch cao độ và xung đột thoát nước:

- Chủ đầu tư phối hợp với chính quyền địa phương để thông tin tới người dân về cao độ quy hoạch, hướng dòng thoát nước nhằm tránh phát sinh mâu thuẫn giữa hạ tầng mới và cũ.

- Tổ chức khảo sát lại hiện trạng các điểm giáp ranh, khu vực đầu nối với hiện trạng để thiết kế hệ thống thoát nước phù hợp địa hình, địa mạo, tạo cảnh quan.

- Cải tạo và nâng cấp hệ thống mương, rãnh thu nước mưa:

- Nạo vét, khơi thông các đoạn mương bị bồi lắng; gia cố bờ mương, bố trí mái kè hoặc lưới chắn rác tại các cửa thu.



Hình 4. Xây dựng kênh thoát nước mưa, tạo cảnh quan trong KCN [10]

- Bổ sung nắp đậy cho các mương hở để tăng tính an toàn, đồng thời ngăn chặn rác thải rơi vào lòng mương những khu vực nhiều công nhân đi lại và nhiều rác thải trên bề mặt.

- Đầu tư hệ thống mương kín tại các tuyến đường chính và khu vực đông công nhân để nâng cao cảnh quan và hiệu quả thoát nước.

- Thiết lập hệ thống thoát nước mưa đồng bộ và bền vững: Xây dựng hệ thống cống dẫn thoát nước mưa tách biệt hoàn toàn với hệ thống nước thải. Kết nối hệ thống thoát nước mưa với các hồ điều hòa, kênh tiêu chính trong khu vực nhằm kiểm soát lưu lượng dòng chảy, chống ngập úng. Tích hợp mô hình thoát nước bền vững (SUDS) như giếng thu nước, bể chứa nước mưa, thấm thấm, để tăng khả năng điều tiết.

- Quản lý, vận hành và giám sát hệ thống thoát nước mưa: Giao Ban quản lý hạ tầng kỹ thuật KCN lập kế hoạch duy tu, bảo dưỡng định kỳ hệ thống thoát nước mưa. Ứng dụng công nghệ GIS để theo dõi hiện trạng và phát hiện sớm các sự cố tắc nghẽn, xuống cấp. Thiết lập đường dây nóng, tiếp nhận phản ánh từ doanh nghiệp và người lao động về các vị trí thường xuyên ngập úng để kịp thời xử lý.

3.3. Đề xuất giải pháp nâng cao hiệu quả thoát nước thải

- Tăng cường kiểm soát và quản lý đầu nối hệ thống thoát nước thải: Yêu cầu tất cả các doanh nghiệp trong KCN phải đầu nối vào hệ thống thu gom nước thải tập trung. Các doanh nghiệp có phát sinh nước thải phải xử lý sơ bộ đạt tiêu chuẩn cục bộ trước khi xả vào hệ thống chung.

- Rà soát, kiểm tra định kỳ các điểm đầu nối để phát hiện kịp thời hành vi xả trộm hoặc đầu nối sai quy chuẩn.

- Hoàn thiện trạm xử lý nước thải tập trung và hệ thống thu gom: Đầu tư mở rộng, nâng cấp trạm xử lý nước thải tập trung để đáp ứng công suất xử lý cho toàn bộ doanh nghiệp trong KCN. Xây dựng hệ thống ống dẫn thu gom nước thải riêng biệt theo hướng tự chảy về trạm xử lý, hạn chế dùng trạm bơm trung gian.

- Không cho phép xả nước thải vào các hồ điều hòa, kênh tiêu tự nhiên hoặc mương thoát nước mưa.

- Áp dụng công nghệ và thiết bị giám sát thông minh: Trang bị hệ thống quan trắc tự động tại các điểm xả thải lớn, có kết nối dữ liệu trực tuyến với cơ quan quản lý. Lắp đặt thiết bị đo lưu lượng, kiểm tra thông số đầu ra như BOD, COD, pH, TSS,... tại các điểm đầu nối chính. Tích hợp bản đồ GIS hiển thị mạng lưới thoát nước thải và trạng thái hoạt động để hỗ trợ điều phối vận hành [2].

3.4. Đề xuất giải pháp xử lý CTR

- Quản lý CTR sinh hoạt: Bố trí hệ thống thùng rác công cộng có phân loại tại các tuyến đường, khu văn phòng và nhà ăn tập trung. Đảm bảo lịch thu gom rác hàng ngày, có đơn vị vệ sinh chuyên trách ký hợp đồng với Ban quản lý KCN. Tuyên truyền công nhân và doanh nghiệp phân loại rác tại nguồn theo hướng dẫn của Luật Bảo vệ môi trường năm 2020.

- Quản lý CTR công nghiệp thông thường: Các doanh nghiệp phải xây dựng khu lưu giữ chất thải tạm thời đạt chuẩn: có mái che, nền chống thấm, biển cảnh báo. Tăng cường kiểm tra, rà soát hoạt động thu gom chất thải trong các nhà máy để tránh tình trạng đổ trộm hoặc xả không đúng quy định. Ký hợp đồng với các đơn vị có giấy phép xử lý chất thải công nghiệp để thu gom và vận chuyển định kỳ.

- Quản lý CTR công nghiệp nguy hại: Doanh nghiệp phát sinh chất thải nguy hại phải lập sổ theo dõi, phân loại và lưu giữ đúng quy cách theo Thông tư 02/2022/TT-BTNMT của Bộ Tài nguyên và Môi trường. Kho lưu giữ phải có mái che, tường bao kín, hệ thống thu gom nước rỉ và biển cảnh báo "Chất thải nguy hại". Việc vận chuyển phải thực hiện bởi đơn vị có giấy phép hành nghề, đi kèm chứng từ và báo cáo định kỳ cho cơ quan quản lý môi trường.

- Nâng cao chất lượng vệ sinh môi trường chung: Tổ chức đội vệ sinh môi trường hoạt động thường xuyên trong KCN: quét dọn đường, thu gom rác, cắt cỏ, chăm sóc cây xanh. Kiểm tra định kỳ các

vị trí có nguy cơ tồn đọng rác, bùn thải như mương thoát nước, chân hàng rào, khu đất trống. Lắp đặt hệ thống camera giám sát tại các điểm tập kết rác thải để phát hiện vi phạm và nâng cao ý thức tự giác của các doanh nghiệp. Áp dụng công nghệ GIS và số hóa dữ liệu theo dõi chất thải để phục vụ công tác quản lý, thống kê và truy xuất nguồn phát thải nếu cần [4].

4. KẾT LUẬN

KCN Thuận Thành III là một trong những KCN trọng điểm của tỉnh Bắc Ninh, đóng vai trò quan trọng trong thu hút đầu tư, phát triển công nghiệp và chuyển dịch cơ cấu kinh tế địa phương. Tuy nhiên, quá trình khảo sát, phân tích và đánh giá thực trạng cho thấy công tác Quản lý hạ tầng kỹ thuật trong KCN còn tồn tại nhiều bất cập, thể hiện rõ ở một số nội dung: Hệ thống giao thông nội bộ chưa được tổ chức đồng bộ; Hệ thống thoát nước mưa và nước thải chưa được phân tách triệt để; Công tác quản lý CTR và vệ sinh môi trường còn lỏng lẻo, chưa triệt để... Do vậy, một số giải pháp quản lý kỹ thuật đề xuất sẽ giúp cho doanh nghiệp, Ban quản lý dự án và địa phương cải thiện và nâng cao được hiệu quả trong công tác quản lý một số hệ thống hạ tầng kỹ thuật trong KCN Thuận Thành III nói riêng và KCN Thuận Thành nói chung góp phần cho sự phát triển chung của tỉnh và cả nước.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Trần Thị Minh, (2021), Báo cáo hiện trạng môi trường khu công nghiệp tại Bắc Ninh, Sở Tài nguyên và Môi trường Bắc Ninh.
- [2]. Nguyễn Văn Thắng, (2022), "Ứng dụng công nghệ GIS trong quản lý thoát nước công nghiệp", Tạp chí Xây dựng và Đô thị, (số 6).
- [3]. Minh Trang, (2023), "Kinh nghiệm phát triển hạ tầng tại KCN Long Hậu và Deep C", Báo Đầu tư, (số 11).
- [4]. Nguyễn Văn Tùng (2022), Nghiên cứu đề xuất giải pháp quản lý kỹ thuật khu công nghiệp theo hướng bền vững, Luận văn Thạc sĩ, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội, tr. 23-45.
- [5]. UBND tỉnh Bắc Ninh (2024), Văn bản số 329/QĐ-UBND ngày 28/06/2024 của UBND tỉnh Bắc Ninh về việc phê duyệt Đồ án điều chỉnh Quy hoạch phân khu xây dựng Khu công nghiệp Thuận Thành III - Modul 1, tỉnh Bắc Ninh, tỷ lệ 1/2000;
- [6]. UBND tỉnh Bắc Ninh (2009), Quyết định số 768/QĐ-UBND ngày 18/6/2009 của UBND tỉnh Bắc Ninh về việc thành lập Khu công nghiệp Thuận Thành III, tỉnh Bắc Ninh.
- [7]. UBND tỉnh Bắc Ninh (2007), Quyết định số 1509/QĐ-UBND ngày 07/11/2007 của UBND tỉnh Bắc Ninh về việc thu hồi đất và giao đất cho Công ty Khai Sơn (TNHH) thuê để xây dựng và kinh doanh hạ tầng kỹ thuật Khu công nghiệp Thuận Thành III.
- [8]. UBND tỉnh Bắc Ninh (2007), Quyết định số 254/QĐ-UBND ngày 14/02/2007 của UBND tỉnh Bắc Ninh về việc phê duyệt quy hoạch chi tiết Khu công nghiệp Thuận Thành, huyện Thuận Thành, tỉnh Bắc Ninh (nay là thị xã Thuận Thành).
- [9]. Viện Quy hoạch Đô thị và Nông thôn Quốc gia (2021), Hướng dẫn quy hoạch hạ tầng kỹ thuật khu công nghiệp và khu chức năng đặc thù, NXB Xây dựng, Hà Nội, tr. 31-56.
- [10]. Một số bài viết, thông tin trên internet liên quan đến nội dung bài báo.

Thiết kế điều khiển điện áp bộ chuyển đổi Buck-Boost dựa trên mô hình logic hỗn hợp kết hợp với điều khiển dự báo mô hình

Design of Buck-Boost converter voltage control based on mixed logical dynamical model combined with model predictive control

> **THS ĐỖ THÁI GIANG*, THS PHẠM THANH TÙNG**

Viện Thiết kế Tàu quân sự, Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng

*Email: giangvt6666@gmail.com

TÓM TẮT

Bài báo trình bày một phương pháp thiết kế bộ điều khiển điện áp cho bộ chuyển đổi Buck-Boost dựa trên mô hình logic hỗn hợp (Mixed Logical Dynamical - MLD) kết hợp với điều khiển dự báo mô hình (Model Predictive Control - MPC). Bộ chuyển đổi Buck-Boost là một hệ phi tuyến có đặc tính rời rạc do quá trình đóng mở của khóa bán dẫn, đồng thời chịu các ràng buộc vật lý về cả dòng điện và điện áp. Để mô tả chính xác hệ thống, mô hình MLD được xây dựng nhằm liên kết phần động học tuyến tính với phần logic chuyển mạch. Dựa trên mô hình này, bộ điều khiển MPC được thiết kế dưới dạng bài toán tối ưu tuyến tính số nguyên hỗn hợp (MILP) để xác định tín hiệu điều khiển tối ưu tại mỗi chu kỳ lấy mẫu, đảm bảo điện áp đầu ra bám sát giá trị đặt và tuân thủ các ràng buộc có sẵn. Kết quả mô phỏng được thực hiện bằng ngôn ngữ HYSDEL và Matlab/Simulink cho thấy tính hiệu quả của phương pháp được đề xuất.

Từ khóa: Bộ chuyển đổi Buck-Boost; mô hình động học logic hỗn hợp; điều khiển dự báo mô hình, HYSDEL.

ABSTRACT

This paper presents a voltage control design method for a Buck-Boost converter based on the Mixed Logical Dynamical (MLD) model combined with Model Predictive Control (MPC). The Buck-Boost converter is a nonlinear system with discrete characteristics caused by the switching behavior of the power semiconductor device, and it is subject to physical constraints on current and voltage. To accurately represent the system, the MLD model is constructed to integrate the linear dynamic equations with the logical switching behavior. Based on this model, the MPC controller is formulated as a Mixed-Integer Linear Programming (MILP) problem to determine the optimal control signal at each sampling instant, ensuring that the output voltage tracks the reference value while satisfying the physical constraints. Simulation results carried out using HYSDEL and Matlab/Simulink demonstrate the effectiveness of the proposed control strategy.

Keywords: Buck-Boost converter; mixed logical dynamical (MLD) model; model predictive control (MPC); HYSDEL.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bộ chuyển đổi Buck-Boost là thành phần quan trọng trong hệ thống nguồn điện một chiều, đặc biệt trong ứng dụng tàu thủy, robot và thiết bị điện tử công suất. Mô hình toán học của bộ chuyển đổi này là phi tuyến mạnh do sự tồn tại của khóa bán dẫn có hai trạng thái đóng/mở, làm cho bài toán điều khiển trở nên phức tạp.

Các phương pháp điều khiển tuyến tính truyền thống như PID [5] hoặc điều khiển trượt (SMC) [1] thường khó đảm bảo chất lượng điều khiển tối ưu khi có các ràng buộc về dòng điện, điện áp và chế

độ chuyển mạch.

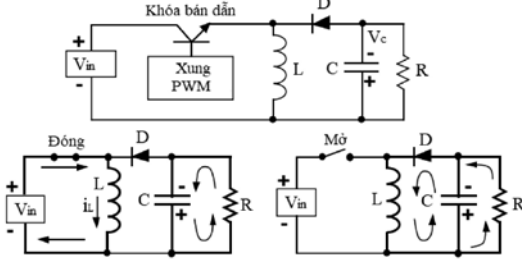
Phương pháp MPC là hướng tiếp cận hiện đại, có khả năng xử lý tốt các ràng buộc và tối ưu hóa việc tính toán trực tuyến. Tuy nhiên, với đối tượng phi tuyến và rời rạc như bộ chuyển đổi Buck-Boost, việc áp dụng trực tiếp MPC sẽ đòi hỏi khối lượng tính toán rất lớn.

Do đó, bài báo đề xuất xây dựng mô hình MLD [3] cho bộ chuyển đổi Buck-Boost, trong đó trạng thái đóng/mở của khóa bán dẫn được biểu diễn bởi biến logic nhị phân. Trên cơ sở đó, bộ điều

khuyến MPC được thiết kế và mô phỏng trên Matlab/HYSDEL nhằm đạt được điện áp đầu ra ổn định, nhanh và chính xác.

2. MÔ HÌNH TOÁN HỌC CỦA BỘ CHUYỂN ĐỔI BUCK-BOOST

Sơ đồ nguyên lý và mạch tương đương của bộ chuyển đổi Buck-Boost ở hai trạng thái đóng và mở được biểu diễn như ở Hình 1.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý và mạch tương đương bộ chuyển đổi Buck-Boost

Trong trạng thái đóng, cuộn dây được cấp điện áp V_{in} được xác định như (1), đồng thời không có dòng điện chạy đến tụ điện C và điện trở R, khi đó $i_L = 0$ và được xác định như (2).

$$V_{in} = L \frac{di_L}{dt} \quad (1)$$

$$0 = C \frac{dV_C}{dt} + \frac{V_C}{R} \quad (2)$$

Ở trạng thái mở thì điện áp đầu vào $V_{in} = 0$ nhưng trạng thái ngõ ra của V_C và i_L đảo ngược cực do hiện tượng phóng điện của cuộn cảm và được xác định như (3) và (4).

$$-V_C = -L \frac{di_L}{dt} \quad (3)$$

$$-i_L = C \frac{dV_C}{dt} + \frac{V_C}{R} \quad (4)$$

Đặt biến trạng thái $x_1 = i_L$, $x_2 = V_C$, $u = V_{in}$ và $y = V_C$ với i_L là dòng điện chạy qua cuộn cảm, V_C là điện áp trên tụ điện, khi đó phương trình (1), (2) được viết lại thành:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= \frac{1}{L} u \\ \dot{x}_2 &= -\frac{1}{RC} x_2 \end{aligned} \quad (5)$$

Tương tự, phương trình (3), (4) sẽ tương đương với:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= \frac{1}{L} x_2 \\ \dot{x}_2 &= -\frac{1}{C} x_1 - \frac{1}{RC} x_2 \end{aligned} \quad (6)$$

Mà theo Euler có thể thay thế $\dot{x}_i$ bằng $x_i(k+1) - x_i(k)/T_s$ với T_s là thời gian lấy mẫu. Khi đó, hệ thống được rời rạc hóa ở hai trạng thái đóng và mở thành như sau:

Trạng thái đóng:

$$\begin{aligned} x_1(k+1) &= x_1(k) + \frac{T_s}{L} u \\ x_2(k+1) &= x_2(k) - \frac{T_s}{RC} x_2(k) \end{aligned} \quad (7)$$

Trạng thái mở:

$$\begin{aligned} x_1(k+1) &= x_1(k) + \frac{T_s}{L} u \\ x_2(k+1) &= x_2(k) - \frac{T_s}{C} x_1(k) - \frac{T_s}{RC} x_2(k) \end{aligned} \quad (8)$$

3. MÔ HÌNH MLD CỦA BỘ CHUYỂN ĐỔI BUCK-BOOST

Để thiết lập mô hình MLD cho hệ thống đầu tiên ta giới thiệu biến logic phụ trợ $\delta(k) \in \{0, 1\}$ thể hiện cho trạng thái đóng/mở của

khóa bán dẫn.

$$[\delta(k) = 1] \leftrightarrow [\text{Trạng thái đóng}] \quad (9)$$

$$[\delta(k) = 0] \leftrightarrow [\text{Trạng thái mở}] \quad (10)$$

Tiếp theo các biến liên tục phụ được giới thiệu là $z_i(k)$ với $i = \{1, 2, 3, 4\}$ để mô tả trạng thái đóng/mở của khóa bán dẫn.

Khi $\delta(k) = 1$ tức là trạng thái đóng thì ta có:

$$z_1(k) = \frac{T_s}{L} u \quad (11)$$

$$z_2(k) = -\frac{T_s}{RC} x_2(k)$$

Tương tự, khi $\delta(k) = 0$ tức là trạng thái mở thì ta có:

$$z_3(k) = \frac{T_s}{L} u \quad (12)$$

$$z_4(k) = -\frac{T_s}{C} x_1(k) - \frac{T_s}{RC} x_2(k)$$

Từ đây mô hình MLD được hình thành biểu diễn thông qua ngôn ngữ HYSDEL (Torrissi et al, 2002 [4]). Đây là ngôn ngữ cho phép mô hình hóa một lớp các hệ thống động học tuyến tính, automata, mệnh đề if-then-else và các mệnh đề quy tắc logic. Như vậy, dạng mô hình MLD của hệ thống có thể được biểu diễn như sau:

$$x_1(k+1) = x_1(k) + z_1(k) + z_3(k) \quad (13)$$

$$x_2(k+1) = x_2(k) + z_2(k) + z_4(k)$$

$$y(k+1) = [0 \ 1] x(k)$$

4. ĐIỀU KHIỂN DỰ BÁO KẾT HỢP MÔ HÌNH MLD

Hiện nay, điều khiển dự báo mô hình đã được xây dựng kết hợp với mô hình MLD. Đối với bài toán này, bộ điều khiển MPC được thiết kế dưới dạng bài toán tối ưu tuyến tính số nguyên hỗn hợp (MILP) để xác định tín hiệu điều khiển tối ưu tại mỗi chu kỳ lấy mẫu, đảm bảo điện áp đầu ra bám sát giá trị đặt và tuân thủ các ràng buộc có sẵn. Đối với một hệ thống được mô hình hóa ở dạng MLD (13) và một cửa sổ dự báo cho trước N, với trạng thái ban đầu x_0 , bài toán tối ưu mong muốn tối thiểu hóa hàm mục tiêu sau:

$$J = \sum_{i=0}^{N-1} \|y(k+i/k) - y_{eq}\|_{Q_y}^2 + \|u(k+i) - u_{eq}\|_{Q_u}^2 + \|x(k+i/k) - x_{eq}\|_{Q_x}^2 + \|z(k+i/k) - z_{eq}\|_{Q_z}^2 + \|\delta(k+i/k) - \delta_{eq}\|_{Q_\delta}^2 \quad (14)$$

Với:

$$x(k+i+1/k) = Ax(k+i/k) + B_1 u(k+i) + B_2 \delta(k+i/k) + B_3 z(k+i/k)$$

$$y(k+i+1/k) = Cx(k+i/k) + D_1 u(k+i) + D_2 \delta(k+i/k) + D_3 z(k+i/k)$$

$$E_2 \delta(k+i/k) + E_3 z(k+i/k) \leq E_4 x(k+i/k) + E_5 u(k+i) + E_5$$

$$x(k+N/k) = x_{eq}$$

$$x(k=0) = x_0$$

$$x_{min} \leq x(k), x(k+1) \leq x_{max}, u_{min} \leq u(k), u(k+1) \leq u_{max}$$

Trong đó:

- Q_i - Các ma trận trọng số có kích thước phù hợp;

- A, B_1, C, D_1, E_1 - Các ma trận có kích thước phù hợp;

- (x_{eq}, u_{eq}, y_{eq}) - Tương ứng là trạng thái cân bằng, đầu vào, đầu ra;

- (δ_{eq}, z_{eq}) - Hai biến logic phụ và liên tục phụ;

- $x_{min}, x_{max}, u_{min}, u_{max}$ tương ứng lần lượt là giới hạn biến

trạng thái và đầu vào.

Hệ thống ổn định theo MPC khi:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} x(k) = x_{eq}$$

$$\lim_{k \rightarrow \infty} u(k) = u_{eq}$$

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \|\delta(k) - \delta_{eq}\|_{Q_\delta} = 0$$

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \|z(k) - z_{eq}\|_{Q_z} = 0$$

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \|y(k) - y_{eq}\|_{Q_y} = 0$$

5. MÔ PHỎNG SỐ

Giả sử rằng ban đầu điện áp trên tụ điện và dòng điện trên cuộn cảm bằng 0 hay $x_0 = [0 \ 0]$. Mục tiêu của bài toán là xác định hàm mục tiêu nhỏ nhất cho phép của hệ thống sao cho điện áp của tụ điện bám theo một quỹ đạo đặt cho trước. Tham số điều khiển MPC thể hiện trong Bảng 1.

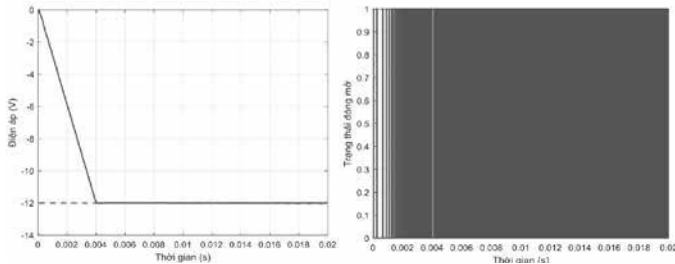
Bảng 1. Tham số điều khiển MPC

Tham số	Giá trị
Cửa sổ dự báo N	7
Thời gian lấy mẫu T_s	$2e-5$ (s)
Ma trận trọng số Q_y	10
Ma trận trọng số Q_u	0,1
Ma trận trọng số Q_x, Q_z	Ma trận 0

Kết quả mô phỏng thu được bằng cách sử dụng hộp công cụ Hybrid Toolbox (Bemporad, 2012b [2]). Với các điều kiện ràng buộc sau:

$$\begin{cases} 0 \leq u \leq 50 \\ -10 \leq x_1 \leq 10 \\ -50 \leq x_2 \leq 50 \end{cases} \quad (15)$$

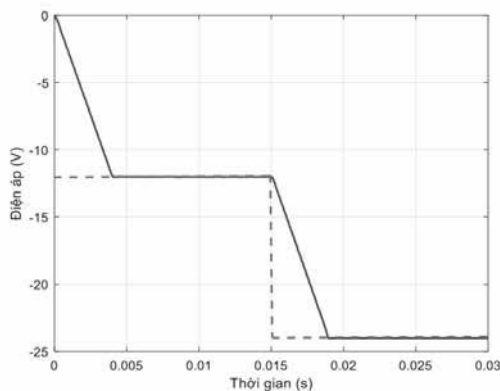
Trường hợp 1: Đáp ứng điện áp và trạng thái đóng mở của khóa bán dẫn khi $V_{in} = 24$ (V), $R=3.000\Omega$, $C=25e-7$ (F), $L=1.5e-3$ (H) và điện áp đặt $V_{ref} = -12$ (V) như trong Hình 2, Hình 3. Quan sát đáp ứng ở Hình 2 ta thấy rằng, điện áp thực tế của bộ chuyển đổi Buck-Boost bám theo điện áp đặt với thời gian thời gian xác lập là 4 (ms). So sánh với điều khiển PID [5], SMC [1] cùng điều kiện thì điện áp ra ổn định hơn, thời gian xác lập thấp hơn.



Hình 2. Đáp ứng điện áp V_c

Hình 3. Trạng thái đóng mở của khóa bán dẫn $\delta(k)$

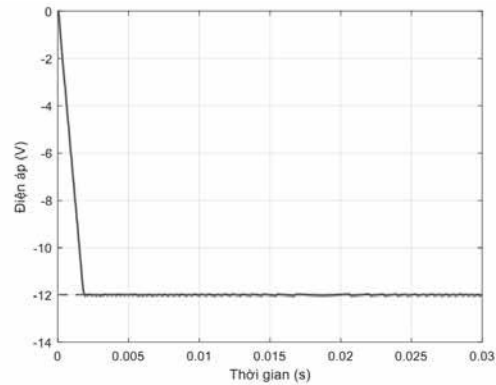
Trường hợp 2: Tương tự trường hợp 1, đáp ứng điện áp của bộ chuyển đổi Buck-Boost khi điện áp đầu vào $V_{in} = 24$ (V) và điện áp đặt thay đổi $V_{ref} = -12$ (V) $\rightarrow$ -24 (V) như Hình 4.



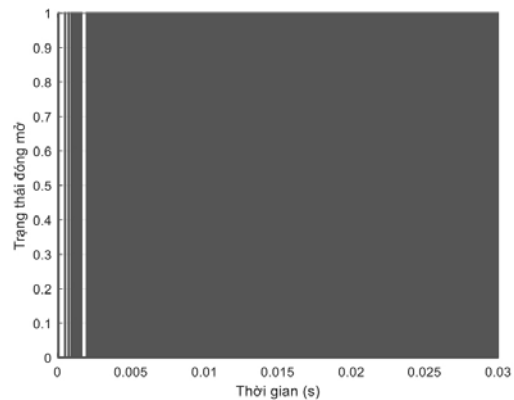
Hình 4. Đáp ứng điện áp V_c

Trường hợp 3: Tương tự như trường hợp 1, khi thay đổi điện áp vào $V_{in} = 48$ (V) và điện trở $R=30.000\Omega$, khi đó đáp ứng điện áp, trạng thái đóng mở của bộ chuyển đổi Buck-Boost thể hiện như

Hình 5 - 6. Quan sát đáp ứng ở Hình 5 ta thấy rằng, điện áp thực tế của bộ chuyển đổi Buck-Boost bám theo điện áp tham chiếu với thời gian thời gian xác lập là khoảng 2 (ms).



Hình 5. Đáp ứng điện áp V_c



Hình 6. Trạng thái đóng mở của khóa bán dẫn $\delta(k)$

6. KẾT LUẬN

Như vậy, bài báo đã trình bày một phương pháp thiết kế điều khiển điện áp cho bộ chuyển đổi Buck-Boost dựa trên mô hình logic hỗn hợp (MLD) kết hợp với điều khiển dự báo mô hình (MPC). Việc sử dụng mô hình MLD như một cách phù hợp để mô tả chính xác hệ phi tuyến và quá trình chuyển mạch của khóa bán dẫn trong hệ thống, qua đó giúp bài toán điều khiển có thể được biểu diễn dưới dạng tối ưu tuyến tính số nguyên hỗn hợp (MILP).

Bộ điều khiển MPC được thiết kế dựa trên cơ sở mô hình MLD đã đảm bảo điện áp đầu ra bám sát giá trị đặt, đồng thời các ràng buộc về dòng điện cuộn cảm và điện áp tụ điện vẫn được thỏa mãn. Kết quả mô phỏng cho thấy phương pháp đề xuất đạt được hiệu quả, thời gian xác lập nhanh, độ quá chỉnh nhỏ hơn so với các phương pháp điều khiển truyền thống.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Phạm Thanh Tùng, Lê Thanh Quang Đức (2022), Điều khiển điện áp bộ chuyển đổi Buck-Boost sử dụng điều khiển trượt dựa vào mặt trượt Pi, TNU Journal of Science and Technology.
- [2]. Bemporad, A. (2012b), Hybrid Toolbox - User's Guide.
- [3]. Bemporad, A. and Morari, M. (1999), Control of systems integrating logic, dynamics and constraints, Automatica, vol.35, no.3, pp.407-427.
- [4]. Torrisi, F., Bemporad, A., Bertini, G., Hertach, P., Jost, D. and Mignone, D. (2002), HYSDEL 2.0.5 - User Manual, Automatic Control Laboratory, ETH, Zurich, Switzerland.
- [5]. A. Ammar (2020), Voltage Controller of Buck Boost Converter with Proposed PID Controller, International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET), vol.9, no.1, pp.2278-1323.

Ứng dụng mô hình ước tính phát thải và hiệu quả xử lý NO_x của mặt đường phủ TiO₂ tại đô thị Hải Phòng

Application of an estimation model for emissions and NO_x removal efficiency of TiO₂-coated pavements in Hai Phong urban area

> TS NGUYỄN PHAN ANH^{1,*}, THS BÙI NGỌC DUNG²

¹Khoa Công trình, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

² Khoa Công nghệ và Kỹ thuật, Trường Đại học Hải Phòng

*Email: phananh.ctt@vimaru.edu.vn

TÓM TẮT

Ô nhiễm không khí đô thị do giao thông là vấn đề cấp bách, trong đó khí NO_x (NO và NO₂) đóng vai trò chính trong hình thành khói quang hóa và gây hại sức khỏe cộng đồng. Nghiên cứu này nhằm ước tính hiệu quả giảm phát thải NO_x khi áp dụng lớp phủ quang xúc tác TiO₂ trên mặt đường đô thị, với trường hợp điển hình là tuyến ĐT359 đoạn qua thị trấn Núi Đèo, TP Hải Phòng. Dữ liệu lưu lượng phương tiện thực tế được thu thập và chuẩn hóa sang đơn vị xe con tương đương (PCU) theo TCVN 13592:2022. Hệ số phát thải NO_x được tham chiếu từ cơ sở dữ liệu EMEP/EEA (2019) và COPERT v5.7 (2023), áp dụng cho điều kiện đô thị (30 - 50 km/h). Kết quả tính toán cho thấy tổng phát thải NO_x trên đoạn 5 km đạt khoảng 440 kg/ngày (tương đương 22.000 g/km-làn/ngày hoặc 5,9 g/m²/ngày). Xe máy và xe tải hạng nặng là hai nhóm đóng góp lớn nhất, chiếm lần lượt 41% và 22% tổng phát thải. Khi áp dụng lớp phủ quang xúc tác TiO₂, lượng phát thải giảm ước tính 15 - 45%, tương đương 66 - 198 kg/ngày. Các giá trị này phù hợp với kết quả thực địa được báo cáo trong nghiên cứu quốc tế, khẳng định tính khả thi khi áp dụng tại điều kiện Việt Nam. Nghiên cứu đồng thời chỉ ra rằng hiệu quả giảm phụ thuộc đáng kể vào tốc độ vận hành, điều kiện chiếu sáng và độ bền vật liệu. Lợi ích môi trường được ghi nhận tương đương 20 - 60 tấn NO_x/năm trên đoạn tuyến 5 km, cho thấy lớp phủ quang xúc tác có tiềm năng đóng góp vào mục tiêu phát triển giao thông đô thị xanh. Các hướng nghiên cứu tiếp theo được gợi mở gồm thử nghiệm hiện trường quy mô nhỏ, so sánh hiệu quả giữa các loại vật liệu TiO₂ biến tính và áp dụng mô hình phát tán khí để đánh giá tác động đến khu dân cư ven đường.

Từ khóa: Lớp phủ quang xúc tác; TiO₂; NO_x giao thông; phát thải đô thị; giao thông đô thị; hạ tầng giao thông xanh.

ABSTRACT

Urban air pollution caused by road traffic has become a pressing issue, with nitrogen oxides (NO_x, including NO and NO₂) being key precursors of photochemical smog and posing serious health risks. This study aims to estimate the reduction potential of NO_x emissions through the application of TiO₂-based photocatalytic pavement coatings in urban roads, with a case study on Provincial Road 359 (ĐT359), Nui Deo town, Hải Phòng, Vietnam. Real-world traffic count data were collected and converted into Passenger Car Units (PCU) according to the Vietnamese standard TCVN 13592:2022. NO_x emission factors were referenced from the EMEP/EEA (2019) and COPERT v5.7 (2023) databases, under urban driving conditions (30 - 50 km/h). The results indicate that total NO_x emissions along a 5 km section reach approximately 440 kg/day, equivalent to 22,000 g/km-lane/day or 5.9 g/m²/day. Motorcycles and heavy-duty trucks are the dominant contributors, accounting for 41% and 22% of the total emissions, respectively. When TiO₂ photocatalytic coatings are applied, NO_x reductions are estimated at 15 - 45%, corresponding to 66 - 198 kg/day. These values are consistent with international field studies, confirming the feasibility of the technology in Vietnamese urban contexts.

Keywords: Photocatalytic pavement coatings; TiO₂; NO_x transport; urban emissions; urban traffic; green transportation infrastructure.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ô nhiễm không khí đô thị đã và đang trở thành một trong những vấn đề môi trường cấp bách nhất toàn cầu. Theo ước tính của Tổ chức Y tế Thế giới, hàng triệu ca tử vong sớm mỗi năm có liên quan trực tiếp đến phơi nhiễm không khí ngoài trời, trong đó ôxit nitơ (NO và NO_2 , gọi chung là NOx) được coi là một trong những tác nhân chính. Các hợp chất này không chỉ gây kích ứng đường hô hấp, làm trầm trọng hơn bệnh tim mạch và phổi, mà còn là tiền chất hình thành ôzôn tầng mặt đất và bụi mịn thứ cấp $\text{PM}_{2.5}$ - những yếu tố then chốt trong khói quang hóa đô thị. Ở các quốc gia có mật độ dân cư và tốc độ công nghiệp hóa cao, trong đó có Việt Nam, phát thải NOx trở thành áp lực lớn đối với môi trường và quản lý đô thị.

Giao thông đường bộ được xác định là nguồn phát thải NOx chủ yếu. Báo cáo của EMEP/EEA (2019) cho thấy giao thông chiếm tới 40% lượng NOx tại đô thị châu Âu [1]. Tại Mỹ, xe tải và xe buýt hạng nặng tuy chiếm tỷ trọng nhỏ nhưng lại đóng góp 59% phát thải NOx từ giao thông. Ở Việt Nam, lượng xe máy khổng lồ khiến tổng phát thải vẫn ở mức đáng kể, mặc dù phát thải NOx từ từng xe thấp hơn so với xe tải. Do đó, kiểm soát NOx từ giao thông trở thành bài toán phức tạp, đòi hỏi giải pháp ngoài kiểm soát tại nguồn.

Trong nhiều thập kỷ qua, các biện pháp kiểm soát khí thải tại nguồn đã được áp dụng, gồm tiêu chuẩn khí thải khắt khe hơn (Euro 4, Euro 6) nhiên liệu lưu huỳnh thấp và hệ thống xúc tác xử lý [2]. Tuy nhiên tại Việt Nam, đội xe cũ lạc hậu kiểm định chưa nghiêm, và xe máy chưa có công nghệ kiểm soát NOx khiến nồng độ vẫn ở mức cao. Do đó, các giải pháp hạ tầng “thông minh” nhằm xử lý khí thải sau phát tán được xem là cần thiết.

Một giải pháp nổi bật là mặt đường quang xúc tác. Nguyên lý dựa trên khả năng của TiO_2 khi hấp thụ ánh sáng mặt trời, tạo electron - lỗ trống và sinh ra gốc oxy hóa mạnh như $\cdot\text{OH}$, $\text{O}_2^{\cdot-}$ có khả năng oxy hóa NO , NO_2 thành HNO_3 . Sản phẩm sau đó bám lại bề mặt dưới dạng muối nitrate hoặc bị rửa trôi bởi nước mưa. Hiệu quả loại bỏ NO đã được chuẩn hóa trong ISO 22197-1:2016 [2], với kết quả thí nghiệm cho thấy hiệu suất 20 - 60% tùy loại vật liệu và điều kiện.

Nhiều quốc gia đã triển khai thử nghiệm thực địa. Tại Ý, đoạn cao tốc A21 với bề tông xi măng pha TiO_2 ghi nhận mức giảm NO_2 26% [3]. Ở Hà Lan, lát gạch xi măng quang xúc tác trên phố Kastner cho thấy NOx giảm trung bình 19% [4]. Tại Bỉ, hầm giao thông Leopold II được phủ sơn chứa TiO_2 giảm 15 - 20% [5]. Các kết quả này khẳng định tính khả thi, dù hiệu quả ngoài thực địa thấp hơn do yếu tố khí tượng.

Ở Việt Nam, ứng dụng còn mới mẻ, mới có các nghiên cứu quy mô nhỏ với kết quả bước đầu khả quan, các rào cản chính gồm chi phí vật liệu, độ bền lớp phủ, thiếu tiêu chuẩn trong nước và tâm lý e ngại từ cộng đồng. Dẫu vậy, lợi ích tiềm năng rõ ràng: Giảm NOx , tăng phản xạ bề mặt, giảm nhiệt độ mặt đường, cải thiện khả năng tự làm sạch.

Hải Phòng được coi là địa bàn thí điểm phù hợp nhờ mật độ phương tiện cao và vai trò trung tâm công nghiệp - cảng biển. Tuyến ĐT359, đặc biệt đoạn qua thị trấn Núi Đèo thường xuyên ùn tắc với gần 50.000 PCU/ngày. Khu vực tập trung dân cư, trường học, bệnh viện làm nguy cơ ô nhiễm càng đáng lo ngại. Việc áp dụng lớp phủ quang xúc tác tại đây không chỉ có giá trị khoa học trong kiểm chứng công nghệ mà còn mang ý nghĩa xã hội lớn khi góp phần bảo vệ sức khỏe cộng đồng.

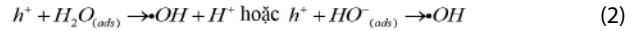
2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Cơ chế quang xúc tác dựa trên titan đioxit (TiO_2) đã được nghiên cứu và chuẩn hóa trong nhiều thập kỷ, trở thành nền tảng cho các ứng dụng xử lý ô nhiễm không khí. Khi bề mặt TiO_2 được chiếu sáng bởi photon có năng lượng bằng hoặc lớn hơn năng lượng vùng cấm

(~3,2 eV), các electron ở vùng hóa trị bị kích thích chuyển lên vùng dẫn, để lại lỗ trống dương trong vùng hóa trị. Sự hình thành cặp electron-lỗ trống quang sinh này được mô tả bởi phương trình (1) [6].



Các lỗ trống (h^+) hình thành có khả năng oxy hóa nước hoặc ion hydroxyl hấp phụ trên bề mặt để tạo ra gốc hydroxyl ($\cdot\text{OH}$), là một trong những tác nhân oxy hóa mạnh nhất trong hệ phản ứng, như thể hiện ở phương trình (2).



Đồng thời, electron ở vùng dẫn (e^-) có thể tham gia khử oxy phân tử hấp phụ, tạo ra gốc superoxide ($\text{O}_2^{\cdot-}$), như phương trình (3) [7].



Các gốc superoxide sau đó được proton hóa trong môi trường ẩm để tạo thành gốc hydroperoxyl ($\text{HO}_2^{\cdot}$), theo phương trình (4).



Các gốc $\cdot\text{OH}$ và $\text{HO}_2^{\cdot}$ tiếp tục tham gia phản ứng với NO và NO_2 trong khí thải. Trước tiên, NO được oxy hóa thành NO_2 theo phương trình (5).



Sau đó, NO_2 tiếp tục bị oxy hóa tạo thành HNO_3 , sản phẩm cuối cùng bám trên bề mặt dưới dạng muối nitrate hoặc bị rửa trôi bởi nước mưa, như được thể hiện ở phương trình (6).



Chuỗi phản ứng (1) - (6) đã được sử dụng làm cơ sở cho các thử nghiệm đánh giá hiệu quả xử lý khí thải của vật liệu quang xúc tác theo tiêu chuẩn ISO 22197-1:2016 [2]. Các kết quả thực nghiệm cho thấy khả năng phân hủy NOx đáng kể, tuy nhiên hiệu quả thực tế còn phụ thuộc vào nhiều yếu tố như cường độ ánh sáng mặt trời, thời gian tiếp xúc và nồng độ ô nhiễm ban đầu.

Mặc dù TiO_2 nguyên chất thể hiện hoạt tính xúc tác tốt dưới chiếu xạ tử ngoại, một hạn chế lớn được ghi nhận là khả năng hấp thụ ánh sáng chỉ giới hạn ở vùng UV, vốn chiếm không quá 5% phổ năng lượng mặt trời [8]. Thêm vào đó, sự tái hợp nhanh chóng của các cặp electron-lỗ trống làm giảm đáng kể hiệu suất quang xúc tác. Các nghiên cứu thực địa cho thấy mức giảm NOx trung bình khi áp dụng TiO_2 nguyên chất thường chỉ đạt 15 - 30%, thấp hơn nhiều so với hiệu quả trong phòng thí nghiệm [9].

Để khắc phục hạn chế, nhiều hướng biến tính vật liệu đã được phát triển. Một trong số đó là pha tạp kim loại hoặc phi kim vào mạng tinh thể TiO_2 nhằm thu hẹp vùng cấm, cho phép hấp thụ ánh sáng khả kiến. Nghiên cứu về hệ $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ đã chứng minh hiệu quả xử lý NOx tăng gấp đôi so với TiO_2 nguyên chất, với độ chuyển hóa đạt trên 60% dưới ánh sáng mặt trời [10]. Một hướng khác là hình thành dị thể bán dẫn bằng cách kết hợp TiO_2 với các vật liệu khác như g- C_3N_4 , ZnO hoặc WO_3 , giúp phân tách cặp electron-lỗ trống hiệu quả hơn và duy trì hoạt tính trong thời gian dài. Ngoài ra, việc kết hợp TiO_2 với graphene oxide (GO) hoặc chấm lượng tử carbon (CQDs) cũng đã được áp dụng. Các hạt CQDs hỗ trợ hiệu ứng chuyển đổi lên tần số, cho phép vật liệu TiO_2 hấp thụ và sử dụng hiệu quả hơn vùng ánh sáng khả kiến. Các nghiên cứu gần đây cho thấy composite TiO_2/GO hoặc CQDs-TiO_2 có khả năng phân hủy NOx cao gấp 2 - 3 lần so với TiO_2 thuần trong điều kiện ánh sáng tự nhiên [9].

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

3.1. Tuyến đường nghiên cứu và dữ liệu lưu lượng phương tiện

Nghiên cứu được tiến hành tại tuyến ĐT359, đoạn qua thị trấn Núi Đèo, huyện Thủy Nguyên, TP Hải Phòng (cũ). Đây là đoạn tuyến có mật độ giao thông lớn, lưu lượng xe hỗn hợp cao, thường xuyên xảy ra ùn tắc trong giờ cao điểm.

3.2. Quy đổi lưu lượng phương tiện sang PCU

Các hệ số quy đổi được sử dụng theo Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 13592:2022 [11]. Dựa trên dữ liệu đếm xe thực tế tại tuyến ĐT359, lưu lượng đã được quy đổi sang PCU/ngày như sau:

Bảng 1. Lưu lượng phương tiện và quy đổi PCU tại tuyến ĐT359

Loại phương tiện	Lưu lượng trung bình (xe/ngày)	Hệ số PCU	Lưu lượng quy đổi (PCU/ngày)
Xe máy	120.000	0,3	36.000
Ô tô con	20.000	1,0	20.000
Xe tải hạng nhẹ	5.000	2,5	12.500
Xe tải hạng nặng	3.000	3,0	9.000
Xe buýt	2.000	2,5	5.000
Tổng cộng	150.000	–	82.500

Tổng lưu lượng quy đổi đạt khoảng 82.500 PCU/ngày, phản ánh mức độ áp lực giao thông đáng kể tại đoạn tuyến nghiên cứu.

3.3. Hệ số phát thải NOx tham chiếu

Do chưa có bộ dữ liệu phát thải chính thức cho Việt Nam, hệ số phát thải NOx (g/km/xe) được tham chiếu từ cơ sở dữ liệu EMEP/EEA (2019) [1] và COPERT v5.7 (2023) [12], áp dụng cho điều kiện đô thị với tốc độ trung bình 30 - 50 km/h.

Bảng 2. Hệ số phát thải NOx theo loại phương tiện (điều kiện đô thị)

Loại phương tiện	Hệ số phát thải NOx(g/km/xe)
Xe máy	0,3
Ô tô con	0,5
Xe tải hạng nhẹ	2,5
Xe tải hạng nặng	6,5
Xe buýt	5,0

Các hệ số này được sử dụng để tính toán tổng phát thải trên đoạn tuyến nghiên cứu.

3.4. Tính toán phát thải NOx trước khi áp dụng lớp phủ

Khối lượng phát thải được tính toán theo công thức:

$$E = \sum (N_i \times EF_i \times L) \quad (7)$$

Trong đó: E - Tổng phát thải NOx (g/ngày); N_i - Số lượng phương tiện loại i (xe/ngày); EF_i - Hệ số phát thải NOx (g/km/xe); L - Chiều dài đoạn tuyến khảo sát (km);

Với chiều dài đoạn nghiên cứu giả định là 5 km, tổng phát thải NOx tính được xác định như sau:

Bảng 3. Tổng phát thải NOx trên tuyến ĐT359 (chiều dài 5 km)

Loại phương tiện	Lưu lượng (xe/ngày)	Hệ số phát thải (g/km/xe)	Tổng phát thải (g/ngày)
Xe máy	120.000	0,3	180.000
Ô tô con	20.000	0,5	50.000
Xe tải hạng nhẹ	5.000	2,5	62.500
Xe tải hạng nặng	3.000	6,5	97.500
Xe buýt	2.000	5,0	50.000
Tổng cộng	–	–	440.000 g/ngày

Tổng phát thải NOx ước tính đạt khoảng 440 kg/ngày trên đoạn 5 km của tuyến ĐT.359.

3.5. Hiệu quả xử lý NOx của lớp phủ quang xúc tác

Trong nghiên cứu này, các giá trị hiệu quả xử lý đã được tham chiếu từ các công trình thực nghiệm quốc tế. Cụ thể, hiệu quả trung bình khoảng 19 - 25% và tối đa tới 45% đã được báo cáo trong các thử nghiệm thực địa [7]. Trên cơ sở đó, hai kịch bản đã được giả định: Kịch bản cơ sở với mức giảm 15 - 30% và kịch bản tối ưu với mức giảm 30 - 45%. Các kịch bản này chỉ được sử dụng làm đầu vào cho bước tính toán phát thải ở phần sau, trong khi các kết quả định lượng cụ thể sẽ được xác định.

4. KẾT QUẢ VÀ PHÂN TÍCH

4.1. Công thức mô hình hóa phát thải

Phát thải NOx từ giao thông trên đoạn tuyến được tính theo công thức tổng quát:

$$E_{NOx} = \sum_{i=1}^n (N_i \times EF_i \times L) \quad (8)$$

Trong đó: E_{NOx} - Tổng phát thải NOx trên đoạn tuyến (g/ngày).

Để chuẩn hóa lưu lượng, phương tiện hỗn hợp được quy đổi sang đơn vị PCU theo công thức:

$$N_i^* = N_i \times f_i \quad (9)$$

Với f_i là hệ số quy đổi từ TCVN 13592:2022.

Tổng lưu lượng chuẩn hóa được tính:

$$N_{PCU} = \sum_{i=1}^n N_i^* \quad (10)$$

Các công thức (8)-(10) đảm bảo tính đồng nhất khi so sánh phát thải giữa các loại phương tiện khác nhau.

4.2. Kết quả tính toán cơ sở

Áp dụng dữ liệu tại tuyến ĐT359 (thị trấn Núi Đèo), tổng phát thải trước xử lý đạt 440.000 g/ngày (440 kg/ngày) trên chiều dài 5 km.

Để chuẩn hóa theo đơn vị quốc tế, kết quả được chuyển đổi thành:

$$E' = \frac{E_{NOx}}{L \times n} \quad (11)$$

Với giả định đoạn đường gồm n=4 lần, ta có:

$$E' = \frac{440.000}{5 \times 4} = 22.000 \text{ (g/km.lần/ngày)} \quad (12)$$

Nếu quy đổi theo diện tích mặt đường (chiều rộng 15 m), phát thải được tính:

$$E'' = \frac{440.000}{L \times W} = \frac{440.000}{5.000 \times 15} = 5,87 \text{ (g/m}^2\text{/ngày)} \quad (13)$$

4.3. Hiệu quả giảm phát thải theo kịch bản

Hiệu quả giảm phát thải được tính theo:

$$E_{red} = E_{NOx} \times \eta \quad (14)$$

$$E_{after} = E_{NOx} - E_{red}$$

Với: η - Hiệu quả giảm của lớp phủ quang xúc tác (%), tham chiếu từ nghiên cứu thực địa [1,3]; E_{red} - Lượng phát thải giảm được (g/ngày); E_{after} - Lượng phát thải còn lại (g/ngày).

Tổng lượng NOx có thể giảm được trong từng kịch bản được trình bày trong Bảng 4.

Bảng 4. Ước tính hiệu quả giảm NOx tại tuyến ĐT359 theo hai kịch bản

Loại phương tiện	Trước xử lý (g/ngày)	Sau xử lý 15%	Sau xử lý 30%	Sau xử lý 45%
Xe máy	180.000	153.000	126.000	99.000
Ô tô con	50.000	42.500	35.000	27.500
Xe tải nhẹ	62.500	53.125	43.750	34.375
Xe tải nặng	97.500	82.875	68.250	53.625
Xe buýt	50.000	42.500	35.000	27.500
Tổng cộng	440.000	374.000	308.000	242.000

Kết quả cho thấy, nếu lớp phủ quang xúc tác được áp dụng, lượng NOx phát thải từ tuyến ĐT359 có thể giảm từ 66 - 198 kg mỗi ngày, tương đương 15 - 45% tổng phát thải. Đây là mức giảm đáng kể, mang lại lợi ích môi trường rõ rệt trong bối cảnh giao thông đô thị.

Ước tính phát thải cho hai kịch bản: Cơ sở (15 - 30%) và tối ưu (30 - 45%) như sau:

Bảng 5. Ước tính phát thải sau xử lý theo các kịch bản

Kịch bản	E_{NOx} ban đầu (g/ngày)	Hiệu quả (%)	E_{red} (g/ngày)	E_{after} (g/ngày)
Cơ sở	440.000	15-30	66.000-132.000	308.000-374.000
Tối ưu	440.000	30-45	132.000-198.000	242.000-308.000

Kết quả cho thấy phát thải có thể giảm từ 66 - 198 kg/ngày, tương đương 15 - 45%.

4.4. Phân tích nhạy cảm theo tốc độ vận hành

Hệ số phát thải NOx phụ thuộc đáng kể vào tốc độ vận hành. Theo EMEP/EEA (2019), khi tốc độ giảm từ 40 xuống 20 km/h, hệ số phát thải của xe tải nặng có thể tăng thêm 30 - 50% [3]. Để đánh giá, hai kịch bản tốc độ được giả định:

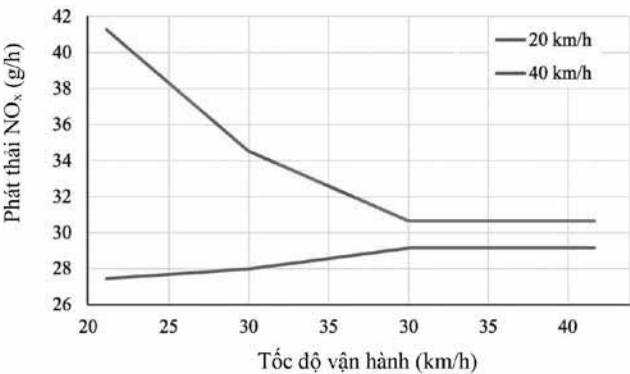
Tốc độ trung bình 40 km/h (điều kiện lưu thông bình thường).

Tốc độ trung bình 20 km/h (giờ cao điểm ùn tắc).

Tổng phát thải trong giờ cao điểm (20 km/h) có thể tăng từ 440 kg/ngày lên gần 600 kg/ngày. Như vậy, lợi ích tuyệt đối của lớp phủ trong điều kiện ùn tắc còn cao hơn, vì mức phát thải nền lớn hơn.

Bảng 6. Phát thải NOx theo tốc độ vận hành

Loại phương tiện	EF ở 40 km/h (g/km/xe)	EF ở 20 km/h (g/km/xe)	Tăng (%)
Xe máy	0,3	0,4	+33%
Ô tô con	0,5	0,7	+40%
Xe tải hạng nhẹ	2,5	3,2	+28%
Xe tải hạng nặng	6,5	9,0	+38%
Xe buýt	5,0	6,5	+30%



Hình 1. Biểu đồ đường thể hiện biến động phát thải NOx theo tốc độ vận hành

4.5. So sánh với kịch bản chính sách thay thế

Để làm rõ ý nghĩa khoa học, lớp phủ quang xúc tác được so sánh với kịch bản giả định “nâng toàn bộ xe tải nặng lên chuẩn Euro 6”. Theo COPERT (2023), hệ số phát thải NOx của xe tải nặng Euro 6 khoảng 0,4 - 0,5 g/km/xe, thấp hơn gần 90% so với giá trị Euro 2-3 (6,5 g/km/xe. Nếu toàn bộ 3.000 xe tải nặng tại tuyến ĐT359 đạt chuẩn Euro 6, phát thải sẽ giảm từ 97.500 g/ngày xuống còn khoảng 7.500 - 10.000 g/ngày, tương đương mức giảm 87 - 92 kg/ngày. Con số này nằm trong khoảng giảm được của lớp phủ quang xúc tác (66 - 198 kg/ngày). Điều đó chứng minh rằng, về hiệu quả, việc áp dụng lớp phủ trên một đoạn đường có thể mang lại lợi ích tương đương với kịch bản chuyển đổi công nghệ xe tải nặng.

4.6. Chuẩn hóa để so sánh quốc tế

Khi chuẩn hóa theo công thức (12) và (14):

Phát thải ban đầu: 22.000 g/km-làn/ngày hoặc 5,87 g/m²/ngày.

Sau xử lý kịch bản tối ưu: 12.100 g/km-làn/ngày hoặc 3,2 g/m²/ngày.

Kết quả này tương đồng với báo cáo tại Hà Lan, nơi đã ghi nhận mức giảm trung bình 19% và tối đa 45%, tương ứng với mức giảm từ 4 - 6 g/m²/ngày. Như vậy, kết quả ước tính tại Hải Phòng không chỉ mang ý nghĩa lý thuyết mà còn phù hợp với các nghiên cứu thực địa quốc tế.

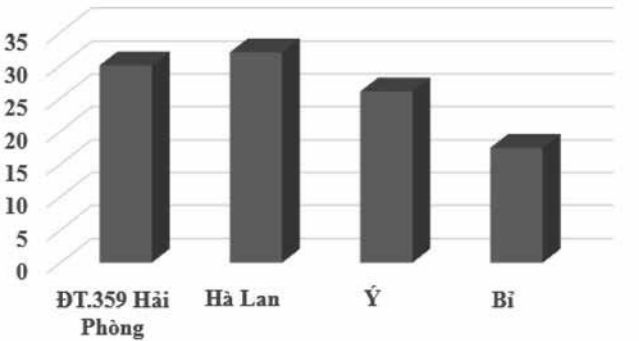
5. THẢO LUẬN

5.1. Hiệu quả môi trường và so sánh quốc tế

Kết quả tính toán cho thấy lớp phủ quang xúc tác có thể giảm 66 - 198 kg NOx/ngày trên đoạn 5 km tuyến ĐT359, tương đương 15 - 45% tổng phát thải. Khi chuẩn hóa, giá trị phát thải giảm từ 22.000 g/km-làn/ngày xuống còn 12.100 - 18.700 g/km-làn/ngày. Các kết quả này tương đồng với các thử nghiệm quốc tế: Mức giảm trung bình 19% và tối đa 45% tại Hà Lan, 26% tại Ý và 15 - 20% tại Bỉ.

Bảng 7. So sánh hiệu quả giảm NOx giữa ĐT359 và các nghiên cứu quốc tế

Địa điểm	Hiệu quả giảm (%)	Điều kiện chính
ĐT359, Hải Phòng	15-45	Đường đô thị, lưu lượng cao
Hà Lan	19-45	Gạch xi măng quang xúc tác
Ý	26	Cao tốc A21, bê tông xi măng quang xúc tác
Bỉ	15-20	Hầm giao thông Leopold II



Hình 2. So sánh hiệu quả giảm NOx (tính với giá trị trung bình)

5.2. Tính bền vững kỹ thuật và phân tích chi phí - lợi ích

Hiệu quả xử lý NOx giảm dần theo thời gian do tác động mài mòn. Một số nghiên cứu đã ghi nhận hiệu quả giảm từ 25,2% xuống 10,7% sau khi mô phỏng mài mòn 8 - 15 năm giao thông [7]. Do đó, giải pháp vật liệu biến tính (TiO₂ pha tạp, g-C₃N₄, GO) cần được xem xét để kéo dài tuổi thọ.

Chi phí đầu tư lớp phủ quang xúc tác ước tính 15 - 25 USD/m². Với diện tích mặt đường 75.000 m² (5 km×15 m), tổng chi phí khoảng 1,1 - 1,9 triệu USD. Lợi ích xã hội được quy đổi theo giá trị giảm phát thải NOx (5.000 - 10.000 USD/tấn [7]). Như vậy, lợi ích hàng năm dao động 100.000 - 600.000 USD, thời gian hoàn vốn kinh tế 2 - 10 năm tùy hiệu quả thực tế.

Bảng 8. Ước tính chi phí - lợi ích lớp phủ quang xúc tác tại ĐT359

Chỉ tiêu	Giá trị ước tính
Diện tích mặt đường	75.000 m ²
Chi phí đầu tư	1,1-1,9 triệu USD
Lượng NOx giảm/năm	20-60 tấn
Lợi ích xã hội (giảm phát thải)	100.000-600.000 USD/năm
Thời gian hoàn vốn	2-10 năm

5.3. Khả năng áp dụng tại Việt Nam và hướng nghiên cứu tiếp theo

Ở Việt Nam, công nghệ quang xúc tác trong hạ tầng giao thông còn mới mẻ. Hải Phòng là địa bàn tiềm năng do mật độ giao thông cao và nhu cầu cải thiện chất lượng không khí. Tuy nhiên,

thách thức bao gồm chi phí đầu tư, độ bền vật liệu và sự thiếu vắng quy chuẩn kỹ thuật. Để thúc đẩy ứng dụng, các hướng nghiên cứu cần được triển khai:

Thử nghiệm hiện trường quy mô nhỏ: Lát thử 100 - 200 m tại ĐT359 để đo nồng độ NO_x trong 6 - 12 tháng.

So sánh vật liệu: Đánh giá TiO₂ thuần, N-doped TiO₂, TiO₂/g-C₃N₄, TiO₂/GO.

Mô hình hóa phát tán khí: Kết hợp CFD hoặc Gaussian để ước tính tác động nồng độ tại các điểm dân cư.

Đánh giá vòng đời (LCA): Xem xét toàn bộ chi phí-lợi ích từ sản xuất đến bảo trì.

Chính sách hỗ trợ: Đề xuất tín dụng xanh, ưu đãi thuế, và lồng ghép vào quy hoạch hạ tầng đô thị.

6. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu cho thấy tổng phát thải NO_x trên đoạn 5 km tuyến ĐT359, Hải Phòng đạt khoảng 440 kg mỗi ngày, tương ứng 22.000 g/km-làn/ngày hoặc 5,9 g/m²/ngày. Trong đó, xe máy và xe tải hạng nặng là hai nhóm phương tiện có mức đóng góp lớn nhất, chiếm lần lượt khoảng 41% và 22% tổng phát thải. Khi áp dụng lớp phủ quang xúc tác TiO₂, lượng phát thải có thể giảm từ 15 đến 45%, tương đương 66 - 198 kg/ngày, tùy theo điều kiện vận hành và hiệu quả vật liệu. Kết quả này phù hợp với các báo cáo quốc tế về hiệu quả của công nghệ mặt đường quang xúc tác, khẳng định khả năng ứng dụng trong điều kiện giao thông đô thị Việt Nam. Việc giảm 20 - 60 tấn NO_x mỗi năm trên đoạn tuyến ngắn không chỉ mang lại lợi ích môi trường đáng kể mà còn đóng góp vào xu hướng phát triển hạ tầng giao thông bền vững.

Ở giai đoạn tiếp theo, nghiên cứu cần được mở rộng thông qua thử nghiệm hiện trường trên đoạn đường thí điểm, nhằm quan trắc nồng độ NO_x trong nhiều điều kiện khí tượng và lưu lượng khác nhau. Bên cạnh đó, việc so sánh hiệu quả của các dạng vật liệu TiO₂ biến tính và ứng dụng các mô hình phát tán khí sẽ cung cấp cái nhìn chi tiết hơn về tác động đến môi trường không khí xung quanh. Ngoài ra, phân tích LCA cũng nên được thực hiện để đánh giá tính bền vững tổng thể của giải pháp. Những gợi mở này sẽ giúp củng cố cơ sở khoa học và thực tiễn cho việc xem xét triển khai công nghệ mặt đường quang xúc tác tại Việt Nam trong tương lai.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. EMEP/EEA. (2019), Air pollutant emission inventory guidebook 2019, European Environment Agency.
- [2]. ISO. (2016), ISO 22197-1:2016 Fine ceramics - Test method for air-purification performance of semiconducting photocatalytic materials - Part 1: Removal of nitric oxide. International Organization for Standardization.
- [3]. Guerrini, G. L. (2012), Photocatalytic performances in a city tunnel in Rome: NO_x monitoring results, *Construction and Building Materials*, 27(1), 165-175.
- [4]. Ballari, M. M., & Brouwers, H. J. H. (2013), Full scale demonstration of air-purifying pavement, *Journal of Hazardous Materials*, 254-255, 406-414. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.03.012>.
- [5]. Balbuena, J., Mueses, M. A., Machuca-Martínez, F., & Hernández-Ramírez, A. (2016), Advances in photocatalytic NO_x abatement through the use of Fe₂O₃/TiO₂ nanocomposites, *RSC Advances*, 6(77), 74878-74885.
- [6]. Fujishima, A., & Honda, K. (1972), Electrochemical photolysis of water at a semiconductor electrode, *Nature*, 238(5358), 37-38.
- [7]. Wang, D., Leng, Z., Hüben, M., Oeser, M., & Steinauer, B. (2016), Photocatalytic pavements with epoxy-bonded TiO₂-containing spreading material, *Construction and Building Materials*, 107, 44-51.
- [8]. WHO. (2016), Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease, World Health Organization.

[9]. Pant, B., Park, M., Park, S.-J., & Kim, H.-Y. (2019), Recent advances in TiO₂ films prepared by sol-gel methods for photocatalytic degradation of organic pollutants, *Catalysis Today*, 314, 179-190.

[10]. Balbuena, J., Mueses, M. A., Machuca-Martínez, F., & Hernández-Ramírez, A. (2016), Advances in photocatalytic NO_x abatement through the use of Fe₂O₃/TiO₂ nanocomposites, *RSC Advances*, 6(77), 74878-74885.

[11]. TCVN 13592:2022 (2022), Đường đô thị - Yêu cầu thiết kế, Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.

[12]. EMISIA (2023), COPERT v5.7: Computer Programme to calculate Emissions from Road Transport, EMISIA SA.

Nghiên cứu ứng dụng vật liệu bê tông nhẹ và cốt thanh GFRP cho kết cấu cầu lắp ghép nhanh trong đô thị

Application of lightweight concrete and gfrp bars for rapidly assembled bridge structures in urban areas

> **THS ĐÀO QUANG HUY^{1,*}, TRẦN THU MINH², NGUYỄN ĐÌNH THÀNH²
NGUYỄN HUYỀN MAI², GS.TS TRẦN THẾ TRUYỀN²**

¹Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải

²Trường Đại học Giao thông vận tải

*Email: huydq@utt.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày nghiên cứu ứng dụng kết hợp bê tông cốt liệu nhẹ và cốt thanh GFRP trong kết cấu cầu lắp ghép nhanh nhằm giảm tải trọng bản thân, nâng cao khả năng chống ăn mòn và rút ngắn thời gian thi công. Các tính chất cơ học, ưu điểm và hạn chế của từng loại vật liệu được phân tích, đồng thời đánh giá hiệu quả ứng dụng qua kết quả tính toán và mô phỏng số. Kết quả cho thấy giải pháp này không chỉ duy trì khả năng chịu lực trong giới hạn tiêu chuẩn mà còn mang lại lợi ích về kinh tế, môi trường và tuổi thọ công trình, phù hợp với xu hướng phát triển hạ tầng giao thông đô thị bền vững.

Từ khóa: Bê tông nhẹ; GFRP; cầu lắp ghép nhanh; cầu dầm thép liên hợp; hạ tầng đô thị.

ABSTRACT

This paper presents a study on the combined application of lightweight aggregate concrete and GFRP bars in prefabricated bridge structures to reduce self-weight, enhance corrosion resistance and shorten construction time. The mechanical properties, advantages and limitations of each material are analyzed, along with an evaluation of the application efficiency through numerical analysis and simulation. Results indicate that this solution not only maintains load-bearing capacity within design standards but also offers economic, environmental and durability benefits, aligning with the trend of sustainable urban transportation infrastructure development.

Keywords: Lightweight concrete; GFRP; rapid bridge construction; composite steel girder bridge; urban infrastructure.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Quá trình đô thị hóa nhanh chóng tại Việt Nam và nhiều quốc gia trên thế giới đang đặt ra yêu cầu cấp bách về xây dựng và nâng cấp hệ thống hạ tầng giao thông đô thị, đặc biệt đối với xung đột tại các nút giao được xử lý chủ yếu bằng các công trình cầu vượt do ít ảnh hưởng nhất đến tổ chức giao thông đô thị so với các giải pháp khác. Thách thức đặt ra là vừa đảm bảo tiến độ thi công nhanh chóng và hiệu quả, vừa hạn chế tối đa ảnh hưởng tới lưu thông và đời sống dân cư [1]. Hiện nay, phần lớn cầu trong đô thị vẫn sử dụng kết cấu bê tông cốt thép truyền thống, vốn có nhược điểm trọng

lượng bản thân lớn, thời gian thi công kéo dài và khả năng chống ăn mòn hạn chế trong môi trường ô nhiễm [2].

Trong bối cảnh đó, sự phát triển của công nghệ vật liệu tiên tiến đã mở ra những hướng tiếp cận mới. Bê tông nhẹ, với khối lượng thể tích từ 800 - 2.000 kg/m³ và cường độ chịu nén 8 - 80 MPa theo EN 206-1:2013 [3] và ACI 213R-03 [4] cho phép giảm đáng kể tải trọng truyền xuống móng, đặc biệt hữu ích đối với công trình khẩu độ lớn hoặc trên nền đất yếu. Cốt liệu nhẹ như keramzit, tro bay và xỉ lò cao không chỉ giúp cải thiện cách âm, cách nhiệt mà còn

tận dụng phế thải công nghiệp, góp phần giảm phát thải CO₂ [5, 6].

Bên cạnh đó, cốt thanh GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) với khối lượng riêng khoảng 2.500 kg/m³, cường độ chịu kéo 3.000 - 4.500 MPa và khả năng chống ăn mòn vượt trội nhờ bản chất phi kim loại đã chứng minh tiềm năng thay thế cốt thép trong môi trường xâm thực, đặc biệt là khu vực ven biển hoặc tiếp xúc thường xuyên với ion clorua [7, 8, 12, 17]. Dù có mô-đun đàn hồi thấp hơn thép và ứng xử đàn hồi tuyến tính đến phá hoại, GFRP vẫn được ứng dụng hiệu quả khi thiết kế được tối ưu để tránh phá hoại giòn và đảm bảo độ bền lâu dài [9].

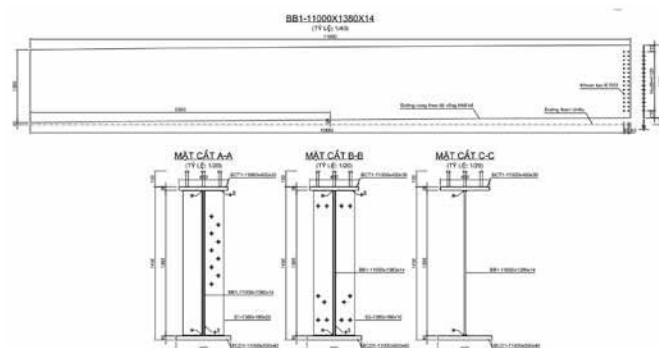
Tại Việt Nam, cầu dầm thép và dầm thép liên hợp thép vẫn chiếm tỷ lệ đáng kể, từ 30 - 35% chiều dài cầu quốc lộ và 45 - 50% trên tỉnh lộ [10]. Tuy nhiên, kết cấu này bộc lộ nhiều hạn chế: Kích thước dầm nhỏ nhưng bố trí dày, chất lượng gia công chưa cao, bản mặt cầu mỏng với bê tông cường độ thấp và chi phí bảo trì lớn [11]. Mặc dù vậy, trong những năm gần đây, cầu thép nhẹ đã được triển khai thành công tại các nút giao thông trọng điểm ở Hà Nội và TP.HCM, nhờ ưu điểm thi công nhanh, ít ảnh hưởng tới giao thông và có khả năng tháo dỡ, di dời linh hoạt [12, 13]. Về chiều dài nhịp, cầu dầm thép chủ yếu sử dụng nhịp giản đơn, chiều dài nhịp phổ biến từ 12 - 30 m, số lượng dầm chủ tương ứng phổ biến từ 5 - 7 dầm. Với một số cầu nhịp lớn hơn 20 m sử dụng 4 dầm I tổ hợp chiều cao 1.200 - 1.220 mm, khoảng cách giữa các dầm là 2,1 - 2,4 m. Với các cầu có 5 - 7 dầm chủ cho một nhịp thì khoảng cách giữa các dầm phổ biến từ 1,4 - 1,8 m. Với các cầu dùng nhiều hơn 7 dầm cho một nhịp, chỉ áp dụng kết cấu dầm chữ I cao 500 - 550 mm. Dầm thép liên hợp bản bê tông cốt thép được ứng dụng trong thực tế nhiều hơn so với kết cấu cầu dầm thép thuần túy nhờ khai thác được đồng thời được khả năng chịu kéo của thép và khả năng chịu nén của bê tông. Bê tông của bản và dầm thép được liên kết với nhau bởi các mẫu neo bằng thép được hàn ở mặt trên của dầm thép. Ưu điểm là có thể vượt nhịp khá lớn, kết cấu thanh mảnh hơn so với dầm bê tông cốt thép, từ đó giảm được tĩnh tải của kết cấu cầu. Ống luồn cáp dễ dàng tích hợp với các thiết bị khác. Dầm thép được chế tạo sẵn trong nhà máy nên đảm bảo chất lượng, bản mặt cầu sẽ được đổ trực tiếp tại công trường sau khi lắp đặt các dầm thép; tiến độ thi công nhanh.

Khi thay thế bản bê tông cốt thép thường bằng bản bê tông nhẹ cốt thanh GFRP trong kết cấu cầu dầm liên hợp cần đánh giá ưu, nhược điểm của hai giải pháp này. Bản mặt cầu bằng bê tông cốt thép thường có ưu điểm quen thuộc, dễ thi công và chi phí ban đầu thấp, nhưng nhược điểm là trọng lượng lớn, dễ ăn mòn, thi công chậm, đòi hỏi bảo trì thường xuyên và chi phí vòng đời cao. Trong khi đó, bản mặt cầu bằng bê tông nhẹ kết hợp cốt thanh GFRP nhẹ hơn 20 - 25%, bền trong môi trường xâm thực, thuận lợi cho lắp ghép nhanh và giảm bảo trì nên chi phí vòng đời thấp. Tuy nhiên, vật liệu này có tính dẻo kém, dễ phá hoại đột ngột, chi phí ban đầu cao và hiện chưa có đủ tiêu chuẩn trong nước. Về phạm vi áp dụng, bê tông thường thích hợp với nhiều loại tải trọng, còn bê tông nhẹ GFRP đặc biệt ưu việt cho công trình đô thị, gần biển, nơi yêu cầu thi công nhanh, mỹ quan và tuổi thọ cao.

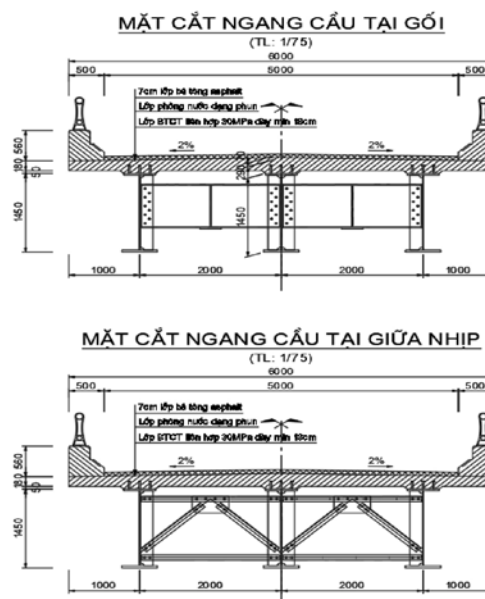
2. ĐỀ XUẤT KẾT CẤU DẦM THÉP LIÊN HỢP BẢN MẶT CẦU BÊ TÔNG NHẸ CỐT THANH GFRP CHO KẾT CẤU CẦU LẮP GHÉP NHANH TRONG ĐÔ THỊ

Từ những phân tích và so sánh nêu trên, nghiên cứu đề xuất bước đi thí điểm: Triển khai thử nghiệm mô hình cầu liên hợp dầm thép - bản mặt cầu bằng bê tông cốt liệu nhẹ kết hợp cốt thanh GFRP.

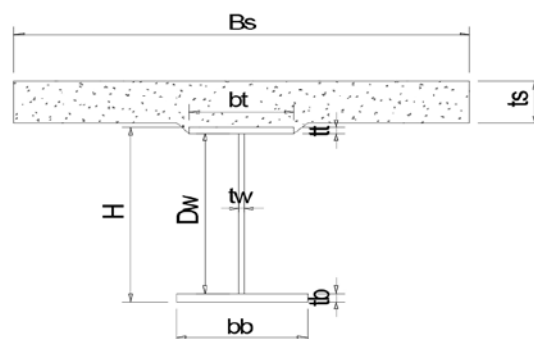
Các dự án thử nghiệm nên được thực hiện trước hết tại một số cầu ở khu vực đô thị, đặc biệt là các thành phố ven biển, nơi điều kiện môi trường khắc nghiệt dễ gây ăn mòn cốt thép truyền thống. Kết quả thử nghiệm sẽ là cơ sở quan trọng để tổng kết quy trình thiết kế - thi công, từ đó nhân rộng ứng dụng trong thực tiễn. Giải pháp này không chỉ giúp Việt Nam bắt nhịp xu thế thế giới mà còn hướng đến mục tiêu nâng cao hiệu quả khai thác trong suốt vòng đời công trình, đồng thời sử dụng vật liệu mới thân thiện với môi trường.



Hình 1. Mặt cắt ngang dầm thép bản bê tông cốt thép liên hợp



Hình 2. Mặt cắt ngang cầu



Hình 3. Các thông số hình học mặt cắt ngang cầu tính toán

Chiều cao dầm	H	=	1.450	mm
Chiều rộng cánh trên	bt	=	450	mm
Chiều dày cánh trên	tt	=	30	mm
Chiều rộng sườn dầm	tw	=	14,0	mm
Chiều cao sườn dầm	Dw	=	1.380	mm
Chiều rộng cánh dưới	bb	=	500	mm
Chiều dày cánh dưới	tb	=	40	mm
Chiều dày bản liên hợp	ts	=	180	mm

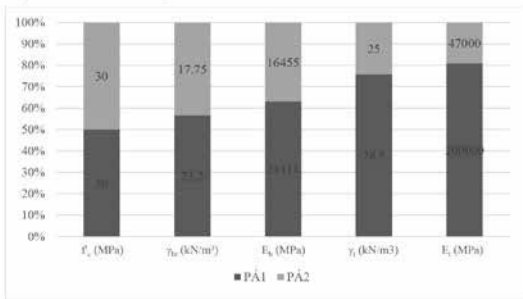
Mặt cắt ngang kết cấu dầm thép liên hợp với bản bê tông cốt thép 30 MPa. Thép kết cấu là loại thép phù hợp với tiêu chuẩn ASTM A709M cấp 345 hoặc tương đương; giới hạn chảy tối thiểu $F_y=345$ MPa, giới hạn kéo đứt tối thiểu $F_u=400$ MPa.

3. PHÂN TÍCH, SO SÁNH GIẢI PHÁP KẾT CẤU CẦU DẦM THÉP LIÊN HỢP BẢN BÊ TÔNG NHẹ CỐT THANH GFRP VÀ GIẢI PHÁP CẦU DẦM THÉP LIÊN HỢP BẢN BÊ TÔNG THƯỜNG, CỐT THÉP THƯỜNG

Bài toán dựa trên cùng 1 kết cấu nhịp $L = 33$ m, $L_{tt} = 31,8$ m sử dụng dầm thép chữ I cấp 345, bu-lông theo tiêu chuẩn ASTM A325 cùng với đỉnh neo chịu cắt cấp M1020 theo Tiêu chuẩn ASTM A108. Nhóm nghiên cứu thực hiện tính toán 2 phương án:

- Phương án 1 (PA1): Bê tông thường ($f'_c = 30$ MPa, $\gamma_{bt} = 23,2$ kN/m³, $E_{bt} = 28.111$ MPa) kết hợp cốt thép thường ($\gamma_t = 78,5$ kN/m³, $E_t = 200.000$ MPa).

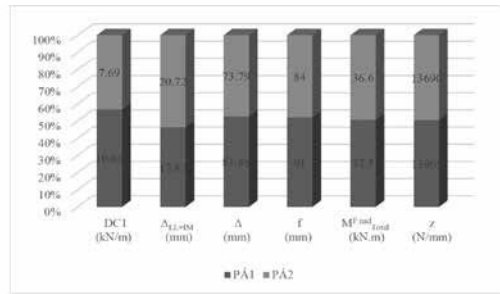
- Phương án 2 (PA2): Bê tông cốt liệu nhẹ ($f'_c = 30$ MPa, $\gamma_{bt} = 17,75$ kN/m³, $E_{bt} = 16.455$ MPa) kết hợp cốt thanh GFRP ($\gamma_t = 25$ kN/m³, $E_t = 47.000$ MPa) [6-8].



Hình 4. Thông số vật liệu 2 phương án

Khi tính toán nội lực, dễ thấy nội lực do bản liên hợp trong tính tải giai đoạn 1 giảm 23,5% từ 10,05 kN/m xuống còn 7,69 kN/m. Độ võng giới hạn theo tiêu chuẩn do hoạt tải của dầm thép liên hợp là $f = L_{tt}/800 = 39,75$ mm. Mặc dù độ võng do hoạt tải của phương án 2 vẫn nằm trong giới hạn là 39,75 mm, tuy nhiên lại tăng 16,2% từ 17,83 mm lên 20,72 mm. Độ võng do tải trọng thường xuyên mà kết cấu phải chịu lại giảm 9,9% từ 81,88 mm xuống còn 73,79 mm, do đó dẫn đến độ võng thiết kế theo yêu cầu cũng giảm đi 7,7% từ 91 mm xuống còn 84 mm.

Khi kiểm toán bản mặt cầu, tổng cộng mô-men ở phần bản giữa không có thay đổi đáng kể lần lượt giảm 2,1% từ 37,5 kN.m xuống 36,6 kN.m và phần bản hẫng giảm 10,7% từ 7,5 kN.m xuống 6,7 kN.m. Do cốt thanh GFRP chỉ làm việc trong giai đoạn đàn hồi nên không có giới hạn chảy, vì vậy không kiểm toán được ứng suất trong cốt thép. Khả năng khống chế nứt của vật liệu thay thế kém hơn một chút ở cả hai phần bản hẫng và bản giữa lần lượt 2% (13.690 N/mm và 13.965 N/mm) và 11,6% (2.080 N/mm và 2.354 N/mm).



Hình 5. Kết quả tính toán

4. KẾT LUẬN

Giải pháp cầu dầm thép liên hợp bản bê tông nhẹ sử dụng cốt thanh GFRP là một hướng đi tiềm năng cho các dự án cầu vượt đô thị. Việc thay thế bản bê tông cốt thép truyền thống bằng bản bê tông nhẹ kết hợp cốt thép hoặc cốt GFRP không chỉ giảm tải trọng kết cấu mà còn nâng cao khả năng chống ăn mòn, góp phần kéo dài tuổi thọ công trình. Giải pháp này phù hợp với định hướng nghiên cứu và phát triển vật liệu mới ở cấp quốc gia, hướng tới các kết cấu tối ưu, bền vững và hiệu quả hơn cho hệ thống cầu đường.

Kết quả nghiên cứu bước đầu cho thấy tiềm năng thay thế của bản bê tông nhẹ cốt thép/GFRP đối với bản bê tông cốt thép truyền thống là khả thi cả về mặt kỹ thuật lẫn kinh tế. Trong tương lai, nhóm nghiên cứu dự kiến sẽ tiến hành các thử nghiệm thực tế để kiểm chứng kết quả mô phỏng, bao gồm cả phân tích tĩnh và động. Đặc biệt, các nghiên cứu động học sẽ được mở rộng từ mô hình nhịp cầu đơn sang toàn bộ công trình, nhằm đánh giá toàn diện tác động của tải trọng giao thông đến kết cấu. Đồng thời, các tính toán ứng dụng vào dự án thực tế và các mô phỏng số nâng cao cũng sẽ được triển khai để hoàn thiện giải pháp.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Giáo dục và Đào tạo Việt Nam theo Đề tài cấp Bộ số B2024-GHA-04.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bộ Giao thông vận tải (2020), Báo cáo tổng kết phát triển hạ tầng giao thông đô thị.
- [2]. Nguyễn Văn A, Trần Văn B (2019), Đánh giá hiện trạng và giải pháp cải thiện cầu bê tông cốt thép ở đô thị, Tạp chí Cầu đường Việt Nam.
- [3]. EN 206-1:2013, Concrete - Specification, performance, production and conformity.
- [4]. ACI Committee 213 (2003), Guide for Structural Lightweight-Aggregate Concrete, American Concrete Institute.
- [5]. Chandra, S., & Berntsson, L. (2002), Lightweight Aggregate Concrete: Science, Technology and Applications. Noyes Publications.
- [6]. Thomas, M., & Bremner, T. (2012), Sustainability of concrete with supplementary cementitious materials, Cement and Concrete Research, 42(1), 1-12.
- [7]. Bank, L.C. (2006), Composites for Construction: Structural Design with FRP Materials. Wiley.
- [8]. ACI Committee 440 (2015), Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars.
- [9]. Benmokrane, B., et al. (2017), Durability of GFRP bars in concrete structures, Journal of Composites for Construction, 21(4).
- [10]. Khu Quản lý đường bộ IV (2018), Báo cáo thống kê cầu đường khu vực.
- [11]. Lê Văn C (2016), Các vấn đề kỹ thuật trong khai thác cầu dầm thép ở Việt Nam, Tạp chí Giao thông vận tải.
- [12]. UBND TP Hà Nội (2013), Báo cáo triển khai cầu vượt nhẹ tại các nút giao thông trọng điểm.
- [13]. UBND TP.HCM (2014), Báo cáo dự án xây dựng cầu vượt nhẹ bằng thép.

Ứng xử động của hệ vòm bê tông cốt thép đúc sẵn phân mảnh có hệ neo được chôn trong đất thông qua mô phỏng số

Dynamic behavior of a segmental precast reinforced concrete buried arch system with outrigger through numerical simulation

> TS MẠC VĂN HÀ^{1,*}, TS ĐẶNG VĂN PHÚ², KS NGUYỄN TRUNG NGẠN³

¹Trường Đại học Giao thông vận tải

²Phân hiệu Trường Đại học Thủy lợi

³Công ty Cổ phần Tư vấn Đầu tư và Xây dựng Giao thông vận tải

*Email: macvanha@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Cống hộp bê tông cốt thép (BTCT) và bản đổ tại chỗ thường được ưu tiên áp dụng cho hầm chui nhỏ hay cầu vượt nhịp nhỏ ở cả trong và ngoài đô thị. Tuy nhiên, các kết cấu này có một số nhược điểm như chi phí cao, thời gian thi công kéo dài, mặt bằng thi công lớn, có nguy cơ cao xuất hiện hằn lún tại khu vực tiếp giáp với nền đường. Một dạng kết cấu vòm BTCT đúc sẵn phân mảnh nhỏ mới được đề xuất gần đây có thể giải quyết được các vấn đề này. Đây là dạng gồm các mảnh nhỏ BTCT dạng phẳng đúc sẵn được liên kết với nhau bằng dải thép hình chữ V chịu nén và các neo thép dạng gân liên tục chịu kéo. Để có thể đánh giá khả năng áp dụng của hệ vòm này trong đô thị ở Việt Nam, bài báo tiến hành phân tích ứng xử động tập trung vào chuyển vị và ứng suất của vòm sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn.

Từ khóa: Vòm đúc sẵn; vòm phân mảnh; ứng xử động; giao thông đô thị; phần tử hữu hạn.

ABSTRACT

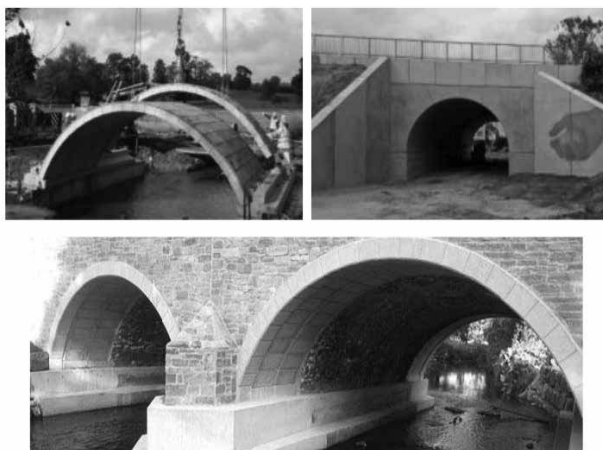
Reinforced concrete (RC) box culverts and cast-in-place slabs are commonly preferred for small-span overpasses or small underpasses, both inside and outside urban regions. However, these structures face several disadvantages, such as high cost, long construction time, large construction site and high risk of rutting in the approach road area. A newly proposed small-segment precast RC buried arch structure can overcome these problems. The system consists of small precast flat RC panels connected by V-shaped steel strips for compression and steel outriggers continuous for tension. In order to evaluate the applicability of this arch system in urban areas in Vietnam, this paper carries out dynamic behavior analysis focusing on displacement and stress of the arch using the finite element method.

Keywords: Precast arch; segmental arch; dynamic behavior; urban transport; finite element method.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong số các dạng vòm áp dụng cho cầu nhịp nhỏ và hầm có kích thước nhỏ, kết cấu vòm BTCT đúc sẵn phân mảnh nhỏ đang ngày càng được áp dụng rộng rãi. Trong nhóm này, kết cấu vòm có các mảnh nhỏ đúc sẵn được liên kết với nhau bằng các thanh tăng cường polyme được áp dụng rộng rãi hơn cả cho tới nay (Hình

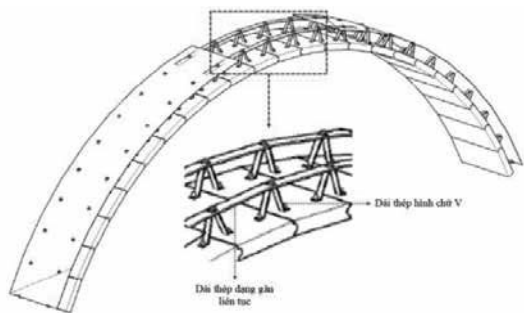
1). Chúng đã được áp dụng cho nhiều cầu và hầm chui nhỏ ở Anh, Ireland và Đan Mạch nhờ những ưu điểm vượt trội như lắp đặt nhanh, chi phí cạnh tranh, chất lượng được kiểm soát tốt, không cần các thiết bị phụ trợ chống đỡ trong quá trình lắp đặt và tính thẩm mỹ cao. Tuy nhiên, chúng vẫn có những hạn chế nhất định trong việc vận chuyển, lắp ghép cũng như chưa tối ưu thật sự về vật liệu.



Hình 1. Vòm BTCT đúc sẵn phân mảnh nhỏ [1]

Hệ vòm BTCT đúc sẵn phân mảnh có hệ neo đã và đang được nghiên cứu gần đây có thể giải quyết những hạn chế trên. Tính dẻo của hệ thống vòm này được cải thiện nhờ kết nối dạng bản lề giữa các tấm bê tông, dải thép V và các thanh thép bên ngoài (Hình 2) [2]. Với cách sắp xếp này, độ dày của tấm đúc sẵn được giảm đáng kể nhưng vẫn đáp ứng được yêu cầu tối thiểu để chịu các lực tác động trong điều kiện hoạt động bình thường. Chính vì vậy, độ dày của vòm có thể giảm xuống chỉ còn 120 mm. Độ dày này thấp hơn đáng kể so với các loại vòm truyền thống, thường dao động từ khoảng 200 - 400 mm tùy thuộc vào điều kiện áp dụng. Do đó, hệ thống vòm này có trọng lượng và chi phí chế tạo, vận chuyển và thi công thấp hơn so với các hệ vòm truyền thống.

Trong các công trình cầu vượt nhịp nhỏ hay hầm chui nhỏ, cống hộp BTCT và bản đồ tại chỗ thường được ưu tiên áp dụng, đặc biệt trong các đô thị ở Việt Nam. Mặc dù vậy, nhóm kết cấu này thường có chi phí cao, thời gian thi công kéo dài, chiếm dụng diện tích mặt bằng thi công, nguy cơ cao xuất hiện hần lún tại khu vực tiếp giáp với nền đường do độ cứng của đường thay đổi đột ngột.



Hình 2. Vòm đúc sẵn phân mảnh nhỏ có hệ neo

Năm 2023, tác giả Nguyễn Trọng Nghĩa và Nguyễn Duy Tính đã bước đầu phân tích đánh giá các ưu, nhược điểm và đề xuất ứng dụng vòm BTCT lắp ghép khẩu độ lớn cho các dự án cao tốc [3]. Tuy nhiên, nghiên cứu này chưa đi sâu vào phân tích được ứng xử của hệ vòm này. Ngoài ra, đối tượng của nghiên cứu này là hệ vòm BTCT lắp ghép khẩu độ lớn. Do đó, việc đánh giá ứng xử của hệ vòm BTCT đúc sẵn phân mảnh có hệ neo được chôn trong đất là cần thiết, góp phần đánh giá độ tin cậy của dạng kết cấu này. Trên cơ sở đó, từng bước đề xuất áp dụng rộng rãi hệ kết cấu này cho các công trình cầu nhịp nhỏ và hầm chui nhỏ ở Việt Nam, đặc biệt với các công trình trong đô thị với yêu cầu đặc thù. Bài báo trình bày ứng xử động tập trung vào chuyển vị và ứng suất của vòm sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT PHÂN TÍCH ĐỘNG THEO GIÁ TRỊ TẦN SỐ ĐỘNG ĐẤT

Trong phân tích động đất hoặc thiết kế kháng chấn, gia tốc đỉnh của nền đất (Peak Ground Acceleration - PGA) từng được xem là thông số quan trọng nhất để đánh giá mức độ nguy hiểm của một trận động đất. Tuy nhiên, các nghiên cứu và thực tế từ những trận động đất lớn trên thế giới đã chỉ ra rằng, chỉ riêng PGA (g) không đủ để mô tả khả năng gây phá hoại của chấn động. Giá trị tần số (frequency content - FT) động đất là một yếu tố rất quan trọng, quyết định cách một kết cấu, đặc biệt là kết cấu bê tông, phản ứng lại với rung chấn. FT được phân loại thành 3 cấp gồm thấp ($PGA/PGV < 0,8$), trung bình ($0,8 < PGA/PGV < 1,2$) và cao ($PGA/PGV > 1,2$), trong đó PGV (Peak ground velocity) là vận tốc đỉnh của nền đất tính theo đơn vị m/s [4]. Tso và cộng sự (1990) kết luận tỷ lệ PGA/PGV liên quan đến mối quan hệ giữa độ lớn và khoảng cách tâm chấn [5]. Cakir (2013) tuyên bố FT động đất là một trong những thông số địa chấn quan trọng nhất trong việc thiết kế và phân tích các công trình, đặc biệt khi nền đất mềm [6]. Ngoài ra, cấp động đất còn được phân loại theo mức độ thiệt hại như trong Bảng 1.

Bảng 1. Phân loại động đất [7]

Cấp	Phân loại	Gia tốc (g)	Thiệt hại tiềm tàng
I	Rất yếu	$< 0,0005$	Không có
II-III	Yếu	0,003	Không có
IV	Nhẹ	0,028	Không có
V	Vừa	0,115	Rất nhẹ
VI	Mạnh	0,215	Nhẹ
VII	Rất mạnh	0,401	Vừa phải
VIII	Nghiêm trọng	0,747	Trung bình → nặng
IX	Rất nghiêm trọng	1,390	Nặng
X+	Cực kỳ nghiêm trọng	$> 1,390$	Rất nặng

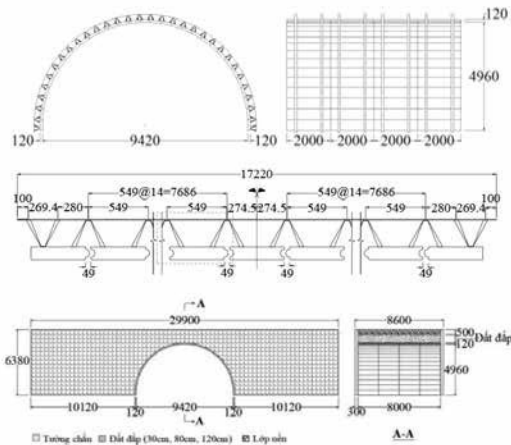
3. ỨNG XỬ ĐỘNG CỦA HỆ VÒM BTCT ĐÚC SẴN PHÂN MẢNH CÓ HỆ NEO ĐƯỢC CHÔN TRONG ĐẤT

3.1. Mô phỏng số

Hình 3 mô tả kích thước của vòm bao gồm 4 đốt có tổng chiều dài 8.000 mm. Để tạo ra được kết cấu vòm có kích thước này, vòm được lắp ghép bởi 31 tấm BTCT đúc sẵn, gồm 2 tấm chân vòm, 28 tấm thân vòm và 1 tấm đỉnh vòm. Các tấm này được nối với nhau bằng các tấm thép hình chữ V và 2 dải thép để tạo thành một khối. Khối vòm này có thể trải phẳng ra với chiều dài tổng 17.220 mm. Khi nâng lên tới độ cao mong muốn sẽ tạo ra kết cấu vòm có chiều cao 4.960 mm và nhịp là 9.420 mm. Hình 3 cũng thể hiện sơ bộ toàn bộ hệ kết cấu đã lắp đặt hoàn chỉnh gồm vòm chính, đất đắp, nền đường và tường chắn. Chiều sâu chôn vòm tính từ đỉnh vòm là 1.300 mm.

Các tấm vòm BTCT đúc sẵn có cường độ nén và kéo lần lượt là 35 MPa và 4,74 Mpa, $\rho = 2.400 \text{ kg/m}^3$, $E = 28.825,3 \text{ MPa}$ và $\mu = 0,16$. Bài báo tập trung vào phân tích phản ứng động đất của vòm bê tông. Do đó, mô hình dẻo hư hỏng bê tông (CDP) được áp dụng và mô hình Hognestad được sử dụng để xác định mối quan hệ ứng suất-biến dạng của bê tông [8]. Trong nghiên cứu này, tường chắn được phân tích theo mô hình đàn hồi với các tham số $\rho = 2.450 \text{ kg/m}^3$, $E = 33.000 \text{ MPa}$ và $\mu = 0,20$. Vật liệu thép có các đặc trưng cơ học

$\rho = 7.850 \text{ kg/m}^3$, $E = 205.000 \text{ MPa}$ và $\mu = 0,30$. Mỗi quan hệ ứng suất-biến dạng kéo lý tưởng được áp dụng cho thép với cường độ chịu kéo 280 MPa; ứng suất kéo cực đại và biến dạng dẻo lần lượt là 450 MPa và 0,1. Tính chất cơ lý của vật liệu đất đắp $\rho = 1.900 \text{ kg/m}^3$, $E = 30 \text{ MPa}$ và $\mu = 0,25$. Ngoài ra, đất đắp thể hiện hành vi dẻo Mohr-Coulomb với góc ma sát, góc giãn nở và lực kết dính lần lượt là $\phi = 35^\circ$, $\psi = 5^\circ$ và $c = 0,05 \text{ MPa}$. Đối với phân tích động học phi tuyến, cần xem xét tỷ lệ giảm chấn. Do đó, các hệ số giảm chấn Rayleigh α và β được đưa ra lần lượt là hệ số giảm chấn tỷ lệ với khối lượng và độ cứng (công thức 1). Trong đó, $[C]$, $[M]$ và $[K]$ là ma trận hệ số nhớt, khối lượng và độ cứng. α và β có thể được xác định theo công thức 2. Trong đó, ω_1 và ω_j lần lượt là tần số tự nhiên của dạng dao động thứ i và j , ζ là hệ số nhớt kết cấu, thường được lấy là 5%.

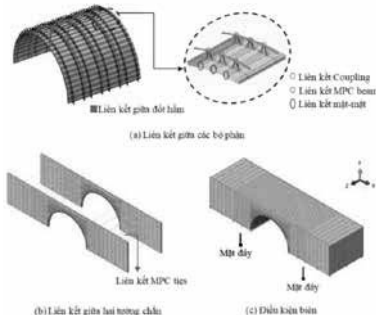


Hình 3. Kích thước của hệ vòm (đơn vị: mm)

Liên kết giữa các thành phần của hệ kết cấu được thể hiện trên Hình 4 [9,10]. Tiếp xúc giữa các tấm bê tông đúc sẵn đã lắp ráp được mô phỏng bằng tiếp xúc bề mặt với bề mặt. Hệ số ma sát là 0,6 cho ứng xử tiếp tuyến và tiếp xúc cứng được sử dụng cho ứng xử theo phương pháp tuyến. Các chi tiết thép chữ V được liên kết với thanh thép treo ngoài thông qua liên kết Coupling giúp hệ có thể được neo chặt trong đất, tận dụng được sự làm việc của lớp đất bên cạnh. Tương tự, tiếp xúc bề mặt-bề mặt cũng được sử dụng để mô phỏng tương tác giữa các đốt vòm, lớp bề mặt ngoài vòm-đất lấp, cạnh vòm-tường chắn và tường chắn-lớp đất lấp với hệ số ma sát lần lượt là 0,6, 0,5, 0,6 và 0,5.

$$[C] = \alpha [M] + \beta [K] \quad (1)$$

$$\begin{Bmatrix} \alpha \\ \beta \end{Bmatrix} = \frac{2\zeta}{\omega_i + \omega_j} \begin{Bmatrix} \omega_i \omega_j \\ 1 \end{Bmatrix} \quad (2)$$



Hình 4. Liên kết và điều kiện biên

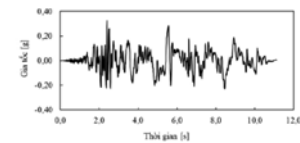
3.2. Lựa chọn trận động đất

Để kiểm tra ứng xử động của hệ vòm BTCT đúc sẵn phân mảnh có hệ neo được chôn trong đất, phân tích địa chấn phi tuyến được

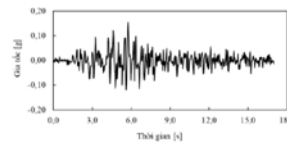
tiến hành với cả ba FT là cao (Koyna, PGA/PGV = 1,68), trung bình (Ofunato, PGA/PGV = 1,09) và thấp (Imperial, PGA/PGV = 0,76) như thể hiện trong Bảng 2 và Hình 5. Với mỗi trận, ba cấp động đất với PGA lần lượt là 0,05 g, 0,25 g và 0,50 g sẽ được xét tới.

Bảng 2. Lựa chọn trận động đất trong mô phỏng

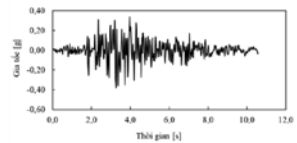
Trận động đất	Imperial Valley	Ofunato	Koyna
PGA thu nhận [g]	0,327	0,154	0,379
PGV [m/s]	0,428	0,142	0,226
PGA/PGV	0,76	1,09	1,68
Phân loại theo FT	Thấp	Trung bình	Cao



a) - Trận Imperial Valley



b) - Trận Ofunato

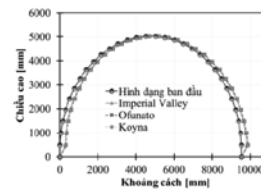


c) - Trận Koyna

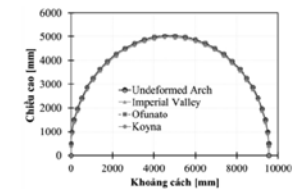
Hình 5. Trận động đất trong mô phỏng

3.3. Chuyển vị của vòm bê tông

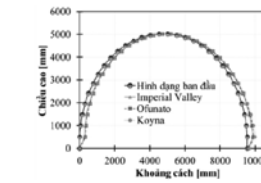
Chuyển vị ngang và đứng tương đối lớn nhất của các vị trí trên thân vòm so với chân vòm được thể hiện trên Hình 6. Các biểu đồ thể hiện với giá trị được nhân với tỉ lệ 100 lần. Các giá trị chuyển vị tương đối này được thể hiện trên hình với 3 trận động đất tương ứng với 3 giá trị tần số động đất cho cùng một giá trị PGA.



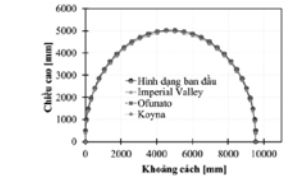
a) - Chuyển vị ngang (PGA = 0,05 g)



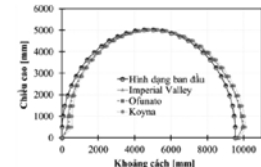
b) - Chuyển vị đứng (PGA = 0,05 g)



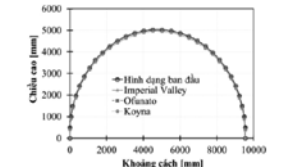
c) - Chuyển vị ngang (PGA = 0,25 g)



d) - Chuyển vị đứng (PGA = 0,25 g)



e) - Chuyển vị ngang (PGA = 0,50 g)

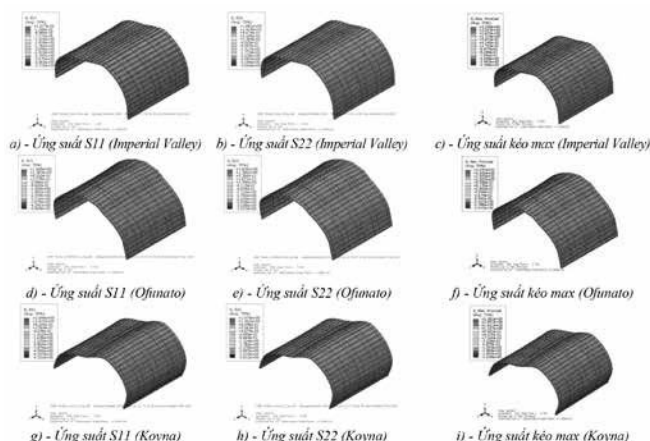


f) - Chuyển vị đứng vòm (PGA = 0,50 g)

Hình 6. Chuyển vị lớn nhất của vòm (đơn vị: mm)

Về tổng quan có thể thấy chuyển vị ngang tương đối lớn hơn so với chuyển vị đứng tương đối và tăng dần với giá trị PGA tăng từ 0,05 g đến 0,50 g. Ngoài ra, các giá trị chuyển vị tương đối này

khá nhỏ, với giá trị lớn nhất trong phân tích khoảng 5,5 mm trong trường hợp sử dụng trận động đất Koyna với giá trị PGA là 0,50 g. Điều này có thể được giải thích là do vòm bê tông có khóa thép chữ V và thanh thép ngoài được vùi hoàn toàn trong đất, từ đó giúp vòm và đất xung quanh làm việc như một khối kết cấu và tận dụng được khả năng chịu lực của đất xung quanh cùng với vòm BTCT đúc sẵn mảnh nhỏ này. Đây chính là ưu điểm của việc sử dụng loại vòm này trong kết cấu cầu nhịp nhỏ hoặc hầm chui nhỏ.



Hình 7. Ứng suất S11, S22 và ứng suất chính dọc theo vòm với PGA = 0,50 g (đơn vị: MPa)

Ngoài ra, có thể thấy giá trị tần số động đất càng cao gây ra chuyển vị ngang càng lớn cho kết cấu vòm. Cụ thể, chuyển vị ngang tương đối với trận Koyna lớn hơn so với hai trận động đất còn lại. Sự khác biệt này rõ ràng hơn với giá trị PGA lớn hơn. Với PGA nhỏ 0,05 g, sự khác biệt này không rõ ràng. Tuy nhiên, chuyển vị đứng khá nhỏ, do đó có thể thấy ảnh hưởng của giá trị tần số của động đất không rõ ràng. Nguyên nhân có thể là do phạm vi nghiên cứu chỉ xét đến động đất theo phương ngang x. Để có thể phân tích sự ảnh hưởng của giá trị tần số động đất đến chuyển vị đứng một cách rõ ràng, cần phải có mô phỏng các trận động đất theo phương đứng.

3.4. Ứng suất của vòm bê tông

Sự thay đổi ứng suất S11 (theo phương động đất) và S22 (theo phương đứng), tại mốc thời gian đỉnh của PGA được thể hiện ở Hình 7 bên dưới. Về tổng quan, ứng suất kéo lớn nhất phân bố ở các vị trí khớp nối giữa các mảnh BTCT đúc sẵn, trong khi ứng suất nén lớn nhất phân bố ở các mảnh tại chân vòm. Các giá trị ứng suất lớn nhất này đều nhỏ hơn cường độ chịu kéo nén của bê tông. Cụ thể, ứng suất kéo lớn nhất quan sát được là khoảng 2,38 MPa, nhỏ hơn cường độ chịu kéo 4,78 MPa và ứng suất nén lớn nhất quan sát được khoảng 5,50 MPa nhỏ hơn khá nhiều so với cường độ chịu nén 35 MPa (trận Koyna). Từ đây có thể thấy, các mảnh BTCT đúc sẵn mảnh nhỏ vẫn làm việc tốt trong điều kiện động đất với PGA 0,50 g và với các trận động đất có giá trị tần số nhỏ, vừa và cao.

Giá trị ứng suất lớn nhất giảm khi giá trị tần số động đất tăng với các cấp PGA là 0,05 g và 0,25 g. Khi PGA đạt 0,50 g, xu hướng ngược lại xuất hiện, giá trị ứng suất lớn nhất tăng theo sự gia tăng của giá trị tần số động đất.

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, ứng xử động của một hệ vòm BTCT đúc sẵn phân mảnh có hệ neo được chôn trong đất được phân tích với 3 trận động đất đầu vào theo phương ngang; 3 giá trị FT đại diện cho cấp thấp, trung bình và cao; 3 cấp PGA khác nhau. Một số kết luận chính như sau:

Dưới tác dụng của trận động đất có FT cấp cao (1,68) và PGA cao nhất trong nghiên cứu này (0,50g), hệ vòm để xuất hoạt động tốt, chứng minh được hiệu quả cả về chuyển vị tương đối (chuyển vị lớn nhất: 5,5 mm) và ứng suất (ứng suất kéo lớn nhất: 2,38 MPa và ứng suất nén lớn nhất: 5,50 MPa nhỏ hơn khá nhiều so với cường độ của bê tông) nhờ tận dụng được đồng thời khả năng chịu lực của đất xung quanh.

Đối với chuyển vị: Với cùng giá trị FT, khi PGA của trận động đất tăng lên, chuyển vị tương đối của vòm cũng tăng lên. Chuyển vị tương đối theo phương ngang lớn hơn phương đứng dưới tác dụng của các kích thích động theo phương ngang. Bên cạnh đó, khi trận động đất có FT cao sẽ gây ra chuyển vị của vòm lớn hơn so với trận động đất có FT thấp hơn.

Đối với ứng suất: Khi PGA của trận động đất tăng lên, ứng suất lớn nhất của hệ vòm cũng tăng lên khi xem xét cùng giá trị FT, tương tự như xu hướng với chuyển vị của hệ vòm. Tuy nhiên, ứng suất lớn nhất giảm khi FT động đất tăng (PGA: 0,05 g và 0,25 g), trong khi ứng suất lớn nhất tăng khi FT động đất tăng với trường hợp PGA 0,50 g.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Giao thông vận tải trong Đề tài mã số T2025-CT-005.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Các nguồn Internet.
- [2]. S.H. Jeon, K. Cho, J. Huh, J.H. Ahn (2019), The performance assessment of a precast, panel-segmented arch bridge with outriggers, *Applied Sciences* 9(21):4646, DOI: 10.3390/app9214646.
- [3]. Nguyễn Trọng Nghĩa, Nguyễn Duy Tính (2023), Đề xuất ứng dụng vòm bê tông lắp ghép khẩu độ lớn cho các dự án đường cao tốc ở ĐBSCL, *Tạp chí Xây dựng*, số 03.
- [4]. M.R. Kianoush, A.R. Ghaemmaghami (2011), The effect of earthquake frequency content on the seismic behavior of concrete rectangular liquid tanks using the finite element method incorporating soil-structure interaction, *Engineering Structures* 33, 2186-2200. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2011.03.009>.
- [5]. W.K. Tso, T.J. Zhu, A.C. (1992), Heidebrecht, Engineering implication of ground motion A/V ratio, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 11, 133-144. [https://doi.org/10.1016/0267-7261\(92\)90027-B](https://doi.org/10.1016/0267-7261(92)90027-B).
- [6]. T. Cakir, Evaluation of the effect of earthquake frequency content on seismic behavior of cantilever retaining wall including soil-structure interaction, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 45 (2013) 96-111. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2012.11.008>.
- [7]. D.J. Wald, V. Quitoriano, T.H. Heaton, H. Kanamori, C.W. Scrivner, C.B. Worden (1999), TriNet "ShakeMaps": Rapid Generation of Peak Ground Motion and Intensity Maps for Earthquakes in Southern California, *Earthquake Spectra* 15, 537-555. <https://doi.org/10.1193/1.1586057>.
- [8]. E. Hognestad (1951), A Study of Combined Bending and Axial Load in Reinforced Concrete Members, The University of Illinois, Urbana, USA, Trondheim, Norway.
- [9]. S.H. Jeon, H.J. Lee, J. Moon, J. Huh, J.H. Ahn (2020), Structural performance of a segmental precast arch system with outrigger by sectional geometry of structural member. *KSCSE Journal of Civil Engineering* 24(11):3356 - 3375, <https://doi.org/10.1007/s12205-020-2030-x>.
- [10]. S.H. Jeon, H.J. Yim, J. Huh, K. Cho, J.H. Ahn (2021), Full-scale field testing of a precast concrete buried arch bridge with steel outriggers: Field loading test. *Engineering Structures* 242 (May):112563, <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112563>.

Thiết kế kết cấu dàn phẳng liên hợp thép - bê tông theo tiêu chuẩn Eurocode 4

Design of steel - concrete composite plane truss structures according to Eurocode 4

> TS HOÀNG HIẾU NGHĨA

Khoa Công nghệ và Kỹ thuật, Trường Đại học Hải Phòng

Email: nghiahh@dhhp.edu.vn

TÓM TẮT

Tại Việt Nam, đến nay vẫn chưa có tiêu chuẩn thiết kế riêng cho kết cấu liên hợp thép - bê tông (LHT-BT). Tuy nhiên, loại kết cấu này ngày càng được ứng dụng rộng rãi trong các công trình xây dựng. Trong thực tế thiết kế và tính toán, các kỹ sư hiện đang tham khảo và áp dụng nhiều tiêu chuẩn nước ngoài khác nhau, như Eurocode 4, ANSI/AISC 360 và GB 55004-2021. Đối với các kết cấu có nhịp lớn, việc sử dụng kết cấu dàn LHT-BT mang lại nhiều hiệu quả kỹ thuật và kinh tế, đồng thời phù hợp với yêu cầu của các công trình hiện đại. Nhưng việc tính toán loại kết cấu này hiện vẫn chưa được đề cập nhiều trong các tài liệu nghiên cứu tại Việt Nam.

Bài báo trình bày tổng quan về kết cấu LHT-BT, trong đó tập trung làm rõ đặc điểm của kết cấu dàn liên hợp, ứng dụng thực tế của loại kết cấu này trong xây dựng ở Việt Nam và trên thế giới, cũng như đánh giá ưu điểm và hạn chế khi áp dụng trong công trình xây dựng. Ngoài ra, bài báo còn vận dụng lý thuyết tính toán kết cấu LHT-BT theo tiêu chuẩn châu Âu Eurocode 4, từ đó đề xuất quy trình tính toán và thiết lập các công thức tính toán cho kết cấu dàn liên hợp, có thể áp dụng trong thiết kế thực tế.

Từ khóa: Kết cấu liên hợp, dàn liên hợp, dàn thép.

ABSTRACT

In Vietnam, there are currently no national design standards for steel-concrete composite structures. However, this type of structural system has been increasingly applied in construction projects. The design and analysis of such structures are presently conducted using various international standards such as Eurocode 4, ANSI/AISC 360, and GB 55004-2021. For large-span structures, the use of steel-concrete composite truss systems offers significant advantages and suitability. However, the analysis and design methods for this type of composite truss structure have not been extensively addressed in existing Vietnamese references. This paper presents an overview of steel-concrete composite structures, with a particular focus on composite truss systems, and reviews their applications in construction practice both in Vietnam and worldwide. It also evaluates the advantages and limitations of composite truss structures when used in building and infrastructure systems. The study adopts the structural design theory for composite structures according to Eurocode 4, proposes a calculation procedure, and establishes design equations for steel-concrete composite truss structures, which can be applied to practical engineering design problems.

Keywords: Steel-concrete composite structures, steel-concrete composite truss structures, steel truss.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Kết cấu LHT-BT là loại kết cấu mới và được sử dụng cho các công trình là các tòa nhà cao tầng và siêu cao tầng. Trên thế giới loại kết cấu này được biết từ rất sớm, nó đã đánh dấu một bước ngoặt mới về giải pháp kết cấu và công nghệ xây dựng. Loại kết cấu này đã tích hợp được những ưu điểm nổi bật của hai loại vật liệu khác nhau là thép và bê tông để tạo thành một hệ kết cấu có khả năng chịu lực tốt hơn, tăng độ dai, độ ổn định cho kết cấu, tăng khả năng kháng chấn và khả năng chịu lửa so với việc chỉ sử dụng kết cấu thép hoặc bê tông đơn thuần.

Tại Việt Nam, có nhiều tác giả đã nghiên cứu về loại kết cấu này như GS.TS Phạm Văn Hội [1], PGS.TS Vũ Quốc Anh [5],

PGS.TS Nguyễn Xuân Huy [4], TS Hoàng Hiếu Nghĩa [6] và một số tác giả khác. Tuy nhiên các nghiên cứu và lý thuyết tính toán chủ yếu tập trung vào cấu kiện cột, dầm, sàn liên hợp, với loại cấu kiện này thì khả năng vượt nhịp lớn còn hạn chế.

Hệ dàn LHT-BT được xem xét để vượt các nhịp lớn trên 12 m, có thể tạo ra không gian rất rộng cho các công trình. Việc ứng dụng loại kết cấu này đã được ứng dụng trong tòa nhà Hud Tower (Hình 1). Ở Việt Nam chưa có bộ tiêu chuẩn đầy đủ cũng như hướng dẫn tính toán về kết cấu LHT-BT. Do vậy việc nghiên cứu quy trình thiết kế kết cấu dàn phẳng LHT-BT dựa theo tiêu chuẩn châu Âu Eurocode 4 là cần thiết nhằm đưa ra một quy trình tính toán, thiết lập các công thức tính toán đầy đủ cho loại kết cấu này.



Hình 1. Tòa nhà Hud Tower (37 đường Lê Văn Lương - Hà Nội)

2. ƯU NHƯỢC ĐIỂM CỦA KẾT CẤU DÀN PHẪNG LHT-BT

2.1. Ưu điểm

Hệ dàn LHT-BT là sự kết hợp hiệu quả của dàn và sự tiết kiệm chi phí xây dựng của sàn liên hợp. Hệ dàn tập trung vật liệu vào những vị trí truyền lực chính, do đó với cùng nhịp hệ dàn LHT-BT có khối lượng thép ít hơn bất cứ hệ kết cấu thép nào. Ngoài ra hệ dàn LHT-BT tạo ra không gian mở rất lớn cho hệ thống kỹ thuật do đó chiều cao thông thủy của sàn có thể tận dụng đến tận sát dàn, làm giảm chiều cao tầng.

- Tiết kiệm thép so với dàn thép: Bê tông tham gia chịu nén nên các thanh chịu nén (hoặc phần chịu nén của tiết diện) có thể giảm tiết diện thép so với dàn thép.

- Tăng độ cứng và giảm võng (độ võng nhỏ hơn rõ rệt): Bê tông bọc góp phần tăng mômen quán tính hiệu dụng (EI) của các thanh chịu nén/uốn, do đó độ võng trung bình giảm.

- Cải thiện khả năng chống buckling (ổn định): Khi thanh thép bị bọc hoặc liên kết với bê tông, chiều dài mảnh tự do/ hệ số mảnh giảm, tăng tải tới hạn chống buckling; do đó có thể dùng tiết diện mảnh hơn mà không bị mất ổn định. Ứng dụng rõ ở thanh nén của dàn nhịp lớn

- Bảo vệ thép-chống ăn mòn và chống cháy: Lớp bê tông bao che làm giảm tốc độ ăn mòn do độ pH, hơi ẩm và khí ăn mòn; đồng thời cung cấp khả năng chống cháy thụ động (thời gian chịu lửa phụ thuộc vào độ dày lớp bảo vệ và mác bê tông).

- Tuổi thọ và chi phí duy tu thấp hơn: Giảm diện tích thép hở và lớp bảo vệ bê tông làm giảm nhu cầu sơn, chống ăn mòn định kỳ; về dài hạn có thể giảm chi phí bảo trì.

- Thích hợp cho nhịp lớn và tải phức tạp: Kết cấu liên hợp tận dụng ưu điểm thép (kéo, nhẹ) và bê tông (nén, cứng) nên rất thích hợp cho dàn mái, dàn cầu nhịp lớn, dàn chuyển (transfer truss) trong tòa nhà cao tầng.

2.2. Nhược điểm

- Thi công phức tạp hơn, nhiều công đoạn: So với dàn thép thuần (lắp ghép & siết bu-lông), dàn liên hợp cần thêm công đoạn đổ bê tông, chờ đóng rắn, hàn/cài bu lông neo/đinh stud - làm gia tăng công tác tại hiện trường và yêu cầu phối hợp nhiều đội nghề.

- Yêu cầu kiểm soát chất lượng cao cho liên kết (shear connectors): Để thép và bê tông làm việc liên hợp cần số lượng và bố trí bu-lông neo hoặc đinh stud đúng tiêu chuẩn; nếu

thiếu/không đạt thì sẽ xảy ra partial interaction-mất khả năng liên hợp, giảm năng lực thiết kế.

- Kiểm soát hàn stud, neo, rỉ rỉ bê tông, kết dính đều cần QC/QA chặt chẽ.

- Khó sửa chữa, thay thế các thanh bị hỏng

- Thiết kế phức tạp hơn (phân tích partial interaction, slip): Thiết kế đòi hỏi xét đến độ trượt giữa thép-bê tông, hiệu ứng shear connector, phân tích kết cấu liên hợp phức tạp hơn so với bài toán dàn thép thuần, cần kỹ sư có kinh nghiệm.

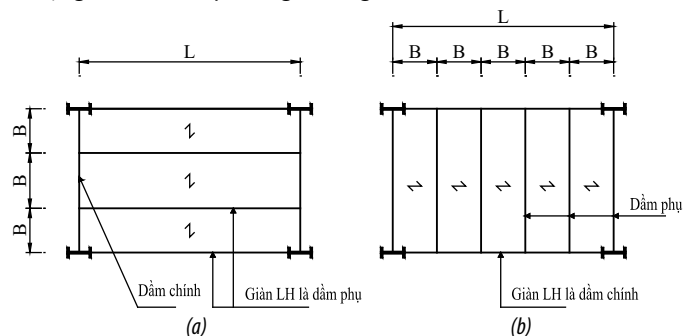
3. CƠ SỞ LÝ THUYẾT THIẾT KẾ KẾT CẤU DÀN PHẪNG LHT-BT

3.1. Bố trí hệ dàn LHT-BT

Hai cách bố trí hệ kết cấu cho hệ dàn LHT-BT thường được sử dụng [9].

- + Bố trí dầm liên hợp là dầm chính và dầm phụ đỡ trực tiếp sàn (Hình 2a).

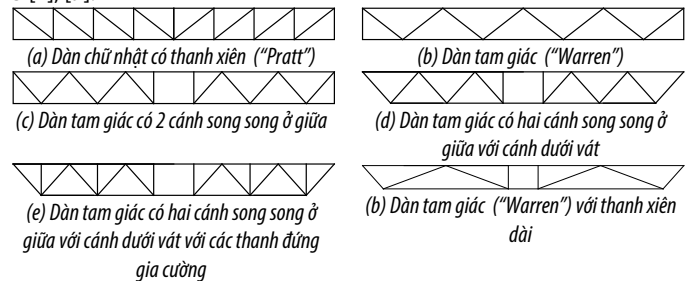
- + Bố trí dàn LHT-BT là dầm chính đỡ các dầm phụ, các dầm phụ sử dụng các dầm thép thông thường để chia nhỏ ô sàn (Hình 2b).



Hình 2. Bố trí hệ kết cấu sử dụng dàn LHT-BT

3.2. Hình dạng dàn LHT-BT

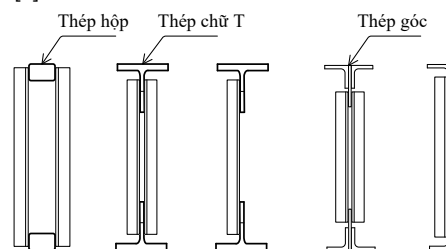
Có rất nhiều loại hình dạng dàn có thể được xem xét để áp dụng cho hệ kết cấu dàn LHT-BT dựa vào tiêu chí về khả năng chịu lực hợp lý và tiêu chí dùng vật liệu hiệu quả, được thể hiện tại Hình 3 [2], [9].



Hình 3. Hình dạng dàn trong hệ kết cấu dàn LHT-BT

3.3. Tiết diện các thanh dàn

Tất cả các loại tiết diện đều có thể được sử dụng cho cả các thanh cánh trên và thanh cánh dưới của dàn. Các loại tiết diện được lựa chọn cho thanh cánh là thép hộp, thép chữ T, thép góc như Hình 4 [9].



Hình 4. Các dạng tiết diện ngang của thanh dàn

3.4. Phương pháp thiết kế hệ dàn LHT-BT

3.4.1. Các phương pháp phân tích

Phương pháp phân tích 1: Thiết kế tất cả các cấu kiện sử dụng phương pháp cân bằng lực cho tất cả các trường hợp, giả thiết tất cả các liên kết là khớp. Đây là phương pháp tính tay.

Phương pháp phân tích 2: Thiết kế tất cả các cấu kiện với sự kết hợp của kết quả phân tích lực từ phân tích dàn hồi của tải trọng áp đặt cho hệ dàn không liên hợp cộng với kết quả phân tích lực từ các hoạt tải áp đặt lên hệ dàn liên hợp. Đây là phương pháp phân tích bằng máy.

Phương pháp phân tích 3: Phân tích dẻo của dàn, phương pháp phân tích này được tính khi các khớp dẻo phát triển trong các cấu kiện. Phương pháp này chỉ thực hiện bằng máy tính.

3.4.2. Quy trình thiết kế dàn LHT-BT

Xây dựng quy trình thiết kế theo phương pháp phân tích 1

b1. Xác định số liệu đầu vào

b2. Thiết lập sơ đồ tính của cấu kiện dàn

b3. Tính toán tải trọng và xác định các trường hợp tải trọng

b4. Xác định nội lực các thanh dàn

b5. Tính toán và kiểm tra dàn LH trong giai đoạn thi công

+ Kiểm tra khả năng chịu mô men tổng thể của dàn

+ Kiểm tra dàn khi vận chuyển, cầu lắp

b6. Tính toán và kiểm tra dàn LH trong giai đoạn liên hợp

+ Kiểm tra khả năng chịu mô men tổng thể của dàn

+ Kiểm tra khả năng chịu lực của các thanh bụng

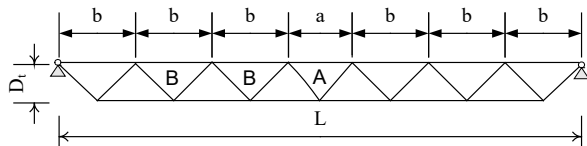
+ Kiểm tra độ võng của dàn

+ Kiểm tra dao động của dàn

+ Tính toán số lượng bu lông liên kết

3.4.2.1. Sơ đồ tính toán hệ dàn LHT-BT

Với hệ kết cấu nhịp 15-20 m ta sử dụng hệ kết cấu dàn dạng tam giác cho kết cấu dàn LH. Hai đầu dàn liên kết khớp (Hình 5). Nhịp của thanh cánh trên b nằm trong khoảng $2\text{ m} \div 2.5\text{ m}$ [9].



Hình 5. Sơ đồ tính dàn tam giác

3.4.2.2. Tải trọng tác dụng lên hệ dàn LHT-BT

Tải trọng tính toán cho kết cấu dàn LH gồm các loại tải trọng dưới đây [9]:

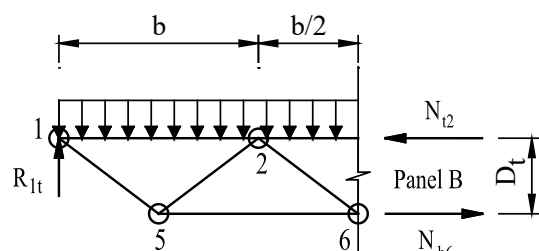
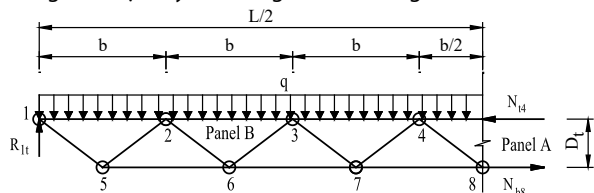
- Tải trọng bản thân dàn và tấm tôn (giả thiết)	= 0.4 kN/m ² (DL1)
- Trọng lượng bản thân sàn bê tông	= 2.3 kN/m ² (DL2)
- Tải trọng thi công	= 0.5 kN/m ² (CL1)
- Tải trọng thi công	= 4 kN (CL2)
- Tĩnh tải	= 0.85 kN/m ² (DL3)
- Hoạt tải	= 4.35 kN/m ² (LL)

3.4.2.3. Phân tích nội lực hệ dàn LHT-BT

- Nội lực của các thanh cánh trên và thanh cánh dưới [2], [13]:

Thanh cánh trên và thanh cánh dưới chịu tác dụng đồng thời của cả lực nén và mô men uốn.

Lực dọc trong các đoạn thanh được xác định từ các bài toán cân bằng tĩnh học, lấy cân bằng mô men với gối trái (Hình 6):

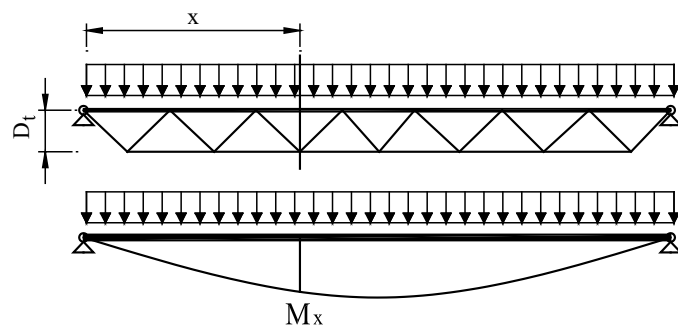


Hình 6. Sơ đồ lực nén các thanh trên và thanh dưới dàn

$$N_{44} = N_{88} = \left(R_{1t} - \frac{q \times (L/2)^2}{2} \right) \times \frac{1}{D_t} \quad (1)$$

$$N_{23} = N_{67} = \left(R_{1t} - \frac{q \times (3b/2)^2}{2} \right) \times \frac{1}{D_t} \quad (2)$$

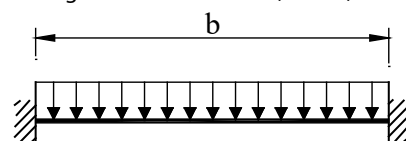
Từ các công thức (1) và (2) có thể đơn giản hóa việc tính toán lực kéo và nén của thanh cánh thông qua giá trị mô men của tiết diện xem xét trong một dầm đơn giản tương đương (Hình 7).



Hình 7. Biểu đồ nội lực của hệ dàn khi coi như dầm đơn giản

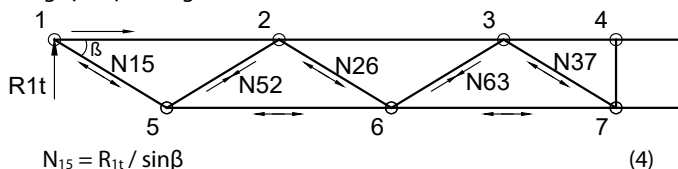
Khi đó giá trị lực dọc trong thanh cánh sẽ bằng: $N = M_x / D_t$ (3)

Mô men trong các thanh cánh trên của các đoạn panel B được xác định từ mô men cục bộ do tải trọng tác dụng trong phạm vi panel B với sơ đồ ngàm đàn hồi hai đầu (Hình 8):



Hình 8. Biểu đồ mô men cục bộ do tải trọng tác dụng trong phạm vi panel B

- Lực dọc trong các thanh xiên: được tính toán đơn giản từ cân bằng lực dọc trong các nút (Hình 9).



$$N_{15} = R_{1t} / \sin \beta$$

$$N_{52} = N_{15} = N_{26} = N_{63} = N_{37}$$

Hình 9. Biểu đồ xác định lực dọc trong các thanh xiên của dàn

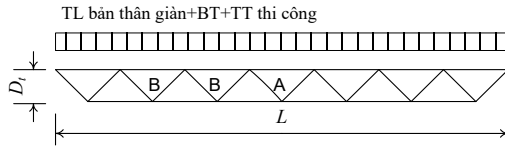
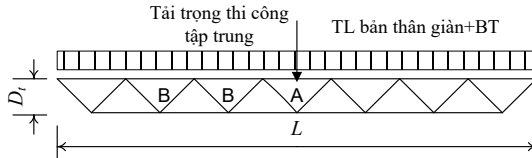
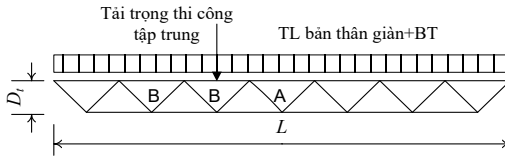
- Thiết kế kiểm tra tiết diện thanh dàn

+ Thanh cánh trên và dưới của dàn được kiểm tra theo bài toán chịu nén và uốn đồng thời.

+ Các thanh xiên kiểm tra với bài toán kéo nén dọc trục.

3.4.2.4. Tính toán dàn LHT-BT trong giai đoạn thi công

Các trường hợp tải trọng trong giai đoạn thi công [9]:

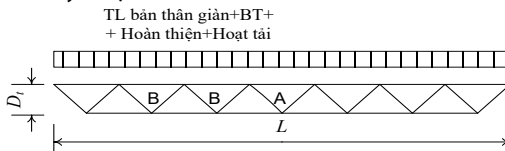
Tổ hợp 1:**Tổ hợp 2:****Tổ hợp 3:**

Hình 10. Các trường hợp tải trọng trong giai đoạn thi công

Trong giai đoạn thi công sàn và dầm làm việc độc lập. Việc kiểm tra khả năng chịu mômen tổng thể của dầm tương đương với việc kiểm tra khả năng chịu lực của các thanh cánh trên và thanh cánh dưới. Do tổng tải trọng trong giai đoạn thi công nhỏ hơn tổng tải trọng khai thác nên việc kiểm tra khả năng chịu mômen tổng thể của dầm tương đương với việc kiểm tra khả năng chịu lực của thanh cánh trên.

3.4.2.5. Tính toán dầm LHT-BT trong giai đoạn sàn làm việc liên hợp

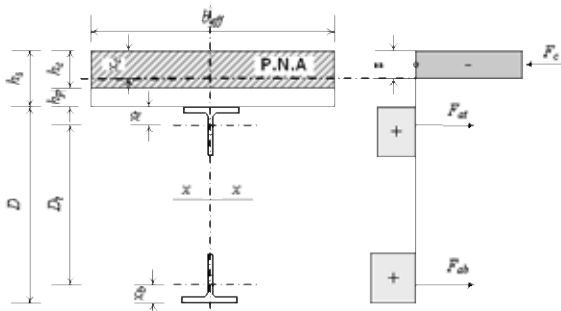
Trong giai đoạn sàn làm việc liên hợp, vai trò chịu nén của thanh cánh trên giảm dần, khi bê tông đạt cường độ, với liên kết chốt đủ để tạo một liên kết hoàn toàn thì sàn chủ yếu chịu nén thay cho thanh cánh trên. Với trạng thái chịu lực cuối cùng trước khi phá hoại thanh cánh trên chuyển sang chịu kéo. Với hệ kết cấu trên, thanh cánh trên trong giai đoạn này chỉ có tác dụng như là một thanh truyền lực [9].



Hình 11. Trường hợp tải trọng trong giai đoạn sàn làm việc liên hợp

Các tính toán kiểm tra trong giai đoạn này bao gồm:

- + Kiểm tra khả năng chịu mômen tổng thể của dầm
- + Kiểm tra khả năng chịu lực của các thanh bụng
- + Tính toán số lượng bu lông liên kết
- Khả năng chịu mômen tổng thể của dầm trong giai đoạn liên hợp [9], [14]:



Hình 12. Biểu đồ ứng suất dẻo khi trục trung hòa đi qua bản bê tông (mặt cắt giữa nhịp)

Khả năng chịu kéo, F_{ab} , của thanh cánh dưới được tính theo công thức:

$$F_{ab} = A_b f_y \quad (5)$$

Khả năng chịu kéo, F_{at} , của thanh cánh trên được tính theo công thức:

$$F_{at} = A_t f_y \quad (6)$$

Khả năng chịu nén bê tông

$$F_c = 0.85 f_{cd} b_{eff} h_c \quad (7)$$

Trong hầu hết các trường hợp ta có: $F_a = F_{ab} + F_{at} < F_c$. Vị trí trục trung hòa đi qua bản bê tông. Khả năng chịu mômen dẻo của dầm LH được tính theo lực kéo của thanh cánh dưới nhân với cánh tay đòn đến hợp lực chịu nén của sàn. Vì vậy:

$$x_c = (F_{ab} + F_{at}) / (0.85 f_{cd} b_{eff}) \quad (8)$$

$$M^{+}_{pl,Rd} = F_{ab} (D - x_b + h_s - x_c/2) + F_{at} (x_t + h_s - x_c/2) \quad (9)$$

Kiểm tra khả năng chịu mômen tổng thể của dầm:

$$M^{+}_{pl,Rd} > M^{+}_{max \text{ nhíp}} \quad (10)$$

3.4.2.6. Kiểm tra độ võng của dầm

Độ võng của dầm được tính bằng công thức tính độ võng của dầm đơn giản [2], [9],[13],[14]:

$$\delta = \frac{5ql^4}{384EI_{xx}} \quad (11)$$

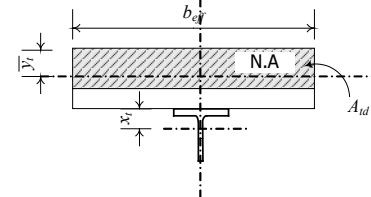
Độ võng của dầm được tính toán qua 2 giai đoạn: giai đoạn thi công (δ_1) và giai đoạn làm việc liên hợp (δ_2)

Tải trọng tính toán độ võng trong giai đoạn thi công gồm tải trọng bản thân dầm và tải trọng bê tông.

Mômen quán tính I_{xx} được tính với thanh trên và thanh dưới.

Tải trọng tính toán độ võng trong giai đoạn liên hợp là hoạt tải, tính với mômen quán tính của tiết diện liên hợp.

Tính toán mômen quán tính của tiết diện liên hợp I_{xx}



Tiết diện quy đổi tương đương của phần bê tông hiệu quả

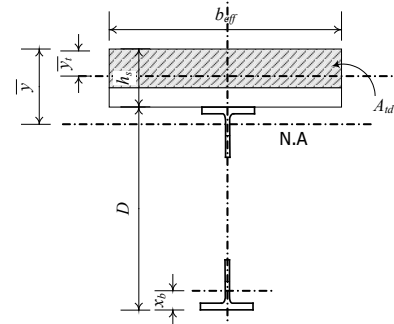
$$\text{sang thép: } A_{td} = \frac{b_{eff} h_c E_s}{2 E_{cm}} \quad (12)$$

Vị trí trục trọng tâm của tiết diện liên hợp cánh trên:

$$\bar{y}_t = \frac{A_{td} h_c / 2 + A_t (x_t + h_s - h_c / 2)}{(A_{td} + A_t)} \quad (13)$$

Mômen quán tính của tiết diện liên hợp cánh trên đối với trục trọng tâm của tiết diện liên hợp cánh trên:

$$I_{td} = \frac{b_{eff} h_p^3}{12} \times \frac{E_{cm}}{2 E_s} + A_{td} (\bar{y}_t - h_c / 2)^2 + I_t + A_t (h_s + x_t - \bar{y}_t)^2 \quad (14)$$



Hình 13. Vị trí trục trọng tâm của tiết diện dầm liên hợp

Vị trí trục trọng tâm của tiết diện liên hợp dầm (kể đến thanh cánh dưới):

$$\bar{y} = \frac{(A_{td} + A_t)\bar{y}_t + A_b(D_t + x_t + h_s)}{(A_{td} + A_t + A_b)} \quad (15)$$

Mômen quán tính của tiết diện liên hợp dầm (kể đến thanh cánh dưới):

$$I_{xx} = I_{td} + (A_{td} + A_t)(\bar{y} - \bar{y}_t)^2 + I_b + A_b(D_t + x_t + h_s - \bar{y})^2 \quad (16)$$

Điều kiện về giới hạn độ võng của dầm: $\delta < L/250$ và $\delta_2 < L/360$

3.4.2.7. Kiểm tra dao động của dầm [9]

Tải trọng tham gia vào dao động riêng của dầm bao gồm tĩnh tải và 10% Hoạt tải.

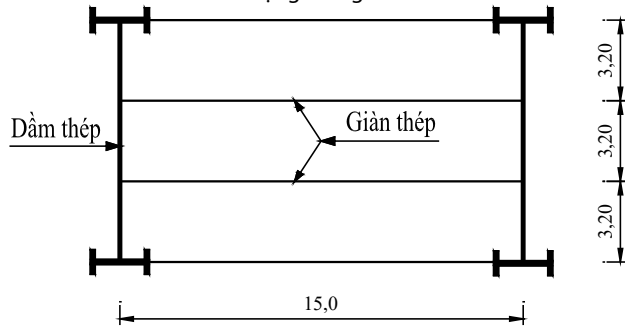
Gọi độ võng do tải trọng trên gây ra là δ_w (mm).

Dao động riêng của dầm LH được tính gần đúng bằng

$$f = \frac{18}{\sqrt{\delta_{sw}}} (Hz) > 4 (Hz) \quad (17)$$

3.5. Ví dụ tính toán dầm phẳng LHT-BT

Thiết kế dầm LHT-BT dạng tam giác như sơ đồ kết cấu Hình 14.



Hình 14. Mặt bằng kết cấu ô sàn điển hình

* Sơ đồ tính: Dầm LHT-BT có liên kết khớp ở hai đầu.

* Các đặc trưng vật liệu sử dụng:

Bê tông cấp độ bền C30/37: $f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$; $E_{cm} = 33.000 \text{ N/mm}^2$

Thép kết cấu S355 có: $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$; $E_a = 210.000 \text{ N/mm}^2 = 21.000 \text{ kN/cm}^2$; $I_a = 35.100 \text{ cm}^4$; $W_{pl,a} = 2.000 \text{ cm}^3$

Sàn liên hợp dày $h_s = 140 \text{ mm}$, sử dụng tôn sóng cao $h_p = 60 \text{ mm}$.

* Số liệu tải trọng:

Tĩnh tải hoàn thiện và hệ thống kỹ thuật: $0,85 \text{ kN/m}^2$.

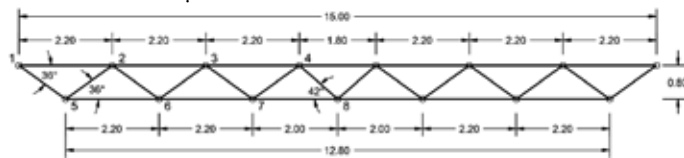
Hoạt tải sử dụng: $4,35 \text{ kN/m}^2$.

3.5.1. Lựa chọn kích thước dầm

- Chiều cao dầm: $D = \left(\frac{1}{20} \sim \frac{1}{15} \right) L = \left(\frac{1}{20} \sim \frac{1}{15} \right) 15 = (0,75 \sim 1) (m)$;

Chọn chiều cao dầm $D = 0,85 \text{ m}$.

- Lựa chọn hình dạng dầm tam giác. Để đảm bảo góc nghiêng của các thanh hình trong khoảng 30° , tỷ lệ giữa khoảng cách nút dầm: nhịp dầm xấp xỉ bằng 3:1. Do đó ta chọn khoảng cách giữa các nút dầm $b = 2,2 \text{ m}$. Khoảng cách này được bố trí đồng đều từ 2 phía của dầm vào giữa, khoảng cách nút tại giữa: $a = 15 - 2 \times 6 = 1,8 \text{ m}$, kích thước hình học dầm như Hình 15



Hình 15. Kích thước hình học dầm

B (mm)	d (mm)	T (mm)	t (mm)	A (cm ²)	I _x (cm ⁴)	C _x (mm)	i _x (mm)	i _y (mm)	Z _{xt} (cm ³)	Z _{xb} (cm ³)	W _{pl} (cm ³)
124.3	153.3	12.1	8.0	26.6	568	38.5	46.2	27.0	147	49.5	88.9

Lựa chọn sơ bộ kích thước hình học của các thanh dầm:

- Thanh cánh trên: T127x152x21 kG/m

- Thanh cánh dưới: T165x152x27 kG/m

- Thanh xiên: 2L80x80x8

3.5.2. Tải trọng tác dụng

Xác định tải trọng tác dụng lên dầm:

Tải trọng quy về tải phân bố trên dầm (tính với bước dầm là $B = 3,2 \text{ m}$)

- Tải trọng bản thân dầm và tấm tôn (giả thiết)	$= 0,4 \times 3,2 = 1,28 \text{ kN/m (DL1)}$
- Trọng lượng bản thân sàn bê tông	$= 2,3 \times 3,2 = 7,36 \text{ kN/m (DL2)}$
- Tải trọng thi công	$= 0,5 \times 3,2 = 1,60 \text{ kN/m (CL1)}$
- Tĩnh tải	$= 0,85 \times 3,2 = 2,72 \text{ kN/m (DL3)}$
- Hoạt tải	$= 4,35 \times 3,2 = 13,92 \text{ kN/m (LL)}$

3.5.3. Tính toán khả năng chịu lực của dầm

Xác định tải trọng tác dụng lên dầm:

3.5.3.1. Giai đoạn thi công

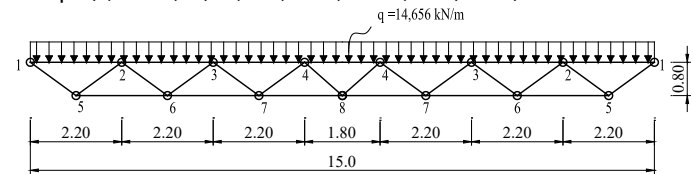
Giai đoạn thi công, dầm làm việc độc lập với sàn bê tông. Các bài toán kiểm tra gồm:

- Kiểm tra khả năng chịu lực cục bộ của các thanh cánh trên và cánh dưới.

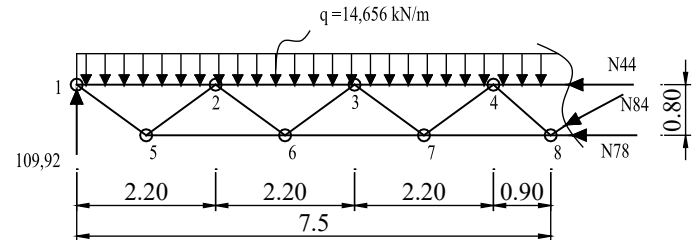
- Kiểm tra khả năng chịu mômen uốn của dầm.

Sơ đồ trường hợp tải trọng tác dụng trong giai đoạn thi công như sau:

Tổ hợp 1: Tải trọng bản thân $\times 1,4$ + tải trọng thi công $\times 1,6$
 $q = (1,28 + 7,36) \times 1,4 + 1,60 \times 1,6 = 14,656 \text{ (kN/m)}$



Hình 16. Sơ đồ tải trọng tác dụng lên dầm



Hình 17. Cân bằng lực xác định nội lực các thanh dầm

Theo mục 3.4.2.3, xác định được nội lực các thanh dầm như sau:

$N_{44} = 529,14 \text{ (kN)}$ (nén)

$N_{23} = 363,2 \text{ (kN)}$; $N_{34} = 491,5 \text{ (kN)}$ (nén)

$N_{56} = 206,4 \text{ (kN)}$; $N_{67} = 341,8$; $N_{78} = 406,26 \text{ (kN)}$ (kéo)

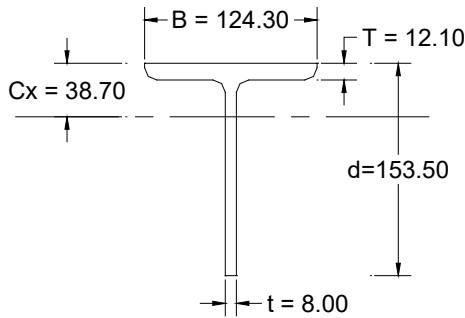
$M_{34} = 14,656 \times 2,2 \times 2,2 / 12 = 5,91 \text{ (kNm)}$

$M_{44} = 14,656 \times 1,8 \times 1,8 / 12 = 3,96 \text{ (kNm)}$

a) Kiểm tra khả năng chịu lực của thanh cánh trên.

Tiết diện thanh cánh trên: $127 \times 152 \times 21 \text{ kg/m}$

Thông số hình học của tiết diện:



Phân loại tiết diện:

$$\varepsilon = \left(\frac{235}{p_y} \right)^{1/2} = \left(\frac{235}{355} \right)^{1/2} = 0.81$$

Cánh: $\frac{B/2}{T} = \frac{124.3/2}{12.1} = 5.16 < 9\varepsilon = 9 \times 0.81 = 7.32$

Bụng: $\frac{d}{t} = \frac{153.3}{8.0} = 19.16 < 33\varepsilon = 33 \times 0.81 = 26.85$

Tiết diện thuộc loại 1.

Tính khả năng chịu lực nén của thanh 34, 44

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93.9\varepsilon = 76.399$$

$$\bar{\lambda}_{(34)} = \frac{L_{cr}}{i} \frac{1}{\lambda_1} = \frac{2200}{46.2} \times \frac{1}{76.399} = 0.623; \bar{\lambda}_{(44)} = \frac{1800}{46.2} \times \frac{1}{76.399} = 0.510$$

Tiết diện chữ T ứng với đường cong c,

→ $\alpha = 0.49$; (EN 1993-1-1, hình 6.4)

$$\phi_{(34)} = 0.5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0.798$$

$$\phi_{(44)} = 0.5 \times \left[1 + 0.49(0.51 - 0.2) + 0.51^2 \right] = 0.706$$

Hệ số giảm khả năng chịu nén của các thanh được tính theo

công thức:

B (mm)	d (mm)	T (mm)	t (mm)	A (cm ²)	I _x (cm ⁴)	C _x (mm)	i _x (mm)	i _y (mm)	Z _{xf} (cm ³)	Z _{xb} (cm ³)	W _{pl} (cm ³)
166,9	155,1	13,7	7,9	34,4	642	32,1	43.2	39,3	200	52,2	92,8

Thanh cánh dưới chịu kéo nên không xét tới ảnh hưởng của độ mảnh:

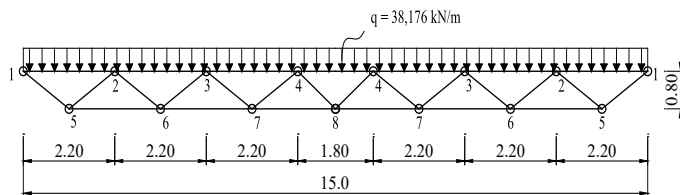
$$N_{b,Rd} = A f_y / \gamma_{M1} = 34,4 \times 10^2 \times 355 \times 10^{-3} / 1 = 1.221 \text{ (kN)}$$

→ Thanh cánh dưới đảm bảo khả năng chịu lực trong giai đoạn thi công.

3.5.3.2. Giai đoạn sàn làm việc liên hợp

(Tải trọng bản thân + tĩnh tải hoàn thiện) × 1.4 + Hoạt tải sử dụng × 1.6

$$q = (1,28 + 7,36 + 2,72) \times 1.4 + 13,92 \times 1.6 = 38,176 \text{ (kN/m)}$$



Hình 18. Tải trọng tác dụng lên dầm LHT-BT

Mô men uốn lớn nhất tại giữa nhịp:

$$M_{max} = \frac{ql^2}{8} = \frac{38,176 \times 15^2}{8} = 1.073,7 \text{ (kNm)}$$

- Xác định vị trí trục trung hòa dầm

$$\chi_{(34)} = \frac{1}{\phi_{(34)} + \sqrt{\phi_{(34)}^2 - \bar{\lambda}_{(34)}^2}} = 0.771 ;$$

$$\chi_{(44)} = \frac{1}{\phi_{(44)} + \sqrt{\phi_{(44)}^2 - \bar{\lambda}_{(44)}^2}} = 0.837$$

Khả năng chịu lực dọc của các thanh 34 và thanh 44:

$$N_{b,Rd(34)} = \frac{\chi_{(34)} A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0.771 \times 26.6 \times 10^2 \times 355 / 10^3}{1} = 728 \text{ (kN)}$$

$$N_{b,Rd(44)} = \frac{\chi_{(44)} A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0.837 \times 26.6 \times 10^2 \times 355 / 10^3}{1} = 791 \text{ (kN)}$$

Kiểm tra ổn định tổng thể thanh chịu mômen và nén:

$\beta_m = 1.3$ (ENV -1-1, hình 5.3.3)

$$\mu_{y(34)} = \bar{\lambda}_{(34)} (2\beta_m - 4) + \left[(W_{pl,y} - W_{el,y}) / W_{el,y} \right] = -1.26$$

$$k_{y(34)} = 1 - \frac{\mu_{y(34)} N_{sd}}{\chi_{y(34)} A f_y} = 1 - \frac{-1,26 \times 488,8}{728} = 1,8 > 1,5$$

→ lấy $k_y = 1.5$ để kiểm tính toán kiểm tra ổn định tổng thể

$$M_{pl,y} = W_{pl,y} \times f_y / \gamma_{M0} = 31.56 \text{ (kNm)}$$

Kiểm tra ổn định tổng thể của mômen kết hợp với lực nén theo công thức:

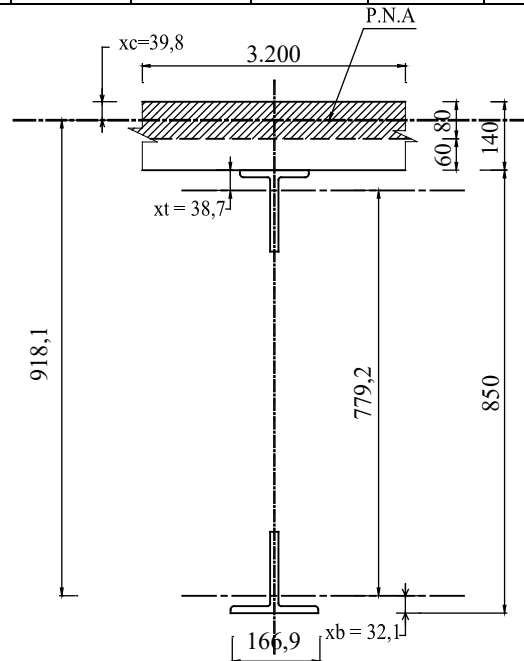
$$\text{Thanh 34: } \frac{N_{sd}}{N_{b,Rd,y}} + k_y \frac{M_{y,Sd}}{M_{pl,y}} = \frac{491,5}{728} + 1,5 \times \frac{5,91}{31,56} = 0,956 < 1$$

$$\text{Thanh 44: } \frac{N_{sd}}{N_{b,Rd,y}} + k_y \frac{M_{y,Sd}}{M_{pl,y}} = \frac{529,14}{791} + 1,5 \times \frac{3,96}{31,56} = 0,857 < 1$$

→ Thanh cánh trên đảm bảo khả năng chịu lực trong giai đoạn thi công.

- Kiểm tra khả năng chịu lực thanh cánh dưới:

Tiết diện thanh cánh dưới: 165×152×27 kg/m



Khả năng chịu nén của phần bê tông, F_c

$$F_c = 0.85f_{cd}Bh_c = 4.352.000 \text{ N} = 4.352 \text{ (kN)}$$

Khả năng chịu kéo của lớn nhất của thép, F_a

$$F_a = A_{sfy} + A_{bfy} = 944 + 1.221 = 2.165 \text{ (kN)}$$

$F_c > F_a$, do đó trục trung hòa dẻo nằm trong phần bê tông.

Xác định vị trí trục trung hòa dẻo:

$$x_c = \frac{F_a}{0.85f_{cd}b} = \frac{2.165}{0.85 \times 30 / 1.5 \times 3.200} = 39,8 \text{ (mm)}$$

Khả năng chịu mômen của dầm LH:

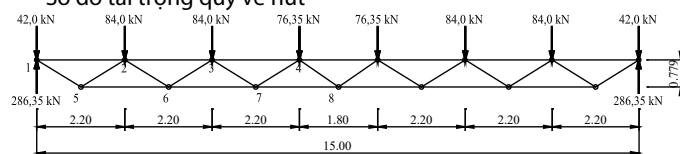
$$M_c = F_{ab}(D + x_t + h_s - x_c/2) + F_{at}(x_t + h_s - x_c/2) = 1.294,8 \text{ kNm} >$$

$$1.073,7 \text{ kNm}$$

→ Trong giai đoạn liên hợp, thanh cánh trên và thanh cánh dưới đủ khả năng chịu mômen uốn tổng thể.

- Kiểm tra khả năng chịu lực của các thanh xiên:

Sơ đồ tải trọng quy về nút



Lực dọc trong các thanh xiên:

$$N_{15} = 286,35 / \sin(36^\circ) = 487,2 \text{ (kN)}, \text{ Kéo}$$

$$N_{25} = N_{15} = 487,2 \text{ (kN)}, \text{ Nén}$$

$$N_{48} = N_{47} \times \sin(36^\circ) / \sin(42^\circ) = 114,1 \text{ (kN)}, \text{ Nén}$$

$$N_{26} = N_{25} - 84,0 / \sin(36^\circ) = 487,2 - 143 = 344,2 \text{ (kN)}, \text{ Kéo}$$

$$N_{36} = N_{26} = 323 \text{ (kN)}, \text{ Nén}$$

Chọn chung tiết diện cho các thanh xiên của dầm là 2 thép góc, sơ bộ chọn tiết diện thanh xiên của dầm : 2L80×80×8.

- Kiểm tra khả năng chịu lực của thanh $N_{25} = 487,2 \text{ kN}$, chịu nén.

Phân loại tiết diện thanh, tiết diện thanh xiên tối thiểu phải nằm trong lớp 3 theo điều kiện trong bảng 5.2 của EC3-1-1:

$$a/t = 80 / 8 = 10 < 15\varepsilon = 15 \times 0.81 = 12,15, \text{ thỏa mãn}$$

$$(a+a) / 2t = (80 + 80) / (2 \times 8) = 10 < 11.5 \varepsilon = 9.315, \text{ không thỏa mãn.}$$

Tiết diện không thỏa mãn các điều kiện.

Cần tăng bề dày cánh của thanh, chọn lại tiết diện thanh xiên: 2L80×80×10.

Khi đó: $(a + a) / (2t) = (80 + 80) / (2 \times 10) = 8 < 11.5 \varepsilon = 9.315$, thỏa mãn.

Kiểm tra khả năng chịu nén của thanh xiên theo điều kiện:

$$N_{ed} / N_{b,Rd} \leq 1$$

$$\text{Thông số hình học của thanh xiên: } L = 0.8 / \sin(36^\circ) = 1,36 \text{ (m)}$$

a (mm)	t (mm)	A (cm ²)	I _x (cm ⁴)	C _x (mm)	r _x (mm)
80	10	15,1	87,5	2,43	2,41

$$\bar{\lambda}_{(25)} = \frac{L_{cr}}{i} \frac{1}{\lambda_1} = \frac{1.360}{24,1} \times \frac{1}{76,399} = 0,739;$$

Tiết diện chữ L ứng với đường cong b,

→ $\alpha = 0,34$; (EN 1993-1-1, hình 6.4)

$$\phi_{(25)} = 0.5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,865$$

Hệ số giảm khả năng chịu nén của các thanh được tính theo công thức:

$$\chi_{(25)} = \frac{1}{\phi_{(25)} + \sqrt{\phi_{(25)}^2 - \bar{\lambda}_{25}^2}} = 0,756$$

Khả năng chịu lực dọc của các thanh 25:

$$N_{b,Rd(25)} = \frac{\chi_{(25)} A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,756 \times 15,1 \times 2 \times 10^2 \times 355 / 10^3}{1} = 810 \text{ (kN)} > 487,2 \text{ (kN)}$$

→ Thanh xiên đủ khả năng chịu nén.

Dễ nhận thấy thanh xiên N_{15} đủ khả năng chịu kéo.

Vậy các thanh đủ khả năng chịu lực.

3.5.3.3. Thiết kế chịu cắt

Liên kết giữa sàn liên hợp và thanh cánh trên của dầm cần được thiết kế để chịu được lực cắt tương tác giữa thép và bê tông: $Q = F_c$.

$$F_c = 0.85f_{cd}Bx_c = 0.85 \times 30 / 1.5 \times 3.200 \times 39,8 / 10^3 = 2.165 \text{ (kN)}$$

Chọn 1 bu lông đường kính $d=16\text{mm}$, chiều cao bu lông $h_{sc} = 80\text{mm}$.

Tính toán khả năng chịu cắt của một bu lông đơn:

$$P_{Rd}^{(1)} = 0,8 f_u \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) \frac{1}{\gamma_v} = 0,8 \times 355 \times \left(\frac{\pi 16^2}{4} \right) \frac{1}{1,25} = 59,19 \text{ (kN)}$$

$$P_{Rd}^{(2)} = 0,29 \alpha d^2 \sqrt{f_{ck} E_{cm}} \frac{1}{\gamma_v} =$$

$$= 0,29 \times 1 \times 16^2 \times \sqrt{30 \times 33000} \times 10^{-3} / 1,25^3 = 59,09$$

Hệ số giảm khả năng chịu cắt đối với sàn deck:

$$k_t = \min \left(\frac{0,7}{\sqrt{n_r}} \frac{b_o}{h_p} \left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1 \right); 1 \right) = \min \left(\frac{0,7}{\sqrt{1}} \frac{300}{60} \left(\frac{80}{60} - 1 \right); 1 \right) = \min(1,167; 1) = 1$$

Khả năng chịu cắt của một bu lông đơn:

$$P_{Rd} = \min(P_{Rd}^{(1)}, k_t P_{Rd}^{(2)}) = 59,09$$

Số lượng bu lông cần thiết:

$$n_{bl} = Q / P_{Rd} = 2.165 / 59,09 = 36,6$$

Chọn khoảng cách giữa các bu lông $a = 300\text{mm}$, số lượng bu lông thực tế:

$$15.000 / 300 = 45 \text{ bulông, thỏa mãn điều kiện chịu cắt.}$$

3.5.3.4. Kiểm tra độ võng của dầm

Liên kết giữa sàn liên hợp và thanh cánh trên của dầm cần được thiết kế để chịu được lực cắt tương tác giữa thép và bê tông: $Q = F_c$.

* Giai đoạn thi công:

Tải trọng tiêu chuẩn trong giai đoạn thi công: $q = 1,28 + 7,36 = 8,64 \text{ (kN/m)}$

Giai đoạn này sàn bê tông chưa tham gia chịu lực cùng dầm, mômen quán tính của dầm được tính với cánh trên và cánh dưới của dầm. Vị trí trọng tâm của tiết diện dầm:

$$y = \frac{26.7 \times 3.87 + 34.4 \times (77.9 + 3.87)}{26.7 + 34.4} = 47.74$$

Mômen quán tính với trục trọng tâm tiết diện dầm:

$$I_{xx} = 573 + 26,7 \times 43,87^2 + 642 + 34,4 \times 34,96^2 = 92.485 \text{ (cm}^4\text{)}$$

Độ võng của dầm ở giai đoạn thi công:

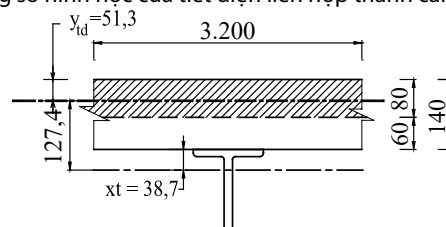
$$\delta_1 = \frac{5ql^4}{384EI_{xx}} = \frac{5 \times 8,64 \times 15.000^4}{384 \times 205.000 \times 92.485 \times 10^4} = 30,04 \text{ (mm)}$$

* Giai đoạn sàn làm việc liên hợp:

Tải trọng tiêu chuẩn thêm vào trong giai đoạn này là tính tải hoàn thiện và hoạt tải:

$$q = 2,72 + 13,92 = 16,64 \text{ (kN/m)}$$

Giai đoạn này sàn và thanh cánh trên làm việc liên hợp. Tính toán thông số hình học của tiết diện liên hợp thanh cánh trên.



Diện tích tương đương của phần bê tông quy đổi sang thép:

$$A_{td} = \frac{320 \times 8 \times 33.000}{2 \times 205.000} = 206 (cm^2)$$

Vị trí trục trọng tâm của tiết diện liên hợp cánh trên

$$y_{td} = \frac{206 \times 8 / 2 + 26,7 \times (3,87 + 14 - 8 / 2)}{(206 + 26,7)} = 5,13 (cm)$$

Mômen quán tính của tiết diện cánh trên đối với trục trọng tâm:

$$I_{td} = \frac{320 \times 8^3 \times 33.000}{12 \times 2 \times 205.000} + 206 \times (5,13 - 4,0)^2 + 573 + 26,7 \times 12,74^2 = 6.268,6 (cm^2)$$

Vị trí trục trọng tâm của tiết diện dầm khi kể đến sự làm việc liên hợp (kể đến cả thanh cánh dưới):

$$y_{th} = \frac{(206 + 26,7) \times 5,13 + 34,4 \times (77,92 + 3,87 + 14)}{(206 + 26,7 + 34,4)} = 16,8 (cm)$$

Mômen quán tính của tiết diện dầm đối với trục trọng tâm tiết diện (kể đến cả thanh cánh dưới):

$$I_{xx} = 6.268,6 + (206 + 26,7) \times 11,67^2 + 642 + 34,4 \times 74^2 = 226.976 (cm^4)$$

Độ võng thêm trong giai đoạn liên hợp:

$$\delta_2 = \frac{5ql^4}{384EI_{xx}} = \frac{5 \times 16,64 \times 15.000^4}{384 \times 205.000 \times 226.976 \times 10^4} = 23,57 (mm)$$

Tổng độ võng của dầm liên hợp:

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 = 30,04 + 23,57 = 53,61 (mm) < L / 250 = 60 mm$$

Kiểm tra độ võng:

$$\delta_2 = 23,57 (mm) < L / 360 = 41,67 mm$$

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 = 53,61 (mm) < L / 250 = 60 mm$$

Vậy độ võng của dầm LH trong giới hạn cho phép.

3.5.3.5. Kiểm tra dao động của dầm

Tải trọng xem xét vào tính toán dao động riêng của hệ dầm LH:

$$q = \text{Tĩnh tải} + 10\% \text{ Hoạt tải} = 1,28 + 7,36 + 2,72 + 13,92 \times 0,1 = 12,751 (kN/m)$$

Chuyển vị của dầm tương ứng với tải trọng trên:

$$\delta_{sw} = \frac{5ql^4}{384EI_{xx}} = \frac{5 \times 12,752 \times 15.000^4}{384 \times 205.000 \times 226.976 \times 10^4} = 18,1 (mm)$$

Dao động của riêng của dầm bằng:

$$\frac{18}{\sqrt{\delta_{sw}}} = \frac{18}{\sqrt{18,1}} = 4,23 (Hz) > 4,0 (Hz)$$

Dầm đảm bảo điều kiện giao động riêng cho phép.

4. KẾT LUẬN

Bài báo này trình bày tổng quan về LHT-BT, trong đó tập trung làm rõ đặc điểm của kết cấu dầm LHT-BT, ứng dụng thực tế của loại kết cấu này trong xây dựng ở Việt Nam và trên thế giới, đồng thời đánh giá các ưu, nhược điểm khi áp dụng vào kết cấu công trình. Hệ dầm LHT-BT được xem là giải pháp hiệu quả cho các công trình có nhịp lớn trên 12 m, có khả năng tạo ra không gian sử dụng rộng rãi và linh hoạt. So với dầm thép hoặc dầm thép thông thường, trọng lượng của dầm thép liên hợp giảm đáng kể nhờ sự phối hợp chịu lực hiệu quả giữa thép và bê tông, đồng thời vẫn đáp ứng các yêu cầu về khả năng chịu lực và độ võng theo hướng dẫn tính toán về kết cấu LHT-BT.

Bài báo nghiên cứu và đề xuất quy trình tính toán, đồng thời thiết lập các công thức tính toán cho kết cấu dầm LHT-BT, dựa trên tiêu chuẩn châu Âu Eurocode 4:2004. Nghiên cứu tập trung vào loại dầm hình thang có hệ thanh bụng dạng tam giác. Nghiên cứu

cũng thực hiện một ví dụ tính toán cụ thể, áp dụng hệ thống công thức được thiết lập theo Eurocode 4, giúp việc tính toán trở nên rõ ràng, dễ hiểu và thuận tiện cho thực hành thiết kế. Kết quả nghiên cứu là bước tiến quan trọng trong việc từng bước hoàn thiện hệ thống tài liệu thiết kế cho loại kết cấu liên hợp hiện đại, hướng tới ứng dụng trong thiết kế nhà cao tầng tại Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Phạm Văn Hội (2010), Kết cấu liên hợp thép bê tông dùng trong nhà cao tầng, NXB Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
- [2]. TCVN 5575: 2012. Kết cấu thép. Tiêu chuẩn thiết kế.
- [3]. PGS.TS. Nguyễn Xuân Huy. Tính toán kết cấu liên hợp thép - bê tông cốt thép. NXB Xây dựng, Hà Nội, 2017.
- [4]. GS.TS Phạm Văn Hội (Chủ biên). Kết cấu liên hợp thép - bê tông. NXB Xây dựng, Hà Nội, 2018.
- [5]. PGS.TS Vũ Quốc Anh (chủ biên), TS Hoàng Hiếu Nghĩa. Kết cấu liên hợp thép - bê tông. NXB Xây dựng, Hà Nội, 2025.
- [6]. Viện khoa học Công nghệ xây dựng. Thiết kế kết cấu liên hợp thép - bê tông. NXB Xây dựng, Hà Nội, 2016.
- [7]. British Standards Institution, Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures - London:BSI, 2004.
- [8]. BS 5950 (2010), Part 3, Design in Composite Construction, Section 3.1 Code of practice for design of simple and continuous composite beam (BS 5950-3.1-1990 + A1-2010).
- [9]. The Steel Construction Institute (2011), Design of composite Trusses.
- [10]. Eurocode 0: Basic of structural design, 2002, (EN 1990:2002).
- [11]. Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-1: General actions - Densities, selfweight, imposed loads for buildings, 2002
- [12]. European standard, Eurocode 2 (2001), Design of concrete structures.
- [13]. Eurocode 3, Design of steel structures. Part 1.1: General structural rules (prEN 1993-1-1:2002).
- [14]. Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings (EN 1994-1-1:2004).

Về cửa hầm xuyên núi và một số kiến nghị trong thiết kế, thi công cửa hầm đường sắt tốc độ cao tại Việt Nam

The mountaintunnel portal and recommendations for the design and construction of high-speed railway tunnel portals in Vietnam

> PGS.TS ĐÀO VIỆT ĐOÀN

Trường Đại học Mở - Địa chất; Email: daovietdoan@gmail.com

TÓM TẮT

Bài báo phân tích tác dụng, phân loại và điều kiện áp dụng của cửa hầm. Trên cơ sở kết quả thống kê, phân tích hiện trạng và những tồn tại của các cửa hầm đã thi công tại Việt Nam, bài viết đưa ra kiến nghị về việc lựa chọn vị trí, kiểu cửa hầm và công nghệ, giải pháp thi công trong thiết kế và thi công hầm đường sắt tốc độ cao tại Việt Nam.

Từ khóa: Cửa hầm, hầm đường sắt cao tốc, phân loại cửa hầm, cấu tạo cửa hầm.

ABSTRACT

The paper analyzes the effects of tunnel portals, classifies different types of tunnel portals, and outlines the conditions for applying each type. Based on statistical data and an analysis of the current status and shortcomings of tunnel portals constructed in Vietnam. The paper proposes methods for selecting tunnel portal locations, choosing appropriate portal types, and determining suitable construction technologies for designing and building high-speed railway tunnels in Vietnam.

Keywords: Tunnel portals, high-speed railway tunnels, classification of tunnel portals, tunnel portal structure.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cửa hầm là vị trí kết nối tuyến đường bên ngoài và bên trong đường hầm. Đây là vị trí quan trọng và thường khó thi công cũng như tốn kém về mặt chi phí nếu không lựa chọn được vị trí tối ưu, loại cửa hầm cũng như giải pháp thi công phù hợp [1,2,3,4]. Nước ta đã thiết kế và thi công nhiều tuyến đường hầm xuyên núi. Tuy nhiên, các cửa hầm được thực hiện với nhiều kiểu khác nhau, như đào phá phần bờ dốc sườn núi đến vị trí có chiều dày đủ ổn định của khối đất đá bên trên nóc hầm, sau đó tiến hành cắt cơ, bạt mái và gia cố mái dốc của hầm. Cách làm này gây tốn kém, đồng thời

phá hủy thảm thực vật tự nhiên và làm mất ổn định tự nhiên của khối đất đá ở mái dốc sườn núi. Bài viết nêu tác dụng, phân loại và điều kiện áp dụng của cửa hầm xuyên núi; đồng thời phân tích hiện trạng và những tồn tại trong thiết kế, thi công các cửa hầm đã thực hiện tại Việt Nam. Trên cơ sở đó, bài viết kiến nghị việc lựa chọn vị trí, loại cửa hầm và công nghệ, giải pháp thi công cửa hầm xuyên núi cho tuyến đường sắt tốc độ cao ở Việt Nam.

2. TÁC DỤNG CỦA HẦM

Cửa hầm là bộ phận lộ ra bên ngoài khối đất đá, tác dụng chủ yếu của cửa hầm bao gồm:

- Tác dụng che chắn: Bộ phận kết cấu cửa hầm có tác dụng che chắn đất đá, thân cành cây bị đổ gãy lẫn từ trên sườn dốc xuống, ngăn chặn nước, đất đá chảy vào bên trong đường hầm khi có mưa lũ xảy ra;

- Tác dụng chịu lực, giảm thiểu tác động đến khối đất đá xung quanh: Hình dạng, kiểu dáng và kết cấu cửa hầm có tác dụng giảm áp lực khối đất đá xung quanh tác dụng lên kết cấu cửa hầm, ổn định khối đất đá xung quanh cửa hầm, bảo đảm cho khối đất xung quanh không bị trượt lở;

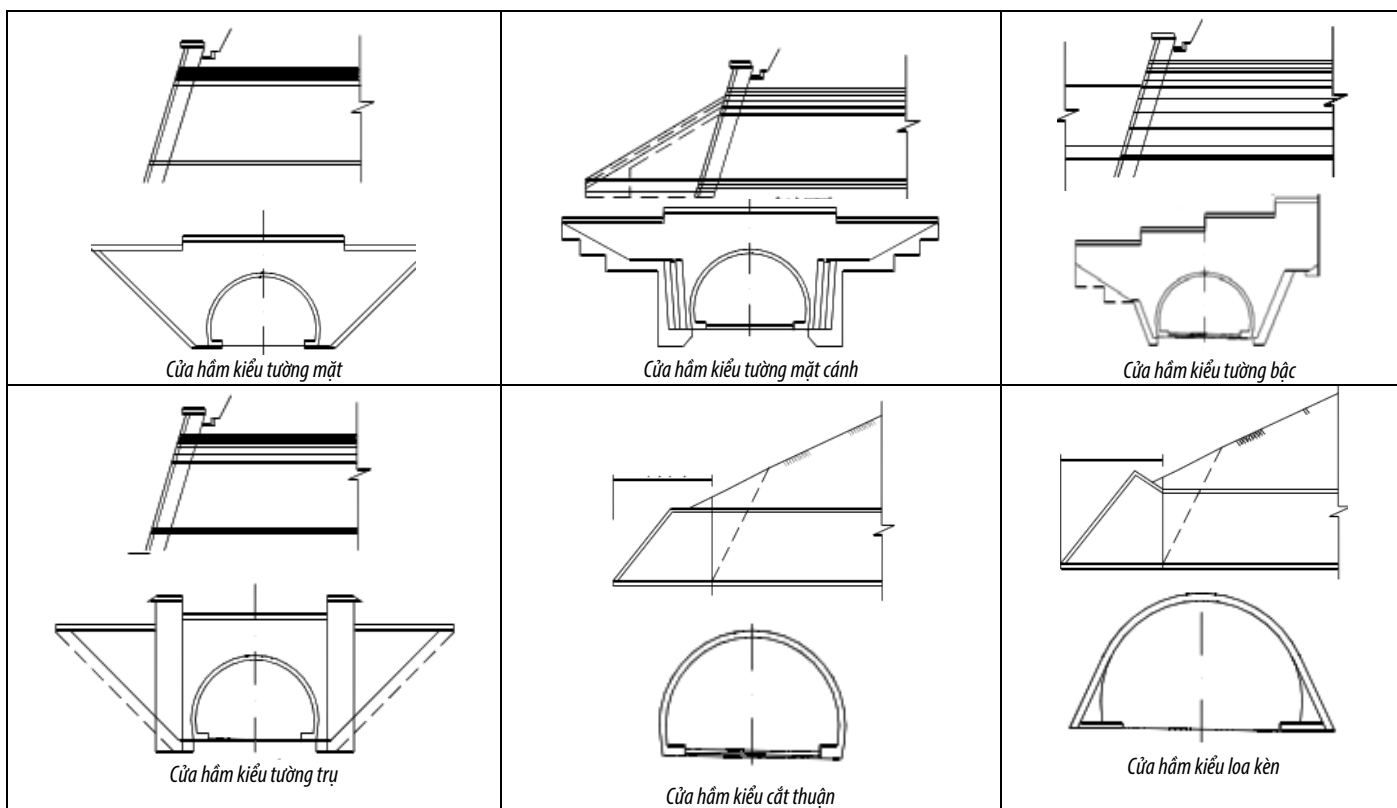
- Tác dụng chuyển tiếp ánh sáng: Làm thay đổi dẫn ánh sáng từ bên ngoài vào trong hầm tránh cho người điều khiển phương tiện khi đi vào trong hầm bị thay đổi ánh sáng đột ngột gây ra tâm trạng căng thẳng hoặc có cảm giác chóng mặt;

- Tác dụng cảnh quan: Thông qua hình dạng và kết cấu của cửa hầm để thể hiện tính mỹ quan, đặc trưng vùng miền và bản sắc dân tộc. Thiết kế cửa hầm cần hài hòa với cảnh quan tự nhiên xung quanh; trong quá trình thi công, phải tránh gây phá hoại hoặc giảm thiểu tối đa sự tác động đến trạng thái nguyên sinh của khối đất đá, cũng như cảnh quan và thảm thực vật tự nhiên khu vực cửa hầm.

- Tác dụng ghi thông tin: Cửa hầm là bộ phận duy nhất lộ ra ngoài có tác dụng ghi các chỉ dẫn như: tên đường hầm, chiều dài hầm, kích thước hầm, ngày khởi công, ngày khánh thành đưa vào sử dụng, cơ quan tài trợ...vv.

3. PHÂN LOẠI CỬA HẦM VÀ ĐIỀU KIỆN ÁP DỤNG

Từ góc độ cửa hầm có hay không chịu áp lực đất đá bên trên sườn dốc của hầm, hình thức kết cấu mặt chính, mặt bên để tiến hành phân loại và thể hiện trên hình 1 và hình 2 [1].



Hình 1. Mặt cắt cấu tạo một số kiểu cửa hầm xuyên núi



a - Cửa hầm kiểu tường mặt



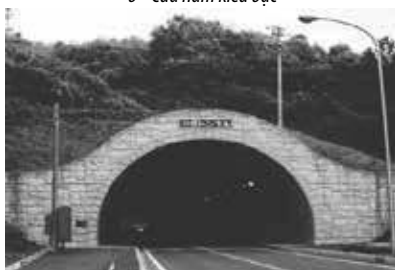
b - Cửa hầm kiểu bậc



c - Cửa hầm kiểu trụ tường cánh



d - Cửa hầm kiểu cung điện



e - Cửa hầm kiểu tường cong



f - Cửa hầm kiểu loa kèn



g - Kiểu hầm kiểu cắt thẳng



h - Cửa hầm kiểu cắt thuận



k - Cửa hầm kiểu cắt nghịch

Hình 2. Hình ảnh một số dạng cửa hầm xuyên núi ngoài thực tế

Cửa hầm có thể phân thành “cửa hầm kiểu chịu lực” và cửa “cửa hầm kiểu không chịu lực”. Trong đó “cửa hầm kiểu chịu lực” là chỉ kết cấu cửa hầm cần phải đảm chịu được áp lực đất đá phía

trên bờ dốc cửa hầm, loại cửa này thiết kế chủ yếu dựa vào nguyên tắc tường chắn, ngược lại là loại “cửa hầm kiểu không chịu lực”. Phân loại cụ thể được thể hiện dưới Bảng 1 [2,5]:

Bảng 1. Bảng phân loại cửa hầm

Loại cửa hầm	Mặt chính kết cấu cửa hầm	Mặt bên kết cấu cửa hầm	Tên gọi hình thức cửa hầm	Ghi chú
Cửa hầm kiểu chịu lực	Cửa hầm kiểu tường mặt	Kiểu không tường cánh	Cửa hầm kiểu tường mặt (không có tường cánh)	Áp dụng khá nhiều
		Kiểu có tường cánh	Cửa hầm kiểu tường mặt (có tường cánh)	
		Kiểu mặt cong	Cửa hầm kiểu tường mặt cong	Tác dụng nghệ thuật
	Cửa hầm kiểu bậc	Kiểu không tường cánh	Cửa hầm kiểu bậc (không có tường cánh)	Thường áp dụng khi tải trọng lệch
		Kiểu có tường cánh	Cửa hầm kiểu bậc (có tường cánh)	
		Kiểu mặt cong	Cửa hầm kiểu bậc mặt cong	Tác dụng nghệ thuật
	Cửa hầm kiểu trụ	Kiểu không tường cánh	Cửa hầm kiểu trụ (không có tường cánh)	Áp dụng khá nhiều
		Kiểu có tường cánh	Cửa hầm kiểu trụ (có tường cánh)	
	Cửa hầm kiểu cung điện	Kiểu không tường cánh	Cửa hầm kiểu cung điện (không có tường cánh)	Áp dụng khu vực thành phố, khu có phong cảnh đẹp
		Kiểu có tường cánh	Cửa hầm kiểu cung điện (có tường cánh)	
	Cửa hầm kiểu tường vòm	Kiểu không tường cánh	Cửa hầm kiểu vòm cánh (không có tường cánh)	Áp dụng khá nhiều
		Kiểu có tường cánh	Cửa hầm kiểu cánh vòm (có tường cánh)	
Cửa hầm kiểu không chịu lực	Cửa hầm kiểu mở rộng	Kiểu cắt thẳng		Áp dụng nhiều
		Kiểu cắt thuận	Cửa kiểu loa kèn	Thường áp dụng trong đường hầm đường sắt
			Cửa kiểu vành mũ	
		Kiểu cắt nghịch	Cửa kiểu loa kèn nghịch	
	Cửa hầm kiểu không mở rộng	Kiểu cắt thẳng	Cửa hầm kiểu khung giá	Sử dụng khá rộng rãi
			Cửa kiểu giá khung	Sử dụng khu vực thành phố
		Kiểu cắt thuận	Kiểu chặt tre	Áp dụng nhiều
		Kiểu cắt nghịch	Kiểu chặt tre nghịch	Áp dụng khá nhiều

Từ bảng 1 điều kiện áp dụng cho dạng cửa hầm kiểu chịu lực và kiểu không chịu lực như sau:

- **Cửa hầm kiểu chịu lực**, nguyên tắc thiết kế cửa hầm loại này là tường chắn đất, kết cấu cửa hầm thiết kế cần chịu được áp lực đất đá trên mái cửa hầm, cửa loại này yêu cầu chịu lực của nền khá cao, thường áp dụng cho địa hình có độ dốc lớn, địa hình núi lồi. Đặc điểm loại cửa hầm này là diện tích tường chắn lớn, thiết kế ở dạng trọng lực, loại này đi qua dễ có cảm giác bị đè nén, tường mặt của hầm thường nhạy cảm với ánh sáng.

1) Cửa hầm kiểu tường mặt

Cửa hầm kiểu tường mặt thích hợp trong điều kiện địa hình sườn núi dốc đứng, địa hình thung lũng, trục đường hầm và mặt dốc của trục giao với nhau, địa hình cửa hầm rộng rãi, điều kiện khối đất đá sườn núi khá bờ rời, có áp lực nhất định, độ dốc mái thường là 1:0,3÷1:0,5. Tường mặt trọng lực để chống lại áp lực đất đá phía trên nóc hầm, khi áp lực đất đá nhỏ thì cửa hầm thường áp dụng kiểu tường mặt đơn giản. Khi áp lực đất đá sau lưng tường khá lớn, bên ngoài lối vào cửa hầm khá hẹp hoặc bờ dốc không ổn định hoặc nơi cần đào nền đường thì áp dụng kiểu cửa hầm có thêm tường cánh gà.

2) Cửa hầm kiểu bậc

Cửa hầm kiểu bậc thích hợp trong điều kiện vị trí sườn núi có hướng dốc sang một bên, kết cấu cửa hầm chịu áp lực lệch, để giảm khối lượng đào đắp thuận với địa hình, lúc này áp dụng cửa hầm dạng bậc, cửa hầm kiểu bậc thường dựa vào bên sườn núi, thiết kế tường kiểu bậc để giảm khối lượng đào đắp. Số bậc được thiết kế tùy thuộc vào điều kiện địa hình mái dốc sườn núi.

3) Cửa hầm kiểu trụ

Cửa hầm kiểu trụ là biến thể của cửa hầm kiểu tường mặt, thích hợp áp dụng tại khu thành phố, khu danh lam thắng cảnh cần có

yêu cầu trang trí nghệ thuật hoặc khi áp lực đất đá bên trên mái cửa hầm lớn, độ dốc sườn núi khá lớn, cửa hầm có tiết diện lớn và nơi địa hình rộng rãi, cảnh núi non hùng vĩ. Để tăng sức chịu lực cho tường mặt hai bên cửa hầm thiết kế dạng cột, chiều dày cột lớn hơn chiều dày của tường, thường có độ dốc mái với tỷ lệ 1:0,5 ÷ 1:0,75. Nhược điểm của hầm kiểu trụ là khối lượng xây dựng lớn, giá thành cao, thi công phức tạp, đồng thời cần đáp ứng được yêu cầu ổn định nền phần móng trụ thường được xây dựng sâu xuống phần nền đường, chiều rộng và chiều sâu của móng trụ dựa vào điều kiện thực tế tại hiện trường để thiết kế.

4) Cửa hầm kiểu cung điện

Cửa hầm kiểu cung điện thích hợp tại những nơi có địa hình rộng rãi, đặc biệt ở những khu du lịch, kiến trúc kiểu này mang đậm màu sắc dân tộc, quốc gia. Phần trên tường mặt của hầm có nhiều tầng, loại này thường có chiều cao khá lớn, thi công phức tạp, giá thành cao.

5) Cửa hầm kiểu tường vòm

Cửa hầm kiểu tường vòm là một kiểu của cửa hầm tường mặt tuy nhiên tường mặt có dạng vòm cong, loại này thích hợp với địa hình sườn núi nhấp nhô, độ dốc mái cửa hầm khá lớn, địa hình phần giữa cong vồng lên và thấp dần về hai bên. Đường cong tường mặt được thiết kế phải phù hợp với địa hình nhấp nhô phía trên sườn núi để đạt được sự hài hòa với cảnh quan thiên nhiên.

- **Cửa hầm kiểu không chịu lực**, nguyên tắc thiết kế cửa hầm không chịu áp lực đất đá trên mái dốc tác dụng vào, xung quanh cửa hầm không có kết cấu chống giữ áp lực đất đá sườn núi. Trên thực tế cửa hầm dạng này thường nằm ngoài cách sườn núi một đoạn, hình thành một phần hầm ngoài sườn núi (kết cấu của hầm hở). Cửa hầm loại này giảm được khối lượng đào đắp đất đá mái dốc sườn núi thậm chí có thể không phải đào, bảo vệ được môi

trường tự nhiên xung quanh. Đặc điểm loại cửa hầm này là diện tích cửa hầm nhỏ, tầm nhìn cho người điều khiển phương tiện giao thông tốt, kết cấu cửa hầm hài hòa với môi trường tự nhiên xung quanh thành một chỉnh thể.

1) Cửa hầm kiểu mở rộng

Cửa hầm kiểu mở rộng là cửa đoạn hầm được mở rộng dần ra theo hướng từ trong ra ngoài (diện tích to dần từ trong ra ngoài) loại này thường là dạng cửa hầm mô phỏng theo loa kèn, mang tính thẩm mỹ cao, **phù hợp cho hầm đường sắt tốc độ cao**.

2) Cửa hầm kiểu không mở rộng

Cửa hầm kiểu không mở rộng có hình dạng, diện tích đoạn hầm hờ bên ngoài giữ nguyên, không thay đổi từ trong ra ngoài. Loại cửa hầm này được phân ra làm 3 kiểu, đó là cửa hầm kiểu cắt thuận, cắt nghịch, cắt thẳng. Loại này kết hợp với cảnh quan thiên nhiên bên ngoài tốt, trong thi công khối lượng đào phần cửa hầm ít hoặc không cần đào do đó bảo vệ được môi trường xung quanh cửa hầm, nhìn từ ngoài vào phóng khoáng mỹ quan.

- Cửa hầm kiểu cắt thẳng sử dụng trong trường hợp mái dốc cửa hầm lớn, khối đá ổn định, tính liên khối tốt, thông thường sử dụng ở những nơi khu vực thành phố, nơi cầu dẫn từ ngoài vào hoặc nơi có yêu cầu về phong cảnh.

- Cửa hầm kiểu cắt thuận thích hợp sử dụng khi sườn dốc mái

cửa hầm thoải, gần thành phố có cầu dẫn từ ngoài vào hoặc nơi có yêu cầu về phong cảnh.

- Cửa hầm kiểu cắt nghịch thích hợp ở nơi đất đá ổn định tính liên khối tốt, mái dốc cửa hầm dựng đứng, địa hình nguy hiểm và thường có cầu dẫn từ ngoài vào. Loại cửa này có thể để phòng được các tảng đá lăn vào cửa hầm.

Ngoài ra còn có loại cửa hầm kiểu khung giàn, loại này điều tiết ánh sáng đoạn cửa hầm tốt đồng thời cũng phát huy tác dụng thẩm mỹ, thường được áp dụng nhiều tại khu vực thành phố.

4. HIỆN TRẠNG CÔNG TÁC THIẾT KẾ VÀ THI CÔNG CÁC CỬA HẦM TẠI VIỆT NAM

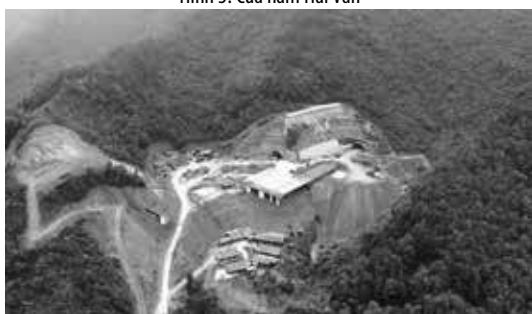
Trong những năm qua nước ta đã thi công nhiều tuyến đường hầm xuyên núi để phục vụ cho giao thông vận tải, đáp ứng nhu cầu đi lại phát triển kinh tế giữa các vùng miền. Hiện trạng một số cửa hầm điển hình đã thi công của nước ta thể hiện từ hình 3 đến hình 12 [6,7,8,9,10,11,12,13,14,15] bao gồm: Cửa hầm Hải Vân, cửa hầm Đèo Cả, cửa hầm Thần Vũ, cửa hầm Phượng Hoàng, cửa hầm Dốc Sạn, cửa hầm Đèo Bụt, cửa hầm Thung Thi, cửa hầm Trường Vinh.



Hình 3. Cửa hầm Hải Vân



Hình 4. Cửa hầm Đèo Cả



Hình 5. Cửa hầm Thần Vũ phía Nam đoạn cao tốc Diễn Châu - Bãi Vọt



Hình 6. Cửa hầm Thần Vũ phía Bắc đoạn cao tốc Diễn Châu - Bãi Vọt



Hình 7. Cửa hầm Phượng Hoàng đoạn cao tốc Khánh Hòa - Buôn Ma Thuột



Hình 8. Cửa hầm Dốc Sạn phía Bắc đoạn cao tốc Nha Trang - Cam Lâm



Hình 9. Cửa hầm Dốc Sạn phía Nam đoạn cao tốc Nha Trang - Cam Lâm



Hình 11. Cửa hầm Thung Thi đoạn cao tốc Mai Sơn - Quốc Lộ 45



Hình 10. Cửa hầm Đèo Bụt đoạn cao tốc Vũng Áng - Bùn



Hình 12. Cửa hầm Trường Vinh cao tốc Nghi Sơn - Diễn Châu

Từ các cửa hầm trên Hình 3 đến Hình 12 chúng ta thấy rằng các cửa hầm đều có đặc điểm chung là phần mái dốc của hầm đều được cắt mở rộng về phía trên sườn núi và ra hai bên cánh gà của hầm để đảm bảo độ dốc sườn núi, sườn đồi nhỏ sau đó thực hiện các giải pháp gia cố như khung bê tông cốt thép, phun bê tông, neo bê tông phun, trồng cỏ...vv. Với cách thiết kế và thi công như này có một số các hạn chế như sau:

- Làm mất cân bằng tự nhiên vốn có của các sườn núi sườn đồi đã tồn tại hàng trăm, hàng ngàn năm nay;
- Phá vỡ trạng thái ứng suất nguyên sinh của khối đất đá sườn núi, sườn đồi;
- Dễ gây mất ổn định mái dốc, sạt trượt, sụt khối đất đá vào bên trong khoảng không đã thi công phần của hầm đặc biệt là vào mùa mưa;
- Kéo dài thời gian thi công cửa hầm vì phải thực hiện một khối lượng lớn công việc đào phá và gia cố khối đất đá xung quanh phần cửa hầm;
- Tốn chi phí đào bạt khối đất đá sườn núi, sườn đồi khu vực cửa hầm;
- Tốn kém chi phí gia cố khối đất đá mái dốc xung quanh phần cửa hầm;
- Làm mất cảnh quan tự nhiên của khu vực sườn núi, sườn đồi;
- Dễ dẫn nước chảy cuốn theo bùn đất đá vào trong hầm khi có mưa lớn kéo dài hoặc khi xảy ra lũ quét lũ ống;

Ngoài ra, tại một số cửa hầm kể trên có khe nước chảy vào khu vực cửa hầm như cửa hầm Núi Vung trên đoạn cao tốc Dốc Sạn phía Nam đoạn cao tốc Nha Trang - Cam Lâm có khe nước chảy trên nóc của hầm, cửa hầm Trường Vinh cao tốc Nghi Sơn - Diễn Châu có khe nước bên tường cánh gà của hầm và một số cửa hầm khác có đường dẫn nước vào khu vực cửa hầm gây nguy cơ nước, bùn đất đá chảy vào cửa hầm trong mùa mưa lũ.

5. KIẾN NGHỊ TRONG THIẾT KẾ, THI CÔNG CỬA HẦM ĐƯỜNG SẮT TỐC ĐỘ CAO TẠI VIỆT NAM

Theo dự kiến, tuyến đường sắt tốc độ cao Bắc - Nam của nước

ta sẽ có khoảng 68 vị trí vượt chướng ngại vật đồi núi bằng đường hầm, với tổng chiều dài trên 150 km. Các hầm tập trung chủ yếu ở khu vực miền Trung. Như vậy, có thể thấy số lượng cửa hầm trên tuyến đường sắt tốc độ cao là rất lớn (dự kiến khoảng 136 cửa hầm). Việc lựa chọn vị trí và loại cửa hầm có ý nghĩa quan trọng trong việc bảo đảm an toàn trong quá trình thi công cũng như trong giai đoạn khai thác, vận hành sau này. Vì vậy, trong thiết kế chi tiết, khi lựa chọn vị trí cửa hầm, loại cửa hầm và công nghệ giải pháp thi công cửa hầm trên tuyến đường sắt tốc độ cao Bắc Nam, cần đặc biệt chú ý đến các yếu tố sau:

- Lựa chọn vị trí cửa hầm: Cửa hầm là một trong những yếu tố quan trọng liên quan đến độ ổn định của phần cửa hầm, chiều dài của hầm, phương hướng của hầm. Do đó khi lựa chọn vị trí cửa hầm cần thực hiện một loạt các công tác khảo sát đo vẽ địa hình, thăm dò địa chất đặc biệt quan tâm đến các tai biến địa chất xảy ra trước xung quanh vị cửa hầm, địa chất thủy văn khu vực xung quanh trong đó đặc biệt quan tâm đến mực nước lũ lịch sử, khảo sát đánh giá thăm thực vật xung quanh, môi trường xung quanh, điều kiện dân cư, lịch sử. Đồng thời, cần tham khảo kinh nghiệm thiết kế và thi công các cửa hầm trong và ngoài nước để lựa chọn vị trí cửa hầm phù hợp. Việc chọn vị trí cửa hầm đường sắt tốc độ cao của Việt Nam cần tuân theo các yếu tố sau:

- + Vị trí cửa hầm cần tuân thủ nguyên tắc vào sớm ra muộn (cố gắng kéo dài đoạn hầm hở bên ngoài cửa hầm);
- + Vị trí cửa hầm tránh lựa chọn ở vị trí có môi trường tự nhiên bị phá hoại do thiên tai bão lụt, động đất, do tác động của con người, tránh đặt tại khu vực đất bồi phù sa;
- + Vị trí cửa hầm cần tránh các khe, đường nước chảy vào khu vực cửa hầm để đảm bảo an toàn cho đường hầm vào mùa mưa lũ, tránh nguy hiểm khi xảy ra lũ ống lũ quét làm cho nước bùn đất, thực vật chảy vào cửa hầm;
- + Đất đá mái dốc bên trên vị trí cửa hầm phải đảm bảo ổn định, tránh đặt ở đới đứt gãy, vỡ vụn, vò nhàu;
- + Vị trí cửa hầm cần được lựa chọn sao cho khi thi công ít đào hoặc không phải đào đất đá sườn núi, không phá hoại ổn định tự

nhiên của sườn núi và các thảm thực vật xung quanh;

+ Vị trí cửa hầm tránh đặt tại những vị trí địa chất uốn nếp, nếu được thì lựa chọn trục đường hầm song song với phương ứng suất chính khu vực;

+ Vị trí cửa hầm phải dễ thoát nước mái dốc cửa hầm, để nước không chảy vào phía trong hầm.

+ Vị trí cửa hầm cần phải cách xa những di tích lịch sử của quốc gia, các miếu, đền, để phòng ngừa chấn động tiếng ồn, các khí có hại làm ô nhiễm phá hoại di tích lịch sử;

+ Tại vị trí danh lam thắng cảnh vị trí cửa hầm phải hài hòa với cảnh quan, và có tính thẩm mỹ cao.

- Lựa chọn loại cửa hầm: Có nhiều loại cửa hầm, mỗi loại có điều kiện áp dụng riêng, đã được trình bày tại Mục 3 “Phân loại cửa hầm và điều kiện áp dụng”. Vì vậy, khi thiết kế cửa hầm đường sắt tốc độ cao, cần khảo sát các điều kiện địa hình, địa chất, địa chất thủy văn, thảm thực vật, khả năng áp dụng công nghệ và biện pháp thi công, cùng các yếu tố liên quan khác để lựa chọn loại cửa hầm phù hợp. Ưu tiên lựa chọn các loại cửa hầm không chịu lực, với phần hầm hở được kéo dài ở hai đầu cửa hầm và bố trí các cửa thông, ô thoáng tại phần hầm hở này nhằm tạo điều kiện thoát khí nhanh.

+ Cửa hầm đường sắt tốc độ cao, ngoài những tác dụng tương tự như cửa hầm ô tô và cửa hầm đường sắt tốc độ thấp, còn có những đặc điểm khác biệt liên quan đến điều kiện khí động học. Tại vị trí cửa hầm đường sắt tốc độ cao, cần bố trí thêm các cửa hoặc lỗ thoát khí để bảo đảm khí động học được thoát nhanh, hoặc sử dụng loại cửa hầm kiểu mở rộng theo Bảng 1 (dạng loa kèn - diện tích mặt cắt ngang của hầm tăng dần ra phía ngoài) nhằm tạo điều kiện thuận lợi cho việc thoát khí nhanh.

+ Đối với các cửa hầm đi qua lớp đất phủ phong hóa dày, nên áp dụng loại cửa hầm không chịu lực dạng mở rộng, đồng thời kéo dài đoạn hầm hở ở hai đầu cửa hầm để giảm thiểu khối lượng đào phá trên mái dốc cửa hầm.

- Lựa chọn công nghệ, giải pháp thi công cửa hầm: Hiện nay, công nghệ thi công hầm xuyên núi thường sử dụng công nghệ NATM hoặc đào bằng TBM. Nếu đào hầm bằng công nghệ TBM thì phần cửa hầm thường vẫn phải đào thủ công một đoạn phần cửa có chiều dài đủ để tăng lớp đất đá phía trên nóc hầm đảm bảo ổn định cho TBM hoạt động. Vì vậy khi lựa chọn giải pháp thi công cửa hầm cần chú ý thực hiện các yếu tố:

+ Thiết kế so sánh về mặt kỹ thuật và kinh tế các giải pháp như: cắt, bạt mái dốc; gia cố mái dốc cửa hầm; giải pháp kéo dài đoạn hầm hở nhằm giảm khối lượng cắt, bạt mái dốc; và gia cố khối đất đá khu vực cửa hầm trước khi thi công (khoan phụt-ép vữa xi măng, sử dụng hóa chất gia cố, khoan lỗ cắm ống vượt trước để chắn đỡ khối đất đá ở nóc và hai bên hông đường hầm, v.v.). Mục tiêu là tránh hoặc hạn chế đến mức tối thiểu việc cắt, bạt và gia cố mái bằng biện pháp phá vỡ quy mô lớn như một số cửa hầm đã thi công (xem Hình 3 - Hình 12), từ đó giảm chi phí và giảm tác động đến môi trường tự nhiên.

+ Tại những cửa hầm đào qua đất phủ, đá mềm yếu, đá phong hóa nên sử dụng phương pháp phá vỡ khối đất, đá bằng thủ công, bằng máy để giảm thiểu mất ổn định tự nhiên của khối đất đá khu vực cửa hầm;

+ Tại những cửa hầm đào qua khối đá bằng phương pháp NATM nên sử dụng phương pháp nổ mìn chia gương, nổ mìn vi sai để giảm thiểu tác động của chấn động nổ mìn đến khối đất đá xung quanh;

+ Giảm thiểu, hạn chế phá hủy thảm thực vật trên khu vực mái dốc cửa hầm để giữ nguyên độ che phủ vốn có tồn tại lâu năm của thảm thực vật tránh được xói lở, cuốn trôi, sạt lở đất đá khu vực

sườn dốc cửa hầm.

6. KẾT LUẬN

Trên cơ sở phân loại cửa hầm, điều kiện áp dụng, kết quả thống kê hiện trạng và đánh giá những tồn tại của các cửa hầm đã thi công tại Việt Nam, bài viết kiến nghị trong quá trình thiết kế và thi công các cửa hầm trên tuyến đường sắt tốc độ cao Bắc Nam cần chú ý đến các yếu tố sau:

- Khi thiết kế lựa chọn vị trí mở cửa hầm, cần dựa trên các tài liệu khảo sát địa hình, địa chất, địa chất thủy văn, thảm thực vật khu vực cửa hầm, môi trường xung quanh, điều kiện dân cư, yếu tố lịch sử, công nghệ và giải pháp thi công. Ngoài ra, nhóm thiết kế cần trực tiếp khảo sát hiện trường để xác định vị trí cửa hầm tối ưu, bảo đảm các yêu cầu về kỹ thuật, kinh tế và an toàn, đồng thời hạn chế rủi ro trong quá trình khai thác, vận hành công trình.

- Khi thiết kế cửa hầm, cần căn cứ vào điều kiện cụ thể tại hiện trường và điều kiện áp dụng của từng kiểu cửa hầm để phân tích, lựa chọn phương án phù hợp. Ưu tiên sử dụng loại cửa hầm không chịu lực, kiểu mở rộng từ trong ra ngoài (dạng loa kèn).

- Khi lựa chọn công nghệ và giải pháp thi công cửa hầm, cần tiến hành so sánh các phương án về mặt kỹ thuật và kinh tế, bao gồm: giải pháp cắt bạt mái dốc, gia cố mái dốc cửa hầm, kéo dài đoạn hầm hở nhằm giảm khối lượng đào bạt mái dốc và khối lượng gia cố khối đất đá khu vực cửa hầm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. 梁鹏昆. 公路隧道洞门形式的分类及其适用条件的研究. 硕士学位论文. 长安大学. 2012 年 6 月 7 日
- [2]. 刘飞. 基于环境保护的隧道洞口选型研究. 重庆交通大学 2010 年 4 月.
- [3]. 孔祥金, 韩常领. 公路隧道建设中的环境保护问题. 西部探矿工程. 2004.1.
- [4]. 翟可. 公路隧道洞门设计的探讨[J]. 隧道建设, 2000, (S1).
- [5]. Đào Viết Đoàn. Nghiên cứu phân loại cửa hầm giao thông và điều kiện áp dụng. Tuyển tập các công trình khoa học kỷ niệm 50 năm thành lập Bộ môn “Xây dựng công trình ngầm và mỏ” 1966-2016. NXB khoa học tự nhiên và Công nghệ. 2016. ISBN: 978-604-913-445-6.
- [6]. <https://deoca.vn/tin-bao-chi/thanh-hinh-6292-m-ham-hai-van-2-dai-nhat-dong-nam-a.html>
- [7]. <https://deoca.vn/project/>
- [8]. <https://tienphong.vn/can-can-ham-xuyen-nui-nghin-ty-phuc-tap-nhat-cao-toc-bac-nam-post1579887.tpo>
- [9]. <https://www.baogiaothong.vn/ron-rang-tieng-may-thi-cong-ham-than-vu-tren-cao-toc-dien-chau-bai-vot-192580162.htm>
- [10]. <https://cafef.vn/robot-khoan-ham-xuyen-nui-hien-dai-nhat-viet-nam-ve-dich-vuot-tien-do-o-tuyen-cao-toc-14800-ty-dong-188240407143224407.chn>
- [11]. <https://vnexpress.net/ham-xuyen-nui-o-cao-toc-nha-trang-vuot-tien-do-3-tha-ng-4598048.html>
- [12]. <https://cafef.vn/cong-nghe-dao-ham-xuyen-nui-hang-dau-the-gioi-giup-thi-cong-than-toc-tuyen-cao-toc-7600-ty-o-viet-nam-176240205092553469.chn>
- [13]. <https://dantri.com.vn/xa-hoi/cong-truong-ham-xuyen-nui-duy-nhat-tren-cao-toc-bac-nam-qua-ha-tinh-20240626101134137.htm>
- [14]. <https://danviet.vn/toan-can-h-3-duong-ham-xuyen-nui-noi-3-tinh-ninh-binh-thanh-hoa-nghe-an-202204220838385.htm>
- [15]. <https://www.baogiaothong.vn/can-can-thi-cong-hai-ham-xuyen-nui-cao-toc-lon-nhat-qua-nghe-an-192554567.htm>

Nghiên cứu xác định tần số và dạng dao động kết cấu trụ điện gió trong điều kiện vận hành

Research on determining the frequency and mode shape of wind turbine tower under operating conditions

> PGS.TS KHÚC ĐĂNG TÙNG*, THS NGUYỄN TIẾN PHÁT, PGS.TS LÊ BÁ DANH, THS NGUYỄN HÙNG SƠN

Khoa Xây dựng Cầu đường, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

*Email: tungkd@huce.edu.vn

TÓM TẮT

Xác định tần số và dạng dao động của kết cấu trụ điện gió trong điều kiện vận hành thực tế thường khá khó khăn, do kết cấu chịu nhiều dao động kích thích từ cánh quạt và hệ thống rotor. Các dao động kích thích này luôn thay đổi do phụ thuộc vào tốc độ và hướng gió, và thường có phổ tần số trùng lặp với một số tần số dao động riêng của kết cấu. Bài báo này nghiên cứu các phương pháp nhận dạng tần số như FFT, FDD, SSI-Cov và SSI-Data dựa trên kết quả đo đặc gia tốc trực tiếp từ một trụ điện gió trên đất liền trong điều kiện thực tế. Các kết quả nhận dạng được so sánh và đánh giá nhằm lựa chọn được phương pháp phù hợp cho kết cấu trụ điện gió phổ biến đang được khai thác tại Việt Nam.

Từ khóa: Trụ điện gió, tần số dao động, quan trắc, SSI-Cov.

ABSTRACT

Determining the frequency and mode shape of wind turbine towers under operating conditions is often quite difficult because the structure is subjected to many excitation oscillations from the blades and rotor system. These excitation oscillations are always changing due to wind speed and direction; and often have a frequency spectrum that overlaps with some natural frequencies of the structure. This paper studies some frequency identification methods such as FFT, FDD, SSI-Cov and SSI-Data based on the results of direct acceleration measurements from a real onshore wind turbine tower. The identification results are compared and evaluated to select a suitable method for the common wind power towers being used in Vietnam.

Keywords: Wind turbine tower, natural frequency, monitoring, SSI-Cov.

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Trong bối cảnh thúc đẩy phát triển năng lượng tái tạo tại Việt Nam, các nhà máy điện gió đã và đang được triển khai rộng rãi trên

cả đất liền và ngoài khơi. Trong các giải pháp kết cấu, tháp trụ điện gió bằng thép được sử dụng phổ biến nhờ khả năng chịu lực cao, có thể nâng đỡ toàn bộ cụm thiết bị gồm cánh quạt, trục rotor và buồng máy. Loại tháp này có ưu điểm trọng lượng nhẹ, thi công nhanh và chi phí hợp lý, do đó hiện được áp dụng cho hầu hết các nhà máy điện gió tại Việt Nam.

Trong quá trình vận hành, kết cấu trụ điện gió phải chịu tác động đồng thời của nhiều loại tải trọng phức tạp như tải trọng bản thân, tải động gió, tải trọng quán tính quay của cánh quạt và các tải trọng cực đoan khác trong điều kiện gió bão hoặc sự cố khẩn cấp. Những tác động này sẽ tạo ra các dao động cưỡng bức liên tục gây nên nhiều hiện tượng bất lợi cho kết cấu thép của trụ tháp như hiện tượng mỏi, hiện tượng tự lỏng bu lông liên kết. Đặc biệt hơn nữa, nếu các dao động cưỡng bức trong quá trình vận hành được lặp theo một tần số gần với tần số dao động riêng của kết cấu trụ tháp, hiện tượng cộng hưởng sẽ xuất hiện và tạo ra các dao động có biên độ tăng đột biến, gây hư hỏng trục rotor, các thiết bị phát điện trong buồng máy, gây cánh quạt hoặc có thể sập đổ toàn bộ trụ điện gió. Vì vậy, việc quan trắc các tham số động học của trụ điện gió trong giai đoạn vận hành là cần thiết để nắm bắt tình trạng làm việc của kết cấu tháp tương ứng với mỗi vùng gió cụ thể tại từng nhà máy, nhằm tránh hiện tượng cộng hưởng cũng như các trạng thái hoạt động bất lợi khác.

Trong những năm gần đây, các nghiên cứu triển khai công tác quan trắc kết cấu trụ điện gió được quan tâm và bắt đầu đạt được một số kết quả. Pagnini và cộng sự [1] sử dụng dữ liệu gia tốc gắn trên một trụ điện gió để xác định được tần số dao động riêng và tỷ số tắt dần. Cunha và cộng sự [2] cũng thực hiện một nghiên cứu đo đặc kết cấu trụ điện gió trong vòng một năm và phát hiện tần số dao động kết cấu còn phụ thuộc vào các điều kiện của môi trường. Hiện tượng cộng hưởng trong kết cấu trụ điện gió có công suất 5 MW cũng đã được Hu và cộng sự [3] nghiên cứu. Song và cộng sự [4] phát triển phương pháp nhận dạng dao động tự động cho tuabin gió ngoài khơi. Các nghiên cứu kể trên tập trung sử dụng các phương pháp nhận dạng cơ bản dựa trên nền phân tích FFT và chưa có đánh giá liên quan đến điều kiện vận hành. Một số các phương pháp phân tích ứng xử động năng cao cũng đã được thử nghiệm như Kim và cộng sự [5] lựa chọn phương pháp Frequency Domain Decomposition (FDD) để nhận dạng dao động của một trụ điện gió ngoài khơi, chỉ ra được xu hướng giảm tần số khi tốc độ gió tăng. Hines và cộng sự [6] áp dụng thành công phương pháp Stochastic Subspace Identification (SSI-Cov) nhằm xác định được các dạng dao động bậc cao của trụ điện gió. Các nghiên cứu đều cho thấy công tác xác định được tần số dao động của kết cấu trụ điện gió ở điều

kiện vận hành khá khó khăn, nhiều tần số dao động không được nhận dạng hoặc bị nhiễu bởi các dao động của cánh quạt hoặc thiết bị quay khác. Nghiên cứu cũng cho thấy các tần số dao động thấp nằm sát nhau, phổ dao động bị chồng lấn và tiềm ẩn nhiều nguy cơ xảy ra hiện tượng cộng hưởng khi điều kiện vận hành thay đổi.

Tại Việt Nam, mặc dù các dự án nhà máy điện gió đang được phát triển rộng khắp, các nghiên cứu về quan trắc và đánh giá kết cấu trụ điện gió trong điều kiện vận hành thực tế vẫn còn hạn chế. Có thể nhận thấy rằng tần số dao động của trụ điện gió phụ thuộc đáng kể vào điều kiện gió tại từng vị trí cụ thể, do đó việc áp dụng các kết quả và số liệu nghiên cứu từ nước ngoài vào điều kiện Việt Nam còn nhiều hạn chế. Xuất phát từ thực trạng này, bài báo bước đầu tiến hành thử nghiệm, đánh giá và so sánh hiệu quả của một số phương pháp xác định tần số và dạng dao động của trụ điện gió trong điều kiện vận hành tại một dự án thực tế. Việc xác định được các tham số động học này là tiền đề cho các phân tích nhằm tránh hiện tượng cộng hưởng, cũng như cho việc đánh giá sức khỏe kết cấu của trụ điện gió trong các nghiên cứu tiếp theo.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Mô hình kết cấu và phương trình động học

Trụ điện gió thường được chế tạo bằng thép hàn, mặt cắt ngang trụ tháp có dạng vành khăn. Sơ đồ kết cấu trụ điện gió được xem như cột ngàm tại chân móng và mang tải tập trung của cụm thiết bị bao gồm cánh quạt, trục rotor và buồng máy trên đỉnh. Các trụ điện gió hiện đại thường có chiều cao từ 80 đến 150 m, với đường kính chân tháp khoảng 4 - 5 m và đường kính đỉnh khoảng 3 - 3,5 m.

Để đơn giản hóa phân tích lý thuyết, trụ điện gió được mô hình hóa như dầm công xôn. Với tỷ lệ chiều cao trên đường kính lớn hơn 10, dầm công xôn này đủ mảnh để bỏ qua biến dạng cắt; khi đó cho phép xây dựng công thức xác định tần số riêng và dạng dao động theo lý thuyết chính xác để so sánh với kết quả thí nghiệm.

Theo giả thiết Euler-Bernoulli, phương trình dao động tự do của trụ tuabin gió được viết dưới dạng:

$$EI(z) \frac{\partial^4 w(z, t)}{\partial z^4} + m(z) \frac{\partial^2 w(z, t)}{\partial t^2} = 0 \quad (1)$$

Trong đó, $w(z, t)$ là chuyển vị ngang tại vị trí z và thời điểm t , $EI(z)$ là độ cứng uốn thay đổi theo chiều cao, $m(z)$ khối lượng phân bố theo chiều cao

Với nghiệm dao động điều hòa:

$$w_n(z, t) = \phi_n(z) \cdot q_n(t) \quad (2)$$

Trong đó: $\phi_n(z)$ là dạng dao động riêng (mode shape), $q_n(t)$ là biên độ dao động phụ thuộc thời gian và có dạng $q_n(t) = A_n \cos(\omega_n t) + B_n \sin(\omega_n t)$, ω_n là tần số dao động riêng của hệ.

2.2. Kết quả tần số dao động riêng theo lý thuyết

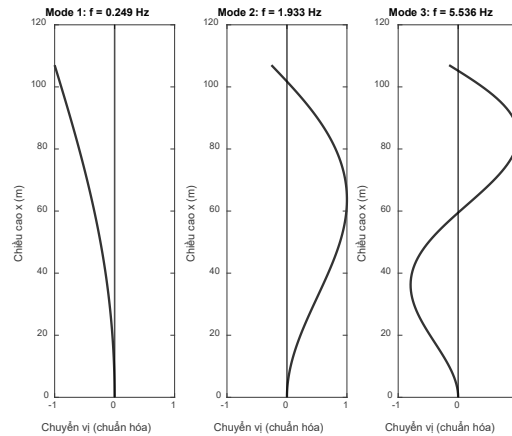
Trụ điện gió được quan trắc trong nghiên cứu này là loại phổ biến được lắp đặt trên đất liền tại Việt Nam, có công suất 3,8 MW. Tháp có chiều cao 107 m được lắp dựng từ năm mô đun sử dụng liên kết mặt bích thông qua hệ thống bu lông cường độ cao. Các thông số cơ bản của trụ điện gió này được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Các thông số cơ bản về kết cấu và chế độ hoạt động của trụ điện gió

Thông số	Giá trị
Chiều cao tháp	107 m
Số cánh quạt	3
Đường kính cánh	117 m
Tổng trọng lượng cụm thiết bị	150 tấn
Tốc độ gió định mức	11,5 m/s
Tốc độ gió khởi động	3,5 m/s
Tốc độ gió ngắt	25 m/s
Tốc độ quay giới hạn	15 vòng/phút = 0,25 Hz

Với các thông số cơ bản như trên, tần số dao động tự nhiên của trụ tháp của ba dạng dao động đầu tiên như sau: dạng dao động 1 có tần số $f = 0,249$ Hz, dạng dao động 2 có tần số $f = 1,933$ Hz, dạng dao động 3 có tần số $f = 5,536$ Hz (Hình 1). Có thể thấy rằng tần số dao động riêng đầu tiên có giá trị rất sát với tần số kích thích đầu tiên của hệ thống quay bao gồm cánh quạt và rotor (1P) tại tốc độ lớn nhất (1P = 0,25 Hz). Tuy nhiên, đây là giá trị 1P giới hạn và được điều khiển không xảy ra trong thực tế vận hành.

Dạng dao động uốn cơ bản xuất hiện ở khoảng 0,249 Hz là phù hợp với dải 0,2–0,5 Hz được báo cáo trong các nghiên cứu khác về các trụ điện gió có chiều cao tương tự. Ba dạng dao động đầu chủ yếu biểu thị dao động uốn theo hướng chính (fore-aft) và hướng bên (side-side), trong khi các dạng dao động cao hơn có thể bao gồm dao động xoắn hoặc dao động cục bộ.

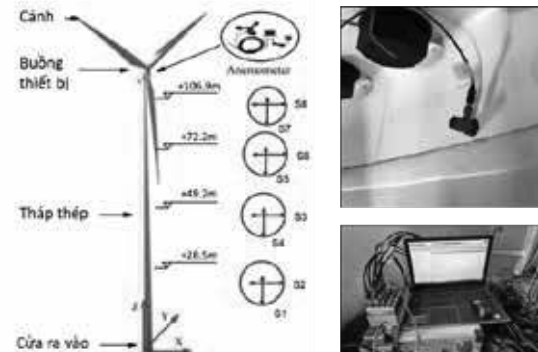


Hình 1. Ba dạng dao động đầu tiên của trụ điện gió theo lý thuyết

3. THÍ NGHIỆM NGOÀI HIỆN TRƯỜNG

3.1. Sơ đồ bố trí thí nghiệm

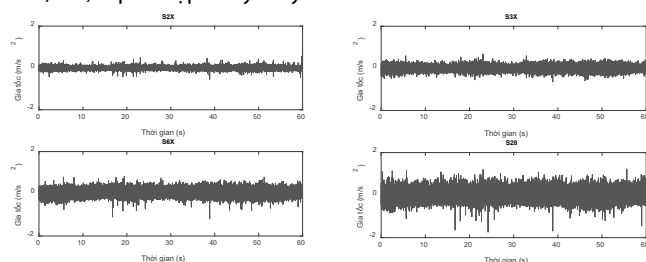
Để thu thập được các ứng xử động của trụ điện gió ở điều kiện vận hành, hệ thống gồm 8 cảm biến gia tốc đã được lắp đặt tại các cao độ 28,5 m, 49,2 m, 72,2 m và 106,9 m ở mặt trong của thành tháp. Hệ tọa độ được thiết lập với gốc tại tâm tháp, trong đó hai phương ngang vuông góc lần lượt được quy ước là trục X và trục Y, còn phương thẳng đứng dọc theo chiều cao tháp được ký hiệu là trục Z. Theo bố trí này, các cảm biến S2, S3, S6 và S8 được sử dụng để ghi nhận dao động theo phương X, trong khi các cảm biến S1, S4, S5 và S7 đo dao động theo phương Y (Hình 2). Tuy nhiên, trong quá trình đo đạc, cảm biến S7 đặt tại đỉnh tháp theo phương Y bị hỏng, dẫn đến việc khó đảm bảo độ chính xác trong việc xác định dạng dao động theo phương này. Do đó, nghiên cứu này tập trung phân tích đặc trưng tần số và dạng dao động uốn chủ yếu theo phương X; các dạng dao động xoắn sẽ khó có thể nhận dạng thành công.



Hình 2. Sơ đồ bố trí cảm biến và hệ thống thu thập dữ liệu

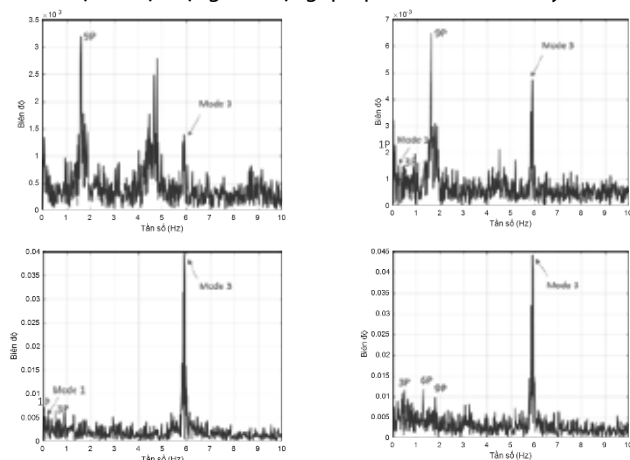
3.2. Nhận dạng tần số sử dụng phương pháp cơ bản

Dữ liệu gia tốc từ các cảm biến được thu thập trong vòng một ngày theo các múi giờ khác nhau để có thể đánh giá sự ảnh hưởng của tốc độ gió khác nhau (theo các múi giờ khác nhau) tới kết quả đo. Tốc độ quay của rotor trong ngày đo đặc được thu thập từ hệ thống SCADA của trụ điện gió, có giá trị biến thiên từ 7,15 đến 11,5 vòng/phút. Khi đó tần số kích thích do hệ thống quay 1P nằm trong khoảng 0,12-0,192 Hz. Với loại trụ điện gió đang quan trắc có 3 cánh quạt, các bội số 3 lần của P như 3P, 6P, 9P ... sẽ có thể được hình thành và tạo ra các dao động kích thích có các tần số tương ứng. Hình 3 minh hoạ mẫu dữ liệu thô được thu thập trực tiếp từ các cảm biến S2, S3, S6 và S8 được bố trí lần lượt từ dưới lên trên; thời điểm thu thập tốc độ quay của rotor là 11,5 vòng/phút hay tần số 1P là 0,192 Hz. Sơ bộ có thể thấy chất lượng dữ liệu khá ổn định, cường độ dao động của kết cấu trụ điện gió tăng dần từ mặt cắt gần sát đáy tháp (cao độ +28,5 m) lên trên đỉnh tháp (cao độ +106,9 m) là phù hợp với lý thuyết.



Hình 3. Dữ liệu gia tốc của các cảm biến

Giai đoạn đầu tiên, các kết quả đo gia tốc được phân tích nhanh sử dụng phương pháp biến đổi Fourier (FFT) nhằm đánh giá khả năng xác định các đặc trưng dao động của hệ bằng phân tích cơ bản. Theo phân tích FFT, chỉ cần dựa trên thông số của một cảm biến để xác định tần số dao động. Tuy nhiên, do có nhiều cảm biến được gắn vào kết cấu, phân tích được thực hiện tại tất cả 4 cao độ mặt cắt nhằm đánh giá vị trí tối ưu có thể thu thập được nhiều tần số dao động nhất. Chú ý rằng không thể xác định được dạng dao động qua phân tích cơ bản này.



Hình 4. Biểu đồ FFT của dữ liệu gia tốc

Hình 4 thể hiện kết quả phân tích FFT của các bộ dữ liệu gia tốc minh hoạ trên Hình 3. Có thể thấy rằng các biểu đồ phân tích từ bốn cảm biến gia tốc đều đưa ra một giá trị tần số nổi bật có giá trị khoảng 5,8 Hz, khá sát với giá trị tần số dao động riêng 3 của trụ điện gió là 5,536 Hz. Bên cạnh đó, tần số kích thích 9P (1,728 Hz) cũng có thể quan sát thấy rõ ràng tại 3 cảm biến, và tần số kích thích 6P (1,152 Hz) được quan sát thấy tại 1 cảm biến. Do giá trị tần số dao động riêng 2 của trụ điện gió (1,93 Hz) khá sát với tần số kích thích 9P, tần số dao động riêng 2 hầu như không nhận diện được do hiện tượng chồng lấn phổ. Hiện tượng chồng lấn phổ cũng xảy ra tương

tự với nhóm các tần số sát nhau bao gồm: dao động riêng số 1 của trụ điện gió (0,249 Hz), tần số kích thích 1P (0,192 Hz) và 3P (0,576 Hz). Như vậy, việc sử dụng phương pháp cơ bản phân tích FFT sẽ kém hiệu quả cho việc phân tách các tần số dao động sát nhau. Ngoài ra như đã trình bày ở trên, việc sử dụng phương pháp này sẽ không thể xác định được dạng dao động của kết cấu. Các nhược điểm này hy vọng sẽ được giải quyết phần nào khi sử dụng các phương pháp phân tích nâng cao ở phần sau.

3.3. Nhận dạng tần số và dạng dao động sử dụng các phương pháp nâng cao

Các tham số động học như tần số dao động, dạng dao động, tỷ số cản có thể được xác định thông qua phân tích dữ liệu động bao gồm gia tốc, vận tốc, ứng suất hoặc chuyển vị động thông qua một số các phương pháp nâng cao bao gồm phương pháp peak-picking [7], phương pháp ARX [8], thuật toán hiện thực tổng quát (GRA) [9], phân tích phân rã miền tần số (FDD) [10], nhận dạng không gian con ngẫu nhiên điều khiển bởi hiệp phương sai (SSI-Cov) [11], và nhận dạng không gian con ngẫu nhiên điều khiển bởi dữ liệu (SSI-Data) [12]. Trong số các phương pháp trên, phương pháp SSI-Cov, SSI-Data và FDD là những phương pháp nhận dạng khá hiệu quả chỉ dựa vào dữ liệu thu thập được trực tiếp từ kết cấu mà không cần quan tâm đến dữ liệu của tải trọng kích thích, phù hợp với kết cấu trụ điện gió khi không thể xác định được đầy đủ và chính xác tải trọng gió tác động lên hệ kết cấu trụ điện gió và cánh quạt.

3.3.1. Nhóm phương pháp nhận dạng không gian con ngẫu nhiên

Phương pháp nhận dạng không gian con ngẫu nhiên SSI-Cov và SSI-Data đều có khả năng trích xuất các đặc trưng động học của kết cấu, bao gồm tần số dao động riêng, tỷ số cản, và dạng dao động từ dữ liệu đo gia tốc. Hệ thống được mô tả bởi mô hình trạng thái tuyến tính bất biến theo thời gian (LTI) như Eq. (3)-(4).

$$x_{k+1} = Ax_k + w_k \quad (3)$$

$$y_k = Cx_k + v_k \quad (4)$$

trong đó, x_k là vector trạng thái của hệ thống tại thời điểm k , y_k là vector đo đầu ra, A và C lần lượt là ma trận chuyển trạng thái và quan sát; w_k, v_k là nhiễu trắng ngẫu nhiên.

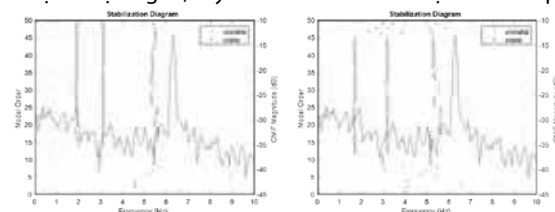
SSI-Cov khai thác ma trận hiệp phương sai của dữ liệu đo để xây dựng ma trận Hankel, sau đó thực hiện phân tích giá trị suy biến (SVD).

$$R_{yy}(\tau) = E[y_k y_{k-\tau}^T] \quad (5)$$

$$H = U \Sigma V^T \quad (6)$$

trong đó, ma trận U chứa thông tin về không gian trạng thái; các giá trị trong Σ đại diện cho năng lượng của từng mode; các thành phần U, Σ và V được sử dụng để ước lượng ma trận trạng thái A , từ đó xác định được tần số dao động riêng, tỷ số cản, và dạng dao.

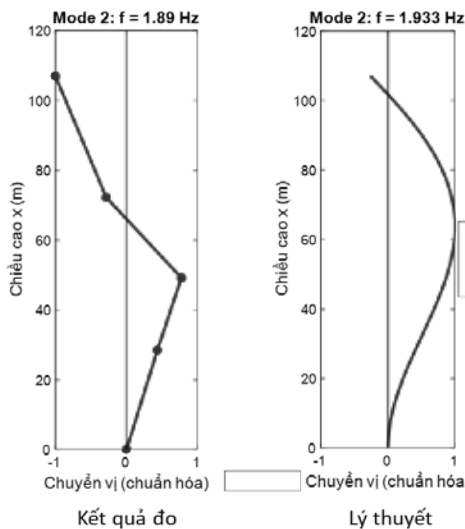
Trong khi SSI-Cov dựa trên phân tích ma trận hiệp phương sai để xác định các trạng thái dao động, SSI-Data khai thác trực tiếp dữ liệu thời gian đo được, cho phép mô hình hóa ứng xử động học của hệ mà không cần tiền xử lý hiệp phương sai. Về cơ bản, SSI-Data vẫn tuân theo cùng khung lý thuyết mô hình không gian trạng thái, nhưng phương pháp này xây dựng ma trận Hankel trực tiếp từ dữ liệu đo y_k và áp dụng phân tích giá trị suy biến (SVD) để tách tín hiệu chính khỏi nhiễu. Điểm mạnh của SSI-Data là khả năng làm việc trực tiếp với dữ liệu đo ngắn hạn và phù hợp hơn cho việc phân tích các bộ dữ liệu ngắn, tuy nhiên đòi hỏi mức độ nhiễu thấp.



Hình 5. Biểu đồ ổn định khi phân tích bằng SSI-Cov (trái), và SSI-Data (phải)

Hình 5 thể hiện kết quả khi phân tích bằng cả hai phương pháp SSI-Cov và SSI-Data. Từ biểu đồ ổn định của phương pháp SSI-Cov có thể thấy rằng tần số dao động dạng 2 và tần số dao động dạng 3 của kết cấu (tương ứng là 1,89 Hz và 5,37 Hz) được phát hiện và ổn định. Kết quả này khá sát với kết quả được tính toán lý thuyết là 1,93 Hz và 5,53 Hz. Trong khi đó, kết quả khi phân tích bằng SSI-Data cho thấy thuật toán đã phát hiện ra hai tần số dao động ổn định có giá trị tương ứng là 1,71 Hz và 5,27 Hz. Mặc dù tần số có giá trị 5,27 Hz cơ bản khá sát với tần số dao động dạng 3 theo lý thuyết, tần số có giá trị 1,71 Hz có lẽ là tần số kích thích 9P (có giá trị 1,73 Hz) đã bị nhiễu vào trong dữ liệu thu thập được. Bên cạnh đó, hàm chỉ thị chế độ phức (CMIF) cho thấy rằng độ ổn định của kết quả tính toán từ phương pháp SSI-Cov tốt hơn phương pháp SSI-Data, đặc biệt tại tần số dao động dạng 3. Điều này cũng dễ hiểu khi phương pháp SSI-Data khá nhạy cảm với dữ liệu bị nhiễu, vốn là một đặc điểm quan trọng của dữ liệu đo đạc từ trụ điện gió ở trạng thái vận hành. Cả hai phương pháp đều không thể nhận diện được tần số dao động dạng 1.

Từ các phân tích trên, nhóm tác giả đã lựa chọn phương pháp SSI-Cov để xác định dạng dao động của kết cấu. Do số lượng các cảm biến lắp đặt hạn chế (bốn cảm biến trên dọc chiều cao của trụ tháp), chỉ dạng dao động dạng 2 được phát hiện và kết quả được thể hiện trên Hình 6. So sánh dạng dao động 2 xác định từ kết quả đo và kết quả lý thuyết cho thấy hình dạng cũng chỉ ở mức độ tạm chấp nhận, điều này có thể lý giải do số lượng cảm biến khá hạn chế nên không thể nhận dạng được chính xác các dạng dao động bậc cao.



Hình 6. Dạng dao động 2 của kết cấu xác định theo phương pháp SSI-Cov

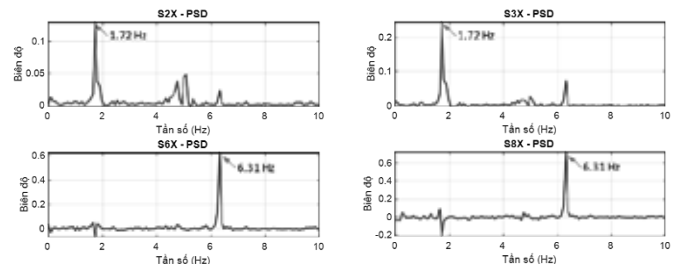
3.3.2. Phương pháp phân tích phân rã miền tần số

Phương pháp phân tích phân rã miền tần số (FDD) là một kỹ thuật nhận dạng các tham số động học nằm cùng nhóm với phương pháp SSI khi chỉ cần sử dụng dữ liệu đo đạc được từ kết cấu, thường là dữ liệu gia tốc. Phương pháp này dựa trên phân tích ma trận mật độ phổ công suất (Power Spectral Density - PSD) của dữ liệu đo đầu ra, được biểu diễn dưới dạng phân tích giá trị suy biến.

$$S_{yy}(f) = U(f) S(f) U^H(f) \quad (7)$$

trong đó, $S_{yy}(f)$ là ma trận PSD, $U(f)$ là ma trận các vector riêng biểu diễn dạng dao động, còn $S(f)$ là ma trận đường chéo chứa các giá trị suy biến, trong đó giá trị lớn nhất tương ứng với năng lượng dạng dao động chi phối tại tần số f .

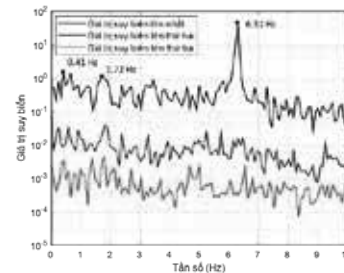
Một phiên bản cải tiến có tên gọi là Refined FDD (rFDD), phương pháp này bổ sung bước tính ma trận PSD từ hàm tương quan (correlation function) trong miền thời gian, giúp giảm nhiễu và nâng cao độ chính xác của việc trích xuất mode dao động.



Hình 7. Biểu đồ phổ công suất của từng cảm biến

Hình 7 thể hiện kết quả tính toán ma trận PSD của các cảm biến. Kết quả cho thấy với cảm biến S2X và S3X thì tần số 1.72 Hz xuất hiện rõ ràng, còn với cảm biến S6X và S8X thì tần số 6.31 Hz lại nổi bật lên. Tiếp theo, các tần số dao động riêng của kết cấu được xác định thông qua các đỉnh (peaks) trên phổ giá trị suy biến tương ứng với giá trị kỳ dị lớn nhất của ma trận $S(f)$. Tại các tần số này, dạng dao động riêng được trích xuất từ cột tương ứng của ma trận vector suy biến $U(f)$.

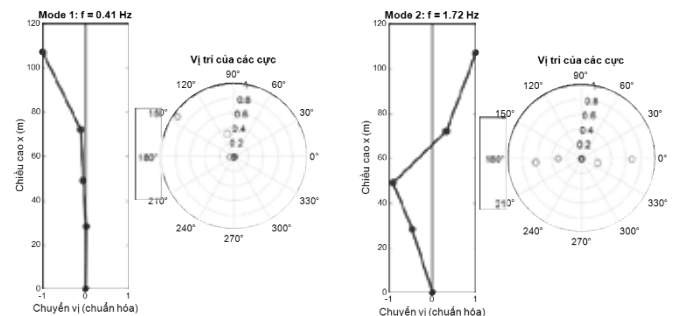
Hình 8 thể hiện phổ giá trị suy biến của 3 giá trị suy biến lớn nhất. Trong đó, giá trị suy biến thứ nhất thể hiện thành phần năng lượng dao động chi phối nhất tại mỗi tần số; và do đó được sử dụng để xác định tần số và dạng dao động chính của kết cấu. Ngược lại, các giá trị suy biến thứ hai và thứ ba chỉ mang ý nghĩa đáng kể khi tồn tại các mode dao động gần nhau hoặc trùng tần số, chúng được dùng để tách biệt các dạng dao động, tần số gần nhau đó một cách chính xác hơn.



Hình 8. Biểu đồ phổ giá trị suy biến

Hình 7 và Hình 8 thể hiện kết quả khi phân tích bằng phương pháp FDD đã cho thấy tần số dạng dao động số 2, số 3 của kết cấu lần lượt là 1,72 Hz và 6,31 Hz. Tương tự với kết quả từ nhóm hai phương pháp SSI và phân tích FFT, tần số dạng dao động 1 (0,249 Hz theo lý thuyết) rất khó có thể xác định mặc dù tại khu vực này có xuất hiện đỉnh tương ứng tại vị trí 0,41 Hz.

Kết quả của của 2 dạng dao động 1 và 2 của kết cấu xác định theo phương pháp FDD (Hình 9) có thể khẳng định thêm rằng giá trị tần số bậc 1 là khó xác định (không ổn định) khi mà có các tọa độ cực không đồng hàng. Còn về dạng dao động thứ 2 cho thấy hình dạng tương đồng với phương pháp SSI-Cov đồng thời các tọa độ cực khá thẳng hàng.



Hình 9. Dạng dao động 1 và 2 của kết cấu xác định theo phương pháp FDD

Kết quả phân tích từ các phương pháp FDD, SSI-Cov và SSI-Data được tổng hợp và so sánh như Bảng 2 dưới đây. So với lý thuyết, sai lệch của SSI-Cov và SSI-Data đều dưới 10%, trong khi FDD có sai lệch lớn hơn, đặc biệt ở tần số dao động 3. Trong ba phương pháp, SSI-Cov thể hiện độ ổn định cao nhất khi đã tách được tần số dao động riêng của kết cấu trụ tháp ra khỏi các tần số kích thích của thiết bị quay (nP). Phương pháp này cũng thành công khi xác định được dạng dao động 2 khá gần với kết quả theo lý thuyết. Cả ba phương pháp trên đều không thể xác định được rõ ràng tần số của dạng dao động 1 do vấn đề chống lẫn phổ dao động của dạng dao động này với hai dạng dao động kích thích của thiết bị quay là 1P và 3P. Việc xác định được dạng dao động này có thể đòi hỏi sử dụng loại cảm biến phù hợp hơn với các dao động có tần số thấp, ví dụ như cảm biến đo chuyển vị động hoặc vận tốc.

Bảng 2. So sánh kết quả các phương pháp phân tích dữ liệu và lý thuyết

Dạng dao động	SSI-Cov (Hz)	SSI-Data (Hz)	FDD (Hz)	Lý thuyết (Hz)
1	-	-	0,41 (Không rõ ràng)	0,249
2	1,89	1,71 (trùng tần số 9P)	1,72 (trùng tần số 9P)	1,933
3	5,37	5,27	6,31	5,536

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Trong nghiên cứu này, một hệ thống quan trắc đánh giá kết cấu trụ điện gió được triển khai trên một tuabin có công suất 3,8 MW đặt trên đất liền tại Việt Nam. Hệ thống bao gồm 8 cảm biến gia tốc đặt tại bốn cao độ khác nhau từ chân tháp lên đỉnh tháp. Xuất phát từ thực tế công tác xác định tần số dao động của kết cấu trụ điện gió trong quá trình vận hành khá khó khăn và phức tạp do kết cấu chịu nhiều tác động kích thích quay từ cánh quạt và rotor. Trong khi đó, việc xác định được tần số dao động và dạng dao động của kết cấu trụ điện gió có thể giúp công tác vận hành tránh được hiện tượng cộng hưởng cũng như giúp phát hiện được các thay đổi về độ cứng của kết cấu cũng như cơ cấu quay phát điện, báo hiệu sớm các hư hỏng. Dựa trên dữ liệu thực tế đo được, nhóm tác giả đã tiến hành phân tích dao động, nhận dạng tham số động học bằng một số các phương pháp khác nhau nhằm đưa ra phương pháp hiệu quả nhất với loại hình kết cấu trụ điện gió. Một số kết luận chính có thể tóm tắt như sau:

- Ba tần số dao động riêng đầu tiên của kết cấu trụ điện gió có công suất 3,8 MW, chiều cao 107 m được xác định theo lý thuyết lần lượt là 0,249 Hz - 1,933 Hz - 5,536 Hz. Kết quả này phù hợp với kết quả của nhiều nghiên cứu khác cũng như nằm trong phạm vi khuyến cáo của các thiết kế kết cấu trụ điện gió bằng thép.
- Một số phương pháp phân tích dữ liệu đo đạc đã được áp dụng bao gồm FFT, SSI-Cov, SSI-Data và FDD. Nhìn chung các phương pháp đều có thể xác định được dạng dao động 2 và 3 của kết cấu trụ điện gió. Trong số các phương pháp này, SSI-Cov là thuật toán mang lại kết quả có độ chính xác và ổn định nhất, khá sát với kết quả tính toán lý thuyết.
- Các phương pháp thử nghiệm đều chưa thể phát hiện được tần số dao động 1 do hiện tượng chống lẫn phổ dao động của dạng dao động này với hai dạng dao động kích thích của thiết bị quay là 1P và 3P. Việc xác định được dạng dao động này sẽ đòi hỏi một loại cảm biến phù hợp hơn với các dao động có tần số thấp.
- Cũng do phát hiện sự chống lẫn tần số dao động 1 và hai tần số dao động kích thích từ thiết bị quay 1P và 3P, tiềm ẩn khả năng

kết cấu trụ điện gió xuất hiện hiện tượng cộng hưởng, đặc biệt khi tốc độ gió lớn dẫn đến tốc độ quay của cánh quạt lớn. Vì vậy, việc quan trắc dài hạn hơn là cần thiết, đặc biệt tại các mùa có tốc độ gió lớn tùy thuộc vào vị trí địa lý cụ thể của từng trang trại điện gió, để sớm có các chiến lược vận hành hợp lý.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Xây dựng thông qua đề tài "Nghiên cứu xây dựng hướng dẫn quan trắc phục vụ đánh giá kết cấu trụ điện gió trên đất liền tại Việt Nam", mã số: RD 27-24.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. L. Pagnini, G. Piccardo, M. P. Repetto. (2018). Full scale behavior of a small size vertical axis wind turbine. *Renewable Energy*, 127, 41-55.
- [2]. A. Cunha, G. Oliveira, F. Magalhães, E. Caetano. (2015). One year of continuous dynamic monitoring of a wind turbine.
- [3]. W.-H. Hu và cs. (2020). Resonance monitoring of a horizontal wind turbine by strain-based automated operational modal analysis. *Energies*, 13(3), 579.
- [4]. J. Song và cs. Automated Modal Identification of Offshore Wind Turbine Structure Under Mixed Harmonic and Random Excitations. Ming-Gang and Wang, Li-Ji and SHU, Zhenru and Zhou, Kang, Automated Modal Identification of Offshore Wind Turbine Structure Under Mixed Harmonic and Random Excitations.
- [5]. W. Kim, J.-H. Yi, J.-T. Kim, J.-H. Park. (2017). Vibration-based structural health assessment of a wind turbine tower using a wind turbine model. *Procedia Engineering*, 188, 333-339.
- [6]. E. M. Hines và cs. (2023). Structural instrumentation and monitoring of the block island offshore wind farm. *Renewable Energy*, 202, 1032-1045.
- [7]. D. E. Hudson. (1995). Dynamics of structures: Theory and applications to earthquake engineering, by Anil K. Chopra, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1995. No. of pages: xxviii+ 761, ISBN 0-13-855214-2. In: Wiley Online Library.
- [8]. B. Peeters. (2000). System identification and damage detection in civil engineering.
- [9]. R. A. De Callafon, B. Moaveni, J. P. Conte, X. He, E. Udd. (2008). General realization algorithm for modal identification of linear dynamic systems. *Journal of engineering mechanics*, 134(9), 712-722.
- [10]. R. Brincker, L. Zhang, P. Andersen. (2000). Modal identification from ambient responses using frequency domain decomposition. Paper presented at the IMAC 18: Proceedings of the International Modal Analysis Conference (IMAC), San Antonio, Texas, USA, February 7-10, 2000.
- [11]. T. J. Matarazzo, S. N. Pakzad. (2016). STRIDE for structural identification using expectation maximization: iterative output-only method for modal identification. *Journal of Engineering Mechanics*, 142(4), 04015109.
- [12]. P. Van Overschee, B. De Moor. (2012). Subspace identification for linear systems: Theory-Implementation-Applications. Springer Science & Business Media.

Nghiên cứu khảo sát sự thay đổi thiết kế móng cọc nhà bê tông cốt thép theo hai tiêu chuẩn TCVN 10304-2025 và TCVN 10304-2014

Research and investigation of changes in design of pile foundation of reinforced concrete buildings according to two design standards TCVN 10304-2025 and TCVN 10304-2014

> TS TRẦN VIỆT TÂM

Nhóm chuyên môn Công trình Bê tông cốt thép, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

TÓM TẮT

Móng cọc bê tông cốt thép (BTCT) là bộ phận nền móng chủ yếu của nhiều công trình xây dựng tại Việt Nam, đặc biệt trong điều kiện địa chất yếu và phức tạp. Tiêu chuẩn TCVN 10304:2014 - Móng cọc - Thiết kế và thi công đã được áp dụng rộng rãi trong hơn một thập kỷ qua. Tuy nhiên, qua thực tiễn áp dụng, tiêu chuẩn này đã bộc lộ một số hạn chế nhất định, chưa còn phù hợp với yêu cầu thiết kế hiện đại và xu hướng hội nhập quốc tế. Nhằm khắc phục những tồn tại đó và cập nhật các phương pháp tính toán tiên tiến, Bộ Khoa học và Công nghệ đã ban hành TCVN 10304:2025 - Thiết kế móng cọc, thay thế cho phiên bản năm 2014. Bài báo tập trung phân tích và so sánh những thay đổi cơ bản giữa hai tiêu chuẩn (TC), trong đó nhấn mạnh các nội dung chính sau: phương pháp tính toán theo trạng thái giới hạn; điều chỉnh hệ số độ tin cậy và phân cấp công trình; cập nhật công thức xác định sức chịu tải của cọc theo kết quả xuyên tiêu chuẩn (SPT) và xuyên tĩnh (CPT); bổ sung quy định đối với cọc dài và cọc ngàm vào đá; hiệu chỉnh công thức tính độ lún của nhóm cọc; đồng thời tăng cường yêu cầu về thử tải và kiểm soát chất lượng.

Kết quả nghiên cứu cho thấy TCVN 10304:2025 có nhiều điểm mới và tiến bộ, phù hợp hơn với thực tiễn xây dựng trong nước, đồng thời tiệm cận với các tiêu chuẩn quốc tế. Những thay đổi này dự kiến sẽ tác động đáng kể đến công tác thiết kế, thi công và quản lý chất lượng móng cọc BTCT tại Việt Nam, giúp nâng cao độ an toàn và độ tin cậy của công trình.

Từ khóa: Móng cọc BTCT, TCVN 10304:2025, TCVN 10304:2014, sức chịu tải, độ lún, cọc đơn, nhóm cọc, phần mềm RDSuite.

ABSTRACT

Reinforced concrete (RC) pile foundations are widely used in Vietnam's construction projects, especially under weak and complex soil conditions. The Vietnamese standard TCVN 10304:2014 has been applied for more than a decade but has revealed certain limitations, making it less compatible with modern design requirements and international practices. To overcome these shortcomings and update advanced calculation methods, the Ministry of Science and Technology issued TCVN 10304:2025 - Design of pile foundations, replacing the 2014 version.

This paper focuses on analyzing and comparing the fundamental changes between the two standards, emphasizing key aspects such as: design approach based on the limit state method, adjustment of reliability factors and structural consequence classes, updated equations for pile bearing capacity using SPT/CPT data, new provisions for long piles and rock-socketed piles, revised settlement formulas for pile groups, as well as stricter requirements for pile load testing and quality control.

The results indicate that TCVN 10304:2025 introduces significant improvements, making it more suitable for domestic construction practices while approaching international standards. These updates are expected to have substantial impacts on the design, construction, and quality management of RC pile foundations in Vietnam, thereby enhancing safety and reliability of structures.

Keywords: RC pile foundation, TCVN 10304:2025, TCVN 10304:2014, bearing capacity, pile group settlement, RDSuite software.

1. GIỚI THIỆU

Móng cọc BTCT là một trong những giải pháp nền móng phổ biến và hiệu quả, được áp dụng rộng rãi trong các công trình dân dụng, công nghiệp và hạ tầng tại Việt Nam. Với khả năng truyền tải

trọng công trình xuống các lớp đất, đá có sức chịu tải tốt, móng cọc BTCT giữ vai trò then chốt trong việc đảm bảo sự ổn định và an toàn lâu dài cho công trình. Tuy nhiên, sự phức tạp của điều kiện địa chất - thủy văn ở nước ta cùng với sự phát triển ngày càng lớn về quy mô,

tải trọng và độ cao công trình đã đặt ra nhiều thách thức cho công tác thiết kế và thi công móng cọc.

Tiêu chuẩn TCVN 10304:2014 - Thiết kế móng cọc đã được sử dụng trong hơn một thập kỷ qua, tạo cơ sở pháp lý và kỹ thuật cho thiết kế móng cọc BTCT. Dù vậy, qua thực tiễn áp dụng, TC này bộc lộ một số hạn chế, đặc biệt trong việc đánh giá sức chịu tải cọc ở các điều kiện địa chất đặc thù, tính toán độ lún nhóm cọc, cũng như cập nhật các phương pháp khảo sát và thử tải tiên tiến.

Trước nhu cầu cấp thiết đó, Bộ Khoa học và Công nghệ đã ban hành TCVN 10304:2025 - Thiết kế móng cọc, thay thế cho tiêu chuẩn năm 2014. Phiên bản mới không chỉ kế thừa các nguyên tắc cơ bản mà còn có nhiều cập nhật quan trọng: tiếp cận theo phương pháp trạng thái giới hạn, điều chỉnh hệ số độ tin cậy và phân cấp công trình, bổ sung phương pháp xác định sức chịu tải dựa trên thí nghiệm xuyên tiêu chuẩn (SPT) và xuyên tĩnh (CPT), quy định rõ hơn về thử tải cọc, đồng thời mở rộng phạm vi áp dụng cho nhiều loại cọc và điều kiện địa chất phức tạp hơn. Những thay đổi này hứa hẹn

góp phần nâng cao chất lượng thiết kế và tính bền vững của công trình xây dựng tại Việt Nam.

Trong bối cảnh đó, bài báo này tập trung khảo sát, so sánh và phân tích những thay đổi quan trọng của kết cấu móng cọc BTCT theo hai tiêu chuẩn TCVN 10304:2014 (TC cũ) và TCVN 10304:2025 (TC mới), nhằm làm rõ tác động của các cập nhật mới đối với thiết kế, thi công và kiểm soát chất lượng móng cọc. Kết quả nghiên cứu sẽ cung cấp cơ sở tham khảo hữu ích cho các kỹ sư thiết kế, nhà quản lý và đơn vị thi công trong việc áp dụng tiêu chuẩn mới một cách hiệu quả, đồng thời góp phần định hướng phát triển các nghiên cứu tiếp theo về nền móng công trình ở Việt Nam.

2. MỘT SỐ ĐIỂM THAY ĐỔI MỚI CỦA TCVN 10304:2025 [1]

Trong giới hạn khuôn khổ của bài báo, các thay đổi chính giữa 2 tiêu chuẩn được trình bày tóm tắt từ bảng 1 đến bảng 5 như sau:

2.1. Tính sức chịu tải của cọc theo đất nền

Bảng 1. So sánh một số phương pháp tính sức chịu tải của cọc theo đất nền

TCVN 10304-2025 [1]			TCVN 10304-2014 [2]			Nhận xét																															
1.Phương pháp tra bảng (QP) cọc chống (mục 7.2.1) - Theo 7.2.1.1 của tiêu chuẩn, đối với cọc nhồi, cọc khoan và cọc-ống nhồi bê tông tựa lên đá không phong hóa (không có lớp đá yếu) khi $L_d < 0,5$ m, q_b cần được xác định theo công thức: $q_b = R_m=R_{c,m,n}/ \gamma_g$ $R_m = R_C \cdot K_S ; R_{C,m,n} = R_{C,n} \cdot K_S$			Mục 7.2 - Theo 7.2.1 của tiêu chuẩn, đối với cọc nhồi, cọc khoan và cọc-ống nhồi bê tông tựa lên đá không phong hóa (không có lớp đá yếu) khi $L_d < 0,5$ m, q_b cần được xác định theo công thức: $q_b = R_m=R_{c,m,n}/ \gamma_g$ $R_m = R_C \cdot K_S ; R_{C,m,n} = R_{C,n} \cdot K_S$			- Theo bảng Sức kháng mũi tăng đáng kể đối với 2 loại đá: loại nứt nẻ rất mạnh tiêu chuẩn mới cho lấy cận dưới 0,22 (cũ 0,15) và loại nứt nẻ đặc biệt mạnh là 0,22 (cũ lấy trong khoảng 0,05 và 0,15). - q_b theo cả hai tiêu chuẩn đều có cận trên là 20 Mpa, tuy nhiên theo tiêu chuẩn mới có thêm cận dưới là q_b của đất hòn lớn quy định trong điều 7.2.3.2.																															
<table><tr><th>Mức độ nứt nẻ</th><th>Chỉ số chất lượng đá RQD, %</th><th>Giá trị Ks</th></tr><tr><td>1. Nứt nẻ yếu</td><td>> 90 và < 100</td><td>1,00</td></tr><tr><td>2. Nứt nẻ vừa</td><td>≥ 75 và ≤ 90</td><td>≥ 0,60 và < 1,00</td></tr><tr><td>3. Nứt nẻ mạnh</td><td>≥ 50 và < 75</td><td>> 0,32 và <0,60</td></tr><tr><td>4. Nứt nẻ rất mạnh</td><td>≥ 25 và < 50</td><td>> 0,22 và ≤ 0,32</td></tr><tr><td>5. Nứt nẻ đặc biệt mạnh</td><td>≥ 0 và < 25</td><td>0,22</td></tr></table> - Trong mọi trường hợp, giá trị q_b lấy không lớn hơn 20 000 kPa và không nhỏ hơn giá trị sức kháng đơn vị dưới mũi cọc đối với đất hòn lớn lẫn cát có góc ma sát trong theo 7.2.3.2.	Mức độ nứt nẻ	Chỉ số chất lượng đá RQD, %	Giá trị Ks	1. Nứt nẻ yếu	> 90 và < 100		1,00	2. Nứt nẻ vừa	≥ 75 và ≤ 90	≥ 0,60 và < 1,00	3. Nứt nẻ mạnh	≥ 50 và < 75	> 0,32 và <0,60	4. Nứt nẻ rất mạnh	≥ 25 và < 50	> 0,22 và ≤ 0,32	5. Nứt nẻ đặc biệt mạnh	≥ 0 và < 25	0,22	<table><tr><th>Mức độ nứt nẻ</th><th>Chỉ số chất lượng đá RQD, %</th><th>Giá trị Ks</th></tr><tr><td>1. Nứt nẻ yếu</td><td>> 90 và < 100</td><td>1,00</td></tr><tr><td>2. Nứt nẻ vừa</td><td>≥ 75 và ≤ 90</td><td>≥ 0,60 và < 1,00</td></tr><tr><td>3. Nứt nẻ mạnh</td><td>≥ 50 và < 75</td><td>> 0,32 và <0,60</td></tr><tr><td>4. Nứt nẻ rất mạnh</td><td>≥ 25 và < 50</td><td>> 0,15 và ≤0,32</td></tr><tr><td>5. Nứt nẻ đặc biệt mạnh</td><td>≥ 0 và < 25</td><td>≥ 0,05 và < 0,15</td></tr></table> - Trong mọi trường hợp, giá trị q_b lấy không lớn hơn 20 000 kPa.	Mức độ nứt nẻ	Chỉ số chất lượng đá RQD, %	Giá trị Ks	1. Nứt nẻ yếu	> 90 và < 100	1,00	2. Nứt nẻ vừa	≥ 75 và ≤ 90	≥ 0,60 và < 1,00	3. Nứt nẻ mạnh	≥ 50 và < 75	> 0,32 và <0,60	4. Nứt nẻ rất mạnh	≥ 25 và < 50	> 0,15 và ≤0,32	5. Nứt nẻ đặc biệt mạnh	≥ 0 và < 25
Mức độ nứt nẻ	Chỉ số chất lượng đá RQD, %	Giá trị Ks																																			
1. Nứt nẻ yếu	> 90 và < 100	1,00																																			
2. Nứt nẻ vừa	≥ 75 và ≤ 90	≥ 0,60 và < 1,00																																			
3. Nứt nẻ mạnh	≥ 50 và < 75	> 0,32 và <0,60																																			
4. Nứt nẻ rất mạnh	≥ 25 và < 50	> 0,22 và ≤ 0,32																																			
5. Nứt nẻ đặc biệt mạnh	≥ 0 và < 25	0,22																																			
Mức độ nứt nẻ	Chỉ số chất lượng đá RQD, %	Giá trị Ks																																			
1. Nứt nẻ yếu	> 90 và < 100	1,00																																			
2. Nứt nẻ vừa	≥ 75 và ≤ 90	≥ 0,60 và < 1,00																																			
3. Nứt nẻ mạnh	≥ 50 và < 75	> 0,32 và <0,60																																			
4. Nứt nẻ rất mạnh	≥ 25 và < 50	> 0,15 và ≤0,32																																			
5. Nứt nẻ đặc biệt mạnh	≥ 0 và < 25	≥ 0,05 và < 0,15																																			
2. Phương pháp tra bảng (QP) cọc ma sát (mục 7.2.2) $R_k=\gamma_c(\gamma_{R,R}q_bA+u\sum\gamma_{R,i}f_i.h_i)$			Mục 7.2.2 $R_{c,u}=\gamma_c(\gamma_{c,q}q_bA+u\sum\gamma_{c,f,i}.l_i)$			* Cọc đóng ép - Tra q_b và f_i với thêm độ sâu cọc 40m và lớn hơn. - Cát mịn, cát bụi trạng thái chặt q_b được tăng thêm 130% vs. 100% và 75% vs. 60% so với phiên bản 2014 tùy theo độ tin cậy của phương pháp xác định độ chặt của đất; - Hệ số độ tin cậy cho phần sức kháng mũi, sức kháng bên (Bảng 5 TC mới và bảng 4 TC cũ) tương đồng. * Cọc khoan nhồi - Bảng tra, công thức tính q_b và f_i tương đồng; - Hệ số điều kiện làm việc có thay đổi một chút về điều kiện độ bão hòa; - Hệ số độ tin cậy cho phần sức kháng mũi được làm chi tiết cho cọc mở rộng mũi:																															

		- Hệ số độ tin cậy cho sức kháng bên được tăng lên đối với cọc đóng nhồi (1.0 và 0.8) và cọc ép nhồi, cọc barrette (0.6 và 0.5), bổ sung thêm 1 số công nghệ thi công mới. - Theo bảng 5 TC mới và bảng 4 TC cũ thì hệ số làm việc của đất quanh thân cọc và mũi cọc ép là giống nhau. Cọc nhồi có khác nhau (Bảng 6 TC mới và bảng 5 TC cũ), TC mới bổ sung thêm 1 số trường hợp công nghệ thi công khác.																																																																				
3. Phương pháp tính theo SPT Nhật Bản (phụ lục D) $R_k=R_{u,b}+R_{u,f}$ $R_{u,f}=R_{u,fs}+R_{u,fc}$ $R_{u,b}=q_bAR_{u,fs}=f_sL_su$ $R_{u,fc}=f_cL_cu$	Phụ lục G mục G3.2 $R_{c,u}=q_bA+u\sum (f_{c,i}L_{c,i}+f_{s,i}L_{s,i})$	- Sức kháng mũi và ma sát bên đều có giá trị cận trên $q_b^{max}, f_s^{max}, f_c^{max}$, sức chịu tải cọc giảm; - Sức kháng mũi trong đất dính của cọc khoan nhồi tăng khá nhiều (150 N vs. $6c_u = 37,5$ N) trong khi đó cọc đóng, ép giảm ($9c_u$ vs. $6c_u$); - Ma sát bên trong đất rời giảm đối với cả cọc khoan nhồi và cọc đóng, ép lần lượt là 2,5N và 2,0N so với 3,33N của phiên bản 2014; - Ma sát bên trong đất dính lấy bằng $1c_u$ và $0.8c_u$, đơn giản hơn tiêu chuẩn cũ $a_p f_L c_u$ và phải tra đồ thị.																																																																				
<table><tr><th rowspan="2">Loại cọc</th><th colspan="3">Sức kháng mũi (kPa)</th></tr><tr><th>q_b Rời</th><th>q_b Dính</th><th>q_b^{max}</th></tr><tr><td>Khoan nhồi</td><td>150 N</td><td>150 N</td><td>9000</td></tr><tr><td>Đóng, ép</td><td>300 N</td><td>$9c_u$</td><td>18</td></tr></table> <table><tr><th rowspan="2">Loại cọc</th><th colspan="4">Ma sát bên</th></tr><tr><th>f_s Rời</th><th>f_s^{max}</th><th>f_c Dính</th><th>f_c^{max}</th></tr><tr><td>Khoan nhồi</td><td>2,5N</td><td>125</td><td>c_u</td><td>125</td></tr><tr><td>Đóng, ép</td><td>2,0N</td><td>100</td><td>$0,8c_u$</td><td>100</td></tr></table>	Loại cọc	Sức kháng mũi (kPa)			q_b Rời	q_b Dính	q_b^{max}	Khoan nhồi	150 N	150 N	9000	Đóng, ép	300 N	$9c_u$	18	Loại cọc	Ma sát bên				f_s Rời	f_s^{max}	f_c Dính	f_c^{max}	Khoan nhồi	2,5N	125	c_u	125	Đóng, ép	2,0N	100	$0,8c_u$	100	<table><tr><th rowspan="2">Loại cọc</th><th colspan="3">Sức kháng mũi</th></tr><tr><th>q_b Rời</th><th>q_b Dính</th><th>q_b^{max}</th></tr><tr><td>Khoan nhồi</td><td>150 N</td><td>$6c_u$</td><td>-</td></tr><tr><td>Đóng, ép</td><td>300 N</td><td>$9c_u$</td><td>-</td></tr></table> <table><tr><th rowspan="2">Loại cọc</th><th colspan="4">Ma sát bên</th></tr><tr><th>f_s Rời</th><th>f_s^{max}</th><th>f_c Dính</th><th>f_c^{max}</th></tr><tr><td>Khoan nhồi</td><td>10N/3</td><td>-</td><td>$a_p f_L c_u$</td><td>-</td></tr><tr><td>Đóng, ép</td><td>10N/3</td><td>-</td><td>$a_p c_u$</td><td>-</td></tr></table>	Loại cọc	Sức kháng mũi			q_b Rời	q_b Dính	q_b^{max}	Khoan nhồi	150 N	$6c_u$	-	Đóng, ép	300 N	$9c_u$	-	Loại cọc	Ma sát bên				f_s Rời	f_s^{max}	f_c Dính	f_c^{max}	Khoan nhồi	10N/3	-	$a_p f_L c_u$	-	Đóng, ép	10N/3	-	$a_p c_u$	-	
Loại cọc		Sức kháng mũi (kPa)																																																																				
	q_b Rời	q_b Dính	q_b^{max}																																																																			
Khoan nhồi	150 N	150 N	9000																																																																			
Đóng, ép	300 N	$9c_u$	18																																																																			
Loại cọc	Ma sát bên																																																																					
	f_s Rời	f_s^{max}	f_c Dính	f_c^{max}																																																																		
Khoan nhồi	2,5N	125	c_u	125																																																																		
Đóng, ép	2,0N	100	$0,8c_u$	100																																																																		
Loại cọc	Sức kháng mũi																																																																					
	q_b Rời	q_b Dính	q_b^{max}																																																																			
Khoan nhồi	150 N	$6c_u$	-																																																																			
Đóng, ép	300 N	$9c_u$	-																																																																			
Loại cọc	Ma sát bên																																																																					
	f_s Rời	f_s^{max}	f_c Dính	f_c^{max}																																																																		
Khoan nhồi	10N/3	-	$a_p f_L c_u$	-																																																																		
Đóng, ép	10N/3	-	$a_p c_u$	-																																																																		
4. Phương pháp tính theo CPT (mục 7.3.4) $R_k=r_c(R_sA+f_s.u.h)$ $R_s=\beta_1.q_s$ $f_s=\beta_2.f_s$ (đầu xuyên cơ). $f=(\sum \beta_i.f_{s,i}.h_i)/h$ (đầu xuyên điện). r_c hệ số độ tin cậy của đất lấy bằng 1. β_1 hệ số chuyển đổi từ q_s sang R_s; β_2 và β_1 hệ số chuyển đổi lấy theo bảng 16 với cọc đóng và bảng 17 với cọc nhồi.	Phụ lục G mục G.4 $R_{c,u}=q_bA_b+u\sum f_i.l_i$ $q_b=k.q_c$ $f_i=q_{c,i}/\alpha_i$ k hệ số chuyển đổi từ kháng xuyên thành sức kháng mũi; α_i hệ số chuyển đổi lấy từ sức kháng xuyên sang sức kháng trên thân tra bảng (QP) G2.	- Phương pháp tính sức chịu tải theo thí nghiệm CPT được cập nhật hoàn toàn mới. Công thức tính dựa trên hai chỉ số sức kháng mũi q_c và sức kháng ma sát bên f_s. Trong khi đó, phiên bản 2014 áp dụng công thức chuyển đổi từ q_c sang sức kháng ma sát thành bên của cọc bằng hệ số tương quan α. - Phương pháp tính mới này có độ tin cậy cao hơn thể hiện qua hệ số độ tin cậy $\gamma_k = 1,25$ chỉ lớn hơn một chút so với phương pháp nén tĩnh.																																																																				
<table><tr><th rowspan="2">Sức kháng q_c</th><th colspan="2">β_1</th><th rowspan="2">Sức kháng $f_s, f_{s,i}$</th><th colspan="2">β_2</th></tr><tr><th>Cọc đóng</th><th>Cọc vít nén</th><th>Đất cát</th><th>Đất sét</th></tr><tr><td><1000</td><td>0,9</td><td>0,5</td><td>20</td><td>2,4</td><td>1,5</td></tr><tr><td>2500</td><td>0,80</td><td>0,45</td><td>40</td><td>1,65</td><td>1,0</td></tr></table>	Sức kháng q_c	β_1		Sức kháng $f_s, f_{s,i}$	β_2		Cọc đóng	Cọc vít nén	Đất cát	Đất sét	<1000	0,9	0,5	20	2,4	1,5	2500	0,80	0,45	40	1,65	1,0	<table><tr><th rowspan="2">Loại đất</th><th rowspan="2">q_c</th><th colspan="2">k</th><th colspan="2">a</th></tr><tr><th>Cọc nhồi</th><th>Cọc đóng</th><th>Cọc nhồi</th><th>Cọc đóng</th></tr><tr><td>Đất dính cứng</td><td>>5000</td><td>0,45</td><td>0,55</td><td>60</td><td>60</td></tr><tr><td>Cát chặt vừa</td><td>2500-10000</td><td>0,4</td><td>0,5</td><td>180</td><td>250</td></tr></table>	Loại đất	q_c	k		a		Cọc nhồi	Cọc đóng	Cọc nhồi	Cọc đóng	Đất dính cứng	>5000	0,45	0,55	60	60	Cát chặt vừa	2500-10000	0,4	0,5	180	250	5. Các phương pháp khác: Công thức Meyerhof, tính theo cường độ đất nền (Không có)	Phụ lục G mục G.2 và G3	- Bỏ công thức tính theo Meyerhof do độ chính xác kém trong điều kiện Việt Nam. - Bổ sung thêm phương pháp tính cho cọc ống thép, cọc liên hợp.																						
Sức kháng q_c		β_1			Sức kháng $f_s, f_{s,i}$	β_2																																																																
	Cọc đóng	Cọc vít nén	Đất cát	Đất sét																																																																		
<1000	0,9	0,5	20	2,4	1,5																																																																	
2500	0,80	0,45	40	1,65	1,0																																																																	
Loại đất	q_c	k		a																																																																		
		Cọc nhồi	Cọc đóng	Cọc nhồi	Cọc đóng																																																																	
Đất dính cứng	>5000	0,45	0,55	60	60																																																																	
Cát chặt vừa	2500-10000	0,4	0,5	180	250																																																																	

2.2. Sức chịu tải của cọc trong vùng động đất

Bảng 2. So sánh sức chịu tải của cọc theo đất nền trong vùng có động đất

TCVN 10304-2025 [1]	TCVN 10304-2014 [2]	Nhận xét
1. Điều kiện áp dụng (mục 12) $0,1g \leq (a_{gR} \cdot S) \leq 0,4g$ $(S$ là hệ số nền lấy theo TCVN 9386-2012)	Mục 12 Lấy theo quy định TCVN 9386-2012	- Xét cả ảnh hưởng của địa chất đất nền qua tích $a_{gR} S$
2. Hệ số giảm sức chịu tải (mục 12.6) Sức chịu tải của cọc chịu tải trọng nén hoặc kéo $R_{k,eq}$ giá trị q_b và f_i (xem 7.2) cần được nhân với các hệ số điều kiện làm việc giảm của đất nền	Mục 12.3 Sức chịu tải của cọc chịu tải trọng nén hoặc kéo $R_{cu,eq}$ giá trị q_b và f_i (xem 7.2) cần được nhân với các hệ số điều kiện làm việc giảm của đất	- Các hệ số điều kiện làm việc giảm của đất nền γ_{eq1} và γ_{eq2} theo 2 TC lấy giống nhau, tuy nhiên bảng tra theo TC mới tra theo $a_{gR} S$ nên có thể

γ_{eq1} và γ_{eq2} Tính γ_{eq1}							nền γ_{eq1} và γ_{eq2} Tính γ_{eq1}							nội suy tuyến tính giữa các tích $a_{gR} S$, còn TC cũ tra theo cấp động đất 7,8,9 và không kể đến ảnh hưởng của loại đất nền.
$a_{gR} S$	Cát chặt		Cát chặt vừa		Loại sét có I_L		Cấp	Cát chặt		Cát chặt vừa		Loại sét có I_L		
	Ít ẩm, ẩm	Bão hòa	Ít ẩm, ẩm	Bão hòa	$I_L < 0$	$0 \leq I_L \leq 0,5$		Ít ẩm, ẩm	Bão hòa	Ít ẩm, ẩm	Bão hòa	$I_L < 0$	$0 \leq I_L \leq 0,5$	
0,1g	1,00 0,90	0,90 0,50	0,95 0,85	0,80 0,40	1,0 1,0	0,95 0,90	7	1,00 0,90	0,90 0,50	0,95 0,85	0,80 0,40	1,0 1,0	0,95 0,9	
0,2g	0,9 0,8	0,80 0,40	0,85 0,75	0,70 0,35	0,95 0,95	0,90 0,80	8	0,9 0,8	0,80 0,40	0,85 0,75	0,70 0,35	0,95 0,95	0,90 0,80	
0,4g	0,80 0,70	0,70 0,35	0,75 0,60	-	0,90 0,85	0,80 0,70	9	0,80 0,70	0,70 0,35	0,75 0,60	-	0,90 0,85	0,80 0,70	
Tính γ_{eq2}							Tính γ_{eq2}							
$a_{gR} S$	Cát		Sét			Cấp	Cát		Sét					
	Ít ẩm, ẩm	Bão hòa	$I_L < 0$	$0 \leq I_L \leq 0,75$	$0,75 \leq I_L \leq 1$		Ít ẩm, ẩm	Bão hòa	$I_L < 0$	$0 \leq I_L \leq 0,75$	$0,75 \leq I_L \leq 1$			
0,1g	0,95 0,85	0,90 0,50	0,95 0,90	0,85 0,80	0,75 0,75	7	0,95 0,85	0,90 0,50	0,95 0,90	0,85 0,80	0,75 0,75			
0,2g	0,85 0,75	0,80 0,40	0,90 0,80	0,80 0,70	0,70 0,65	8	0,85 0,75	0,80 0,40	0,90 0,80	0,80 0,70	0,70 0,65			
0,4g	0,75 0,65	0,70 0,35	0,85 0,65	0,70 0,60	0,60 0,40	9	0,75 0,65	0,70 0,35	0,85 0,65	0,70 0,60	0,60 0,40			
3. Chiều sâu đất hóa lỏng $f=0$ (Mục 12.7) Chiều sâu h_d không xét sức kháng đơn vị của đất trên mặt bên thân cọc và lấy không lớn hơn $3/\alpha_c$ $h_d = \frac{a_1(H + \alpha_c a_3 M)}{b_p(a_2 / \alpha_c \gamma_1 \tan \phi_1 + c_1)}$							(Mục 12.4) Chiều sâu h_d không xét sức kháng đơn vị của đất trên mặt bên thân cọc và lấy không lớn hơn $3/\alpha_c$ $h_d = \frac{a_1(H + \alpha_c a_3 M)}{b_p(a_2 / \alpha_c \gamma_1 \tan \phi_1 + c_1)}$							Công thức giống nhau

2.3. Thí nghiệm nén tĩnh cọc

Bảng 3. Thí nghiệm nén tĩnh cọc

TCVN 10304-2025 [1]	TCVN 10304-2014[2]	Nhận xét
1. Số lượng cọc thí nghiệm (Phụ lục F) - Công trình cấp C2 : 1% và $\geq 2(3^*)$ cọc cho mỗi công trình. - Công trình cấp C3 : 1% và $\geq 3(4^*)$ cọc cho mỗi công trình. 2. Tải trọng nén tĩnh (mục 7.2.3) $P_{tn} \geq 1,5R_k \approx (1,875 \sim 2,25) R_d$ 3. Lún của cọc $s = \zeta \cdot s_{ult}$ và nhỏ hơn 40 mm s_{ult} độ lún giới hạn trung bình tra phụ lục E. ζ bằng 0,35 cho cát, sét cứng; 0,20 với đất chảy. Ghi chú: Xuất bản lần 2 trên mạng đang có 2 phiên bản, giá trị (*) là giá trị lấy trong phiên bản khác của tiêu chuẩn.	Phụ lục D - 1% và ≥ 2 cọc cho mỗi công trình $P_{tn} = (1,75 \times 1,15) \times R_{cd}$ - $S = \xi \cdot S_{n\text{trk}}$ và nhỏ hơn 40 mm ξ lấy bằng 0,2	- Số lượng cọc thí nghiệm phụ thuộc vào cấp hậu quả công trình, $\geq 2(3^*)$ cho công trình cấp C2 và $\geq 3(4^*)$ cho công trình cấp C3; Hiện có - Tải trọng nén tĩnh lớn nhất được khuyến cáo từ 1,0~1,5 R_k . - Độ lún giới hạn của cọc được tính độ lún giới hạn của công trình với hệ số phụ thuộc vào đất nền tựa mũi cọc và không bao gồm biến dạng đàn hồi của cọc.

2.4. Kiểm tra cọc

Bảng 4. Kiểm tra phân lực của cọc

TCVN 10304-2025 [1]	TCVN 10304-2014 [2]	Nhận xét
1. Khi chịu nén $\gamma_n \cdot N_d \leq R_d = R_k / \gamma_k$	$N_{c,d} \leq \gamma_0 / \gamma_n R_{cd} ; R_{cd} = R_{ck} / \gamma_k$	- Hệ số γ_n được lấy đồng bộ với cấp hậu quả công trình C1, C2, C3 lần lượt là 1;1,15;1,20 (lớn hơn TCVN 2737:2023). - Bỏ hệ số đồng nhất γ_0 (tăng độ an toàn lên 1,15 lần).

		- Hệ số γ_k theo tiêu chuẩn mới chỉ phụ thuộc vào phương pháp xác định SCT, không phụ thuộc vào số lượng cọc trong đài. - Sức chịu tải của cọc biên khi chịu tải gió và cầu trục tăng thêm 20%. - Tải trọng tính toán tác dụng lên cọc N_d có xét đến trọng lượng bản thân của cọc và hệ số độ tin cậy của nó theo TCVN 2337:2023, $\gamma_k = 1,1$ (vật liệu bê tông).
2. Khi chịu kéo $\gamma_n \cdot N_d \leq R_d = R_k / \gamma_k$ Trong đó γ_k xác định phụ thuộc số lượng cọc trong đài: Từ 21 cọc trở lên: 1,4 (1,25); Từ 11 cọc đến 20 cọc: 1,55 (1,4); Từ 6 cọc đến 10 cọc: 1,65 (1,5); Từ 1 cọc đến 5 cọc: 1,75 (1,6).	$N_{t,d} \leq \gamma_0 / \gamma_n R_{td} ; R_{td} = R_{tk} / \gamma_k$ Từ 21 cọc trở lên: 1,4 (1,25); Từ 11 cọc đến 20 cọc: 1,55 (1,4); Từ 6 cọc đến 10 cọc: 1,65 (1,5); Từ 1 cọc đến 5 cọc: 1,75 (1,6).	- Hệ số γ_k theo cả 2 TC giống nhau
3. Lún của cọc (Mục 7.4.2) - Lún móng 1 cọc (Lún cọc đơn): cho 2 trường hợp cọc ma sát dài và cọc tựa lên đất biến dạng nhỏ: $s = \beta \frac{N_{d,SLS}}{G_1 L} \quad (k < 7,5) \quad s = \zeta' \frac{N_{d,SLS}}{G_2 L} \quad (k \geq 7,5)$ - Lún của móng có số cọc nhỏ hơn 25 (nhóm nhỏ): Phải xét ảnh hưởng của ảnh hưởng các cọc j đến cọc xét i $s_i = s(N_{d,SLS,i}) + \sum_{j \neq i} \delta_{ij} \frac{N_{d,SLS,j}}{G_1 L}$ - Lún của bè cọc (nhóm lớn): $s_i = s_{ef} + \Delta s_p + \Delta s_c$ (gồm lún móng quy ước, lún bổ sung và lún đàn hồi cọc)	Phụ lục B - Tính theo công thức Vesic (1977): $s = \frac{D}{100} + \frac{QL}{AE} \quad s_g = \sqrt{B_g / D} \times s$ - Tính với móng khối quy ước - Không để cập nên chỉ tính như móng khối quy ước	- Chỉ dẫn cụ thể việc tính lún cho cọc đơn, nhóm cọc nhỏ, nhóm cọc lớn (móng khối quy ước), nhóm bè cọc; - Phương pháp tính tương đồng với bản năm 2014, riêng phương pháp móng khối quy ước có bổ sung thêm thành phần biến dạng đàn hồi của cọc và phần lún do cọc xuyên thêm vào đất. Một số mô hình móng khối quy ước bổ sung trong bản 2014 bị loại bỏ; - Bổ phương pháp tính lún theo công thức thực hành Vesic; - Bổ sung thêm độ lún giới hạn của công trình hiện hữu khi bị ảnh hưởng của công trình xây dựng mới.

2.5. Một số vấn đề về cấu tạo đài cọc

Bảng 5. Cấu tạo đài cọc

TCVN 10304-2025 [1]	TCVN 10304-2014 [2]	Nhận xét
1. Khoảng cách cọc (Mục 8) - KC giữa các trục của cọc ma sát (đóng và ép) không được nhỏ 3d, còn đối với cọc chống - không nhỏ hơn 1,5d. - KC thông thủy giữa thân các cọc nhồi không được nhỏ hơn 1,0 m. 2. Mũi cọc - Mũi cọc đóng hạ vào trong đất được chọn làm nền cọc phải là đất hòn lớn, lẫn sỏi sạn, cát hạt thô và đất loại sét có chỉ số chảy $I_L < 0,1$ không nhỏ hơn 0,5 m và các loại đất (rời và dính) khác là 1 m. 3. Liên kết cọc đài - LK tựa tự do của đài cọc lên cọc được quy ước trong tính toán là LK khớp thì đầu cọc phải được cắm sâu vào đài cọc một đoạn 5-10 cm - Khi cọc BTCT LK cứng với đài cọc, đầu cọc phải ngàm vào đài cọc với chiều dài neo cốt thép phù hợp với TCVN 5574-2018.		- Khoảng cách giữa các cọc khoan nhồi $D \geq 0,5$ m giảm giúp cho việc bố trí cọc cho nhà cao tầng, công trình có tải trọng lớn trở nên dễ dàng hơn. - Cơ bản giống nhau, chỉ khác là phần tính chọc thủng đài cọc TC mới tương thích với TCVN 5574-2018 nên có thể xét đến ảnh hưởng của mômen.

3. KHẢO SÁT SỰ THAY ĐỔI CỦA SỨC CHỊU TẢI CỦA CỌC

Mục đích thông qua khảo sát 5 công trình và địa chất thực tế được thiết kế xây dựng tại một số địa phương (Hà Nội, Hải Phòng, Sơn La, Vĩnh Phúc (cũ) và Hải Dương (cũ), khảo sát sự thay đổi của sức chịu tải của cọc theo phương pháp thống kê và phương pháp SPT, so sánh giữa 2 TC cũ và mới để rút ra được các khuyến cáo cần thiết.

3.1. Công trình tòa nhà cao tầng tại Hà Nội (Cấp I - cấp hậu quả C3)

(Địa chất công trình sâu hơn 40 m thì gặp sỏi, có lớp cát dày 24 m và $N_{30}=18$)

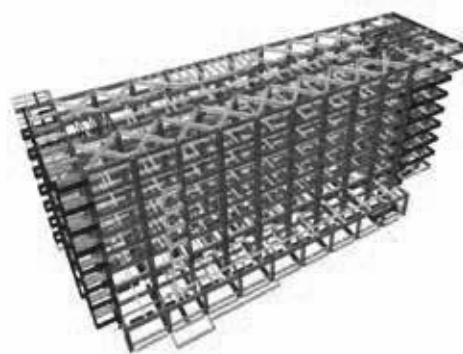
Tiết diện	Chiều dài (1)	QP 2025 (2)	QP 2014 (3)	Chênh lệch (2)-(3) (4)	SPT 2025 (5)	SPT 2014 (6)	Chênh lệch (5)-(6) (7)	QP(2)-SPT(5) (8)
200	20	108.8	77	29.23%	77.00	118.00	-34.75%	41.30%
250	25	197	142	27.92%	169.00	232.00	-27.16%	16.57%
300	27	344.7	273	20.80%	256.20	343.00	-25.31%	34.54%
350	27	430	293	31.86%	325.00	427.00	-23.89%	32.31%
400	27	524.7	307	41.49%	402.00	518.00	-22.39%	30.52%
500	27	579.1	329	43.19%	453.20	567.00	-20.07%	27.78%
600	27	771.7	427	44.67%	614.00	752.00	-18.35%	25.68%
800	36	1445	1038	28.17%	1169.00	1651.00	-29.19%	23.61%
1000	43	2290.2	1674	26.91%	1942.00	3033.00	-35.97%	17.93%
Trung bình				32.69%			-26.34%	27.80%



3.2. Công trình bệnh viện tại Hải Dương (cũ) (Cấp I - cấp hậu quả C2)

(Địa chất công trình sâu hơn 54 m thì gặp cát chặt, có lớp sét chảy dày 25,5 m và $N_{30}=3$)

Tiết diện	Chiều dài (1)	QP 2025 (2)	QP 2014 (3)	Chênh lệch (2)-(3) (4)	SPT 2025 (5)	SPT 2014 (6)	Chênh lệch (5)-(6) (7)	QP(2)-SPT(5) (8)
200		-	-	-	-	-	-	
250	30	93.1	89	4.40%	100.00	105.00	-4.76%	-6.90%
300	38	159	127	20.13%	242.50	261.00	-7.09%	-34.43%
350	38	197.7	156	21.09%	298.60	330.00	-9.52%	-33.79%
400	38	240	166	30.83%	359.30	403.00	-10.84%	-33.20%
500	41	298.8	198	33.73%	416.00	487.00	-14.58%	-28.17%
600	41	391.8	251	35.94%	542.00	633.00	-14.38%	-27.71%
800	54	820.4	596	27.35%	1144.00	1220.20	-6.24%	-28.29%
1000	54	1126	810	28.06%	1514.00	1631.00	-7.17%	-25.63%
Trung bình				25.19%			-9.32%	-27.27%



3.3. Công trình trụ sở tại Vĩnh Bảo - Hải Phòng (Cấp 2 - cấp hậu quả C2)

(Địa chất công trình sâu hơn 55 m thì gặp cát chặt, và có nhiều lớp sét chảy dày 4-5 m có $N_{30}=3-6$)

Tiết diện	Chiều dài (1)	QP 2025 (2)	QP 2014 (3)	Chênh lệch (2)-(3) (4)	SPT 2025 (5)	SPT 2014 (6)	Chênh lệch (5)-(6) (7)	QP(2)-SPT(5) (8)
200		-	-	-	-	-	-	
250	30	93.1	89	4.40%	100.00	105.00	-4.76%	-6.90%
300	38	159	127	20.13%	242.50	261.00	-7.09%	-34.43%
350	38	197.7	156	21.09%	298.60	330.00	-9.52%	-33.79%
400	38	240	166	30.83%	359.30	403.00	-10.84%	-33.20%
500	41	298.8	198	33.73%	416.00	487.00	-14.58%	-28.17%
600	41	391.8	251	35.94%	542.00	633.00	-14.38%	-27.71%
800	54	820.4	596	27.35%	1144.00	1220.20	-6.24%	-28.29%
1000	54	1126	810	28.06%	1514.00	1631.00	-7.17%	-25.63%
Trung bình				25.19%			-9.32%	-27.27%



3.4. Công trình nhà ở xã hội tại Phú Thọ (Cấp 2 - cấp hậu quả C2)

(Địa chất công trình sâu hơn 20 m thì gặp cát chặt, có nhiều lớp sét dẻo cứng dày 3-5 m và $N_{30}=7-12$)

Tiết diện	Chiều dài (1)	QP 2025 (2)	QP 2014 (3)	Chênh lệch (2)-(3) (4)	SPT 2025 (5)	SPT 2014 (6)	Chênh lệch (5)-(6) (7)	QP(2)-SPT(5) (8)
200	21	87.8	77	12.30%	131.00	138.00	5.07%	-32.98%
250	21	116.6	100	14.24%	174.00	189.00	-7.94%	-32.99%
300	21	148.2	136	8.23%	222.00	244.00	-9.02%	-33.24%
350	21	182.5	152	16.71%	274.00	303.00	-9.57%	-33.39%
400	21	219.6	164	25.32%	331.00	365.00	-9.32%	-33.66%
500	21	237.2	170	28.33%	359.00	393.00	-8.65%	-33.93%
600	40	310.5	216	30.43%	471.00	512.00	-8.01%	-34.08%
800	40	1386.9	1029	25.81%	1266.00	1333.00	-5.03%	9.55%
1000	40	1981.8	1443	27.19%	1677.00	1783.00	-5.95%	18.18%
Trung bình				20.95%			-6.49%	-22.95%



3.5. Trụ sở tại Sơn La (Cấp 1 - cấp hậu quả C2)

(Địa chất công trình sâu hơn 15 m thì gặp đá, có 1 lớp sét dẻo cứng dày 13,5 m và $N_{30}=16$)

Tiết diện	Chiều dài	QP 2025	QP 2014	Chênh lệch (2)-(3)	SPT 2025	SPT 2014	Chênh lệch (5)-(6)	QP(2)-SPT(5)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
200	12	54.2	53	2.21%	80.00	65.00	23.08%	-32.25%
250	12	72.6	70	3.58%	102.00	84.00	21.43%	-28.82%
300	12	93	90	3.23%	123.00	102.00	20.59%	-24.39%
350	12	115	111	3.48%	145.00	121.00	19.83%	-20.69%
400	12	139	117	15.83%	168.00	140.00	20.00%	-17.26%
500	15	411.3	301	26.82%	307.00	364.00	-15.66%	33.97%
600	15	566.4	407	28.14%	394.70	463.00	-14.75%	43.50%
800	15	878	879	-0.11%	382.00	594.00	-35.69%	129.84%
1000	15	1319	1320	-0.08%	479.00	801.00	-40.20%	175.37%
Trung bình				10.11%			-3.06%	36.44%



3.6. Một số nhận xét từ kết quả khảo sát

- Sức chịu tải của cọc theo phương pháp bảng tra (quy phạm) TC mới lớn hơn TC cũ trung bình là 24,24% do TC mới mở rộng độ sâu tra bảng (QP) lên trên 40 m và hệ số điều kiện làm việc $\gamma_{R,R}$, $\gamma_{R,f}$ có thay đổi. Như vậy với cọc có chiều dài lớn hơn 40m thì tính theo TC mới có dự báo chính xác hơn.

- Sức chịu tải của cọc tính theo thí nghiệm SPT thì TC mới nhỏ hơn TC cũ trung bình là -12,24%. Nguyên nhân do TC tính toán ma sát bên và sức kháng mũi đều có cận trên mà tiêu chuẩn cũ không có. Với mũi cọc tựa vào các lớp đất có SPT lớn thì TC mới cũng cho dự báo chính xác hơn.

- Sức chịu tải tính theo phương pháp bảng tra và tính theo thí nghiệm SPT theo tiêu chuẩn mới chênh 0,81%. Với địa chất có các lớp cát dày, thì dự báo theo bảng tra cho kết quả lớn hơn 27,8 %, còn địa chất nhiều lớp sét thì bảng tra lại nhỏ hơn khoảng -22,7%. Như vậy cần lưu ý khi tính toán bằng phương pháp bảng tra.

- Do TC mới bỏ qua hệ số đồng nhất γ_0 và $\gamma_n=1,15$ cho công trình cấp hậu quả C2 nên số lượng cọc trong đài tăng, trọng lượng thép và bê tông cũng tăng theo. Khảo sát với 3 công trình (2), (3) và (5) thì từ bảng 5 so với TC cũ thì theo TC mới số lượng cọc tăng trung bình là 28,24%, thể tích bê tông tăng 25,19% và trọng lượng thép tăng 37,98%.

Bảng 6. So sánh sự thay đổi của móng cọc BTCT theo 2 Tiêu chuẩn

Công trình	Cọc	SL cọc 2025	SL cọc 2014	Chênh lệch (2)-(3)	V Bê tông 2025 (m3)	V Bê tông 2014	Chênh lệch (5)-(6)	TL thép 2025 (Kg)	TL thép 2014	Chênh lệch (8)-(9)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
2. BVĐK	D500,170T	368	198	46.20%	234.07	275.67	-15.09%	14282.52	12941.98	10.36%
3. UBND	D600,400T	53	46	13.21%	74.77	46.31	61.46%	6190.00	3402.00	81.95%
5. TUSL	V350,90T	233	174	25.32%	463.97	359.11	29.20%	50580.42	41581.57	21.64%
Trung bình				28.24%			25.19%			37.98%

KẾT LUẬN

Tiêu chuẩn tải trọng tác động TCVN 10304-2025 đã khắc phục được nhiều hạn chế của tiêu chuẩn TCVN 10304-2014, đồng thời cập nhật các thay đổi trong các tiêu chuẩn quốc tế của SP 446.13330.2019 (Nga), AIJ 2019 (Nhật Bản), đảm bảo hài hòa với tiêu chuẩn châu Âu, cũng như đồng bộ với TCVN 2737-2025 và TCVN 5574-2018. Nghiên cứu đã phân tích và làm rõ một số điểm thay đổi chính giữa 2 tiêu chuẩn TCVN 10304-2025 và TCVN 10304-2014 trong tính toán dự báo sức chịu tải của cọc, kiểm tra phân lực cọc, lún của cọc, cọc thí nghiệm... Kết quả khảo sát số bằng phần mềm Rdsuite cho thấy các dự báo về sức chịu tải của cọc theo tiêu chuẩn mới chính xác hơn, số lượng cọc thí nghiệm đã gần với cấp hậu quả của công trình. Tuy nhiên, TCVN 10304:2025 vẫn khó tránh khỏi một số hạn chế nhất định khi áp dụng trong thực tế, do đó cần có những phiên bản điều chỉnh cập nhật.

Lời cảm ơn: Tác giả xin trân trọng cảm ơn PGS.TS Nguyễn Bảo Việt - Trường Đại học Xây dựng Hà Nội và các thầy, cô trong Khoa Xây dựng Dân dụng và Công nghiệp, Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng đã nhận xét và đóng góp những ý kiến khoa học sâu sắc cho bản thảo bài báo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. TCVN 10304:2025: Móng cọc - Tiêu chuẩn thiết kế, Bộ Khoa học và Công nghệ.
- [2]. TCVN 10304:2014: Móng cọc - Tiêu chuẩn thiết kế, Bộ Khoa học và Công nghệ.
- [3]. TCVN 10304:2023: Tiêu chuẩn tải trọng và tác động, Bộ Khoa học và Công nghệ.
- [4]. TCVN 5574:2018: Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép, Bộ Khoa học và Công nghệ.
- [5]. Vũ Công Ngữ (1982), Tính toán và Thiết kế Móng nông, NXB Khoa học và Kỹ thuật.
- [6]. Phan Hồng Quân (2006), Nền và móng, Nhà xuất bản Giáo dục.
- [7]. Trần Việt Tâm (2025), Rdsuite-Phần mềm phân tích thiết kế kết cấu theo Tiêu chuẩn Việt Nam.
- [8]. Joseph E.Bowles (2006), Foundation Analysis and Design, The McGraw-Hill Companies, Inc.

Tối ưu hóa tiết diện thép tổ hợp nhà công nghiệp bằng các thuật toán metaheuristic tích hợp với SAP2000-OAPI

Optimization of steel sections for industrial buildings using metaheuristic algorithms integrated with SAP2000-OAPI

> KS NGUYỄN DUYÊN THÀNH TRUNG¹, PGS.TS TRƯƠNG ĐÌNH NHẬT^{2,*}, PGS.TS NGUYỄN HỮU ANH TUẤN³, THS LÊ THỊ THÙY LINH⁴

¹HVCH Ngành Kỹ thuật xây dựng, Trường Đại học Kiến trúc TP.HCM; Email: 23xd08@uah.edu.vn

²GV Khoa Xây dựng, Trường Đại học Kiến trúc TP.HCM; *Email: nhat.truongdinh@uah.edu.vn

³GV Khoa Xây dựng, Trường Đại học Kiến trúc TP. HCM; Email: tuan.nguyenhuuanh@uah.edu.vn

⁴GV Khoa Sư phạm Công nghiệp, Đại học Sư phạm Kỹ thuật, Đại học Đà Nẵng; Email: lttlinh@ute.udn.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu này đề xuất một mô hình tối ưu hóa kết cấu thép cho nhà công nghiệp, được xây dựng dựa trên sự kết hợp giữa các thuật toán tối ưu hóa lấy cảm hứng từ tự nhiên và phương pháp phần tử hữu hạn. Khung chương trình đề xuất là sự kết hợp giữa SAP2000-OAPI và MATLAB, cho phép quá trình tối ưu hóa kết cấu được tự động hóa và tuân theo tiêu chuẩn thiết kế Việt Nam TCVN 5575:2024. Sáu thuật toán metaheuristic phổ biến, gồm Artificial Bee Colony (ABC), Particle Swarm Optimization (PSO), Genetic Algorithm (GA), Differential Evolution (DE), Enterprise Development (ED) và Jellyfish Search (JS), đã được khảo sát và so sánh. Kết quả cho thấy thuật toán DE đạt hiệu quả vượt trội với độ chính xác cao, đồng thời đảm bảo các điều kiện ràng buộc về ứng suất, ổn định và chuyển vị. Việc phát triển mô hình dự báo kết hợp thuật toán tối ưu phù hợp không chỉ khẳng định tính hiệu quả của phương pháp đề xuất mà còn tạo nên tăng quan trọng thúc đẩy quá trình tự động hóa và thiết kế thông minh trong lĩnh vực kết cấu thép tại Việt Nam.

Từ khóa: Tối ưu hóa metaheuristic, phương pháp phần tử hữu hạn, thiết kế kết cấu tự động, TCVN 5575-2024.

ABSTRACT

This study proposes an optimization model for steel industrial structures, developed through the integration of nature-inspired optimization algorithms and the finite element method. The proposed framework combines SAP2000-OAPI and MATLAB to enable a fully automated structural optimization process that adheres to the Vietnamese design standard TCVN 5575:2024. Six widely recognized metaheuristic algorithms, namely Artificial Bee Colony (ABC), Particle Swarm Optimization (PSO), Genetic Algorithm (GA), Differential Evolution (DE), Enterprise Development (ED), and Jellyfish Search (JS), were investigated and compared. The results indicate that the DE algorithm exhibits superior performance and high accuracy while satisfying all constraint conditions related to stress, stability, and displacement. The development of a predictive model integrated with an appropriate optimization algorithm not only demonstrates the efficiency of the proposed approach but also establishes a significant foundation for advancing automation and intelligent design in the field of steel structure engineering in Vietnam.

Keywords: Metaheuristic Optimization, finite element method, automated structural design; TCVN 5575-2024.

1. GIỚI THIỆU

Tối ưu hóa chi phí kết cấu là mục tiêu hàng đầu của các kỹ sư kết cấu, đặc biệt trong thiết kế nhà công nghiệp thép tiền chế. Trong thời gian qua, nhiều phương pháp tối ưu hóa khác nhau đã được đề xuất và áp dụng; tuy nhiên, phần lớn các phương pháp này vẫn dựa trên kinh nghiệm thực tiễn hoặc chưa tích hợp đầy đủ các cơ sở toán học hiện đại, dẫn đến việc chưa khai thác tiềm năng của vật liệu

chưa đạt mức hiệu quả tối ưu. Nhằm khắc phục hạn chế này, sự phát triển mạnh mẽ của các thuật toán tối ưu hóa metaheuristic - bao gồm các thuật toán bầy đàn và thuật toán tiến hóa - kết hợp với phương pháp phần tử hữu hạn thông qua giao diện SAP2000-OAPI đã mở ra một hướng tiếp cận khoa học mới.

Trong bối cảnh bộ tiêu chuẩn Việt Nam mới (TCVN 2737:2023 [1] và TCVN 5575:2024 [2]) vừa được ban hành, việc áp dụng các tiêu

chuẩn này vào công nghệ tiên tiến vẫn còn là một vấn đề mới. Do đó, nghiên cứu này tập trung vào xây dựng một khung quy trình tối ưu hóa tự động, là kết hợp các thuật toán thông minh với phương pháp phần tử hữu hạn. Các thuật toán thông minh được xây dựng bằng chương trình MATLAB [3] và phương pháp phần tử hữu hạn được xây dựng trên SAP2000-OAPI. Cách tiếp cận tích hợp này cho phép tự động hóa quy trình tối ưu hóa, đồng thời tìm kiếm lời giải tối ưu một cách hệ thống và hiệu quả tính toán cao.

Khung chương trình sẽ được khảo sát bằng các thuật toán tối ưu hóa khác nhau, để tìm ra lý thuyết có thể kết hợp khung chương trình cho kết quả tốt nhất, đây là cơ sở khoa học để các kỹ sư kết cấu tăng năng suất tự động thiết kế công trình.

2. CƠ SỞ KHOA HỌC

2.1. Phương pháp phần tử hữu hạn

Phương pháp phần tử hữu hạn có cập nhật (Finite element model updating) là nền tảng xây dựng mô hình. Phương pháp mới này tạo nên một khung chương trình kết cấu được thay đổi liên tục dựa trên vòng lặp tương tác giữa MATLAB và SAP2000 nhằm tạo ra các giải pháp tối ưu nhất thay vì các mô hình tĩnh truyền thống. Trong quá trình phân tích, MATLAB sẽ đề xuất một bộ thông số tiết diện thiết kế mới, cập nhật chúng vào mô hình phần tử hữu hạn trong SAP2000, chạy phân tích, và nhận kết quả về để tạo ra thể hệ giải pháp tiếp theo. Sự kết nối này được thực hiện thông qua Giao diện Lập trình Ứng dụng Mở (OAPI) của SAP2000.

2.2. Các siêu thuật toán tối ưu hoá

Trong nghiên cứu này, sáu thuật toán siêu tối ưu hóa thông dụng được lựa chọn để tính toán và so sánh hiệu suất của chúng trên khung chương trình giải tối ưu hóa trọng lượng nhà công nghiệp khung thép. Sáu thuật toán này bao gồm thuật toán tối ưu ABC [4], thuật toán PSO [5], thuật toán GA [6], thuật toán JS [7], thuật toán ED [8], và thuật toán DE [9] đây đều là những thuật toán tối ưu hóa mạnh và hiệu quả đã được chứng minh trong nhiều nghiên cứu trước đây.

2.3. Các phương pháp đánh giá

Hai chỉ số đặc trưng của thuật toán tối ưu hóa được sử dụng để đánh giá hiệu quả của khung chương trình là giá trị tối ưu và tốc độ hội tụ.

Giá trị tối ưu là một chỉ số định lượng cốt lõi, phản ánh hiệu quả của giải pháp do thuật toán xác định. Đối với bài toán thiết kế kết cấu, giá trị này tương ứng với giá trị nhỏ nhất của hàm mục tiêu (tổng khối lượng) của một giải pháp khả thi, tức là giải pháp thỏa mãn toàn bộ các ràng buộc về bền, ổn định và chuyển vị theo tiêu chuẩn.

Tốc độ hội tụ là chỉ số đặc trưng cho việc đánh giá hiệu suất tính toán của thuật toán. Tốc độ hội tụ được đánh giá trực quan qua biểu đồ lịch sử hội tụ (Convergence history), thể hiện sự cải thiện của thuật toán qua từng thế hệ.

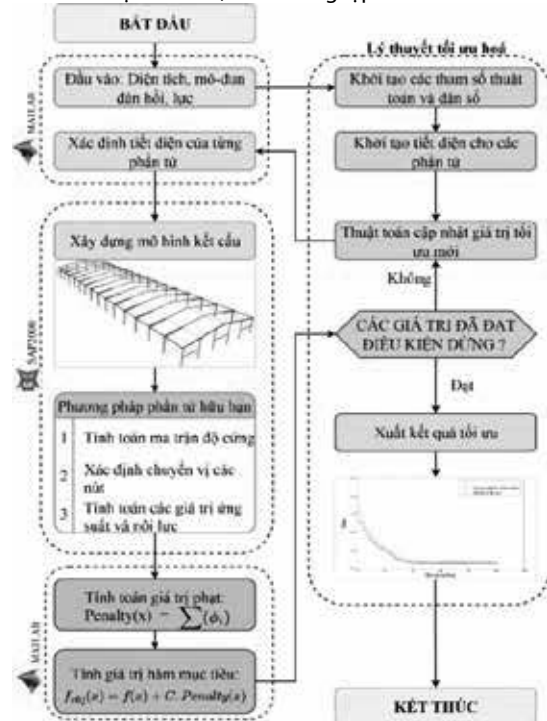
3. THIẾT LẬP BÀI TOÁN TỐI ƯU HOÁ

Bài toán tối ưu hóa khối lượng khung thép cho nhà công nghiệp được thiết lập với bốn thành phần chính bao gồm thông số đầu vào, hàm mục tiêu, các biến thiết kế và các ràng buộc. Nghiên cứu áp dụng trên khung nhà công nghiệp có nhịp $L = 28(m)$, bước cột $B = 6.0(m)$, chiều cao cột $H_1 = 5.0(m)$ và chiều cao đỉnh mái $H_2 = 7.1(m)$. Vật liệu sử dụng thép SS400 ($f_y = 235 \text{ Mpa}$, $f_u = 400 \text{ Mpa}$, $E = 2.1 \times 10^5 \text{ Mpa}$).

3.1. Khung chương trình phân tích kết cấu

Khung chương trình tối ưu hoá được trình bày tại Hình 1, là một vòng lặp tự động khép kín. Bước đầu MATLAB khởi tạo bài toán và tạo ra một tập hợp các thiết kế (kích thước) ngẫu nhiên. Sau đó,

trong mỗi vòng lặp, MATLAB gửi từng bộ tiết diện đến SAP2000 để thực hiện phân tích phần tử hữu hạn. Kết quả phân tích (nội lực, chuyển vị) được trả về MATLAB để đánh giá hàm mục tiêu và tính giá trị phạt. Dựa trên giá trị hàm mục tiêu bị phạt này, thuật toán metaheuristic sẽ tạo ra một thế hệ thiết kế mới tốt hơn, và quy trình được lặp lại cho đến khi tìm ra giải pháp có khối lượng tối ưu nhất. Số dân số các thuật toán là 14, và số vòng lặp là 150.



Hình 1. Sơ đồ quy trình kết hợp thuật toán metaheuristic và FEM

Bảng 1. Tổ hợp kiểm tra trạng thái giới hạn thứ nhất

THTT	Tĩnh tải (TT)		Hoạt tải (HT)		GÍÓ	
	DL	SDL	LL2			
1	1.05	1.3	1.3	-	-	
2	1.05	1.3	-	2.1	WXL11	
3	1.05	1.3	-	2.1	WXL12	
4	1.05	1.3	-	2.1	WXL21	
5	1.05	1.3	-	2.1	WXL22	
6	1.05	1.3	-	2.1	WXR11	
7	1.05	1.3	-	2.1	WXR12	
8	1.05	1.3	-	2.1	WXR21	
9	1.05	1.3	-	2.1	WXR22	
10	1.05	1.3	-	2.1	WYL11	
11	1.05	1.3	-	2.1	WYL12	
12	1.05	1.3	-	2.1	WYR11	
13	1.05	1.3	-	2.1	WYR12	
14	1.05	1.3	1.17	1.89	WXL11	
15	1.05	1.3	1.17	1.89	WXL12	
16	1.05	1.3	1.17	1.89	WXL21	
17	1.05	1.3	1.17	1.89	WXL22	
18	1.05	1.3	1.17	1.89	WXR11	
19	1.05	1.3	1.17	1.89	WXR12	
20	1.05	1.3	1.17	1.89	WXR21	
21	1.05	1.3	1.17	1.89	WXR22	
22	1.05	1.3	1.17	1.89	WYL11	
23	1.05	1.3	1.17	1.89	WYL12	
24	1.05	1.3	1.17	1.89	WYR11	
25	1.05	1.3	1.17	1.89	WYR12	

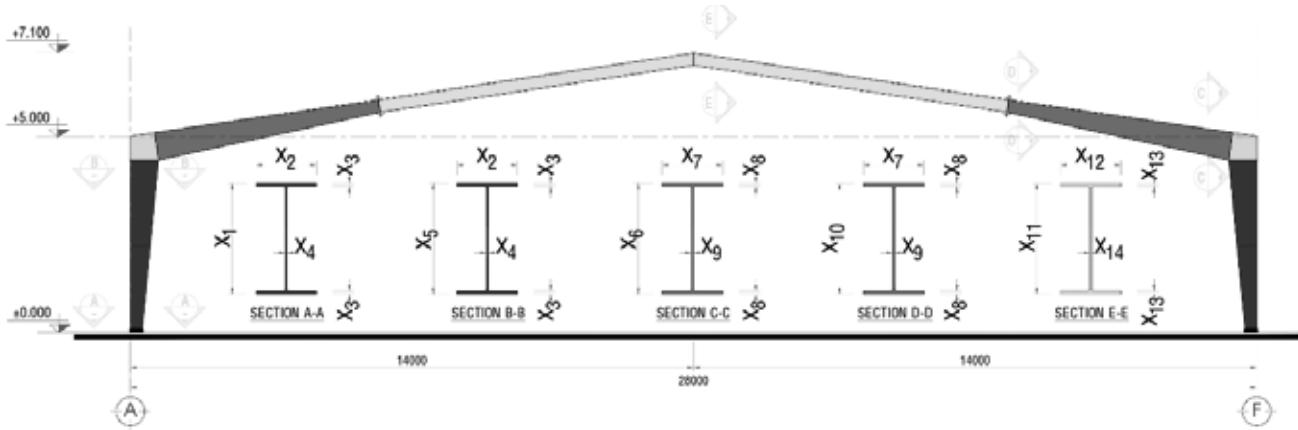
Trong đó, THPT: Trường hợp tổ hợp; DL là tải trọng bản thân kết cấu; SDL là tĩnh tải; LL2 là hoạt tải mái.

3.2. Các biến thiết kế

Đối với khung thép tổ hợp (tiết diện chữ I), các biến thiết kế cho mỗi loại cấu kiện (cột, kèo) bao gồm, chiều cao bản bụng (h_w), chiều dày bản bụng (t_w), chiều rộng bản cánh (b_f), chiều dày bản cánh (t_f). Trong mặt cắt khung nhà công nghiệp **Hình 2**, biến x sẽ là: $x = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_{14}]$

Mỗi biến thiết kế sẽ được giới hạn trong một phạm vi thực tế, với điều kiện ràng buộc biên là: $[L_b, U_b]$, trong đó.

- $L_b = [300 \ 180 \ 5 \ 5 \ 700 \ 700 \ 150 \ 5 \ 5 \ 300 \ 300 \ 125 \ 5 \ 5](mm)$
- $U_b = [350 \ 500 \ 15 \ 15 \ 940 \ 950 \ 500 \ 15 \ 15 \ 500 \ 500 \ 350 \ 15 \ 15](mm)$.



Hình 2. Mặt cắt điển hình của khung 3

4. ÁP DỤNG TRONG CÔNG TRÌNH CÔNG NGHIỆP

4.1. Mô hình kết cấu

Kết cấu thép nhà công nghiệp được xây dựng trên SAP2000 như **Hình 3**. Mô hình này là cơ sở cho việc tối ưu hóa.



Hình 3. Mô hình 3D trong SAP2000

4.1.1. Tải trọng

Toàn bộ tải trọng tác dụng lên công trình được xác định theo Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 2737:2023 [1]. Tĩnh tải (DL), Hoạt tải mái (LL), Tải trọng gió (WL). Giá trị của tải trọng gió (W) = 0.852. W_0, k, c, γ, G_f được xác định cụ thể trên vị trí công trình. Các hệ số điều kiện làm việc dựa trên mục 8.3.5, bảng 1 và điều 10.1.6 – TCVN2737-2023 [1].

4.1.2. Tổ hợp tải trọng

Tải trọng được tính, tổ hợp và trình bày tại **Bảng 1** và **Bảng 2**.

Bảng 2. Tổ hợp kiểm tra trạng thái giới hạn thứ hai.

THTT	Tĩnh tải (TT)		Hoạt tải (HT)		GIÓ
	DL	SDL	LL2		
1	1	1	1	-	-
2	1	1	-	1	WXL11
3	1	1	-	1	WXL12
4	1	1	-	1	WXL21
5	1	1	-	1	WXL22
6	1	1	-	1	WXR11
7	1	1	-	1	WXR12

THTT	Tĩnh tải (TT)		Hoạt tải (HT)		GIÓ
	DL	SDL	LL2		
8	1	1	-	1	WXR21
9	1	1	-	1	WXR22
10	1	1	-	1	WYL11
11	1	1	-	1	WYL12
12	1	1	-	1	WYR11
13	1	1	-	1	WYR12

4.2. Điều kiện ràng buộc

Các điều kiện ràng buộc được xây dựng dựa trên các yêu cầu của Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 5575:2024 [2] và TCVN 2737:2023 [1].

4.2.1. Điều kiện ứng suất

a. Đối với dầm (Cấu kiện chịu uốn):

• **Ứng suất pháp:** Kiểm tra theo công thức (40) của TCVN 5575:2024 [2].

$$\sigma = \frac{W_x}{M_x} \leq f_{yd} \gamma_c \quad (1)$$

Trong đó W_x là mô men chống uốn trục $x - x$, M_x là mô men uốn trục $x - x$, γ_c là hệ số điều kiện làm việc được lấy theo bảng 1 của TCVN 5575:2024 [2], f_{yd} là cường độ chịu kéo, nén, uốn tính toán của thép theo giới hạn chảy.

• Ứng suất tiếp:

Kiểm tra theo công thức (43b) [2].

$$\tau = \frac{V_y S_x}{I_x t_w} \leq f_v \gamma_c = 0.58 f_{yd} \gamma_c \quad (2)$$

Trong đó V_y là lực cắt tính toán, I là mô men quán tính, t_w là chiều dày bản bụng, f_v là cường độ tính toán chịu cắt, S_x là Mô men tĩnh của phần tiết diện nguyên bị trượt đối với trục trung hòa.

b. Đối với cột (Cấu kiện chịu nén uốn)

Trường hợp $\frac{N}{A_n f_{yd}} \leq 0.1$, công thức (105) được áp dụng.

$$\frac{1}{f_{yd} \gamma_c} \left(\frac{N}{A_n} \pm \frac{M_x}{I_{xn}} y \pm \frac{M_y}{I_{yn}} x \pm \frac{B}{I_{wn}} \omega \right) \leq 1 \quad (3)$$

Trong đó B là bi mô men, ω là tọa độ độ quạt, I_{xn} , I_{yn} là các mô men quán tính của tiết diện thực, M_x , M_y là mô men tính toán đối

với các trục $x - x$ và $y - y$, N là lực nén đúng tâm tính toán, A_n là diện tích tiết diện thực của cấu kiện.

Điều kiện ràng buộc tổng quát về ứng suất có thể biểu diễn dưới dạng:

$$g_{\sigma} = \frac{[\sigma]}{\sigma_{max}} - 1 \leq 0 \quad (4)$$

Trong đó σ_{max} là ứng suất lớn nhất trong cấu kiện và $[\sigma]$ là ứng suất giới hạn cho phép của vật liệu.

4.2.2. Điều kiện ổn định

a. Ổn định tổng thể

Kiểm tra khả năng chống lại sự mất ổn định của toàn bộ cấu kiện (uốn dọc, uốn xoắn).

- Đối với dầm:

$$\frac{M_x}{\phi_b W_{cx} f_{yd} \gamma_c} \leq 1 \quad (5)$$

- Đối với cột:

– Trong mặt phẳng:

$$\frac{N}{\phi_e A f_{yd} \gamma_c} \leq 1 \quad (6)$$

– Ngoài mặt phẳng:

$$\frac{N}{c \phi_y A f_{yd} \gamma_c} \leq 1 \quad (7)$$

Trong đó ϕ_b là hệ số ổn định khi uốn, ϕ_e là hệ số ổn định khi nén uốn đồng thời, ϕ_y là hệ số ổn định khi nén đúng tâm xác định theo Phụ lục F, Bảng D.3 (Phụ lục D) và Điều 7.1.2.1.

4.2.3. Chuyển vị

Ràng buộc về chuyển vị nhằm đảm bảo điều kiện làm việc bình thường và yêu cầu về thẩm mỹ của công trình, được quy định trong TCVN 2737:2023[1].

- Đối với độ võng (chuyển vị đứng): Giới hạn độ võng của các cấu kiện chịu uốn (dầm, kèo) được xác định theo công thức: $[f] = \frac{L}{250}$. Trong đó L là nhịp của cấu kiện.

- Đối với chuyển vị ngang: Giới hạn chuyển vị ngang của đỉnh khung được xác định theo công thức: $[\Delta H] = \frac{H}{100}$. Trong đó H là tổng chiều cao của khung.

4.2.4. Hàm mục tiêu

Hàm mục tiêu $f_{obj}(x)$ được định nghĩa là tổng khối lượng của tất cả các cấu kiện trong khung cộng với giá trị hàm phạt.

Tìm kiếm: $x = [x_1, x_2, \dots, x_{14}]$

$$\text{Minimize: } f_{obj}(x) = f(x) + C \cdot \text{Penalty}(x) \quad (8)$$

Trong đó $f(x) = \sum_{i=1}^n \rho_i \cdot A_i(x) \cdot L_i$ là tổng khối lượng của kết cấu, ρ_i là trọng lượng riêng của thép, x là vector chứa các biến thiết kế, n là số cấu kiện trong mô hình, $A_i(x)$ là diện tích mặt cắt ngang của cấu kiện thứ i , L_i là chiều dài của cấu kiện thứ i . C là hằng số hàm phạt và $\text{Penalty}(x)$ là giá trị hàm phạt, $x_1, x_2, \dots, x_{14}$ được định nghĩa ở mục 3.2.

Bảng 3. Biến (x_i) tối ưu (đơn vị: mm)

BIẾN (x)	Thuật toán						
TỐI ƯU	AB	DE	PSO	JS	ED	PSO-GA	GA
x_1	320	300	301	306	303	300	302
x_2	182	180	180	187	193	180	194
x_3	6	5	5	6	15	5	6
x_4	5	5	5	6	15	5	6
x_5	837	825	825	724	713	845	747
x_6	743	702	725	752	705	819	746
x_7	254	250	243	203	186	221	215
x_8	5	5	5	6	15	5	6
x_9	5	5	5	6	15	5	6
x_{10}	304	300	304	317	301	332	376

BIẾN (x)	Thuật toán						
TỐI ƯU	AB	DE	PSO	JS	ED	PSO-GA	GA
x_{11}	373	355	350	326	320	362	351
x_{12}	227	229	234	221	224	229	236
x_{13}	5	5	5	6	15	5	6
x_{14}	5	5	5	6	15	5	6

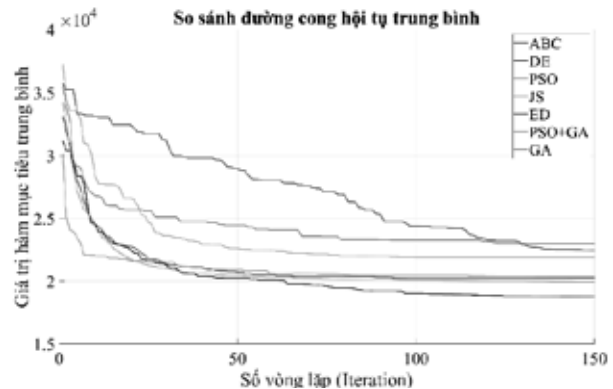
5. KẾT QUẢ VÀ PHÂN TÍCH

5.1. Kết quả giải tối ưu

Kết quả giải các thuật toán khác nhau gồm: ABC, DE, PSO, JS, ED, PSO-GA, GA được trình bày tại **Bảng 3** và **Bảng 4**, đồng thời biểu đồ so sánh đường cong hội tụ của các thuật toán này được trình bày ở **Hình 4**.

Bảng 4. Thống kê kết quả giải của các thuật toán.

Thuật toán	Tốt nhất (kg)	Xấu nhất (kg)	Trung bình (kg)	Độ lệch chuẩn (kg)
ABC	19572.58	20753.17	20254.90	366.15
DE	18747.02	18778.13	18769.07	11.46
PSO	18791.29	23058.04	19917.21	1415.46
JS	21262.21	23086.86	21838.50	739.03
ED	21726.43	22827.53	22228.14	557.01
PSO-GA	18973.52	22641.21	20368.07	1985.43
GA	22408.39	23853.38	23002.95	755.71



Hình 4. Biểu đồ so sánh đường con hội tụ trung bình

Dựa vào kết quả trên cho thấy rằng thuật toán **DE** thể hiện hiệu năng vượt trội về chất lượng, độ tin cậy, tốc độ hội tụ, cụ thể là:

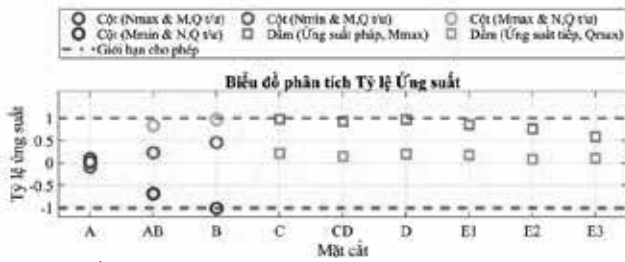
- **Về chất lượng lời giải:** DE đạt được giá trị khối lượng tốt nhất (18747.02 kg) và giá trị trung bình thấp nhất (18769.07 kg).

- **Về độ tin cậy:** Mức độ tin cậy của DE gần như tuyệt đối, được minh chứng qua độ lệch chuẩn cực kỳ thấp (11.46 kg).

- **Về tốc độ hội tụ:** Biểu đồ hội tụ cho thấy DE không chỉ tìm ra lời giải tốt nhất mà còn thực hiện điều đó một cách nhanh chóng và ổn định, liên tục cải thiện lời giải qua các thế hệ mà không có dấu hiệu chứng lại sớm.

Bên cạnh đó, nhóm thuật toán gồm: ABC, PSO và PSO-GA có khả năng tìm ra những lời giải tốt, nhưng sai số cao, cụ thể là:

- **Thuật toán Bầy ong (ABC):** Cho kết quả trung bình khá tốt (20254.90 kg) và có độ ổn định tương đối (độ lệch chuẩn 366.15). Tuy nhiên, biểu đồ hội tụ cho thấy nó có xu hướng chứng lại sau khoảng 40 vòng lặp, cho thấy khả năng khai thác ở giai đoạn sau còn hạn chế.

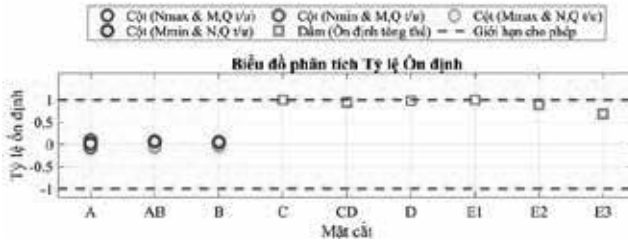


Hình 5. Biểu đồ phân tích tỷ lệ ứng suất

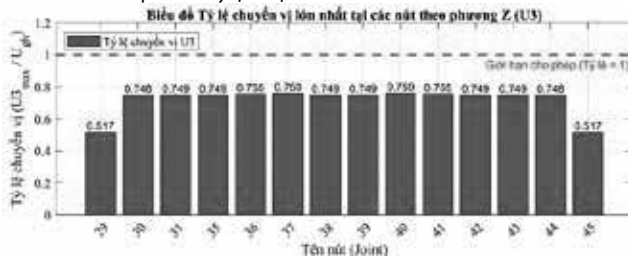
• **Tối ưu hóa Bầy đàn (PSO) và PSO-GA:** Các thuật toán này tìm được những lời giải "Tốt nhất" rất cạnh tranh (lần lượt là 18791.29 kg và 18973.52 kg). Tuy nhiên, chúng lại có độ tin cậy rất thấp, thể hiện qua độ lệch chuẩn cực kỳ cao (1415.46 và 1985.43).

5.2 Kiểm tra điều kiện ràng buộc

Để xác nhận tính hợp lệ và khả thi của thiết kế cuối cùng do thuật toán DE đề xuất, một bước kiểm tra chi tiết các điều kiện ràng buộc đã được thực hiện bao gồm kiểm tra tỉ lệ ứng suất (**Hình 5**), tỉ lệ ổn định (**Hình 6**) và tỉ lệ chuyển vị (**Hình 7**).



Hình 6. Biểu đồ phân tích tỷ lệ ổn định



Hình 7. Biểu đồ tỷ lệ chuyển vị

Các kết quả kiểm tra cho thấy các điểm dữ liệu của dầm và cột đều nằm trong khoảng an toàn và thỏa mãn tất cả các điều kiện ràng buộc theo TCVN 5575:2024.

6. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đề xuất một khung chương trình có thể tối ưu hóa tự động cho thiết kế kết cấu nhà công nghiệp thép tiền chế, dựa trên sự tích hợp giữa môi trường lập trình MATLAB và phần mềm phân tích phần tử hữu hạn SAP2000 thông qua giao diện OAPI. Bài toán tối ưu khối lượng được thực hiện dưới các điều kiện ràng buộc nghiêm ngặt về độ bền, ổn định và chuyển vị, đảm bảo tuân thủ đầy đủ các yêu cầu của các tiêu chuẩn Việt Nam hiện hành (TCVN 5575:2024 và TCVN 2737:2023).

Các kết quả kiểm chứng sau 20 lần chạy độc lập đã cho thấy thuật toán Tiến hóa Vi phân (Differential Evolution – DE) thể hiện hiệu năng vượt trội so với các phương pháp metaheuristic khác, đạt được giá trị khối lượng tối ưu nhỏ nhất (18,747.02 kg) cùng độ ổn định cao với sai lệch chuẩn thấp nhất (11.46 kg). Thiết kế tương ứng với nghiệm tối ưu của DE đáp ứng toàn bộ các điều kiện ràng buộc, trong đó các tỷ lệ huy động ứng suất và ổn định của cấu kiện tiệm cận giới hạn cho phép, chứng tỏ khả năng khai thác vật liệu hiệu quả và hợp lý.

Nghiên cứu đã đề xuất một khung chương trình tiềm năng cho một giải pháp khoa học thay thế các phương pháp thiết kế kinh nghiệm truyền thống. Kết quả của nghiên cứu không chỉ khẳng định tính khả thi và tiềm năng ứng dụng của các thuật toán tối ưu hóa trong thiết kế kết cấu thép mà còn đồng thời mở ra hướng phát triển cho các nghiên cứu tiếp theo về tự động hóa và thiết kế thông minh trong lĩnh vực kết cấu công nghiệp.

Với khung chương trình đã được phát triển, hướng nghiên cứu tiếp theo sẽ tập trung vào việc tích hợp các lý thuyết tối ưu hóa với công nghệ Mô hình thông tin công trình (BIM) nhằm hỗ trợ quá trình ra quyết định và tối ưu thiết kế. Ngoài ra, nghiên cứu sẽ được mở rộng áp dụng cho các bài toán kết cấu khác, cũng như phân tích khả năng làm việc của công trình dưới các dạng tải trọng phức tạp hơn, chẳng hạn như tải trọng động và tác động cháy nổ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. TCVN 2737:2023, Tải trọng và tác động - Tiêu chuẩn thiết kế, IBST, Hà Nội 2023.
- [2]. TCVN 5575:2024, Thiết kế kết cấu thép - Tiêu chuẩn thiết kế, IBST, Hà Nội, 2024.
- [3]. A. Kaveh and M. Ilchi Ghazaan, Meta-heuristic Algorithms for Optimal Design of Real-Size Structures. 2018.
- [4]. D. Karaboga and B. Basturk, "A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm," Journal of global optimization, vol. 39, No. 3, pp. 459-471, 2007.
- [5]. J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle swarm optimization," in Proceedings of ICNN'95-international conference on neural networks, 1995, vol. 4: ieee, pp. 1942-1948.
- [6]. Z. Michalewicz, Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs. Springer, 1996.
- [7]. J.-S. Chou and D.-N. Truong, "A novel metaheuristic optimizer inspired by behavior of jellyfish in ocean," Applied Mathematics and Computation, vol. 389, 2020, doi: 10.1016/j.amc.2020.125535.
- [8]. D.-N. Truong and J.-S. Chou, "Metaheuristic algorithm inspired by enterprise development for global optimization and structural engineering problems with frequency constraints," Engineering Structures, vol. 318, 2024, doi: 10.1016/j.engstruct.2024.118679.
- [9]. R. Storn and K. Price, "Differential evolution—a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces," Journal of global optimization, vol. 11, no. 4, pp. 341-359, 1997.

Nghiên cứu ảnh hưởng hệ số điều chỉnh độ cứng của cấu kiện bê tông cốt thép trong phân tích nhà cao tầng chịu tải ngang

Research on the effects of stiffness modification factors of reinforced concrete members in the lateral load analysis of high-rise buildings

> SOK HEANG^{1,2}, TS NGUYỄN HOÀNG TÙNG^{1,2,*}

¹Viện Sau Đại học, Trường Đại học Văn Lang TP.HCM

²Khoa Xây dựng, Trường Công nghệ Văn Lang, Trường Đại học Văn Lang TP.HCM

*Email: tung.nh@vlu.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu hệ số điều chỉnh độ cứng của cấu kiện bê tông cốt thép (BTCT) và phân tích hệ ống sàn phẳng được thực hiện trên mô hình nhà 50 tầng, 2 hầm, tại TP.HCM và Đà Nẵng, đại diện cho hai khu vực có mức tải trọng ngang thấp và trung bình. Hệ số điều chỉnh độ cứng của dầm, được định nghĩa là tỉ số giữa độ cứng hiệu dụng và độ cứng ban đầu, được xác định từ quan hệ moment-độ cong theo TCVN 5574:2018, sử dụng phương pháp biểu đồ ứng suất-biến dạng hai đoạn thẳng. Kết quả nghiên cứu cho thấy hệ số điều chỉnh độ cứng phụ thuộc mạnh vào hàm lượng và bố trí cốt thép; trong đó cốt thép nén giúp cải thiện đáng kể độ cứng của kết cấu, trong khi tăng cấp bền bê tông không hiệu quả sau khi nứt. Biểu đồ hai đoạn thẳng cho kết quả gần ACI 318-2025, H. A. T. Nguyen et al và nằm trong khoảng của Priestley-Calvi-Kowalsky (2007), trong khi EC8 dự báo hệ số điều chỉnh độ cứng cao hơn. Phân tích toàn hệ kết cấu cho thấy hệ số điều chỉnh độ cứng chi phối ứng xử tổng thể. Với tải gió, chuyển vị ngang tăng đáng kể khi xét hệ số điều chỉnh độ cứng. Với động đất, ACI và Priestley-Calvi-Kowalsky cho chuyển vị lớn hơn EC8, thiên về an toàn và phân bố lực cắt hợp lý hơn; trong khi EC8 giảm đồng đều 0.5, ít thay đổi phân bố lực. Tại Đà Nẵng do gia tốc nền lớn và ảnh hưởng của hệ số điều chỉnh độ cứng khi dùng DCM, công trình vượt giới hạn cho phép. Ngược lại, tại TP.HCM công trình đạt yêu cầu nhưng xuất hiện hiệu ứng bậc hai, moment tăng và giảm dự trữ ổn định.

Từ khóa: Tải động đất, tải gió, công trình cao tầng, độ cứng hiệu dụng, hiệu ứng bậc hai, hệ số điều chỉnh độ cứng, hệ ống.

ABSTRACT

The study on the stiffness modification factor of reinforced concrete members and the analysis of the flat-slab tube system were conducted on a 50-story building with 2 basement levels in Ho Chi Minh City and Da Nang, representing regions with low and moderate lateral loads. The beam stiffness modification factor, defined as the ratio between effective and initial stiffness, was determined from the moment-curvature relationship according to TCVN 5574:2018 using the bilinear stress-strain diagram method. Results show that the factor is strongly influenced by the reinforcement ratio and reinforcement arrangement. Compression reinforcement significantly improves stiffness, whereas increasing concrete strength becomes ineffective after cracking. The bilinear model provides results close to ACI 318-2025 and H. A. T. Nguyen et al., and within the range of Priestley-Calvi-Kowalsky (2007), while EC8 predicts a higher stiffness modification factor. Global structural analysis indicates that the stiffness modification factor governs overall structural behavior. Under wind loads, lateral displacement increases significantly when this factor is considered. Under seismic loading, ACI and Priestley-Calvi-Kowalsky lead to larger displacements than EC8, resulting in a safer design and a more reasonable shear force distribution. In contrast, EC8 applies a uniform 0.5 reduction, producing little change in force distribution. In Da Nang, due to higher ground acceleration and the effect of the stiffness modification factor when using DCM, the building exceeds allowable limits. In Ho Chi Minh City, the building satisfies design requirements but exhibits noticeable second-order effects, with increased moments and reduced stability capacity.

Keywords: Seismic load, wind load, high-rise building, effective stiffness, second-order effects, stiffness modification factor, tube system.

1. MỞ ĐẦU

Độ cứng ngang của công trình được quyết định bởi nhiều yếu tố, bao gồm đặc tính vật liệu, hình học tiết diện, tính chất cấu kiện, dạng liên kết cũng như sự làm việc tổng thể của hệ kết cấu; các yếu tố này gắn kết với nhau theo một cấu trúc phân cấp [1]. Trong thiết kế kháng chấn, công trình BTCT được phép làm việc ngoài giai đoạn đàn hồi, dẫn đến sự xuất hiện các vết nứt cho các cấu kiện và làm suy giảm độ cứng uốn của cấu kiện. Sự giảm cứng này làm gia tăng chuyển vị ngang, gây hư hỏng các bộ phận không chịu lực, đồng thời xuất hiện hiệu ứng bậc hai (P- Δ) ảnh hưởng đến ổn định tổng thể công trình. Hệ số điều chỉnh độ cứng của cấu kiện BTCT phụ thuộc vào nhiều yếu tố như mô đun đàn hồi của bê tông, hàm lượng và phân bố cốt thép, mức độ vết nứt, cường độ chịu kéo của bê tông, cũng như các hiệu ứng co ngót, từ biến và lực dọc. Chính sự phức tạp này khiến việc xác định hệ số điều chỉnh độ cứng trở thành một vấn đề quan trọng trong thiết kế công trình chịu tải ngang.

Tải động đất có nhiều phương pháp phân tích từ các phương pháp tuyến tính (tính tương đương, phổ phản ứng) đến các phương pháp phi tuyến (phân tích đẩy dần, phân tích phi tuyến lịch sử thời gian, phân tích phi tuyến động học). Tuy nhiên, do tại Việt Nam các trận động đất mạnh xảy ra rất hiếm, trong nhiều trường hợp thiết kế nhà cao tầng việc áp dụng phân tích tuyến tính là phù hợp và kinh tế. Với các công trình đặc thù, ở vùng có nguy cơ cao hoặc khi cần mô tả chi tiết ứng xử phi tuyến, cần sử dụng phân tích phi tuyến tương ứng. Ngược lại, tải trọng gió thường là tải trọng kiểm soát trong thiết kế phần lớn được xử lý bằng phân tích tuyến tính; do yêu cầu kiểm soát nứt nghiêm ngặt hơn, khi xét tới hệ số điều chỉnh độ cứng thường lấy ở mức cao hơn so với trường hợp động đất. Độ cứng ngang của công trình BTCT rất nhạy với mức độ nứt, do đó cần xét đến nứt trong phân tích chịu tải ngang. Trong thiết kế gió, phương pháp gián tiếp sử dụng hệ số giảm độ cứng được áp dụng phổ biến nhằm hiệu chỉnh phân tích tuyến tính tiệm cận kết quả phi tuyến, mặc dù vẫn tồn tại sai khác nhất định và cần xem xét phạm vi hệ số để phản ánh mức độ không chắc chắn trong mô hình [2].

Để phản ánh gần đúng tính phi tuyến trong phạm vi phân tích tuyến tính, nhiều quốc gia đã đưa ra các công thức xác định hệ số điều chỉnh độ cứng, được quy định trong các tiêu chuẩn thiết kế. Tuy nhiên, các tiêu chuẩn hiện hành đưa ra hướng dẫn không đồng nhất về hệ số điều chỉnh độ cứng cấu kiện BTCT. Khi phân tích kết cấu, việc tham khảo nhiều tiêu chuẩn thiết kế giúp xác định giá trị hệ số điều chỉnh độ cứng phù hợp. Do độ cứng ảnh hưởng lớn đến kết quả phân tích, người thiết kế cần hiểu và áp dụng đúng hệ số điều chỉnh, đồng thời có thể xây dựng các mô hình với giá trị giới hạn trên và dưới để đánh giá độ nhạy và rủi ro [3]. Bên cạnh đó nghiên cứu của H.M.d.S.B.d. Santos [4] chỉ rằng, đối với tường và dầm, có thể sử dụng giá trị độ cứng nhỏ hơn mức 50% theo quy định của EC8, với điều kiện sự thay đổi trong phân bố nội lực được xem xét hợp lý. Trong TCVN 9386:2012 [5], hệ số điều chỉnh độ cứng cấu kiện BTCT được quy định bằng 0.5 cho tất cả mỗi cấu kiện, một giá trị mang tính quy ước, chưa phản ánh hết đặc trưng làm việc thực tế của cấu kiện sau khi nứt, đặc biệt là rất khác so với một số tiêu chuẩn và nghiên cứu khác. Điều này có thể dẫn đến sai lệch trong dự báo nội lực và chuyển vị của công trình. F.J. Vecchio and S. Balopoulou [6] đã thí nghiệm trên khung BTCT cho thấy sau khi nứt, độ cứng bị suy giảm do vết nứt và phi tuyến vật liệu. Hiệu ứng chảy dẻo của cốt thép là yếu tố chính, thể hiện qua thay đổi độ cứng và tập trung biến dạng tại các khớp dẻo. Sự nứt bê tông là yếu tố quan trọng chi phối ứng xử của công trình BTCT [7]. Việc lựa chọn độ cứng hiệu dụng cao hơn thực tế có thể dẫn đến đánh giá sai độ cứng tổng thể công trình, từ đó ảnh hưởng đến kết quả phân tích và thiết kế kết cấu [8]. Sự giảm độ cứng giả định của cột làm gia tăng đáng kể hiệu ứng P- Δ trên tầng cột và hiệu ứng P- Δ trên toàn tầng, từ đó tăng moment thứ cấp và tăng nguy cơ mất ổn định tổng thể [9]. Phân tích đàn hồi cho moment thiết kế lớn

hơn, dẫn đến thiết kế bảo thủ về khả năng chịu lực nhưng không phản ánh đúng biến dạng thực tế, vốn có xu hướng lớn hơn khi xét nứt [10]. Phân tích đẩy dần cho thấy hệ số giảm độ cứng phụ thuộc vào nội lực và bố trí cốt thép của từng phần tử, tác giả đã đề xuất hệ số điều chỉnh độ cứng với là 0.34 đối với dầm và 0.59 đối với cột. Việc áp dụng các hệ số này giúp mô phỏng chính xác hơn phản ứng của khung dưới động đất, khi chuyển vị tương đối tầng có thể tăng đến 91% so với sử dụng độ cứng đàn hồi hoàn toàn [11].

Do đó, việc nghiên cứu cơ sở lý thuyết để đánh giá lại hệ số giảm độ cứng cho dầm BTCT (thành phần quyết định biến dạng cắt của khung khi chịu tải ngang), đồng thời ứng dụng vào phân tích kết cấu nhà cao tầng bằng phần mềm ETABS [12], là cần thiết nhằm nâng cao độ tin cậy của kết quả tính toán và hỗ trợ thiết kế hợp lý hơn. Mục đích của bài nghiên cứu sẽ đánh giá hệ số điều chỉnh độ cứng dầm BTCT theo phương pháp biểu đồ ứng suất-biến dạng hai đoạn thẳng theo TCVN 5574:2018 và phân tích ứng xử tổng thể của hệ ống kết hợp sàn phẳng dưới tải gió và động đất với 3 trường hợp hệ số điều chỉnh độ cứng khác nhau lần lượt theo ACI 318-2025, EC8 và Priestley, Calvi & Kowalsky (2007). Phạm vi của bài nghiên cứu này là một công trình nhà cao tầng BTCT gồm 50 tầng nổi và 2 tầng hầm, được lựa chọn làm mô hình nghiên cứu. Công trình có mặt bằng hình chữ nhật điển hình, phù hợp cho mục đích sử dụng làm văn phòng hoặc căn hộ phổ biến, và được phân tích so sánh mà không xét đến các yếu tố kiến trúc hay nội thất cụ thể. Về tải trọng gió và động đất lần lượt được tính toán và áp dụng theo tiêu chuẩn TCVN 2737:2023 [13], TCVN 9386:2012 [5]. Hiện nay Etabs V22 có thể tính toán tự động tải gió (TCVN 2737:2023) và tải động đất [12]. Giả định công trình đặt tại TP.HCM và Đà Nẵng, tải trọng gió và động đất cơ bản cụ thể dựa vào QC02:2022 [14], và vật liệu sử dụng theo TCVN 5574:2018 [15].

2. HỆ SỐ ĐIỀU CHỈNH ĐỘ CỨNG CỦA MỘT SỐ TIÊU CHUẨN VÀ TÁC GIẢ NGHIÊN CỨU KHÁC

2.1. Độ cứng hiệu dụng phân tích tải gió

ACI 318-2025 [16] nếu tải trọng gió được xét đến, thì một giá trị độ cứng hiệu dụng nằm trong khoảng sau khi nứt nhưng trước khi chảy dẻo là phù hợp. Nếu thực hiện phân tích bậc hai của khung, cần định nghĩa một tập hợp giá trị độ cứng hiệu dụng khác, đại diện cho độ cứng của các cấu kiện ngay trước khi phá hoại. Trong phân tích công trình BTCT, các hệ số giảm độ cứng thường được xác định khác nhau cho trạng thái giới hạn cuối cùng (ULS) và trạng thái sử dụng (SLS). Cụ thể, đối với cột, độ cứng hiệu dụng được lấy bằng $0.7I_g$ ở ULS và $0.98I_g$ ở SLS. Đối với dầm, giá trị này nhỏ hơn, lần lượt bằng $0.35I_g$ và $0.49I_g$. Với vách cứng, khi chưa nứt, hệ số tương tự như cột, tức $0.7I_g$ tại ULS và $0.98I_g$ tại SLS; trong khi với vách đã nứt, các giá trị giảm xuống còn $0.35I_g$ và $0.49I_g$. Riêng sàn phẳng thường được xét thấp hơn, với hệ số $0.25I_g$ ở ULS và $0.35I_g$ ở SLS.

Theo LATBSDC [17] đối với tải trọng gió, các hệ số giảm độ cứng của cấu kiện bê tông cốt thép được quy định như sau. Đối với dầm, độ cứng hiệu dụng được lấy bằng $0.7I_g$. Đối với cột, giá trị này là $0.9I_g$. Với vách cứng, hệ số được chọn là $0.75I_g$. Riêng sàn phẳng, hệ số giảm độ cứng được xác định bằng $0.5I_g$.

2.2. Độ cứng hiệu dụng phân tích tải động đất

Eurocode 8 quy định rằng ảnh hưởng của nứt phải được xem xét trong phân tích và thiết kế kháng chấn đối với kết cấu BTCT. Một phương pháp khác được đề xuất thiết lập quan hệ dựa trên moment-tỷ số lực cắt và góc xoay chảy, qua đó có thể được sử dụng để xác định độ cứng hiệu dụng chính xác hơn của cấu kiện, phản ánh tốt hơn sự suy giảm độ cứng do nứt và phi tuyến vật liệu [18]. Phương pháp thứ hai đơn giản hơn, giả định độ cứng hiệu dụng bằng 50% độ cứng toàn phần của tiết diện chưa nứt, phù hợp cho tính toán thiết kế khi không yêu cầu phân tích chi tiết [19].

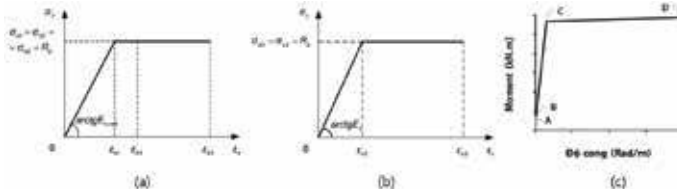
ACI 318 Khái niệm độ cứng hiệu dụng được quy định tại hai vị trí riêng biệt trong tiêu chuẩn. Mục 6.6.3, trong bối cảnh phân tích tuyến tính bậc nhất, với phạm vi áp dụng cho phân tích ở mức tải trọng tính toán. Tại đây, tiêu chuẩn cho phép sử dụng các giá trị định sẵn trong Bảng 6.6.3.1.1(a) hoặc giả định bằng 50% độ cứng toàn phần của tiết diện chưa nứt, đồng thời chấp nhận việc áp dụng các phương pháp phân tích nghiêm ngặt hơn khi cần thiết. Phụ lục A, nơi quy định yêu cầu và khuyến nghị đối với phân tích lịch sử thời gian phi tuyến. Theo ACI 318-2025, các hệ số giảm độ cứng của cấu kiện bê tông cốt thép được quy định ở mức cụ thể cho từng loại cấu kiện. Đối với cột, độ cứng hiệu dụng được lấy bằng $0.7I_g$. Với dầm, hệ số này giảm xuống còn $0.35I_g$. Tương tự, vách cứng cũng được khuyến nghị với giá trị $0.35I_g$. Riêng sàn phẳng, hệ số thấp hơn, chỉ bằng $0.25I_g$ [16].

Theo Priestley, Calvi & Kowalsky (2007), các hệ số giảm độ cứng của cấu kiện bê tông cốt thép được đưa ra trong khoảng giá trị khá rộng. Cụ thể, đối với cột, hệ số nằm trong khoảng $0.12I_g$ đến $0.86I_g$, và đề xuất áp dụng giá trị $0.8I_g$. Với dầm, phạm vi dao động từ $0.17I_g$ đến $0.44I_g$, trong khi giá trị đề xuất là $0.4I_g$. Đối với vách cứng, khoảng giá trị được khuyến nghị từ $0.2I_g$ đến $0.3I_g$, và giá trị đề xuất là $0.3I_g$. Riêng sàn phẳng, tài liệu không đưa ra hệ số cụ thể [20].

3. CƠ SỞ LÝ THUYẾT XÁC ĐỊNH HỆ SỐ ĐIỀU CHỈNH ĐỘ CỨNG DẦM BTCT THEO TCVN 5574-2018 [15]

3.1. Quy trình xây dựng quan hệ moment độ cong của dầm BTCT

Hình 1 mô hình bê tông trong nén được lý tưởng hóa gồm hai giai đoạn. (a) Giai đoạn đầu bê tông làm việc đàn hồi tuyến tính đến khi đạt cường độ chịu nén thiết kế R_b tại biến dạng ϵ_{b1} . Sau đó, ứng suất được giả thiết không đổi cho đến khi bê tông bị nghiền nát tại biến dạng cực hạn ϵ_{b2} . Các tham số mô hình bao gồm cường độ nén R_b , biến dạng tại cường độ nén ϵ_{b1} và biến dạng cực hạn ϵ_{b2} . Thép được giả thiết là vật liệu đàn hồi dẻo lý tưởng. (b) Trong miền đàn hồi, ứng suất được giả thiết không đổi cho đến khi đạt ứng suất chảy R_s tại biến dạng ϵ_{s0} . Sau khi chảy, ứng suất duy trì không đổi đến biến dạng cực hạn ϵ_{s2} , thể hiện khả năng dẻo lớn của thép. (c) Quan hệ moment-độ cong của dầm gồm ba giai đoạn: điểm A đàn hồi ban đầu khi chưa xuất hiện vết nứt; điểm B khi bê tông vùng kéo nứt; và điểm C giai đoạn bắt đầu chảy dẻo khi thép chảy, moment gần như không tăng nhưng độ cong tiếp tục phát triển cho đến khi phá hoại chính là điểm D.

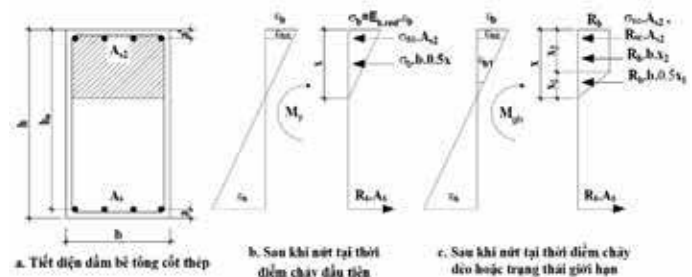


Hình 1. Dầm: Đường cong ứng suất-biến dạng của (a) bê tông và (b) thép [15], (c) quan hệ moment-độ cong

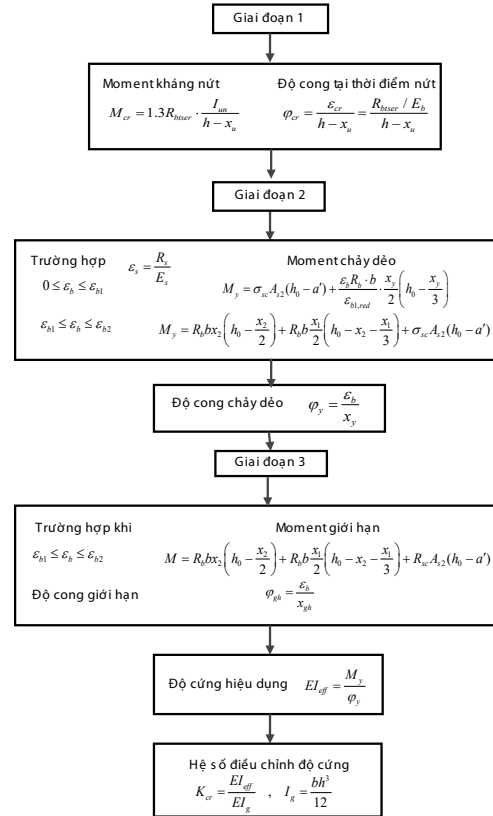
Hình 2 là sơ đồ ứng suất-biến dạng của dầm BTCT, trong mô hình phi tuyến của dầm BTCT, trạng thái (a) là khi tiết diện còn nguyên vẹn, bê tông và thép cùng làm việc đàn hồi. Trạng thái (b) là sau khi bê tông vùng kéo nứt và thép kéo bắt đầu chảy dẻo, bê tông vùng nén vẫn đàn hồi ($\epsilon_b \leq \epsilon_{b1}$). Ở trạng thái (c), thép bắt đầu chảy dẻo và có hai trường hợp xảy ra: bê tông vùng nén mới chuyển sang phi tuyến nhưng chưa đạt biến dạng cực hạn ($\epsilon_{b1} \leq \epsilon_b \leq \epsilon_{b2}$), hoặc bê tông đạt biến dạng cực hạn và tiết diện đi vào trạng thái giới hạn chịu lực ($\epsilon_b \leq \epsilon_{b2}$).

Trong cơ chế phá hoại dẻo của dầm BTCT, giả thiết rằng bê tông đạt biến dạng cực hạn trước khi thép chảy dẻo hoàn toàn được sử dụng. Tiết diện thép được quy đổi sang bê tông để xác định hình học tiết diện nứt. Theo Hình 3, quá trình làm việc của dầm được chia thành ba giai đoạn. Giai đoạn 1: trước khi nứt, tiết diện chưa nứt được dùng để tính

moment-độ cong, khi ứng suất bê tông vùng kéo đạt khả năng chịu kéo. Giai đoạn 2: sau khi nứt và thép chảy dẻo: bê tông vùng kéo bỏ qua, cốt thép chảy dẻo và không còn tuyến tính, moment-độ cong dẻo được xác định theo trạng thái chảy của thép. Giai đoạn 3: bê tông đạt biến dạng cực hạn: bê tông nén đạt cực hạn trong khi thép vẫn chảy dẻo, từ đó xác định moment và độ cong giới hạn. Độ cứng hiệu dụng của dầm được xác định từ quan hệ moment-độ cong tại thời điểm thép bắt đầu chảy dẻo, phản ánh thay đổi độ cứng từ đàn hồi đến phá hoại. Hệ số điều chỉnh độ cứng là tỷ số giữa độ cứng hiệu dụng và độ cứng tiết diện ban đầu.



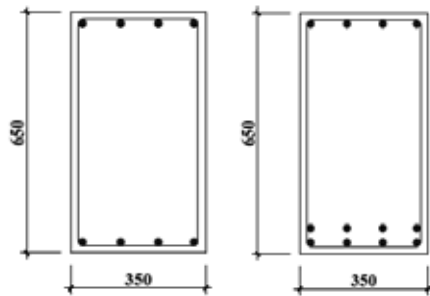
Hình 2. Sơ đồ ứng suất biến dạng của dầm BTCT theo mô hình biến dạng phi tuyến [15]



Hình 3. Quy trình tính toán hệ số hiệu chỉnh độ cứng dầm BTCT

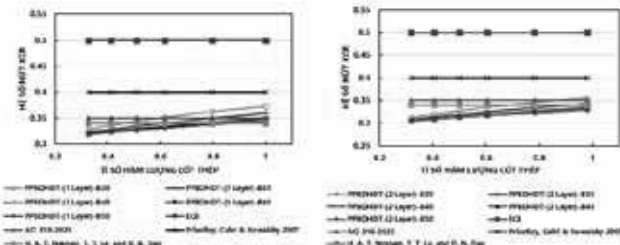
3.2. Xác định hệ số điều chỉnh độ cứng của dầm BTCT

Xét dầm BTCT tiết diện chữ nhật $b = 350 \text{ mm}$, $h = 650 \text{ mm}$, mục tiêu xác định độ cứng hiệu dụng và hệ số điều chỉnh độ cứng khi cốt thép bắt đầu chảy. Bài toán được xem xét hai trường hợp. Trường hợp 1: Cáp bê tông thay đổi từ B30 đến B50, cốt thép vùng kéo một lớp. Trường hợp 2: Bê tông tương ứng, cốt thép vùng kéo hai lớp. Cốt thép kéo dùng CB500V, vùng nén CB400V, phản ánh thực tế: vùng kéo yêu cầu diện tích lớn, vùng nén ít thép để hợp lý kinh tế. Trường hợp kéo một lớp: 4Ø28 cho kéo; nén từ 4Ø16-4Ø28. Trường hợp kéo hai lớp: lớp 1 và 2 đều 4Ø20; nén từ 4Ø16-4Ø30.



Hình 4. Tiết diện đầm bê tông bố trí một lớp và hai lớp thép vùng kéo kết hợp một lớp thép vùng nén

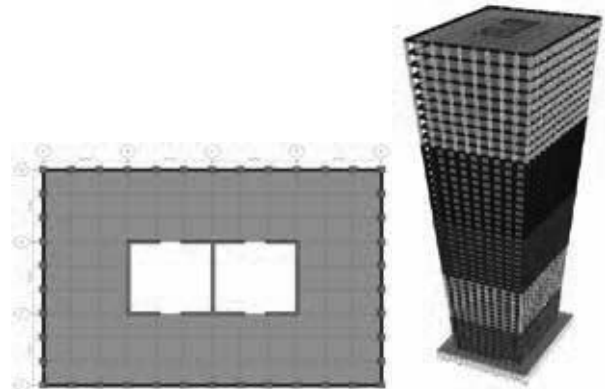
Hình 5 cho thấy hệ số điều chỉnh độ cứng của đầm bê BTCT không phải hằng số mà biến thiên đáng kể theo hàm lượng và bố trí cốt thép, đặc biệt là cốt thép nén. Cốt thép nén giúp kiểm soát vết nứt, duy trì độ cứng sau nứt và phân bố ứng suất đồng đều hơn, nên khi tăng hàm lượng, hệ số điều chỉnh độ cứng có xu hướng tăng. So sánh với tiêu chuẩn cho thấy ACI 318-2025 và EC8 quy định hệ số điều chỉnh độ cứng gần như cố định, đơn giản và an toàn nhưng chưa phản ánh đầy đủ ảnh hưởng của cốt thép nén. EC8 thường cho giá trị cao hơn để kiểm soát biến dạng, đặc biệt với tải trọng động. Phương pháp theo biểu đồ ứng suất phi tuyến cho kết quả gần ACI nhưng thể hiện rõ hơn vai trò cốt thép nén và cũng khá gần với nghiên cứu của H. A. T. Nguyen, T. T. Le, and D. N. Dao đã đề xuất, đồng thời nằm trong khoảng đề xuất của Priestley, Calvi & Kowalsky (2007). Khoảng hệ số điều chỉnh độ cứng 0.17-0.44 của Priestley, Calvi & Kowalsky cho thấy sự biến thiên lớn và khác biệt rõ rệt so với ACI và EC8, phản ánh trực tiếp mức độ tham gia của cốt thép vào khả năng chịu uốn và kiểm soát vết nứt.



Hình 5. Kết quả hệ số điều chỉnh độ cứng của đầm BTCT so sánh với các tiêu chuẩn khác và kết quả công bố khác

4. NGHIÊN CỨU ĐIỂN HÌNH

Nghiên cứu điển hình được thực hiện trên mô hình nhà cao 50 tầng nổi và 2 tầng hầm, đại diện cho loại hình phổ biến tại các đô thị lớn ở Việt Nam. Công trình sử dụng hệ khung sàn phẳng kết hợp ống khung bao quanh và lõi cứng trung tâm nhằm tăng độ cứng tổng thể và phân tán tải trọng ngang hiệu quả, đồng thời giảm hiệu ứng trễ cắt trong các ống khung thông thường (Hình 6). Các kích thước kết cấu và tải trọng giả định được trình bày trong Bảng 3 và 4; vật liệu, gió, động đất được tính toán theo tiêu chuẩn hiện hành [13], [5], [14], [15]. Công trình được khảo sát tại hai vị trí điển hình là TP.HCM và TP Đà Nẵng. Tại TP.HCM, tải trọng gió thiết kế tương ứng 95 daN/m², trong khi tác động động đất được đặc trưng bởi gia tốc nền $a_{gR} = 0.08g$, hệ số ứng xử $q = 1.6$ và cấp dẻo DCL [21]. Đối với TP Đà Nẵng, tải trọng gió lớn hơn với giá trị 125 daN/m², đồng thời tác động động đất được xác định với gia tốc nền $a_{gR} = 0.12g$, hệ số ứng xử $q = 3.12$ và cấp dẻo DCM [21]. Hệ ống có lưới cột 8×8 m, chiều cao tầng điển hình 3.3 m, tầng hầm 3 m; đầm biên 350×650 mm; sàn dày 250 mm; khoảng cách cột chu vi 2.667 m. Kích thước cột giảm theo chiều cao: 800×800 mm (tầng 1-10), 750×750 mm (tầng 11-20), 700×700 mm (tầng 21-30), 650×650 mm (tầng 31-40), và 600×600 mm (tầng 41-50). Lõi cứng dày 500 mm đảm bảo khả năng kháng uốn - cắt cho toàn hệ.



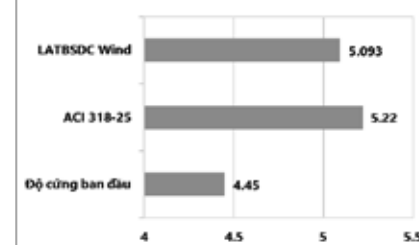
Hình 6. Tòa nhà hệ ống 50 tầng, mặt bằng và mô hình 3D ETABS

4.1. Phân tích công trình chịu tải gió

Bảng 1. Các độ cứng hiệu dụng từng trường hợp phân tích tải gió tiêu chuẩn

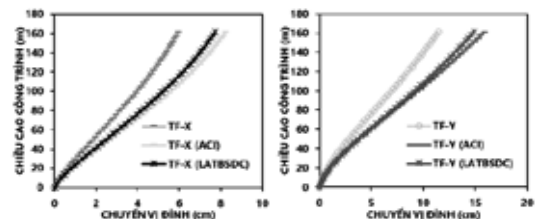
Đầm	Cột	Vách	Sàn	Ghi chú
1.0I _g	1.0I _g	1.0I _g	1.0I _g	Độ cứng ban đầu
0.49I _g	0.98I _g	0.98I _g	0.35I _g	ACI 318-25 [16]
0.7I _g	0.8I _g	0.75I _g	0.5I _g	LATBSDC Wind [17]

Hình 8 Kết quả cho thấy chu kỳ dao động cơ bản của công trình phụ thuộc trực tiếp vào độ cứng tổng thể: khi áp dụng các giả thiết khác nhau về độ cứng hiệu dụng của cấu kiện sẽ làm thay đổi độ cứng công trình, kéo theo sự biến thiên chu kỳ. Do mối quan hệ nghịch, tần số dao động giảm khi chu kỳ tăng. Đồng thời, khi độ cứng tăng, chu kỳ giảm và ngược lại khi độ cứng giảm, chu kỳ lại tăng.

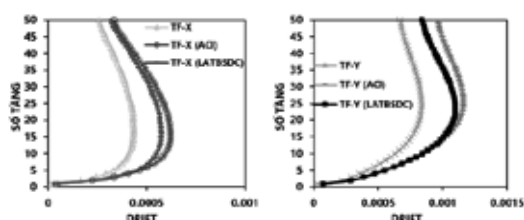


Hình 7. Kết quả hệ ống xét tải gió

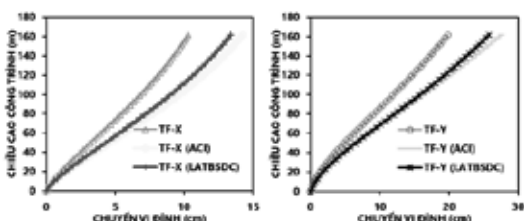
Hình 8 đến 11 cho thấy chuyển vị đỉnh tầng gần tuyến tính theo chiều cao ở cả ba trường hợp phân tích. ACI cho giá trị lớn nhất, đạt 15.9 cm tại TP.HCM và 19.84 cm tại TP Đà Nẵng. Trường hợp LATBSDC cho giá trị lần lượt 14.92 cm và 25.83 cm. Trường hợp độ cứng ban đầu cho kết quả nhỏ nhất, tương ứng 11.46 cm và 19.84 cm. Drift thể hiện cùng xu hướng: trường hợp ACI đạt giá trị cao nhất (0.00116 tại TP.HCM và 0.002 tại TP Đà Nẵng), tiếp theo là LATBSDC (0.00109 và 0.0189), và thấp nhất khi dùng độ cứng ban đầu (0.000836 và 0.00144). Các trường hợp ACI và LATBSDC dự đoán chuyển vị đỉnh và Drift lớn hơn so với giả định độ cứng ban đầu. Ngược lại, giả thiết độ cứng ban đầu làm tăng độ cứng tính toán, từ đó giảm đáng kể giá trị chuyển vị dự đoán. Tuy nhiên, sự chênh lệch giữa kết quả tính toán theo ACI và LATBSDC không đáng kể. Trong khi đó, với hệ ống, mức gia tăng chuyển vị tương ứng là 39% và 30% so với trường hợp độ cứng ban đầu.



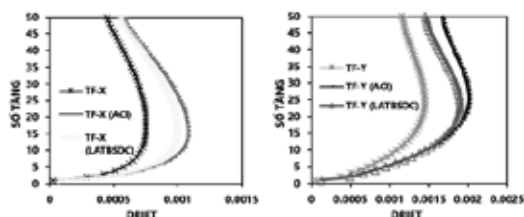
Hình 8. Chuyển vị đỉnh của hệ ống tại TP.HCM



Hình 9. Drift của hệ ống tại TPHCM



Hình 10. Chuyển vị đỉnh của hệ ống tại TP Đà Nẵng



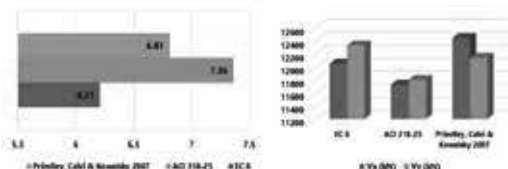
Hình 11. Drift của hệ ống tại TP Đà Nẵng

4.2. Phân tích công trình chịu tải động đất

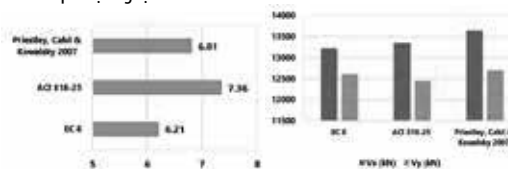
Bảng 2. Các độ cứng hiệu dụng từng trường hợp phân tích tải động đất

Dầm	Cột	Vách	Sàn	Ghi chú
0.5I _g	0.5I _g	0.5I _g	0.5I _g	Eurocode 8 [19]
0.35I _g	0.7I _g	0.35I _g	0.25I _g	ACI 318-25 [16]
0.4I _g	0.8I _g	0.3I _g	-	Priestley, Calvi & Kowalsky 2007 [20]

Hình 12 và 13 Kết quả phân tích cho thấy tại TPHCM, chu kỳ dao động cơ bản và lực cắt đáy thay đổi đáng kể khi áp dụng các giả thiết khác nhau về hệ số hiệu chỉnh độ cứng hiệu dụng. Mô hình theo Eurocode 8 (EC8) có độ cứng lớn nhất, dẫn đến chu kỳ ngắn nhất (6.21s) và lực cắt đáy lớn nhất theo phương Y. Ngược lại, ACI 318-25 cho chu kỳ dài nhất (7.36s) và lực cắt đáy nhỏ nhất ở cả hai phương. Mô hình Priestley, Calvi & Kowalsky (2007) có chu kỳ trung gian (6.81s), nhưng lực cắt đáy lớn nhất theo phương X. Tại TP Đà Nẵng, xu hướng khác biệt được ghi nhận, theo phương X, mô hình Priestley, Calvi & Kowalsky (2007) cho lực cắt đáy lớn nhất, tiếp theo là ACI 318-25 và nhỏ nhất là EC8; còn theo phương Y, thứ tự lần lượt là Priestley, Calvi & Kowalsky (2007), EC8, và ACI 318-25.

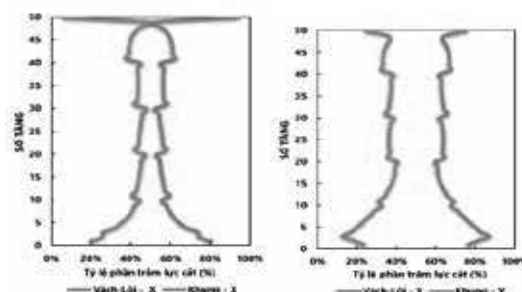


Hình 12. Kết quả hệ ống tại TPHCM

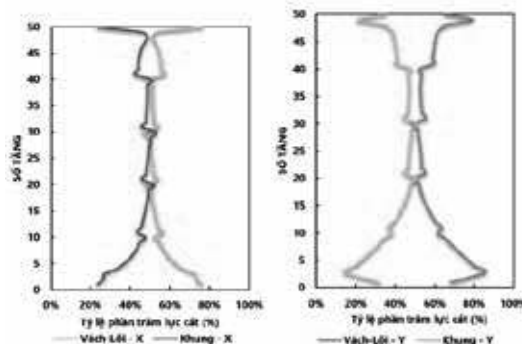


Hình 13. Kết quả hệ ống tại TP Đà Nẵng

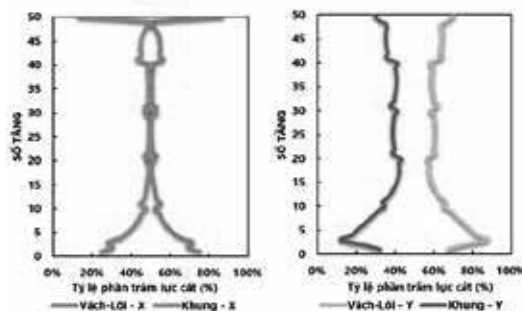
Hình 14 đến 19 cho thấy vách và khung trong hệ ống chịu lực cắt tương đương nhau, với vách chiếm khoảng 50-86% và khung chiếm khoảng 20-55%, phụ thuộc vào hệ số điều chỉnh độ cứng được xét trong từng trường hợp phân tích. Lực cắt mà vách chịu tập trung nhiều ở các tầng dưới và giảm dần lên các tầng trên; ngược lại, lực cắt do khung chịu có xu hướng tăng dần ở các tầng trên. Phân bố lực cắt nhìn chung ổn định từ tầng đáy đến gần tầng mái, chỉ xuất hiện biến thiên cục bộ tại một số khu vực do sự thay đổi đặc tính cứng của cấu kiện. Sự phân bố này phản ánh vai trò kháng lực ngang chủ đạo của hệ ống, trong khi các cột và dầm đóng vai trò hỗ trợ, góp phần phân phối nội lực và duy trì khả năng biến dạng dẻo tổng thể. Phân bố lực cắt cũng chịu ảnh hưởng trực tiếp từ hệ số điều chỉnh độ cứng của từng thành phần.



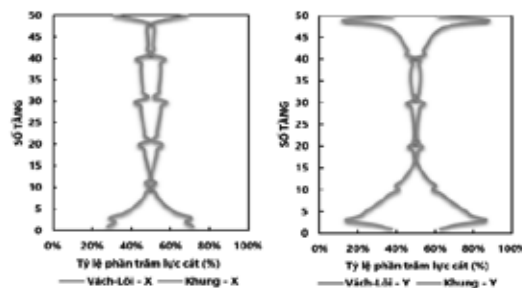
Hình 14. Lực cắt phân bố vào vách và khung (EC8) của hệ ống (TPHCM)



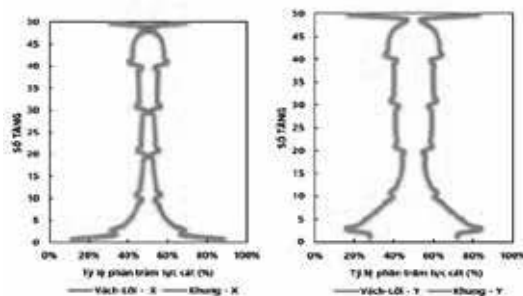
Hình 15. Lực cắt phân bố vào vách và khung (EC8) của hệ ống (TP Đà Nẵng)



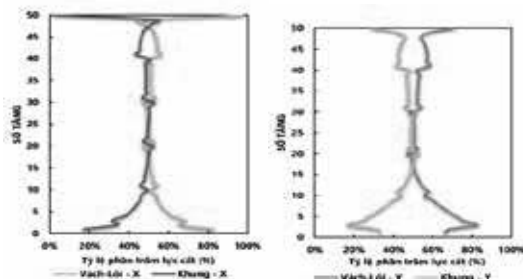
Hình 16. Lực cắt phân bố vào vách và khung (ACI) của hệ ống (TPHCM)



Hình 17. Lực cắt phân bố vào vách và khung (ACI) của hệ ống (TP Đà Nẵng)

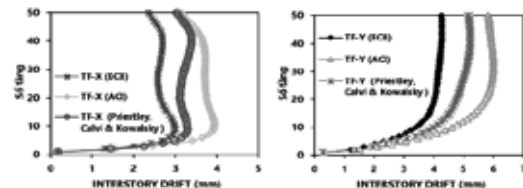


Hình 18. Lực cắt phân bổ vào vách và khung (Priestley, Calvi & Kowalsky) của hệ ống (TP.HCM)

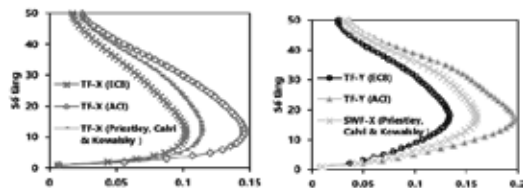


Hình 19. Lực cắt phân bổ vào vách và khung (Priestley, Calvi & Kowalsky) của hệ ống (TP Đà Nẵng)

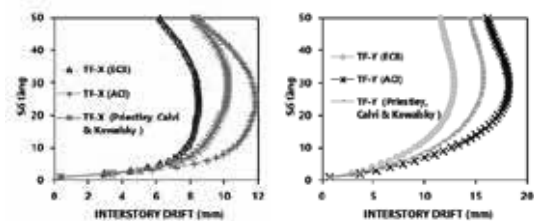
Hình 20 đến Hình 23 Phân bố chuyển vị tương đối tầng và hệ số độ nhảy giữa các tầng của hệ ống được xác định theo ba phương pháp phân tích: EC8, ACI và Priestley-Calvi-Kowalsky. Kết quả cho thấy, trường hợp ACI dẫn đến giá trị Drift lớn nhất tại hầu hết các tầng, phản ánh giả định hệ số điều chỉnh độ cứng khác biệt so với hai phương pháp còn lại; ngược lại, EC8 cho giá trị nhỏ nhất, trong khi Priestley-Calvi-Kowalsky cho kết quả trung gian, gần với EC8 ở các tầng giữa so với ACI. Sự khác biệt này chủ yếu xuất phát từ các giả định khác nhau về hệ số điều chỉnh độ cứng của cấu kiện cũng như phân bố tải trọng ngang trong từng trường hợp phân tích. Đối với hệ số độ nhảy giữa tầng θ , cả ba trường hợp đều cho thấy θ nhỏ ở các tầng thấp, tăng dần và đạt cực đại trong khoảng tầng 20-30 trước khi giảm ở các tầng trên. Trong đó, ACI cho giá trị θ lớn nhất do giả định hệ số này, dẫn đến độ nhảy giữa các tầng lớn hơn; EC8 cho giá trị thấp nhất, còn Priestley-Calvi-Kowalsky ở mức trung gian. Khi so sánh với giới hạn θ theo TCVN 9386:2012 ($\theta \leq 0.3$), các kết quả cho thấy một số tầng ở hệ ống tại TP Đà Nẵng vượt quá giới hạn này, trong khi các tầng tương ứng tại TP.HCM vẫn nằm trong phạm vi cho phép nhưng vẫn nằm trong khoảng $0.1 \leq \theta \leq 0.3$. Như vậy, đối với trường hợp vượt giới hạn θ , việc thực hiện phân tích phi tuyến P- Δ là bắt buộc để đảm bảo nội lực thiết kế và ổn định tổng thể. Việc đánh giá chi tiết θ theo từng tầng giúp xác định chính xác các tầng cần chú ý trong thiết kế chống động đất, đảm bảo an toàn và đáp ứng các giới hạn thiết kế kháng tải động đất.



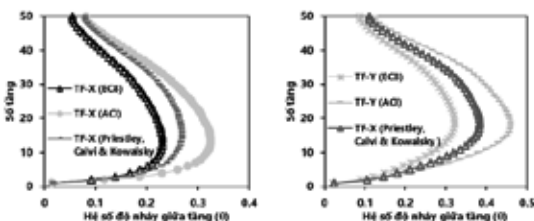
Hình 20. Độ trôi tầng của hệ ống tại TP.HCM



Hình 21. Độ nhảy giữa tầng của hệ ống tại TP.HCM



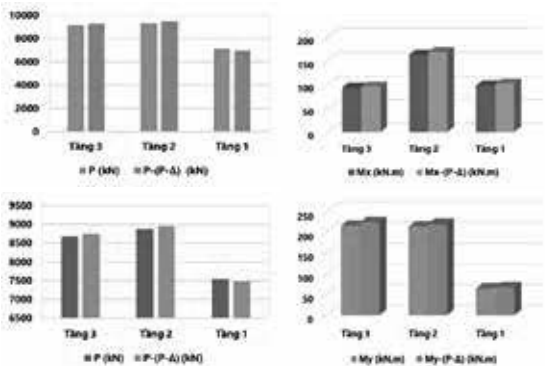
Hình 22. Độ trôi tầng của hệ ống tại TP Đà Nẵng



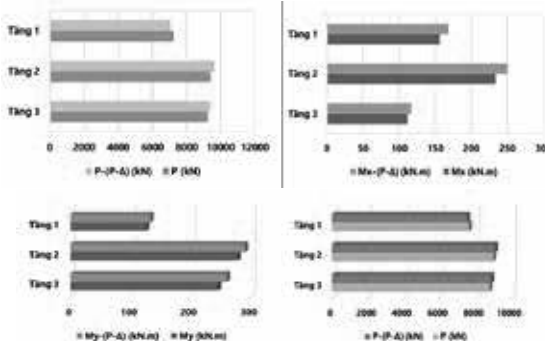
Hình 23. Độ nhảy giữa tầng của hệ ống tại TP Đà Nẵng

4.3. Phân tích hiệu ứng bậc 2 do tải động đất gây ra

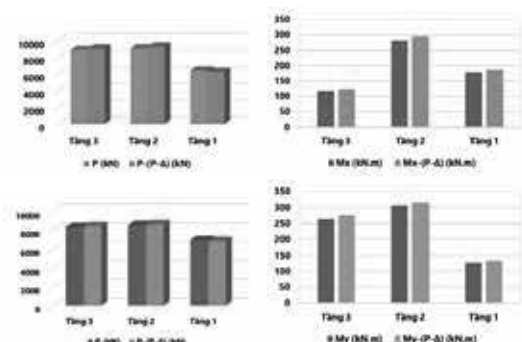
Hình 24 đến hình 26, kết quả phân tích đối với hệ ống cho thấy xu hướng tương tự: lực dọc gần như giữ nguyên, mức chênh lệch chỉ khoảng 1% đến 2% so với trước phân tích. Trái lại, các moment uốn tầng rõ rệt hơn và phụ thuộc vào từng trường hợp tính toán. Với EC8, mức tăng khá nhỏ, M_x dao động 2% đến 4% và M_y khoảng 3% đến 5%, theo ACI, giá trị tăng lớn hơn, M_x thay đổi 2% đến 8% và M_y tăng 5% đến 7%, trong khi đó, Priestley-Calvi-Kowalsky cho mức gia tăng thấp hơn, M_x trong khoảng 2% đến 5% và M_y khoảng 3% đến 5% so với giá trị chưa xét hiệu ứng này. Kết quả này cho thấy hiệu ứng bậc 2 trong hệ ống cũng chủ yếu làm tăng moment uốn trong cột, còn lực dọc hầu như không bị chi phối. Đáng chú ý, ACI một lần nữa thể hiện mức nhạy cao nhất, trong khi EC8 và Priestley-Calvi-Kowalsky cho kết quả khiêm tốn hơn. Điều này khẳng định việc xét đến hiệu ứng bậc hai trong thiết kế hệ ống là cần thiết để đảm bảo an toàn và ổn định, đặc biệt khi áp dụng theo ACI.



Hình 24. Kết quả phân tích hiệu ứng bậc 2 cột với hệ ống theo EC8



Hình 25. Kết quả phân tích hiệu ứng bậc 2 cột với hệ ống theo ACI



Hình 26. Kết quả phân tích hiệu ứng bậc 2 cột với hệ ống theo Priestley, Calvi & Kowalsky (2007)

5. KẾT LUẬN

Hệ số điều chỉnh độ cứng của dầm BTCT không phải là hằng số như trong các tiêu chuẩn hiện hành quy định, mà phụ thuộc đáng kể vào hàm lượng và cách bố trí cốt thép, đặc biệt là cốt thép vùng nén. Các cấu kiện khác như cột, vách và sàn cũng có thể nói tương tự. Việc tăng cấp độ bền bê tông chỉ cải thiện moment kháng nứt và giới hạn, nhưng không làm tăng tương ứng hệ số này, do sự phát triển vết nứt trong quá trình làm việc. Do đó, phương án này không hiệu quả nếu mục tiêu là nâng cao độ cứng làm việc thực tế.

Phương pháp biểu đồ ứng suất-biến dạng hai đoạn thẳng theo TCVN 5574:2018 cho kết quả gần với ACI 318-2025 (H. A. T. Nguyen et al.) và nằm trong khoảng kết quả nghiên cứu của Priestley-Calvi-Kowalsky (2007). Kết quả này đồng thời phản ánh đúng vai trò của cốt thép nén, trong khi Eurocode 8 có xu hướng đánh giá hệ số điều chỉnh độ cứng cao hơn.

Kết quả phân tích hệ ống với sàn phẳng cho thấy hệ số điều chỉnh độ cứng quyết định ứng xử tổng thể, hệ số điều chỉnh độ cứng giảm làm tăng chu kỳ dao động, chuyển vị ngang và xuất hiện thêm hiệu ứng bậc hai (P-Δ), đồng thời giảm ổn định và khả năng kháng chấn. Với tải trọng gió, xét đến hệ số điều chỉnh độ cứng làm chuyển vị tầng rõ rệt khoảng 39% cho ACI và 30% với LATBSDC so với trường hợp độ cứng ban đầu. Với tải trọng động đất, ACI và Priestley-Calvi-Kowalsky cho chuyển vị ngang lớn hơn EC8.

Hệ số điều chỉnh độ cứng ảnh hưởng trực tiếp đến cơ chế tương tác giữa vách và khung. Kết quả phân tích cho thấy trong mọi trường hợp xét đến độ cứng hiệu dụng, vách chịu phần lớn nội lực ở khu vực tầng dưới, còn khung đóng góp nhiều hơn tại các tầng trên. Đối với EC8, lực vẫn thiên về vách là chủ yếu, đặc biệt ở khu vực dưới, tuy nhiên khung vẫn tham gia chịu lực ở phần trên, dù mức độ không lớn, dẫn đến mức độ tham gia của khung tương đối hạn chế. Priestley-Calvi-Kowalsky dự báo sự phân phối hợp lý hơn, khi khung bắt đầu tham gia chịu lực đáng kể ở phần trên hợp trình. Với ACI, xu hướng này thể hiện rõ nhất: vách chiếm ưu thế ở các tầng dưới, còn khung chiếm ưu thế ở tầng trên, cho phân phối nội lực phù hợp với cơ chế làm việc giữa vách và khung trong hệ kết cấu nhà cao tầng.

Tại Đà Nẵng, do gia tốc nền lớn, khi áp dụng cấp dẻo trung bình (DCM) cùng hệ số điều chỉnh độ cứng, ảnh hưởng của hệ số này làm công trình vượt quá các giới hạn cho phép. Tại TP.HCM, công trình thỏa mãn yêu cầu nhưng xuất hiện rõ hiệu ứng bậc hai, làm tăng moment và giảm dự trữ ổn định. Mức độ tác động phụ thuộc trường hợp phân tích, trong đó ACI cho nội lực tăng cao nhất, tiếp theo là Priestley-Calvi-Kowalsky, còn EC8 thấp hơn.

Nghiên cứu hiện tại còn hạn chế khi chưa xem xét đồng thời cơ sở lý thuyết về hệ số giảm độ cứng cho các cấu kiện khác như cột, vách và sàn. Do sự tương tác giữa khung và vách thay đổi theo chiều cao, mức

độ nứt và suy giảm độ cứng của các cấu kiện cũng khác nhau, nên cần nghiên cứu sự biến thiên hệ số giảm độ cứng theo chiều cao để phản ánh chính xác hơn ứng xử thực của kết cấu dưới tải ngang. Ngoài ra, vì cấu kiện BTCT luôn có vết nứt và sự giảm độ cứng ảnh hưởng lớn đến chuyển vị ngang dưới tải gió, cần tiếp tục nghiên cứu cả lý thuyết và thực nghiệm để xuất hệ số này phù hợp cho phân tích tải gió.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. A. Elnashai and L. Di Sarno, Fundamentals of Earthquake Engineering. 2008.
- [2]. T. C. f. t. Design and P. o. T. B. f. Wind, "Design and performance of tall buildings for wind," 2020: American Society of Civil Engineers.
- [3]. A. S. John-Michael Wong, Katy Briggs, Cenk Ergin. "Effective Stiffness for Modeling Reinforced Concrete Structures." STRUCTURE Magazine. <https://www.structuremag.org/article/effective-stiffness-for-modeling-reinforced-concrete-structures/> (accessed).
- [4]. H. M. d. S. B. d. Santos. "Seismic Analysis of Reinforced Concrete Structures Using Different Values of Stiffness." Instituto Superior Técnico, University of Lisbon, Portugal. <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1407770020545140/extended%20abstract.pdf> (accessed).
- [5]. Thiết kế công trình chịu động đất, TCVN 9386:2012, Hà Nội, 2012.
- [6]. F. Vecchio and S. Balopoulou, "On the nonlinear behaviour of reinforced concrete frames," Canadian Journal of Civil Engineering, vol. 17, no. 5, pp. 698-704, 1990.
- [7]. M. Ahmed et al., "Effect of concrete cracking on the lateral response of RCC buildings," 2008.
- [8]. S. Foroughi and S. B. Yüksel, "Effective flexural stiffness for reinforced concrete shear walls having confined boundary elements," Journal of Structural Engineering & Applied Mechanics (Online), 2021.
- [9]. M. Khuntia and S. K. Ghosh, "Flexural stiffness of reinforced concrete columns and beams: Analytical approach," Structural Journal, vol. 101, no. 3, pp. 351-363, 2004.
- [10]. J. Pique and M. Burgos, "Effective rigidity of reinforced concrete elements in seismic analysis and design," in The 14th World Conference on Earthquake Engineering, 2008, vol. 12, p. 17.
- [11]. H. A. T. Nguyen et al., "Seismic Response of a Reinforced Concrete Frame with Reduced Stiffness," in Recent Advances in Structural Health Monitoring and Engineering Structures: Select Proceedings of SHM and ES 2022: Springer, 2022, pp. 267-277.
- [12]. C. C. a. s. Inc, Lateral Loads Manual. Berkeley, California, USA: Computers and Structures, Inc, 2024.
- [13]. Tải trọng và tác động, TCVN 2737:2023, Hà Nội, 2023.
- [14]. Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về số liệu điều kiện tự nhiên dùng trong xây dựng, QCXĐ 02:2022/BXD, Hà Nội, 2022.
- [15]. Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép – Tiêu chuẩn thiết kế, TCVN 5574:2018, Hà Nội, 2018.
- [16]. Building Code Requirements for Structural Concrete, ACI 318-25, Michigan. USA, 2025.
- [17]. Gregg Brandow et al., "An alternative procedure for seismic analysis and design of tall buildings located in the Los Angeles region. 2015 Edition," Los Angeles Tall Buildings Structural Design Council, 2015.
- [18]. C. En, "3 Eurocode 8: design of structures for earthquake resistance-part 3: assessment and retrofitting of buildings," European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 2005.
- [19]. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance-Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings BS EN 1998-1, 2004.
- [20]. M. N. Priestley et al., Displacement-based seismic design of structures. IUSS press Pavia, Italy, 2007.
- [21]. V. M. Quang et al., "Một số vấn đề trong thiết kế khung bê tông cốt thép cấp độ dẻo thấp và trung bình theo TCVN 9386: 2012," Tạp chí Khoa học và Công nghệ Xây dựng, Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng, vol. 4, 2021.

Tính toán chọc thủng cho sàn phẳng bê tông cốt thép tại liên kết với cột ống thép nhồi bê tông ở vị trí cột biên và cột góc

Punching Shear Calculation for Reinforced Concrete Flat Slabs at Connections with Concrete-Filled Steel Tube Columns in Edge and Corner Positions

> TS PHAN VĂN HUỆ^{1*}, TS TRƯƠNG QUANG HẢI¹

¹Trường Đại học Xây dựng Miền Trung

*Email: phanvanhue@muce.edu.vn

TÓM TẮT

Trong hệ kết cấu kết hợp cột ống thép nhồi bê tông (CFST) và sàn phẳng bê tông cốt thép (BTCT) thì liên kết đóng vai trò quan trọng đảm bảo sự liên tục giữa sàn - cột và giúp cho các cấu kiện phát huy hết khả năng làm việc, giữ cho công trình không bị sụp đổ. Đối với sàn ở những vị trí cột biên và cột góc, do sự không đối xứng về mặt hình học nên trong liên kết luôn chịu tác dụng của tải trọng đứng và mô men không cân bằng chuyển vào cột và tác động đồng thời này gây ra trạng thái ứng suất phức tạp trong sàn với ứng xử chủ yếu của sàn phẳng bê tông cốt thép tại vùng liên kết là chọc thủng. Hiện nay, các chỉ dẫn tính toán thiết kế cho sàn tại liên kết với cột biên và cột góc ống thép nhồi bê tông còn thiếu gây khó khăn cho người thiết kế cũng như làm hạn chế việc ứng dụng hệ kết cấu này trong thực tế. Do đó, bài báo này sẽ trình bày việc tính toán chọc thủng của sàn phẳng BTCT tại liên kết ở vị trí cột biên, cột góc khi sử dụng shearheads là các thép hình chữ H, I làm chi tiết liên kết. Kết quả nghiên cứu sẽ cung cấp giải pháp tính toán liên kết với mong muốn áp dụng hệ kết cấu này vào các công trình xây dựng nhà cao tầng tại Việt Nam.

Từ khóa: cột ống thép nhồi bê tông; sàn phẳng bê tông cốt thép; cắt thủng; cột biên, cột góc, liên kết sàn-cột.

ABSTRACT

In composite structural systems comprising concrete-filled steel tube (CFST) columns and reinforced concrete (RC) flat slabs, the slab-column connection plays a critical role in ensuring structural continuity and enabling structural members to fully develop their load-carrying capacity, thereby preventing collapse. At edge and corner connections, asymmetric slab geometry induces an unbalanced moment under vertical loading, resulting in a complex stress state and punching shear as the dominant failure mode. However, current design codes lack specific provisions for calculating punching shear capacity in such CFST edge and corner connections, hindering practical adoption. This paper proposes a computational method for evaluating punching shear in RC flat slabs at these critical locations, incorporating H and I shaped steel shearheads as connection reinforcement. The developed design solution aims to promote the application of CFST-RC flat slab systems in high-rise buildings in Vietnam.

Keywords: concrete filled steel tube column; reinforced concrete flat slabs; punching shear; edge column; corner column; slab-column connections.

1. GIỚI THIỆU

Hiện nay, các nghiên cứu về liên kết giữa cột ống thép nhồi bê tông với sàn phẳng BTCT được thực hiện xoay quanh ba kiểu liên kết chủ yếu hoặc sử dụng shearhead là các thép hình chữ H, I được hàn vào bề mặt ngoài của ống thép để kết nối sàn - cột hoặc sử dụng các tấm thép hàn theo chu vi cột tại mặt dưới của sàn để đỡ tấm sàn BTCT hoặc sử dụng các đỉnh chống cắt hàn tại bề mặt ngoài ống thép để làm chi tiết liên kết. Hầu hết các nghiên cứu thực hiện đều là thực nghiệm cho liên kết cột giữa ống thép nhồi bê tông với sàn phẳng BTCT và sử dụng tải trọng đứng tâm để phá hoại mẫu với ứng xử phá hoại chủ yếu là chọc thủng. Các nghiên cứu ứng xử liên kết

cột biên CFST, cột góc CFST với sàn phẳng BTCT hay liên kết chịu tải trọng lệch tâm cả về lý thuyết và thực nghiệm còn hạn chế. Các tiêu chuẩn thiết kế như ACI318-14 [1], Eurocode 2 [2], TCVN 5574-2018 [3] cũng chưa đề cập đến các quy định cấu tạo cũng như tính toán liên kết cột CFST với sàn phẳng bê tông cốt thép.

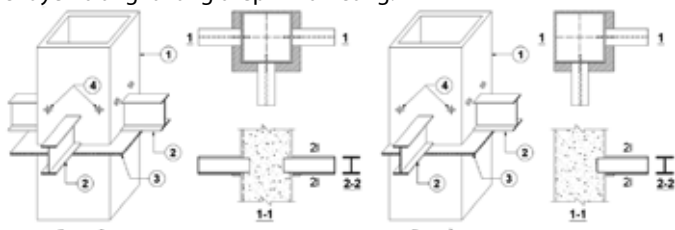
Trong trường hợp sàn ở những vị trí cột biên và cột góc, do sự không đối xứng về mặt hình học và tính chất tác dụng của tải trọng nên trong liên kết luôn chịu tải tác dụng đồng thời của tải trọng đứng và mô men không cân bằng chuyển vào cột gây ra trạng thái ứng suất phức tạp trong sàn với ứng xử chủ yếu của sàn phẳng bê tông cốt thép tại vùng liên kết là chọc thủng. Hiện nay, các chỉ dẫn tính toán

thiết kế cho sàn tại liên kết với cột biên và cột góc ống thép nhồi bê tông còn thiếu gây khó khăn cho người thiết kế cũng như làm hạn chế việc ứng dụng hệ kết cấu này trong thực tế. Nghiên cứu trước đây của tác giả [4] cũng đã xây dựng giải pháp tính toán cho liên kết cột giữa ống thép nhồi bê tông với sàn phẳng bê tông cốt thép tham khảo tiêu chuẩn Hoa Kỳ ACI 318-14. Bài báo này sẽ trình bày việc tính toán chọc thủng của sàn phẳng BTCT tại liên kết ở vị trí cột biên, cột góc khi sử dụng shearheads là các thép hình chữ H, I làm chi tiết liên kết. Kết quả tính toán cùng với những nghiên cứu trước của tác giả sẽ cung cấp đầy đủ giải pháp tính toán liên kết cho cả cột giữa, cột biên, cột góc để sử dụng tính toán thiết kế liên kết và áp dụng hệ kết cấu này vào các công trình xây dựng nhà cao tầng tại Việt Nam.

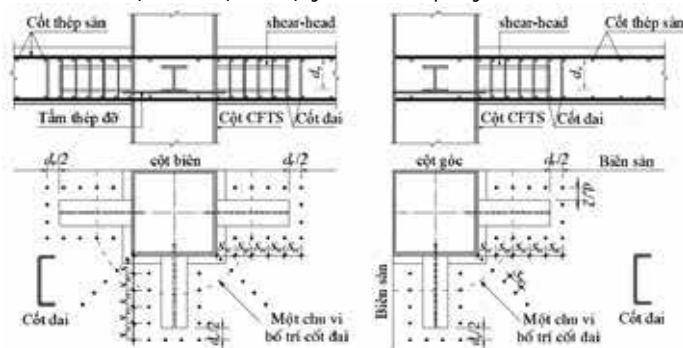
2. CẤU TẠO LIÊN KẾT CỘT BIÊN VÀ CỘT GÓC CFST VỚI SÀN PHẪNG BTCT

Trong bài báo này sẽ trình bày cấu tạo cho liên kết cột biên, cột góc ống thép nhồi bê tông với sàn phẳng bê tông cốt thép khi sử dụng shearhead để làm chi tiết liên kết. Liên kết này có cấu tạo tương tự như nghiên cứu [4] cho hai trường hợp có và không có gia cường cốt đai cho sàn tại vùng liên kết.

Trong Hình 1 là cấu tạo chi tiết liên kết cho cột biên và cột góc gồm: (1) shearhead là thép hình chữ H hoặc I có phần bụng thép hình chữ H hoặc I được ngàm vào bên trong cột và hàn tại mặt ngoài ống thép; (2) tấm thép đỡ được bố trí phía dưới của cánh dưới tiết diện thép hình H hoặc I, được hàn theo chu vi cột nhằm tạo điểm tựa để tiếp nhận tải trọng từ sàn vào cột tại các vị trí góc của cột; (3) cốt thép sàn được xuyên qua cột bởi các lỗ khoan sẵn trên mặt cột, nhằm đảm bảo sự liên tục giữa sàn và cột như kết cấu bê tông cốt thép thường. Để thuận tiện cho đổ bê tông lõi cột, các cốt thép này nên được bố trí sao cho đủ tạo khoảng trống cho ống đổ bê tông di chuyển trong lõi ống thép khi thi công.



Hình 1. Cấu tạo liên kết cột biên, cột góc CFST với sàn phẳng BTCT



Hình 2. Cấu tạo liên kết cột biên, cột góc CFST với sàn phẳng bê tông cốt thép có cốt đai gia cường

Với trường hợp sàn có gia cường cốt đai tại vùng liên kết, cốt thép đai được cấu tạo theo tiêu chuẩn ACI 318-14 cụ thể như sau: cốt đai có hình dạng chữ C, được tạo hình từ thép thanh uốn móc 2 đầu với chiều dài móc neo lớn hơn 6 lần đường kính cốt đai; vị trí và khoảng cách bố trí cốt đai: bố trí xung quanh các cánh và đỉnh shearhead một khoảng $d_v/2$ (d_v là chiều cao làm việc chịu cắt của sàn

được xác định từ cánh dưới của shearhead đến trọng tâm lớp cốt thép chịu uốn). Lớp cốt đai đầu tiên bố trí cách mặt cột một đoạn $d_v/2$, các lớp cốt đai tiếp theo bố trí cách khoảng nhỏ hơn hoặc bằng $3d_v/4$. Chi tiết bố trí cốt đai cho sàn được thể hiện trên Hình 2.

3. TÍNH TOÁN CHỌC THỦNG CHO SÀN PHẪNG BTCT TẠI LIÊN KẾT VỚI CỘT BIÊN CFST VÀ CỘT GÓC CFST

Đối với sàn phẳng BTCT ứng xử quan trọng của sàn tại vị trí liên kết sàn – cột là chọc thủng. Trong thực tế với đặc điểm của sàn ở vị trí cột biên và cột góc thì bên cạnh lực cắt tại liên kết sẽ luôn chịu thêm mô men không cân bằng. Tác dụng đồng thời của lực cắt V_u và mô men không cân bằng M_u sẽ làm gia tăng ứng suất cắt về phía đặt tải lệch tâm. Khi ứng suất cắt này vượt quá khả năng chịu cắt của bê tông thì sàn sẽ xuất hiện các vết nứt nghiêng. Trong trường hợp sàn có bố trí cốt đai thì cốt đai sẽ tiếp nhận ứng suất cắt giúp hạn chế vết nứt gia tăng sức kháng cắt trên mặt nứt nghiêng, lúc này vết nứt nghiêng sẽ hình thành và phát triển tại vị trí khác. Khác với sàn phẳng BTCT không có shearhead vết nứt nghiêng chỉ xảy ra ở vùng quanh chu vi cột thì với trường hợp sử dụng shearhead, khi độ cứng đảm bảo thì shearhead sẽ làm việc như gối tựa giúp chuyển các vết nứt nghiêng ra xa khỏi mặt cột nên sẽ quan sát được nhiều vết nứt nghiêng dọc theo chiều dài của shearhead. Các nghiên cứu thực nghiệm [5-8] đã đồng ý xem shearhead hoạt động như một gối tựa hay “mũ cột lớn” có kích thước bằng cột CFST cộng với chiều dài đoạn vươn của shearhead và lúc đó ứng xử của sàn tại liên kết tương tự như trong sàn BTCT thông thường với sự phá hoại có thể xảy ra ở gần mặt cột hoặc trong vùng bố trí cốt đai hoặc phá hoại phát triển ra ngoài vùng bố trí cốt đai. Khả năng chịu cắt thủng của sàn là sức kháng cắt nhỏ nhất trên các vết nứt nghiêng được nêu trên.

Hiện nay, các tiêu chuẩn chưa đề cập đến việc tính toán liên kết giữa cột CFST với sàn phẳng BTCT. Tuy nhiên, với cách cấu tạo liên kết sử dụng shearhead là các thép hình tiết diện H hoặc I tương tự như cấu tạo mà tiêu chuẩn ACI 318-14 sử dụng để gia cường khả năng chịu cắt thủng cho liên kết cột BTCT – sàn BTCT. Bài báo sẽ tham khảo cách tính toán của ACI 318-14 làm cơ sở cho việc tính toán chọc thủng cho sàn tại liên kết cột biên CFST và cột góc CFST với sàn phẳng BTCT.

Xét sự làm việc thực tế của sàn tại liên kết với cột biên CFST, cột góc CFST sẽ luôn tồn tại cả lực cắt và mô men không cân bằng. Theo tiêu chuẩn ACI 318-14, ứng suất cắt tác động lên các tiết diện tới hạn do lực cắt V_u và mô men không cân bằng M_u được xác định theo biểu thức (1):

$$v_u \leq \phi v_n \quad (1)$$

trong đó: v_u là ứng suất cắt trong sàn do lực cắt V_u và mô men không cân bằng M_u tại liên kết sàn-cột tính theo công thức (2);

$$v_u = \frac{V_u}{A_c} + \frac{\gamma_{vx} M_{ux} y}{J_x} + \frac{\gamma_{vy} M_{uy} x}{J_y} \quad (2)$$

J_x, J_y là mô men quán tính của tiết diện tới hạn lấy đối với trục qua trọng tâm của diện tích tiết diện tới hạn; $A_c = b_o d_v$ là diện tích tiết diện tới hạn; b_o là chu vi tiết diện tới hạn; x, y là khoảng cách từ trục trọng tâm diện tích tiết diện tới hạn đến các vị trí biên của chu vi tới hạn theo phương x, y ; M_{ux}, M_{uy} là mô men không cân bằng của dầm sàn qua đầu cột xoay quanh trục x và y ; V_u là lực cắt tính toán tại liên kết; d_v là chiều cao làm việc hiệu quả khi chịu cắt của sàn, được lấy từ cánh dưới của shearhead đến trọng tâm cốt thép chịu uốn; γ_{vx}, γ_{vy} là hệ số chuyển lực cắt do mô men không cân bằng M_{ux}, M_{uy} gây ra trên chu vi tới hạn; v_n là khả năng chịu cắt trên các tiết diện tới hạn của sàn; $\phi = 0,75$ khi tính toán chọc thủng cho sàn.

Tùy thuộc vào cấu tạo của chi tiết liên kết và vị trí của tiết diện tới hạn mà giá trị ứng suất cắt v_n có giá trị khác nhau. Xét các trường hợp:

Trường hợp liên kết sử dụng shearhead và không bố trí cốt đai: Theo ACI 318-14 thì tiết diện tới hạn được xét tại hai vị trí: (1) chu vi

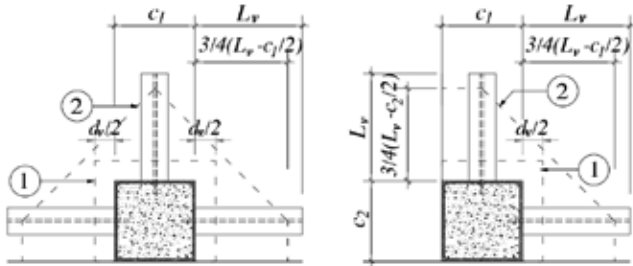
tới hạn cách chu vi cột một đoạn $d_w/2$ và (2) chu vi tới hạn cách mặt cột một khoảng bằng $3/4$ chiều dài vươn của shearhead như Hình 3. Giá trị v_n trên các tiết diện tới hạn được lấy như sau:

+ Chu vi tới hạn cách mặt cột $d_w/2$ cắt qua shearhead:

$$v_n = 0,58\sqrt{f'_c} \quad (3)$$

+ Chu vi tới hạn cách mặt cột $3/4$ chiều dài vươn của shearhead:

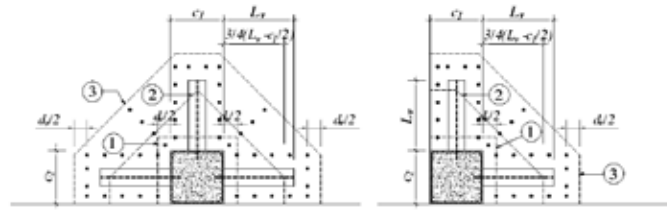
$$v_n = 0,33\sqrt{f'_c} \quad (4)$$



(1) Chu vi b_{01} cách $d/2$ từ mặt cột; (2) Chu vi b_{02} cắt qua đỉnh shear-head

Hình 3. Tiết diện tới hạn cho trường hợp liên kết sử dụng shearhead không có gia cường cốt đai cho sàn

Trường hợp liên kết sử dụng shearhead và gia cường cốt đai cho sàn: Theo ACI 318-14 thì tiết diện tới hạn được xét tại các vị trí: (1) chu vi tới hạn cách chu vi cột một đoạn $d_w/2$; (2) chu vi tới hạn cách mặt cột một khoảng bằng $3/4$ chiều dài vươn của shearhead và (3) chu vi tới hạn nằm ngoài vùng bố trí cốt đai (Hình 4). Giá trị v_n trên các tiết diện tới hạn được lấy như sau:



(1) Chu vi b_{01} cách $d/2$ từ mặt cột; (2) Chu vi b_{02} cắt qua đỉnh shear-head; (3) Chu vi b_{03} ngoài vùng bố trí cốt đai

Hình 4. Tiết diện tới hạn cho trường hợp liên kết sử dụng shearhead có gia cường cốt đai cho sàn

+ Chu vi tới hạn cách mặt cột $d_w/2$:

$$v_n = 0,58\sqrt{f'_c} + \frac{A_{sw}f_{yw}}{b_o s_w} \quad (5)$$

+ Chu vi tới hạn cách mặt cột $3/4$ chiều dài vươn của shearhead:

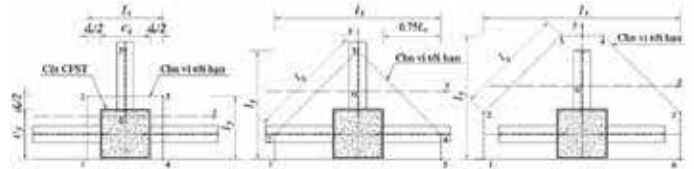
$$v_n = 0,33\sqrt{f'_c} + \frac{A_{sw}f_{yw}}{b_o s_w} \quad (6)$$

+ Chu vi tới hạn bên ngoài vùng cốt đai:

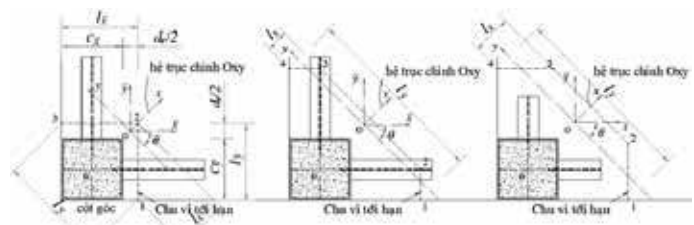
$$v_n = 0,33\sqrt{f'_c} \quad (7)$$

Trong các công thức trên thì A_{sw} là diện tích của một chu vi cốt đai (Hình 2); f_{yw} là cường độ chảy dẻo của cốt thép đai (MPa); s_w là khoảng cách giữa các chu vi cốt đai; b_o là chu vi của tiết diện tới hạn cho từng trường hợp cụ thể (Hình 4); f'_c là cường độ chịu nén của bê tông sàn.

Trong công thức (2) cần xác định các giá trị của γ_{vx} , γ_{vy} và J_x , J_y cho từng tiết diện tới hạn. Các giá trị này có thể tính theo công thức ở Bảng 1 cho các tiết diện tới hạn minh họa cho cột biên ở Hình 5 và cho cột góc ở Hình 6.



Hình 5. Chu vi tới hạn khi sử dụng shearhead để liên kết cột biên CFTS với sàn phẳng BTCT



Hình 6. Chu vi tới hạn khi sử dụng shearhead để liên kết cột góc CFTS với sàn phẳng BTCT

Bảng 1. Xác định các giá trị của γ_{vx} , γ_{vy} và J_x , J_y cho các tiết diện tới hạn ở cột biên, cột góc

Cột biên (Hình 5)	Cột góc (Hình 6)
Hệ số chuyển mô men không cân bằng thành lực cắt [9, 10]	
$\gamma_{vy} = 1 - \frac{1}{1 + \left(\frac{2}{3}\right)\sqrt{\frac{l_x}{l_y}}}$ (8)	$\gamma_{vx} = 1 - \frac{1}{1 + \left(\frac{2}{3}\right)\sqrt{\frac{l_y}{l_x}}}$ (10)
$\gamma_{vx} = 1 - \frac{1}{1 + \left(\frac{2}{3}\right)\sqrt{\frac{l_y}{l_x} - 0,2}}$; $\gamma_{vx} = 0$ khi $\left(\frac{l_y}{l_x}\right) < 0,2$ (9)	$\gamma_{vy} = 1 - \frac{1}{1 + \left(\frac{2}{3}\right)\sqrt{\frac{l_x}{l_y} - 0,2}}$; $\gamma_{vy} = 0$ khi $\left(\frac{l_x}{l_y}\right) < 0,2$ (11)
Diện tích và mô men quán tính của tiết diện tới hạn [9, 10]	
$A_c = b_o d = d \sum l_{ij}$ (12); $J_x = d \sum \left[\frac{l_{ij}}{3} (y_i^2 + y_i y_j + y_j^2) \right]$ (13); $J_y = d \sum \left[\frac{l_{ij}}{3} (x_i^2 + x_i x_j + x_j^2) \right]$ (14)	
(x_i, y_i) và (x_j, y_j) là tọa độ điểm đầu và điểm cuối của mỗi đoạn thẳng l_{ij} của chu vi tới hạn như trên Hình 5, Hình 6 với gốc tọa độ lấy tại trọng tâm của tiết diện tới hạn.	

4. TÍNH TOÁN CHỌC THÙNG CHO SÀN PHẪNG BTCT TẠI LIÊN KẾT VỚI CỘT BIÊN CFST

Xét hệ sàn với kích thước nhịp sàn theo hai phương là $6 \text{ m} \times 6$

m , chiều cao tầng $3,3 \text{ m}$. Chiều dày sàn phẳng chọn $h_s = 200 \text{ mm}$. Ống thép cột tiết diện vuông cạnh 300 mm , chiều dày thành ống 10 mm . Shearhead sử dụng để làm chi tiết liên kết sàn phẳng BTCT với

cột CFST dùng loại thép hình H số hiệu H100x100. Tải trọng tác dụng lên sàn gồm tĩnh tải g_s (kN/m²) và hoạt tải p_s (kN/m²). Xem sàn chịu tải trọng đứng, tải trọng ngang do kết cấu vách chịu. Thực hiện phân tích sàn bằng phần mềm SAFE để xác định nội lực tại cột biên trên dải sàn có bề rộng $b = 6$ m với kết quả như sau: lực cắt $V_u = 220$ kN; mô men không cân bằng xoay quanh trục x là $M_{ux} = 30$ kNm, mô men xoay quanh trục y là mô men cân bằng $M_{uy} = 0$. Chọn chiều dài shearhead và kiểm tra khả năng chịu cắt thủng của sàn trong trường hợp sàn có và không có gia cường cốt đai. Biết bê tông cho sàn và lõi cột có cường độ chịu nén $f'_c = 30$ MPa, cốt thép đai dùng loại CB400V có $f_{yw} = 300$ MPa.

4.1. Xét trường hợp sàn không có gia cường cốt đai

Chiều dày sàn $h_s = 200$ mm, chiều cao làm việc chịu cắt của tiết diện tới hạn $d_v = 150$ mm

Chọn chiều dài shearhead $L_v = 400$ mm. Trên mỗi mặt của cột bố trí 1 shearhead.

Bảng 2. Xác định các thông số hình học cho chu vi tới hạn cách $d_v/2$ so với mặt cột lấy tại tâm O (Hình 7a)

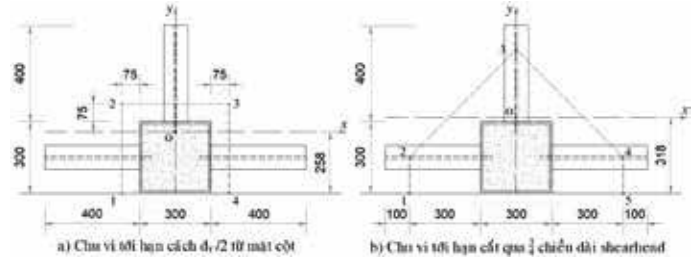
Tọa độ	Điểm 1	Điểm 2	Điểm 3	Điểm 4	$J_y(\text{mm}^4)$	$J_x(\text{mm}^4)$	$A_c(\text{mm}^2)$	$l_y(\text{mm})$	$l_x(\text{mm})$
x_i	-225	-225	225	225	$6,83 \cdot 10^9$	$2,80 \cdot 10^9$	$18 \cdot 10^4$	375	450
y_i	-258	117	117	-258					

$$\text{Tính: } \gamma_{vx} = 1 - \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \sqrt{\frac{l_y}{l_x}}} = 0,347;$$

$$\gamma_{vy} = 1 - \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \sqrt{\frac{l_x}{l_y}}} = 0,422$$

Ứng suất cắt lớn nhất trên tiết diện tới hạn (trên biên 23):

a) Kiểm tra khả năng chịu cắt của sàn tại tiết diện tới hạn cách $d_v/2$ từ mặt cột



Hình 7. Xác định chu vi tới hạn cho sàn ở vị trí cột biên - trường hợp sàn không có gia cường cốt đai

Trọng tâm của chu vi tới hạn cách biên sàn:

$$y = \sum A_i / A = 258 \text{ mm} \quad (\text{Hình 7a})$$

$$v_u = \frac{V_u}{A_c} + \frac{\gamma_{vx} M_{ux} y}{J_x} + \frac{\gamma_{vy} M_{uy} x}{J_y} = 1,66 \text{ MPa}$$

$$\text{Tính: } v_n = 0,58 \sqrt{f'_c} = 3,18 \text{ MPa}$$

Kiểm tra: $\phi v_n = 2,39 \text{ MPa} > v_u = 1,66 \text{ MPa}$. Vậy sàn không bị phá hoại cắt tại tiết diện tới hạn cách mặt cột $d_v/2$.

b) Kiểm tra ứng suất cắt của sàn tại tiết diện tới hạn cách mặt cột $3/4$ chiều dài shearhead:

Trọng tâm của chu vi tới hạn cách biên sàn:

$$y = \sum A_i / A = 318 \text{ mm} \quad (\text{Hình 7b})$$

Bảng 3. Xác định các thông số hình học cho chu vi tới hạn cách $3/4$ chiều dài shearhead so với mặt cột lấy tại tâm O (Hình 7b)

Tọa độ	Điểm 1	Điểm 2	Điểm 3	Điểm 4	Điểm 5	$J_y(\text{mm}^4)$	$J_x(\text{mm}^4)$	$A_c(\text{mm}^2)$	$l_x(\text{mm})$	$l_y(\text{mm})$
x_i	-450	-450	0	450	450	$2,2 \cdot 10^{10}$	$6,58 \cdot 10^9$	$2,36 \cdot 10^5$	900	600
y_i	-318	-168	282	-168	-318					

$$\text{Tính: } \gamma_{vx} = 1 - \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \sqrt{\frac{l_y}{l_x}}} = 0,31;$$

$$\gamma_{vy} = 1 - \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \sqrt{\frac{l_x}{l_y}}} = 0,45$$

Ứng suất cắt lớn nhất trên tiết diện tới hạn (trên biên 23):

$$v_u = \frac{V_u}{A_c} + \frac{\gamma_{vx} M_{ux} y}{J_x} + \frac{\gamma_{vy} M_{uy} x}{J_y} = 1,33 \text{ MPa}$$

$$\text{Tính: } v_n = 0,33 \sqrt{f'_c} = 1,807 \text{ MPa}$$

Kiểm tra: $\phi v_n = 1,35 \text{ MPa} > v_u = 1,33 \text{ MPa}$. Đảm bảo khả năng chịu cắt tại tiết diện tới hạn cách mặt cột $3/4$ chiều dài shearhead.

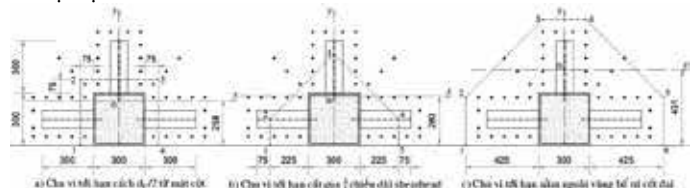
4.2. Trường hợp sàn có gia cường cốt đai tại vùng liên kết

Chọn chiều dài shearhead $L_v = 300$ mm. Trên mỗi mặt của cột bố trí 1 shearhead.

Cấu tạo cốt đai cho vùng liên kết: dùng đai chữ C đường kính đai là 10 mm; chiều dài móc neo 60 mm; cốt đai đầu tiên cách mặt cột 50 mm và khoảng cách giữa các chu vi cốt đai $s_w = 75$ mm; cốt đai bố trí 2 bên cánh và đỉnh của shearhead $d_v/2 = 75$ mm; một chu vi

cốt đai gồm 8 cốt đai có $A_{sw} = 628 \text{ mm}^2$; cốt đai dùng thép CB400V có $f_{sw} = 300$ MPa.

a) Kiểm tra khả năng chịu cắt của sàn tại tiết diện tới hạn cách $d_v/2$ từ mặt cột



Hình 8. Xác định chu vi tới hạn cho sàn ở vị trí cột biên - trường hợp sàn có gia cường cốt đai

Trọng tâm của chu vi tới hạn cách biên sàn:

$$y = \sum A_i / A = 258 \text{ mm} \quad (\text{Hình 8a})$$

Các thông số hình học cho chu vi tới hạn cách $d_v/2$ so với mặt cột lấy tại tâm O (Hình 8a) được xác định như Bảng 2.

Ứng suất cắt lớn nhất trên tiết diện tới hạn (trên biên 23):

$$v_u = 1,33 \text{ MPa}$$

$$\text{Tính: } v_n = \left(0,58 \sqrt{f'_c} + \frac{A_{sw} f_{yw}}{b_0 d_v} \right) = 4,22 \text{ MPa}$$

Kiểm tra: $\phi v_n = 3,17 \text{ MPa} > v_u = 1,66 \text{ MPa}$. Sàn không bị phá hoại

cắt tại tiết diện tới hạn cách mặt cột $d_v/2$.

b) Kiểm tra ứng suất cắt của sàn tại tiết diện tới hạn cách mặt cột 3/4 chiều dài shearhead:

Bảng 4. Xác định các thông số hình học cho chu vi tới hạn cách 3/4 chiều dài shearhead so với mặt cột lấy tại tâm O (Hình 8b)

Tọa độ	Điểm 1	Điểm 2	Điểm 3	Điểm 4	Điểm 5	$J_y(\text{mm}^4)$	$J_x(\text{mm}^4)$	$A_c(\text{mm}^2)$	$l_x(\text{mm})$	$l_y(\text{mm})$
x_i	-375	-375	0	375	375	$1,38 \cdot 10^{10}$	$4,37 \cdot 10^9$	$2,04 \cdot 10^5$	750	525
y_i	-280	-130	245	-130	-280					

$$\text{Tính: } \gamma_{vy} = 1 - \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \sqrt{\frac{l_x}{l_y}}} = 0,44;$$

$$\gamma_{vx} = 1 - \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \sqrt{\frac{l_y}{l_x} - 0,2}} = 0,32$$

Ứng suất cắt lớn nhất trên tiết diện tới hạn (điểm 3):

$$v_u = \frac{V_u}{A_c} + \frac{\gamma_{vx} M_{ux} y}{J_x} + \frac{\gamma_{vy} M_{uy} x}{J_y} = 1,62 \text{ MPa}$$

Bảng 5. Xác định các thông số hình học cho chu vi tới hạn nằm ngoài vùng bố trí cốt đai lấy tại tâm O (Hình 8c)

Tọa độ	Điểm 1	Điểm 2	Điểm 3	Điểm 4	Điểm 5	Điểm 6	$J_y(\text{mm}^4)$	$J_x(\text{mm}^4)$	$A_c(\text{mm}^2)$	$l_x(\text{mm})$	$l_y(\text{mm})$
x_i	-575	-575	-125	125	575	575	$5,4 \cdot 10^{10}$	$1,5 \cdot 10^{10}$	$3,1 \cdot 10^5$	1150	725
y_i	-431	-156	294	294	-156	-431					

$$\text{Tính: } \gamma_{vx} = 1 - \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \sqrt{\frac{l_y}{l_x} - 0,2}} = 0,30;$$

$$\gamma_{vy} = 1 - \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \sqrt{\frac{l_x}{l_y}}} = 0,46$$

Ứng suất cắt lớn nhất trên tiết diện tới hạn (trên biên 34):

$$v_u = \frac{V_u}{A_c} + \frac{\gamma_{vx} M_{ux} y}{J_x} + \frac{\gamma_{vy} M_{uy} x}{J_y} = 0,89 \text{ MPa}$$

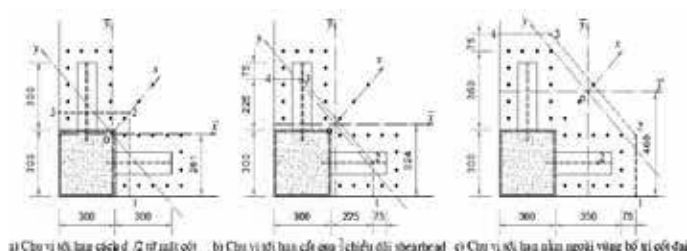
$$\text{Tính: } v_n = 0,33 \sqrt{f'_c} = 1,807 \text{ MPa}$$

Kiểm tra: $\phi v_n = 1,36 \text{ MPa} > v_u = 0,89 \text{ MPa}$. Đảm bảo khả năng chịu cắt tại tiết diện tới hạn ngoài vùng bố trí cốt đai.

Từ kết quả tính toán cho thấy, khi có cốt đai gia cường cho sàn thì khả năng chịu cắt của sàn tăng, khoảng 32,7% ở tiết diện tới hạn cách mặt cột $d_v/2$ so với trường hợp sàn không có bố trí cốt đai. Với

Bảng 6. Xác định các thông số hình học cho chu vi tới hạn cách $d_v/2$ so với mặt cột lấy tại tâm O trong hệ trục Oxy (Hình 9a)

Tọa độ	Điểm 1	Điểm 2	Điểm 3	$J_y(\text{mm}^4)$	$J_x(\text{mm}^4)$	$A_c(\text{mm}^2)$	$l_y(\text{mm})$	$l_x(\text{mm})$
x_i	-133	133	-133	$6,6 \cdot 10^8$	$2,64 \cdot 10^9$	112500	530	265
y_i	-265	0	265					



Hình 9. Xác định chu vi tới hạn cho sàn ở vị trí cột biên khi sàn có gia cường cốt đai

Trọng tâm của chu vi tới hạn cách biên sàn:

$$y = \sum A_i / A = 280 \text{ mm} \quad (\text{Hình 8b})$$

$$\text{Tính: } v_n = \left(0,33 \sqrt{f'_c} + \frac{A_{sw} f_{yw}}{b_0 d_v} \right) = 2,73 \text{ MPa}$$

Kiểm tra: $\phi v_n = 2,05 \text{ MPa} > v_u = 1,62 \text{ MPa}$. Đảm bảo khả năng chịu cắt tại tiết diện tới hạn cách mặt cột 3/4 chiều dài shearhead.

c) Kiểm tra ứng suất cắt của sàn tại tiết diện tới hạn ngoài vùng bố trí cốt đai

Trọng tâm của chu vi tới hạn cách biên sàn:

$$y = \sum A_i / A = 431 \text{ mm} \quad (\text{Hình 8c})$$

sự có mặt của cốt đai gia cường, kết quả tính toán cho thấy, nếu cùng một giá trị tải trọng tác dụng thì cho phép giảm chiều dài của shearhead so với trường hợp sàn không bố trí cốt đai. Điều này có ý nghĩa quan trọng trong việc bố trí liên kết vì nếu không có cốt đai thì shearhead sẽ vượt quá dài so với mặt cột khi đó độ cứng của nó không đủ để tham gia chịu cắt cho sàn.

5. TÍNH TOÁN CHỌC THÙNG CHO SÀN PHẪNG BTCT TẠI LIÊN KẾT VỚI CỘT GÓC CFST

Xét cột góc CFST trong hệ sàn được đề cập ở mục 4. Kết quả phân tích xác định được nội lực tại liên kết trên dầm có bề rộng $b = 3 \text{ m}$ với kết quả như sau: lực cắt $V_u = 105 \text{ kN}$; mô men không cân bằng xoay quanh trục x và trục y là $M_{ux} = M_{uy} = 40 \text{ kNm}$. Với chiều dài shearhead $L_v = 300 \text{ mm}$, kiểm tra khả năng chịu cắt thùng cho sàn trong trường hợp sàn có gia cường cốt đai.

a) Kiểm tra khả năng chịu cắt của sàn tại tiết diện tới hạn cách $d_v/2$ từ mặt cột

Trọng tâm của chu vi tới hạn cách biên sàn:

$$y = \sum A_i / A = 281 \text{ mm} \quad (\text{Hình 9a})$$

$$\text{Tính: } \gamma_{vx} = 1 - \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \sqrt{\frac{l_y}{l_x}}} = 0,4;$$

$$\gamma_{vy} = 1 - \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \sqrt{\frac{l_x}{l_y} - 0,2}} = 0,27$$

Ứng suất cắt lớn nhất trên tiết diện tới hạn (điểm 2):

$$v_u = \frac{V_u}{A_c} + \frac{\gamma_{vx} M_{ux} y}{J_x} + \frac{\gamma_{vy} M_{uy} x}{J_y} = 3,09 MPa$$

$$\text{Tính: } v_n = \left(0,58 \sqrt{f'_c} + \frac{A_{sw} f_{yw}}{b_0 d_v} \right) = 4,22 MPa$$

Kiểm tra: $\phi v_n = 3,17 MPa > v_u = 3,09 MPa$. Sàn không bị phá hoại cắt tại tiết diện tới hạn cách mặt cột $d_v/2$.

b) Kiểm tra ứng suất cắt của sàn tại tiết diện tới hạn cách mặt cột 3/4 chiều dài shearhead:

Trọng tâm của chu vi tới hạn cách biên sàn:

$$y = \sum A_i / A = 324 mm \quad (\text{Hình 9b})$$

Bảng 7. Xác định các thông số hình học cho chu vi tới hạn cách 3/4 chiều dài shearhead so với mặt cột lấy tại tâm O trong hệ trục Oxy (Hình 9b)

Tọa độ	Điểm 1	Điểm 2	Điểm 3	Điểm 4	$J_y(mm^4)$	$J_x(mm^4)$	$A_c(mm^2)$	$l_y(mm)$	$l_x(mm)$
x_i	-86,9	19,2	19,2	-86,9	$1,23 \cdot 10^8$	$6,46 \cdot 10^9$	124549,5	742	106
y_i	-371,2	-265,2	265,2	371,2					

$$\text{Tính: } \gamma_{vx} = 1 - \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \sqrt{\frac{l_y}{l_x}}} = 0,4;$$

$$\gamma_{vy} = 1 - \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \sqrt{\frac{l_x}{l_y} - 0,2}} = 0; \quad \frac{l_x}{l_y} = 0,142 < 0,2$$

Ứng suất cắt lớn nhất trên tiết diện tới hạn (trên biên 23):

$$v_u = \frac{V_u}{A_c} + \frac{\gamma_{vx} M_{ux} y}{J_x} + \frac{\gamma_{vy} M_{uy} x}{J_y} = 1,76 MPa$$

$$\text{Tính: } v_n = \left(0,33 \sqrt{f'_c} + \frac{A_{sw} f_{yw}}{b_0 d_v} \right) = 2,75 MPa$$

Kiểm tra: $\phi v_n = 2,05 MPa > v_u = 1,76 MPa$. Đảm bảo khả năng chịu cắt tại tiết diện tới hạn cách mặt cột 3/4 chiều dài shearhead

c) Kiểm tra ứng suất cắt của sàn tại tiết diện tới hạn ngoài vùng bố trí cốt đai

Trọng tâm của chu vi tới hạn cách biên sàn:

$$y = \sum A_i / A = 468 mm \quad (\text{Hình 9c})$$

Bảng 8. Xác định các thông số hình học cho chu vi tới hạn nằm ngoài vùng bố trí cốt đai lấy tại tâm O trong hệ trục Oxy

Tọa độ	Điểm 1	Điểm 2	Điểm 3	Điểm 4	$J_y(mm^4)$	$J_x(mm^4)$	$A_c(mm^2)$	$l_y(mm)$	$l_x(mm)$
x_i	-149,4	45,1	45,1	-149,4	$4,26 \cdot 10^8$	$1,06 \cdot 10^{10}$	177959,4	1025	194
y_i	-512,7	-318,2	318,2	512,7					

$$\text{Tính: } \gamma_{vx} = 1 - \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \sqrt{\frac{l_y}{l_x}}} = 0,4;$$

$$\gamma_{vy} = 1 - \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \sqrt{\frac{l_x}{l_y} - 0,2}} = 0; \quad \frac{l_x}{l_y} = 0,189 < 0,2$$

Ứng suất cắt lớn nhất trên tiết diện tới hạn (trên biên 23):

$$v_u = \frac{V_u}{A_c} + \frac{\gamma_{vx} M_{ux} y}{J_x} + \frac{\gamma_{vy} M_{uy} x}{J_y} = 1,07 MPa$$

$$\text{Tính: } v_n = 0,33 \sqrt{f'_c} = 1,807 MPa$$

Kiểm tra: $\phi v_n = 1,36 MPa > v_u = 1,07 MPa$. Đảm bảo khả năng chịu cắt tại tiết diện tới hạn ngoài vùng bố trí cốt đai.

6. KẾT LUẬN

Trong hệ kết cấu kết hợp cột ống thép nhồi bê tông với sàn phẳng bê tông cốt thép, trường hợp sàn ở những vị trí cột biên và cột góc, do tính chất tác dụng của tải trọng nên trong liên kết ngoài chịu tải trọng đứng nó luôn chịu mô men không cân bằng chuyển vào cột và gây ra trạng thái ứng suất phức tạp trong sàn tại vùng liên kết. Bài báo này đã tham khảo tiêu chuẩn Hoa Kỳ ACI 318-14 để tính toán chọc thủng cho sàn ở vị trí cột biên, cột góc khi sử dụng shearhead là các thép hình chữ H, I làm chi tiết liên kết. Qua tính toán cho thấy sự có mặt của shearhead đã làm tăng khả năng chịu cắt của sàn tại các tiết diện tới hạn dọc theo chiều dài của shearhead. Bên cạnh đó với trường hợp bố trí cốt đai gia cường cho sàn giúp tăng khả năng chịu cắt của sàn lên đáng kể và cho phép giảm chiều dài của shearhead so với trường hợp không bố trí cốt đai cho sàn. Những chỉ dẫn tính toán trong bài báo này cùng với những

ngghiên cứu trước của tác giả sẽ cung cấp đầy đủ giải pháp tính toán liên kết cho cả cột giữa, cột biên, cột góc ống thép nhồi bê tông với sàn phẳng bê tông cốt thép nhằm có thể áp dụng hệ kết cấu này vào các công trình xây dựng nhà cao tầng tại Việt Nam.

Lời cảm ơn: Tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ tài chính của Bộ Xây dựng cho đề tài " Nghiên cứu xây dựng hướng dẫn thiết kế liên kết cột ống thép nhồi bê tông với sàn phẳng bê tông cốt thép dựa theo tiêu chuẩn ACI 318 ", mã số đề tài RD 30-24.

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

- [1] ACI 318-14 (2014), Building code requirements for structural concrete and commentary. American Concrete Institute.
- [2] Eurocode 2 (2004), Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings.
- [3] TCVN 5574-2018, Thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép. Bộ Khoa học và Công nghệ Việt Nam.
- [4] Phan Văn Huệ, Trương Quang Hải (2025), "Đề xuất phương pháp thiết kế liên kết giữa sàn phẳng bê tông cốt thép với cột ống thép nhồi bê tông khi chịu mô men không cân bằng," Tạp chí Xây dựng, vol.6, pp.263-269.
- [5] Jin Won Kim, Cheol Ho Lee, and Thomas H. K. Kang (2014), "Shearhead Reinforcement for Concrete Slab to Concrete-Filled Tube Column Connections," ACI Structural Journal, vol.111, pp.629-638.
- [6] D.V. Bompá and A.Y. Elghazouli (2016), "Structural performance of RC flat slabs connected to steel columns with shear heads," Engineering Structures, vol.117, pp. 61-183.
- [7] Dao Ngoc the Luc, Trương Quang Hải, Trương Hoài Chính, Dao Ngoc The Vinh (2019), "Connection of Reinforced Concrete Flat Slab and Concrete Filled Steel Tube Column: Proposed Structures, Experiment, Simulation and an Analytical Prediction Model for Shear Strength," International Journal of Engineering and Advanced Technology (UEAT), vol.9, pp.779-786.
- [8] P.Y.Yan and Y.C.Wang (2016), "Hybrid steel tubular column/flat slab construction - Development of a shearhead system to improve punching shear resistance," Journal of Constructional Steel Research, vol.119, pp.154-168.
- [9] ACI 421.1R-99 (1999), Shear Reinforcement for Slabs, American Concrete Institute.
- [10] Sami Megally and Amin Ghali (2000), "Punching of concrete slabs due to column moment transfer," Journal of structural engineering, vol.126, pp.180-189.

Độ bền của cấu kiện chữ C tạo hình nguội chịu uốn quanh trục không đối xứng theo các phương pháp của Tiêu chuẩn AISI S100

Ultimate strength of flexural cold-formed channel members subjected to asymmetrical axis bending using AISI S100 methods

> VŨ HUY HOÀNG*, NGUYỄN THỊ THANH HƯƠNG

Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội; *Email: hoangvptv@gmail.com

TÓM TẮT

Bài báo trình bày phương pháp xác định độ bền của cấu kiện thép tạo hình nguội tiết diện chữ C chịu uốn quanh trục không đối xứng với bản bụng chịu nén theo phương pháp Bề rộng hữu hiệu (Effective Width Method) của tiêu chuẩn AISI S100. Ví dụ tính toán được thực hiện nhằm minh họa quy trình áp dụng của phương pháp. 16 tiết diện thương mại của hãng Lysaght được sử dụng để đánh giá khả năng dự đoán độ bền của dạng chịu lực nghiên cứu theo phương pháp Cường độ trực tiếp (Direct Strength Method) trong hai phiên bản tiêu chuẩn AISI S100-16 (2016) và AISI S100-24 (2024), dựa trên cơ sở so sánh với kết quả tính toán theo phương pháp Bề rộng hữu hiệu. Kết quả cho thấy, khi áp dụng phương pháp Cường độ trực tiếp, độ bền dự đoán theo AISI S100-24 cao hơn đáng kể so với AISI S100-16. Tuy nhiên, so với độ bền tính toán bằng phương pháp Bề rộng hữu hiệu, AISI S100-24 có xu hướng dự đoán mất an toàn, trong khi AISI S100-16 thể hiện xu hướng bảo thủ hơn.

Từ khóa: EWM, DSM, độ bền, AISI S100, tiết diện chữ C, tạo hình nguội, trục không đối xứng

ABSTRACT

The paper presents a method for determining the strength of cold-formed steel members with C-shaped cross-sections subjected to bending about an unsymmetric axis, where the web is under compression, based on the Effective Width Method (EWM) specified in AISI S100. A calculation example is carried out to illustrate the application procedure of the method. Subsequently, sixteen commercial sections produced by Lysaght are employed to evaluate the strength prediction capability of the studied member type using the Direct Strength Method (DSM) in two versions of the standard, AISI S100-16 (2016) and AISI S100-24 (2024). The comparison is made with reference to the strengths determined by the Effective Width Method. The results indicate that, when the Direct Strength Method is applied, the predicted strength according to AISI S100-24 is significantly higher than that obtained using AISI S100-16. However, when compared with the strength calculated by the Effective Width Method, AISI S100-24 tends to provide unconservative predictions, whereas AISI S100-16 shows a more conservative trend.

Keywords: EWM, DSM, ultimate strength, AISI S100, channel section, cold-formed, asymmetrical axis.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Thép tạo hình nguội (Cold-formed steel - CFS) ngày càng được sử dụng rộng rãi trong các công trình xây dựng dân dụng và công nghiệp nhờ ưu điểm trọng lượng nhẹ, khả năng chế tạo linh hoạt và hiệu quả kinh tế cao. Trong số đó, cấu kiện tiết diện chữ C là dạng phổ biến được sử dụng làm xà gồ, thanh giằng hoặc cấu kiện chịu uốn trong các hệ khung nhẹ. Dạng chịu uốn quanh trục không đối xứng của tiết diện chữ C đã được nhiều tác giả nghiên cứu [1-8].

Tiêu chuẩn Mỹ AISI S100 [9, 10] và Úc AS/NZS 4600 [11] quy định hai phương pháp thiết kế chính: phương pháp Bề rộng hữu hiệu (Effective Width Method - EWM) và phương pháp Cường độ trực tiếp (Direct Strength Method - DSM). Phương pháp Bề rộng hữu hiệu là phương pháp truyền thống, được sử dụng rộng rãi trong thực hành

thiết kế và trong các phần mềm thương mại, trong khi phương pháp Cường độ trực tiếp cho phép xác định trực tiếp sức kháng từ ứng xử đàn hồi tuyến tính của tiết diện.

Phương pháp Cường độ trực tiếp trong phiên bản mới nhất của tiêu chuẩn, AISI S100-24 (2024) [10], đã có nhiều điều chỉnh quan trọng so với phiên bản AISI S100-16 (2016) [9], đặc biệt trong công thức xác định độ bền. Hình thức của công thức biến đổi từ dạng hàm đa thức hai đoạn (ví dụ với công thức xác định độ bền uốn của cấu kiện chữ C tạo hình nguội chịu uốn quanh trục không đối xứng) thành một hàm phân số duy nhất có khả năng dự đoán cả độ bền dự trữ dẻo

$$\begin{aligned} \lambda \leq 0.776 \quad M_{ni} &= (1 - \lambda / 0.776) M_p + (\lambda / 0.776) M_y \\ \lambda > 0.776 \quad M_{ni} &= (1 - 0.15\lambda^{-0.8}) \lambda^{-0.8} M_y \end{aligned} \quad (1)$$

$$M_{nl} = k_s M_y \frac{1 + 0.1 \alpha_s \lambda^2}{1 + 0.55 \beta_s \lambda^2} \quad (2)$$

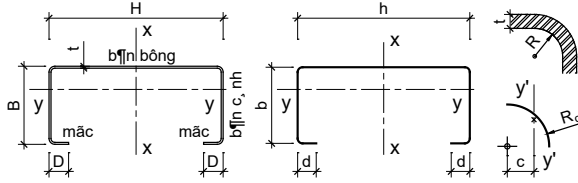
Trong công thức (1), M_p là mô men dẻo. Sự thay đổi này được tiến hành dựa trên các nghiên cứu của Glauz và Schafer [12, 13]. Tuy nhiên, các nghiên cứu so sánh khả năng dự đoán của hai phiên bản này đối với cấu kiện tiết diện chữ C chịu uốn quanh trục không đối xứng vẫn còn hạn chế, nhất là trong bối cảnh bản bụng chịu nén - một trường hợp nhạy cảm với mất ổn định cục bộ.

Vì vậy, nghiên cứu này được thực hiện nhằm:

- Minh họa quy trình tính toán độ bền bằng phương pháp Bề rộng hữu hiệu theo tiêu chuẩn AISI S100;
- Đánh giá và so sánh kết quả dự đoán độ bền theo phương pháp Cường độ trực tiếp của hai phiên bản AISI S100-16 và AISI S100-24.

2. XÁC ĐỊNH ĐỘ BỀN CỦA THÉP CHỮ C CHỊU UỐN QUANH TRỤC KHÔNG ĐỐI XỨNG VỚI BẢN BỤNG CHỊU NÉN BẰNG PHƯƠNG PHÁP BỀ RỘNG HỮU HIỆU THEO TIÊU CHUẨN AISI S100

Đối với kết cấu thép thành mỏng, kích thước tiết diện được tính theo đường tâm, do vậy, thứ ngoài cùng là thứ xa nhất của đường tâm tiết diện tính đến trục trung hòa, không phải mép ngoài cùng của tấm thép. Ứng suất của một tấm thành phần là ứng suất trung bình của tấm, có giá trị bằng ứng suất tại mặt phẳng giữa của tấm.



Hình 1. Kích thước hình học của tiết diện

2.1. Độ bền uốn danh nghĩa

Đối với phương pháp bề rộng hữu hiệu, độ bền uốn danh nghĩa (hoặc sức kháng danh nghĩa) có kể đến mất ổn định cục bộ tương tác với chảy dẻo và mất ổn định tổng thể, ký hiệu M_{nl} được xác định theo Mục F3.1 của AISI S100 như sau:

$$M_{nl} = S_{ec} F_n \leq S_{et} F_y \quad (3)$$

trong đó:

S_{ec} - Mô men kháng uốn hữu hiệu tính với biên chịu nén (ứng suất nén ở thớ ngoài cùng có giá trị F_n)

S_{et} - Mô men kháng uốn hữu hiệu tính với biên chịu kéo (ứng suất kéo ở thớ ngoài cùng có giá trị F_y)

F_y - Giới hạn chảy của vật liệu

F_n - Ứng suất uốn tổng thể, được xác định theo Mục F2.1 của AISI S100 như sau:

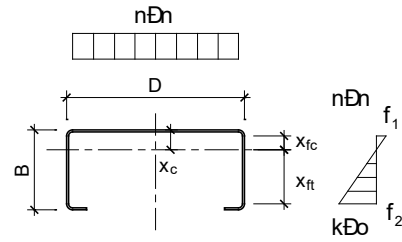
$$\begin{aligned} F_{cre} &\geq 2.78 F_y & F_n &= F_y \\ 2.78 F_y &\geq F_{cre} \geq 0.56 F_y & F_n &= \frac{10}{9} F_y \left(1 - \frac{10 F_y}{36 F_{cre}} \right) \\ F_{cre} &\leq 0.56 F_y & F_n &= F_{cre} \end{aligned} \quad (4)$$

với F_{cre} - Ứng suất tới hạn đàn hồi của hiện tượng mất ổn định tổng thể ngang xoắn, được xác định theo Mục 2.1, Phụ lục 2 của AISI S100, trong đó quy định ứng suất tới hạn có thể được tính bằng phương pháp số, phương pháp giải tích, hoặc kết hợp cả hai phương pháp.

Nhiều nghiên cứu đối với tiết diện chữ C chịu uốn quanh trục không đối xứng với bản bụng chịu nén nhận thấy, dạng chịu lực này không gây ra mất ổn định tổng thể. Vì thế, giá trị của F_{cre} có thể lấy trực tiếp bằng F_y .

2.2. Tiết diện hữu hiệu

Tiết diện hữu hiệu được xây dựng từ bề rộng hữu hiệu của các tấm thành phần tạo nên tiết diện. Bề rộng hữu hiệu của phần tử được trình bày trong Phụ lục 1 của AISI S100.



Hình 2. Phân bố ứng suất trên tiết diện

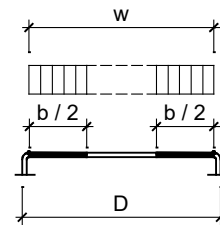
a) Bản bụng

Bản bụng của thép chữ C chịu nén đều được xếp vào loại phần tử có biên tăng cứng, mục 1.1, Phụ lục 1 của AISI S100 được sử dụng. Bề rộng hữu hiệu b_e được tính theo công thức sau:

$$b_e = \rho w \quad (5)$$

trong đó:

w - Bề rộng phần phẳng như thể hiện trong **Hình 3**



Hình 3. Sơ đồ tính của bản bụng

ρ - Hệ số chiết giảm

$$\begin{aligned} \lambda &\leq 0.673 & \rho &= 1 \\ \lambda &> 0.673 & \rho &= (1 - 0.22 / \lambda) / \lambda \end{aligned} \quad (6)$$

λ - Độ mảnh

$$\lambda = \sqrt{\frac{f}{F_{crit}}} \quad (7)$$

với f - Ứng suất nén trong phần tử đang xét. Đối với các cấu kiện chịu uốn, khi mất ổn định cục bộ tương tác với chảy dẻo và mất ổn định tổng thể, f là ứng suất trong phần tử chịu nén, được xác định dựa trên điều kiện thớ nén ngoài cùng chịu ứng suất F_n , hoặc thớ kéo ngoài cùng chịu ứng suất F_y . Đối với tiết diện chữ C chịu uốn quanh trục không đối xứng với bản bụng chịu nén không mất ổn định tổng thể, f được xác định dựa trên điều kiện bản móc chịu ứng suất F_y .

$$F_{crit} = k \frac{\pi^2 E}{12(1 - \nu^2)} \left(\frac{t}{w} \right)^2 \quad (8)$$

k - Hệ số mất ổn định. $k = 4$ đối với các phần tử có biên tăng cứng

E - Mô đun đàn hồi của thép

t - Chiều dày của phần tử

ν - Hệ số Poát xôn

b) Bản cánh

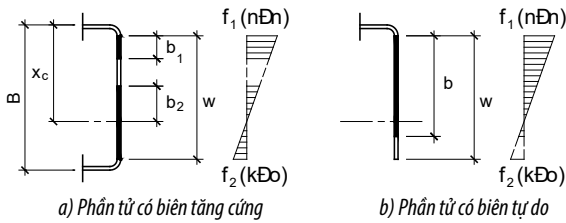
Đối với bản cánh chịu ứng suất phân bố tuyến tính, bản bụng được coi là sườn tăng cứng cho bản cánh, nhưng phần móc yếu chỉ có thể xem là sườn có độ cứng hữu hạn (sườn đàn hồi). Tiêu chuẩn AISI S100 không có mô hình nào có thể mô tả chính xác trạng thái của bản cánh. Thay vào đó, có thể sử dụng hai mô hình thay thế sau: (i) Phần tử có sườn tăng cứng chịu ứng suất phân bố tuyến tính (Mục 1.1.2); (ii) Phần tử một cạnh tự do chịu ứng suất phân bố tuyến tính (Mục 1.2.2)

Hệ số mất ổn định k của cả hai mô hình này phụ thuộc vào giá trị tuyệt đối của tỷ số ứng suất ψ

$$\psi = |f_2 / f_1| = x_R / x_{fc} \quad (9)$$

trong đó f_1 là ứng suất nén tại vùng kề bản bụng, f_2 là ứng suất kéo tại vùng kề bản móc (xem **Hình 3**).

Với mô hình tính toán đầu tiên (**Hình 4a**)



Hình 4. Sơ đồ tính của bản cánh

Tiết diện chữ C và tiết diện mũ thương mại có tỷ lệ B/H nhỏ hơn hoặc bằng 2,5, do đó

$$\begin{aligned} b_1 &= b_e / (3 + \psi) \\ b_2 &= b_e / 2 \quad (\psi > 0.236) \\ b_2 &= b_e - b_1 \quad (\psi \leq 0.236) \end{aligned} \quad (10)$$

với b_e là bề rộng hữu hiệu, được xác định theo Công thức (5), trong đó f_1 được thay thế cho f , và hệ số mất ổn định k được xác định theo Công thức (11)

$$k = 4 + 2(1 + \psi)^3 + 2(1 + \psi) \quad (11)$$

Với mô hình tính toán thứ hai (Hình 4b), bề rộng hữu hiệu b tính từ giao tuyến với bản bụng theo Công thức (5), trong đó f lấy bằng f_1 , hệ số mất ổn định k và hệ số chiết giảm ρ lấy bằng

$$\begin{aligned} k &= 1.70 + 5\psi + 17.1\psi^2 \\ \rho &= (1 - \psi) \frac{1 - 0.22 / \lambda}{\lambda} + \psi \quad (\psi < 1 \text{ và } \lambda > 0.673) \\ \rho &= 1 \quad (\psi \geq 1 \text{ và } \lambda \leq 0.673) \end{aligned} \quad (12) \quad (13)$$

Với thép chữ C bề móc chịu uốn làm bản bụng chịu nén, hệ số ψ luôn lớn hơn 1, do đó ρ được lấy bằng 1. Điều này có nghĩa là phần tử (bản cánh) hoàn toàn hữu hiệu, không xảy ra mất ổn định, hệ số mất ổn định k trong trường hợp này có thể coi bằng vô cùng.

c) Bản móc

Bản móc là tấm chịu kéo, không mất ổn định, do vậy bề rộng tính toán của bản móc là toàn bộ kích thước của nó.

3. VÍ DỤ TÍNH TOÁN

• Đề bài

Xác định độ bền của cấu kiện chữ C dập nguội chịu uốn quanh trục không đối xứng với bản bụng chịu nén. Cấu kiện được giằng ngang để ngăn mất ổn định tổng thể. Tiết diện của cấu kiện là C20015 của Lysaght. Đặc trưng vật liệu bao gồm: giới hạn chảy $F_y = 450 \text{ MPa}$, mô đun đàn hồi $E = 200000 \text{ MPa}$ và hệ số Poát xông $\nu = 0.3$.

• Lời giải

3.1. Xác định kích thước hình học của tiết diện

Tra bảng thông số hình học do Lysaght [14] cung cấp, với tiết diện C20015 ta có: $H = 203 \text{ mm}$, $B = 76 \text{ mm}$, $D = 15.5 \text{ mm}$, $t = 1.5 \text{ mm}$, $R = 5 \text{ mm}$. Các thông số hình học khác

$$\begin{aligned} h &= 203 - 1.5 = 201.5 \text{ mm} & b &= 76 - 1.5 = 74.5 \text{ mm} \\ d &= 15.5 - 1.5 / 2 = 14.75 \text{ mm} \end{aligned}$$

3.2. Tính toán thông số hình học của tiết diện

Đặc trưng hình học của tiết diện khi tính thủ công được xác định bằng cách chia nhỏ tiết diện ra làm nhiều phần, gồm các phần phẳng của bản bụng, bản cánh, bản móc và bốn phần cong của góc uốn. Đặc trưng hình học của góc uốn phần tư được lấy theo [15] như sau (xem Hình 1):

$$\begin{aligned} \text{Bán kính góc uốn} & R_c = R + t / 2 \\ \text{Chiều dài đoạn uốn} & u = 1.57R_c \\ \text{Khoảng cách từ trọng tâm đoạn uốn đến tâm đường tròn (mép góc uốn phần tư)} & c = 0.637R_c \\ \text{Mô men quán tính của đoạn uốn đối với trục bản thân y'} & I_y = 0.149R_c^3 t \end{aligned}$$

Từ đó tính được khoảng cách từ trọng tâm tiết diện đến mặt phẳng giữa của bản bụng $x_c = 19.9 \text{ mm}$. Và đối với bản móc $x_t = 74.5 - 19.9 = 54.6 \text{ mm}$

3.3. Tiết diện hữu hiệu

a) Bản bụng

Bề rộng phần phẳng

$$w = 203 - 2 \times (1.5 + 5) = 190 \text{ mm}$$

Ứng suất tới hạn

$$\begin{aligned} F_{cr1} &= k \frac{\pi^2 E}{12(1 - \nu^2)} \left(\frac{t}{w} \right)^2 = 4 \times \frac{3.14^2 \times 200000}{12(1 - 0.3^2)} \left(\frac{1.5}{190} \right)^2 \\ &= 45.02 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Ứng suất nén

$$f = \frac{x_c}{x_t} F_y = \frac{19.9}{54.6} \times 450 = 164 \text{ MPa}$$

Độ mảnh

$$\lambda = \sqrt{\frac{f}{F_{cr1}}} = \sqrt{\frac{164}{45.02}} = 1.909 > 0.673$$

Hệ số chiết giảm

$$\rho = \frac{1 - 0.22 / \lambda}{\lambda} = \frac{1 - 0.22 / 1.909}{1.909} = 0.463$$

Bề rộng hữu hiệu

$$b_e = \rho w = 0.463 \times 190 = 87.97 \text{ mm}$$

Bề rộng chiết giảm

$$b_{red} = w - b_e = 190 - 87.97 = 102 \text{ mm}$$

b) Bản cánh

$$\psi = \frac{x_n}{x_{tc}} = \frac{54.6 - 1.5 / 2 - 5}{19.9 - 1.5 / 2 - 5} = 3.452$$

$$f_1 = \frac{x_{tc}}{x_t} F_y = \frac{19.9 - 1.5 / 2 - 5}{54.6} \times 450 = 116.6 \text{ MPa}$$

Bề rộng phần phẳng

$$w = 76 - 2 \times (1.5 + 5) = 63 \text{ mm}$$

Theo mô hình 1, ta có:

$$\begin{aligned} k &= k = 4 + 2(1 + \psi)^3 + 2(1 + \psi) \\ &= 4 + 2(1 + 3.452)^3 + 2(1 + 3.452) = 189.4 \end{aligned}$$

Ứng suất tới hạn

$$\begin{aligned} F_{cr1} &= k \frac{\pi^2 E}{12(1 - \nu^2)} \left(\frac{t}{w} \right)^2 = 189.4 \times \frac{3.14^2 \times 200000}{12(1 - 0.3^2)} \left(\frac{1.5}{63} \right)^2 \\ &= 19389 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Độ mảnh

$$\lambda = \sqrt{\frac{f_1}{F_{cr1}}} = \sqrt{\frac{116.6}{19389}} = 0.078 < 0.673$$

Do đó, hệ số chiết giảm $\rho = 1$. Và bề rộng hữu hiệu $b_e = w = 63 \text{ mm}$.

$$b_1 = b_e / (3 + \psi) = 63 / (3 + 3.452) = 9.8 \text{ mm}$$

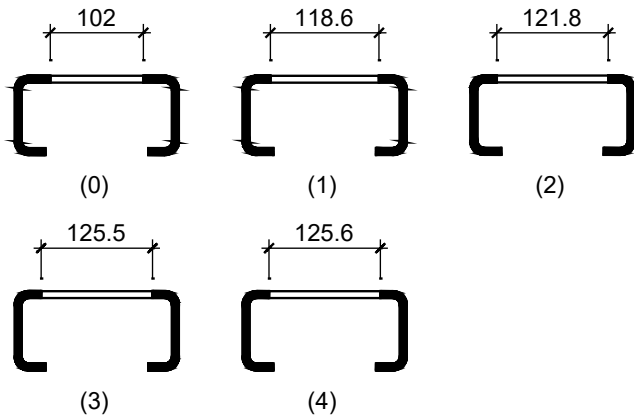
$$b_2 = b_e / 2 = 63 / 2 = 31.5 \text{ mm}$$

Vì $b_1 + b_2 = 41.3 \text{ mm} > x_{tc} = 14.15 \text{ mm}$ nên bản cánh không bị chiết giảm. Toàn bộ tiết diện bản cánh là hữu hiệu.

Theo mô hình 2, ta có:

Do $\psi = 3.452 > 1$ nên $\rho = 1$. Bản cánh là hoàn toàn hữu hiệu, tương tự kết luận của mô hình 1.

Tiết diện hữu hiệu sau bước tính toán đầu tiên (vòng lặp 0) được thể hiện trên Hình 5(0). Với tiết diện mới, trục trung hòa thay đổi, vì thế ta phải tính lại vị trí trục trung hòa như cách tiến hành trong mục 3.2. Từ đó tính được khoảng cách mới từ trọng tâm tiết diện đến mặt phẳng giữa của bản bụng $x_c = 27.5 \text{ mm}$.



Hình 5. Tiết diện hữu hiệu của từng vòng lặp

Lặp lại các bước tính toán bề rộng hữu hiệu của bản bụng và bản cánh, mỗi lần lặp ta sử dụng giá trị x_c mới của lần lặp trước, ta có:

Vòng lặp 1: $x_c = 27.5$ mm

Bản bụng: $b_e = 71.4$ mm; $b_{red} = 118.6$ mm

Bản cánh: $b_{red} = 0$ mm

$x_{c,mới} = 29.3$ mm

Vòng lặp 2: $x_c = 29.3$ mm

Bản bụng: $b_e = 68.2$ mm; $b_{red} = 121.8$ mm

Bản cánh: $b_{red} = 0$ mm

$x_{c,mới} = 29.7$ mm

Vòng lặp 3: $x_c = 29.7$ mm

Bản bụng: $b_e = 67.5$ mm; $b_{red} = 122.5$ mm

Bản cánh: $b_{red} = 0$ mm

$x_{c,mới} = 29.8$ mm

Vòng lặp 4: $x_c = 29.8$ mm

Bản bụng: $b_e = 67.4$ mm; $b_{red} = 122.6$ mm

Bản cánh: $b_{red} = 0$ mm

$x_{c,mới} = 29.8$ mm

Giá trị x_c đã hội tụ. Tiết diện trong **Hình 5(4)** là tiết diện hữu hiệu cuối cùng.

3.4. Độ bền uốn

Mô men quán tính của tiết diện hữu hiệu quanh trục không đối xứng xác định theo mục 3.2 là $I_{eff} = 286873$ mm⁴.

Mô men kháng uốn vùng nén tính đến mặt phẳng giữa của bản bụng

$$S_{ec} = \frac{I_{eff}}{x_c} = \frac{286873}{29.8} = 9626 \text{ mm}^3$$

Mô men kháng uốn vùng nén tính đến mặt phẳng giữa của bản bụng

$$S_{et} = \frac{I_{eff}}{x_t} = \frac{286873}{74.5 - 29.8} = 6417 \text{ mm}^3$$

$$M_{nl} = S_{ec} F_n = S_{ec} F_y = 9626 \times 450 = 4331000 \text{ N.mm} > S_{et} F_y$$

Vì $M_{nl} > S_{et} F_y = 6417 \times 450 = 2887650 \text{ N.mm}$ nên độ bền danh nghĩa M_{nl} được lấy bằng 2.887 kN.m.

Độ bền uốn tính toán theo phương pháp LRFD

$$M_u = \phi M_{nl} = 0.9 \times 2.887 = 2.598 \text{ kN.m}$$

4. SO SÁNH VỚI PHƯƠNG PHÁP DSM

Kết quả tính toán độ bền theo phương pháp EWM cho cấu kiện chữ C chịu uốn quanh trục không đối xứng với bản bụng chịu nén đã được so sánh với độ bền theo phương pháp DSM nêu trong hai phiên bản AISI S100-16 [9] và AISI S100-24 [10] sử dụng 16 tiết diện chữ C thương mại của Lysaght [14] với các thông số hình học liệt kê trong **Bảng 1**.

Bảng 1. Thông số tiết diện

TT	Tiết diện	H	B	D	t	R
		mm	mm	mm	mm	mm
1	C10010	102	51	12.5	1	5
2	C10012	102	51	12.5	1.2	5
3	C10015	102	51	13.5	1.5	5
4	C10019	102	51	14.5	1.9	5
5	C15012	152	64	14.5	1.2	5
6	C15015	152	64	15.5	1.5	5
7	C15019	152	64	16.5	1.9	5
8	C15024	152	64	18.5	2.4	5
9	C20015	203	76	15.5	1.5	5
10	C20019	203	76	19	1.9	5
11	C20024	203	76	21	2.4	5
12	C25019	254	76	18.5	1.9	5
13	C25024	254	76	20.5	2.4	5
14	C30024	300	96	27.5	2.4	5
15	C30030	300	96	31.5	3	5
16	C35030	350	125	30	3	5

Các thông số vật liệu bao gồm: mô đun đàn hồi $E = 200000$ MPa; hệ số Poisson $\nu = 0.3$; giới hạn chảy $F_y = 450$ Mpa.

Kết quả tính toán được liệt kê ở **Bảng 2**, trong đó M_y là mô men chảy, M_p là mô men dẻo, M_{cr} là mô men tới hạn, M_{nl} là độ bền danh nghĩa; cột 2016 và 2024 đại diện cho hai phiên bản của AISI S100-16 và AISI S100-24; r_s là độ tương đồng giữa độ bền tính theo phương pháp DSM và phương pháp EWM, bằng tỷ số giữa hai độ bền này; ϵ là sai số giữa hai độ bền nêu trên. Giá trị của mô men tới hạn được lấy từ nghiên cứu của Vu [16] sử dụng phần mềm Dải hữu hạn THIN-WALL-2 [17].

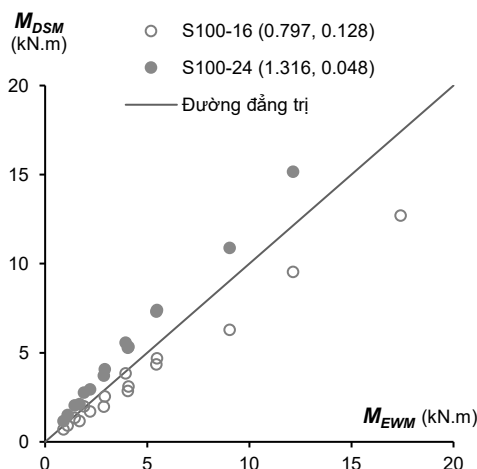
Bảng 2. Kết quả độ bền

TT	M_y	M_p	M_{cr}	M_{nl} (kN.m)			2016		2024	
	kN.m	kN.m	kN.m	EWM	2016	2024	r_s	ϵ (%)	r_s	ϵ (%)
1	1.00	1.63	0.51	0.91	0.67	1.16	0.74	-26.3	1.27	26.6
2	1.18	1.94	0.86	1.11	0.91	1.50	0.82	-18.4	1.35	34.7
3	1.51	2.45	1.68	1.46	1.33	2.03	0.91	-8.6	1.39	39.4
4	1.94	3.11	3.41	1.92	1.98	2.74	1.03	3.0	1.43	43.0
5	1.90	3.07	0.70	1.69	1.14	2.11	0.68	-32.3	1.25	24.6
6	2.42	3.88	1.36	2.22	1.69	2.92	0.76	-23.7	1.32	31.8
7	3.10	4.94	2.76	2.93	2.54	4.05	0.86	-13.6	1.38	38.1
8	4.06	6.39	5.60	3.95	3.83	5.55	0.97	-3.0	1.41	40.5
9	3.27	5.23	1.17	2.89	1.95	3.71	0.68	-32.5	1.28	28.2
10	4.47	6.98	2.42	4.09	3.09	5.32	0.76	-24.5	1.30	30.1
11	5.83	9.00	4.91	5.50	4.68	7.39	0.85	-14.9	1.34	34.4
12	4.51	6.92	1.89	4.06	2.85	5.27	0.70	-29.8	1.30	29.8
13	5.88	8.92	3.81	5.46	4.32	7.29	0.79	-20.9	1.34	33.6
14	9.92	14.8	4.18	9.04	6.27	10.9	0.69	-30.6	1.20	20.3
15	13.1	19.2	8.24	12.1	9.53	15.1	0.78	-21.6	1.25	24.7
16	19.3	29.5	9.02	17.4	12.7	22.0	0.73	-27.2	1.26	26.3

Kết quả của **Bảng 2** được mô tả trực quan bằng đồ thị trong **Hình 6**.

Từ **Bảng 2** và **Hình 6** có thể thấy, độ bền tính theo phương pháp DSM trên nền tiêu chuẩn AISI S100-16 có giá trị thấp hơn độ bền tính theo phương pháp EWM khi các điểm dữ liệu đều thấp hơn đường đẳng trị (giá trị sai số ϵ hầu như toàn âm, chỉ có một giá trị dương 3% tương ứng với mẫu số 4), trong khi độ bền tính theo phương pháp DSM trên nền tiêu chuẩn AISI S100-24 có giá trị cao hơn độ bền tính theo phương pháp EWM (tất cả các sai số ϵ đều dương). Giá trị trung bình của độ tương đồng theo công thức DSM của tiêu chuẩn AISI

S100-16 là $0.797 < 1$ (dư 20.3% so với EWM), còn của tiêu chuẩn AISI S100-24 là $1.316 > 1$ (vượt 31.6% so với EWM). Tuy nhiên, độ phân tán tương ứng với AISI S100-24 (4.8%) thấp hơn so với AISI S100-16 (12.8%). Sự chênh lệch giữa DSM và EWM còn khá lớn, với AISI S100-16 là 32.5%, còn AISI S100-24 là 43%.



Hình 6. So sánh độ bền theo EWM và DSM

5. KẾT LUẬN

Để hiểu rõ hơn cách áp dụng phương pháp Bề rộng hữu hiệu (EWM) của tiêu chuẩn AISI S100 để xác định độ bền uốn của cấu kiện chữ C tạo hình nguội chịu uốn quanh trục không đối xứng làm bản bụng chịu nén, bài báo đã tổng hợp và trình bày các nội dung trong tiêu chuẩn liên quan đến vấn đề này, đồng thời chỉ ra rằng khi thay đổi từ phiên bản năm 2016 lên phiên bản năm 2024, cách tính độ bền uốn của cấu kiện đang xét theo phương pháp EWM không thay đổi. Tuy nhiên, công thức độ bền uốn tính theo phương pháp Cường độ trực tiếp (DSM) đã thay đổi hoàn toàn, từ hình thức đến nội dung. Do đó, bài báo đã tiến hành so sánh kết quả tính toán của ba phương pháp: i) EWM; ii) DSM trong AISI S100-16; iii) DSM trong AISI S100-24 để làm rõ sự thay đổi này.

Kết quả so sánh cho thấy độ bền tính theo phương pháp DSM trong tiêu chuẩn AISI S100-24 có sự tăng lên đáng kể so với tiêu chuẩn AISI S100-16. Nếu lấy độ bền tính theo phương pháp EWM làm cơ sở, độ bền theo DSM của tiêu chuẩn AISI S100 chuyển từ trạng thái dư thừa khoảng 20.3% (phiên bản 2016) sang thiên về dự đoán vượt khoảng 31.6% (phiên bản 2024) đối với 16 cấu kiện Lysaght được sử dụng trong nghiên cứu. Phiên bản năm 2024 là phiên bản mới ban hành, vì thế các nghiên cứu sâu hơn là cần thiết để đánh giá các nội dung thay đổi trong tiêu chuẩn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Oey, O. and J. Papangelis, Behavior of cold-formed steel channels bent about the minor axis. *Thin-Walled Structures*, 2021. Vol. 164.
- [2]. Ma, S. and J. Papangelis. Distortional buckling of cold-formed steel channels under minor axis bending. in *Ninth International Conference on Thin-walled Structures - ICTWS2023*. 2023. Sydney, Australia.
- [3]. Vu, H.H., Q.A. Vu, and C.H. Pham. Calculation Guide of Cold-Formed Channel Girts by AISI S100 Using DSM Analytical Solution. in *Proceedings of the 7th International Conference on Geotechnics, Civil Engineering and Structures, CIGOS 2024*. 2024. Ho Chi Minh City, Vietnam.
- [4]. Vu, H.H., Q.A. Vu, and C.H. Pham. Convergence study on asymmetrically flexural problem of cold-formed channel sections. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 2024. Vol. 20(4): p. 23-30.

- [5]. Vu, H.H., Q.A. Vu, and C.H. Pham, Global Buckling Strength of Girts with Inner Flange in Compression. *Civil Engineering Journal*, 2024.
- [6]. Ma, S. and J. Papangelis, Distortional buckling of cold-formed steel channels bent about the minor axis. *Thin-Walled Structures*, 2025. Vol. 210.
- [7]. Vu, H.H., Q.A. Vu, and C.H. Pham, Local buckling coefficients for thin-walled lipped channels under bending about asymmetrical axis. *Results in Engineering*, 2025. Vol. 26.
- [8]. Vu, H.H., Q.A. Vu, and C.H. Pham, Approximate formula for local buckling in thin-walled channels bent about the asymmetrical axis. *Journal of Constructional Steel Research*, 2025. Vol. 232.
- [9]. AISI, AISI S100-16 North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members, 2016 Edition. 2016, American Iron and Steel Institute.
- [10]. AISI, ANSI/SDI AISI S100-2024 North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members, 2024 Edition. 2024, AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE/ STEEL DECK INSTITUTE.
- [11]. Joint Standards Australia/Standards New Zealand Committee BD-082, C.-f.S.S., AS/NZS 4600:2018 Cold-formed steel structures. 2018, Standards Australia Limited and The Crown in right of New Zealand, administered by the New Zealand Standards Executive.
- [12]. Glauz, R.S. and B.W. Schafer, Modifications to the Direct Strength Method of cold-formed steel design for members unsymmetric about the axis of bending. *Thin-Walled Structures*, 2022. Vol. 173.
- [13]. Schafer, B.W. and R.S. Glauz. A Novel Functional Form for the Application of the Direct Strength Method. in *Ninth International Conference on THIN-WALLED STRUCTURES - ICTWS2023*. 2023. Sydney, Australia.
- [14]. Lysaght, Zeds, and Cees User's guide for design and installation professionals. 2017.
- [15]. Hancock, G.J., Design of Cold-Formed Steel Structures. Fourth edition. 2007: Australian Steel Institute.
- [16]. Vu, H.H., Q.A. Vu, and C.H. Pham. Evaluation of the software's reliability in solving the buckling problem of the cold-formed plain c-section member bending about its asymmetrical axis. in *Structural Health Monitoring & Engineering Structures Conference*, Da Nang, Vietnam, Lecture Notes in Civil Engineering. 2023. Springer.
- [17]. THIN-WALL-2 specification. University of Sydney.

Chuyển vị bề mặt đất khi sóng cắt lan truyền trong môi trường đất ngẫu nhiên

The surface displacements of soil random fields under the propagation of shear waves

> **NGUYỄN TRUNG KIÊN^{1,2,*}, NGUYỄN QUANG TRƯỜNG^{1,2}**

¹Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Bách khoa TP.HCM

²Đại học Quốc gia TP.HCM

*Corresponding author, Email: nguyentrungkien@hcmut.edu.vn

TÓM TẮT

Đất là môi trường không đồng nhất với tính chất cơ lý biến đổi ngẫu nhiên theo các chiều không gian. Do đó, khi sóng địa chấn lan truyền, chuyển vị bề mặt đất phụ thuộc rất lớn vào tính chất và quy luật của sự phân bố ngẫu nhiên này. Tuy nhiên, đa phần các nghiên cứu trước đây tập trung vào các lớp đất phân bố ngang với các thông số cơ lý là hằng số. Bài báo này sử dụng phương pháp Phổ để phát sinh môi trường đất với vận tốc truyền sóng cắt V_s phân bố ngẫu nhiên tương quan hai chiều. Sau đó, phương pháp Phần tử hữu hạn được sử dụng để phân tích quy luật phân bố chuyển vị bề mặt đất khi sóng cắt lan truyền. Kết quả của mô phỏng số được so sánh với kết quả từ phương pháp Ma trận độ cứng. Sau khi độ tin cậy được kiểm chứng, mô phỏng số được sử dụng để phân tích sự phân bố và khuếch đại của chuyển vị bề mặt đất trong các trường ngẫu nhiên với các thông số khác nhau của chiều dài tương quan và hệ số biến thiên COV . Kết quả cho thấy hệ số khuếch đại chuyển vị AF biến động mạnh và phân tán hơn khi COV tăng và chiều dài tương quan giảm. So sánh với mô hình đất có V_s là hằng số, giá trị mode của tần số cộng hưởng cơ bản giảm 23% khi $COV = 20\%$ và giảm 37% khi $COV = 40\%$. Đặc biệt, mô hình ngẫu nhiên phát sinh chuyển vị đứng bề mặt, với AF trung bình từ 0.3 đến 0.8 khi $COV = 20\%$, và từ 1.0 đến 1.7 khi $COV = 40\%$.

Từ khóa: Trường ngẫu nhiên tương quan, sóng cắt SV, chuyển vị bề mặt, phương pháp Phổ, phần tử hữu hạn.

ABSTRACT

Soil stratum is a heterogeneous medium with properties varying randomly across multidimensional axes. The displacement histories at soil surface, therefore, largely depend on the soil randomness during the wave propagation. However, the previously published studies have only focused on the horizontally layered soil with deterministic properties. This paper generates two-dimensional correlated stationary random fields of soil shear wave velocity V_s using spectral method, and analyzes the surface displacements under the propagation of shear wave using finite element method. The results of numerical model were initially verified with those from Stiffness matrix method. Subsequently, the models were used to investigate the surface displacements for a variety of soil randomness, with different correlation length and coefficient of variation COV . Results show that the amplification factor of displacement AF varies more significantly in case of increasing COV and decreasing correlation length. In comparison with the deterministic soil having constant V_s the mode of fundamental resonance frequency decreases by 23% when $COV = 20\%$ and by 37% when $COV = 40\%$. Besides, the random model induces vertical displacement at surface, with average AF ranging from 0.3 to 0.8 when $COV = 20\%$, and from 1.0 to 1.7 when $COV = 40\%$.

Keywords: Correlated random field, SV shear wave, Surface displacement, Spectral method, Finite element method.

1. GIỚI THIỆU

Đất là môi trường không đồng nhất, với các tính chất cơ lý thay đổi theo vị trí và độ sâu. Sự không đồng nhất này bắt nguồn từ các tác nhân môi trường và địa chất trong quá trình hình thành và phát triển các lớp đất [1, 2]. Khảo sát ảnh hưởng của sự phân bố ngẫu nhiên đến ứng xử của đất nền và kết cấu là một bài toán quan trọng trong ngành địa kỹ thuật xây dựng.

Vấn đề này cũng đã thu hút sự chú ý của các nhà nghiên cứu

trên thế giới với nhiều công trình có khả năng ứng dụng cao. Li và đồng nghiệp [3] nghiên cứu về sự ổn định của mái dốc có xét đến sự thay đổi tính chất cơ lý của đất theo không gian. Cherubini và Vessia [4] xuất bản bài báo nghiên cứu về ảnh hưởng của sự ngẫu nhiên trong chỉ số CPT đến sức chịu tải của cọc. Sự ngẫu nhiên của môi trường đất cũng được chứng minh là có ảnh hưởng tới khả năng chịu tải của móng nông [5]. Trong khi đó, Hariri-Ardebili và đồng nghiệp [6] phân tích khả năng chịu tải trọng động của đập nước

trọng lực khi tính chất cơ lý của môi trường đất phân bố ngẫu nhiên. Gần đây vào năm 2022, Winkelmann và đồng nghiệp [7] đã phân tích móng băng thỏa mãn điều kiện sử dụng bình thường xét đến sự ngẫu nhiên trong tính chất cơ lý của đất nền.

Tác động và hậu quả của sóng địa chấn (động đất) lan truyền trong môi trường đất đã được đề cập ở rất nhiều bài báo, ví dụ trong [8, 9]. Do vậy, các nhà nghiên cứu tập trung nhiều nỗ lực để khảo sát ảnh hưởng của sóng địa chấn (sóng P, sóng S, sóng bề mặt Rayleigh) đến các công trình xây dựng, đặc biệt là yếu tố tăng hay giảm biên độ dao động của sóng địa chấn khi truyền từ tâm chấn đến bề mặt trái đất, nơi xây dựng các công trình. Ảnh hưởng của yếu tố địa hình cũng được xét đến, khi làm thay đổi biên độ dao động của sóng [10, 11]. Môi trường địa chất đồng nhất hay phân lớp cũng cần được xem xét khi phân tích bài toán truyền sóng này [12, 13]. Ngoài ra, sự ngẫu nhiên trong tính chất cơ lý ảnh hưởng rất lớn đến trường ứng suất và biến dạng của môi trường đất. Đặc biệt, đối với bài toán truyền sóng, sự ngẫu nhiên trong đất hình thành nên nhiều “khu vực” đất (soil zone) với vận tốc truyền sóng cắt V_s và sóng nén V_p khác nhau, khiến cho sóng địa chấn bị phản xạ và khúc xạ một cách ngẫu nhiên, không theo qui luật cố định.

Bài toán truyền sóng rất quan trọng trong công tác thiết kế các công trình xây dựng, đặc biệt là trong điều kiện tính chất cơ lý của đất nền phân bố ngẫu nhiên. Tuy nhiên, hiện tại có rất ít các công trình nghiên cứu tập trung phân tích sâu về vấn đề này, và các nghiên cứu đa phần chỉ dừng lại ở môi trường đất ngẫu nhiên theo chiều sâu [14], trong khi đất cũng thể hiện tính biến đổi ngẫu nhiên theo chiều ngang.

Bài báo này sẽ phân tích chuyển vị bề mặt đất khi sóng cắt SV lan truyền trong môi trường đất ngẫu nhiên hai chiều (2D) đứng và ngang. Phương pháp Phổ (Spectral method) được sử dụng để phát sinh môi trường đất có V_s phân bố theo qui luật ngẫu nhiên tương quan hai chiều (2D correlated random field). Bài toán truyền sóng sẽ được phân tích bằng phương pháp Phần tử hữu hạn (FEM). Kết quả chuyển vị bề mặt đất của mô hình số sẽ được kiểm chứng với kết quả từ phương pháp ma trận độ cứng (Stiffness matrix method) để xuất bởi Kausel và đồng nghiệp [15]. Sau đó, mô hình FEM được dùng để phân tích sự phân bố, khuếch đại và giảm thiểu của chuyển vị bề mặt, phụ thuộc vào chiều dài tương quan (correlation length) và hệ số biến thiên (coefficient of variation - COV) của trường ngẫu nhiên.

2. MÔ HÌNH PHÂN TÍCH

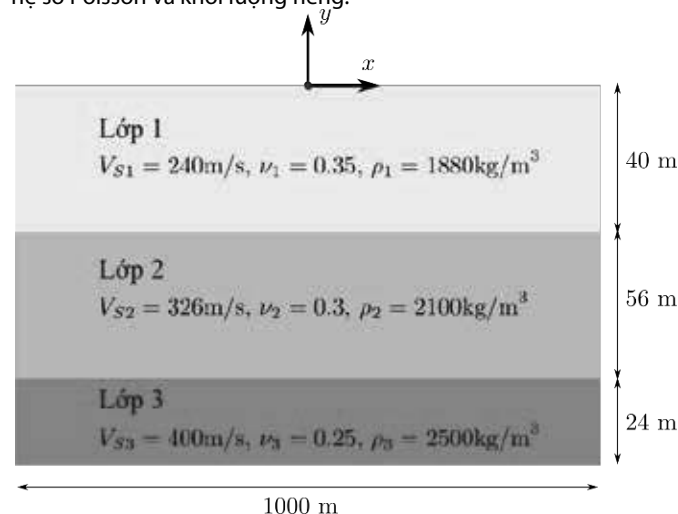
Bài toán phân tích và khảo sát ảnh hưởng của môi trường đất ngẫu nhiên đến chuyển vị bề mặt đất khi sóng cắt lan truyền bao gồm hai bước chính: (i) Phát sinh môi trường đất với vận tốc truyền sóng cắt V_s phân bố ngẫu nhiên tương quan hai chiều, và (ii) sử dụng phần mềm FEM LS-DYNA để phân tích bài toán truyền sóng cắt trong môi trường ngẫu nhiên vừa phát sinh. Trong bước (i), một chương trình con được xây dựng bằng ngôn ngữ lập trình MATLAB để phát sinh trường ngẫu nhiên tương quan hai chiều theo phương pháp Phổ, dựa vào chiều dài tương quan và hệ số biến thiên cho trước. Trong bước (ii), các chương trình con MATLAB được xây dựng để tương tác với phần mềm LS-DYNA nhằm tự động hóa các công đoạn gán thông số vật liệu V_s vào các phần tử FEM tương ứng, phát sinh sóng cắt lan truyền, ghi nhận và xử lý kết quả chuyển vị bề mặt.

2.1. Phát sinh trường ngẫu nhiên

Phương pháp Phổ sử dụng để phát sinh trường ngẫu nhiên tương quan trong không gian 2D được mô tả chi tiết trong nghiên cứu [16]. Các bước của phương pháp này để phát sinh trường giá trị của V_s được trình bày tóm tắt sau đây. Bước 1: chia lưới không gian, phát sinh giá trị tại các điểm lưới theo quy luật phân phối

chuẩn tắc $N(0,1)$. Bước 2: áp dụng biến đổi Fourier 2D để chuyển trường giá trị điểm lưới sang miền số sóng (wavenumber) và ghi nhận thông tin pha (phase component) θ , đại lượng thể hiện cho tính chất ngẫu nhiên của biến. Bước 3: chọn hàm tự tương quan (AutoCorrelation Function - ACF), thể hiện tính tương quan giữa các vị trí không gian kế cận, và tìm mật độ phổ công suất (Power Spectral Density - PSD) bằng biến đổi Fourier $PSD = FFT(ACF)$. Bước 4: giá trị phức của biến ngẫu nhiên trong miền số sóng được tính theo $\widehat{V}_{os}(k) = \sqrt{PSD} \times e^{i\theta}$. Bước 5: tìm giá trị ngẫu nhiên V_{os} trong không gian 2D vật lý bằng biến đổi Fourier ngược từ miền số sóng $V_{os}(x, y) = FFT^{-1}(\widehat{V}_{os}(k))$. Bước 6: tính toán giá trị biến ngẫu nhiên tương quan hai chiều trên toàn miền không gian $V_s(x, y) = \overline{V}_s + \sigma V_{os}(x, y)$, trong đó $\overline{V}_s$ là giá trị trung bình (mean) và σ là độ lệch chuẩn (standard deviation) của biến ngẫu nhiên V_s .

Địa chất được sử dụng trong bài báo này là địa chất khu vực Hà Đông, Hà Nội, được trình bày trong tài liệu [17], dựa vào kết quả phân tích cảm biến địa chấn (microtremor) và dữ liệu hố khoan khảo sát. Dữ liệu trong [17] là các giá trị trung bình của cột đất 1D sâu 120 m, bài báo này mở rộng xét mặt cắt có bề rộng 1000 m để khảo sát ảnh hưởng của tương quan ngẫu nhiên hai chiều đứng và ngang. Sơ đồ các lớp đất được trình bày trong Hình 1, với ν và ρ lần lượt là hệ số Poisson và khối lượng riêng.



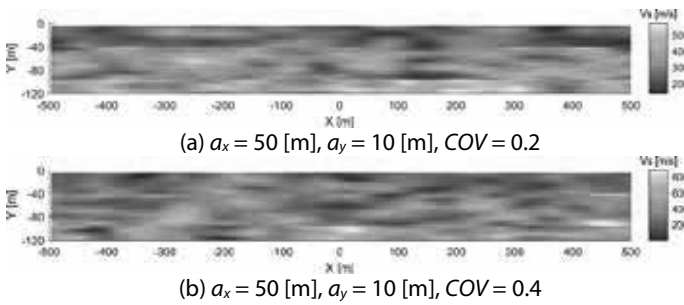
Hình 1. Sơ đồ các lớp đất (Hình không theo tỷ lệ)

Hàm PSD của tương quan Gaussian trong miền số sóng có dạng:

$$PSD = \pi L_x L_y a_x a_y e^{-k^2/4} \quad (1)$$

$$k^2 = a_x^2 k_x^2 + a_y^2 k_y^2 \quad (2)$$

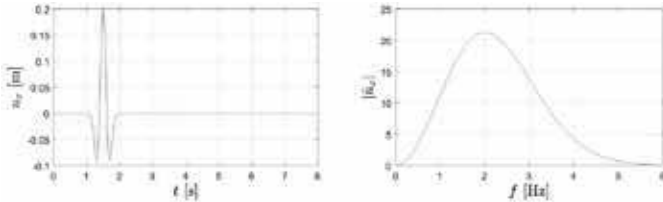
trong đó L_x, L_y là kích thước vùng ngẫu nhiên, a_x, a_y là chiều dài tương quan theo hai chiều ngang x và chiều đứng y , và k_x, k_y là số sóng theo hai phương x, y . Một vài kết quả phát sinh của biến ngẫu nhiên V_s trong môi trường đất theo qui luật phân bố tương quan hai chiều được thể hiện như trong Hình 2. Giá trị của V_s sẽ khác nhau ở các vị trí khác nhau, thể hiện rõ tính ngẫu nhiên của biến. Ngoài trừ có bước nhảy tại các mặt phân cách giữa các lớp đất, giá trị của V_s biến đổi một cách liên tục theo cả hai chiều trong miền ngẫu nhiên, thể hiện tính tương quan giữa các giá trị V_s ở các vị trí lân cận. Mỗi tương quan này rất phù hợp với thực tế: tại một vị trí là đất tốt có giá trị V_s cao thì rất có khả năng (xác suất cao) khu vực xung quanh đó cũng là đất tốt với giá trị V_s cao.



Hình 2. Một vài kết quả phát sinh miền ngẫu nhiên tương quan hai chiều của V_s

2.2. Mô hình Phần tử hữu hạn

Bài toán truyền sóng trong môi trường đất ngẫu nhiên được phân tích bằng phương pháp FEM tích hợp trong phần mềm LS-DYNA. Sóng cắt SV được chọn dưới dạng sóng Ricker, với độ lớn u_x trong miền thời gian và độ lớn Fourier (Fourier amplitude) $|u_x|$ trong miền tần số được thể hiện trong Hình 3. Sóng SV sẽ truyền từ đáy mô hình theo phương thẳng đứng hướng lên trên.



Hình 3. Chuyển vị u_x trong miền thời gian và độ lớn Fourier trong miền tần số

Miền tính toán 2D được rời rạc hóa bằng các phần tử tứ giác, như thể hiện trong Hình 4. Trong bài toán truyền sóng, lưới phần tử FEM đóng vai trò như một bộ lọc tín hiệu tần số thấp (low-pass filter), khi chỉ cho phép tần số dưới ngưỡng nhất định truyền đi trong lưới. Ngưỡng giới hạn này phụ thuộc vào kích cỡ lưới FEM. Để đảm bảo độ chính xác, kích cỡ lưới FEM phải nhỏ hơn 1/8 chiều dài bước sóng ngắn nhất (tương ứng với tín hiệu tần số lớn nhất) lan truyền trong lưới. Với tần số lớn nhất trong tín hiệu $f_{max} = 5$ Hz, chiều dài bước sóng ngắn nhất là $\lambda_{min} = V_{s1}/f_{max} = 48$ [m]. Kích cỡ lưới phần tử FEM được chọn là 4m, đảm bảo tính chính xác của kết quả mô phỏng. Môi trường đất ngẫu nhiên được mô phỏng bởi 7500 phần tử FEM. Phương pháp tường minh (explicit scheme) được sử dụng để tính toán tích phân thời gian (time integration), trong đó bước thời gian Δt (time step) phải thỏa mãn điều kiện Courant-Friedrichs-Lewy để đảm bảo độ ổn định của lời giải số (numerical stability). Trong bài toán này, bước thời gian $\Delta t = 2.16 \times 10^{-3}$ [s] được tự động xác định bởi chương trình LS-DYNA.

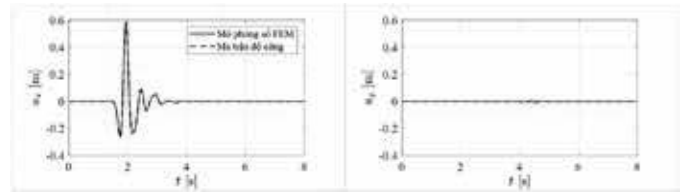


Hình 4. Lưới phần tử FEM

3. KẾT QUẢ SỐ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kiểm chứng mô hình

Khi hệ số biến động rất nhỏ, miền ngẫu nhiên trở thành miền xác định có giá trị V_s là hằng số và bằng với giá trị trung bình. Với trường hợp $COV = 0$, kết quả mô phỏng số được kiểm chứng với kết quả từ phương pháp ma trận độ cứng (Stiffness matrix method) để xuất bởi Kausel và đồng nghiệp [15]. Hình 5 thể hiện chuyển vị ngang u_x và đứng u_y theo thời gian tại điểm (0,0) trên bề mặt đất. Kết quả của hai phương pháp hoàn toàn tương đồng với nhau, chứng minh độ tin cậy của mô phỏng số FEM.



Hình 5. Chuyển vị ngang u_x và đứng u_y tại điểm $(x, y) = (0, 0)$

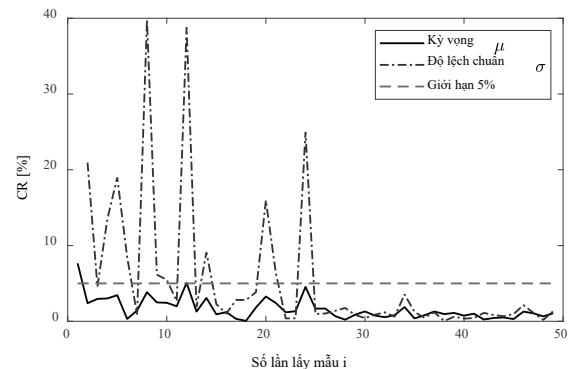
Hình 5 cho thấy giá trị của chuyển vị bề mặt chỉ bao gồm chuyển vị ngang. Điều này rất hợp lý khi xét bài toán sóng cắt SV truyền thẳng đứng trong các lớp đất đồng nhất có mặt phân cách nằm ngang. Trường chuyển vị là sự giao thoa của sóng SV truyền thẳng đứng hướng lên và hướng xuống, do đó không phát sinh chuyển vị đứng.

3.2. Số lượng mẫu thống kê cần thiết

Trong bài toán xác suất thống kê, số lần lấy mẫu ngẫu nhiên phải đủ lớn để đạt được ý nghĩa thống kê. Điều này nghĩa là số lần lấy mẫu ngẫu nhiên phải đủ lớn để các đặc trưng mẫu (kỳ vọng và độ lệch chuẩn) xấp xỉ với đặc trưng thống kê (kỳ vọng và độ lệch chuẩn) trong thực tế của biến ngẫu nhiên. Để xác định số lần lấy mẫu ngẫu nhiên (số lần mô phỏng ngẫu nhiên FEM) cần thiết cho một trường hợp cụ thể của $\{a_x, a_y, COV\}$, bài báo sử dụng tiêu chuẩn tốc độ hội tụ CR nhỏ hơn 5% [18], với CR được tính như sau:

$$CR = \frac{|IM_i - IM_{i+1}|}{IM_i} \quad (3)$$

trong đó i là số lần lấy mẫu ngẫu nhiên, IM là đặc trưng thống kê (kỳ vọng μ và độ lệch chuẩn σ) của tập mẫu. Bài báo này sẽ tính toán đặc trưng thống kê theo số lần lấy mẫu ngẫu nhiên ($CR - i$) cho hệ số khuếch đại chuyển vị AF tại một điểm trên bề mặt đất. Giá trị AF được tính bằng biểu thức $AF = U_x/U_0$, với U_x là chuyển vị ngang lớn nhất tại điểm đang xét và $U_0 = 0.2$ [m] như trong Hình 3. Kết quả tốc độ hội tụ của kỳ vọng và độ lệch chuẩn của tập mẫu ngẫu nhiên theo số lần lấy mẫu được biểu diễn trên Hình 6. Với khoảng 50 lần lấy mẫu, tốc độ hội tụ của kỳ vọng và độ lệch chuẩn đều dưới giới hạn 5%.



Hình 6. Tốc độ hội tụ của kỳ vọng và độ lệch chuẩn của tập mẫu ngẫu nhiên theo số lần lấy mẫu

Do đó, với mỗi trường hợp cụ thể của $\{a_x, a_y, COV\}$, bài báo sẽ thực hiện 50 lần lấy mẫu ngẫu nhiên cho miền đất nền tính toán, và thực hiện 50 tính toán tương ứng bằng mô phỏng số FEM.

3.3. Ảnh hưởng của trường ngẫu nhiên đến chuyển vị bề mặt

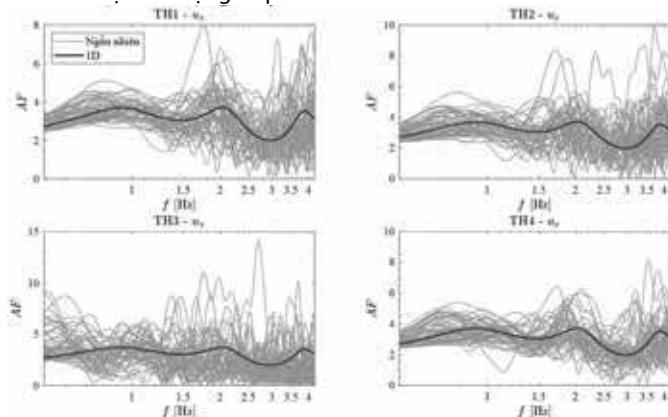
Bài báo sẽ khảo sát các trường hợp được trình bày trong Bảng 1. Mỗi trường hợp sẽ thực hiện 50 lần lấy mẫu. Tổng cộng 200 mô hình FEM sẽ được phân tích tính toán.

Bảng 1. Bốn trường hợp khảo sát

	a_x [m]	a_y [m]	COV
Trường hợp 1 (TH1)	50	10	0.2
Trường hợp 2 (TH2)	50	20	0.2
Trường hợp 3 (TH3)	50	10	0.4
Trường hợp 4 (TH4)	100	10	0.2

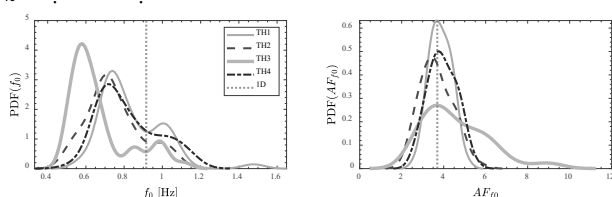
• **Hệ số khuếch đại chuyển vị và tần số cộng hưởng tại điểm $(x, y) = (0, 0)$**

Hệ số khuếch đại AF của chuyển vị ngang tại điểm $(x, y) = (0, 0)$ là một thông số phụ thuộc vào tần số f của sóng tới SV. Mỗi quan hệ $AF - f$ của bốn trường hợp khảo sát được thể hiện trong Hình 7. Trong mỗi trường hợp, 50 mẫu của môi trường đất ngẫu nhiên tương quan hai chiều (mô hình 2D) được so sánh với kết quả của môi trường đất có giá trị V_s cố định bằng giá trị trung bình (như Hình 1) của mỗi lớp đất (mô hình 1D). Đồ thị cho thấy độ biến động của hệ số khuếch đại AF phụ thuộc đáng kể vào hệ số biến thiên COV . Với cùng giá trị chiều dài tương quan, TH3 ($COV = 0.4$) có kết quả AF biến động mạnh và phân tán hơn nhiều so với TH1 ($COV = 0.2$). Chiều dài tương quan cũng ảnh hưởng đến mức độ biến động và phân tán của AF . So sánh biểu đồ của TH1 - TH2 (a_y tăng từ 10 m lên 20 m), và TH1 - TH4 (a_x tăng từ 50 m lên 100 m), giá trị AF có xu hướng giảm bớt sự biến động và phân tán khi chiều dài tương quan tăng lên, tuy rằng mức độ biến động và phân tán AF không thay đổi nhiều như khi thay đổi COV . Điều này là phù hợp, do khi chiều dài tương quan tăng lên, các thông số V_s sẽ có tương quan với nhau trên một miền rộng lớn hơn, giảm bớt tính ngẫu nhiên của môi trường đất, và do đó giảm bớt mức độ biến động và phân tán của AF .



Hình 7. Hệ số khuếch đại chuyển vị ngang tại điểm $(x, y) = (0, 0)$ trong miền tần số của 4 trường hợp khảo sát

Trong Hình 7, đồ thị $AF - f$ trong trường hợp 1D cho thấy ba điểm cực đại địa phương. Đó là các tần số cộng hưởng, tại đó mặt đất có xu hướng dao động mạnh nhất khi chịu tác động của sóng tới SV. Bài báo này quan tâm đến tần số cộng hưởng cơ bản (fundamental resonance frequency) f_0 , là tần số cộng hưởng có giá trị nhỏ nhất, và giá trị AF_{f_0} tương ứng tại tần số đó. Trong trường hợp bài toán 1D, $f_0 = 0.92$ Hz và $AF_{f_0} = 3.7$. Với mỗi trường hợp {TH1, TH2, TH3, TH4}, 50 giá trị của f_0 và AF_{f_0} sẽ được ghi nhận và tiến hành thống kê. Kết quả hàm mật độ xác suất (Probability density function - PDF) của f_0 và AF_{f_0} được thể hiện trên Hình 8.

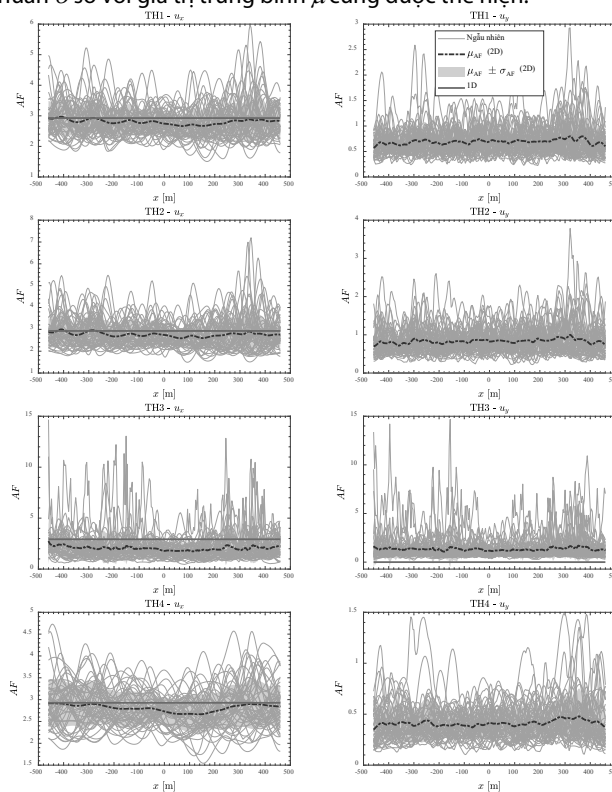


Hình 8. Thống kê giá trị của f_0 và AF_{f_0} tại điểm $(x, y) = (0, 0)$ của 4 trường hợp khảo sát

Hình 8 cho thấy giá trị có khả năng xảy ra cao nhất (mode) của f_0 là xấp xỉ 0.7 Hz cho các TH1, TH2, và TH4. Trong khi đó, mode của f_0 trong TH3 là 0.58 Hz. So sánh với giá trị $f_0 = 0.92$ Hz của trường hợp 1D, mode của f_0 trong mô hình 2D giảm 23% khi $COV = 20\%$ (TH1, TH2, TH4), và 37% khi $COV = 40\%$ (TH3). Điều này chứng tỏ tần số cộng hưởng cơ bản f_0 phụ thuộc rất lớn vào mức độ biến thiên COV của môi trường 2D ngẫu nhiên, trong khi ít phụ thuộc vào chiều dài tương quan. Ngược lại, giá trị mode của AF_{f_0} khá tương đồng trong cả 4 trường hợp, và bằng với giá trị $AF_{f_0} = 3.7$ của trường hợp 1D. Tuy nhiên, hàm PDF của AF_{f_0} trong TH3 với $COV = 40\%$ vẫn thể hiện mức độ phân tán cao hơn ba trường hợp còn lại.

• **Trường chuyển vị trên toàn bộ bề mặt đất của mô hình 2D**

Hệ số khuếch đại AF chuyển vị ngang u_x và chuyển vị đứng u_y trong miền thời gian của tất cả các điểm trên bề mặt đất được tính toán. Nổi các giá trị AF tại các điểm trên bề mặt đất sẽ thu được đồ thị $AF - x$ thể hiện trường chuyển vị toàn bộ bề mặt đất của một lần lấy mẫu ngẫu nhiên môi trường đất. Trên Hình 9, với mỗi chuyển vị ngang và đứng của bốn trường hợp khảo sát, đồ thị bao gồm 50 đường $AF - x$ tương ứng với 50 lần lấy mẫu ngẫu nhiên, 1 đường hằng số $AF - x$ của mô hình 1D. Vùng biến động trong khoảng 1 lần độ lệch chuẩn σ so với giá trị trung bình μ cũng được thể hiện.



Hình 9. Chuyển vị bề mặt đất của 4 trường hợp khảo sát

Với chuyển vị ngang u_x , giá trị trung bình thống kê AF của các điểm trên bề mặt đất khá tương đồng với cận trên là giá trị AF của trường hợp 1D. Các đường giá trị trung bình AF của mô hình 2D và mô hình 1D cách xa nhau nhất trong trường hợp hệ số biến thiên lớn nhất $COV = 40\%$, như đã phân tích ở trên. Đường $AF - x$ của mô hình 1D nằm trong khoảng 1 lần độ lệch chuẩn so với đường trung bình $AF - x$ của 50 mẫu. Điều đặc biệt cần lưu ý trong mô hình ngẫu nhiên 2D là thành phần chuyển vị đứng u_y . Trong khi mô hình 1D không phát sinh chuyển vị đứng, mô hình 2D với sự giao thoa phức tạp giữa các sóng phản xạ và khúc xạ tại các vị trí có V_s không đồng nhất khiến cho mặt đất xuất hiện thành phần chuyển vị đứng. Giá

trị trung bình của AF cho u_y trên bề mặt đất dao động từ 0.3 đến 0.8 cho TH1, TH2, và TH4 ($COV = 20\%$), và dao động từ 1.0 đến 1.7 cho TH3 ($COV = 40\%$).

4. KẾT LUẬN

Bài báo tập trung phân tích trường chuyển vị bề mặt của môi trường đất ngẫu nhiên khi chịu tác dụng của sóng cắt SV lan truyền theo phương thẳng đứng. Trong môi trường đất ngẫu nhiên 2D, thông số vận tốc truyền sóng cắt V_s tuân theo qui luật phân bố ngẫu nhiên tương quan hai chiều. Phương pháp Phổ được sử dụng để phát sinh môi trường đất ngẫu nhiên, sau đó phương pháp FEM được sử dụng để phân tích bài toán truyền sóng.

Với mỗi trường hợp cụ thể của $\{a_x, a_y, COV\}$, bài báo cho thấy cần lấy tối thiểu 50 mẫu ngẫu nhiên để đảm bảo độ tin cậy của các đặc trưng thống kê.

Hệ số khuếch đại AF tại điểm $(x, y) = (0, 0)$ biến động mạnh và phân tán hơn nhiều trong trường hợp hệ số biến thiên tăng và chiều dài tương quan giảm. Trong đó, mức độ ảnh hưởng của COV lớn hơn nhiều so với a_x, a_y .

Khi so sánh với mô hình 1D, mode của tần số cộng hưởng cơ bản f_0 trong mô hình 2D giảm 23% khi $COV = 20\%$ và giảm 37% khi $COV = 40\%$. Ngược lại, mặc dù hệ số biến thiên và chiều dài tương quan khác nhau, bốn trường hợp khảo sát đều cho giá trị mode của AF_{f_0} khá tương đồng, và bằng với giá trị $AF_{f_0} = 3.7$ của trường hợp 1D. Tuy nhiên, hàm PDF của AF_{f_0} trong TH3 với $COV = 40\%$ vẫn thể hiện mức độ phân tán cao hơn ba trường hợp còn lại.

Với chuyển vị ngang u_x , giá trị trung bình thống kê AF của các điểm trên bề mặt đất khá tương đồng với cận trên là giá trị AF của trường hợp 1D. Các đường giá trị trung bình AF của mô hình 2D và mô hình 1D cách xa nhau nhất trong trường hợp hệ số biến thiên lớn nhất $COV = 40\%$. Giá trị trung bình của AF cho chuyển vị đứng u_y trên bề mặt đất dao động từ 0.3 đến 0.8 khi $COV = 20\%$, và dao động từ 1.0 đến 1.7 khi $COV = 40\%$. Trong khi đó, mô hình 1D không phát sinh u_y .

Nghiên cứu này được giới hạn ở mô hình 2D và chỉ áp dụng cho một trường hợp đất nền cụ thể. Trong thực tế, đất nền phân bố ngẫu nhiên theo không gian 3D, và có thể chứa nhiều lớp đất xen kẽ phức tạp với các bề dày khác nhau. Do đó, các nghiên cứu chi tiết hơn về vấn đề này nên được tiến hành để thu nhận được tập kết quả đầy đủ và tổng quát hơn.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-TP.HCM trong khuôn khổ đề tài mã số T-KTXD-2024-08. Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-TP.HCM đã hỗ trợ cho nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. J. Li, M.J. Cassidy, J. Huang, L. Zhang, R. Kelly (2016). Probabilistic identification of soil stratification. *Géotechnique*, 66 (1), 16-26.
- [2]. Y. Wang, Z. Cao, D. Li (2016). Bayesian perspective on geotechnical variability and site characterization. *Engineering Geology*, 203, 117-125.
- [3]. X.-Y. Li, L.-M. Zhang, L. Gao, H. Zhu (2017). Simplified slope reliability analysis considering spatial soil variability. *Engineering Geology*, 216, 90-97.
- [4]. C. Cherubini, G. Vessia (2010). Reliability-based pile design in sandy soils by CPT measurements. *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*, 4 (1), 2-12.
- [5]. K. Lesny, S.G. Paikowsky (2011). Developing a LRFD procedure for shallow foundations. In proceedings of the 3rd international symposium on geotechnical safety and risk, ISGSR.
- [6]. M.A. Hariri-Ardebili, S.M. Seyed-Kolbadi, V.E. Saouma, J. Salamon, B. Rajagopalan (2018). Random finite element method for the seismic analysis of gravity dams. *Eng. Struct.*, 171, 405-420.

[7]. Winkelmann, K., Żyliński, K., Korzec, A., & Górski, J. (2022). Effectiveness of random field approach in serviceability limit state analysis of strip foundation. *Geotechnical and Geological Engineering*, 40(9), 4705-4720.

[8]. Beck, J. L., & Hall, J. F. (1986). Factors contributing to the catastrophe in Mexico City during the earthquake of September 19, 1985. *Geophysical Research Letters*, 13(6), 593-596.

[9]. D'Ayala, D. (2023). Commentary: Reflections on the Turkey-Syria Earthquakes of 06 February 2023. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Structures and Buildings*, 1-10.

[10]. Kawase, H. (1988). Time-domain response of a semi-circular canyon for incident SV, P, and Rayleigh waves calculated by the discrete wavenumber boundary element method. *Bulletin of the seismological Society of America*, 78(4), 1415-1437.

[11]. Kawase, H., & Aki, K. (1989). A study on the response of a soft basin for incident S, P, and Rayleigh waves with special reference to the long duration observed in Mexico City. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 79(5), 1361-1382.

[12]. Mossessian, T. K., & Dravinski, M. (1987). Application of a hybrid method for scattering of P, SV, and Rayleigh waves by near-surface irregularities. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 77(5), 1784-1803.

[13]. Luco, J. E., Wong, H. L., & De Barros, F. C. P. (1990). Three-dimensional response of a cylindrical canyon in a layered half-space. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 19(6), 799-817.

[14]. Rota, M., Lai, C. G., & Strobbia, C. L. (2011). Stochastic 1D site response analysis at a site in central Italy. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 31(4), 626-639.

[15]. Kausel, E., & Roësset, J. M. (1981). Stiffness matrices for layered soils. *Bulletin of the seismological Society of America*, 71(6), 1743-1761.

[16]. Pardo-Iguzquiza, E., & Chica-Olmo, M. (1993). The Fourier integral method: an efficient spectral method for simulation of random fields. *Mathematical geology*, 25(2), 177-217.

[17]. Duong, N. A., Nguyen, P. D., Tuan, V. M., Van Duan, B., & Linh, N. T. (2017). Seismic hazard assessment and local site effect evaluation in Hanoi, Vietnam. *Vietnam Journal of Marine Science and Technology*, 17(4B), 82-95.

[18]. El Haber, E., Cornou, C., Jongmans, D., Abdelmassih, D. Y., Lopez-Caballero, F., & Al-Bittar, T. (2019). Influence of 2D heterogeneous elastic soil properties on surface ground motion spatial variability. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 123, 75-90.

Rủi ro địa chất - thủy văn và sụt lún đô thị TP.HCM: Hệ quả và thách thức cho phát triển không gian ngầm

Geological-hydrogeological risks and urban subsidence in Ho Chi Minh City: Consequences and challenges for underground space development

> BUI THỊ ÁI MY¹, NGUYỄN HỮU HUỆ², NGUYỄN VĂN SƠN^{2*}, NGUYỄN ĐÌNH CHỨC³

¹Công ty CP Tập đoàn Trường Hải Thaco Group;

²Trường Đại học Thủy lợi

³Công ty TNHH MTV 59

*Email: Mybui1989@gmail.com

TÓM TẮT

Không gian ngầm (KGN) đang trở thành một hướng phát triển tất yếu của các đô thị lớn trên thế giới, góp phần hướng tới mục tiêu phát triển bền vững. Trong bối cảnh TP.HCM có tốc độ gia tăng dân số nhanh, quỹ đất ngày càng khan hiếm và áp lực lên hạ tầng đô thị không ngừng gia tăng, việc khai thác và phát huy tiềm năng KGN trở nên cấp thiết. Tuy nhiên, đặc điểm địa chất - thủy văn phức tạp cùng tình trạng khai thác nước ngầm và sụt lún đô thị diễn biến mạnh mẽ đang đặt ra nhiều thách thức cho công tác quy hoạch và xây dựng công trình ngầm. Bài báo trình bày kết quả phân tích dữ liệu từ khảo sát địa chất tại khu vực TP.HCM, bao gồm mười hố khoan, hơn 180 mẫu thí nghiệm cơ lý, nhằm làm rõ cấu trúc địa tầng và tính chất cơ học - thủy lực của đất nền. Kết quả cho thấy lớp sét Holocene nông có độ ẩm tự nhiên cao ($W \approx 59\%$), hệ số nén lún lớn ($a_{1-2} \approx 0.101 \text{ cm}^2/\text{kg}$) và góc ma sát trong thấp ($\varphi \approx 4^\circ 53'$), tiềm ẩn nguy cơ lún trên diện rộng đáng kể cho công trình ngầm. Trong khi đó, các lớp cát xen kẽ (4a, 6, 8, 11) có độ thấm lớn ($K_y \approx 10^{-5} - 10^{-6} \text{ cm/s}$), làm tăng rủi ro dòng thấm và hiện tượng nước tràn vào hầm trong giai đoạn thi công. Bằng cách kết hợp dữ liệu địa chất - thủy văn trong nước với các nghiên cứu quốc tế dựa trên khảo sát InSAR, mô hình 3D, bài báo cung cấp một nền tảng khoa học cho việc nhận diện rủi ro và đề xuất giải pháp thiết kế, giám sát, quản lý khai thác KGN tại TP.HCM trong bối cảnh biến đổi khí hậu, mực nước biển dâng.

Từ khóa: Địa chất thủy văn, không gian ngầm, sụt lún, khai thác nước ngầm, công trình ngầm.

ABSTRACT

Underground space (UGS) development has become an inevitable trend for major cities worldwide in the pursuit of sustainable urban growth. In the context of Ho Chi Minh City (HCMC), rapid population growth, land scarcity, and increasing infrastructure pressure have created an urgent demand to exploit the potential of UGS. However, complex geological and hydrogeological conditions, combined with extensive groundwater extraction and severe urban subsidence, pose significant challenges for underground planning and construction.

This paper analyzes geotechnical survey data from HCMC, including ten boreholes and more than 180 laboratory tests, to clarify subsurface stratigraphy and hydro-mechanical soil properties. The results show that the shallow Holocene clay layer has a high natural water content ($W \approx 59\%$), a large compressibility index ($a_{1-2} \approx 0.101 \text{ cm}^2/\text{kg}$), and a low internal friction angle ($\varphi \approx 4^\circ 53'$), indicating a substantial risk of large-scale settlement for underground structures. In contrast, the interbedded sand layers (4a, 6, 8, 11) exhibit high permeability ($K_y \approx 10^{-5} - 10^{-6} \text{ cm/s}$), which increases the likelihood of seepage and groundwater inflow during tunnel excavation.

By integrating local geological and hydrogeological data with international studies using InSAR surveys and 3D modeling, this paper establishes a scientific basis for risk identification and proposes design, monitoring, and groundwater management strategies for the safe and sustainable development of UGS in HCMC under the context of climate change and sea-level rise.

Keywords: Hydrogeology, underground space, land subsidence, groundwater exploitation, underground construction.

1. GIỚI THIỆU

1.1. Bối cảnh phát triển đô thị và KGN ở TP.HCM

TP.HCM trung tâm kinh tế lớn nhất cả nước, đang phải đối mặt với áp lực ngày càng gia tăng về dân số, mật độ xây dựng và nhu cầu phát triển hạ tầng. Quỹ đất bề mặt tại khu vực trung tâm gần như đã cạn kiệt, trong khi nhu cầu mở rộng giao thông, hạ tầng kỹ thuật, không gian công cộng và các dịch vụ tiện ích đô thị vẫn không ngừng tăng cao. Thực tế này đang thúc đẩy việc hình thành nhiều dự án hạ tầng quy mô lớn, trong đó nổi bật là các tuyến metro, hầm giao thông, bãi đỗ xe ngầm, hệ thống hạ tầng kỹ thuật và trung tâm thương mại dưới lòng đất để phát triển đô thị. Theo định hướng Quy hoạch chung TP.HCM đến năm 2040, tầm nhìn đến năm 2060: “Phát triển đô thị theo mô hình không gian ba chiều, kết hợp phát triển không gian ngầm với không gian mặt đất và không gian trên cao”, diện tích KGN được định hướng khai thác sẽ gia tăng nhanh chóng nhằm đáp ứng yêu cầu phát triển bền vững và giảm tải cho hạ tầng trên mặt đất. Tuy nhiên, song song với tiềm năng đó, thành phố cũng phải đối mặt với nhiều thách thức xuất phát từ các điều kiện địa chất - thủy văn đặc thù, bao gồm: (1) sự hiện diện của lớp đất yếu Holocene bão hòa nước, (2) tốc độ sụt lún đô thị do khai thác nước ngầm, (3) nguy cơ ngập lụt do kết hợp giữa lún nền và nước biển dâng.

Các nghiên cứu gần đây bằng kỹ thuật InSAR vi phân cho phép phân tích nhanh tốc độ lún trung bình hàng năm tại điểm quan sát, xác định vùng và phạm vi lún [1]. Mật độ xây dựng cao trên nền đất yếu là yếu tố quyết định vị trí xảy ra sụt lún đầu tiên, còn xu hướng phát triển đô thị là các yếu tố quyết định xu hướng mở rộng vùng lún. Khu vực lún trung bình (>5 mm/năm) chiếm 4,24% diện tích thành phố; Khu vực lún nhanh (10-15 mm/năm) chiếm 0,67% diện tích thành phố; Dự báo khu vực có tốc độ lún nhanh sẽ tăng thêm giá trị lún từ 12- 22 cm đến năm 2020 và 35- 40 cm vào năm 2030. Giai đoạn 2003-2004: khu vực biến dạng lún >20 cm, xảy ra tại đô thị mới Quận 2, 7, Bình Thạnh (cũ); khu vực biến dạng lún $15\div 20$ cm ở Quận 1, 3, 4, 5, 8, 9, 12, Gò Vấp, Bình Chánh (cũ); khu vực biến dạng lún $10\div 15$ cm ở Quận 6, 10, 11, Tân Bình, Bình Tân, Tân Phú, Phú Nhuận, Gò Vấp, Thủ Đức, Bình Chánh (cũ); khu vực biến dạng lún 2,5-10 cm ở khu vực huyện Hóc Môn (cũ); khu vực biến dạng lún $<2,5$ cm ở khu vực ngoại thành [2] [3] [4].

Sự cố tràn nước tại vị trí Km 1+154.4 vào 23/4/2018, trong quá trình thi công hầm phía Tây thuộc tuyến Metro số 1 [5] cho thấy các rủi ro thực tế của điều kiện địa chất thủy văn phức tạp hiện nay. Vì vậy, việc hiểu rõ cấu trúc địa chất, đặc tính cơ học - thủy lực của các tầng đất là nền tảng để thiết kế và xây dựng KGN an toàn, bền vững cho TP.HCM.

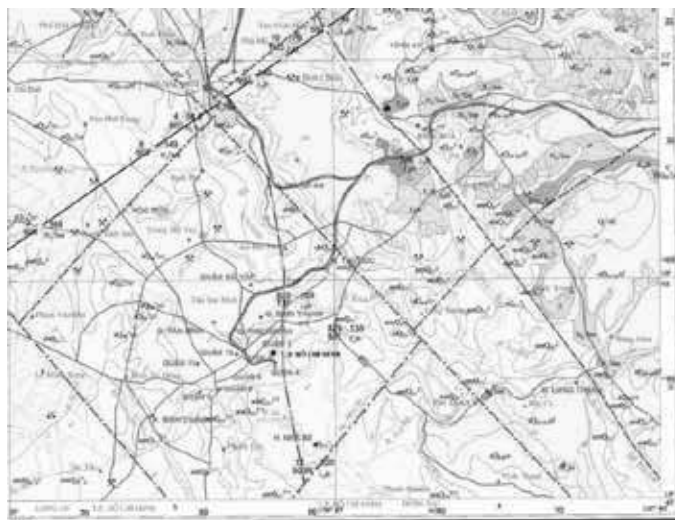
1.2. Vấn đề địa hình - địa chất - thủy văn đặc thù TP.HCM

TP.HCM thuộc vùng nhiệt đới gió mùa cận xích đạo, nhiệt độ cao quanh năm và phân hóa hai mùa rõ rệt: mùa mưa từ tháng 5-11, mùa khô từ tháng 12-4 năm sau. Lượng mưa tập trung chủ yếu vào mùa mưa, thường gây ngập úng cục bộ. Hệ thống sông ngòi dày đặc, mực nước chịu ảnh hưởng mạnh của thủy triều bán nhật triều không đều. Đặc điểm thủy triều bất thường, đặc biệt vào các tháng 8-9 âm lịch, gây ngập úng, ảnh hưởng lớn đến công trình hạ tầng và quá trình lún đất.

Địa tầng khu vực TP.HCM phức tạp, gồm nhiều hệ tầng từ cổ đến trẻ được hình thành trong môi trường sông - biển phức tạp. Các lớp đất yếu gồm bùn, sét, than bùn dày từ vài mét đến hàng chục mét, có tính nén lún cao và độ bão hòa gần 100%. Xen kẽ trong đó là các lớp cát mịn - trung bình có độ thấm lớn, đóng vai trò là tầng chứa nước chính.

Khoảng 60% diện tích TP.HCM nằm trên nền đất yếu, chủ yếu là lớp bùn sét và bùn hữu cơ có độ bão hòa nước cao, với bề dày dao

động từ trên 10 m đến hơn 30 m. Khu vực phân bố loại đất rất yếu tập trung chủ yếu tại các Quận 2, 4, 6, 7 và 8, huyện Nhà Bè, Cần Giờ (cũ); dọc theo sông Sài Gòn, sông Đồng Nai; khu giáp ranh giữa Củ Chi - Hóc Môn. Một phần diện tích có nền ổn định - điểm lộ đá tại khu vực Thủ Đức, Quận 9 (cũ).



Hình 1. Bản đồ địa chất khu nghiên cứu

(theo từ bản đồ địa chất khoáng sản Việt Nam tỷ lệ 1:200.000 từ TP.HCM, C-48-XI)

1.3. Mục tiêu nghiên cứu

- Tổng hợp kết quả khảo sát địa chất từ 10 hố khoan tại TP.HCM, hơn 180 mẫu thí nghiệm cơ lý phân tích các chỉ tiêu cơ lý và thủy lực quan trọng (W , e , a_{1-2} , φ , K_y , c).
- Liên kết dữ liệu địa chất - thủy văn với nguy cơ lún, thấm, và sự cố công trình ngầm.
- Đưa ra khuyến nghị thiết kế, thi công và quản lý không gian ngầm dựa trên điều kiện thực tiễn của TP.HCM.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Dữ liệu khảo sát địa chất - thủy văn

Khảo sát địa chất công trình tại TP.HCM, bao gồm 10 hố khoan (HK1-HK10) với độ sâu từ 40-60 m, trải rộng trên các quận thuộc khu vực trung tâm và ven đô thị. Tổng cộng 180 mẫu đất được thí nghiệm trong phòng theo tiêu chuẩn TCVN hiện hành.



Hình 2.1. Vị trí các hố khoan khảo sát tại TP.HCM (Google Map)

Kết quả khảo sát cho thấy TP.HCM có địa tầng phức tạp với đất yếu Holocen dày, phân bố không đồng đều, là nguyên nhân chính gây lún mặt đất.

- **Đất yếu Holocen (lớp 1, 1a, 2, 2a):** có trạng thái chảy - dẻo mềm, độ ẩm cao (W 40 -60%), mô đun biến dạng thấp (E_{1-2} chỉ 15-

70 kg/cm²). Đây là lớp dễ nén lún, có sức kháng cắt thấp ($C \approx 0,07 - 0,16 \text{ kg/cm}^2$, ϕ chỉ $5-15^\circ$).

- **Các lớp cát hạt nhỏ - vừa (2b, 4a, 6, 8, 10, 11):** có kết cấu chặt vừa đến chặt, hệ số thấm cao ($10^{-5} - 10^{-6} \text{ cm/s}$). Đặc điểm này có lợi cho khả năng chịu tải, nhưng tiềm ẩn nguy cơ thấm nước mạnh, xói ngầm và mất ổn định hố đào.

Các lớp á sét nửa cứng - cứng (3, 4, 5, 7b, 9): có sức chịu tải khá tốt, biến dạng nhỏ, thường phân bố ở độ sâu trung bình (10-30 m), đóng vai trò là lớp chịu lực tiềm năng để đặt móng hoặc chống trượt thành hố đào.

- **Thủy văn phức tạp:** mực nước ngầm chịu ảnh hưởng thủy triều và hệ thống sông Sài Gòn - Đồng Nai, dao động lớn theo mùa, gây khó khăn cho kiểm soát nước trong hố đào ngầm.

Tính phân dị không gian rõ rệt: khu vực Hiệp Bình Chánh - Thủ Đức có đất yếu dày hơn so với Hiệp Thành và Cát Lái - Phú Thuận.

Cấu trúc địa chất phức tạp cộng, cùng với việc khai thác nước dưới đất với lưu lượng rất lớn, bao gồm cả lượng được cấp phép (khoảng 700.000 m³/ngày) và một lượng lớn từ các giếng khoan trái phép đã làm suy giảm nghiêm trọng áp lực nước trong các tầng chứa nước.

Bảng 1. Phân tích so sánh giữa Khai thác Nước dưới đất và Tốc độ Sụt lún trung bình

Quận/Huyện (cũ)	Đặc điểm sử dụng Đất	Tổng lưu lượng Khai thác (m ³ /ngày)	Tầng chứa khai thác chính	Độ dày tầng cách nước (m)	Mức hạ thấp Áp lực (m)	Tốc độ sụt lún trung bình (cm/năm)
Quận 1	Đô thị Trung tâm	Thấp (< 20,000)	n2, n1	20-30	5-10	0.5-1.0
Quận 7	Đô thị/Công nghiệp	Cao (70,000 - 90,000)	n2	40-60	20-25	2.0-3.5
Bình Tân	Công nghiệp/Ngoại ô	Rất cao (> 120,000)	n2, n1	50-70	> 25	3.5-5.0
Hóc Môn	Ngoại ô/Nông nghiệp	Cao (80,000 - 100,000)	n2	40-50	> 25	3.0-4.5
Bình Chánh	Ngoại ô/Công nghiệp	Rất cao (> 100,000)	n1, n2	60-80	> 25	3.5-5.0
Củ Chi	Ngoại ô/Nông nghiệp	Trung bình (40,000 - 60,000)	n2	20-30	10-15	1.0-2.0

3. THẢO LUẬN

3.1. Phân tích rủi ro địa kỹ thuật ảnh hưởng đến xây dựng CTN

a) Rủi ro lún và mất ổn định công trình lân cận

Kết quả khảo sát địa chất cho thấy lớp sét Holocene nông (Lớp 1) có độ ẩm tự nhiên rất cao ($W \approx 59\%$), hệ số rỗng $e > 1.5$ và độ bão hòa gần như tuyệt đối ($S \approx 97\%$). Hệ số nén lún ($a_{1-2} \approx 0.101 \text{ cm}^2/\text{kg}$) là một trong những yếu tố quan trọng trong toàn bộ địa tầng. Các thông số này chứng tỏ rằng dưới tải trọng CTN (bãi đỗ xe nhiều tầng, tuyến metro, công trình hạ tầng kỹ thuật), lớp đất sẽ chịu áp lực lún lớn. Khi đào hố sâu trong lớp đất yếu, biến dạng ngang và lún bề mặt dễ xảy ra, ảnh hưởng đến nhà cửa, hạ tầng xung quanh.

Lún không đều xuất hiện do sự xen kẽ của các lớp sét mềm - cát thấm khác nhau. Khi một phần công trình đặt trên nền sét có độ nén lớn, còn phần khác nằm trên cát chặt hơn, sự chênh lệch độ lún có thể gây nứt vỡ kết cấu. Đây chính là nguyên nhân dẫn đến các hư hỏng thường thấy ở các công trình tầng hầm nông tại khu vực Nam Sài Gòn trong 20 năm qua.

Trong các lớp đất yếu Holocen, khả năng chống trượt của thành hố thấp, dễ gây sụt lở khi đào sâu. Thi công metro dạng hở (cut & cover) hoặc thi công cống thoát nước lớn gặp rủi ro cao về sạt thành và xâm nhập nước ngầm.

Bảng 2. Phân loại mức rủi ro theo vùng nguy cơ

Nguy cơ	Khu vực ưu tiên	Xác suất	Hệ quả	Mức rủi ro
Thành hố sạt lở/sụt lún hố đào	Thủ Đức	Cao	Cao	Rất cao
Lún cổ kết dài hạn	Toàn TP (nhất là nơi lớp sét dày)	Cao	Cao	Rất cao
Xói ngầm / base heave	Cát Lái, ven sông	Trung - Cao	Cao	Cao
Mất ổn định do TBM (áp lực mặt trước không kiểm soát)	Tuyến metro	Trung bình	Cao	Cao
Tác động thủy triều → dao động mực nước ngầm	Ven sông/toàn TP	Trung bình	Trung bình	Trung bình

Phân vùng nguy cơ:

- Nguy cơ cao: vùng thấp trũng phía Nam - Tây Nam - Đông Nam, Quận 7, 8, 9, Bình Chánh, Nhà Bè, Cần Giuộc (cũ): Holocene dày, mực đất thấp (0.5-2 m), tiếp giáp sông rạch, rủi ro lún, inflow, xâm nhập mặn cao.

- Nguy cơ trung bình: vùng trung tâm nội thành (độ cao 5-10 m): lớp yếu mỏng hơn nhưng vẫn cần gia cố cục bộ.

- Nguy cơ thấp (tương đối): vùng cao phía Bắc - Đông Bắc, Củ Chi, Thủ Đức, Quận 9 (cũ) cao 10-25 m; nền tốt hơn nhưng vẫn có vùng có trầm tích dày cần khảo sát chi tiết.

b) Rủi ro dòng thấm và xói ngầm khi thi công hầm

- Các lớp cát (4a, 6, 8, 11) có hệ số thấm cao ($K_y \approx 10^{-5} - 10^{-6} \text{ cm/s}$), tạo điều kiện cho dòng nước ngầm lưu thông mạnh. Khi đào hầm qua các lớp này, đặc biệt ở điều kiện áp lực nước lớn, nguy cơ xói ngầm (nước và đất tràn vào hầm) rất cao. Sự cố tại tuyến metro số 1 năm 2018, khi nước bất ngờ tràn vào buồng đào gây ngập máy, minh chứng thực tế cho mối nguy hiểm này.

- Ngoài ra, các lớp cát còn làm tăng nguy cơ mất ổn định tường vây nếu không có biện pháp cutoff hoặc grouting hiệu quả. Cát với hệ số thấm cao, nước có thể đi theo đường vòng, gây xói lở chân tường, dẫn tới sự cố nghiêng, xói cát ngầm (piping) hoặc sụt lún mặt bằng.

c) Rủi ro do biến động mực nước ngầm và xâm nhập mặn

- TP.HCM với tốc độ khai thác nước ngầm nhanh, dẫn đến hạ thấp mực nước ngầm và góp phần vào tốc độ sụt lún 4-16 mm/năm. Các lớp cát chứa nước (aquifers) bị rút kiệt không chỉ làm tăng lún mà còn tạo điều kiện cho nước mặn từ cửa sông Sài Gòn - Nhà Bè xâm nhập sâu hơn. Điều này gây hệ quả: giảm chất lượng nước ngầm và tăng áp lực nước mặn lên các công trình ngầm ven sông, đặc biệt trong điều kiện thủy triều cao. Ngoài ra, nước biển dâng làm tăng áp lực nước ngầm, đặt ra yêu cầu mới cho chống thấm và bảo vệ kết cấu bê tông.

Kết quả khảo sát cho thấy địa chất TP.HCM biến đổi mạnh theo không gian, theo chiều sâu và theo khu vực. Do đó, việc thiết kế công trình ngầm cần có bản đồ phân vùng địa chất - thủy văn chi tiết, kết hợp dữ liệu khoan, thí nghiệm, InSAR.

3.2. Một số khuyến nghị

Dựa trên các kết quả khảo sát địa chất và kinh nghiệm thực tiễn tại các nước trên thế giới, cho thấy rằng thành công trong xây dựng CTN phụ thuộc vào tường vây chống thấm, móng sâu, xử lý nền thích hợp, cùng với công nghệ TBM hiện đại và bù lún chủ động

bằng công nghệ khoan trộn sâu để giảm thiểu biến dạng. Bài báo đề xuất một số khuyến nghị như sau:

a) Khuyến nghị kỹ thuật:

- **Trước khi thiết kế (bắt buộc):** Khảo sát bổ sung theo tuyến hoặc ô lưới: Thực hiện khoan bổ sung CPTu/ SPT (50-200 m spacing tùy quy mô), tại các dự án ngầm và khu vực có lớp Holocene dày >10 m, lỗ khoan sâu đến lớp chịu lực, thử bơm, lấy mẫu nguyên dạng để có mô hình 3D lithology chính xác. Xây dựng bản đồ rủi ro tích hợp: Số hóa cơ sở dữ liệu địa chất - thủy văn, tích hợp GIS, InSAR xây dựng mô hình 3D dự báo lún để ra quyết định vị trí ưu tiên.

- **Thiết kế:** Tường vây kín xuyên suốt toàn bộ lớp đất yếu Holocene + grouting curtain ở đáy chặn thấm cho các công trình sâu (metro, ga lớn). Móng cọc sâu hoặc móng bè phức hợp: truyền lực xuống lớp chịu tải; tại vùng dày Holocene dùng mô hình móng phẳng kết hợp cọc giảm lún. Thiết kế khe co giãn, khớp mềm tại mỗi nối để chịu lún khác biệt vài cm. Thiết kế chống nổi: liên kết vào kết cấu nặng hoặc hệ phân áp. Gia cố nền bằng CDM, jet grouting hoặc cọc xi măng đất tại lớp Holocene.

- **Thi công:** Ưu tiên TBM có kiểm soát áp suất (EPB/ slurry) ở lớp cát thấm; điều chỉnh áp suất buồng theo áp lực lỗ rỗng để ngăn hiện tượng bực nền. Khoan phun gia cố trước khi mở đào ở vị trí cắt qua lớp cát liên thông. Hạn chế tách nước diện rộng: nếu cần, dùng tách nước cục bộ, tái sử dụng nước, và áp dụng MAR (managed aquifer recharge) để tránh hạ mực nước rộng gây lún. Chuẩn bị kịch bản ứng phó sự cố: bơm khẩn cấp, đóng vết rò, khoan cứu.

Giám sát & vận hành: Lắp đặt piezometer + mốc đo lún + GNSS dọc tuyến; tích hợp InSAR định kỳ để theo dõi liên tục dịch chuyển mặt đất, phát hiện sớm xu hướng. Ngưỡng cảnh báo & SOP (khi vượt ngưỡng lún hoặc mực nước thì dừng thi công và có biện pháp khẩn cấp). Bảo trì dự phòng cho hệ thống chống thấm, bơm nước, thanh chống - lên lịch kiểm tra định kỳ.

Quản lý nước ngầm: Ban hành quy định hạn chế khai thác nước ngầm ở các quận ven sông và vùng có tốc độ lún cao. Triển khai mô hình tái nạp nhân tạo (MAR) tại các khu vực có nguy cơ xâm nhập mặn. Tăng cường cấp nước từ hệ thống nước mặt để thay thế dần nguồn nước ngầm.

b) Khuyến nghị chính sách:

- Phân vùng khai thác KGN và hướng tới quy hoạch KGN đô thị: giới hạn công trình ngầm sâu tại vùng Holocene dày >10-15 m hoặc vùng có vận tốc lún cao; khuyến khích ở vùng cao độ an toàn.

- Quy định cấp phép nước ngầm nghiêm ngặt, khuyến khích chuyển sang cấp nước mặt và tái sử dụng nước; chính sách MAR để phục hồi tầng chứa nước.

- Cơ sở dữ liệu mở: tập trung dữ liệu khoan, InSAR, piezometer để đánh giá liên tục và minh bạch cho nhà đầu tư và đơn vị thiết kế.

- Phát động truyền thông công chúng, truyền đạt rõ ràng mối liên hệ trực tiếp giữa việc sử dụng nước của cá nhân (đặc biệt là từ các giếng tư nhân) và mối đe dọa chung về sụt lún đất và ngập lụt, nhằm xây dựng sự ủng hộ của công chúng đối với các biện pháp can thiệp của cơ quan quản lý.

c) Định hướng nghiên cứu tiếp theo:

- Tăng cường mạng lưới giám sát đa thông số: Mở rộng mạng lưới giếng quan trắc hiện có và trang bị các cảm biến thời gian thực về mực nước, sụt lún (trạm đo lún), và các thông số chất lượng nước chính. Tích hợp dữ liệu mặt đất này với việc giám sát vệ tinh InSAR định kỳ để tạo ra một "Dữ liệu ngầm" thống nhất, toàn thành phố. Nghiên cứu ảnh hưởng của biến đổi khí hậu, đặc biệt là dâng mực nước biển, tới áp lực thủy tĩnh xung quanh các công trình ngầm ven sông.

- Quản lý Rủi ro ngập lụt tích hợp: Lập quy hoạch hệ thống cấp thoát nước, đề bao không chỉ dựa trên độ cao mặt đất tĩnh mà còn trên các mô hình động có kết hợp dữ liệu và dự báo sụt lún mới nhất.

4. KẾT LUẬN

Đặc điểm địa hình - địa chất - thủy văn của TP.HCM tạo ra một tập hợp rủi ro phức hợp cho mọi dự án KGN: lún (đặc biệt lún khác biệt), thấm, xói ngầm, xâm nhập mặn. Tuy nhiên, với kỹ thuật khảo sát đủ dày, thiết kế nền, tường vây thích hợp, thi công kiểm soát áp lực nước, hạn chế dewatering diện rộng, và giám sát tích hợp (InSAR + piezometer + GNSS), các rủi ro này có thể quản lý được ở mức chấp nhận được, nhưng chi phí và quản lý sẽ cao hơn so với công trình trên nền đất tốt. Vì vậy, định hướng quy hoạch KGN của TP.HCM phải kết hợp dữ liệu đầy đủ để dự báo chính xác, kết hợp chính sách quản lý nguồn nước để đảm bảo công trình ngầm được xây dựng an toàn, vận hành bền vững trong bối cảnh biến đổi khí hậu và áp lực đô thị hóa ngày càng mạnh mẽ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. TS Lê Văn Trung (Trung tâm địa tin học thuộc Khu công nghệ phần mềm Đại học Quốc gia TP.HCM) thực hiện, Báo cáo tổng hợp dự án "Quan trắc biến dạng mặt đất khu vực TP.HCM bằng kỹ thuật InSAR vi phân", "Sở Tài nguyên và Môi trường TP.HCM, 2013.
- [2]. Hồ Tống Minh Định & Lê Văn Trung, Đề tài "Ứng dụng kỹ thuật InSAR vi phân trong quan trắc biến dạng mặt đất khu vực TP.HCM", 2008.
- [3]. Minderhoud, P., et al., The relation between land use and subsidence in the Vietnamese Mekong delta, vol. 634, pp. 715-726, 2018.
- [4]. Dinh, H.T.M. and L. Trung. Measuring land subsidence in Ho Chi Minh City by means of radar interferometry techniques. in International Symposium on Geoinformatics for Spatial Infrastructure Development in Earth and Allied Sciences, 2008.
- [5]. Ngan Minh Vu, Ngoc Minh Vu, Duc Tho Pham and Tuan Nguyen-Sy, "Analysis of the Blow-out Occurrence When Tunnelling an Urban Shallow Tunnel: a Case Study of Ho Chi Minh Metro Line 1 Project," Transportation Infrastructure Geotechnology, vol. Volume 11, p. pages 1429-1447, 2024.
- [6]. Chikafusa Sato, Michiko Haga, Jiro Nishino, "Land Subsidence and Groundwater," IGES, vol. 6, No. 2, pp. 403-424, 2006.
- [7]. N. Phien-wej, P.H. Giao, P. Nutalaya, "Land subsidence in Bangkok, Thailand," ELSEVIER, 2005.
- [8]. Hasanuddin Z. Abidin, Heri Andreas, Irwan Gumilar, Yoichi Fukuda, Yusuf E. Pohan & T.Deguchi, "Land subsidence of Jakarta (Indonesia) and its relation with urban development," vol. 59, pp. 1753-1771, 2011.
- [9]. CROSSTAIL, "Crossrail information papers (D12 - GROUND SETTLEMENT)".

Ảnh hưởng của hàm lượng tro bay, xỉ lò cao đến các đặc trưng cơ học của bê tông xi măng cốt liệu tái chế trong xây dựng mặt đường

Effect of fly ash and blast furnace slag ratios on mechanical properties of recycled aggregate concrete in road construction

> NCS NGÔ VĂN BÌNH¹, TS LƯƠNG XUÂN CHIỂU², PGS.TS NGUYỄN THANH SANG^{2,*}

¹Khoa Xây dựng, Học viện Hàng không Việt Nam

²Trường Đại học Giao thông vận tải; *Email: nguyenthansang@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Sử dụng cốt liệu tái chế từ phế thải công trình xây dựng kết hợp tro bay (FA), xỉ lò cao (GGBFS) cho bê tông xi măng (BTXM) trong xây dựng mặt đường góp phần bảo vệ môi trường. Bài báo phân tích ảnh hưởng của (FA) với các tỷ lệ: 0%, 15%, 30%; (GGBFS) với các tỷ lệ: 0%, 20%, 40% đến một số đặc trưng cơ học của bê tông xi măng sử dụng 20% cốt liệu tái chế (RA) được thiết kế trong xây dựng mặt đường. Kết quả cho thấy khi sử dụng (FA) và (GGBFS) các cường độ chịu nén, cường độ kéo uốn và cường độ kéo đứt phát triển chậm hơn ở tuổi 7 ngày và 28 ngày ở tuổi 90 ngày khi sử dụng (FA) và (GGBFS) cường độ cao hơn khi chỉ sử dụng xi măng làm chất kết dính với tỷ lệ phụ thuộc vào từng yếu tố khảo sát là FA và GGBFS, cũng như là tỷ lệ sử dụng tương ứng. Cường độ chịu kéo uốn của bê tông xi măng sử dụng 20% cốt liệu tái chế kết hợp với FA hoặc GGBFS hoặc kết hợp đồng thời cả 2 yếu tố trên đáp ứng được yêu cầu trong xây dựng mặt đường.

Từ khóa: Cốt liệu tái chế, bê tông xi măng cốt liệu tái chế, tro bay, xỉ lò cao, mặt đường cứng.

ABSTRACT

Using recycled aggregates from construction waste combined fly ash (FA), blast furnace slag (GGBFS) for cement concrete in road construction contributes to environmental protection. The article analyzes the effects of (FA) with the ratios: 0%, 15%, 30%; (GGBFS) with the ratios: 0%, 20%, 40% on mechanical properties of cement concrete using 20% recycled aggregate (RA) designed in road construction. The results show that when using (FA) and (GGBFS), the compressive strength, flexural strength and tensile strength develop more slowly at the age of 7 days and 28 days. At the age of 90 days, when using (FA) and (GGBFS), the strength is higher than when using only cement as a binder with the ratio depending on each investigated factor, FA and GGBFS, as well as the corresponding usage ratio. The flexural tensile strength of cement concrete using 20% recycled aggregate combined with FA or GGBFS or a combination of both factors meets the requirements in road construction.

Keywords: Recycled aggregates, recycled aggregates concrete, fly ash, ground granulated blast furnace slag.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nghiên cứu tái chế phế thải xây dựng làm cốt liệu BTXM từ lâu đã nhận được nhiều nghiên cứu của các nhà khoa học Việt Nam và trên thế giới. Trong những năm gần đây, số nghiên cứu liên quan đến cốt liệu tái chế (RA) và bê tông cốt liệu tái chế (RAC) không ngừng tăng lên [1]. Nghiên cứu sử dụng phế thải xây dựng góp phần nâng cao vai trò của Việt Nam khi là nước tham gia vào thỏa thuận Paris 2015 về biến chống đổi khí hậu. Hằng năm, khối lượng chất thải phá dỡ công trình xây dựng không ngừng tăng lên và được dự báo sẽ tiếp tục tăng nhanh trong những năm tiếp theo do việc phá dỡ các công trình cũ đã xuống cấp.

Việt Nam hiện có 29 nhà máy nhiệt điện than đang hoạt động. Theo số liệu của Bộ Xây dựng hằng năm các nhà máy này phát thải

ra khoảng 16 triệu tấn tro xỉ và sẽ tiếp tục tăng lên trong tương lai [2]. Nhiều nghiên cứu cũng chỉ ra rằng có thể sử dụng FA để thay thế xi măng với hàm lượng lên tới 30%-50% [3, 4] mà vẫn đảm bảo cường độ và độ bền của BTXM. Bên cạnh đó, việc sử dụng FA để thay thế một phần xi măng cũng góp phần giảm phát thải khí nhà kính và chỉ số tiêu thụ năng lượng [5].

Việt Nam là một nước sản xuất lượng lớn thép từ quặng và hiện nay lượng chất thải xỉ lò cao từ các nhà máy luyện quặng này là rất lớn. Việc xử lý lượng xỉ này để góp phần bảo vệ môi trường và mang lại hiệu quả kinh tế cũng được các nhà quản lý, nhà khoa học và doanh nghiệp quan tâm. Một trong những giải pháp là nghiền mịn chất thải xỉ lò cao để làm chất kết dính thay thế một phần xi măng. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng có thể sử dụng GGBFS để thay thế xi

măng với hàm lượng lên đến 40%-50% và góp phần làm tăng cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo uốn và các đặc trưng cơ học khác [6].

Nghiên cứu ảnh hưởng của việc sử dụng FA, GGBFS trong BTXM sử dụng cốt liệu tái chế từ phế thải xây dựng sẽ cho cái nhìn về sự ảnh hưởng qua lại; xác định hàm lượng FA và GGBFS thay thế xi măng làm chất kết dính mà vẫn đảm bảo các chỉ tiêu về cường độ của BTXM sử dụng trong xây dựng mặt đường.

2. THÍ NGHIỆM

2.1. Vật liệu chế tạo

2.1.1. Cốt liệu lớn

• **Cốt liệu bê tông tái chế (RA):** nguồn gốc từ bê tông phá dỡ công trình xây dựng điểm X2, phường Trần Phú, quận Hoàng Mai (cũ), TP Hà Nội. Bê tông phế liệu được đưa về xưởng nghiền cốt liệu tái chế của Công ty TNHH Toàn Cầu để nghiền thành cốt liệu tái chế để sử dụng trong chế tạo mẫu thí nghiệm của nghiên cứu này. Cốt liệu tái chế (RA) được sử dụng trong nghiên cứu được sàng lọc để đảm bảo tỷ lệ kích thước hạt: 5-10 mm chiếm tỷ lệ 40%, 10-20 mm chiếm tỷ lệ 60% [7].

• **Đá dăm (NA):** là cốt liệu tự nhiên được sàng lọc để loại bỏ các hạt thoi dẹt và đảm bảo kích thước hạt: 5-10 mm chiếm tỷ lệ 40%, 10-20 mm chiếm tỷ lệ 60% [8]

2.1.2. Các thành phần vật liệu khác:

• **Xi măng (XM):** xi măng PC40 Vicem Hoàng Mai đáp ứng các tiêu chuẩn của Việt Nam [9].

• **Tro bay (FA):** loại F, nguồn gốc từ nhà máy nhiệt điện Phả Lại.

Bảng 1. Thành phần cấp phối bê tông của các trường hợp khảo sát (cho 1m³ bê tông)

Tên CP	NA (kg)	RA (kg)	C (kg)	XM (kg)	FA (kg)	GGBFS (kg)	N (lít)	PG (lít)
N0(0%RA,0%FA,0%GGBFS)	1110	0	740	420	0	0	130	1.68
N1(20%RA,0%FA,0%GGBFS)	888	222	740	420	0	0	130	1.68
N2(20%RA,15%FA,0%GGBFS)	888	222	740	357	63	0	130	1.68
N3(20%RA,30%FA,0%GGBFS)	888	222	740	294	126	0	130	1.68
N4(20%RA,0%FA,20%GGBFS)	888	222	740	336	0	84	130	1.68
N5(20%RA,0%FA,40%GGBFS)	888	222	740	252	0	168	130	1.68
N6(20%RA,15%FA,20%GGBFS)	888	222	740	273	63	84	130	1.68
N7(20%RA,15%FA,40%GGBFS)	888	222	740	189	63	168	130	1.68
N8(20%RA,30%FA,20%GGBFS)	888	222	740	210	126	84	130	1.68
N9(20%RA,30%FA,40%GGBFS)	888	222	740	126	126	168	130	1.68

(Ghi chú: NA: Cốt liệu lớn tự nhiên, RA: Cốt liệu lớn tái chế, C: Cát, XM: Xi măng, FA: Tro bay, GGBFS: Xi lò cao, N: Nước, PG: Phụ gia).

2.2.2. Kế hoạch thí nghiệm

Với 10 nhóm cấp phối nghiên cứu ở Bảng 1, nghiên cứu 2 chỉ tiêu đặc trưng cơ học (cường độ chịu nén và cường độ kéo uốn) ở 3 tuổi khác nhau của bê tông, khi đó cần phải chế tạo 180 mẫu (bao gồm 90 mẫu nén 150 mm x 150 mm x 150 mm; 90 mẫu dầm 100 mm x 100 mm x 400 mm), tương ứng với 180 thí nghiệm. Tuy nhiên trong bài báo này tác giả đã trích xuất kết quả thí nghiệm từ việc thiết kế thực nghiệm Taguchi với ma trận L18 (6¹1, 3²3), dựa vào sự trực giao, khi đó số thí nghiệm cần làm liên quan đến 10 tổ hợp nói trên chỉ còn lại 4 nhóm cho mỗi một chỉ tiêu đặc trưng cơ học (nhóm N₀, N₁, N₆, N₉).

Trong đó, các mẫu được chế tạo, bảo dưỡng theo TCVN 3105:2022 [18]; thí nghiệm xác định cường độ chịu nén được tiến hành theo tiêu chuẩn TCVN 3118:2022 [19]; thí nghiệm xác định cường độ kéo uốn được thực hiện theo TCVN 3119:2022 [20]; Các kết quả thí nghiệm được kiểm tra về độ chụm theo ASTM C670-15 [21].

3. PHÂN TÍCH KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

3.1. Kết quả thí nghiệm

• **Xi lò cao (GGBFS):** loại S95 của công ty Hòa Phát, đáp ứng tiêu chuẩn Việt Nam [10].

• **Cát (C):** cát vàng có nguồn gốc tự nhiên được khai thác từ Sông Hồng, được sàng lọc để đáp ứng tiêu chuẩn Việt Nam [11].

• **Nước (N):** Được lấy từ nguồn nước sạch TP Hà Nội, đảm bảo các chỉ tiêu kỹ thuật của nước dùng trong BTXM [12].

• **Phụ gia (PG):** là phụ gia hóa dẻo MC-PowerFlow 2138 của Công ty cổ phần MC-BIFI BAUCHEMIE, giúp duy trì độ sụt của hỗn hợp bê tông, cải thiện tính công tác mà không cần thêm nước.

2.2. Thành phần cấp phối và kế hoạch thí nghiệm

2.2.1. Thành phần cấp phối

Bê tông được thiết kế cấp phối để sử dụng trong xây dựng mặt đường BTXM đường ô tô và sân bay. Tiêu chuẩn thiết kế JTG/T F30-2014 - Hướng dẫn kỹ thuật thiết kế bê tông mặt đường [13]. Đồng thời, đảm bảo các tiêu chuẩn về mặt đường BTXM mặt đường ô tô và sân bay của Việt Nam [14, 15, 16].

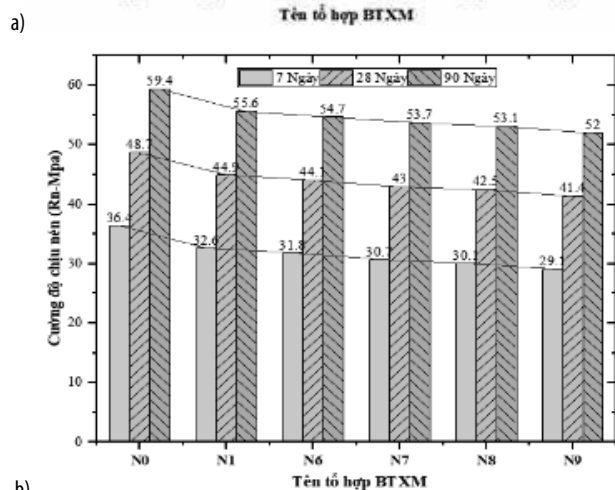
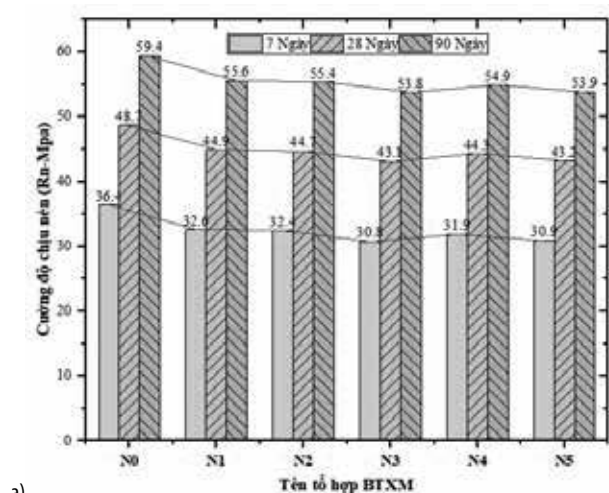
Nghiên cứu nhằm mục đích xác định mức độ ảnh hưởng của từng yếu tố như: Tỷ lệ (FA: 0%, 15%, 30%), tỷ lệ (GGBFS: 0%, 20%, 40%), tuổi của bê tông (Days: 7, 28 và 90 ngày) đến đặc trưng cơ học của BTXM sử dụng 20%RA. Thiết kế thành phần được dựa vào lý thuyết tính toán cường độ kéo uốn thiết kế ($R_{ku}=4,5\text{Mpa}$). Thành phần BTXM được thiết kế cho cấp phối N₁ (0%RA, 0%FA, 0%GGBFS), sau đó dựa vào tỷ lệ thành phần thay đổi để xác định các thành phần còn lại. Các thành phần vật liệu không thay đổi được lấy như đối với cấp phối N₁. Các thí nghiệm được trình bày trong bài báo này là một phần (với tỷ lệ 20% RA trong số các tỷ lệ RA khảo sát là 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100%) thiết kế theo ma trận trực giao L18 (6¹1, 3²3) theo phương pháp Taguchi [17].

3.1.1. Cường độ chịu nén (R_n)

Kết quả thí nghiệm cường độ chịu nén của bê tông được thể hiện ở biểu đồ Hình 2, 3 và 4.



Hình 1. Thí nghiệm xác định R_n của BTXM



Hình 2a, b. R_n của bê tông theo ngày tuổi

Ở Hình 2a, 2b với BTXM không sử dụng RA thay thế NA; không sử dụng FA và GGBFS thay thế XM có cường độ chịu nén lớn hơn với BTXM sử dụng RA, FA và GGBFS; mức độ chênh lệch tùy thuộc vào tỷ lệ FA, GGBFS thay thế XM và tuổi của bê tông.

Ở Hình 2a với BTXM sử dụng 15%FA thay thế XM thì R_n ở tuổi 7 ngày giảm 0,6% so với không sử dụng FA; ở tuổi 28 ngày R_n giảm 0,45% so với không sử dụng FA; ở tuổi 90 ngày giảm 0,36% so với không sử dụng FA. Với BTXM sử dụng 30%FA thay thế XM thì các tỷ lệ giảm lần lượt là: 5,6%, 4,0% và 3,4%. R_n tuổi 90 ngày so với 28 ngày tăng 23,94% khi sử dụng 15%FA và 24,83% khi sử dụng 30%FA, cao hơn so với mức 21,97% khi không sử dụng FA. Với BTXM sử dụng 20%GGBFS thay thế XM thì R_n ở tuổi 7 ngày giảm 2,2% so với không sử dụng GGBFS; ở tuổi 28 ngày R_n giảm 1,4% so với không sử dụng GGBFS; ở tuổi 90 ngày giảm 1,3% so với không sử dụng GGBFS. Với BTXM sử dụng 40%GGBFS thay thế XM thì các tỷ lệ giảm lần lượt là: 5,2%, 3,8% và 3,1%. R_n tuổi 90 ngày so với 28 ngày tăng 23,93% khi sử dụng 20%GGBFS và 24,77% khi sử dụng 40%GGBFS, cao hơn so với mức 21,97% khi không sử dụng GGBFS.

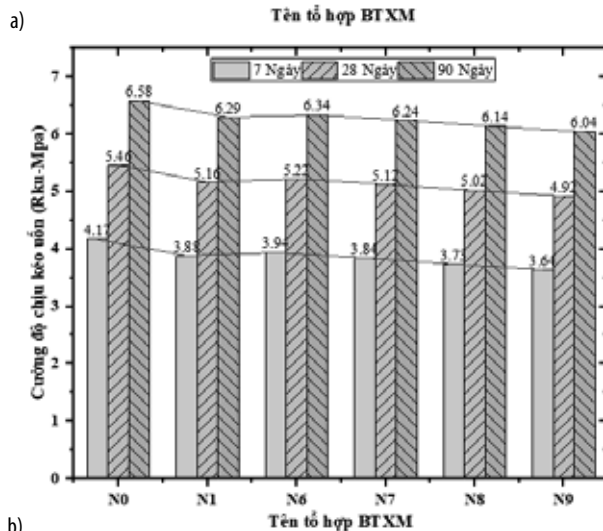
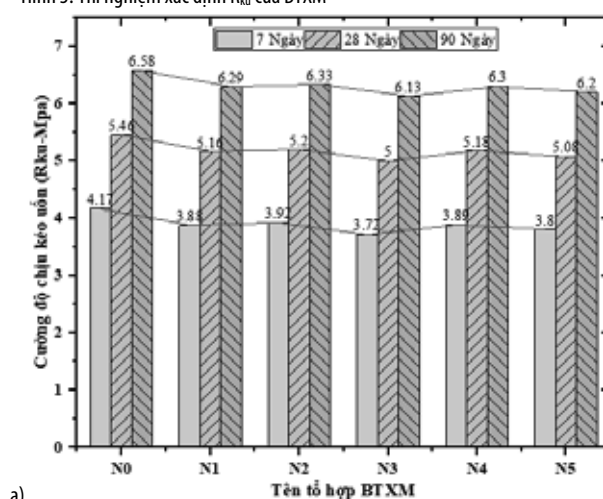
Ở Hình 2b, với BTXM sử dụng 15%FA và 20%GGBFS để thay thế XM thì R_n : ở 7 ngày giảm 2,5%, ở 28 ngày giảm 1,8%, ở 90 ngày giảm 1,6% so với việc chỉ sử dụng XM làm chất kết dính; với BTXM sử dụng 15%FA và 40%GGBFS để thay thế XM thì các tỷ lệ này lần lượt là: 5,9%, 4,3%, 3,3%; Với BTXM sử dụng 30%FA, 20%GGBFS để thay thế XM thì các tỷ lệ này lần lượt là: 7,3%, 5,4%, 4,5%; tương tự là với trường hợp sử dụng 30%FA và 40%GGBFS để thay thế XM thì các tỷ lệ trên là: 10,8%, 7,8%, 6,5%. Với các trường hợp tỷ lệ FA và GGBFS thay thế XM như trên thì R_n tuổi 90 ngày so với 28 ngày tăng lần lượt

là: 24,04%, 24,88%, 24,94%, 25,60% cao hơn so với mức 21,97% khi không sử dụng FA và GGBFS thay thế XM.

3.1.2. Cường độ chịu kéo uốn (R_{ku})



Hình 3. Thí nghiệm xác định R_{ku} của BTXM



Hình 4a, b. R_{ku} của bê tông theo ngày tuổi

Ở Hình 4a, 4b với BTXM không sử dụng RA thay thế NA; không sử dụng FA và GGBFS thay thế XM có cường độ kéo uốn lớn hơn với BTXM sử dụng RA, FA và GGBFS; mức độ chênh lệch tùy thuộc vào tỷ lệ FA, GGBFS thay thế XM và tuổi của bê tông.

Ở Hình 4a, 4b với BTXM sử dụng 15%FA thay thế XM thì R_{ku} ở tuổi 7 ngày tăng 1,03% so với không sử dụng FA; ở tuổi 28 ngày R_{ku} tăng 0,70% so với không sử dụng FA; ở tuổi 90 ngày tăng 0,06% so với không sử dụng FA. Với BTXM sử dụng 30%FA thay thế XM thì R_{ku} ở các tuổi khảo sát đều giảm với các tỷ lệ giảm lần lượt là: 4,2%, 3,1% và 2,6%. R_{ku} tuổi 90 ngày so với 28 ngày tăng 21,73% khi sử dụng

15%FA và 22,60% khi sử dụng 30%FA, cao hơn so với mức 20,51% khi không sử dụng FA. Với BTXM sử dụng 20%GGBFS thay thế XM thì R_{ku} ở tuổi 7 ngày tăng 0,26% so với không sử dụng GGBFS; ở tuổi 28 ngày R_n tăng 0,39% so với không sử dụng GGBFS; ở tuổi 90 ngày tăng 0,16% so với không sử dụng GGBFS. Với BTXM sử dụng 40%GGBFS thay thế XM thì các tỷ lệ giảm lần lượt là: 2,1%, 1,6% và 1,4%. R_n tuổi 90 ngày so với 28 ngày tăng 21,62% khi sử dụng 20%GGBFS và 22,05% khi sử dụng 40%GGBFS, cao hơn so với mức 20,51% khi không sử dụng GGBFS.

Ở Hình 4b, với BTXM sử dụng 15%FA và 20%GGBFS để thay thế XM thì R_{ku} ở 7 ngày tăng 1,54%, ở 28 ngày tăng 2,13%, ở 90 ngày tăng 0,79% so với việc chỉ sử dụng XM làm chất kết dính; với BTXM sử dụng 15%FA và 40%GGBFS để thay thế XM thì các tỷ lệ này lại giảm lần lượt là: 1,1%, 1,82%, 1,60%; Với BTXM sử dụng 30%FA, 20%GGBFS để thay thế XM thì các tỷ lệ này giảm lần lượt là: 3,90%, 2,80%, 2,40%; tương tự là với trường hợp sử dụng 30%FA và 40%GGBFS để thay thế XM thì các tỷ lệ trên giảm lần lượt là: 6,2%, 4,7%, 4,0%. Với các trường hợp tỷ lệ FA và GGBFS thay thế XM như trên thì R_{ku} tuổi 90 ngày so với 28 ngày tăng lần lượt là: 21,46%, 21,88%, 22,31%, 22,76% cao hơn so với mức 20,51% khi không sử dụng FA và GGBFS thay thế XM.

Bảng 2. Quan hệ của R_n và R_{ku} ở các ngày tuổi

Tên CP	Chỉ tiêu			
	R_n7/R_n28	R_n90/R_n28	R_{ku7}/R_{ku28}	R_{ku90}/R_{ku28}
N0	74.74%	121.97%	76.37%	120.51%
N1	72.61%	123.83%	75.19%	121.90%
N2	72.48%	123.94%	75.38%	121.73%
N3	71.46%	124.83%	74.40%	122.60%
N4	72.01%	123.93%	75.10%	121.62%
N5	71.53%	124.77%	74.80%	122.05%
N6	72.11%	124.04%	75.48%	121.46%
N7	71.40%	124.88%	75.00%	121.88%
N8	70.82%	124.94%	74.30%	122.31%
N9	70.29%	125.60%	73.98%	122.76%

3.2. Phân tích kết quả nghiên cứu và thảo luận

Với BTXM sử dụng FA, GGBFS thay thế một phần XM cường độ chịu nén, cường độ kéo uốn ở tuổi sớm (7 ngày) và 28 ngày đều giảm so với BTXM cùng cấp phối nhưng chỉ sử dụng XM làm chất kết dính. Mức độ giảm cường độ phụ thuộc vào tỷ lệ FA và GGBFS thay thế XM và tuổi của bê tông. Nhìn chung, cường độ chịu nén có mức độ giảm cường độ lớn hơn so với cường độ kéo uốn. Tuy nhiên, có những trường hợp ngoại lệ khi tỷ lệ FA thay thế XM ở các mức 15% hoặc tỷ lệ GGBFS thay thế XM ở các mức 20% thì R_{ku} tăng lên, nhưng ở tỷ lệ nhỏ từ 0,06% đến 1,03%. Nguyên nhân là do giai đoạn đầu các hạt FA và GGBFS chưa kịp thủy hóa.

Ở tuổi 90 ngày, BTXM có sử dụng FA và GGBFS để thay thế một phần XM thì mức độ gia tăng cường độ so với tuổi 28 ngày đều cao hơn trường hợp chỉ sử dụng XM làm chất kết dính. Tuy nhiên, các giá trị cường độ này vẫn nhỏ hơn cấp phối N₀ (khi chỉ sử dụng chất kết dính là xi măng); nhưng vẫn đạt cường độ chịu kéo uốn từ 4,92Mpa đến 5,16Mpa ở tuổi 28 ngày, đáp ứng được yêu cầu về cường độ chịu kéo uốn cho BTXM mặt đường. Nguyên nhân là do FA và GGBFS kích hoạt phản ứng pozolan tạo ra gel C-S-H giúp cải thiện cường độ kéo uốn đáng kể nhưng có thời gian phản ứng chậm hơn nên sẽ phát huy tác dụng ở tuổi muộn hơn.

Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng có thể sử dụng kết hợp XM và FA ở mức 15%; hoặc XM với GGBFS ở mức 20%; hoặc XM với 15%FA và 20%GGBFS để cải thiện cường độ chịu kéo uốn của BTXM với 20%RA cho xây dựng mặt đường.

4. KẾT LUẬN

Từ kết quả nghiên cứu, một số kết luận được rút ra như sau:

- Việc sử dụng FA và GGBFS để thay thế XM trong cấp phối BTXM trong xây dựng mặt đường góp phần tận dụng các nguồn phế thải xây dựng, phế thải nhà máy nhiệt điện và phế thải xỉ lò cao nhà máy nhiệt điện;
- Khi sử dụng tro bay (FA) thì cường độ kéo uốn và cường độ chịu nén đều phát triển chậm ở tuổi sớm và nhỏ hơn khi chỉ dùng XM làm chất kết dính. Nhưng ở tuổi muộn (90 ngày) các cường độ phát triển nhanh hơn.
- Tất cả các trường hợp nghiên cứu trong bài báo này có cường độ chịu kéo uốn và cường độ chịu nén ở 28 ngày đảm bảo cho BTXM xây dựng mặt đường.
- Tro bay và xỉ lò cao giúp cải thiện cường độ kéo uốn và cường độ chịu nén ở tuổi muộn hơn so với việc chỉ sử dụng XM làm chất kết dính.
- Từ kết quả nghiên cứu, đề xuất tỷ lệ FA và GGBFS thay thế xi măng khi sử dụng 20%RA cho BTXM mặt đường như sau:
 - 15%FA kết hợp 85%XM làm chất kết dính;
 - 20%GGBFS kết hợp 80%XM làm chất kết dính;
 - 15%FA, 20%GGBFS kết hợp 65%XM làm chất kết dính.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bo Wang., Libo Yang., Quini Fu., Bohumil Kasal; A Comprehensive Review on Recycled Aggregate and Recycled Aggregate Concrete. Resources, Conservation & Recycling; 2021.
- [2]. <https://tuoitre.vn/moi-nam-cac-nha-may-dien-than-thai-ra-16-trieu-tan-tro-xi.htm>.
- [3]. Malhotra, V M., Mehta, P K; Hight performance, hight volume fly ash concrete for building sustainable and durable structure; 2002.
- [4]. Nath, P., Sarker, P K., Flexural strength and elastic modulus of hight volume fly ash concrete, construction and building materials; 2017.
- [5]. N.T. Sang., N.T.Anh., N.T. Khoa., H.T.M.Dung; Giảm thiểu phát thải và chỉ số tiêu thụ năng lượng của bê tông nhiều tro bay ở Việt Nam; Tạp chí Xây dựng; Tháng 7/2025.
- [6]. N.X. Hiền., P.Q. Minh., N.N. Tân; Nghiên cứu cường độ nén và mô đun đàn hồi của bê tông cốt liệu tái chế sử dụng bê tông phá dỡ và xỉ hạt lò cao nghiền mịn; Tạp chí Xây dựng; Tháng 7/2024.
- [7]. Bộ Khoa học và Công nghệ, TCVN 11969: 2018 - Cốt liệu tái chế cho bê tông; 2018.
- [8]. Bộ Khoa học và Công nghệ, TCVN 7570: 2006 - Cốt liệu cho bê tông và vữa-Yêu cầu kỹ thuật; 2006.
- [9]. Bộ Khoa học và Công nghệ, TCVN 6260: 2020 - Xi măng pooc lăng hỗn hợp; 2020.
- [10]. Bộ Khoa học và Công nghệ, TCVN 11586: 2016 - Tiêu chuẩn về xỉ lò cao nghiền mịn dùng cho bê tông xi măng và vữa xây; 2016.
- [11]. Bộ Khoa học và Công nghệ, TCVN 10796: 2015 - Cát mịn cho bê tông và vữa; 2015.
- [12]. Bộ Khoa học và Công nghệ, TCVN 4506 : 2012 - Nước cho bê tông và vữa; 2012.
- [13]. JTG/T F30-2014 - Technical Guidelines for Construction of Highway Cement Concrete Pavements; 2014.
- [14]. Tổng Cục đường bộ Việt Nam, TCCS 39: 2022/TCĐBVN - Thiết kế mặt đường BTXM thông thường có khe nối trong xây dựng công trình giao thông; 2022.
- [15]. Tổng Cục đường bộ Việt Nam, TCCS 40: 2022/TCĐBVN - Thi công và nghiệm thu mặt đường BTXM trong xây dựng công trình giao thông; 2022.
- [16]. Bộ Khoa học và Công nghệ, TCVN 10907: 2015 - Sân bay dân dụng-mặt đường sân bay-yêu cầu thiết kế; 2015.
- [17]. Nguyễn Hữu Lộc; Giáo trình quy hoạch và phân tích thực nghiệm; NXB Đại học quốc gia TP.HCM; 2021.
- [18]. Bộ Khoa học và Công nghệ, TCVN 3105: 2022 - Hỗn hợp bê tông và bê tông - Lấy mẫu, chế tạo và bảo dưỡng mẫu thử; 2022.
- [19]. Bộ Khoa học và Công nghệ, TCVN 3118: 2022 - Phương pháp xác định cường độ chịu nén; 2022.
- [20]. Bộ Khoa học và Công nghệ, TCVN 3119: 2022 - Phương pháp xác định cường độ chịu kéo uốn; 2022.
- [21]. ASTM C670-15 - Standard Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials.

Đánh giá khả năng xây dựng hệ công trình xử lý chất thải theo định hướng kinh tế tuần hoàn sinh học cho dự án Trang trại CMC tại Mường La

Assessing the feasibility of constructing a waste treatment system oriented towards circular bioeconomy for the CMC Farm project in Muong La

> **TRƯƠNG ĐỨC CẢNH, PHẠM ĐỨC TIẾN***

Khoa Môi trường, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

*Email: pdtien@hunre.edu.vn

TÓM TẮT

Với những thách thức môi trường ngày càng gia tăng từ các hoạt động trang trại mô lớn, bao gồm ô nhiễm không khí, ô nhiễm nước và chất thải rắn, việc nghiên cứu những giải pháp xử lý chất thải bền vững đã trở thành yêu cầu cấp thiết cho sự phát triển kinh tế khu vực. Bài báo đưa ra phân tích các kịch bản xử lý chất thải theo định hướng kinh tế sinh học tuần hoàn cho dự án của Công ty cổ phần CMC Mường La, kết quả nghiên cứu tập trung vào trang trại CMC Mường La, với diện tích trên 60 hecta qua ba xã (Tạ Bú, Chiềng San và Chiềng Hoa) với tổng công suất khoảng 16.000 đơn vị vật nuôi. Ba kịch bản cho hệ thống xử lý chất thải đã được xây dựng và phân tích theo các khía cạnh kinh tế và môi trường. Kết quả nghiên cứu cho thấy Kịch bản 2 "Tích hợp vi tảo trong hệ xử lý nước thải để sản xuất thức ăn chăn nuôi" có hiệu quả kinh tế với tính bền vững môi trường thông qua việc tái chế dinh dưỡng, cố định CO₂, và tái sử dụng nước. Nghiên cứu cũng đưa ra các khuyến nghị thực hiện bao gồm cách tiếp cận theo từng giai đoạn: thử nghiệm quy mô pilot (1-3 năm), tích hợp hệ thống và tối ưu hóa (3-7 năm), và ứng dụng quy mô lớn với sự hỗ trợ chính sách (7-10 năm).

Từ khóa: Nước thải, phát thải khí nhà kính, vi tảo, xử lý chất thải, kinh tế tuần hoàn sinh học.

ABSTRACT

With the increasing environmental challenges arising from large-scale livestock farming activities, including air pollution, water contamination, and solid waste generation, researching sustainable waste treatment solutions has become an urgent requirement for local economic development. This paper presents an analysis of waste treatment scenarios under a circular bioeconomy-oriented production for the project of CMC Muong La JSC. The research focuses on the CMC Muong La farm, which spans over 60 hectares across three communes (Ta Bu, Chieng San, and Chieng Hoa) with a total capacity of 16,000 livestock units. Three scenarios for the waste treatment system are developed and analyzed in terms of economic and environmental aspects. The research results show that Scenario 2, "Integrating Microalgae into the Wastewater Treatment System for Livestock Feed Production," proves to be economically viable while ensuring environmental sustainability through nutrient recycling, CO₂ fixation, and wastewater reuse. The research also proposes phased implementation recommendations, including: pilot-scale testing (1-3 years), system integration and optimization (3-7 years), and large-scale application with policy support (7-10 years).

Keywords: Wastewater, Greenhouse gas emissions, microalgae, waste treatment, circular bioeconomy.

1. TỔNG QUAN

Ngành chăn nuôi, đặc biệt là chăn nuôi heo, đóng một vai trò không thể thiếu trong việc đảm bảo an ninh lương thực và phát triển kinh tế - xã hội tại nhiều quốc gia, trong đó có Việt Nam [1]. Tại Sơn La, những năm qua, hoạt động chăn nuôi đã góp phần đáp ứng nhu cầu phát triển kinh tế - xã hội trên địa bàn tỉnh, tạo nguồn thu nhập cho nhiều tổ chức, hộ gia đình. Tuy nhiên, cùng với việc gia tăng đàn, tình trạng ô nhiễm môi trường từ chất thải chăn nuôi cũng gia tăng, nhất là

chăn nuôi nhỏ lẻ, hình thức chăn nuôi lạc hậu. Tuy nhiên, hoạt động chăn nuôi cũng kéo theo những thách thức nghiêm trọng về môi trường. Các trang trại chăn nuôi quy mô lớn là một trong những nguồn phát thải ô nhiễm đáng kể, tác động đa chiều đến hệ sinh thái không khí, nước và đất. Chất thải chăn nuôi nếu không được kiểm soát sẽ có nguy cơ cao gây ô nhiễm môi trường, nguồn nước. Vì vậy, với định hướng phát triển kinh tế bền vững, các giải pháp nhằm giảm thiểu ô nhiễm môi trường từ hoạt động chăn nuôi đã được quan tâm đặc biệt

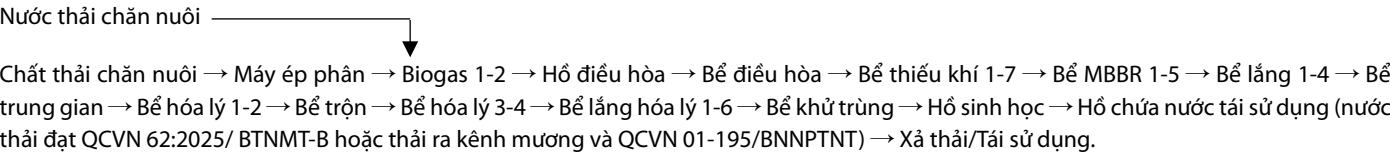
[2]. Trước bối cảnh đó, việc áp dụng các giải pháp công nghệ và quản lý tiên tiến để giảm thiểu phát thải tại nguồn và xử lý chất thải hiệu quả không còn là một lựa chọn, mà đã trở thành yêu cầu bắt buộc đối với sự phát triển bền vững của ngành chăn nuôi. Các quy định pháp luật về bảo vệ môi trường ngày càng chặt chẽ, điển hình như Luật Bảo vệ Môi trường 2020 của Việt Nam, đã đặt ra những tiêu chuẩn khắt khe cho các dự án chăn nuôi quy mô lớn. Bài viết này sẽ đi sâu phân tích trường hợp của "Trang trại CMC Mường La" của Công ty Cổ phần CMC Mường La, một mô hình chăn nuôi công nghiệp quy mô lớn để làm rõ các giải pháp quản lý môi trường đang được áp dụng và nhấn mạnh sự cần thiết phải liên tục tối ưu hóa các biện pháp này.

2. PHÂN TÍCH HIỆN TRẠNG VÀ ĐỀ XUẤT CÁC KỊCH BẢN THAY ĐỔI MÔ HÌNH SẢN XUẤT THEO ĐỊNH HƯỚNG KINH TẾ TUẦN HOÀN

Về mặt ô nhiễm không khí, các hoạt động chăn nuôi phát sinh ra một lượng lớn các khí có hại như amoniac (NH_3), hydro sulfide (H_2S), metan (CH_4) và các hợp chất hữu cơ bay hơi khác. Các khí này không chỉ gây ra mùi hôi khó chịu, ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng sống của cộng đồng dân cư xung quanh mà còn góp phần vào hiệu ứng nhà kính (đặc biệt là CH_4) và hiện tượng mưa axit (NH_3 , H_2S).

Về ô nhiễm nguồn nước, nước thải từ các trang trại chăn nuôi heo chứa hàm lượng rất cao các chất hữu cơ (thể hiện qua chỉ số BOD và COD), nitơ (N), photpho (P), cùng với đó là các vi sinh vật gây bệnh và dư lượng thuốc thú y. Nếu không được xử lý triệt để, việc xả thải nguồn nước này ra môi trường sẽ gây ra hiện tượng phú dưỡng hóa các vực nước mặt, làm suy giảm nồng độ oxy hòa tan, hủy hoại hệ thủy sinh, ô nhiễm nguồn nước ngầm và lan truyền dịch bệnh.

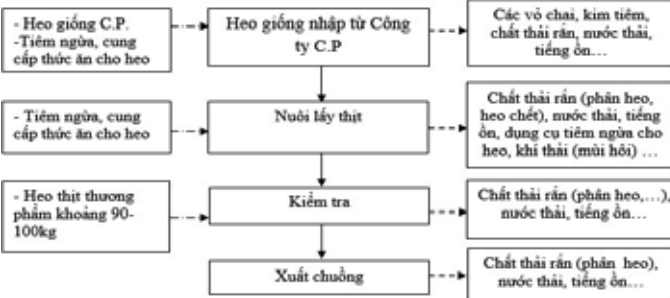
Về chất thải rắn như phân, chất độn chuồng, xác động vật chết và các loại bao bì, vật tư chăn nuôi nếu không được quản lý đúng cách sẽ trở thành nguồn gây ô nhiễm đất, thu hút côn trùng, động vật gặm nhấm và là ổ chứa mầm bệnh.



3. XÂY DỰNG CÁC KỊCH BẢN KINH TẾ TUẦN HOÀN CHO TRANG TRẠI

Dựa trên nguyên tắc của kinh tế tuần hoàn sinh học được trình bày trong nghiên cứu của Mariyappan và cộng sự [4], kết hợp với hiện trạng và quy mô của trang trại CMC Mường La, chúng ta có thể

Dự án "Trang trại CMC Mường La" do Công ty Cổ phần CMC Mường La làm chủ đầu tư là một cơ sở sản xuất quy mô lớn, được triển khai trên địa bàn các xã Tạ Bú, Chiềng San và Chiềng Hoa, huyện Mường La, tỉnh Sơn La. Dự án có tổng quy mô sử dụng đất lên tới 60 ha, được phân chia thành ba khu trại riêng biệt, với tổng quy mô khoảng 16.000 đơn vị vật nuôi. Khu trại 1 (18,59 ha): Chuyên trách chăn nuôi heo nái sinh sản với công suất 3.600 con heo nái và 200 con heo đực giống. Khu trại 2 (20,69 ha) và Khu trại 3 (20,72 ha): Là hai trại chăn nuôi heo thịt thương phẩm, mỗi trại có công suất 20.000 con, tổng công suất toàn dự án là 40.000 con heo thịt, tương đương 8.000 tấn heo hơi/năm (1 năm 2 lứa heo). [3]



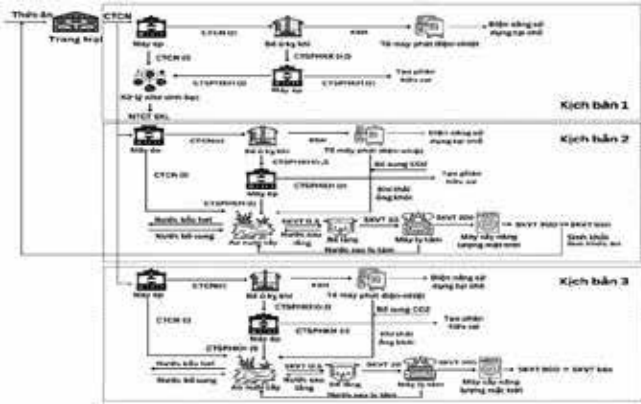
Hình 1. Quy trình chăn nuôi tại trang trại [3]

Trang trại xây dựng hệ thống thoát nước mưa và nước thải hoàn toàn riêng biệt. Nước mưa chảy tràn trên mái và các khu vực sạch được thu gom và thoát ra môi trường theo các kênh riêng, tránh làm gia tăng lưu lượng cho hệ thống xử lý nước thải. Toàn bộ nước thải phát sinh từ hoạt động tắm heo, vệ sinh chuồng trại, nước thải sinh hoạt được thu gom bằng hệ thống đường ống kín dẫn về các khu xử lý tập trung của từng trại. Nước thải được xử lý theo sơ đồ như sau:

xây dựng 3 kịch bản thay đổi mô hình hoạt động hướng tới kinh tế tuần hoàn bằng cách tận dụng nước thải để sản xuất ra sinh khối từ tảo sử dụng làm thức ăn thay thế hoặc bán ra cho các đơn vị khác.

Tên kịch bản	
Kịch bản 1: Tối ưu hóa hiện trạng	Chăn nuôi: Hoạt động như hiện tại với quy mô 3.600 heo nái (chưa tính heo con và heo đực) và 40.000 heo thịt (tương đương khoảng 16.000 đơn vị vật nuôi). Phân sau khi được tách ép sẽ được đưa vào hệ thống ủ phân compost như hiện tại. Phân compost thành phẩm được sử dụng để bón cho 32,4 ha cây ăn quả của trang trại. Nước thải sau khi tách phân được đưa vào hệ thống hầm biogas. Khí biogas sinh ra được sử dụng để chạy máy phát điện, cung cấp một phần năng lượng cho hoạt động của trại. Nước thải sau hầm biogas sẽ được đưa vào hệ thống xử lý nước thải sinh học xử lý Nitơ như đã thiết kế. Nước sau xử lý đạt tiêu chuẩn sẽ được tái sử dụng toàn bộ để tưới cho khu vực trồng cây ăn quả. Bùn thải từ hệ thống xử lý được đưa vào khu ủ compost.
Kịch bản 2: Tích hợp vi tảo để sản xuất thức ăn chăn nuôi	Chăn nuôi, Tách phân, Biogas, Phát điện: Giữ nguyên như kịch bản 1. Thay thế hệ thống xử lý Nitơ sinh học bằng Hệ thống vi tảo: Toàn bộ nước thải sau hầm biogas (giàu N, P) và nước rửa chuồng sẽ được dẫn vào các hồ/ao nuôi vi tảo ngoài trời. Khí thải CO ₂ từ ống khói máy phát điện chạy biogas sẽ được sục vào hồ tảo để cung cấp nguồn carbon cho tảo quang hợp. Mục tiêu nuôi cấy: Nuôi cấy các chủng vi tảo (ví dụ: <i>Chlorella vulgaris</i>) để thu được sinh khối có hàm lượng protein cao.

	Sinh khối tảo sau khi thu hoạch, cô đặc và sấy khô sẽ được sử dụng làm phụ gia thức ăn chăn nuôi, thay thế một phần nguyên liệu đắt tiền như bột cá, khô đậu nành. Nước trong sau khi thu hoạch tảo sẽ được tuần hoàn lại hồ nuôi hoặc sử dụng để tưới cây.
Kịch bản 3: Tích hợp vi tảo để bán sinh khối thô	Chăn nuôi, Tách phân, Biogas, Phát điện: Giữ nguyên như kịch bản 1. Thay thế hệ thống xử lý Nitơ sinh học bằng Hệ thống vi tảo: Toàn bộ nước thải sau hầm biogas (giàu N, P) và nước rửa chuồng sẽ được dẫn vào các hồ/ao nuôi vi tảo ngoài trời. Khí thải CO ₂ từ ống khói máy phát điện chạy biogas sẽ được sục vào hồ tảo để cung cấp nguồn carbon cho tảo quang hợp. Mục tiêu nuôi cấy: Nuôi cấy các chủng vi tảo (ví dụ: <i>Chlorella vulgaris</i>) để thu được sinh khối có hàm lượng protein cao. Thu hoạch và Tái sử dụng: Sinh khối tảo sau khi thu hoạch, cô đặc và sấy khô sẽ được sử dụng để bán hoàn toàn. Nước trong sau khi thu hoạch tảo sẽ được tuần hoàn lại hồ nuôi hoặc sử dụng để tưới cây.



Chú thích: CTCN: chất thải chăn nuôi; KSH: khí sinh học; CTSPHKH (r),(l): chất thải sau phân hủy kỵ khí (rắn), (lỏng); SKVT: Sinh khối vi tảo
Hình 2. Sơ đồ ba kịch bản

Phương pháp được sử dụng để đánh giá các kịch bản này là sử dụng so sánh hiệu suất kinh tế và môi trường của các kịch bản 1 đến 3. Quá trình được thực hiện với các giới hạn như sau:

- Tham số liên quan đến quy mô và đặc tính chăn nuôi heo: Quy mô chăn nuôi (số heo/năm); Tỷ lệ sống và trọng lượng xuất chuồng; Đặc tính nước thải chăn nuôi; Trọng lượng xuất chuồng trung bình

được chọn khoảng 100 kg/con, tương ứng với chuẩn thị trường; Nước thải từ chăn nuôi heo chứa hàm lượng dinh dưỡng cao, đặc biệt là nitơ và photpho. Các tham số này được sử dụng từ báo cáo của cơ sở [3] và các hướng dẫn tính toán giá trị đầu tư cho trang trại [7]

- Tham số về hệ thống xử lý nước thải và vi tảo: Hệ thống xử lý nước thải kỵ khí (Hiệu suất chuyển đổi sinh khối, tỷ lệ loại bỏ chất hữu cơ, tỷ lệ phân tách chất thải; năng suất sinh khối vi tảo; hiệu suất sinh khối vi tảo; hiệu suất loại bỏ dinh dưỡng (N, P; tỷ lệ sử dụng sinh khối vi tảo; chi phí vận hành và bảo trì hệ thống.

- Tham số về kinh tế: Chi phí đầu tư cố định; chi phí vận hành; doanh thu từ bán heo thịt, bán sinh khối vi tảo (nếu có); các chỉ số như IRR (Internal Rate of Return), NPV (Net Present Value), thời gian hoàn vốn được tính toán dựa trên dòng tiền thu chi trong suốt vòng đời dự án.

- Tham số môi trường và đánh giá vòng đời (LCA): trong nghiên cứu này, nhóm tác giả sử dụng tính toán LCI (5) và ReCiPe [6] để thực hiện đánh giá tác động môi trường dựa trên các chỉ số: Tác động đến sức khỏe con người; tác động đến hệ sinh thái; tác động đến tài nguyên thiên nhiên. Các chỉ số này được tính toán dựa trên dữ liệu đầu vào về nguyên liệu, năng lượng tiêu thụ, phát thải khí nhà kính, chất thải rắn, nước thải, v.v.. Thông số của của hệ kỵ khí được tham khảo từ nghiên cứu của Wu, 2020 [5] thể hiện ở Bảng 1.

Bảng 1. Thông số của hệ kỵ khí

Thông số	Giá trị	Thông số	Giá trị
Hiệu suất sản khí CH ₄	0.356 m ³ /kgVS	Công suất CHP	0.5 MW _e
Hiệu suất	83%	Phản ứng đốt cháy	CH ₄ + 2O ₂ → 2H ₂ O + CO ₂
Mật độ CH ₄	0.717 kg/m ³	Giá trị nhiệt	35.8 MJ/m ³
Thành phần khí sinh học (v/v%)	CH ₄ : 65.0%, CO ₂ : 35.0%	Hiệu suất điện	40%
Thành phần khí sinh học (w%)	CH ₄ : 40.2%, CO ₂ : 59.8%		

Bảng 2. Các thông số đầu vào của quá trình sản xuất tại trại heo

THÔNG SỐ ĐẦU VÀO CHUNG			Thông số đầu vào đặc trưng từng kịch bản		
Tên thông số	Đơn vị	Giá trị		Đơn vị	Giá trị
Số lượng heo	con	80.000	THÔNG SỐ CHO KỊCH BẢN 2 & 3		
Tỷ lệ sống	%	95	Chi phí đầu tư hệ thống vi tảo	VND	500.000.000
Trọng lượng xuất chuồng trung bình	kg/con	100	Chi phí vận hành hệ thống vi tảo	VND/năm	500.000.000
Giá bán heo hơi	VND/kg	60.000	Lượng sinh khối tảo khô thu được	tấn/năm	300,00
Chi phí con giống	VND/con	1.400.000	THÔNG SỐ RIÊNG KỊCH BẢN 2		
Chi phí thức ăn (chưa có tảo)	VND/con	2.860.000	Tỷ lệ sinh khối tảo làm thức ăn	%	50%
Chi phí thuốc thú y	VND/con	262.000	Giá trị của sinh khối tảo (thay thế thức ăn)	VND/kg	20.000
Chi phí nhân công (cho 1000 con)	VND/năm	56.000.000	THÔNG SỐ RIÊNG KỊCH BẢN 3		
Chi phí điện/nước (cho 1000 con)	VND/năm	20.000.000	Giá bán sinh khối tảo (làm phân bón)	VND/kg	10.000

3. ĐÁNH GIÁ VÀ SO SÁNH CÁC KỊCH BẢN

Bảng 3. Chi phí vận hành và lợi nhuận hằng năm của các kịch bản

Hạng mục	Kịch bản 1	Kịch bản 2	Kịch bản 3
CHI PHÍ VẬN HÀNH (OPEX) HẲNG NĂM			
Chi phí con giống	112.000.000.000	112.000.000.000	112.000.000.000
Chi phí thức ăn	228.800.000.000	228.800.000.000	228.800.000.000
Chi phí thuốc thú y	20.960.000.000	20.960.000.000	20.960.000.000
Chi phí nhân công	4.480.000.000	4.480.000.000	4.480.000.000
Chi phí điện/nước	1.600.000.000	1.600.000.000	1.600.000.000
Chi phí vận hành hệ thống vi tảo	0	500.000.000	500.000.000
Tổng OPEX	367.840.000.000	368.340.000.000	368.340.000.000
DOANH THU HẲNG NĂM			
Doanh thu bán heo	456.000.000.000	456.000.000.000	456.000.000.000
Tiết kiệm từ bột tảo (thay thế thức ăn)	0	3.000.000.000	0
Doanh thu bán bột tảo (phân bón)	0	1.500.000.000	3.000.000.000
Tổng doanh thu	456.000.000.000	460.500.000.000	459.000.000.000
LỢI NHUẬN			
Lợi nhuận gộp hằng năm	88.160.000.000	92.160.000.000	90.660.000.000

Đơn vị tính VND

Bảng 4. Tóm tắt so sánh các kịch bản

Mô tả	Kịch bản 1	Kịch bản 2	Kịch bản 3
	Chăn nuôi + Ủ Biogas	Chăn nuôi + Ủ Biogas + Hệ thống ao nuôi vi tảo + Tái sử dụng 1 phần bột tảo làm thức ăn	Chăn nuôi + Ủ Biogas+ Hệ thống ao nuôi vi tảo + Bán toàn bộ bột tảo
KẾT QUẢ KINH TẾ (VND/năm)			
Tổng doanh thu	456.000.000.000	460.500.000.000	459.000.000.000
Tổng chi phí vận hành (OPEX)	367.840.000.000	368.340.000.000	368.340.000.000
Lợi nhuận gộp	88.160.000.000	92.160.000.000	90.660.000.000
CHỈ SỐ TƯ BÀI BÁO			
Tỷ suất hoàn vốn nội bộ (IRR)	13.3%	15.0%	12.3%
Tác động Môi trường (càng thấp càng tốt)	483,00	363,00	398,00
KẾT LUẬN		TỐI ƯU NHẤT	

Kịch bản 1 mô tả mô hình chăn nuôi truyền thống kết hợp với xử lý nước thải bằng phương pháp ủ phân compost và xử lý sinh học Nitrơ sau hầm biogas. Về mặt kinh tế, kịch bản này có tổng chi phí vận hành hằng năm khoảng 367,84 tỷ VND với doanh thu 456 tỷ VND, đem lại lợi nhuận gộp gần 88,16 tỷ đồng và tỷ suất hoàn vốn nội bộ (IRR) 13.3%. Đây là mức IRR khá ổn định, cho thấy mô hình truyền thống vẫn duy trì được hiệu quả tài chính ở mức chấp nhận được. Thời gian hoàn vốn khoảng 15,5 năm, phản ánh sự đầu tư vốn lớn và thời gian thu hồi vốn tương đối dài.

Tuy nhiên, về khía cạnh môi trường, kịch bản 1 lại có điểm hạn chế đáng kể. Chỉ số tác động môi trường (ReCiPe) cao nhất trong ba kịch bản, lên tới 483 điểm, phản ánh mức độ ô nhiễm môi trường lớn hơn. Việc xử lý nước thải bằng phương pháp sinh học xử lý nitrơ truyền thống tuy hiệu quả trong giảm nitrơ và photpho, nhưng không tận dụng được nguồn dinh dưỡng còn lại trong nước thải để tái sử dụng. Ngoài ra, việc xử lý phân compost mặc dù giúp giảm phát thải khí nhà kính so với thải trực tiếp, nhưng vẫn tạo ra lượng khí phát thải và ô nhiễm đất, nước nhất định.

Kịch bản 2 tích hợp hệ thống nuôi vi tảo ngoài trời thay thế cho hệ thống xử lý sinh học nitrơ truyền thống; sử dụng nước thải giàu dinh dưỡng từ hầm biogas và nước rửa chuồng làm nguồn dinh dưỡng cho vi tảo, cùng với việc bơm khí CO₂ từ ống khói máy phát điện vào hồ nuôi, tạo điều kiện tối ưu cho vi tảo phát triển. Sinh khối vi tảo giàu protein sau thu hoạch một phần được sử dụng làm phụ gia thức ăn chăn nuôi, giúp giảm chi phí thức ăn vốn chiếm tỷ trọng lớn trong tổng chi phí vận hành.

Về mặt kinh tế, kịch bản này thể hiện hiệu quả vượt trội với tổng chi phí vận hành chỉ tăng nhẹ lên 368,34 tỷ VND, nhưng doanh thu đạt 460,5 tỷ VND nhờ tiết kiệm 4,5 tỷ VND từ việc thay thế một phần thức ăn bằng bột tảo và một phần bán vi tảo. Lợi nhuận gộp tăng lên 92,16 tỷ VND, cao nhất trong ba kịch bản, cùng với IRR đạt 15.0%, cho thấy khả năng sinh lời tốt hơn và thời gian hoàn vốn rút ngắn còn khoảng 12,6 năm. Điều này chứng tỏ rằng đầu tư vào công nghệ nuôi vi tảo không chỉ giúp giảm chi phí thức ăn mà còn nâng cao giá trị kinh tế tổng thể của trang trại. Về môi trường, kịch bản 2 cũng có tác động tích cực rõ ràng với chỉ số tác động môi trường thấp nhất (363 điểm).

Hệ thống vi tảo không chỉ hấp thụ hiệu quả nitrơ và photpho từ nước thải, giảm thiểu nguy cơ ô nhiễm nguồn nước và đất, mà còn giúp cố định lượng CO₂ đáng kể, góp phần giảm phát thải khí nhà kính. Việc tái sử dụng nước trong sau thu hoạch tảo cũng giảm đáng kể nhu cầu sử dụng nước mới, bảo vệ tài nguyên nước. Đây là mô hình kinh tế tuần hoàn điển hình, tận dụng triệt để các nguồn tài nguyên sẵn có, giảm thiểu chất thải và tăng giá trị sản phẩm.

Nhược điểm của kịch bản này là chi phí đầu tư ban đầu cho hệ thống vi tảo và công nghệ liên quan có thể cao hơn, đòi hỏi kỹ thuật vận hành và quản lý phức tạp hơn so với mô hình truyền thống. Ngoài ra, việc duy trì ổn định sinh khối vi tảo với chất lượng protein cao đòi hỏi kiểm soát chặt chẽ các yếu tố môi trường như nhiệt độ, ánh sáng, pH, và ngăn ngừa ô nhiễm vi sinh vật. Tuy nhiên, với lợi ích kinh tế và môi trường rõ ràng, các rủi ro này có thể được quản lý tốt thông qua đầu tư nghiên cứu và phát triển phù hợp.

Kịch bản 3 cũng áp dụng hệ thống nuôi vi tảo thay thế cho xử lý sinh học nitơ, nhưng khác biệt ở chỗ toàn bộ sinh khối vi tảo được bán ra thị trường thay vì tái sử dụng làm thức ăn chăn nuôi. Mục tiêu nuôi vi tảo hướng tới sản xuất sinh khối có hàm lượng carbohydrate hoặc lipid cao hơn để phục vụ mục đích thương mại như sản xuất nhiên liệu sinh học hoặc phân bón. Quy mô nuôi tảo lớn hơn so với kịch bản 2 để đảm bảo thu hồi 100% nitơ, dẫn đến chi phí đầu tư và vận hành tăng lên đáng kể.

Về kinh tế, kịch bản này có tổng chi phí vận hành tương tự kịch bản 2, nhưng doanh thu không được hưởng lợi từ việc tiết kiệm thức ăn, do đó tổng doanh thu đạt mức 459 tỷ VND. Lợi nhuận gộp giảm xuống còn 90,66 tỷ VND, thấp hơn kịch bản 2, và IRR chỉ đạt 12,3%, thấp nhất trong ba kịch bản, thời gian hoàn vốn kéo dài tới 17,6 năm. Môi trường của kịch bản 3 được cải thiện hơn so với kịch bản 1 với chỉ số tác động 398 điểm, nhưng vẫn cao hơn kịch bản 2. Việc không tái sử dụng sinh khối vi tảo trong chăn nuôi làm mất đi lợi ích giảm chi phí thức ăn và vòng tuần hoàn dinh dưỡng khép kín.

Nhược điểm của kịch bản này là chi phí đầu tư và vận hành cao, cùng với hiệu quả kinh tế thấp hơn. Mô hình này phù hợp với những trang trại hoặc doanh nghiệp có khả năng đầu tư lớn và định hướng phát triển sản phẩm vi tảo thương mại, nhưng không phải là lựa chọn tối ưu cho các trang trại muốn cân bằng giữa lợi nhuận và bền vững môi trường.

So sánh ba kịch bản cho thấy rõ ràng kịch bản 2, tích hợp hệ thống vi tảo làm thức ăn chăn nuôi là lựa chọn tối ưu nhất cả về mặt kinh tế và môi trường. Kịch bản này đạt lợi nhuận cao nhất, IRR tốt nhất (15.0%), thời gian hoàn vốn ngắn nhất, đồng thời giảm thiểu đáng kể tác động môi trường nhờ tận dụng vi tảo hấp thụ dinh dưỡng, cố định CO₂ và tái sử dụng nước. Kịch bản 1 tuy ổn định nhưng không tận dụng được tiềm năng tài nguyên, còn kịch bản 3 dù có thêm doanh thu từ bán sinh khối song chi phí cao khiến lợi nhuận thấp hơn, nên không hiệu quả bằng kịch bản 2.

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Kịch bản 2 là lựa chọn tối ưu nhất, cân bằng tốt giữa hiệu quả kinh tế và bảo vệ môi trường, đồng thời phù hợp với xu hướng phát triển bền vững trong hoạt động chăn nuôi heo. Lộ trình phát triển khuyến nghị bao gồm giai đoạn thử nghiệm quy mô nhỏ (1-3 năm), mở rộng tích hợp và tối ưu hệ thống (3-7 năm), và ứng dụng rộng rãi kết hợp chính sách hỗ trợ (7-10 năm). Việc áp dụng kịch bản 2 sẽ giúp nâng cao lợi nhuận, giảm ô nhiễm môi trường, bảo vệ tài nguyên và đáp ứng các yêu cầu phát triển kinh tế tuần hoàn trong tương lai gần. Đây là hướng đi chiến lược quan trọng để ngành chăn nuôi heo thích ứng với các thách thức về môi trường và kinh tế trong bối cảnh phát triển bền vững toàn cầu.

Lộ trình khuyến nghị chi tiết cho các trang trại và nhà đầu tư như sau:

- **Giai đoạn 1 (1-3 năm):** Nghiên cứu và đầu tư thử nghiệm hệ thống nuôi vi tảo quy mô nhỏ, tập trung vào phát triển sinh khối vi tảo chất lượng cao làm thức ăn phụ gia, đồng thời xây dựng quy trình vận hành ổn định, kiểm soát môi trường nuôi trồng.
- **Giai đoạn 2 (3-7 năm):** Mở rộng quy mô tích hợp vi tảo vào hệ thống xử lý nước thải và chăn nuôi, tối ưu hóa vòng tuần hoàn dinh dưỡng và năng lượng, đồng thời đánh giá hiệu quả kinh tế và môi trường thực tế.
- **Giai đoạn 3 (7-10 năm):** Ứng dụng rộng rãi mô hình kinh tế tuần hoàn này cho các trang trại quy mô lớn, kết hợp với các chính sách hỗ trợ từ Chính phủ về tài chính, kỹ thuật và thị trường sản phẩm vi tảo, hướng tới phát triển bền vững ngành chăn nuôi trong dài hạn.

Việc áp dụng kịch bản 2 không chỉ giúp nâng cao lợi nhuận mà còn góp phần giảm thiểu ô nhiễm, bảo vệ tài nguyên thiên nhiên và đáp ứng yêu cầu phát triển bền vững ngày càng cấp thiết. Đây là hướng đi chiến lược cho ngành chăn nuôi trong tương lai gần.

Lưu ý:

- Các con số trên là ước tính dựa trên các giá trị trung bình, có thể thay đổi theo thực tế vận hành trang trại.
- Hiệu suất chuyển đổi khí biogas thành điện năng thường khoảng 30-40%, nên điện năng thực tế thu được sẽ thấp hơn giá trị tối đa tính toán.
- Lượng nước thải và phân thải có thể thay đổi tùy theo loại thức ăn, điều kiện chăn nuôi và công nghệ xử lý.
- Các giá trị này cần được hiệu chỉnh dựa trên dữ liệu thực tế đo đạc tại trang trại.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Hội nghị khoa học Chăn nuôi - Thú y toàn quốc lần thứ 5, 2023, với chủ đề "Chăn nuôi tuần hoàn trong kỷ nguyên số"
- [2]. UBND tỉnh Sơn La, 2021, Đề án phát triển chăn nuôi bền vững trên địa bàn tỉnh đến 2025 định hướng đến 2030.
- [3]. Công ty Cổ phần CMC Mường La, 2025, Báo cáo đề xuất cấp lại giấy phép môi trường của cơ sở
- [4]. Vinitha Mariyappan, Chu-Leung Yu a, Wei Wu , Jo-Shu Chang; 2024; Circular bioeconomy approach for pig farming systems using microalgae-based wastewater treatment processes; Bioresource Technology 393; <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.130134>
- [5]. Wu, W., Cheng, L.C., Chang, J.S., 2020. Environmental life cycle comparisons of pig farming integrated with anaerobic digestion and algae-based wastewater treatment. J. Environ. Manage. 264 <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110512>.
- [6]. Napolitano, G., Venditti, P., Agnisola, C., Quartucci, S., Fasciolo, G., Muscarello Tomajoli, M.T., Geremia, E., Catone, C.M., Ulgiati, S., 2022. Towards sustainable aquaculture systems: Biological and environmental impact of replacing fishmeal with Arthrospira platensis (Nordstedt) (spirulina). J. Clean. Prod. 374 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133978>.
- [7]. Minh Phương Corp, Dự toán chi phí khi chăn nuôi heo thịt và hạch toán đầu tư xây dựng chuồng trại; <http://minhphuongcorp.com/san-pham-hoan-thien/du-an-dau-tu-mau/du-toan-chi-phi-khi-chan-nuoi-heo-thit-va-hach-toan-dau-tu-xay-dung-chuong-trai.html>

Ứng dụng trí tuệ nhân tạo cho giao diện hiển thị trước mắt (HUD) hỗ trợ điều động USV trong môi trường cảng thông minh

Application of artificial intelligence to a head-up display (HUD) supporting USV maneuvering in smart port environment

> PGS.TS NGUYỄN ĐÌNH THẠCH

Khoa Hàng hải, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email: thachnd.ddt@vimaru.edu.vn

TÓM TẮT

Xu hướng ứng dụng phương tiện tự hành mặt nước trong cảng biển thông minh trong khảo sát, theo dõi chất lượng môi trường nước và nguy cơ ô nhiễm ngày càng được phát triển. Trong khi USV vận hành trong cảng chịu ảnh hưởng bởi nhiều tác động môi trường như mưa, sương, ánh sáng sẽ làm giảm nhận thức tình huống và gây khó khăn cho điều động. Bên cạnh đó, công nghệ trí tuệ nhân tạo ứng dụng trong ngành Hàng hải giúp tăng cường khả năng điều động và ngăn chặn các tình huống nguy hiểm xảy ra. Bài báo đề xuất phương pháp xây dựng, phát triển AI-enabled HUD hiển thị ngay trong tầm nhìn để hỗ trợ điều khiển USV và giảm độ trễ, sai số điều hướng. Các cảm biến GNSS, IMU-9DOF, camera AI được tích hợp và hiển thị thông tin lên HUD. Phương pháp thử nghiệm dựa trên môi trường mô phỏng hàng hải và thực địa quy mô nhỏ tại cảng. Kết quả nghiên cứu cho thấy khả năng E2E latency < 100 ms, sai số ổn định overlay < 1,00 yaw, < 0,50 roll/pitch, giảm head-down time $\geq 20\%$. Nghiên cứu cho thấy khả năng ứng dụng mô hình cho nhiều đối tượng khác nhau và có thể đo lường được trong quá trình chuyển đổi số tại cảng thông minh.

Từ khóa: Trí tuệ nhân tạo; màn hình hiển thị thông tin trên tàu; giao diện người-máy; Unmanned Surface Vehicle; đơn vị đo lường quán tính có 9 bậc tự do (9DOF).

ABSTRACT

The use of autonomous surface vehicles (USVs) in smart seaports for surveying and monitoring water quality and pollution risks is rapidly accelerating. While USVs operating in ports are exposed to adverse environmental conditions, such as rain, fog and low light these factors can degrade situational awareness and complicate maneuvering. Additionally, the deployment of artificial intelligence in the maritime domain enhances maneuvering performance and helps prevent hazardous situations. This paper proposes an approach to designing an AI-enabled Head-Up Display (HUD) that renders information directly in the field of view to support USV control, reduce latency and minimize navigational errors. GNSS, a 9-DoF IMU and AI cameras are integrated, with fused outputs presented on the HUD. The system is evaluated using a small-scale maritime simulation and port field environment. Results show end-to-end latency <100 ms, overlay stability error <1.00 yaw and <0.50 roll/pitch and a $\geq 20\%$ reduction in head-down time. The study demonstrates applicability across multiple target types and provides measurable indicators that support digital transformation in smart ports.

Keywords: Artificial intelligence; Head-Up Display (HUD); Human-Machine Interface (HMI); Unmanned Surface Vehicle (USV); 9-DoF Inertial Measurement Unit (IMU).

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Xu hướng chuyển đổi số và xây dựng cảng biển thông minh ngày càng được tập trung và phát triển trong bối cảnh nền kinh tế thị trường trên thế giới, đặc biệt tại Việt Nam. Số lượng tàu thuyền ra vào cảng với mật độ lớn khiến hệ sinh thái dưới nước tại cảng chịu ảnh hưởng lớn và có nguy cơ ô nhiễm nghiêm trọng. Do đó, cần có các thiết bị theo dõi, phát hiện các nguy cơ tiềm ẩn từ môi trường cảng biển để có các biện pháp khắc phục. Các phương tiện tự hành mặt nước USV với chức năng theo dõi và phát hiện ô nhiễm trong khoảng diện tích rộng có thể làm tăng khả năng giám sát trong các khu vực cảng và gửi dữ liệu về trung tâm phục vụ nghiên cứu, phân tích. Tuy nhiên, do hoạt động trong khu vực phức tạp với nhiều đối tượng tĩnh và động cần phải có bộ điều khiển và hệ thống hỗ trợ linh hoạt kết hợp công nghệ trí tuệ nhân tạo. Với tầm nhìn hạn chế, biến đổi nhanh nên hệ thống cần phải có thiết bị hỗ trợ nhận thức tình huống trong điều kiện môi trường khác nhau. Kết quả nghiên cứu cho thấy mô hình HUD hàng hải có tiềm năng lớn trong nhận thức tình huống. Trong công trình [2], một thiết bị HUD dựa trên LED hai hàng nhằm tăng cường nhận thức tình huống khi tầm nhìn kém trên buồng lái tàu và tại ROC. Hệ thống hiển thị các chế độ nước cạn, đất liền, hải đăng, tiêu, phao, giao thông hàng hải và được đánh giá trên mô phỏng cầu tàu.

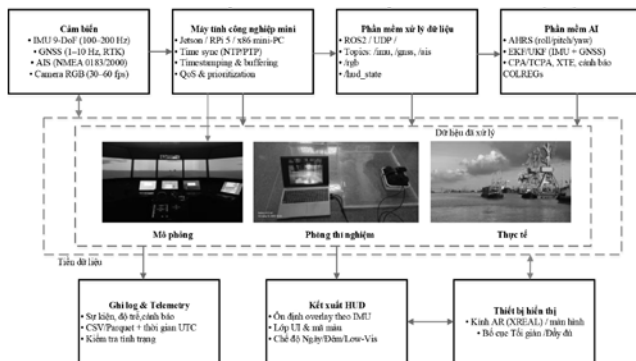
Các nghiên cứu khác tập trung vào chỉ báo tính toán CPA/TCPA. Trong nước, các công trình nghiên cứu về HUD cho hàng hải khá ít đặc biệt cho ASV, USV [3, 4]. Do đó, trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đề xuất xây dựng AI-enabled HUD ổn định bởi IMU 9-DoF cho USV trong cảng. Đồng thời, thử nghiệm trong môi trường mô phỏng, phòng thí nghiệm và thực địa tại khu vực cảng Hải Phòng.

Nội dung bài báo được chia thành các phần sau: Mục 2 trình bày cơ sở lý thuyết xây dựng cấu trúc mô hình hệ thống. Xây dựng thuật toán và tích hợp thông số lên HUD thể hiện trong Mục 3. Mục 4 thực hiện các bước thử nghiệm kết quả và đánh giá hiệu suất mô hình. Cuối cùng, Phần kết luận và hướng phát triển được mô tả ở Mục 5.

2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH CẤU TRÚC AI-ENABLED HUD

2.1. Kiến trúc mô hình hệ thống AI-Enabled HUD

Một mô hình cấu trúc hệ thống HUD-USV được tác giả đề xuất như Hình 1 [5, 6].



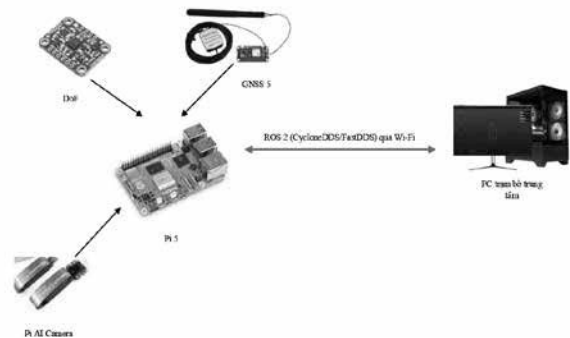
Hình 1. Sơ đồ kiến trúc hệ thống AI-Enabled HUD

Hệ thống gồm các khối chức năng sau [4-6]:

- Khối cảm biến: Bao gồm các cảm biến 9-DoF, GNSS, camera thu thập dữ liệu, hình ảnh từ các môi trường khác nhau như mô phỏng, phòng thí nghiệm và thực tế tại cảng.
- Khối máy tính công nghiệp Mini: Có chức năng chạy các phần mềm xử lý, phân tích tiền dữ liệu và gửi về trung tâm.
- Khối phần mềm xử lý dữ liệu: Chia các tập dữ liệu thành các nhóm dữ liệu khác nhau và chuẩn hóa trước khi huấn luyện AI.
- Khối hợp nhất và AI: Với nhiệm vụ là thực hiện dữ liệu đã xử lý, kết hợp mô hình AI như YOLO, CNN để tính toán các chỉ số trong bài toán điều động.
- Khối HUD: Kết quả được đưa tới kết xuất HUD để ổn định overlay theo IMU, áp dụng lớp UI (mã màu, chế độ Ngày/Đêm/Low) và phát tới thiết bị hiển thị (kính AR/màn hình). Toàn bộ sự kiện, độ trễ cảnh báo được ghi vào ghi log & Telemetry (CSV/Parquet, UTC) phục vụ đánh giá.

2.2. Xử lý dữ liệu IMU, GNSS

Hình 2 mô tả cấu trúc phần cứng của IMU, GNSS thu thập về máy tính và truyền về trạm [7, 8].



Hình 2. Sơ đồ cấu trúc phần cứng của thiết bị thu thập DoF và GNSS

Chức năng của DoF bao gồm IMU 9-DoF đo roll, pitch, yaw, gia tốc và từ trường được đặt trên USV. Thiết bị GNSS thu thập vị trí COG, SOG. Camera AI phù hợp cho Raspberry Pi 5 có tích hợp cảm biến thị giác và được cài đặt mô hình thị giác MobileNet. Máy tính Raspberry Pi 5 nhận dữ liệu từ cảm biến và thiết lập theo thời gian. Máy tính PC chạy phần mềm HUD hiển thị heading/roll/pitch, SOG/COG, cảnh báo. Đặc biệt, yếu tố quan trọng trong quá trình truyền nhận dữ liệu là thời gian. Thời gian cho một quá trình phải ngắn nhất và độ trễ gửi dữ liệu thấp nhất. Độ trễ truyền nhận dữ liệu được tính như sau [4]:

$$t_{E2E} = t_{dis,k} - t_{sen,k} \quad (1)$$

Trong đó:

$t_{dis,k}$ - Thời gian hiển thị hình ảnh k ; $t_{sen,k}$ - Thời gian nhận dữ liệu từ cảm biến thứ k .

Tiếp theo, dữ liệu đầu vào đối với IMU cần hiệu chuẩn:

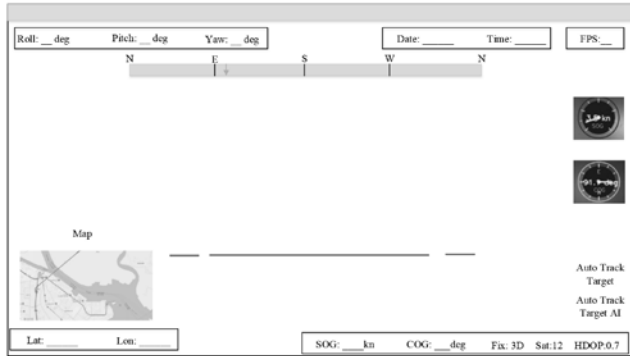
$$y_k = \alpha x_k + (1 - \alpha) y_{k-1}; \alpha = \frac{\Delta t}{\tau + \Delta t} \quad (2)$$

2.3. Xây dựng giao diện HUD

Trong nghiên cứu này, tác giả xây dựng giao diện của HUD để hiển thị các thông số cơ bản của USV. Dữ liệu được thu thập từ các thiết bị sau đó hiển thị lên giúp người điều khiển dễ quan sát. Hình 3 thể hiện giao diện HUD được thiết kế dựa trên VS code [7, 9, 10].

Mục tiêu khi thiết kế giao diện cho HUD cần đảm bảo đầy đủ thông tin cần thiết cho quá trình theo dõi và điều khiển. Vùng trung tâm hiển thị video thực tế thu thập từ camera gắn trên USV có chức năng quan sát và theo dõi theo thời gian thực. Bên cạnh đó, hai đồng hồ chỉ thị SOG và COG của USV. Khung hình hiển thị trạng thái

cho USV như pin, GPS, chế độ. Một bản đồ minimap cho phép quan sát tọa độ thực tế của USV [5, 6, 11, 12].

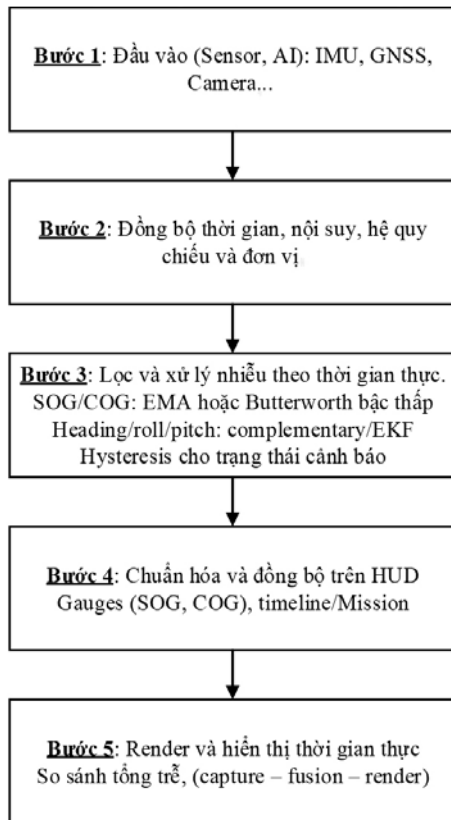


Hình 3. Giao diện tổng quan HUD của USV

3. PHÁT TRIỂN THUẬT TOÁN HIỂN THỊ TRỰC QUAN ỨNG DỤNG AI

3.1. Phương pháp tích hợp thông số trên HUD

Sau khi thiết kế giao diện, tác giả dựa trên các thông tin của USV để tích hợp, xử lý vào giao diện của HUD. Các bước tích hợp thông số thể hiện trong Hình 4 như sau:



Hình 4. Các bước thực hiện tích hợp dữ liệu lên HUD

Hình 4 trình bày các bước thực hiện tích hợp thông số lên HUD bao gồm đồng bộ thời gian, chuẩn hóa dữ liệu đầu vào trong bước 1. Tiếp theo, dữ liệu được đưa về cùng một hệ quy chiếu và đơn vị chung trong hàng hải. Bước 3 lọc nhiễu và ổn định dữ liệu theo thời gian thực. Dữ liệu SOG/COG bậc thấp (latency < 50 ms), Heading/roll/pitch được trích xuất từ (IMU + GNSS/compass). Bước 4 chuẩn hóa và đồng bộ như các đối tượng Gauge SOG/COG ánh xạ min,

max và vùng màu. Cuối cùng, Bước 5 là hiển thị dữ liệu với độ trễ thấp hơn 120 ms.

3.2. Xây dựng thuật toán AI xử lý dữ liệu cảnh báo trên HUD

USV hoạt động trên cảng đối mặt nhiều vật cản động và tĩnh, do đó nhận biết vật cản và đưa ra các thông số cần thiết cho từng đối tượng là cần thiết và đặc biệt trong tránh va. Nhiệm vụ của AI trong mô hình này là phải đảm bảo phát hiện mục tiêu và hiển thị lên HUD. Đồng thời, từ dữ liệu sẵn có để tính toán và đưa ra cảnh báo trong màn hình HUD. Thuật toán 1 trình bày cấu trúc xử lý và cảnh báo đối với dữ liệu thực tế của USV [13, 14].

//Thuật toán 1

```

1. BEGIN
2. Params: FPS←30, N_TOP←8, TH_ON/TH_OFF←0.70/0.60, COOLDOWN←3s
3. Init streams: RGB, TH, LiDAR/Radar, AIS, IMU, GNSS
4. Load models: YOLO, Segmenter, Tracker, DepthRange
5. Init HUD layers; Alert←OFF
6. LOOP at FPS:
7. t←now(); SyncRead {RGB,TH,LiDAR,AIS,IMU,GNSS}→t
8. state←Fuse(IMU,GNSS) // pose,SOG,COG
9. det←FuseLate(YOLO(RGB), YOLO(TH))
10. trk←Tracker.update(det)
11. FOR each k in trk:
12. {r,br}←EstimateRB(k,state,LiDAR); {cpa,tcpa}←CPA(k,state)
13. k.risk←Score(k.class,k.conf,r,tcpa, env=light/weather)
14. END FOR
15. top←Take( Sort(trk by risk↓), N_TOP ); labels←Place(top)
16. overlays←Compose(top, labels, Segmenter(select(RGB,TH)))
17. gauges←{SOG:state.SOG, COG:state.COG}; map←Minimap(state.pose,AIS)
18. timeline←MissionProgress(Waypoints, state.pose)
19. Alert←Hysteresis(Alert, Max(top.risk), TH_ON, TH_OFF, COOLDOWN);
    RenderHUD(RGB, overlays, gauges, map, timeline, Alert)
20. END LOOP;
21. END
  
```

4. THỬ NGHIỆM KẾT QUẢ VÀ ĐÁNH GIÁ

4.1. Kịch bản thử nghiệm

Đánh giá khả năng của mô hình trên, nhóm tác giả đã xây dựng kịch bản thử nghiệm trong ba môi trường là mô phỏng, phòng thí nghiệm và thực tế để đánh giá kết quả và các tính năng. Hình 5 mô tả cấu trúc phần cứng thử nghiệm [5, 6], [10-12].



Hình 5. Phần cứng hệ thống giám sát và HUD

Bảng 1 mô tả các kịch bản thử nghiệm, nội dung và yêu cầu để đạt được.

Bảng 1. Kịch bản thử nghiệm HUD trong các điều kiện khác nhau

STT	Kịch bản	Nội dung thử nghiệm	Yêu cầu cần đạt
1	A - Mô phỏng USV	Tiến hành thử nghiệm kiểm tra bố cục HUD, lớp điều hướng (Heading/COG/SOG), chạy các cấu hình biển (calm, moderate, rough), tầm nhìn (clear, haze), tốc độ (3, 6, 10 kn). - Điều động bám 3 waypoint/phiên, ghi log FPS, latency, CPU/GPU.	- RMSE Heading/COG $\leq 2^\circ$; RMSE SOG $\leq 0,5$ kn; XTE p95 ≤ 2 m. Độ trễ đầu-cuối ≤ 120 ms; FPS ≥ 10 .
2	B - DoF/LAB (hiệu chuẩn IMU)	So sánh bộ lọc, kiểm tra dữ liệu và độ rung; tinh chỉnh dữ liệu.	RMSE roll/pitch $\leq 1,0^\circ$, yaw $\leq 1,5^\circ$ - Drift $30' \leq 0,5^\circ$; giảm PSD rung 0,5-3 Hz $\geq 40\%$; thời gian hội tụ < 40 s; Overlay Stability p95 $\leq 0,3^\circ$.
3	C - Thực địa tại cảng	Chạy 3 chặng: Dọc bến, qua khu neo, tiệm cận waypoint gần phao; thử chế độ cảnh báo CPA/TCPA.	Sai số vị trí p95 ≤ 3 m (RTK) / ≤ 7 m (non-RTK); sai số heading $\leq 2,5^\circ$; cảnh báo CPA/TCPA: Precision $\geq 0,90$, Recall $\geq 0,85$.

4.2. Kết quả và đánh giá

Kết quả thử nghiệm đối với kịch bản A được thể hiện trong Hình 6 [10, 14].



Hình 6. Giao diện HUD trong thử nghiệm tại cảng biển trong mô phỏng

Hình 6 thể hiện giao diện HUD dựa trên dữ liệu GNSS và IMU để hiển thị các giá trị và đường màu trắng thể hiện góc nghiêng của USV. Các thiết bị đo tốc độ và hướng có thể được đọc ngay lập tức và hiển thị trên đồng hồ đo SOG (~3,5 hải lý/giờ) và đồng hồ đo COG (~91°) để tránh nhầm lẫn [15].

Bảng 2. Kết quả thử nghiệm cho kịch bản A

Thông số	Yêu cầu	Thực tế	Kết luận
SOG	2-5 kn (điều động an toàn)	~3,5 kn	Đạt
COG	Hiển thị nhất quán	~91°, đồng nhất gauge & bar	Đạt
Dist → WP	≤ 30 m trước khi chuyển WP	~0,02 km (~20 m)	Đạt
Bearing	Cập nhật & rõ ràng	~333,8°	Đạt
XTE	$ XTE \leq 1,0$ m	0,1 m	Đạt
CPA	≥ 50 m (an toàn)	~64 m	Đạt
GNSS	Fix 3D; Sat ≥ 8 ; HDOP $\leq 1,0$	Fix 3D; Sat=12; HDOP=0,7	Đạt
FPS	≥ 10	~12-13	Cần cải thiện

Bảng 2 thể hiện kết quả thử nghiệm đối với kịch bản A và đều đạt các yêu cầu đặt ra. Các giá trị đều cho phép theo dõi thời gian thực. Hình 7 thể hiện kết quả trong điều kiện môi trường khác nhau [9].



Hình 7. Kết quả thử nghiệm trong điều kiện thời tiết xấu

Trong khi đó, Hình 7 cho thấy dữ liệu hiển thị trong điều kiện thời tiết xấu. Chỉ số CPA xấp xỉ 30,3 m trong điều kiện sương mù và tầm nhìn kém.

Kết quả thử nghiệm kịch bản B trong phòng thí nghiệm như Hình 8. Thiết bị DoF được thử nghiệm trong bể nước có dao động. Dữ liệu thu về cho thấy dao động thực tế và ổn định lọc nhiễu tốt.



Hình 8. Kết quả thử nghiệm trong phòng thí nghiệm

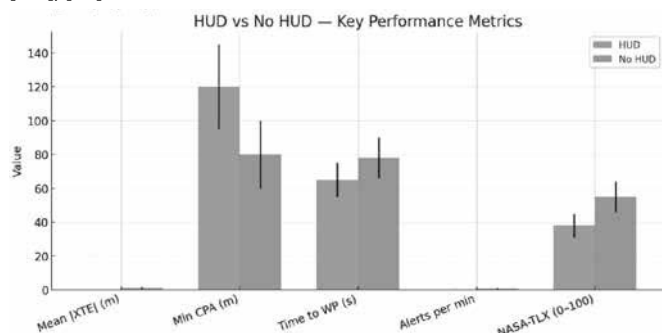
Độ ổn định và hiển thị tốt giá trị pitch khoảng 12,5°, roll xấp xỉ 5,1° đúng với tư thế mô hình. Độ trễ camera thấp phù hợp với thử nghiệm HUD ban đầu. Tuy nhiên, thực tế DoF có khả năng nhiễu từ trong nhà làm lệch giá trị yaw.



Hình 9. Kết quả thử nghiệm trong phòng thí nghiệm

Hình 9 thể hiện kết quả thực nghiệm tại cảng khu vực Hải Phòng. Nhóm tác giả thử nghiệm mô hình HUD trên khu vực cảng biển để đo các thông số cơ bản. Trong bối cảnh cảng, HUD hiển thị rõ ràng các tham số điều hướng với khoảng cách tới vật cản khoảng 0,02 km, XTE = 0,2 m, cho thấy phát hiện chính xác [7, 8, 11].

Kết quả Hình 10 so sánh giữa hai mô hình cho thấy biểu đồ cột cho thấy phương án có HUD vượt trội so với không HUD ở hầu hết chỉ số: Độ lệch tuyến trung bình $|XTE|$ thấp hơn rõ rệt, CPA tối thiểu cao hơn. Thời gian tới waypoint ngắn hơn, số cảnh báo mỗi phút ít hơn và tải nhận thức (NASA-TLX) thấp hơn. Trong tương lai, cần cải thiện độ lệch giữa các khung hình và các tham số của HUD [6-8], [11].



Hình 10. Kết quả so sánh giữa hai phương pháp có và không có HUD

5. KẾT LUẬN

Ứng dụng công nghệ AI vào lĩnh vực hàng hải kết hợp công nghệ trí tuệ nhân tạo đang là xu hướng đối với cảng thông minh hiện nay. Bài báo này đã đề xuất, xây dựng được giao diện HUD cho USV trong cảng để hiển thị các thông số cần thiết cho quản lý, điều hướng trong cảng. Ngoài ra, kết hợp với mô hình AI trong dự đoán và cảnh báo va chạm cho USV với các vật cản tĩnh và động. Kết quả nghiên cứu cho thấy đã thử nghiệm một số yêu cầu và đáp ứng được để có thể phát triển và thử nghiệm mô hình thực tế trong tương lai.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. E. Holder and S. Pecota (Oct. 2011), Maritime Head-Up Display: A Preliminary Evaluation, *J. Navig.*, vol.64. doi: 10.1017/S0373463311000191.
- [2]. F.-M. Petermann, O. Alsos, E. Papachristos, C. Andersen and A. Madsen (Aug., 2025), Maritime Head-up Display (mHUD): A safety-enhancing navigational tool for ship bridges and remote operation centres, *J. Navig.*, pp.1-25. doi: 10.1017/S0373463325101124.
- [3]. S. Qu, X. Men, M. Liu, J. Cui, H. Wu and Y. Fu (2025), Navigation Attitude Prediction for Unmanned Surface Vessels in Wave Environments Using Improved Unscented Kalman Filter and Digital Twin Model, *Journal of Marine Science and Engineering*, vol.13, no.5. doi: 10.3390/jmse13050932.
- [4]. M. Warburton, M. Mon-Williams, F. Mushtaq and J. R. Morehead (2023), Measuring motion-to-photon latency for sensorimotor experiments with virtual reality systems, *Behav. Res. Methods*, vol.55, no.7, pp.3658-3678. doi: 10.3758/s13428-022-01983-5.
- [5]. F. Laera et al. (2021), Augmented reality for maritime navigation data visualisation: a systematic review, issues and perspectives, *J. Navig.*, vol.74, no.5, pp.1073-1090. doi: 10.1017/S0373463321000412.
- [6]. C. Chauvin, F. Said and S. Langlois, Augmented reality HUD vs. conventional HUD to perform a navigation task in a complex driving situation, *Cogn. Technol. Work*, vol.25, no.2, pp. 217-232, 2023. doi: 10.1007/s10111-023-00725-7.
- [7]. K.-Y. Tsai and C.-C. Fang (2025), Analysis of real-time ship manoeuvring simulation with a ship collision avoidance E-navigation aid system, *Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng.*, vol.17, p.100669. doi: https://doi.org/10.1016/j.ijnaoe.2025.100669.
- [8]. M.-C. Fang, K.-Y. Tsai and C.-C. Fang (2018), A Simplified Simulation Model of Ship Navigation for Safety and Collision Avoidance in Heavy Traffic Areas, *J. Navig.*, vol.71, no.4, pp.837-860. doi: 10.1017/S0373463317000923.
- [9]. L. Liker, D. Bačnar, D. Barić, and M. Jardaš (2025), Translating FlexSim Models into Virtual Reality Environments, in 2025 MIPRO 48th ICT and Electronics Convention, pp.1582-1586. doi: 10.1109/MIPRO65660.2025.11131880.
- [10]. K. Esselle, K. Singh, D. Thalakituna, M. N. Y. Koli and F. Ahmed (2023), Beam-Steering Antenna Technologies for Space-Related Applications, in 2023 17th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), pp.1-5. doi: 10.23919/EuCAP57121.2023.10133579.
- [11]. A. Singh et al. (2024), Enhancing Marine Navigation Performance Using the Head-Up Interface, in 2024 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC), pp.496-502. doi: 10.1109/SMC54092.2024.10831001.
- [12]. O. S. Hareide and R. Ostnes (2017), Maritime Usability Study by Analysing Eye Tracking Data, *J. Navig.*, vol.70, no.5, pp.927-943. doi: DOI: 10.1017/S0373463317000182.
- [13]. T. ROSS and G. BURNETT (2001), Evaluating the human-machine interface to vehicle navigation systems as an example of ubiquitous computing, *Int. J. Hum. Comput. Stud.*, vol.55, no.4, pp.661-674. doi: https://doi.org/10.1006/ijhc.2001.0495.
- [14]. G. li et al., Development of Data Visualization Interface in Smart Ship System, 2020, pp.219-226. doi: 10.1007/978-981-15-2341-0_27.
- [15]. G. li et al. (2020), Research on Data Monitoring System for Intelligent Ship, pp.234-241. doi: 10.1007/978-981-15-2341-0_29.

Phương pháp điều khiển bộ chuyển đổi nguồn DC-DC buck trên cơ sở PID, GA và logic mờ

DC-DC buck power converter control methods based on PID, GA and Fuzzy logic

> PGS.TS NGUYỄN VĂN TIÊM*, GS.TS LÊ HÙNG LÂN, KIỀU VIỆT CƯỜNG

Trường Đại học Giao thông vận tải

*Email: nguyenvantiem@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo đưa ra phương pháp thiết kế bộ điều khiển trên cơ sở sử dụng PID, GA và logic mờ (PID-GA-F) để điều khiển điện áp đầu ra của bộ biến đổi DC-DC buck có tính toán đến tải thay đổi. Đầu tiên xác định mô hình toán học của bộ biến đổi DC-DC buck, tiếp theo tổng hợp bộ điều khiển PID và sau đó thiết kế bộ điều khiển PID-GA-F để điều khiển ổn định điện áp đầu ra cho bộ biến đổi DC-DC buck. Chất lượng của hệ thống điều khiển bộ biến đổi DC-DC buck khi sử dụng bộ điều khiển PID-GA-F được đánh giá và so sánh với hệ thống điều khiển sử dụng bộ điều khiển PID với nhiều điều kiện tải khác nhau. Các kết quả mô phỏng bằng phần mềm Matlab-Simulink đã chỉ rõ bộ điều khiển PID-GA-F đã nâng cao được chất lượng điều khiển điện áp đầu ra của bộ biến đổi DC-DC buck.

Từ khóa: PID - bộ điều khiển tỷ lệ vi tích phân; bộ chuyển đổi buck; điều khiển mờ; giải thuật di truyền.

ABSTRACT

This paper presents a controller design method based on the use of PID, genetic algorithm and fuzzy logic (PID-GA-F) to control the output voltage of a DC-DC buck converter with load variation. Firstly, determine the mathematical model of the DC-DC buck converter, then synthesize the PID controller and design the PID-GA-F controller to stably control the output voltage for the DC-DC buck converter. The quality of the DC-DC buck converter control system using PID-GA-F controller is evaluated and compared with the control system using PID controller under various load conditions. Simulation results using Matlab-Simulink software have shown that the PID-GA-F controller has improved the output voltage control quality of the DC-DC buck converter.

Keywords: PID - proportional integral derivative; buck converter; fuzzy logic control; genetic algorithm.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bộ chuyển đổi DC-DC được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực như các hệ thống cấp nguồn cho các thiết bị điều khiển trong công nghiệp [2], trong các hệ thống nguồn cho xe điện [12] và tàu điện đường sắt [8, 10]. Việc điều khiển điện áp DC đầu ra của bộ biến đổi DC-DC ở các điện áp khác nhau và ổn định luôn là đòi hỏi của thực tế, mặt khác trong quá trình hoạt động hệ thống luôn gặp phải tải thay đổi. Bộ chuyển đổi DC-DC buck là một trong những cấu trúc liên kết được sử dụng phổ biến. Các linh kiện như Mosfet và Diode thực hiện chức năng đóng cắt là linh kiện chủ động, trong khi các linh kiện như cuộn cảm và tụ điện thực hiện chức năng lọc đầu ra là linh kiện thụ động. Các linh kiện chủ động tạo nên mạch chính. Các nghiên cứu về thiết kế bộ điều khiển cho bộ biến đổi DC-DC buck đều nhằm đưa ra tín hiệu điều khiển chuyển mạch cho Mosfet để tạo ra chu kỳ làm việc phù hợp, từ đó tạo ra các điện áp đầu ra nhanh chóng ổn định với chất lượng tốt.

Trong [2], nghiên cứu đã đưa ra một công thức tính toán tham số bộ PID đơn giản với việc đưa toàn bộ hệ thống điều khiển về mô hình quán tính bậc 1. Thiết kế bộ điều khiển PID tối ưu trên cơ sở thuật toán tối ưu Archimedes (AOA) cho điều khiển bộ biến đổi DC-DC buck [6]. Thiết kế bộ điều khiển PID cho hệ thống điều khiển bộ biến đổi Hybrid DC-DC có tải phức tạp với hai điện áp tham chiếu điều khiển được đưa ra trong [4]. Trong [3] lại sử dụng cấu trúc PID bậc phân số (FOPID) cũng đã cải thiện được chất lượng điện áp điều khiển bộ DC-DC buck rất nhiều so với phương pháp sử dụng PID thông thường. Trong [9] sử dụng thuật toán sine cosine cải tiến để tối ưu tham số PID (ISCA_PID) nhằm cải thiện chất lượng điều khiển cho bộ biến đổi DC-DC buck khi có nhiễu tác động và có bất định tham số. Xu hướng áp dụng logic mờ vào điều khiển bộ biến đổi DC-DC buck cũng được nhiều công trình đề cập. Trong [5] sử dụng logic mờ để thiết kế các bộ điều khiển giống các bộ PD và PID

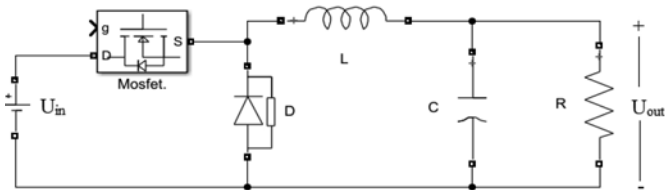
nhằm đảm bảo ổn định điện áp đầu ra của bộ DC-DC buck khi tải là một động cơ 1 chiều. Trong [11] đưa ra các bộ điều khiển mờ và bộ điều khiển sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo với mô hình NARMA L2 để điều khiển bộ biến đổi DC-DC buck, thông qua mô phỏng cho thấy kết quả việc áp dụng logic mờ và mạng nơ-ron nhân tạo để thiết kế các bộ điều khiển cũng đã cải thiện được chất lượng điện áp đầu ra của bộ biến đổi DC-DC buck. Các công trình [1, 7, 13] lại thiết kế các bộ điều khiển trượt thích nghi để điều khiển bộ biến đổi DC-DC buck. Trong [7] sử dụng phương pháp điều khiển trượt bậc hai thích nghi (SOSM) kết hợp với kỹ thuật backsteeping cho bài toán điều khiển bộ biến đổi DC-DC buck. Bộ điều khiển theo chế độ trượt đầu cuối thích nghi sử dụng mạng nơ-ron hồi quy lớp ẩn kép [13] cũng đã nâng cao được chất lượng điều khiển bộ biến đổi DC-DC buck. Trong [1] thiết kế bộ điều khiển trượt đầu cuối trên cơ sở backstepping và mạng nơ-ron thích nghi áp dụng để điều khiển bộ biến đổi DC-DC buck cung cấp nguồn cho máy điện phân PEM. Các công trình [1, 7, 13] đã nâng cao được chất lượng điều khiển cho bộ biến đổi DC-DC buck, tuy nhiên thuật toán quá phức tạp.

Với quan điểm thiết kế bộ điều khiển có cấu trúc đơn giản và nâng cao được chất lượng điều khiển điện áp đầu ra cho bộ biến đổi DC-DC buck, bài báo thiết kế bộ điều khiển trên cơ sở sử dụng PID, giải thuật di truyền GA và logic mờ cho bộ biến đổi DC-DC buck. Bộ điều khiển này được gọi là bộ PID-GA-F. Từ mô hình tổng quát của bộ biến đổi DC-DC buck, tính toán các tham số các bộ điều khiển PID cục bộ tương ứng với các giá trị tải thay đổi sử dụng GA. Bước tiếp theo sử dụng logic mờ để thiết kế bộ đánh giá sự thay đổi của tải. Cuối cùng là phối hợp các bộ PID cục bộ với bộ mờ đánh giá tải để tạo ra bộ điều khiển PID-GA-F. Kiểm chứng hiệu quả của bộ điều khiển PID-GA-F với tham số bộ biến đổi DC-DC buck cụ thể bằng mô phỏng trên máy tính sử dụng phần mềm Matlab-Simulink.

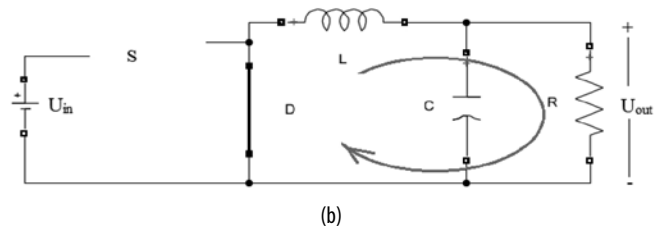
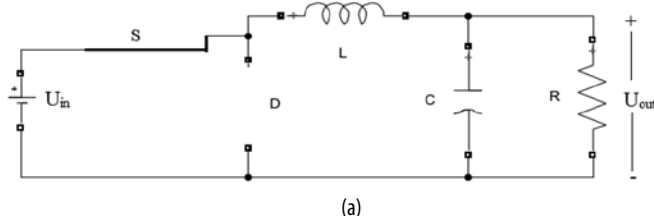
2. MÔ HÌNH TOÁN HỌC CỦA HỆ THỐNG CHUYỂN ĐỔI DC-DC BUCK

Bộ chuyển đổi buck DC-DC là một loại bộ chuyển đổi điện tử công suất, đầu vào của bộ chuyển đổi buck là điện áp một chiều, đầu ra của bộ chuyển đổi buck là điện áp một chiều ở mức điện áp thấp hơn mức điện áp đầu vào.

Sơ đồ cấu trúc của mạch chuyển đổi buck [2] bao gồm hai công tắc tĩnh, thường là một Mosfet và một Diode và sau đó là một bộ lọc cuộn cảm - tụ điện như Hình 1. Chức năng của bộ chuyển đổi buck có thể được chia thành hai trạng thái chế độ riêng biệt, đó là trạng thái bật và trạng thái tắt như được diễn tả trên Hình 2.



Hình 1. Sơ đồ cấu trúc mạch điện của bộ biến đổi DC-DC buck



Hình 2. Sơ đồ trạng thái ON của bộ biến đổi buck DC-DC (a) và OFF (b)

- Trạng thái bật: Các chế độ hoạt động trong trạng thái bật được thể hiện trong Hình 2a. Khi công tắc S ở trạng thái bật, điện áp đầu vào U_{in} được kết nối với cuộn cảm và diode. Dòng điện chạy đến tải qua cuộn cảm. Trong giai đoạn này, dòng điện qua cuộn cảm tăng tuyến tính. Diode bị phân cực ngược dẫn đến không có dòng điện chạy qua diode. Theo định luật Kirchhoff ta có:

$$U_{in} - L \frac{di_L}{dt} - U_c = 0; \quad \frac{di_L}{dt} = \frac{U_{in} - U_c}{L} \quad (1)$$

$$\frac{U_c}{R} + C \frac{dU_c}{dt} = i_L; \quad \frac{dU_c}{dt} = \frac{i_L}{C} - \frac{U_c}{RC} \quad (2)$$

- Trạng thái tắt:

Các chế độ hoạt động trong trạng thái tắt được thể hiện trong Hình 2b. Khi công tắc S ở trạng thái TẮT, điện áp đầu vào U_{in} được giải phóng khỏi cuộn cảm. Dòng điện từ điện áp đầu vào bị cắt. Cuộn cảm truyền năng lượng được lưu trữ đến tải. Cuộn cảm cung cấp dòng điện cho tải. Trong giai đoạn này, dòng điện qua cuộn cảm giảm tuyến tính. Diode được phân cực thuận và cung cấp dòng điện từ tải trở lại cuộn cảm. Áp dụng định luật điện áp Kirchhoff vào sơ đồ mạch của Hình 2b, thu được trong (3).

$$L \frac{di_L}{dt} + U_c = 0; \quad \frac{di_L}{dt} = -\frac{U_c}{L} \quad (3)$$

Bằng cách áp dụng định luật dòng điện Kirchhoff vào sơ đồ mạch điện của Hình 2b, thu được trong (4).

$$\frac{U_c}{R} + C \frac{dU_c}{dt} = i_L; \quad \frac{dU_c}{dt} = \frac{i_L}{C} - \frac{U_c}{RC} \quad (4)$$

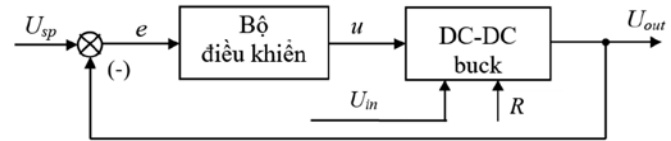
Gọi d là chu kỳ nhiệm vụ cho giai đoạn bật (ON) thì chu kỳ nhiệm vụ cho giai đoạn tắt (OFF) là $(1-d)$. Từ đó, theo [2] ta sẽ xác định được các hàm truyền trong giai đoạn bật (ON) và giai đoạn tắt (OFF) lần lượt như sau:

$$\frac{U_{out}(s)}{U_{in}(s)} = \frac{d}{LCs^2 + \frac{L}{R}s + 1}; \quad \frac{U_{out}(s)}{d(s)} = \frac{U_{in}}{LCs^2 + \frac{L}{R}s + 1} \quad (5)$$

3. THIẾT KẾ CÁC BỘ ĐIỀU KHIỂN BỘ BIẾN ĐỔI DC-DC BUCK

3.1. Cấu trúc của hệ thống điều khiển DC-DC buck

Sơ đồ cấu trúc của hệ thống điều khiển (HTĐK) DC-DC buck như Hình 3.



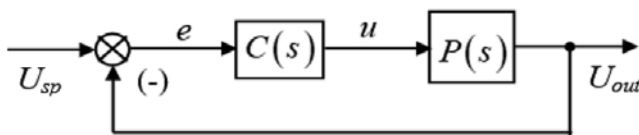
Hình 3. Sơ đồ khối HTĐK DC-DC buck

3.2. Thiết kế bộ điều khiển PID cho điều khiển DC-DC buck

Sơ đồ khối của HTĐK DC-DC buck sử dụng bộ điều khiển PID như Hình 4, trong đó bộ điều khiển $C(s)$ như (5) và đối tượng điều khiển $P(s)$ như (6).

$$C(s) = k_p + \frac{k_i}{s} + k_d \cdot s \quad (5)$$

$$P(s) = \frac{U_{in}}{LCs^2 + \frac{L}{R}s + 1} \quad (6)$$



Hình 4. Sơ đồ khối của HTĐK DC-DC buck sử dụng bộ PID

Hàm truyền của hệ hở và hệ kín:

$$W_H(s) = C(s)P(s) = \frac{(k_D s^2 + k_P s + k_I)U_{in}}{(LCs^2 + \frac{L}{R}s + 1)} \quad (7)$$

$$W_K(s) = \frac{W_H(s)}{1 + W_H(s)} = \frac{(k_D s^2 + k_P s + k_I)U_{in}}{(LCs^2 + \frac{L}{R}s + 1) + (k_D s^2 + k_P s + k_I)U_{in}} \quad (8)$$

Có nhiều phương pháp tổng hợp bộ điều khiển PID cho HTĐK (8), theo [2] tổng hợp PID bằng cách đơn giản hóa hàm truyền của hệ thống (8), từ đó đưa ra điều kiện thỏa mãn là (9) và từ (9) xác định được các tham số của PID như (10). Khi đó đạt được hàm truyền của hệ thống ở dạng đơn giản như (11).

$$k_D s^2 + k_P s + k_I = LCs^2 + \frac{L}{R}s + 1 \quad (9)$$

$$k_P = \frac{L}{R}; k_I = 1; k_D = LC \quad (10)$$

$$W_K(s) = \frac{U_{in}}{s + U_{in}} \quad (11)$$

Để HTĐK có tính tác động nhanh, trong [2] đã tăng hệ số tỷ lệ lên 50 lần, khi đó tham số của bộ PID là:

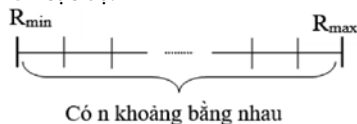
$$k_P = 50 \frac{L}{R}; k_I = 50; k_D = 50LC \quad (12)$$

3.3. Thiết kế bộ điều khiển PID-GA-Fuzzy cho điều khiển DC-DC buck

3.3.1. Thiết kế các bộ PID cục bộ

Do điện trở tải thay đổi, $R = [R_{min}, R_{max}]$, để tìm các bộ điều khiển PID cục bộ chúng ta sẽ chia dải điện trở R thay đổi thành n khoảng bằng nhau như Hình 5. Khi đó sẽ có $(n+1)$ giá trị điện trở R cục bộ:

Tại mỗi R_i chúng ta sẽ tổng hợp được bộ điều khiển PID_i để hệ ổn định. Để đạt được chất lượng điều khiển của hệ thống tốt nhất chúng ta sử dụng giải thuật di truyền GA cho mỗi R_i , khi đó sẽ được bộ PID_i tối ưu. Các bộ PID_i tối ưu trong bài báo này không dùng mô hình toán học của bộ biến đổi DC-DC buck để tổng hợp mà sử dụng trực tiếp mô hình bán vật lý (mạch điện, các linh kiện chủ động (Mosfet, Diode) và các linh kiện thụ động (cuộn cảm, tụ điện, điện trở)) trong phần mềm Matlab. Như vậy, chúng ta sẽ có $(n+1)$ bộ PID-GA cục bộ.

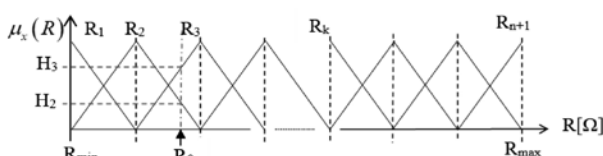


Hình 5. Chia R thành n khoảng bằng nhau

3.3.2. Thiết kế bộ điều khiển PID-GA-Fuzzy

Bộ điều khiển PID-GA-Fuzzy (PID-GA-F) trong bài báo này được thiết kế sau:

Mờ hóa n khoảng tương ứng với $(n+1)$ giá trị của R với hàm liên thuộc là dạng tam giác như Hình 6.



Hình 6. Mờ hóa điện trở R

Bộ luật mờ được thiết kế như sau:

$$IF \ R \text{ is } R_i \ THEN \ u \text{ is } H_i PID_GA_i \quad (13)$$

Giá trị điều khiển được xác định là:

$$u_{PID-GA-F} = \sum_{i=1}^{n+1} H_i \times PID_GA_i; H_i = \mu_i(R) \quad (14)$$

Đặc điểm của bộ điều khiển (14) là tận dụng được các bộ điều khiển tối ưu cục bộ bằng giải thuật GA kết hợp với sự linh động của logic mờ. Bộ điều khiển (14) đảm bảo chất lượng điều khiển bộ biến đổi DC-DC buck đạt chất lượng điều khiển tốt hơn so với phương pháp sử dụng bộ điều khiển PID thông thường.

4. ÁP DỤNG CHO THAM SỐ BỘ DC-DC BUCK CỤ THỂ VÀ MÔ PHỎNG

4.1. Tham số bộ chuyển đổi DC-DC buck

Tham số bộ biến đổi DC-DC buck như Bảng 1.

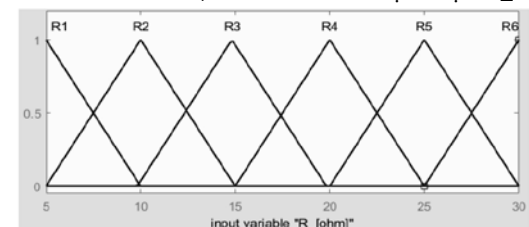
Bảng 1. Tham số bộ biến đổi DC-DC buck

Tham số	Giá trị	Đơn vị đo
Điện áp đầu vào U_{in}	12	V
Điện áp đầu ra U_{out}	5	V
Điện cảm L	50	μH
Tụ điện C	220	μF
Điện trở tải R	5 đến 30 (bình thường là 10)	Ω
Tần số chuyển mạch	22	kHz

- Bộ điều khiển PID (12) ứng với $R=10\Omega$ sẽ là:

$$k_P = 2,5 \times 10^{-4}; k_I = 50; k_D = 5 \times 10^{-7} \quad (15)$$

- Các bộ điều khiển cục bộ tìm được bằng cách sử dụng công cụ GA trong matlab 2019 như sau: Chia dải R thành 5 khoảng ($n=5$) và được mờ hóa như Hình 7, khi đó ta sẽ tìm được 6 bộ PID_GA cục bộ.



Hình 7. Mờ hóa điện trở R thành 6 tập mờ

Chạy thuật toán di truyền với các tham số sau:

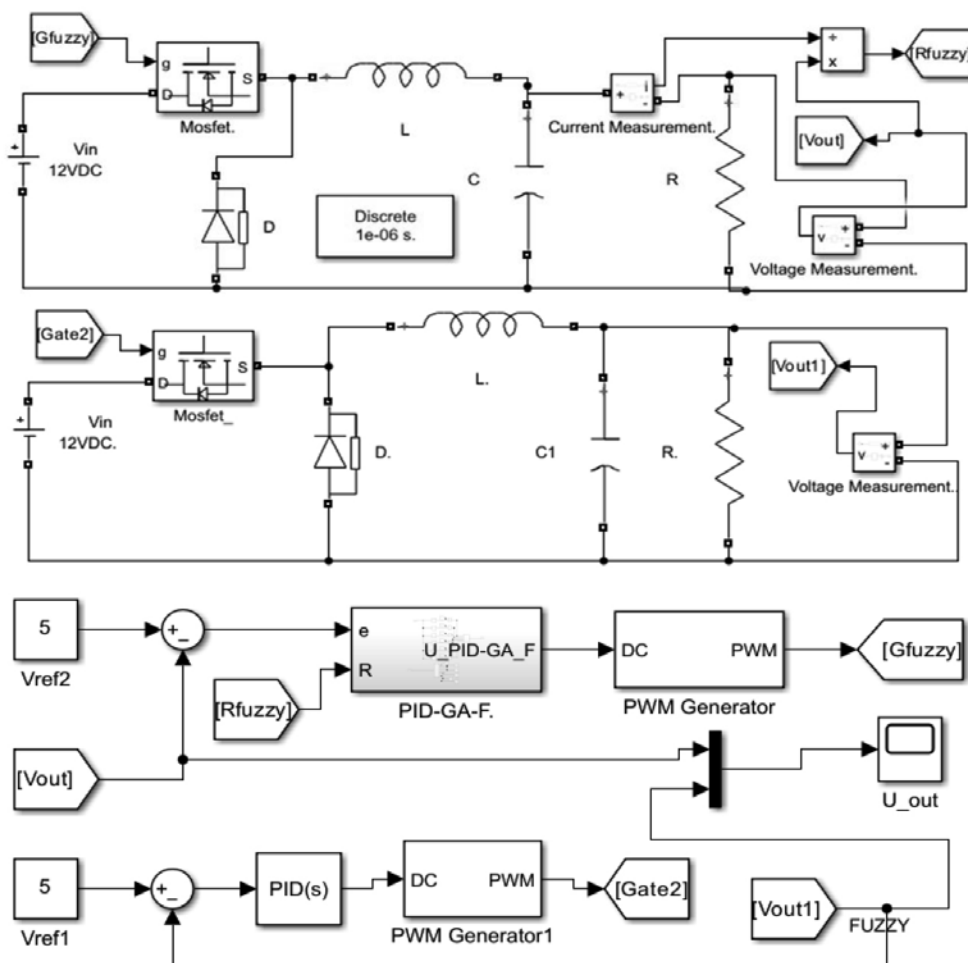
Số thế hệ: 100 thế hệ; kích thước quần thể: 20; phương pháp chọn lọc: Chọn lọc sắp hạng tuyến tính; hàm thích nghi: IAE ($f = \int_0^T |e(t)| dt \rightarrow \min$); phương pháp lai ghép: Lai ghép 2 điểm; tần suất lai ghép: 80%; phương pháp đột biến: Đột biến 1 điểm. Kết quả các bộ PID_GA cục bộ như Bảng 2.

Bảng 2. Tham số bộ điều khiển PID cục bộ theo GA

TT	R[Ω]	PID_GA
1	5	$k_P^{(1)} = 1,84 \times 10^{-2}; k_I^{(1)} = 112,7772; k_D^{(1)} = 1,83 \times 10^{-7}$
2	10	$k_P^{(2)} = 1,67 \times 10^{-2}; k_I^{(2)} = 66,0726; k_D^{(2)} = 1,83 \times 10^{-7}$
3	15	$k_P^{(3)} = 1,77 \times 10^{-2}; k_I^{(3)} = 50,8046; k_D^{(3)} = 1,83 \times 10^{-7}$
4	20	$k_P^{(4)} = 1,74 \times 10^{-2}; k_I^{(4)} = 43,3796; k_D^{(4)} = 1,83 \times 10^{-7}$
5	25	$k_P^{(5)} = 1,84 \times 10^{-2}; k_I^{(5)} = 38,6305; k_D^{(5)} = 1,83 \times 10^{-7}$
6	30	$k_P^{(6)} = 1,84 \times 10^{-2}; k_I^{(6)} = 34,6661; k_D^{(6)} = 1,83 \times 10^{-7}$

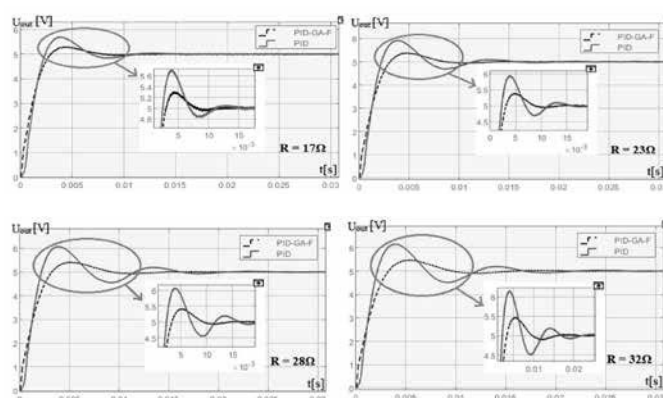
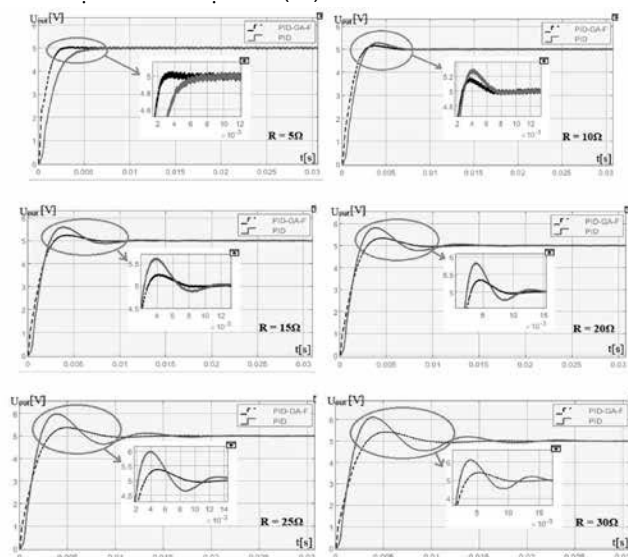
4.2. Mô phỏng và đánh giá

Chương trình mô phỏng như Hình 8. Mô phỏng đồng thời hai HTĐK tương ứng với hai phương án điều khiển: PID và PID-GA-F.



Hình 8. Chương trình mô phỏng các HTĐK bộ biến đổi DC-DC buck

Kết quả mô phỏng với các trường hợp tải khác nhau được chỉ ra trên Hình 9. Với phương án chỉ sử dụng bộ PID theo [2] thì tham số PID được tính toán lại theo (12).



Hình 9. Đáp ứng điều khiển của bộ biến đổi DC-DC buck với giá trị đặt là 5V

Đánh giá hiệu quả của các bộ điều khiển PID, PID-GA-F thông qua các chỉ tiêu độ quá điều chỉnh $\sigma[\%]$, thời gian quá độ $\tau_{qd}[s]$ và tổng trị tuyệt đối của sai số (IAE) được thống kê trong Bảng 3.

Các số liệu từ Bảng 3 cho thấy, bộ PID-GA-F cho chất lượng điều khiển điện áp đầu ra của bộ biến đổi DC-DC buck có thời gian quá độ, độ quá điều chỉnh và IAE là nhỏ hơn so với bộ PID.

Bảng 3. Đánh giá các chỉ tiêu HTĐK sử dụng PID và PID-GA-F

R	PID			PID-GA-F		
	$\sigma[\%]$	$\tau_{qd}[s]$	IAE	$\sigma[\%]$	$\tau_{qd}[s]$	IAE
5	1	$6,6 \times 10^{-3}$	$9,968 \times 10^{-3}$	1	$2,6 \times 10^{-3}$	$5,787 \times 10^{-3}$
10	6	$7,3 \times 10^{-3}$	$8,323 \times 10^{-3}$	4	$6,5 \times 10^{-3}$	$6,354 \times 10^{-3}$
15	12	$11,5 \times 10^{-3}$	$8,720 \times 10^{-3}$	5	$7,5 \times 10^{-3}$	$6,762 \times 10^{-3}$
20	17	19×10^{-3}	$9,542 \times 10^{-3}$	7	12×10^{-3}	$7,404 \times 10^{-3}$
25	20	21×10^{-3}	$10,62 \times 10^{-3}$	8	14×10^{-3}	$7,745 \times 10^{-3}$
23	19	19×10^{-3}	$10,11 \times 10^{-3}$	8	13×10^{-3}	$7,639 \times 10^{-3}$
17	14	16×10^{-3}	$9,041 \times 10^{-3}$	6	12×10^{-3}	$7,025 \times 10^{-3}$
28	21,5	22×10^{-3}	$11,48 \times 10^{-3}$	8,5	$14,5 \times 10^{-3}$	$8,123 \times 10^{-3}$
30	22	26×10^{-3}	$11,82 \times 10^{-3}$	8	16×10^{-3}	$8,290 \times 10^{-3}$
32	23	25×10^{-3}	$12,02 \times 10^{-3}$	9,5	$17,5 \times 10^{-3}$	$8,599 \times 10^{-3}$

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã thiết kế được bộ điều khiển PID-GA-F cho điều khiển bộ biến đổi DC-DC buck. Bộ điều khiển PID-GA-F cho chất lượng điện áp đầu ra của bộ biến đổi DC-DC buck tốt hơn so với phương pháp sử dụng bộ điều khiển PID thông thường do tận dụng được ưu điểm của bộ PID kết hợp với giải thuật GA và logic mờ. Kết quả mô phỏng đánh giá cho thấy bộ điều khiển PID-GA-F mà bài báo đã đề xuất đã nâng cao được chất lượng ổn định điện áp đầu ra cho bộ biến đổi DC-DC buck.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Abdullah Baraeen, Mahmoud Kassas, Md Shafiu Alam, Mohamed, A. Abido (2024), Physics-informed NN-based adaptive backstepping terminal sliding mode control of buck converter for PEM electrolyzer, Heliyon 10, e29254. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29254>.
- [2]. Ahmad Saudi Samosir, Tole Sutikno, Luthfiyatun Mardiyah (March 2023), Simple formula for designing the PID controller of a DC-DC buck converter, International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS), vol.14, no.1, pp.327-336, ISSN: 2088-8694. doi:10.11591/ijpeds.v14.i1.pp327-336.
- [3]. Aseem K, Selva Kumar S. (September, 2020), Closed loop control of DC-DC converters using PID and FOPID controllers, International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS), vol.11, no.3, pp.1323-1332, ISSN:2088-8694. doi: 10.11591/ijpeds.v11.i3.pp1323-1332.
- [4]. Erol Can, Murat Gülnahar (2024), PID Control of Hybrid DC-DC Converter System in Complex Load with Double Reference Time, TEHNIČKI GLASNIK 18, 1, 63-72. <https://doi.org/10.31803/tg-20230427105045>.
- [5]. Jumiyatun Jumiyatun, Mustofa Mustofa (2018), Controlling DC-DC Buck Converter Using Fuzzy-PID with DC motor load, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 156. doi:10.1088/1755-1315/156/1/012013.
- [6]. Ling Kuok Fong, Muhammad Shafiqul Islam, Mohd Ashraf Ahmad (2023), Optimized PID Controller of DC-DC Buck Converter based on Archimedes Optimization Algorithm, International Journal of Robotics and Control Systems, vol.3, no.4, pp.658-672. <https://doi.org/10.31763/ijrcs.v3i4.1113>.
- [7]. Lu Liu, Wei Xing Zheng, Shihong Ding (2020), An Adaptive SOSM Controller Design by Using a Sliding-Mode-Based Filter and Its Application to Buck Converter, IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, vol.67, no.7, pp.2409-2418. doi: 10.1109/TCSI.2020.2973254.

[8]. Lusi Dalai, Sonali Priyadarsanee Parida (2021), Application of DC Converters in Railway System, Dogo Rangsang Research Journal UGC Care Group I Journal ISSN:2347-7180, vol-08 Issue-14, no.04.

[9]. Norsyahidatul Farah Nanyan, Mohd Ashraf Ahmad, Baran Hekimoğlu (2024), Optimal PID controller for the DC-DC buck converter using the improved sine cosine algorithm, Results in Control and Optimization 14, 100352, Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.rico.2023.100352>.

[10]. Sachin Kale, N.R. Bhasme (July-August, 2019), DC To DC Converters and ITS Application for Railway System - A Review, International Journal of Electrical Engineering & Technology (IJEET), vol.10, Issue 4, pp.13-21.

[11]. Shaik Gousia begum, Syed Sarfaraz Nawaz (2021), A study of Comparative analysis of fuzzy logic controller and neural network for dc-dc buck converter, ICMED. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/2021301CMED2021901021>.

[12]. Stefania Cuoghi, Riccardo Mandrioli, Lorenzo Ntogramatzidis and Grandi Gabriele (2020), Multilevel Interleaved Buck Converter for EV Charging: Discrete-Time Model and Direct Control Design, Energies, 13, 466; doi:10.3390/en13020466.

[13]. Xiaoyu Gong, Juntao Fei (2023), Adaptive Neural Backstepping Terminal Sliding Mode Control of a DC-DC Buck Converter, Sensors, 23, 7450. <https://doi.org/10.3390/s23177450>.

Giải pháp nâng cao hiệu quả hệ thống báo hiệu luồng hàng hải cảng Sơn Dương

Solutions to improve the efficiency of the maritime navigation aids system in Son Duong port channel

> TS NGUYỄN XUÂN LONG^{1,*}, KS CHU VĂN HOÀNG²

¹Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

²Công ty TNHH Gang thép Hưng Nghiệp Formosa Hà Tĩnh

*Email: nguyentuanlong@vimaru.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu này tập trung đánh giá hiện trạng quản lý, khai thác và vận hành hệ thống báo hiệu hàng hải trên tuyến luồng Sơn Dương - một trong những khu vực hàng hải trọng điểm của khu vực Bắc Trung Bộ. Trên cơ sở phân tích các yếu tố kỹ thuật, pháp lý và điều kiện khai thác thực tế, nghiên cứu chỉ ra những tồn tại, hạn chế trong cấu trúc, công nghệ và mô hình quản lý báo hiệu hiện nay. Từ đó, bài báo đề xuất nhóm giải pháp mang tính tổng thể, bao gồm: Ứng dụng công nghệ số và hệ thống giám sát từ xa; tiêu chuẩn hóa đặc tính báo hiệu theo khuyến nghị IALA; tăng cường sử dụng năng lượng tái tạo; hoàn thiện quy trình quản lý, bảo trì thiết bị. Kết quả nghiên cứu góp phần nâng cao hiệu quả bảo đảm an toàn hàng hải, giảm thiểu rủi ro tai nạn, tối ưu hóa chi phí vận hành và thúc đẩy hiện đại hóa hạ tầng kỹ thuật hàng hải, phù hợp với định hướng phát triển bền vững và chiến lược biển Việt Nam đến năm 2030.

Từ khóa: Luồng hàng hải Sơn Dương; an toàn hàng hải; IALA.

ABSTRACT

The paper focuses on assessing the current management, operation and performance of the navigation aids system along the Son Duong channel - one of the key maritime areas in the North Central Coast of Vietnam. Based on an analysis of technical, legal, and operational factors, the study identifies existing limitations in the system's structure, technology, and management model. Accordingly, it proposes a set of comprehensive solutions, including the application of digital technology and remote monitoring systems, standardization of navigation aids characteristics in accordance with IALA recommendations, enhancement of renewable energy use and improvement of management and maintenance procedures. The research outcomes contribute to improving maritime safety assurance, minimizing accident risks, optimizing operational costs and promoting the modernization of maritime infrastructure in line with sustainable development goals and Vietnam's Maritime Strategy toward 2030.

Keywords: Son Duong channel; maritime safety; IALA.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong tiến trình thực hiện chiến lược biển Việt Nam đến năm 2030, công tác bảo đảm an toàn hàng hải giữ vai trò then chốt trong phát triển bền vững kinh tế biển và nâng cao năng lực cạnh tranh của hệ thống cảng biển quốc gia. Trong đó, hệ thống báo hiệu hàng hải là một cấu phần kỹ thuật quan trọng, trực tiếp hỗ trợ việc điều tiết, định hướng và đảm bảo an toàn cho tàu thuyền ra vào luồng. Ở Việt Nam, đã có một số nghiên cứu và dự án kỹ thuật liên quan đến hệ thống báo hiệu hàng hải tại các khu vực như kênh Hà Nam (Hải Phòng) [1] và một số tuyến luồng khác, chủ yếu tập trung vào việc lắp đặt các cảm biến thông minh để giám sát thông số của phao;

toàn tuyến luồng Hải Phòng [2] để xuất lắp đặt hệ thống phao để dẫn tàu an toàn cho tuyến luồng hoặc việc thử nghiệm hệ thống VTS trên một số tuyến luồng hàng hải [3] để giúp rút ngắn thời gian tàu hành trình và giảm thiểu phương tiện điều tiết, cảnh giới tại một số khu vực có rủi ro cao về tai nạn hàng hải. Tuy nhiên, các nghiên cứu này mới dừng lại ở phạm vi mô tả kỹ thuật và đánh giá hiện trạng, chưa đi sâu vào phân tích hiệu quả tổng thể của hệ thống báo hiệu dưới góc độ quản lý, vận hành và tích hợp công nghệ số.

Đối với khu vực cảng Sơn Dương - một trong những luồng hàng hải trọng điểm phục vụ hoạt động xuất nhập khẩu của khu kinh tế Vũng Áng Hà Tĩnh, đến nay chưa có công trình khoa học nào

chuyên biệt đánh giá hiệu quả hoạt động và đề xuất giải pháp nâng cấp hệ thống báo hiệu tại tuyến luồng hàng hải cảng Sơn Dương. Thực tế cho thấy, hệ thống báo hiệu tại đây còn tồn tại những hạn chế về tính đồng bộ, khả năng giám sát từ xa và độ tin cậy trong điều kiện thời tiết khắc nghiệt.

Từ thực tiễn đó, bài báo tập trung phân tích toàn diện thực trạng hệ thống báo hiệu luồng hàng hải Sơn Dương, chỉ ra các bất cập trong công tác quản lý, bảo trì và vận hành, đồng thời đề xuất nhóm giải pháp kỹ thuật - quản lý mang tính khả thi nhằm nâng cao hiệu quả hoạt động. Điểm mới của nghiên cứu là kết hợp giữa phân tích định lượng và đánh giá chuyên gia để xây dựng lộ trình hiện đại hóa hệ thống báo hiệu hàng hải phù hợp với điều kiện thực tế, góp phần bảo đảm an toàn, giảm thiểu rủi ro tai nạn và hỗ trợ thực hiện thành công chiến lược biển Việt Nam đến năm 2030.

2. TÀI LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

2.1. Phương pháp nghiên cứu lý thuyết

Phương pháp này được sử dụng nhằm xây dựng cơ sở khoa học cho đề tài. Các văn bản pháp lý, nghị quyết, quyết định của Nhà nước và Bộ Xây dựng liên quan đến công tác bảo đảm an toàn hàng hải được thu thập, tổng hợp và phân tích một cách hệ thống. Ngoài ra, các công trình nghiên cứu trong và ngoài nước về hệ thống báo hiệu hàng hải, những mô hình quản lý tiên tiến cũng như xu hướng hiện đại hóa của ngành cũng được tham khảo. Kết quả của phương pháp này là tạo dựng nền tảng lý luận vững chắc, làm cơ sở định hướng cho việc đánh giá thực trạng và đề xuất các giải pháp khả thi.

2.2. Phương pháp hỏi ý kiến chuyên gia

Đây là phương pháp quan trọng nhằm bổ sung thông tin thực tiễn, làm cầu nối giữa lý thuyết và ứng dụng. Đề tài tiến hành lấy ý kiến từ các chuyên gia, cán bộ quản lý và kỹ sư trực tiếp tham gia quản lý, vận hành hệ thống báo hiệu hàng hải. Các cuộc trao đổi, phỏng vấn và thảo luận tập trung vào những khó khăn trong công tác triển khai, kinh nghiệm xử lý sự cố cũng như định hướng hiện đại hóa hệ thống. Thông tin thu được từ phương pháp này mang tính thực tế cao, giúp khẳng định hoặc điều chỉnh những nhận định từ cơ sở lý thuyết, đồng thời cung cấp thêm kinh nghiệm quý báu để hoàn thiện các giải pháp đề xuất.

2.3. Phương pháp phân tích thống kê

Phương pháp này được áp dụng để xử lý và đánh giá các số liệu thực tế về tình hình hoạt động của hệ thống báo hiệu hàng hải tại luồng Sơn Dương. Các dữ liệu liên quan đến tần suất sự cố, hiệu quả vận hành, chi phí bảo trì và mức độ đáp ứng yêu cầu khai thác được thu thập từ những nguồn đáng tin cậy. Sau đó, số liệu được phân tích, so sánh và tổng hợp nhằm rút ra các nhận định khoa học. Phương pháp thống kê cho phép nhận diện rõ những hạn chế còn tồn tại, đồng thời cung cấp bằng chứng định lượng vững chắc để làm căn cứ đề xuất các giải pháp nâng cấp và hiện đại hóa.

2.4. Tài liệu

Để thực hiện nghiên cứu này, tác giả đã sử dụng các bộ công cụ là tài liệu được thu thập từ các nguồn sau đây:

- Các quy định, quyết định của Cảng vụ Hàng hải Hà Tĩnh [4-5].
- Các kế hoạch, quyết định, quy định, quy chuẩn của Bộ Giao thông vận tải (nay là Bộ Xây dựng), Cục Hàng hải và Đường thủy Việt Nam [6-9].
- Các hướng dẫn của tổ chức IALA [10-11].
- Các số liệu của Tổng công ty Bảo đảm an toàn hàng hải miền Bắc năm 2023 [12].

3. THỰC TRẠNG HỆ THỐNG BÁO HIỆU LUỒNG HÀNG HẢI SƠN DƯƠNG

Cảng Sơn Dương thuộc Khu kinh tế Vũng Áng (Hà Tĩnh) là cảng nước sâu quy mô lớn, giữ vai trò trung tâm trong phát triển công nghiệp nặng và logistics khu vực Bắc Trung Bộ. Tuyến luồng hàng hải Sơn Dương có chiều dài khoảng 9,0 km, độ sâu thiết kế từ -21,0 đến -23,5 m, chiều rộng đáy trung bình 280 - 320 m, được bảo vệ bởi hệ thống đê chắn sóng dài 5.243 m. Đây là luồng hàng hải quốc tế,

có khả năng tiếp nhận tàu trọng tải tới 300.000 DWT, phục vụ trực tiếp hoạt động xuất nhập nguyên liệu của Tập đoàn Formosa Hà Tĩnh và các ngành công nghiệp hỗ trợ.



Hình 1. Cảng Sơn Dương Formosa

Hiện nay, tuyến luồng nằm trong phạm vi quản lý của Cảng vụ Hàng hải Hà Tĩnh (Cục Hàng hải và Đường thủy Việt Nam), chịu trách nhiệm điều tiết, giám sát và bảo đảm an toàn hàng hải trong vùng nước cảng biển Vũng Áng - Sơn Dương. Hệ thống báo hiệu hàng hải trên tuyến được đầu tư đồng bộ theo chuẩn IALA, bao gồm phao nổi, tiêu cố định, đèn tín hiệu [13], bảo đảm hoạt động dẫn tàu an toàn 24/24h.

Cụ thể, các phao hàng hải có đường kính từ 2,4 - 3,0 m, sơn màu và đánh số theo quy phạm quốc tế, bố trí dọc luồng từ vùng biển hở đến khu bến. Đèn báo hiệu sử dụng công nghệ LED năng lượng mặt trời, có tầm hiệu lực 4 - 6 hải lý, chu kỳ chớp nháy đặc trưng theo từng loại báo hiệu.

Ngoài ra, đăng tiêu cố định trên đảo Sơn Dương và khu vực ven bờ hỗ trợ định hướng quang học cho tàu khi tiếp cận cầu cảng. Vùng đón, trả hoa tiêu được bố trí ngoài khơi với bán kính khoảng 1 hải lý từ điểm chuẩn SD-PS, kết hợp với các điểm neo chuyển tải và neo chờ cầu, tạo điều kiện thuận lợi cho hoạt động vận hành cảng trong mọi điều kiện thời tiết.

Tuy nhiên, công tác bảo đảm an toàn hàng hải tại đây vẫn còn một số hạn chế: Thiếu thiết bị giám sát từ xa; hiệu suất chiếu sáng của một số phao giảm trong điều kiện bão, sóng lớn; công tác bảo trì, thay thế thiết bị chưa được tự động hóa. Điều này đặt ra yêu cầu cấp thiết phải nâng cấp, hiện đại hóa hệ thống báo hiệu, hướng tới xây dựng mô hình quản lý thông minh, thân thiện môi trường và phù hợp chuẩn quốc tế, góp phần đảm bảo an toàn hàng hải, giảm rủi ro tai nạn và thúc đẩy phát triển bền vững cảng Sơn Dương trong giai đoạn tới.

4. GIẢI PHÁP NÂNG CAO HIỆU QUẢ KHAI THÁC HỆ THỐNG BÁO HIỆU LUỒNG HÀNG HẢI SƠN DƯƠNG

4.1. Tích hợp AIS và Racon cho hệ thống

Giải pháp này tập trung vào việc nâng cấp và hiện đại hóa hệ thống báo hiệu hàng hải luồng Sơn Dương thông qua việc ứng dụng công nghệ nhận dạng và định vị tự động (AIS - Automatic Identification System) [14] kết hợp với báo hiệu vô tuyến điện Racon. Cụ thể, giải pháp đề xuất lắp đặt 20 đèn báo hiệu tích hợp AIS trên các phao hàng hải và 1 trạm Racon tại phao đầu luồng. Hệ thống này cho phép các báo hiệu truyền dữ liệu vị trí, trạng thái hoạt động và thông tin nhận dạng trực tiếp đến tàu thuyền qua sóng VHF, giúp người điều khiển tàu dễ dàng nhận biết và định hướng chính xác, đặc biệt trong điều kiện sương mù, ban đêm hoặc thời tiết xấu.

Việc áp dụng báo hiệu AIS AtoN và Racon [15] mang lại nhiều lợi ích: Tăng cường khả năng giám sát và quản lý từ xa, giảm thiểu rủi ro mất tín hiệu hoặc trôi dạt phao; hỗ trợ tự động cập nhật dữ liệu quản lý báo hiệu, phục vụ công tác điều phối, bảo trì và vận hành hiệu quả. Đồng thời, hệ thống mới giúp giảm chi phí nhân lực kiểm tra thủ công, nâng cao độ tin cậy và sẵn sàng của mạng lưới báo hiệu.

Bên cạnh đó, việc triển khai đồng bộ các thiết bị AIS và Racon sẽ giúp hệ thống báo hiệu hàng hải Sơn Dương tiệm cận chuẩn quốc tế IALA, đáp ứng yêu cầu hội nhập trong lĩnh vực bảo đảm an toàn hàng hải. Đây là bước tiến quan trọng hướng tới xây dựng hạ

tăng số hóa, thông minh và thân thiện môi trường, góp phần đảm bảo an toàn giao thông đường biển và phát triển bền vững khu vực cảng Sơn Dương - Vũng Áng.

4.2. Sử dụng hệ thống VTS (Vessel Traffic Services) để kiểm soát, hướng dẫn tàu thuyền theo thời gian thực

Nhằm nâng cao năng lực kiểm soát, hướng dẫn tàu thuyền theo thời gian thực trên tuyến luồng hàng hải Sơn Dương - một luồng có mật độ tàu thuyền lớn và thường xuyên đón tàu trọng tải đến 300.000 DWT. Hệ thống VTS là nền tảng công nghệ tổng hợp bao gồm radar giám sát biển, AIS, camera quang học - hồng ngoại, cảm biến gió - sóng - dòng chảy, trạm vô tuyến VHF và máy chủ trung tâm xử lý dữ liệu. Việc triển khai hệ thống này sẽ cho phép cơ quan quản lý theo dõi, phân tích và điều phối giao thông hàng hải một cách chủ động, liên tục và chính xác.

VTS mang lại nhiều lợi ích nổi bật: Hỗ trợ giám sát hành trình và cảnh báo va chạm, điều hướng tàu an toàn trong điều kiện tầm nhìn hạn chế, đồng thời cho phép hướng dẫn tàu ra vào cảng theo thời gian thực, phối hợp chặt chẽ giữa trung tâm điều hành và hoa tiêu qua hệ thống liên lạc số. Khi xảy ra sự cố trên biển như cháy nổ, trôi dạt hoặc va chạm, dữ liệu từ radar và AIS giúp xác định nhanh vị trí và tình trạng tàu, hỗ trợ công tác cứu nạn kịp thời.

Đặc biệt, việc tích hợp VTS với hệ thống báo hiệu hàng hải có AIS AtoN sẽ hình thành mạng lưới quản lý thông minh, giúp phát hiện sớm hư hỏng, trôi dạt phao và tối ưu công tác bảo trì. Mặc dù chi phí đầu tư và đào tạo nhân lực lớn nhưng VTS là giải pháp chiến lược giúp nâng cao an toàn, giảm chi phí vận hành, tăng năng suất khai thác và bảo vệ môi trường biển khu vực Sơn Dương.

4.3. Hiện đại hóa công tác điều hành và quản lý hệ thống báo hiệu luồng hàng hải Sơn Dương

Hướng tới hiện đại hóa công tác điều hành và quản lý hệ thống báo hiệu luồng hàng hải Sơn Dương nhằm đáp ứng yêu cầu ngày càng cao về an toàn, hiệu quả và hội nhập quốc tế trong lĩnh vực hàng hải. Trọng tâm của giải pháp là đầu tư lắp đặt mới các thiết bị báo hiệu tích hợp công nghệ AIS và đèn LED đồng bộ chớp, kết hợp trang bị thiết bị vô tuyến điện Racon tại phao số 0 đầu luồng. Các thiết bị này cho phép tàu thuyền có thể nhận dạng, định vị và xác định hướng di chuyển chính xác thông qua dữ liệu điện tử hiển thị trực tiếp trên radar hoặc màn hình ECDIS, đặc biệt hữu ích khi tầm nhìn bị hạn chế.

Việc áp dụng công nghệ AIS giúp truyền dữ liệu báo hiệu theo thời gian thực đến tàu thuyền và cơ quan quản lý, qua đó nâng cao năng lực giám sát, cảnh báo sự cố và truy vết khi xảy ra va chạm hoặc trôi dạt báo hiệu. Thiết bị Racon hỗ trợ phản xạ tín hiệu radar, giúp thuyền trưởng dễ dàng nhận biết vị trí đầu luồng, tăng độ tin cậy và an toàn hành hải.

Bên cạnh đó, hệ thống phần mềm quản lý dữ liệu báo hiệu được đề xuất tích hợp nhằm giảm thiểu công tác kiểm tra thủ công, tiết kiệm chi phí, nâng cao tính chính xác và hiệu quả quản lý. Giải pháp này không chỉ đáp ứng các tiêu chuẩn kỹ thuật theo QCVN 20:2015/BGTVT và Công ước SOLAS, mà còn góp phần xây dựng một mô hình quản lý báo hiệu hàng hải số hóa, thông minh và thân thiện môi trường, hướng tới mục tiêu phát triển bền vững cho cảng Sơn Dương.

4.4. Nâng cao năng lực quản lý báo hiệu luồng hàng hải của đơn vị quản lý

Tập trung vào nâng cao năng lực quản lý báo hiệu luồng hàng hải Sơn Dương thông qua việc chuẩn hóa và đào tạo chuyên sâu nguồn nhân lực của đơn vị quản lý. Hiện nay, đội ngũ lao động đã được đào tạo cơ bản, song trình độ chuyên sâu, đặc biệt của lực lượng công nhân kỹ thuật trực tiếp vẫn còn hạn chế. Do đó, tác giả đề xuất xây dựng hệ thống tiêu chuẩn cấp bậc công nhân quản lý - vận hành báo hiệu hàng hải theo TCVN 10704:2015, kết hợp đào tạo định kỳ nhằm đảm bảo chất lượng và tính chuyên nghiệp trong vận hành.

Hệ thống này gồm 5 bậc công nhân, được đánh giá dựa trên kiến thức lý thuyết và kỹ năng thực hành, từ bảo dưỡng, sơn phủ, đo

chu kỳ chớp sáng, định vị đến sử dụng thiết bị công nghệ mới như ENC, AIS, Racon. Đồng thời, tiêu chuẩn cho trạm trưởng và cán bộ kỹ thuật được nâng cao, yêu cầu trình độ kỹ sư bảo đảm an toàn hàng hải hoặc các ngành Điện - Điện tử, Điều khiển tàu biển.

Đối với lực lượng quản lý kỹ thuật tại văn phòng, yêu cầu có kiến thức liên ngành (công nghệ thông tin, viễn thông, vật liệu mới), tối thiểu 2 năm kinh nghiệm thực tế, cùng khả năng sử dụng tiếng Anh chuyên ngành để đọc hiểu tài liệu và làm việc với các tổ chức quốc tế. Họ chịu trách nhiệm điều hành, giám sát, thẩm định kỹ thuật, đào tạo và kiểm tra tuân thủ quy chuẩn quốc gia.

Nhờ đó, giải pháp góp phần chuyên nghiệp hóa công tác quản lý báo hiệu, bảo đảm an toàn hàng hải, tiết kiệm chi phí vận hành và khẳng định vị thế của cảng Sơn Dương trong hệ thống hàng hải quốc gia.

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã phân tích toàn diện hiện trạng và đề xuất 4 nhóm giải pháp nhằm nâng cao hiệu quả hệ thống báo hiệu luồng hàng hải Sơn Dương, bao gồm: Tích hợp công nghệ AIS và Racon, triển khai hệ thống quản lý giao thông hàng hải VTS, hiện đại hóa công tác điều hành - quản lý báo hiệu và nâng cao năng lực nguồn nhân lực của đơn vị quản lý. Các giải pháp này giúp tăng cường khả năng giám sát, điều hành và cảnh báo an toàn theo thời gian thực, đồng thời giảm thiểu rủi ro tai nạn, tối ưu chi phí vận hành và nâng cao tính đồng bộ trong quản lý báo hiệu hàng hải. Kết quả nghiên cứu góp phần định hướng hiện đại hóa hạ tầng bảo đảm an toàn hàng hải, đáp ứng yêu cầu phát triển bền vững và hội nhập quốc tế của cảng Sơn Dương trong giai đoạn tới.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Văn Hùng và cs. (2023), Sử dụng bộ điều khiển PLC trong thiết kế hệ thống giám sát phao tiêu hàng hải thông minh, Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải, 75: 26-32.
- [2]. Trình Xuân Tùng (2023), Đề xuất phương pháp dẫn tàu an toàn qua những khu vực tiềm ẩn nhiều nguy cơ tai nạn trên tuyến luồng hàng hải Hải Phòng, Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải, 73, 63-71.
- [3]. Phạm Thanh Tuấn và cs. (2024), Chức năng điều phối, phân luồng giao thông của hệ thống VTS trong giảm thiểu ô nhiễm không khí từ tàu thuyền trên luồng hàng hải Sài Gòn - Vũng Tàu, Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải, 75.9: 2252-2263.
- [4]. Cảng vụ Hàng hải Hà Tĩnh (2024), Báo cáo tổng kết hoạt động hàng hải giai đoạn 2022 - 2024, Hà Tĩnh.
- [5]. Cảng vụ Hàng hải Hà Tĩnh (2022), Thông báo hàng hải số HTH-17-2022: Về thông số kỹ thuật của vùng quay tàu cảng Sơn Dương - Formosa Hà Tĩnh.
- [6]. Thông tư số 75/2015/TT-BGTVT ngày 24/11/2015 của Bộ Giao thông vận tải quy định về Ban hành Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về báo hiệu hàng hải, QCVN 20:2015/BGTVT.
- [7]. Bộ Giao thông vận tải, Thông tư số 42/2019/TT-BGTVT ngày 30/10/2019 Quy định tiêu chí, kiểm tra, giám sát, đánh giá, nghiệm thu chất lượng dịch vụ sự nghiệp công bảo đảm an toàn hàng hải.
- [8]. Bộ Giao thông vận tải (2011), Quyết định số 1089/QĐ-BGTVT ngày 27/5/2011 của Bộ trưởng Bộ Giao thông vận tải về việc thành lập Tổng công ty Bảo đảm an toàn hàng hải miền Bắc.
- [9]. Cục Hàng hải Việt Nam (2021), Báo cáo tổng kết công tác bảo đảm an toàn hàng hải, Hà Nội.
- [10]. IALA (2018), Maritime Buoyage System and Other Aids to Navigation, International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities.
- [11]. IALA (2024), Strategic Vision and Transformation into Intergovernmental Organization, International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities.
- [12]. Tổng công ty Bảo đảm an toàn hàng hải miền Bắc (2023), Thông báo hàng hải về thông số kỹ thuật của luồng hàng hải chuyên dùng vào Bến cảng Sơn Dương - Hà Tĩnh.
- [13]. Zhang, Shasha, Gege Ding and Keqi Li (2024), Margin Optimization Model of Virtual AIS AtoN, International Conference on Artificial Intelligence and Autonomous Transportation, Singapore: Springer Nature Singapore.
- [14]. Fournier, Mélanie, et al. (2018), Past, present, and future of the satellite-based automatic identification system: Areas of applications (2004 - 2016), WMU journal of maritime affairs 17.3: 311-345.
- [15]. Harrison, A (1977), Marine radar beacons, The Journal of Navigation 30.1: 126-134.

Thiết kế bộ điều khiển trượt với thời gian hội tụ hữu hạn cho hệ thống ổn định lắc Rotor Magnus

Finite-time sliding mode controller design for Magnus Rotor roll stabilization system

> **THS PHẠM TẤT TIỆP, PGS.TS NGUYỄN VĂN SƯƠNG***

Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email: nguyenvansuong@vimaru.edu.vn

TÓM TẮT

Trong nghiên cứu này, bộ điều khiển trượt với thời gian hội tụ hữu hạn (Finite-time Sliding Mode Control - FTSMC) được đề xuất nhằm ổn định chuyển động lắc ngang của tàu thủy sử dụng hệ thống rotor Magnus dưới tác động của nhiễu giới hạn từ môi trường biển. Trước hết, mặt trượt phi tuyến dạng lũy thừa kép được xây dựng để đảm bảo quá trình hội tụ nhanh chóng trong thời gian hữu hạn. So với các phương pháp điều khiển tiệm cận, bộ điều khiển đề xuất cho phép trạng thái của hệ thống đạt đến điểm cân bằng trong một khoảng thời gian hữu hạn phụ thuộc vào các tham số của bộ điều khiển, qua đó cải thiện đáng kể tốc độ đáp ứng và khả năng bền vững. Dựa trên lý thuyết ổn định Lyapunov, tính ổn định hữu hạn thời gian của hệ thống kín được chứng minh một cách chặt chẽ. Cuối cùng, mô phỏng số được thực hiện trong môi trường MATLAB để đánh giá hiệu quả và độ bền vững của bộ điều khiển đề xuất so với điều khiển trượt thông thường.

Từ khóa: Điều khiển trượt; hội tụ hữu hạn; rotor Magnus; ổn định lắc tàu; điều khiển phi tuyến.

ABSTRACT

In this study, a finite-time sliding mode control (FTSMC) strategy is proposed for the roll stabilization of ships equipped with a Magnus rotor system under bounded external disturbances. First, a nonlinear dual-power sliding surface is designed to ensure rapid convergence of the roll response within a finite time. Unlike conventional asymptotic controllers, the proposed approach guarantees that the system states converge to equilibrium in a finite settling time that depends solely on controller parameters, thereby improving both the convergence rate and robustness. Based on Lyapunov stability theory, the finite-time stability of the closed-loop system is rigorously proven. Finally, numerical simulations are carried out in MATLAB to validate the performance and robustness of the proposed controller in comparison with the classical sliding mode control method.

Keywords: Sliding mode control; finite-time convergence; Magnus rotor; roll stabilization; nonlinear control.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện tượng lắc ngang của tàu thủy là một trong những dạng dao động ảnh hưởng nghiêm trọng đến an toàn hàng hải, độ ổn định động và hiệu quả khai thác. Dao động lắc lớn gây ra nhiều hệ quả như giảm tuổi thọ kết cấu, ảnh hưởng đến an toàn hàng hóa và gây mệt mỏi cho thuyền viên. Do đó, việc nghiên cứu hệ thống ổn định lắc chủ động có ý nghĩa quan trọng trong công tác khai thác và thiết kế tàu hiện đại.

Các hệ thống ổn định truyền thống như cánh lắc (fin stabilizer), bể ổn định (anti-rolling tank) hoặc vây giảm lắc (bilge keel) đều tồn tại hạn chế: Hiệu quả thấp khi tàu đứng yên, chiếm nhiều không gian và làm tăng lực cản thủy động. Gần đây, rotor Magnus được xem là một giải pháp tiềm năng nhờ khả năng tạo mô-men phản lắc

dựa trên hiệu ứng Magnus, có ưu điểm đơn giản, hiệu quả ở tốc độ thấp và chi phí vận hành thấp [1, 2].

Trong lĩnh vực điều khiển, các nghiên cứu trước chủ yếu sử dụng PID hoặc điều khiển trượt cổ điển (SMC), tuy nhiên các phương pháp này chỉ đảm bảo hội tụ tiệm cận, tức là hệ thống chỉ đạt ổn định khi thời gian tiến đến vô cùng. Điều này làm giảm khả năng đáp ứng nhanh và độ bền vững khi có nhiễu sóng gió [3, 4].

Để khắc phục, bài báo này đề xuất áp dụng điều khiển trượt với thời gian hội tụ hữu hạn (Finite-Time Sliding Mode Control - FTSMC) cho hệ thống ổn định lắc bằng rotor Magnus. Phương pháp FTSMC cho phép trạng thái hệ thống hội tụ về điểm cân bằng trong thời gian hữu hạn, giúp rút ngắn thời gian đáp ứng, tăng độ bền và tính phi tuyến thích nghi.

Mục tiêu nghiên cứu là thiết kế, phân tích ổn định Lyapunov và kiểm nghiệm mô phỏng bộ điều khiển FTSMC cho hệ thống ổn định lắc Magnus. Kết quả cho thấy bộ điều khiển đề xuất giúp giảm đáng kể biên độ dao động và thời gian ổn định, khẳng định tính khả thi và hiệu quả vượt trội của phương pháp so với điều khiển trượt truyền thống.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT CỦA HỆ THỐNG ỔN ĐỊNH LẮC ROTOR MAGNUS

2.1. Lực nâng và mô-men điều khiển sinh ra bởi hiệu ứng Magnus

Hiệu ứng Magnus xuất hiện khi một vật thể quay trong dòng chất lỏng, tạo ra lực nâng vuông góc với hướng dòng chảy. Lực nâng FMF_MFM do rotor tạo ra được xác định dựa trên định lý Kutta-Joukowski như sau [6, 7]:

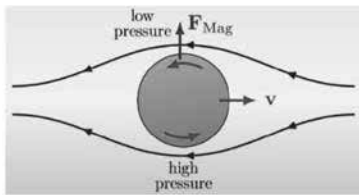
$$F = \rho V \Gamma \quad (1)$$

Trong đó: ρ - Khối lượng riêng của nước biển; V - Vận tốc dòng chảy tương đối; L - Chiều dài rotor và Γ là cường độ xoáy, được tính theo:

$$\Gamma = 2\pi a^2 \omega \quad (2)$$

Với: a - Bán kính và ω - Tốc độ góc quay của rotor. Khi đó, lực nâng được viết lại dưới dạng:

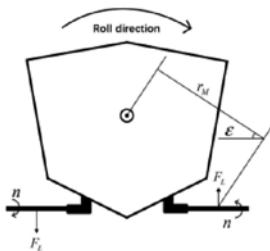
$$F = 2\pi a^2 \rho V \omega \quad (3)$$



Hình 1. Lực nâng do hiệu ứng Magnus tác dụng lên xilanh quay

Nếu tốc độ quay được đo theo vòng/phút (RPM), ta có thể chuyển đổi sang rad/s bằng:

$$\omega = 2\pi \frac{n}{60} \quad (4)$$



Hình 2. Thiết bị ổn định lắc Rotor Magnus được lắp đặt trên tàu

Khi bộ ổn định Rotor Magnus hoạt động thì cánh xi-lanh thực hiện đồng thời cả chuyển động quay và dao động xoay trục, lực nâng sẽ phụ thuộc vào tốc độ góc quay của Rotor ω và tần số góc dao động xoay quanh trục ω_r . Kết hợp với phương trình (Levin et al., 2019) [7, 8], mô-men thiết bị điều khiển ổn định lắc Rotor Magnus được xác định theo công thức [7, 8, 9]:

$$K_M = F_L \cdot r_{rw} \quad (5)$$

Với r_{rw} là cánh tay đòn lực do bộ ổn định Rotor Magnus được xác định bởi công thức:

$$r_{rw} = r_M \cdot \cos \varepsilon \quad (6)$$

2.2. Mô hình động học lắc của tàu khi gắn thiết bị giảm lắc Rotor Magnus

Chuyển động lắc ngang của tàu (roll motion) có thể được biểu diễn bởi phương trình vi phân phi tuyến bậc hai [7, 8]:

$$(M_{xx} + \Delta M_{xx})\ddot{\varphi} + B_1\dot{\varphi} + B_2|\dot{\varphi}|\dot{\varphi} + C_1\varphi + C_2\varphi^3 = -D \cdot GM \cdot \alpha_f \quad (7)$$

Trong đó: B_1, B_2 - Các hệ số dập tắt dao động lắc của tàu; C_2 và C_3 - Các hằng số liên quan đến các thông số của tàu; C_1 - Tích của lượng giãn nước và chiều cao thể vửng ban đầu của tàu; I_x - Mô-men quán tính của thân tàu; ΔI_x - Mô-men quán tính gia tăng; φ - Góc lắc ngang của tàu; D - Lượng giãn nước của tàu; GM - Chiều cao thể vửng ban đầu của tàu; α_f - Góc nghiêng tác động của sóng lên thân tàu.

Khi bộ ổn định giảm lắc ngang Rotor Magnus được lắp đặt đối xứng ở hai bên tàu, mô-men điều khiển K_M có thể được tạo ra để chống lại mô-men nhiễu động $DGM\alpha_f$. Do đó, mô hình chuyển động lắc phi tuyến của tàu có lắp đặt bộ ổn định lắc ngang Rotor Magnus được biểu diễn như sau [4, 7, 8]:

$$(M_{xx} + \Delta M_{xx})\ddot{\varphi} + B_1\dot{\varphi} + B_2|\dot{\varphi}|\dot{\varphi} + C_1\varphi + C_2\varphi^3 = -DGM\alpha_f - 2K_M \quad (8)$$

Trong đó:

$$B_1 = \frac{2n_1 \sqrt{DGM(M_{xx} + \Delta M_{xx})}}{\pi}$$

$$B_2 = \frac{3n_2(I_x + \Delta I_x)}{4}$$

$$C_1 = DGM$$

$$C_2 = \frac{-DGM}{\varphi_n^2}$$

Với φ_n là góc ngập nước, n_1 và n_2 là các hệ số được xác định như

Bảng 1 [10]:

Bảng 1. Bảng xác định hệ số n theo loại tàu

Loại tàu	n_1	n_2
Tàu khách	0,05	0,0125
Tàu hàng	0,03	0,0155
Tàu cá	0,1	0,0140

Biến đổi phương trình (8) ta được:

$$\ddot{\varphi} = -\frac{C_1\varphi}{I_x + \Delta I_x} - \frac{C_2\varphi^3}{I_x + \Delta I_x} - \frac{B_1\dot{\varphi}}{I_x + \Delta I_x} - \frac{B_2|\dot{\varphi}|\dot{\varphi}}{I_x + \Delta I_x} - \frac{2K_M}{I_x + \Delta I_x} - \frac{DGM\alpha_f}{I_x + \Delta I_x} \quad (9)$$

Đặt $x_1 = \varphi$, $\dot{x}_1 = x_2$, $y = x_1$, trong đó x_1 là góc lắc của tàu, tốc độ quay của là tín hiệu đầu vào của hệ thống và y là tín hiệu đầu ra của hệ thống. Viết hệ thống động lực học dưới dạng mô hình không gian trạng thái như sau:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = a_1x_1 + a_2x_1^3 + a_4x_2 + a_5x_2|x_2| + a_6n + a_7\alpha_f \\ y = x_1 \end{cases} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} a_1 &= -\frac{C_1}{I_x + \Delta I_x}; a_2 = -\frac{C_2}{I_x + \Delta I_x}; a_4 = -\frac{B_1}{I_x + \Delta I_x}; \\ a_5 &= -\frac{B_2}{I_x + \Delta I_x}; a_6 = -\frac{2K_M}{I_x + \Delta I_x}; a_7 = -\frac{DGM}{I_x + \Delta I_x} \end{aligned}$$

Trong hệ thống (10), đặt $d_w = a_7\alpha_f$ chính là nhiễu tác động do sóng biển, như vậy hệ thức (8) được viết lại dưới dạng:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = f(x_1, x_2) + bn + d_w \\ y = x_1 \end{cases} \quad (11)$$

Trong hệ (11), b là hệ số điều khiển, n là tín hiệu điều khiển cần được thiết kế sao cho góc lắc và tốc độ lắc của tàu bám theo giá trị mong muốn bằng không; $f(x_1, x_2) = a_1x_1 + a_2x_1^3 + a_4x_2 + a_5x_2|x_2|$ là hàm động lực học của mô hình động học lắc ngang của tàu.

- *Giả thiết 1:* Các giá trị góc lắc và tốc độ lắc được quan sát và cung cấp cho hệ thống tính toán tín hiệu điều khiển. Các cảm biến được trang bị để xác định liên tục các giá trị này và đưa về bộ điều khiển để tính toán tín hiệu điều khiển.

- *Giả thiết 2:* Hàm động lực học của hệ thống $f(x)$ là hoàn toàn biết rõ.

- *Giả thiết 3:* Nhiễu ngoại cảnh d_w bị chặn và thỏa mãn điều kiện $|d_w| < \bar{D}$, $\bar{D} = \text{const} > 0$, trong đó $\bar{D}$ là giá trị được xác định.

Bổ đề 1. Xét hệ thống $\dot{x} = f(x, t)$, trong đó x là biến trạng thái của hệ thống. Hệ thống được gọi là ổn định thời gian hữu hạn [14] nếu ta chọn được hàm Lyapunov thỏa mãn điều kiện:

$$V(x, t) > 0 \text{ và } \dot{V} \leq -\alpha V^\beta(x, t)$$

Trong đó: $\alpha > 0, 0 < \beta < 1$

3. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT VỚI THỜI GIAN ỔN ĐỊNH HỮU HẠN CHO HỆ THỐNG ỔN ĐỊNH GIẢM LẮC ROTOR MAGNUS

Trong nghiên cứu này, một bộ điều khiển trượt với thời gian hội tụ hữu hạn cho hệ thống ổn định lắc tàu thủy sử dụng rotor Magnus được phát triển theo các bước sau:

- **Bước 1:** Gọi sai số góc lắc, sai số tốc độ lắc và sai số gia tốc lắc theo thời gian lần lượt là:

$$\begin{cases} e_1 = x_1 - x_{1d} = x_1 \\ e_2 = x_2 - x_{2d} = x_2 \\ \dot{e}_2 = \dot{x}_2 - \dot{x}_{2d} = \dot{x}_2 \end{cases} \quad (12)$$

Trong công thức (12), x_1 , x_2 , và $\dot{x}_2$ tương ứng là giá trị góc lắc, tốc độ lắc và gia tốc lắc thực tế của tàu. Trong khi đó, x_{1d} , x_{2d} , và $\dot{x}_{2d}$ là giá trị góc lắc, tốc độ lắc và gia tốc lắc mong muốn đều bằng 0 nên các sai số góc lắc, tốc độ lắc và gia tốc lắc chính là các trạng thái x_1 , x_2 , và $\dot{x}_2$

- **Bước 2:** Thiết kế mặt trượt để hệ thống ổn định với thời gian hữu hạn

Để ổn định hệ thống trong thời gian hữu hạn, mặt trượt dừng với thời gian hội tụ hữu hạn được đề xuất dựa trên các đề xuất của nghiên cứu [11, 12] như sau:

$$s = x_2 + \beta_1 x_1^{p_1} \quad (13)$$

Trong đó: $\beta_1 > 0$, q_1 và p_1 là các số nguyên dương lẻ thỏa mãn điều kiện $q_1 < p_1$.

- **Bước 3:** Thiết kế hàm điều khiển u

Lấy đạo hàm bậc nhất theo thời gian của mặt trượt dừng nhanh (14), ta thu được:

$$\dot{s} = f(x) + u + d_w + \beta_1 \frac{q_1 - 1}{p_1} x_1^{p_1 - 1} \dot{x}_1 \quad (14)$$

Tín hiệu điều khiển được lựa chọn như sau:

$$u = -(f(x) + \beta_1 \frac{q_1 - 1}{p_1} x_1^{p_1 - 1} \dot{x}_1 + (D + \eta) \text{sgn}(s)) \quad (15)$$

- **Bước 4:** Phân tích tính ổn định.

Hàm Lyapunov được chọn để ổn định hệ thống như sau:

$$V = \frac{1}{2} s^2 \quad (16)$$

Lấy đạo hàm bậc nhất của hàm Lyapunov (16) và thay phương trình đạo hàm mặt trượt (14) vào ta thu được:

$$\dot{V} = s\dot{s} = s(f(x) + u + d_w + \beta_1 \frac{q_1 - 1}{p_1} x_1^{p_1 - 1} \dot{x}_1) \quad (17)$$

Thay luật điều khiển (15) vào phương trình (17) và kết hợp với giả thiết 3, ta có:

$$\dot{V} = s(-(D + \eta) \text{sgn}(s) + d_w) = -(D + \eta)|s| + d_w s \leq -\eta|s| \quad (18)$$

Viết lại bất đẳng thức (16) dưới dạng sau:

$$\dot{V} \leq -\eta|s| = -\eta(2^{\frac{1}{2}})(\frac{1}{2}s^2)^{\frac{1}{2}} = -\alpha V^{\ell}(x) \quad (19)$$

Trong đó: $\alpha = \eta(2)^{\frac{1}{2}}$ và $\ell = \frac{1}{2}$.

Như vậy, theo bất đẳng thức (19) và bổ đề (1), hệ thống ổn định lắc tàu thủy với bộ điều khiển trượt dừng (15) sẽ ổn định với thời gian hội tụ hữu hạn. Hệ thống sẽ có thời gian xác lập (settling time) ngắn hơn so với thời gian xác lập của hệ thống với bộ điều khiển trượt ổn định tiệm cận.

4. MÔ PHỎNG SỐ

Trong phần này, mô phỏng số được thực hiện nhằm chứng

minh hiệu quả của bộ điều khiển đề xuất trong môi trường MATLAB 2020a. Phương pháp Euler được sử dụng để giải các phương trình vi phân, với thời gian lấy mẫu là 0,001 giây và tổng thời gian mô phỏng là 100 giây. Các tham số của mô hình động lực học tàu thủy được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Thông số động học của tàu và hệ thống ổn định Rotor Magnus

Thông số	ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Chiều dài xi-lanh Magnus	L	3	M
Chiều dài toàn bộ của tàu	Loa	76	M
Lượng giãn nước	D	1,4573x10 ⁶	Kg
Chiều cao mạn tàu	H	4,6	M
Chiều cao thể vũng	GM	1,15	M
Chiều rộng tàu	B	11,5	M
Mô-men quán tính	$I_x + \Delta I_x$	3,438x10 ⁶	kg.m
Góc ngập nước	θ_f	39° = 0,68 rad	
Hệ số thử nghiệm	n_1	0,031	
Hệ số thử nghiệm	n_2	0,0152	

Để kiểm nghiệm ưu điểm của bộ điều khiển trượt thích nghi thời gian hội tụ cố định cho hệ thống ổn định lắc rotor magnus với bất định trong mô hình động học và nhiễu ngoại cảnh, trong nghiên cứu này mô phỏng được thực hiện với ba trạng thái ban đầu của tàu thủy. Cụ thể:

- Trạng thái 1: Góc lắc 0,2 rad tốc độ lắc 0 rad/s.

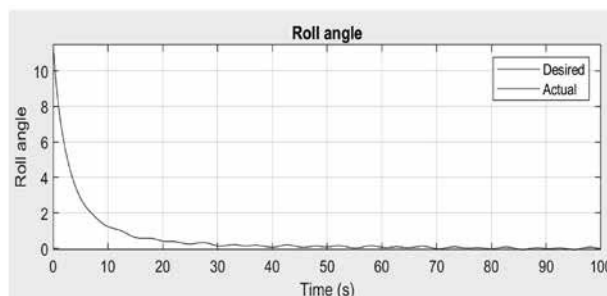
- Trạng thái 2: Góc lắc 0,15 rad tốc độ lắc 0,1 rad/s.

- Trạng thái 3: Góc lắc -0,15 rad tốc độ lắc 0 rad/s.

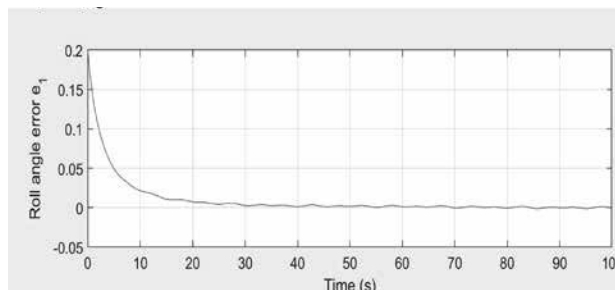
Tham số của bộ điều khiển trong phương trình (15) được sử dụng trong mô phỏng:

$$q_1 = 3, \beta_1 = \frac{3}{2}, p_1 = 5$$

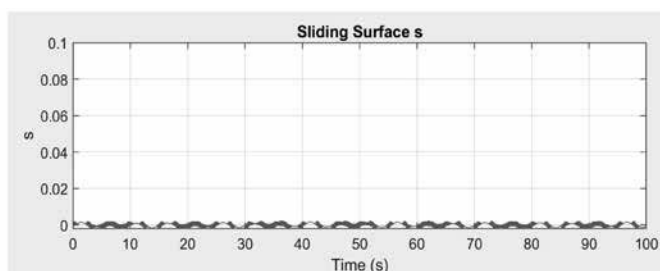
Trường hợp 1: Góc lắc 0,2 rad tốc độ lắc 0 rad/s.



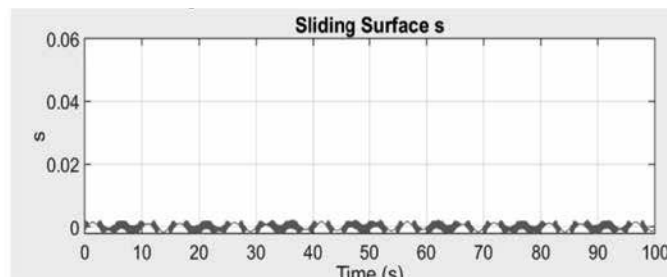
Hình 3. Kết quả mô phỏng góc lắc được ổn định bởi bộ điều khiển trượt với thời gian ổn định hữu hạn ở trạng thái 1



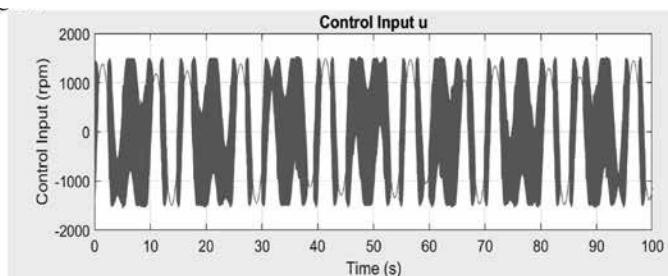
Hình 4. Kết quả mô phỏng sai số góc lắc được ổn định bởi bộ điều khiển trượt với thời gian ổn định hữu hạn ở trạng thái 1



Hình 5. Kết quả mô phỏng bề mặt trượt của bộ điều khiển trượt với thời gian ổn định hữu hạn ở trạng thái 1



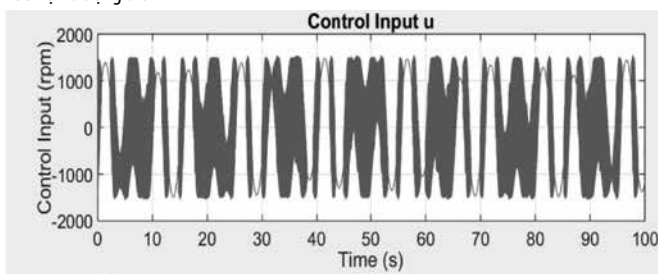
Hình 9. Kết quả mô phỏng bề mặt trượt của bộ điều khiển trượt với thời gian ổn định hữu hạn ở trạng thái 2



Hình 6. Kết quả mô phỏng tín hiệu điều khiển tốc độ quay của rotor của bộ điều khiển trượt với thời gian ổn định hữu hạn ở trạng thái 1

Ở trạng thái ban đầu góc lắc 0,2 rad và tốc độ lắc 0 rad/s, kết quả mô phỏng cho thấy bộ điều khiển để xuất đảm bảo khả năng giảm lắc nhanh và ổn định. Góc lắc được triệt tiêu về xấp xỉ 0 chỉ sau khoảng 15 - 20 giây và không xuất hiện dao động quá độ lớn (Hình 3). Sai số bám theo giảm nhanh và duy trì ở mức rất nhỏ trong toàn bộ thời gian mô phỏng (Hình 4). Mặt trượt hội tụ về gần 0 sớm, chứng tỏ điều kiện trượt được thiết lập đúng theo lý thuyết kiểm soát trượt (Hình 5). Tín hiệu điều khiển biến đổi liên tục nhưng đảm bảo duy trì khả năng điều khiển hiệu quả (Hình 6). Nhìn chung, bộ điều khiển cho hiệu suất ổn định hóa lắc tàu tốt trong trường hợp này.

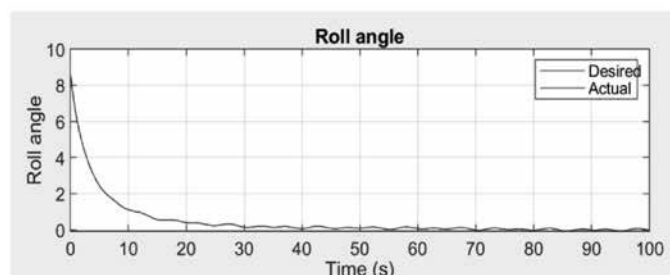
Trường hợp 2: Góc lắc 0,15 rad tốc độ lắc 0,1 rad/s.



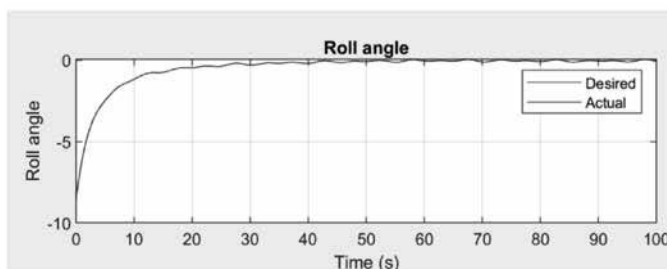
Hình 10. Kết quả mô phỏng tín hiệu điều khiển tốc độ quay của rotor của bộ điều khiển trượt với thời gian ổn định hữu hạn ở trạng thái 1

Với điều kiện ban đầu khác và có thêm tốc độ lắc ban đầu, kết quả mô phỏng cho thấy bộ điều khiển vẫn duy trì hiệu quả giảm lắc nhanh và ổn định. Góc lắc được triệt tiêu về gần 0 chỉ trong khoảng 15 giây và không xuất hiện hiện tượng dao động quá độ đáng kể (Hình 7). Sai số bám theo giảm rất nhanh và chỉ dao động nhỏ quanh giá trị mong muốn trong suốt thời gian mô phỏng (Hình 8). Mặt trượt hội tụ về gần 0 sớm, bảo đảm hệ luôn hoạt động trong chế độ trượt (Hình 9). Tín hiệu điều khiển biến thiên liên tục nhưng vẫn đảm bảo duy trì năng lực ổn định hóa tốt (Hình 10). Do vậy, bộ điều khiển thể hiện tính bền vững và khả năng áp dụng trong điều kiện góc lắc ban đầu lớn hơn.

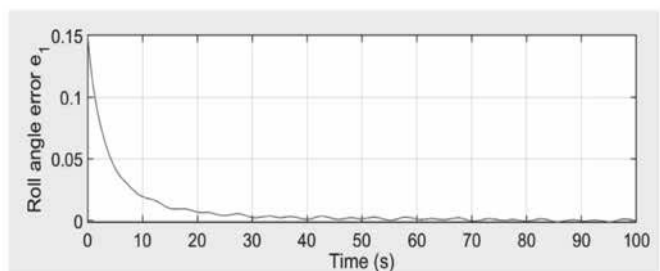
Trường hợp 3: Góc lắc -0,15 rad, tốc độ lắc 0 rad/s.



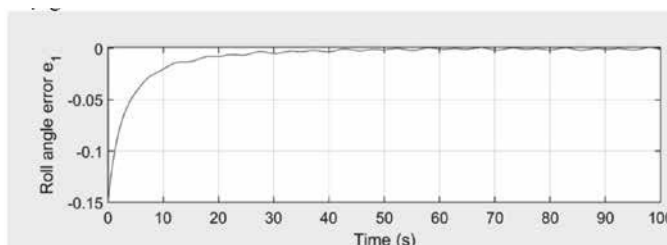
Hình 7. Kết quả mô phỏng góc lắc được ổn định bởi bộ điều khiển trượt với thời gian ổn định hữu hạn ở trạng thái 2



Hình 11. Kết quả mô phỏng góc lắc được ổn định bởi bộ điều khiển trượt với thời gian ổn định hữu hạn ở trạng thái 3



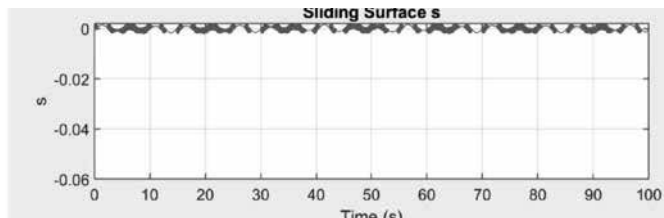
Hình 8. Kết quả mô phỏng sai số góc lắc được ổn định bởi bộ điều khiển trượt với thời gian ổn định hữu hạn ở trạng thái 2



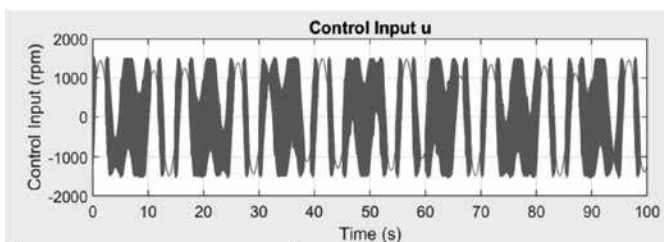
Hình 12. Kết quả mô phỏng sai số góc lắc được ổn định bởi bộ điều khiển trượt với thời gian ổn định hữu hạn ở trạng thái 3

Ở điều kiện ban đầu với góc lắc âm -0,15 rad và tốc độ lắc 0 rad/s, bộ điều khiển vẫn đảm bảo khả năng ổn định hóa tốt và đưa góc lắc về vị trí mong muốn sau khoảng 15 giây (Hình 11). Đáp ứng

không xuất hiện dao động quá độ lớn và duy trì dao động nhỏ xung quanh giá trị chuẩn trong suốt quá trình mô phỏng (Hình 12). Sai số bám theo được triệt tiêu nhanh và giao động xấp xỉ quanh 0, chứng tỏ tính bám theo ổn định và chính xác (Hình 13). Mặt trượt hội tụ về gần 0 khá sớm, đảm bảo hệ hoạt động trong vùng trượt đúng như thiết kế. Tín hiệu điều khiển có biên độ thay đổi lớn nhưng vẫn duy trì được khả năng khử lắc hiệu quả (Hình 13). Điều này cho thấy bộ điều khiển chịu được thay đổi trạng thái ban đầu và có tính bền vững cao.



Hình 13. Kết quả mô phỏng bề mặt trượt của bộ điều khiển trượt với thời gian ổn định hữu hạn ở trạng thái 3



Hình 14. Kết quả mô phỏng tín hiệu điều khiển tốc độ quay của rotor của bộ điều khiển trượt với thời gian ổn định hữu hạn ở trạng thái 3

Như vậy, Kết quả mô phỏng trên ba trạng thái ban đầu khác nhau cho thấy bộ điều khiển được đề xuất đảm bảo khả năng ổn định hóa lắc tàu nhanh và chính xác trong mọi điều kiện khảo sát. Góc lắc đều được triệt tiêu về gần 0 trong thời gian ngắn, sai số bám theo nhỏ và không xuất hiện dao động quá độ đáng kể. Mặt trượt luôn hội tụ về 0 sớm, chứng minh tính đúng đắn của luật điều khiển và bảo đảm hệ hoạt động trong chế độ trượt trong suốt quá trình. Tín hiệu điều khiển có biên độ thay đổi lớn nhưng đáp ứng kịp thời giúp duy trì độ ổn định cao. Nhìn chung, bộ điều khiển cho thấy tính bền vững, hiệu quả và khả năng thích nghi tốt với sự thay đổi của trạng thái ban đầu của hệ thống tàu.

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã phát triển và đề xuất một bộ điều khiển trượt nhằm ổn định và giảm lắc tàu sử dụng thiết bị Rotor Magnus trong điều kiện tồn tại bất định tham số và nhiễu môi trường. Bộ điều khiển được xây dựng dựa trên mô hình động lực học đầy đủ của hệ thống, đồng thời đảm bảo tính bền vững theo lý thuyết Lyapunov. Ba kịch bản mô phỏng với trạng thái ban đầu khác nhau đã được thực hiện để xác minh hiệu quả thuật toán.

Kết quả mô phỏng chứng minh bộ điều khiển có khả năng triệt tiêu góc lắc nhanh, sai số xác lập nhỏ và đảm bảo hệ luôn hoạt động trong chế độ trượt. Điều này cho thấy đề xuất là một giải pháp khả thi và hiệu quả trong việc tăng cường độ ổn định ngang cho tàu biển. Đóng góp của nghiên cứu nằm ở chỗ khai thác thiết bị Rotor Magnus như một cơ cấu giảm lắc mới, tiềm năng, đồng thời cung cấp một chiến lược điều khiển mạnh mẽ, phù hợp triển khai thực tế trên các phương tiện hàng hải hiện đại.

Tuy nhiên, nghiên cứu hiện mới dừng lại ở mô phỏng và chưa đánh giá ảnh hưởng của các giới hạn cơ cấu chấp hành, cũng như chưa xét đến điều kiện biến động phức tạp (tác động kết hợp của

sóng - gió - dòng chảy). Do đó, trong các hướng phát triển tương lai, nhóm tác giả sẽ tập trung giảm rung điều khiển, tích hợp ràng buộc tốc độ quay rotor, mở rộng mô phỏng sang các trạng thái nhiễu đa dạng hơn và tiến hành thử nghiệm thực tế trên mô hình để xác minh hiệu năng của bộ điều khiển.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. TS Nguyễn Văn Sướng (2021), Tự động điều khiển tàu thủy, NXB. Hàng hải.
- [2]. Biying Liu (2023), Study on modern ship stabilizer technology. Science, Engineering and Technology, vol.72, pp.788-792.
- [3]. Do Manh Tuan (2014), Sliding Mode Learning Control and its Applications, PhD theses, Swinburne University of Technology Melbourne, Australia, pp.20-22.
- [4]. L. Liang, P. Zhao, S. Zhang, J. Yuan and Y. Wen (2017), Simulation and analysis of Magnus rotating roll stabilizer at low speed, Ocean Eng., vol.142, pp.491-500.
- [5]. L. Liang, Y. Jiang and P. Zhao (2018), Backstepping sliding mode control design for Magnus rotating roll stabilizer at low speed, in Proc, IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA), IEEE, Changchun, China, pp.1937-1942.
- [6]. Jian-feng Lin, Yang Han, Yang Han (2020), Yu-min Su and Zuo-tian Zhang "Magnus anti-rolling system for ships at zero speed" Transactions on Transportation Electrification - Reg 2020 -12-1203.R1.
- [7]. Ozturk, D. (2020), Performance of a Magnus effect-based cylindrical roll stabilizer on a full-scale Motor-yacht. Ocean. Eng. 218, 108247.
- [8]. Mingxiao Sun, Houxin Lian, Tiantian Luan, Xiaoshuang Zhang, Baoqi Wu (2023), Hanxu Wang "Lift analysis and anti - rolling control system design of Magnus rotating roll", Ocean Engineering 290.
- [9]. Mingxiao Sun, HongyuYe, Jianxu Liu, Tiantian Luan, Houxin Lian (2025), Analysis of lift-drag characteristics and design of collaborative anti-rolling control system for variable-diameter Magnus rotating roll stabilizer, Ocean Engineering 324.
- [10]. Saim Ahmed, Ahmad Taher, Ibraheem Kasim Ibradheem (2024), Nonlinear system controlled using novel adaptive fixed-time SMC, AIMS Mathematics, vol.9(4), 7895-7916.
- [11]. Fuat Alarçın, Hakan Demirel, M. Ertugrul Su, Ahmet Yurtseven (2014), Modified pid control design for roll fin actuator of nonlinear modelling of the fishing boat, POLISH MARITIME RESEARCH, vol.21, 3-8.
- [12]. Feng, Y., Yu, X., Man, Zh. (2002), Non-singular terminal sliding mode control of rigid manipulators, Automatica. 38, 2159-2167.
- [13]. Feng, Y., Yu, X., Man, Zh. (2013), On nonsingular terminal sliding-mode control of nonlinear systems, Automatica. 49, 1715-1722.
- [14]. Liu J., Wang, X. (2011), Advanced Sliding Control for Mechanical System.

Đánh giá tác động rủi ro trong giai đoạn thực hiện dự án xây dựng chung cư cao tầng tại Hà Nội bằng mô hình SEM

Assessment of risk impacts during the implementation phase of high-rise residential construction projects in Hanoi using the SEM model

> **THS.NCS NGUYỄN THỊ PHƯƠNG**

Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội; Email: phuong.phamminhvu@gmail.com

TÓM TẮT

Nghiên cứu phân tích tác động của các nhóm rủi ro đến mức độ kém hiệu quả trong giai đoạn thực hiện dự án chung cư cao tầng tại Hà Nội thông qua mô hình cấu trúc tuyến tính SEM. Dữ liệu khảo sát gồm 325 phản hồi với 43 biến quan sát, được xử lý qua các bước Cronbach's Alpha, EFA, CFA và kiểm định PLS-SEM. Kết quả cho thấy các thang đo đạt độ tin cậy cao, có giá trị hội tụ và phân biệt tốt, đồng thời mô hình phù hợp với dữ liệu. Tất cả 12 giả thuyết (H1-H12) đều có ý nghĩa thống kê. Trong đó, rủi ro thiết kế và thi công ($\beta = 0.746$) cùng rủi ro tài chính ($\beta = 0.723$) có ảnh hưởng mạnh nhất tới mức độ kém hiệu quả, tiếp theo là rủi ro quản lý, pháp lý, môi trường, thị trường và cạnh tranh. Mô hình cũng chỉ ra các quan hệ gián tiếp, thể hiện cơ chế lan truyền rủi ro giữa các nhóm. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất một tiếp cận quản lý rủi ro tích hợp nhằm kiểm soát sớm các yếu tố kỹ thuật và tài chính, đồng thời tăng cường năng lực điều hành và khả năng thích ứng với thị trường, góp phần nâng cao hiệu quả thực hiện các dự án chung cư cao tầng tại Việt Nam.

Từ khóa: Rủi ro, quản lý rủi ro, quản lý dự án, dự án xây dựng, chung cư cao tầng, mô hình SEM.

ABSTRACT

This study analyzes the impacts of risk groups on the inefficiency level during the implementation phase of high-rise residential construction projects in Hanoi using the Structural Equation Modeling (SEM) approach. Survey data were collected from 325 responses with 43 observed variables and processed through Cronbach's Alpha, EFA, CFA, and PLS-SEM analysis. The results indicate that the measurement scales achieved reliability, convergent, and discriminant validity, and the overall model fits the data well. All twelve hypotheses (H1-H12) are statistically significant. Design and construction risks ($\beta = 0.746$) and financial risks ($\beta = 0.723$) exert the strongest effects on project inefficiency, followed by management, legal, environmental, and market-competition risks. The model also reveals indirect relationships that reflect the mechanism of risk propagation among groups. Accordingly, the study proposes an integrated risk management approach to enable early control of technical and financial factors, strengthen managerial capacity and market adaptability, thereby enhancing the implementation performance of high-rise residential projects in Vietnam.

Keywords: Risk, risk management, project management, construction project, High-Rise residential building, structural equation modeling (SEM).

1. GIỚI THIỆU

Tại Việt Nam, ngành Xây dựng là một ngành kinh tế trọng điểm, đóng góp đáng kể vào GDP và sử dụng một lực lượng lao động lớn. Quá trình đô thị hóa nhanh chóng, đặc biệt tại các thành phố lớn như Hà Nội và TP.HCM, đã kéo theo sự bùng nổ các dự án chung cư cao tầng, một loại hình công trình có ảnh hưởng sâu rộng đến đời sống đô thị. Tuy nhiên, thực tiễn cho thấy hầu hết các dự án lớn đều gặp phải những rủi ro nghiêm trọng liên quan đến tiến độ, chi phí và chất lượng công trình (Phạm Hồng Luân & Nguyễn Minh Trức, 2012; Trần Quang Trường & Đỗ Tiến Sỹ, 2021). Trong khi đó, công tác quản lý rủi ro hiện nay vẫn chủ yếu dựa trên phương pháp định tính, kinh nghiệm và các công cụ đơn giản, chưa phản ánh được hết mối

quan hệ nhân quả phức tạp giữa các nhóm rủi ro cũng như tác động gián tiếp của các yếu tố tiềm ẩn.

Mô hình cấu trúc tuyến tính (Structural Equation Modeling - SEM) đã được áp dụng hiệu quả trên thế giới trong phân tích rủi ro xây dựng nhờ khả năng mô hình hóa đồng thời nhiều mối quan hệ nhân quả, kể cả với các biến tiềm ẩn. Các công trình của Cheng et al. (2020), Molenaar et al. (2017) và Batra (2023) cho thấy SEM là công cụ hữu hiệu để lượng hóa mối quan hệ nhân quả giữa các nhóm rủi ro và hiệu quả dự án. Việc ứng dụng SEM giúp làm rõ mức độ tác động trực tiếp và gián tiếp của từng nhóm rủi ro, đồng thời cung cấp cơ sở khoa học cho việc xếp hạng mức độ nghiêm trọng và ưu tiên kiểm soát. Phần lớn các nghiên cứu này được triển khai trong bối cảnh các quốc gia

phát triển hoặc thị trường mới nổi như Trung Quốc, Malaysia và UAE, nên chưa phản ánh đầy đủ đặc thù của hoạt động xây dựng tại Việt Nam. Hiện nay, ở Việt Nam chưa có nghiên cứu nào vận dụng SEM cho quản lý rủi ro dự án chung cư cao tầng đặc biệt là trong giai đoạn thực hiện dự án, khiến việc định lượng và kiểm chứng tác động tổng hợp của các yếu tố rủi ro còn hạn chế. Nghiên cứu này nhằm lấp khoảng trống đó, đồng thời cung cấp công cụ phân tích hiện đại để nhận diện, lượng hóa và đánh giá tác động của các nhóm rủi ro chủ yếu, làm cơ sở xây dựng chiến lược quản lý rủi ro hiệu quả, nâng cao chất lượng và hiệu quả đầu tư xây dựng.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Mẫu nghiên cứu và thu thập dữ liệu

Cỡ mẫu trong nghiên cứu được xác định theo khuyến nghị của Hair et al. (2017) với công thức $n \geq 5m$, trong đó n là số quan sát tối thiểu và m là số biến quan sát. Với 43 biến, cỡ mẫu tối thiểu cần thiết là 215. Nghiên cứu đã thu thập vượt mức này nhằm tăng độ tin cậy và khả năng khái quát hóa kết quả. Khảo sát được tiến hành với bốn nhóm đối tượng chính: (i) chủ đầu tư; (ii) nhà thầu; (iii) đơn vị tư vấn; (iv) cơ quan quản lý nhà nước và cơ quan chuyên môn về xây dựng.

Nghiên cứu sử dụng lấy mẫu thuận tiện, tập trung vào các chuyên gia, chủ đầu tư và nhà thầu có kinh nghiệm trong lĩnh vực chung cư cao tầng. Bảng câu hỏi được phát theo các hình thức: (i) gửi trực tiếp, (ii) khảo sát trực tuyến và (iii) gửi qua email. Cách tiếp cận này giúp đa dạng hóa nguồn dữ liệu và nâng cao tỷ lệ phản hồi.

2.2. Xây dựng thang đo và biến quan sát

Các rủi ro được xác định thông qua khảo sát thực tế tại 24 dự án chung cư cao tầng ở Hà Nội và tham khảo các nghiên cứu trong và ngoài nước như: Li & Chen (2018); Jarkas & Haupt (2015); El-Sayegh & Mansour (2019); Wong & Ng (2018); Goh & Ng (2020); Goh & Abdul-Rahman (2020); Rahman & Alharthi (2019); Wang et al. (2011); Kareem & Kijewski (2002); Krawinkler (1995); Trần Quang Trường & Đỗ Tiến Sỹ (2021); Phạm Hồng Luân & Nguyễn Minh Trục (2012); Phạm Hồng Luân & Phạm Văn Linh (2021); Nguyễn Anh Thư & Võ Đình Khanh (2021); Nguyễn Dương Đăng Khoa et al. (2023); Hoàng Văn Phương & Trương Đức Long (2021) v.v. Các yếu tố này sau đó được tham vấn và hiệu chỉnh bởi chuyên gia, qua đó xác định 43 rủi ro chủ yếu, được phân thành 6 nhóm, thể hiện tại Bảng 1.

Bảng 1. Các rủi ro trong giai đoạn thực hiện dự án xây dựng chung cư cao tầng tại TP Hà Nội

TT	Ký hiệu	Rủi ro
I	Rủi ro về pháp lý	
1	RR1	Giấy tờ pháp lý không đầy đủ (giấy phép đấu nối hạ tầng; hồ sơ môi trường; v.v)
2	RR2	Vướng mắc giải phóng mặt bằng
3	RR3	Thay đổi quy hoạch trong quá trình thực hiện dự án
4	RR4	Vi phạm quy định xây dựng dẫn đến bị đình chỉ thi công
5	RR5	Tranh chấp pháp lý giữa các bên liên quan (chủ đầu tư, nhà thầu, cư dân xung quanh)
6	RR6	Thủ tục pháp lý kéo dài (quy trình xét duyệt chậm, phải bổ sung nhiều lần, ảnh hưởng tiến độ)
7	RR7	Sự thay đổi chính sách pháp luật giữa quá trình thực hiện
II	Rủi ro về tài chính	
1	RR8	Thiếu vốn hoặc nguồn tài chính không ổn định
2	RR9	Chi phí phát sinh ngoài kế hoạch (bao gồm tất cả các chi phí không dự kiến trước)
3	RR10	Tăng giá vật liệu xây dựng vượt dự toán
4	RR11	Khó khăn trong việc huy động vốn từ khách hàng do thị trường chững lại
5	RR12	Tranh chấp tài chính giữa chủ đầu tư và nhà thầu (thanh toán, quyết toán hợp đồng)
6	RR13	Không kiểm soát được dòng tiền trong quá trình thực hiện dự án (dòng tiền đã có nhưng không được quản lý hiệu quả)
7	RR14	Thiếu kiểm soát tiến độ thanh toán cho nhà thầu phụ
III	Rủi ro về thiết kế và thi công	
1	RR15	Thiết kế không phù hợp hoặc thay đổi thiết kế trong quá trình thực hiện
2	RR16	Vi phạm tiêu chuẩn kỹ thuật trong thi công
3	RR17	Thiếu nhân lực hoặc năng lực thi công yếu
4	RR18	Thiếu dự phòng tải trọng trong thiết kế ban đầu
5	RR19	Không đánh giá đầy đủ tác động của gió mạnh ở độ cao lớn
6	RR20	Hiệu ứng nhiệt độ lớn ở bề mặt tường kính
7	RR21	Chất lượng vật liệu không đạt yêu cầu kỹ thuật
8	RR22	Lựa chọn công nghệ thi công không phù hợp
9	RR23	Nguy cơ xảy ra nứt, lún, lỗi kết cấu hoặc sụp đổ trong quá trình thi công
10	RR24	Thiếu đồng bộ trong thi công các hạng mục như điện, nước, viễn thông, PCCC
11	RR25	Khả năng xảy ra tai nạn lao động do thiếu an toàn tại công trường
IV	Rủi ro về môi trường	
1	RR26	Ô nhiễm tiếng ồn và bụi trong quá trình thi công
2	RR27	Không xử lý triệt để chất thải xây dựng
3	RR28	Nguy cơ ngập úng do hệ thống thoát nước không hoàn chỉnh
4	RR29	Tác động tiêu cực đến hệ sinh thái hoặc môi trường xung quanh
5	RR30	Phát sinh tranh chấp về môi trường với khu dân cư xung quanh (nước thải, rác thải)
V	Rủi ro về quản lý	
1	RR31	Thiếu năng lực quản lý dự án, không phối hợp hiệu quả giữa các bên liên quan.

TT	Ký hiệu	Rủi ro
2	RR32	Thiếu minh bạch trong quy trình lựa chọn nhà thầu hoặc phân bổ hợp đồng
3	RR33	Tranh chấp hợp đồng giữa các bên (chủ đầu tư, nhà thầu, nhà cung cấp)
4	RR34	Chậm trễ trong kiểm tra và nghiệm thu các giai đoạn thi công
5	RR35	Không giám sát chặt chẽ tiến độ và chất lượng thi công
6	RR36	Xung đột lợi ích giữa các bên quản lý cấp cao dự án
7	RR37	Sự thay đổi nhân sự chủ chốt của dự án gây gián đoạn tiến độ và chất lượng
8	RR38	Truyền thông kém hoặc thông tin sai lệch giữa các bộ phận nội bộ dự án
9	RR39	Thiếu chương trình đào tạo và nâng cao năng lực định kỳ cho nhân sự dự án
VI	Rủi ro về thị trường và cạnh tranh	
1	RR40	Thị trường bất động sản biến động, làm giảm sức mua từ khách hàng
2	RR41	Cạnh tranh gay gắt từ các dự án khác trong cùng phân khúc
3	RR42	Uy tín chủ đầu tư bị ảnh hưởng, làm giảm niềm tin của khách hàng (xuất phát từ các vấn đề nội tại như chậm tiến độ, chất lượng kém, hoặc thiếu minh bạch trong thực hiện cam kết)
4	RR43	Truyền thông tiêu cực hoặc thông tin sai lệch ảnh hưởng đến hình ảnh dự án

2.3. Thiết lập mô hình giả thuyết

- Cấu trúc biến số trong mô hình SEM

Trong mô hình SEM của nghiên cứu, có 6 biến tiềm ẩn độc lập đại diện cho các nhóm rủi ro trong giai đoạn thực hiện dự án, được đo lường bằng 43 biến quan sát (RR1-RR43). Biến phụ thuộc là mức độ kém hiệu quả của dự án (KHQ), đo bằng ba biến quan sát TG (tiến độ), CP (chi phí), CL (chất lượng) - phản ánh tác động tiêu cực tổng thể của rủi ro.

Tất cả các biến được đánh giá theo thang đo Likert 5 mức, từ “Không ảnh hưởng” (1) đến “Ảnh hưởng rất mạnh” (5), giá trị cao thể hiện tác động tiêu cực lớn hơn.

Cấu trúc biến và thang đo này là cơ sở để thiết lập mô hình giả thuyết, kiểm định độ tin cậy, phân tích nhân tố khẳng định (CFA) và

xây dựng mô hình SEM ở các bước tiếp theo.

- Thiết lập mô hình giả thuyết

Căn cứ vào tổng quan lý thuyết và các nghiên cứu thực nghiệm trong và ngoài nước (Molenaar et al., 2017; Cheng et al., 2020), nghiên cứu giả định rằng: mức độ tác động tiêu cực của các nhóm rủi ro càng lớn thì mức độ kém hiệu quả của dự án càng cao thể hiện ở việc tiến độ bị kéo dài, chi phí bị vượt, hoặc chất lượng công trình bị suy giảm.

Do đó, mô hình giả thuyết được thiết lập với 12 giả thuyết nghiên cứu, tương ứng với sáu nhóm rủi ro, cụ thể tại Bảng 2.

Bảng 2. Hệ thống giả thuyết và mối quan hệ giữa các nhóm rủi ro trong giai đoạn thực hiện dự án chung cư cao tầng

Giả thuyết	Mối quan hệ	Diễn giải
H1 ⁺	PL → KHQ	Rủi ro pháp lý (PL) làm gia tăng mức độ kém hiệu quả của dự án.
H2 ⁺	TC → KHQ	Rủi ro về tài chính (TC) làm gia tăng mức độ kém hiệu quả của dự án.
H3 ⁺	TK → KHQ	Rủi ro về thiết kế và thi công (TK) làm gia tăng mức độ kém hiệu quả của dự án.
H4 ⁺	MT → KHQ	Rủi ro về môi trường (MT) làm gia tăng mức độ kém hiệu quả của dự án
H5 ⁺	QL → KHQ	Rủi ro về quản lý (QL) làm gia tăng mức độ kém hiệu quả của dự án
H6 ⁺	CT → KHQ	Rủi ro về thị trường và cạnh tranh (CT) làm gia tăng mức độ kém hiệu quả của dự án
H7 ⁺	PL → TC	Rủi ro về pháp lý (PL) làm gia tăng rủi ro tài chính (TC), do các vấn đề pháp lý có thể gây chậm trễ giải ngân, phát sinh chi phí không dự kiến, và ảnh hưởng đến khả năng huy động vốn.
H8 ⁺	PL → CT	Rủi ro về pháp lý (PL) làm gia tăng rủi ro về thị trường và cạnh tranh (CT), khi các tranh chấp pháp lý, thủ tục kéo dài hoặc thay đổi quy hoạch gây mất uy tín chủ đầu tư và làm suy giảm niềm tin khách hàng
H9 ⁺	QL → TC	Rủi ro về quản lý (QL) làm gia tăng rủi ro tài chính (TC), bởi việc thiếu năng lực quản lý, giám sát yếu kém dẫn đến kiểm soát tài chính không hiệu quả, gây phát sinh chi phí và trì hoãn thanh toán.
H10 ⁺	QL → TK	Rủi ro về quản lý (QL) làm gia tăng rủi ro về thiết kế và thi công (TK), khi thiếu phối hợp, giám sát và quản lý kỹ thuật dẫn đến sai sót thiết kế, thi công kém chất lượng hoặc mất an toàn lao động.
H11 ⁺	MT → CT	Rủi ro về môi trường (MT) làm gia tăng rủi ro về thị trường và cạnh tranh (CT), do ô nhiễm, tranh chấp môi trường gây phản ứng từ cộng đồng, ảnh hưởng hình ảnh dự án và giảm sức hút thị trường
H12 ⁺	TC → CT	Rủi ro về tài chính (TC) làm gia tăng rủi ro về thị trường và cạnh tranh (CT), khi các khó khăn tài chính làm trì hoãn dự án, giảm khả năng cạnh tranh về tiến độ, chất lượng và truyền thông thị trường

Ghi chú: Dấu ‘+’ sau mã giả thuyết thể hiện kỳ vọng hệ số $\beta > 0$, nghĩa là quan hệ cùng chiều giữa biến độc lập và biến phụ thuộc theo cách mã hoá thang đo.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Kiểm định độ tin cậy thang đo Cronbach’s Alpha

Theo Cronbach (1951), hệ số này phản ánh mức độ tương quan giữa các mục hỏi trong cùng một thang đo, từ đó giúp xác định xem các biến có đủ độ tin cậy để tiếp tục đưa vào các bước phân tích nhân tố và mô hình hóa cấu trúc tuyến tính hay không. Kết quả Cronbach’s Alpha đạt giá trị 0.896 cho toàn bộ 43 biến quan sát, thang đo được xem là có độ tin cậy

rất cao. Theo ngưỡng đánh giá được đề xuất bởi Hair et al. (2017), hệ số này cần lớn hơn 0.7 để đảm bảo tính nhất quán nội tại của thang đo.

3.3. Kết quả phân tích nhân tố khám phá (EFA)

Sau khi kiểm tra độ tin cậy của thang đo bằng hệ số Cronbach’s Alpha và hệ số tương quan biến tổng, các biến quan sát được đưa vào phân tích nhân tố khám phá (EFA) để xác định cấu trúc tiềm ẩn giữa các nhóm biến.

Bảng 3. KMO and Bartlett's Test/ Kiểm định KMO và Bartlett

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy/ Chỉ số KMO (Mức độ phù hợp của mẫu)	0.889
Bartlett's Test of Sphericity/ Kiểm định Bartlett về tính cầu phương	Approx. Chi-Square/ Giá trị xấp xỉ Chi-bình phương (χ^2)
	df/ Bậc tự do
	Sig./ Giá trị p (p-value)

Kết quả kiểm định cho thấy chỉ số KMO = 0.889 (> 0.5) và kiểm định Bartlett có $p = 0.000$ (< 0.05), chứng tỏ dữ liệu phù hợp để thực hiện EFA và các biến có tương quan tuyến tính đủ mạnh.

Phân tích EFA bằng phương pháp Principal Component Analysis với xoay Promax cho ra 6 nhân tố có Eigenvalue > 1 , tổng phương sai trích đạt 56.875%, vượt ngưỡng 50%, thể hiện khả năng giải thích tốt của mô hình.

Các hệ số tải nhân tố > 0.65 và các biến quan sát tập trung rõ ràng vào từng nhóm, đảm bảo tính hội tụ và phân biệt tốt. Như vậy, thang đo đạt độ tin cậy và giá trị, đủ điều kiện để đưa vào phân tích nhân tố khẳng định (CFA) ở bước tiếp theo.

3.4. Phân tích nhân tố khẳng định (CFA)

Phân tích nhân tố khẳng định (Confirmatory Factor Analysis - CFA) được sử dụng nhằm kiểm định độ phù hợp của mô hình đo lường, đánh giá xem các biến quan sát có thực sự phản ánh tốt các khái niệm tiềm ẩn hay không. CFA trong nghiên cứu được thực hiện trên nền tảng PLS-SEM với sự hỗ trợ của phần mềm SmartPLS. Kết quả phân tích CFA được thể hiện tại Bảng 4.

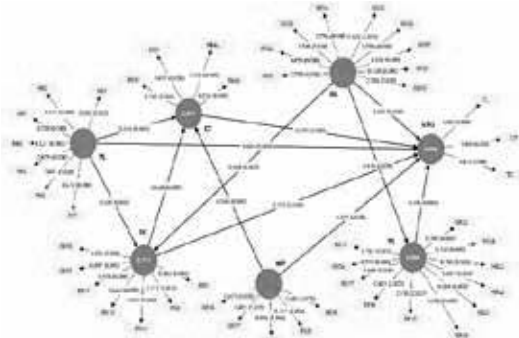
Bảng 4. Độ tin cậy và giá trị hội tụ của các biến tiềm ẩn

Biến tiềm ẩn	Cronbach's Alpha	Composite reliability (rho _a)/ Độ tin cậy tổng hợp (Rho _A)	Composite Reliability (pC)/ Độ tin cậy tổng hợp (CR)	Average Variance Extracted (AVE)/Phương sai trích trung bình (AVE)
CT	0.728	0.745	0.841	0.622
HQ	0.734	0.778	0.848	0.653
MT	0.743	0.760	0.859	0.641
PL	0.711	0.732	0.834	0.609
QL	0.726	0.748	0.846	0.634
TC	0.737	0.754	0.852	0.667
TK	0.749	0.768	0.861	0.645

Từ Bảng 4 có thể thấy, tất cả các biến tiềm ẩn đều có Cronbach's Alpha > 0.7 và AVE > 0.6 , chứng tỏ thang đo đạt độ tin cậy nội tại và giá trị hội tụ tốt. Đồng thời, Composite Reliability (pC) của tất cả các biến đều vượt ngưỡng 0.8, thể hiện độ tin cậy tổng hợp vững chắc.

3.5. Kiểm định độ phù hợp của mô hình SEM

Để kiểm định mô hình nghiên cứu, phương pháp PLS-SEM (Partial Least Squares - Structural Equation Modeling) được áp dụng với sự hỗ trợ của phần mềm SmartPLS. Việc đánh giá mô hình được thực hiện thông qua một số chỉ số quan trọng, bao gồm: hệ số đường dẫn (β), hệ số tải ngoài (λ), hệ số xác định (R^2) và giá trị p (p-value).



Hình 1. Mô hình cấu trúc SEM sau khi kiểm định

Hình 1 trình bày kết quả chạy mô hình SEM, thể hiện rõ các hệ số đường dẫn giữa các biến tiềm ẩn, giá trị R^2 của các biến phụ thuộc cũng như mức ý nghĩa thống kê (p-value) của từng mối quan hệ. Kết quả cho thấy:

- Các chỉ số đánh giá độ phù hợp của mô hình đều đạt yêu cầu, khẳng định mức độ giải thích và độ tin cậy của các biến tiềm ẩn là tốt.

- Các hệ số xác định (R^2) của các biến phụ thuộc đều ở mức từ trung bình đến rất mạnh: TC = 0.771, CT = 0.671, TK = 0.898 và HQ = 0.650. Điều này cho thấy mô hình có khả năng giải thích tốt phương sai của các biến phụ thuộc.

- Các hệ số tải chuẩn hóa (outer loadings) của biến quan sát đều > 0.6 và có ý nghĩa thống kê ($p < 0.05$), chứng tỏ các biến đo lường phản ánh tốt các khái niệm tiềm ẩn.

Từ các kết quả trên, cho thấy mô hình giả thuyết đạt độ phù hợp tốt, đáp ứng đầy đủ các tiêu chí về độ tin cậy, giá trị hội tụ, phân biệt và khả năng giải thích, qua đó khẳng định mô hình là phù hợp để phân tích các mối quan hệ trong nghiên cứu.

4. THẢO LUẬN VỀ KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

4.1. Thảo luận kết quả mô hình SEM

Trong mô hình SEM, hệ số đường dẫn chuẩn hóa β phản ánh mức độ ảnh hưởng giữa các biến tiềm ẩn. Mức độ ảnh hưởng được phân loại như sau:

- $\beta > 0.70$: ảnh hưởng rất mạnh
- $\beta > 0.50$: ảnh hưởng mạnh
- $0.30 \leq \beta \leq 0.50$: ảnh hưởng trung bình
- $\beta < 0.30$: ảnh hưởng yếu

Kết quả cho thấy (Hình 1) các nhóm rủi ro chính trong mô hình đều có hệ số $\beta > 0.60$, cho thấy tất cả đều thuộc ngưỡng ảnh hưởng mạnh theo khung đánh giá nói trên. Tuy nhiên, mức độ ảnh hưởng cụ thể của từng nhóm là khác nhau, phản ánh mức độ ưu tiên và tính chất nguy cơ cần kiểm soát khác biệt.

Bảng 5. Mức độ ảnh hưởng tiêu cực của các nhóm rủi ro đến hiệu quả dự án

Nhóm rủi ro	Hệ số β	Mức độ ảnh hưởng	Xếp hạng
Thiết kế và thi công (TK)	0.746	Ảnh hưởng rất mạnh	1
Tài chính (TC)	0.723	Ảnh hưởng rất mạnh	2
Quản lý (QL)	0.682	Ảnh hưởng mạnh	3
Pháp lý (PL)	0.664	Ảnh hưởng mạnh	4
Môi trường (MT)	0.657	Ảnh hưởng mạnh	5
Thị trường và cạnh tranh (CT)	0.625	Ảnh hưởng mạnh	6

Kết quả mô hình SEM cho thấy hai nhóm rủi ro thiết kế và thi công (TK), tài chính (TC) có tác động tiêu cực mạnh nhất đến hiệu quả dự án. Kết quả này tương đồng với Li & Chen (2018) và Molenaar et al. (2017) khi xác định đây là các yếu tố có hệ số tác động cao nhất làm suy giảm hiệu quả thực hiện dự án. Các nhóm rủi ro quản lý (QL), pháp lý (PL) và môi trường (MT) cũng thể hiện mức ảnh hưởng tiêu cực đáng kể. Điều này phù hợp với nhận định của Wong & Ng (2018) và El-Sayegh & Mansour (2019) rằng các yếu tố này góp phần lan truyền rủi ro, làm gia tăng khả năng kém hiệu quả trong toàn bộ vòng đời dự án.

4.2. Giải pháp kiểm soát các nhóm rủi ro có tác động tiêu cực lớn đến hiệu quả dự án

Kết quả mô hình SEM cho thấy các nhóm rủi ro trong dự án xây dựng chung cư cao tầng có mối quan hệ tương tác và lan truyền lẫn nhau. Do đó, việc kiểm soát rủi ro cần được thực hiện một cách tổng thể và tích hợp, kết hợp đồng bộ các biện pháp phòng ngừa, giám sát và ứng phó trong suốt các giai đoạn chuẩn bị, thiết kế và thi công.

Mục tiêu của các giải pháp là giảm khả năng phát sinh, hạn chế khuếch đại và ngăn ngừa lan truyền rủi ro giữa các nhóm, đặc biệt tập trung vào những nhóm có tác động tiêu cực mạnh nhất đến hiệu quả dự án.

(1) Nhóm rủi ro thiết kế và thi công (TK)

Rủi ro thiết kế và thi công là yếu tố có tác động lớn nhất đến hiệu quả dự án. Để kiểm soát, cần nâng cao chất lượng công tác thiết kế và quản lý thi công, thông qua:

- Thiết lập quy trình thẩm tra, thẩm định thiết kế nhiều cấp, có sự tham gia của đơn vị tư vấn độc lập.
- Ứng dụng công nghệ BIM (Building Information Modeling) để phát hiện xung đột kỹ thuật, tối ưu phương án thi công và giảm thiểu thay đổi phát sinh.

• Tăng cường giám sát tác giả, kiểm định chất lượng vật liệu, và kiểm tra hiện trường định kỳ nhằm đảm bảo tuân thủ thiết kế.

• Thiết lập cơ chế cập nhật thông tin thiết kế theo thời gian thực giữa chủ đầu tư, tư vấn và nhà thầu để giảm rủi ro sai khác giữa bản vẽ và thi công thực tế.

(2) Nhóm rủi ro tài chính (TC)

Rủi ro tài chính ảnh hưởng mạnh thứ hai và có tính chi phối đến nhiều nhóm rủi ro khác. Giải pháp trọng tâm là đảm bảo tính ổn định và minh bạch của dòng vốn:

- Xây dựng kế hoạch dòng tiền hợp lý cho toàn bộ vòng đời dự án, trong đó có quỹ dự phòng rủi ro (contingency fund) để ứng phó biến động giá và chậm thanh toán.
- Thực hiện đánh giá năng lực tài chính của các đối tác (nhà thầu, nhà cung ứng, đơn vị tín dụng) để tránh đứt gãy nguồn vốn.
- Đa dạng hóa kênh huy động vốn và tăng cường kiểm soát chi phí qua hệ thống quản lý tài chính điện tử, giúp chủ động cân đối nguồn lực và giảm rủi ro thanh khoản.

(3) Nhóm rủi ro quản lý (QL)

Rủi ro quản lý có đặc điểm vừa trực tiếp, vừa gián tiếp ảnh hưởng đến các nhóm khác, nên giải pháp cần hướng tới tăng cường năng lực tổ chức và phối hợp hệ thống:

- Hoàn thiện cơ cấu tổ chức của ban quản lý dự án, phân định rõ trách nhiệm và quyền hạn giữa các bên.
- Áp dụng hệ thống quản lý tích hợp để đồng bộ hóa thông tin, giám sát tiến độ và chất lượng.
- Đào tạo chuyên sâu cho đội ngũ quản lý về quản trị rủi ro dự án, kỹ năng ra quyết định và xử lý xung đột, nhằm nâng cao năng lực phản ứng linh hoạt trước biến động.

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã xây dựng một khung tiếp cận hệ thống nhằm nhận diện, cấu trúc hóa và lượng hóa tác động của các nhóm rủi ro trong giai đoạn thực hiện dự án chung cư cao tầng tại Hà Nội, thông qua mô hình cấu trúc tuyến tính SEM. Cách tiếp cận này giúp chuyển hóa công tác quản lý rủi ro từ phương pháp dựa trên kinh nghiệm và đánh giá định tính sang phân tích định lượng có cơ sở khoa học, phù hợp với xu hướng nghiên cứu và thực hành quốc tế, đồng thời thích ứng với đặc thù của ngành xây dựng tại Việt Nam.

Kết quả nghiên cứu tạo lập nền tảng dữ liệu và mô hình phân tích định lượng, cho phép kiểm chứng mối quan hệ nhân quả giữa các nhóm rủi ro và mức độ kém hiệu quả của dự án trong giai đoạn thực hiện. Nhờ đó, nghiên cứu không chỉ giúp nhận diện các nhóm rủi ro có ảnh hưởng trọng yếu mà còn hỗ trợ ra quyết định quản lý theo hướng chủ động, minh bạch và dựa trên bằng chứng. Khung phân tích được đề xuất có thể được áp dụng và mở rộng cho các loại hình dự án xây dựng tương tự trong bối cảnh đô thị Việt Nam, góp phần nâng cao hiệu quả quản lý rủi ro và đảm bảo tính bền vững trong thực hiện các dự án xây dựng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Batra, Sachin (2023), Use of PLS-SEM Approach in the Construction Management

Research, Springer, Germany. DOI: 10.1007/978-3-031-34589-0_7.

[2]. Cheng, Fang, Wang, Hong, & Li, Jian (2020), Application of Structural Equation Modeling in Construction Risk Management, *Journal of Construction Engineering and Management*, 146(5), 04020035. DOI:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001838.

[3]. Cronbach, L. J. (1951), Coefficient alpha and the internal structure of tests, *Psychometrika*, 16(3), 297–334. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02310555>.

[4]. El-Sayegh, S. M., & Mansour, M. H. (2019), Risk Assessment and Allocation in High-Rise Construction Projects in the UAE, *Journal of Management in Engineering*, 35(5), 04019019. DOI:1943-5479.0000719.

[5]. Goh, C. S., & Abdul-Rahman, H. (2020), Applying Risk Management Practices in Malaysian High-Rise Construction Projects, *Journal of Construction in Developing Countries*, 25(1), 1-20. <https://doi.org/10.21315/jcdc2020.25.1.1>.

[6]. Goh, Yang Miang; Ng, Pei Shan (2020), "Safety Risks in High-Rise Construction Projects: Lessons from Singapore," *Safety Science*. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.104551>.

[7]. Hair, Joseph F., Black, William C., Babin, Barry J., & Anderson, Rolph E. (2019). *Multivariate Data Analysis* (8th ed.), England: Pearson Prentice. ISBN: 9781473756540.

[8]. Hoàng Văn Phương và Trương Đức Long (2021), Xây dựng mô hình hỗ trợ System Dynamics và quản lý rủi ro trong giai đoạn chuẩn bị thực hiện dự án nhà cao tầng của chủ đầu tư tại TP.HCM, *Tạp chí Đại học Bách khoa TP.HCM*. ISSN 2734-9888.

[9]. Jarkas, A. M., & Haupt, C. G. (2015), Risk Factors in High-Rise Building Construction: A Review of Literature, *The Open Construction and Building Technology Journal*, 9, 239-249. ISSN: 1874-8368.

[10]. Joseph F. Hair, G. Tomas M. Hult, Christian M. Ringle, Marko Sarstedt (2017), *A Primer on Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM)*, SAGE Publications, London. ISBN: 9781483377445.

[11]. Kaiser, H. F. (1960), The application of electronic computers to factor analysis, *Educational and Psychological Measurement*, 20(1), 141-151. DOI: 10.1177/001316446002000116.

[12]. Kareem, A., & Kijewski, T. (2002), Risk Assessment of Tall Buildings Subjected to Wind-Induced Vibrations, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 90(12-15), 2019-2030. DOI: 10.1016/S0167-6105(02)00270-6.

[13]. Krawinkler, H. K. H. (1995), Seismic Risk Management for High-Rise Buildings, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 24(5), 709-732. DOI: 10.1002/eqe.4290240505.

[14]. Li, Y., & Chen, P. H. (2018), Risk Management for High-Rise Building Projects in China: A Case Study, *Journal of Construction Engineering and Management*, 144(12), 05018014. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001576.

[15]. Molenaar, Keith R., Washington, Simon P., & Diekmann, James E. (2017), Risk Management in Construction Contracts: A Structural Equation Modeling Approach, *Construction Management and Economics*, 35(2), 123-138. DOI: 10.1080/01446193.2016.1248987.

[16]. Nguyễn Anh Thư, Võ Đình Khanh (2021), Đánh giá ảnh hưởng của rủi ro trong giai đoạn thiết kế đến hiệu quả dự án thực hiện theo hình thức thiết kế - thi công ở Việt Nam, *Tạp chí Người Xây dựng*, Số 384/2021. ISSN 27349942.

[17]. Nguyễn Dương Đăng Khoa, Đỗ Tiến Sỹ, Phạm Thanh Hải (2023), Nhận định những rủi ro chính khi thi công nhà cao tầng trong giai đoạn ngầm khi áp dụng phân tích mạng lưới xã hội Social Network Analysis (SNA), *Tạp chí Vật liệu và xây dựng - Bộ Xây dựng*, 13(02), Trang 79 - Trang 83. ISSN 1859-381X, DOI: 10.54772

[18]. Phạm Hồng Luân và Nguyễn Minh Trực (2012), Quản lý rủi ro trong quá trình thi công tăng hầm ở các dự án nhà cao tầng, *Tạp chí Người Xây dựng*, số 6&7, 2012. ISSN 27349942.

[19]. Phạm Hồng Luân, Phạm Văn Linh (2021), Mối liên hệ giữa các nhân tố ảnh hưởng đến quá trình thẩm định dự án và thiết kế sau cơ sở của cơ quan chuyên môn về xây dựng, *Tạp chí Người Xây dựng*, Số 11+12/2021. ISSN 27349942.

[20]. Rahman, Md. Mizanur; Alharthi, Mohammed (2019), "Environmental Risks in High-Rise Building Projects in Urban Areas," *Environmental Impact Assessment Review*. DOI: 10.1016/j.eiar.2019.106299.

[21]. Richard P. Bagozzi, Youjae Yi (1988), *On the evaluation of structural equation models*, Springer, New York. DOI: 10.1007/BF02723327.

[22]. Trần Quang Trường, Đỗ Tiến Sỹ (2021), Thiết lập bản đồ rủi ro trong các giai đoạn thi công xây dựng nhà cao tầng tại Việt Nam, *Tạp chí Người Xây dựng*. ISSN:27349942.

[23]. Wang, F., Fan, W., & Wang, Y. (2011). Fire Risk Assessment in High-Rise Buildings: A Case Study. *Safety Science*, 49(6), 964-973. DOI: 10.1016/j.ssci.2011.01.004.

[24]. Wong, Jack Ming Wai; Ng, Swee Ting (2018), "Critical Risks in High-Rise Building Construction Projects in Urban Environments," *Journal of Construction Engineering and Management* (ASCE). DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001509.

Chuyển đổi xanh trong giao thông vận tải đô thị: Từ chính sách đến thực tiễn tại Việt Nam

Green transformation in urban transport: From policy to practice in Vietnam

> PGS.TS NGUYỄN HỒNG THÁI, THS CAO QUANG KHẢI

Trường Đại học Giao thông vận tải

TÓM TẮT

Nghiên cứu này phân tích tiến trình chuyển đổi xanh trong giao thông vận tải (GTVT) đô thị tại Việt Nam, tập trung vào mối liên hệ giữa chính sách và thực tiễn triển khai, đồng thời làm rõ sự cấp thiết của quá trình chuyển đổi này cùng các nỗ lực của Việt Nam trong việc hài hòa phát triển kinh tế với cam kết khí hậu quốc tế. Bài viết đi sâu vào hiện trạng chính sách về giao thông xanh, đặc biệt là xe điện (EV) và giao thông công cộng (GTCC) xanh, đồng thời chỉ ra những thách thức về hạ tầng, chi phí, công nghệ và nhận thức cộng đồng. Từ đó, nghiên cứu đề xuất các giải pháp chính sách, phát triển hạ tầng và công nghệ để thúc đẩy xanh hóa GTVT đô thị, góp phần xây dựng các thành phố bền vững tại Việt Nam.

Từ khóa: Chuyển đổi xanh, giao thông vận tải đô thị, chính sách giao thông, xe điện, giao thông công cộng, phát triển bền vững.

ABSTRACT

This study analyzes the green transformation process in urban transport in Vietnam, focusing on the interplay between policy and practical implementation. We assess the context of urban pollution stemming from transportation, the imperative for green transformation, and Vietnam's efforts to reconcile economic development with international climate commitments. The paper delves into the current status of green transport policies, particularly regarding electric vehicles (EVs) and green public transport, simultaneously identifying challenges related to infrastructure, costs, technology, and public awareness. Consequently, the study proposes policy, infrastructure development, and technological solutions to promote the greening of urban transport, contributing to the establishment of sustainable cities in Vietnam.

Keywords: Green transformation, urban transport, transport policy, electric vehicles, public transport, sustainable development.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

GTVT đô thị đóng vai trò cốt lõi trong phát triển kinh tế - xã hội của Việt Nam. Tuy nhiên, sự tăng trưởng nhanh chóng của phương tiện cá nhân chạy bằng nhiên liệu hóa thạch đang gây ra những vấn đề môi trường nghiêm trọng. Các đô thị lớn như Hà Nội và TP.HCM thường xuyên đối mặt với ô nhiễm không khí (PM2.5, NOx), ô nhiễm tiếng ồn và ùn tắc giao thông kéo dài, ảnh hưởng tiêu cực đến sức khỏe, chất lượng cuộc sống và hiệu quả kinh tế [1]. Trước cam kết đạt mức phát thải ròng bằng "0" (Net Zero) vào năm 2050 tại Hội nghị COP26, quá trình chuyển đổi xanh trong GTVT đô thị đã trở thành yêu cầu mang tính chiến lược đối với Việt Nam [2]. Quá trình này đòi hỏi sự phối hợp chặt chẽ giữa chính sách hỗ trợ và việc ứng dụng các công nghệ tiên tiến [3].

Nghiên cứu này nhằm:

- Phân tích các chính sách và khung pháp lý thúc đẩy GTVT xanh tại Việt Nam.
- Phân tích kinh nghiệm về chính sách chuyển đổi xanh tại các đô thị của các nước phát triển và đang phát triển.
- Xác định những rào cản và đề xuất giải pháp chính sách nhằm đẩy nhanh xanh hóa GTVT đô thị Việt Nam.

2. TỔNG QUAN LÝ THUYẾT VÀ CƠ SỞ CHÍNH SÁCH

2.1. Khái niệm "Chuyển đổi xanh" trong GTVT

Chuyển đổi xanh trong GTVT là quá trình toàn diện nhằm tái định hình hoạt động giao thông đô thị để giảm thiểu tác động môi trường và tối ưu hóa tài nguyên. Các yếu tố cốt lõi bao gồm [4]:

- Năng lượng sạch: Chuyển dịch từ nhiên liệu hóa thạch sang năng lượng tái tạo, điện và hydrogen.
- Công nghệ hiệu quả: Ứng dụng xe điện (EVs), hybrid, và hệ thống quản lý năng lượng thông minh.
- Quy hoạch bền vững: Ưu tiên GTCC khối lượng lớn, hạ tầng phi cơ giới, và quy hoạch đô thị đa chức năng để giảm nhu cầu di chuyển bằng phương tiện cá nhân [5].
- Kinh tế tuần hoàn: Tái sử dụng, tái chế các thành phần phương tiện (đặc biệt là pin xe điện) và vật liệu xây dựng hạ tầng [6].

2.2. Các lý thuyết và khuôn khổ chính sách liên quan đến chuyển đổi xanh GTVT

Chuyển đổi xanh trong GTVT là một cấu phần quan trọng của phát triển bền vững, đóng góp trực tiếp vào nhiều mục tiêu phát triển bền vững (SDGs) của Liên Hợp Quốc, đặc biệt SDG 3 (Sức khỏe và Hạnh phúc), SDG 7 (Năng lượng sạch và giá cả phải chăng), SDG 9 (Công nghiệp, Đổi mới và cơ sở hạ tầng), SDG 11 (Thành phố và Cộng đồng bền vững) và SDG 13 (Hành động khí hậu) [7]. Khái niệm kinh tế tuần hoàn ngày càng được chú trọng, thể hiện qua vòng đời của pin xe điện và tái sử dụng vật liệu hạ tầng [8].

Trên phạm vi quốc tế, các quốc gia phát triển như Liên minh châu Âu (EU) đã đặt ra mục tiêu giảm 90% khí thải giao thông vào năm 2050 như một phần của Thỏa thuận Xanh châu Âu [9]. Các thành phố như Oslo, Copenhagen đã tiên phong với chính sách khuyến khích xe điện và hạn chế phương tiện dùng nhiên liệu hóa thạch [10]. Thỏa thuận Paris về Biến đổi khí hậu cũng là động lực chính thúc đẩy chiến lược GTVT bền vững toàn cầu.

Đối với các nước đang phát triển như Việt Nam, các khuôn khổ sau đây đặc biệt phù hợp:

- **Giao thông bền vững toàn diện (Comprehensive Sustainable Transport):** Nhấn mạnh sự cân bằng giữa phát triển kinh tế, bảo vệ môi trường và công bằng xã hội trong GTVT. Khuôn khổ này tập trung vào việc tạo ra hệ thống giao thông có khả năng tiếp cận cao, hiệu quả, an toàn và ít tác động môi trường, phù hợp với các đô thị đang tăng trưởng nhanh [14].

- **Phát triển dựa trên định hướng GTCC (Transit-Oriented Development - TOD):** Khung này tích hợp quy hoạch sử dụng đất với phát triển GTCC có khối lượng lớn, nhằm giảm sự phụ thuộc vào phương tiện cá nhân và thúc đẩy đô thị hóa bền vững [15]. TOD là chiến lược quan trọng để giải quyết vấn đề ùn tắc và ô nhiễm ở các đô thị lớn Việt Nam.

- **Chuyển đổi năng lượng sạch trong GTVT (Clean Energy Transition in Transport):** Tập trung vào việc chuyển đổi nguồn năng lượng sử dụng trong GTVT từ nhiên liệu hóa thạch sang các nguồn sạch hơn như điện, nhiên liệu sinh học hoặc hydrogen. Khuôn khổ này đặc biệt quan trọng với các nước đang phát triển có tỷ lệ xe máy và xe cá nhân chạy xăng cao [16].

Chính sách GTVT xanh của Việt Nam thể hiện quyết tâm với cam kết Net Zero vào năm 2050 tại COP26 [2]. Các văn bản pháp lý quan trọng tạo hành lang cho quá trình chuyển đổi gồm: (1) Quyết định số 876/QĐ-TTg (2022) của Thủ tướng Chính phủ, là kim chỉ nam cho lộ trình phát triển GTCC xanh, điện hóa phương tiện và ứng dụng công nghệ giảm phát thải [11]. (2) Quy định về tiêu chuẩn khí thải đối với phương tiện đường bộ đang được siết chặt (Euro 4, Euro 5) [12]. (3) Chính sách ưu đãi ban đầu cho xe điện (giảm lệ phí trước bạ và thuế tiêu thụ đặc biệt) nhằm khuyến khích chuyển đổi. Tuy nhiên, khung pháp lý hiện hành vẫn còn hạn chế về sự thiếu đồng bộ giữa các văn bản, thiếu quy định chi tiết về phát triển hạ tầng sạc, quy trình tái chế pin, và cơ chế khuyến khích chưa đủ mạnh để tạo đột phá trong bối cảnh tốc độ tăng trưởng phương tiện cá nhân vẫn cao [13]. Điều này đòi hỏi sự điều chỉnh liên tục từ các nhà hoạch định chính sách.

3. KINH NGHIỆM QUỐC TẾ VÀ THÁCH THỨC TẠI VIỆT NAM

3.1. Kinh nghiệm các nước và bài học cho Việt Nam

Nghiên cứu kinh nghiệm quốc tế giúp bổ sung và củng cố cơ sở lý luận cho việc hoạch định chính sách chuyển đổi xanh trong lĩnh vực GTVT đô thị. Các mô hình thành công ở các quốc gia phát triển như (Hà Lan, Đức, Nhật Bản) và đang phát triển như (Trung Quốc, Ấn Độ, Thái Lan) cung cấp những minh chứng thực tiễn có giá trị, làm giàu thêm bức tranh học thuật và tạo tiền đề cho việc xây dựng các giả thuyết nghiên cứu hoặc mô hình vận dụng phù hợp cho Việt Nam.

Bảng 1. Tổng hợp kinh nghiệm quốc tế về chuyển đổi xanh trong GTVT đô thị

Quốc gia/Khu vực	Chính sách cốt lõi	Bài học kinh nghiệm thành công	Thất bại/Thách thức	Điều kiện áp dụng bài học thành công	Bài học cho đô thị Việt Nam
Hà Lan	- Ưu tiên xe đạp và phương tiện không phát thải - Mạng lưới làn đường riêng cho xe đạp - Thuế cao cho ô tô phát thải	- Tăng tỷ lệ sử dụng xe đạp >35% ở đô thị - Giao thông an toàn, bền vững	- Phụ thuộc vào văn hóa, khí hậu ôn hòa - Không dễ nhân rộng tại các đô thị phát triển nhanh	- Hạ tầng đô thị đồng bộ - Ý thức công dân cao - Chính sách xuyên suốt và nhất quán	- Tạo làn riêng cho xe đạp, ưu tiên khu vực trung tâm - Tuyên truyền thay đổi hành vi người dân - Kết hợp quy hoạch và giao thông
Đức	- Hệ thống GTCC tích hợp - Ưu đãi cho xe điện (miễn thuế, đỗ xe, sạc pin) - Cấm ô tô nhiên liệu hóa thạch ở nội đô	- Giao thông sạch, giảm phát thải CO ₂ đáng kể - Mạng lưới xe buýt và tàu điện hiệu quả	- Chi phí đầu tư hạ tầng cao - Đối mặt phản đối từ nhóm sở hữu xe truyền thống	- Chính sách tài khóa hỗ trợ dài hạn - Sự đồng thuận xã hội cao	- Từng bước xây dựng mạng lưới phương tiện sạch - Ưu đãi thuế, phí cho người dùng xe điện - Giảm xe cá nhân trong nội đô
Nhật Bản	- Tối ưu hóa GTCC (tàu điện ngầm, xe buýt) - Công nghệ tiên tiến giảm tiêu thụ nhiên liệu - Chính sách phát triển đô thị nén	- Hệ thống giao thông chính xác, hiệu quả - Phát thải giao thông tính trên đầu người rất thấp	- Chi phí bảo trì hạ tầng cao - Già hóa dân số gây áp lực tài chính	- Hạ tầng đô thị hiện đại - Ý thức công cộng cao	- Tăng kết nối giữa các loại hình giao thông - Áp dụng công nghệ thông minh (ITS) - Tăng hiệu quả vận hành phương tiện công cộng
Trung Quốc	- Triển khai rộng xe buýt điện - Đầu tư mạnh vào metro và BRT - Chính sách phát triển phương tiện sạch nội địa	- Thâm Quyển là đô thị đầu tiên 100% xe buýt điện - Giảm mạnh ô nhiễm không khí tại đô thị lớn	- Chi phí đầu tư ban đầu cao - Thiếu quy hoạch đồng bộ ở một số địa phương	- Có chiến lược quốc gia - Nguồn vốn nhà nước mạnh	- Tăng cường đầu tư cho xe buýt điện - Xây dựng khung chính sách thống nhất liên ngành - Học theo mô hình Thâm Quyển (đô thị thí điểm)

Ấn Độ	- Chính sách thúc đẩy xe điện - Ưu đãi mua xe sạch, xây trạm sạc - Hỗ trợ phương tiện công cộng tại đô thị lớn	- Tăng nhanh lượng xe điện 2 bánh - Một số bang áp dụng thành công chiến lược xe điện hóa	- Hạ tầng sạc yếu - Khó khăn trong quản lý giao thông hỗn hợp	- Sự hỗ trợ tài chính từ trung ương - Định hướng phát triển ngành công nghiệp nội địa	- Tập trung trước vào xe điện 2 bánh - Xây dựng trạm sạc công cộng theo cụm - Phân loại và quản lý rõ các luồng giao thông
Thái Lan	- Khuyến khích đầu tư xe điện, sản xuất nội địa - Phát triển hệ thống tàu điện nội đô tại Bangkok	- Thu hút được FDI vào sản xuất pin, xe điện - Tàu điện Bangkok giảm áp lực giao thông	- Phân hóa giữa các đô thị lớn và nhỏ - Phụ thuộc nhiều vào hỗ trợ nhà nước	- Có chính sách hỗ trợ sản xuất trong nước - Cam kết phát thải ròng bằng 0	- Hỗ trợ doanh nghiệp Việt sản xuất phương tiện xanh - Ưu tiên phát triển giao thông công cộng tại TP lớn

Nguồn: Tổng hợp phân tích của tác giả

Thông qua việc phân tích các chính sách, giải pháp công nghệ, thể chế và hành vi người dân tại các quốc gia tiên phong, có thể rút ra được những yếu tố cốt lõi dẫn tới thành công hoặc thất bại trong chuyển đổi xanh GTVT đô thị, từ đó nhận diện rõ hơn những rào cản tiềm ẩn khi áp dụng tại Việt Nam (hệ thống GTCC, tài chính hạn chế, hoặc thói quen sử dụng phương tiện cá nhân...)

3.2. Rào cản trong quá trình chuyển đổi xanh giao thông đô thị tại Việt Nam

Mặc dù chuyển đổi xanh trong giao thông đô thị đã được xác định là một trong những ưu tiên chiến lược trong các chính sách phát triển bền vững của Việt Nam, nhưng quá trình triển khai trong thực tiễn vẫn đang đối mặt với nhiều rào cản mang tính hệ thống. Các rào cản này có thể được phân thành bốn nhóm chính: (i) thể chế, (ii) hạ tầng, (iii) tài chính và (iv) hành vi xã hội.

1. Thiếu quy hoạch tích hợp và đồng bộ: Quy hoạch giao thông vẫn mang tính rời rạc so với quy hoạch sử dụng đất, dẫn đến việc không thể hình thành mạng lưới giao thông đa phương thức hiệu quả. Tình trạng phát triển đô thị theo mô hình "dàn trải" (urban sprawl) tại các đô thị lớn như Hà Nội và TP.HCM khiến chi phí đầu tư cho GTCC xanh và trạm sạc xe điện gia tăng đáng kể. Việc thiếu quy hoạch tích hợp cũng khiến hệ sinh thái hạ tầng phục vụ phương tiện xanh không được định hướng rõ ràng trong dài hạn.

2. Hạ tầng GTCC và trạm sạc chưa phát triển tương xứng: Phần lớn các tuyến xe buýt công cộng hiện nay vẫn hoạt động dưới điều kiện thiếu hấp dẫn về chất lượng dịch vụ và tính đúng giờ, không đủ sức cạnh tranh với phương tiện cá nhân. Các dự án đường sắt đô thị (metro) triển khai chậm, dẫn đến niềm tin của người dân vào GTCC còn thấp. Đặc biệt, mạng lưới trạm sạc cho xe điện còn manh mún, tập trung ở khu vực nội đô, thiếu sự phân bố hợp lý theo nhu cầu di chuyển liên đô thị, chưa được tích hợp vào quy hoạch hạ tầng một cách bài bản.

3. Thiếu cơ chế tài chính khuyến khích chuyển đổi hành vi: Hiện nay, các ưu đãi về thuế, phí hoặc trợ giá cho người dân chuyển sang sử dụng phương tiện xanh còn hạn chế và thiếu nhất quán. Chính sách chưa tạo ra "khoảng cách chi phí đủ lớn" giữa phương tiện truyền thống và phương tiện xanh để kích thích hành vi thay đổi. Bên cạnh đó, chưa có mô hình PPP (đối tác công - tư) rõ ràng để thu hút đầu tư tư nhân vào hạ tầng giao thông xanh, đặc biệt trong lĩnh vực trạm sạc, vận hành xe buýt điện hoặc hệ thống điều khiển giao thông thông minh.

4. Thiếu dữ liệu và nền tảng số phục vụ điều hành giao thông thông minh: Hiện trạng quản lý giao thông ở nhiều đô thị Việt Nam vẫn dựa vào phương pháp truyền thống, thiếu dữ liệu thời gian thực và khả năng phân tích hành vi di chuyển. Sự thiếu hụt các nền tảng phân tích dữ liệu lớn (Big Data), trí tuệ nhân tạo (AI), và các hệ thống điều phối trung tâm (Traffic Management Center) khiến việc quản

lý giao thông còn mang tính phản ứng, không dự báo và tối ưu hóa được các nguồn lực hạ tầng.

5. Thói quen sử dụng phương tiện cá nhân cố hữu và văn hóa giao thông: Văn hóa phụ thuộc vào xe máy ăn sâu trong hành vi đi lại của người dân, đặc biệt ở tầng lớp trung niên và người lao động tự do. Bên cạnh đó, nhận thức về lợi ích môi trường và sức khỏe của giao thông xanh còn mờ nhạt. Thiếu các chiến dịch truyền thông đại chúng hiệu quả và chương trình giáo dục giao thông bền vững trong trường học khiến chuyển đổi hành vi xã hội diễn ra chậm.

3.3. Bài học chính sách cho Việt Nam

Từ việc đối chiếu với các kinh nghiệm quốc tế nêu trên, có thể rút ra một số định hướng chính sách phù hợp cho Việt Nam trong thời gian tới:

1. Chính sách phát triển GTCC tích hợp - đa phương thức: Nhà nước cần xây dựng chiến lược phát triển hệ thống GTCC tích hợp, kết nối hiệu quả giữa các phương thức như xe buýt nhanh (BRT), metro, xe đạp công cộng, và giao thông đi bộ. Đồng thời, cần xây dựng cơ chế phối hợp liên ngành để đồng bộ quy hoạch giao thông với quy hoạch đô thị và phát triển nhà ở. Ví dụ, Seoul (Hàn Quốc) đã triển khai hệ thống thẻ giao thông tích hợp T-money, cho phép người dân sử dụng chung một loại thẻ cho tất cả phương tiện công cộng. Bên cạnh đó, Seoul phát triển các trạm trung chuyển kết nối metro - xe buýt - taxi - xe đạp công cộng, giúp giảm thời gian di chuyển và khuyến khích người dân từ bỏ xe cá nhân.

2. Chính sách kiểm soát sử dụng phương tiện cơ giới cá nhân: Áp dụng các công cụ quản lý nhu cầu giao thông như thu phí ùn tắc, cấm xe vào khu vực trung tâm trong giờ cao điểm, áp dụng thuế môi trường với phương tiện cá nhân, và khuyến khích người dân sử dụng phương tiện xanh. Ví dụ, Singapore là một mô hình điển hình với chính sách Giấy phép sử dụng phương tiện (COE) và thu phí điện tử ERP nhằm hạn chế xe cá nhân. Nhờ đó, Singapore duy trì được mật độ phương tiện thấp, chất lượng không khí cao và hệ thống GTCC hiệu quả.

3. Chính sách tài chính và thu hút đầu tư tư nhân (PPP): Tăng cường huy động nguồn lực ngoài ngân sách thông qua các hình thức đối tác công tư (PPP), đồng thời đảm bảo sự minh bạch, chia sẻ rủi ro công bằng và tạo điều kiện tiếp cận thông tin cho nhà đầu tư tư nhân. Ví dụ, Luân Đôn (Anh) đã thành công trong việc xây dựng tuyến đường sắt đô thị Crossrail (nay là Elizabeth Line) với sự tham gia của khu vực tư nhân như Canary Wharf Group và Heathrow Airport Holdings. Các bên cùng góp vốn, chia sẻ lợi ích và được hưởng lợi từ việc tăng giá trị bất động sản dọc theo tuyến.

4. Chính sách phát triển đô thị định hướng GTCC (TOD): Áp dụng mô hình phát triển đô thị TOD, trong đó các khu dân cư, thương mại, và tiện ích công cộng được bố trí xung quanh trạm GTCC trong phạm vi đi bộ 5-10 phút. Điều này giúp giảm phụ thuộc vào xe cá

nhân, thúc đẩy mật độ dân cư và tính hiệu quả sử dụng đất. Ví dụ, Tokyo (Nhật Bản) là hình mẫu điển hình của mô hình TOD, khi các tuyến tàu điện được phát triển đồng bộ với các khu dân cư, thương mại và công viên. Chính sách này giúp người dân tiếp cận dịch vụ thuận lợi mà không cần xe hơi, từ đó giảm ùn tắc và tăng chất lượng sống.

5. Chính sách ứng dụng công nghệ số trong quản lý giao thông: Đẩy mạnh chuyển đổi số trong quy hoạch và quản lý giao thông, bao gồm: ứng dụng hệ thống giao thông thông minh (ITS), phân tích dữ liệu lớn (Big data), trí tuệ nhân tạo (AI) để điều tiết lưu lượng giao thông, cảnh báo tắc nghẽn và hỗ trợ ra quyết định. Ví dụ, Barcelona (Tây Ban Nha) ứng dụng cảm biến IoT để thu thập dữ liệu giao thông theo thời gian thực, từ đó tự động điều chỉnh đèn tín hiệu và chỉ dẫn hướng đi khả thi cho người tham gia giao thông. Hệ thống này đã giúp giảm thời gian di chuyển trung bình 21% trong nội đô.

6. Chính sách nâng cao năng lực thể chế và quản trị đô thị: Củng cố vai trò điều phối của chính quyền đô thị, phân cấp rõ ràng về thẩm quyền quy hoạch - đầu tư - vận hành giao thông; tăng cường đào tạo nguồn nhân lực chuyên môn cao về quản lý giao thông đô thị bền vững. Ví dụ, Curitiba (Brazil) là một thành phố trung bình nhưng có hệ thống giao thông bền vững hàng đầu nhờ vai trò mạnh mẽ của chính quyền đô thị. Chính quyền địa phương có quyền quyết định và điều phối tất cả hoạt động từ quy hoạch đến vận hành hệ thống BRT và khu dân cư.

4. KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ

4.1. Kết luận

Chuyển đổi xanh trong GTVT đô thị là xu thế tất yếu và yêu cầu cấp bách của Việt Nam để giải quyết thách thức môi trường đô thị và hiện thực hóa cam kết Net Zero 2050. Quá trình này đòi hỏi cách tiếp cận đa chiều, tích hợp chặt chẽ từ hoạch định chính sách đến ứng dụng công nghệ và thay đổi hành vi. Việt Nam đã có những bước đi quan trọng ban đầu thông qua chính sách khuyến khích và phát triển EV, cùng các dự án GTCC xanh. Tuy nhiên, vẫn còn nhiều thách thức lớn về hạ tầng đồng bộ, chi phí đầu tư ban đầu, năng lực công nghệ nội tại và thói quen sử dụng phương tiện của người dân. Để đạt được mục tiêu xanh hóa GTVT đô thị toàn diện, Việt Nam cần tiếp tục hoàn thiện khung pháp lý rõ ràng, đồng bộ và mạnh mẽ hơn; đẩy mạnh đầu tư chiến lược vào hạ tầng GTCC xanh và mạng lưới trạm sạc EV; khuyến khích mạnh mẽ R&D công nghệ nội địa; và không ngừng nâng cao nhận thức cộng đồng. Với những nỗ lực đồng bộ và quyết tâm chính trị cao, Việt Nam hoàn toàn có thể xây dựng một hệ thống giao thông đô thị hiện đại, bền vững, góp phần kiến tạo những thành phố thông minh, xanh và đáng sống cho các thế hệ tương lai.

4.2. Khuyến nghị chính sách

Để thúc đẩy chuyển đổi xanh trong giao thông đô thị, đề xuất các khuyến nghị chính sách trọng tâm sau: (1) Pháp lý & Khuyến khích: Xây dựng lộ trình quốc gia rõ ràng cho điện hóa phương tiện (nhất là xe máy), bao gồm mốc loại bỏ xe cũ phù hợp điều kiện địa phương; Mở rộng ưu đãi tài chính đa dạng (thuế, phí, tín dụng xanh) cho người mua phương tiện điện và nhà đầu tư hạ tầng sạc/sản xuất pin; Phát triển cơ chế thu mua, tái chế pin xe điện hiệu quả, với khung pháp lý rõ ràng; Áp dụng chính sách quản lý nhu cầu giao thông (thu phí ùn tắc, hạn chế/cấm xe cũ, phí môi trường). (2) Hạ tầng & Công nghệ: Đẩy nhanh tiến độ và vốn cho dự án giao thông công cộng khối lượng lớn (metro, BRT), tích hợp vào quy hoạch TOD; Xây dựng quy hoạch tổng thể mạng lưới trạm sạc xe điện cấp quốc gia và đô thị, khuyến khích đầu tư đa dạng; Đầu tư mạnh vào hệ thống giao thông thông minh (ITS), bao gồm trung tâm điều khiển,

phân tích dữ liệu lớn (Big Data, AI); Ưu tiên phát triển hạ tầng cho giao thông phi cơ giới (làn xe đạp, vỉa hè) kết nối trung chuyển GTCC. (3) Năng lực & Nhận thức: Tăng cường đào tạo nhân lực chất lượng cao về GTVT xanh và công nghệ xe điện; Đẩy mạnh truyền thông giáo dục về lợi ích của GTVT xanh, khuyến khích thay đổi thói quen di chuyển; Thí điểm các khu vực "đô thị xanh không khói" hoặc tuyến đường ưu tiên phương tiện điện để tạo hiệu ứng lan tỏa.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. World Health Organization, Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease, WHO Press, 2016.
- [2]. Government of Vietnam, "Nationally Determined Contribution (Updated version)," Ministry of Natural Resources and Environment, 2020.
- [3]. M. C. Hansen and L. H. Nordström, "Electric mobility and decarbonisation of transport: Policy context and the role of innovation," *Energy Policy*, vol. 138, p. 111292, 2020.
- [4]. International Energy Agency (IEA), *The Future of Rail - Opportunities for energy and the environment*, OECD/IEA, 2019.
- [5]. J. Cervero and R. Guerra, *Transport & Land Use: A Global View*, Routledge, 2020.
- [6]. T. G. Grosse, "Circular economy and urban mobility: Critical analysis of integration and effectiveness," *Journal of Cleaner Production*, vol. 269, 122239, 2020.
- [7]. United Nations, "Sustainable Development Goals," [Online]. Available: <https://sdgs.un.org/goals>.
- [8]. B. Zakeri and S. Syri, "Economics of energy storage for industrial-scale applications: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 42, pp. 569-596, 2015.
- [9]. European Commission, *European Green Deal: Sustainable and Smart Mobility Strategy*, Brussels, 2020.
- [10]. City of Oslo, "Climate Budget 2022," Available: <https://www.oslo.kommune.no>.
- [11]. Thủ tướng Chính phủ, Quyết định số 876/QĐ-TTg, "Phê duyệt Chiến lược quốc gia về tăng trưởng xanh giai đoạn 2021-2030," Hà Nội, 2022.
- [12]. Bộ Giao thông vận tải, "Lộ trình áp dụng tiêu chuẩn khí thải đối với xe cơ giới," 2021.
- [13]. Nguyễn, H.T., "Hạ tầng trạm sạc - rào cản lớn của xe điện tại Việt Nam," *Tạp chí Giao thông vận tải*, số 5, 2023.
- [14]. S. Dimitriou and R. Thompson, "A comprehensive framework for sustainable transport planning," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 59, pp. 474-489, 2018.
- [15]. Robert Cervero, "Transit Oriented Development and Sustainable Urbanism," *Urban Studies*, vol. 40, no. 4, pp. 735-757, 2017.
- [16]. M. Krail et al., "Clean energy transition in transport: Policies and scenarios for decarbonisation," *Energy Policy*, vol. 160, p. 112642, 2022.

Nghiên cứu sự vận động của các chỉ tiêu tổ chức thực hiện kế hoạch vốn đầu tư công xây dựng công trình giao thông tại Việt Nam

Analysis of implementation indicators in public investment planning for transport infrastructure in Vietnam

> THS TRẦN TUẤN PHONG¹, PGS.TS NGUYỄN LƯƠNG HẢI^{2,*}

¹Học viện Chiến lược, bồi dưỡng cán bộ xây dựng

²Trường Đại học Giao thông vận tải

*Email: hainl@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu sự vận động của các chỉ tiêu tổ chức thực hiện kế hoạch vốn đầu tư công xây dựng công trình giao thông tại Việt Nam. Sử dụng bộ 8 chỉ tiêu đánh giá, nghiên cứu tiến hành khảo sát 136 đối tượng là các cơ quan quản lý, ban quản lý dự án và đơn vị liên quan. Kết quả cho thấy, các chỉ tiêu tổ chức thực hiện kế hoạch vốn đạt mức trung bình khá, phản ánh sự vận hành đúng quy trình cơ bản nhưng còn tồn tại bất cập như tiến độ giao vốn chậm, phối hợp giữa các bên thiếu chặt chẽ và tình trạng nợ đọng xây dựng cơ bản chưa được xử lý triệt để. Nghiên cứu đề xuất cần tiếp tục hoàn thiện quy trình thực hiện kế hoạch, tăng cường năng lực tổ chức và xây dựng cơ chế phối hợp rõ ràng giữa các chủ thể tham gia để nâng cao hiệu quả đầu tư công.

Từ khóa: Tổ chức thực hiện kế hoạch vốn; đầu tư công; công trình giao thông; quản lý vốn đầu tư công; nợ đọng xây dựng cơ bản.

ABSTRACT

This paper examines the dynamics of implementation indicators in public investment capital planning for transport infrastructure projects in Vietnam. Using eight evaluation indicators, the study surveyed 136 participants from management agencies, project management units, and related organizations. Results indicate that the implementation of public investment plans achieves an above-average level, reflecting basic procedural compliance. However, issues remain such as delayed capital allocation, lack of coordination among stakeholders and unresolved construction debt. The study recommends improving the execution process, enhancing management capacity and establishing clear coordination mechanisms among involved parties to improve the effectiveness of public investment in transport infrastructure.

Keywords: Implementation of investment plans; public investment; transport infrastructure projects; public investment management; construction debt settlement.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đầu tư công đóng vai trò then chốt trong phát triển kết cấu hạ tầng giao thông, góp phần thúc đẩy tăng trưởng kinh tế và đảm bảo an sinh xã hội [2]. Trong chu trình quản lý đầu tư công, việc lập kế hoạch vốn chỉ là bước khởi đầu, quan trọng không kém là khâu tổ chức thực hiện kế hoạch vốn - giai đoạn chuyển hóa các chỉ tiêu kế hoạch thành hành động thực tế, nhằm hiện thực hóa mục tiêu đầu tư.

Hoạt động tổ chức thực hiện kế hoạch vốn đầu tư công, đặc

biệt trong lĩnh vực giao thông vận tải có tính phức tạp cao do liên quan đến nhiều chủ thể với vai trò, chức năng khác nhau [7, 10]. Quy trình này bao gồm: Phân bổ vốn chi tiết, giao vốn kịp thời, đảm bảo tiến độ triển khai dự án, lựa chọn nhà thầu, nghiệm thu thanh toán, kiểm soát khối lượng, quyết toán và xử lý nợ đọng xây dựng cơ bản. Nếu khâu tổ chức thực hiện không chặt chẽ, hiệu quả của kế hoạch đầu tư công sẽ bị suy giảm, thậm chí gây lãng phí nguồn lực, làm phát sinh nợ công và ảnh hưởng đến tiến độ phát triển hạ tầng [1].

Thực tiễn tại Việt Nam cho thấy, mặc dù hệ thống pháp luật về đầu tư công đã có nhiều bước hoàn thiện, nhưng quá trình tổ chức thực hiện vẫn tồn tại nhiều bất cập. Các vấn đề thường gặp bao gồm: Phân bổ vốn chậm, thủ tục giao vốn phức tạp, giải ngân không đúng tiến độ, lựa chọn nhà thầu kéo dài và nợ đọng xây dựng cơ bản chưa được giải quyết dứt điểm [3]. Những hạn chế này gây ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu quả đầu tư công trong lĩnh vực giao thông vận tải ngành có tỷ trọng vốn lớn và tiến độ thực hiện phức tạp.

Trước bối cảnh đó, việc tiếp tục nghiên cứu, đánh giá thực trạng tổ chức thực hiện kế hoạch vốn đầu tư công là cần thiết nhằm làm rõ các yếu tố ảnh hưởng, nhận diện các "điểm nghẽn" trong quá trình triển khai. Nghiên cứu này kế thừa khung chỉ tiêu đã được nhóm tác giả xây dựng trước đây [11], tập trung phân tích sự vận động của 8 chỉ tiêu mô tả hoạt động tổ chức thực hiện kế hoạch vốn đầu tư công xây dựng công trình giao thông tại Việt Nam.

Mục tiêu của nghiên cứu là cung cấp bằng chứng thực tiễn nhằm góp phần hoàn thiện quy trình tổ chức thực hiện kế hoạch vốn đầu tư công, nâng cao hiệu quả sử dụng nguồn vốn ngân sách nhà nước trong lĩnh vực xây dựng hạ tầng giao thông.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Khung các chỉ tiêu mô tả chức năng tổ chức thực hiện kế hoạch vốn đầu tư công

Hoạt động tổ chức thực hiện kế hoạch vốn đầu tư công xây dựng công trình giao thông là một quá trình phức tạp, liên quan đến nhiều giai đoạn, nhiều chủ thể với chức năng, nhiệm vụ khác nhau [7, 10]. Nhóm tác giả đã có nghiên cứu trước đây nhằm xây dựng hệ thống chỉ tiêu đánh giá mức độ phù hợp của hoạt động tổ chức thực hiện kế hoạch vốn đầu tư công trong lĩnh vực giao thông vận tải [11].

Nghiên cứu này kế thừa trực tiếp kết quả đó, sử dụng bộ 8 chỉ tiêu làm khung phân tích tiếp tục để đánh giá sự vận động của hoạt động tổ chức thực hiện kế hoạch vốn trong thực tế. Các chỉ tiêu bao gồm: Phân bổ chi tiết vốn (OR1), giao chỉ tiêu vốn kịp thời (OR2), triển khai thực hiện dự án đúng tiến độ (OR3), lựa chọn nhà thầu đảm bảo chất lượng và tiến độ (OR4), nghiệm thu và thanh toán đúng hợp đồng (OR5), bảo đảm phạm vi và quy mô đầu tư đúng mục tiêu phê duyệt (OR6), xác định rõ trách nhiệm giữa các bên liên quan (OR7) và cân đối nguồn vốn để xử lý nợ đọng xây dựng cơ bản (OR8).

Việc tiếp tục áp dụng khung chỉ tiêu này (Bảng 1) cho phép nhóm nghiên cứu phân tích thực tiễn triển khai kế hoạch vốn đầu tư công hiện nay một cách có hệ thống, đồng thời so sánh với các nguyên tắc quản lý thực thi đã được đề cập trong các nghiên cứu trước đó [2, 4-6, 8, 9].

Bảng 1. Khung chỉ tiêu mô tả hoạt động tổ chức thực hiện kế hoạch vốn đầu tư công

STT	Mã CT	Nội dung
1	OR1	Mức độ phù hợp trong phân bổ chi tiết vốn ngân sách nhà nước cho từng nhiệm vụ, dự án theo tiêu chí quy định.
2	OR2	Mức độ đảm bảo tiến độ giao chỉ tiêu và phân bổ chi tiết vốn đầy đủ theo quy định cho các chủ đầu tư.
3	OR3	Mức độ đảm bảo triển khai dự án đúng tiến độ và kế hoạch vốn đã được phê duyệt.
4	OR4	Mức độ đảm bảo tiến độ và chất lượng công tác lập kế hoạch, lựa chọn nhà thầu cho dự án được bố trí vốn.
5	OR5	Mức độ đảm bảo chất lượng, tiến độ nghiệm thu và thanh toán khối lượng hoàn thành theo hợp đồng.
6	OR6	Mức độ tuân thủ phạm vi, quy mô đầu tư theo mục tiêu và kế hoạch vốn phê duyệt.
7	OR7	Mức độ phân định rõ trách nhiệm các bên trong thực hiện kế hoạch vốn và triển khai dự án.
8	OR8	Mức độ đảm bảo cân đối vốn xử lý nợ đọng xây dựng cơ bản theo quy định.

2.2. Thu thập số liệu

Nghiên cứu này kế thừa phương pháp khảo sát đã được nhóm tác giả sử dụng trong các nghiên cứu trước đó. Dữ liệu sơ cấp được thu

thập thông qua bảng hỏi khảo sát sử dụng thang đo Likert 5 mức độ từ “Rất không đồng ý” (1) đến “Rất đồng ý” (5), nhằm đánh giá sự vận động của các chỉ tiêu tổ chức thực hiện kế hoạch vốn đầu tư công xây dựng công trình giao thông.

Tổng số 136 phiếu khảo sát hợp lệ đã được thu thập, với thành phần đối tượng là các bên trực tiếp tham gia hoặc liên quan đến công tác quản lý vốn đầu tư công trong lĩnh vực giao thông vận tải, bao gồm:

- Ban quản lý dự án các công trình giao thông;
- Cơ quan chủ trì về quản lý vốn đầu tư xây dựng;
- Cơ quan kế hoạch và tài chính thuộc ngành Giao thông vận tải;
- Cơ quan kiểm toán nhà nước về đầu tư công.

Đa số đối tượng khảo sát có kinh nghiệm thực tiễn dày dặn, trong đó hơn 65% có thâm niên công tác trên 10 năm. Sự đa dạng về vị trí công tác và kinh nghiệm nghề nghiệp tạo điều kiện đảm bảo độ tin cậy và khách quan cho bộ dữ liệu khảo sát, đồng thời giúp phản ánh đầy đủ các góc nhìn từ nhiều cấp độ quản lý khác nhau.

Dữ liệu thu thập là cơ sở để nhóm nghiên cứu tiến hành phân tích thực trạng và đánh giá sự vận động của các chỉ tiêu tổ chức thực hiện kế hoạch vốn đầu tư công hiện nay.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ BÀN LUẬN

Nghiên cứu đã tiến hành khảo sát và đánh giá thực trạng tổ chức thực hiện kế hoạch vốn đầu tư công xây dựng công trình giao thông tại Việt Nam thông qua 8 chỉ tiêu cốt lõi, phản ánh các khía cạnh từ phân bổ vốn, giao kế hoạch, triển khai dự án, lựa chọn nhà thầu, nghiệm thu thanh toán cho đến quản lý nợ đọng xây dựng cơ bản. Kết quả được trình bày ở Bảng 2.

Bảng 2. Phân tích thống kê mô tả các chỉ tiêu tổ chức thực hiện kế hoạch

Chỉ tiêu (Criteria)	Số lượng mẫu (N)	Giá trị nhỏ nhất (Minimum)	Giá trị lớn nhất (Maximum)	Giá trị trung bình (Mean)	Độ lệch chuẩn (Std. Deviation)
OR1	136	1,00	4,00	3,0662	.82733
OR2	136	2,00	5,00	3,1324	.91739
OR3	136	1,00	5,00	3,1765	.90988
OR4	136	1,00	5,00	3,1985	.87619
OR5	136	1,00	5,00	3,5368	.71914
OR6	136	1,00	5,00	3,4926	.66663
OR7	136	1,00	5,00	3,3824	.67833
OR8	136	1,00	5,00	2,9926	.84762

Kết quả khảo sát cho thấy mức điểm trung bình của các chỉ tiêu dao động từ 2,99 đến 3,53, thể hiện mức độ thực hiện ở mức trung bình khá, nhưng chưa thực sự nổi bật. Đây là dấu hiệu cho thấy quá trình tổ chức thực hiện kế hoạch vốn đầu tư công trong lĩnh vực GTVT tại Việt Nam về cơ bản đã tuân thủ quy trình, nhưng vẫn còn nhiều điểm cần cải thiện.

Chỉ tiêu OR5 (nghiệm thu, thanh toán và quyết toán đúng hợp đồng) đạt mức trung bình cao nhất (3,5368) cho thấy các chủ đầu tư đã chú trọng hơn đến công tác nghiệm thu, thanh toán vốn, đảm

bảo thực hiện đúng quy trình, tránh sai sót về pháp lý. Tuy nhiên, sự ổn định tương đối về chỉ tiêu này cũng có thể phản ánh tính hình thức, bởi trên thực tế vẫn còn tình trạng chậm thanh toán, khó khăn về dòng tiền ở các nhà thầu [3, 4].

Chỉ tiêu OR8 (Xử lý nợ đọng xây dựng cơ bản) có điểm trung bình thấp nhất (2,9926). Đây là vấn đề nổi cộm trong quản lý đầu tư công, khi các khoản nợ đọng kéo dài làm ảnh hưởng đến tiến độ triển khai các dự án mới, gây mất cân đối trong cân đối nguồn vốn và ảnh hưởng đến sức khỏe tài chính của doanh nghiệp xây dựng [1, 3]. Việc xử lý nợ đọng chậm có nguyên nhân từ sự thiếu đồng bộ trong quy trình tổ chức thực hiện kế hoạch, phê duyệt điều chỉnh tổng mức đầu tư, cũng như bất cập trong công tác lập kế hoạch vốn ngay từ đầu.

Chỉ tiêu OR1 đến OR4 (phân bổ vốn chi tiết, giao vốn kịp thời, thực hiện dự án và lựa chọn nhà thầu) đạt mức trung bình từ 3,06 đến 3,19. Đây là những chỉ tiêu phản ánh khả năng tổ chức vận hành của các cơ quan quản lý nhà nước và chủ đầu tư. Kết quả cho thấy có sự cố gắng trong đảm bảo tiến độ phân bổ vốn và giao kế hoạch nhưng vẫn còn độ trễ nhất định so với yêu cầu thực tế triển khai. Nguyên nhân là do trình tự thủ tục phê duyệt, phân bổ vốn vẫn còn phức tạp, kéo dài qua nhiều cấp trung gian [1]. Ngoài ra, công tác lựa chọn nhà thầu cũng còn bị chi phối bởi các yếu tố ngoài chuyên môn như cơ chế xin - cho, thủ tục đấu thầu chống chéo với phê duyệt dự toán [8].

Chỉ tiêu OR6 và OR7 (bảo đảm phạm vi quy mô đầu tư và trách nhiệm các bên liên quan) có điểm trung bình khá cao (3,49 và 3,38), phản ánh các chủ thể tham gia đã bước đầu xác định rõ vai trò, trách nhiệm và đảm bảo thực hiện dự án đúng mục tiêu đề ra. Tuy nhiên,

kết quả cũng cho thấy sự phối hợp giữa các bên tham gia vẫn chưa thật sự hiệu quả, thể hiện ở độ lệch chuẩn khá lớn, phản ánh sự khác biệt trong đánh giá giữa các nhóm khảo sát. Thực tế, các tổ chức tham gia vào đầu tư công có lợi ích và động cơ khác nhau, điều này dễ dẫn tới mâu thuẫn và làm giảm hiệu quả tích hợp hệ thống [7, 10].

** Đối chiếu với bối cảnh thực tiễn:*

Bộ Kế hoạch và Đầu tư [1] (nay là Bộ Tài chính) đã chỉ ra rằng, trong giai đoạn 2016 - 2020, quá trình tổ chức thực hiện kế hoạch

vốn đầu tư công ở Việt Nam còn nhiều bất cập như: Phê duyệt dự án chậm, điều chỉnh nhiều lần, giải ngân vốn chậm trong những năm đầu kỳ, dẫn đến dồn giải ngân vào cuối kỳ, gây áp lực lớn lên hệ thống. Nghịch lý này tiếp tục tái diễn trong giai đoạn hiện nay, cho thấy việc cải thiện quy trình tổ chức thực hiện là vấn đề cần được ưu tiên.

Ngoài ra, sự thiếu gắn kết giữa phân cấp với trách nhiệm và năng lực tổ chức ở cấp dưới cũng là nguyên nhân dẫn tới việc né tránh trách nhiệm và trì hoãn tiến độ [1]. Việc giải quyết các điểm nghẽn này đòi hỏi phải tiếp tục hoàn thiện thể chế, đơn giản hóa thủ tục, tăng cường năng lực cho các chủ đầu tư và các ban quản lý dự án.

** Hàm ý quản lý:*

- Cần rà soát lại toàn bộ quy trình tổ chức thực hiện kế hoạch vốn từ khâu phân bổ đến thanh toán để giảm thiểu độ trễ;
- Xây dựng cơ chế phối hợp rõ ràng giữa các bên tham gia, tránh chồng chéo trách nhiệm và xung đột lợi ích;
- Có giải pháp cụ thể để xử lý triệt để nợ đọng xây dựng cơ bản, đồng thời thiết lập cơ chế kiểm soát chặt chẽ ngay từ khâu phê duyệt dự án;
- Đẩy mạnh ứng dụng công nghệ thông tin để theo dõi, giám sát tiến độ tổ chức thực hiện kế hoạch vốn theo thời gian thực nhằm nâng cao tính minh bạch và hiệu quả.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã đánh giá thực trạng tổ chức thực hiện kế hoạch vốn đầu tư công xây dựng công trình giao thông tại Việt Nam, thông qua phân tích 8 chỉ tiêu phản ánh các khâu từ phân bổ vốn, giao kế hoạch, thực hiện dự án, lựa chọn nhà thầu, nghiệm thu thanh toán đến xử lý nợ đọng xây dựng cơ bản. Kết quả cho thấy, các chỉ tiêu đạt mức trung bình khá, phản ánh hệ thống tổ chức thực hiện kế hoạch vốn đã vận hành theo đúng quy trình cơ bản. Tuy nhiên, vẫn còn tồn tại các bất cập như: Tiến độ phân bổ và giao vốn còn chậm, sự phối hợp giữa các bên liên quan thiếu chặt chẽ khả năng kiểm soát phạm vi, quy mô đầu tư còn hạn chế và tình trạng nợ đọng xây dựng cơ bản chưa được xử lý triệt để.

Những hạn chế này phần lớn xuất phát từ sự phức tạp của quy trình triển khai, sự chồng chéo về thủ tục hành chính và việc phân cấp chưa đi đôi với trách nhiệm thực thi. Nghiên cứu khẳng định rằng, để nâng cao hiệu quả tổ chức thực hiện kế hoạch vốn đầu tư công trong lĩnh vực giao thông vận tải, cần thực hiện đồng bộ các giải pháp như: Cải tiến quy trình quản lý, đẩy mạnh ứng dụng công nghệ thông tin trong theo dõi tiến độ, tăng cường năng lực thực thi ở các cấp quản lý và thiết lập cơ chế phối hợp rõ ràng giữa các chủ thể tham gia.

Kết quả nghiên cứu là cơ sở tham khảo cho các cơ quan quản lý nhà nước, các chủ đầu tư và các bên liên quan trong việc rà soát, điều chỉnh, nhằm nâng cao hiệu quả tổ chức thực hiện kế hoạch vốn đầu tư công, góp phần cải thiện chất lượng đầu tư xây dựng kết cấu hạ tầng giao thông tại Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Bộ Kế hoạch và Đầu tư (2021), Đánh giá kết quả thực hiện Kế hoạch đầu tư công trung hạn giai đoạn 2016 - 2020 và dự kiến Kế hoạch đầu tư công trung hạn giai đoạn 2021 - 2025.

[2]. Nguyễn Đức Tuyên (2009), Phát triển hạ tầng kinh tế - xã hội ở nông thôn tỉnh Bắc Ninh kinh nghiệm và giải pháp, Luận án Tiến sĩ, Trường Đại học Kinh tế quốc dân.

[3]. Nguyễn Văn Tuấn (2021), Chất lượng đầu tư công: Nhìn lại giai đoạn 2016 - 2020 và những giải pháp trong thời gian tới, Tạp chí Kinh tế và Dự báo, 32.

[4]. Trung tâm Bồi dưỡng đại biểu dân cử, Ủy ban Thường vụ Quốc hội (2017), Một số vấn đề về kết cấu hạ tầng kinh tế trong phát triển kinh tế - xã hội (nguồn: <http://tailieu.ttbdt.gov.vn/>).

[5]. Susan C. (2014), United Continental: One Sick Bird, in The Wall Street Journal.

[6]. Matt P. Starbucks is now selling 46% more things an hour than it was five years ago. 2013 [cited 2021 November 14]; Available from: <https://qz.com/149995/starbucks-is-now-selling-46-more-things-an-hour-than-it-was-five-years-ago/>.

[7]. Nguyen T. P. and Chileshe N. (2015), Revisiting the Critical Factors Causing Failure of Construction Projects in Vietnam, Built Environment Project and Asset Management. 5(4): 398-416.

[8]. Porter M. E., Lorsch J. W. and Nohria N. (2004), Seven surprises for new CEOs. Harvard business review, 82(10): 62-75.

[9]. Williams C. (2017), Mgmt. Cengage Learning.

[10]. Tran Q. D., Nazir S., Nguyen T.-H., Ho N.-K., Dinh T.-H., Nguyen V.-P., Nguyen M.-H., Phan Q.-K. and Kieu T.-S. (2020), Empirical examination of factors influencing the adoption of green building technologies: The perspective of construction developers in developing economies, Sustainability. 12(19): 8067. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12198067>.

[11]. Trần Tuấn Phong và Nguyễn Lương Hải (2024), 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 GTVT, 64(10/2024): 139-142.

Xếp hạng các nhân tố ảnh hưởng đến quản lý năng suất của nhà thầu xây dựng: Góc nhìn BALANCED SCORECARD

Ranking factors affecting productivity management of small and medium contractors: A BSC Approach

> PGS.TS LƯU TRƯỜNG VẤN¹, NGUYỄN LÊ MINH LONG^{2,*}

¹Khoa Xây dựng, Trường Đại học Mở Thành phố Hồ Chí Minh; Email: van.luu@ou.edu.vn

²NCS Trường Đại học Mở Thành phố Hồ Chí Minh *Email: long.nlm@ou.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu nhằm nhận dạng và xếp hạng các nhân tố ảnh hưởng đến quản lý năng suất của các nhà thầu xây dựng vừa và nhỏ (NTXDVVN) tại TP.HCM và các tỉnh lân cận. Dữ liệu được thu thập thông qua bảng câu hỏi và được phân tích thông qua chỉ số RINI (Relative Influence Index). Các nhân tố liên quan đến quá trình nội bộ có ảnh hưởng mạnh nhất đến quản lý năng suất nhà thầu, trong khi các nhân tố liên quan đến học tập và phát triển lại có ảnh hưởng yếu hơn. Kết quả nghiên cứu có thể được sử dụng làm cơ sở để hỗ trợ lãnh đạo các NTXDVVN và các bên liên quan xây dựng các chiến lược nhằm cải thiện hiệu quả quản lý năng suất nhà thầu tại Việt Nam.

Từ khóa: Quản lý năng suất, thẻ điểm cân bằng, chỉ số ảnh hưởng tương đối (RINI), nhà thầu xây dựng vừa và nhỏ, TP.HCM.

ABSTRACT

This paper aims to identify and rank the factors affecting productivity management in small and medium-sized contractors (SMCs) in Ho Chi Minh City and its surrounding provinces. Data were collected through a questionnaire survey and then analysed using RINI (Relative Influence Index). Factors relating to the internal process strongly influence productivity management among contractors, while factors relating to learning & growth have a weak influence. The findings can serve as a baseline for developing effective strategies to improve productivity management in SMCs in Vietnam.

Keywords: Productivity management, balanced Scorecard (BSC), relative Influence Index (RINI), small and medium contractors (SMCs), Ho Chi Minh City.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Các NTXDVVN đóng vai trò quan trọng trong ngành Xây dựng. Với khả năng thích ứng nhanh và linh hoạt trong hoạt động, các nhà thầu này đảm nhận vai trò cung ứng nguyên vật liệu, thực hiện các dịch vụ hỗ trợ và đảm nhận nhà thầu phụ cho các nhà thầu chính trong xây dựng. Nhờ đó, họ đã đóng góp rất nhiều vào sự tăng trưởng chung của ngành Xây dựng Việt Nam. Tuy nhiên, các NTXDVVN vẫn đang phải đối mặt với nhiều thách thức như cạnh tranh ngày càng gay gắt trong ngành, thiếu vốn, năng suất lao động (NSLĐ) thấp, hạn chế về kỹ năng công nghệ và đội ngũ nhân sự chưa chuyên nghiệp.

Để ứng phó với những thách thức trên, các NTXDVVN cần tìm kiếm các giải pháp nhằm nâng cao NSLĐ, qua đó tăng cường lợi thế cạnh tranh trên thị trường nội địa. Theo GSO (2025), NSLĐ của ngành Xây dựng cao hơn năng suất chung của các ngành tại Việt Nam, cao gấp nhiều lần so với nhóm nông, lâm, ngư nghiệp và cũng vượt nhóm dịch vụ. Tuy nhiên, để tiếp tục nâng cao NSLĐ, công tác quản lý năng suất cần được cải thiện (Tucker, 1986).

Quản lý năng suất trong các NTXDVVN là một quá trình phức tạp có liên quan đến nhiều yếu tố khác nhau. Thẻ điểm cân bằng (BSC) với cách tiếp cận toàn diện có thể hỗ trợ cải thiện hiệu suất, hiệu quả tài nguyên và cung cấp chất lượng (Kaplan & Hoque, 2012). BSC đã được công nhận rộng rãi về giá trị thiết thực trong việc nâng cao năng suất và quản lý chiến lược trong ngành Xây dựng. Vì vậy, nhận dạng và xếp hạng các nhân tố ảnh hưởng đến quản lý năng suất của các NTXDVVN tại TP.HCM và các tỉnh lân cận là hết sức cần thiết trong giai đoạn hiện nay.

Quản lý năng suất trong các NTXDVVN là một quá trình phức tạp, chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố khác nhau. Thẻ điểm cân bằng (BSC) với cách tiếp cận toàn diện có thể hỗ trợ nâng cao hiệu suất làm việc, tối ưu hóa việc sử dụng tài nguyên và cải thiện chất lượng (Kaplan & Hoque, 2012). BSC đã được công nhận rộng rãi về giá trị thực tiễn trong việc tăng cường năng suất và quản lý chiến lược trong ngành Xây dựng. Do đó, việc nhận dạng và xếp hạng các nhân tố ảnh hưởng đến quản lý năng suất của các NTXDVVN tại TP.HCM và các tỉnh lân cận là hết sức cần thiết trong giai đoạn hiện nay.

2. TỔNG QUAN

2.1. Nhà thầu xây dựng vừa và nhỏ

Nhà thầu xây dựng là một tổ chức, hoặc đôi khi là một người, được khách hàng thuê để thực hiện một công việc hoặc nhiều công việc để hoàn thành một dự án (Faraji và ctg., 2020). Hiện nay, định nghĩa về

NTXDVVN không nhất quán giữa các quốc gia hay tổ chức (Berisha và Pula, 2015). Theo Nghị định 80/2021/NĐ-CP của Chính phủ, doanh nghiệp (DN) siêu nhỏ (xây dựng) có số lao động có bảo hiểm xã hội (BHXH) ≤10 người và doanh thu ≤3 tỷ hoặc vốn ≤3 tỷ; DN nhỏ có số lao động đóng BHXH ≤100 người và doanh thu ≤50 tỷ hoặc vốn ≤20 tỷ, không thuộc siêu nhỏ; DN vừa (công nghiệp & xây dựng) có số lao động đóng BHXH ≤200 người và doanh thu ≤200 tỷ hoặc vốn ≤100 tỷ, không thuộc siêu nhỏ hoặc nhỏ (Chính phủ, 2021). Trong bài báo này, các NTXDVVN được định nghĩa là các nhà thầu tham gia vào các hạng mục, phần việc trong hoạt động xây dựng, bao gồm: xây dựng công trình dân dụng, công nghiệp, giao thông, hạ tầng kỹ thuật, nông nghiệp và phát triển nông thôn. Những NTXDVVN này có quy mô sử dụng lao động (có tham gia BHXH) bình quân năm từ 10 người cho đến không quá 200 người và tổng doanh thu hàng năm từ 3 tỷ đồng đến không quá 200 tỷ đồng hoặc tổng nguồn vốn hàng năm từ 3 tỷ đồng đến không quá 100 tỷ đồng.

2.2. Năng suất và quản lý năng suất của nhà thầu xây dựng
Năng suất của nhà thầu xây dựng hoàn toàn khác với NSLĐ trong xây dựng. Năng suất của nhà thầu thi công là tổng sản lượng công việc hoàn thành trong một đơn vị thời gian, điều này bao gồm cả những công việc trực tiếp và gián tiếp liên quan đến quản lý, thiết kế và giám sát công trình. Đây là một thước đo cho hiệu quả và khả năng quản lý của nhà thầu trong việc tổ chức và hoàn thành các công việc xây dựng. Trong khi đó, NSLĐ trong xây dựng là tổng sản lượng công việc hoàn thành bởi một lao động trong một đơn vị thời gian. Trong bài báo này, năng suất của nhà thầu thi công xây dựng được hiểu là mức độ hiệu quả trong việc chuyển đổi các nguồn lực đầu vào, bao gồm lao động, thiết bị và vật liệu, thành giá trị đầu ra thông qua các hoạt động thi công. Đồng thời, quản lý năng suất của

các nhà thầu xây dựng được định nghĩa là một quá trình có hệ thống từ lập kế hoạch đến tổ chức, nhân sự, lãnh đạo, điều phối và kiểm soát, nhằm tối ưu hóa nguồn nhân lực, nguồn tài chính, vật liệu và các hoạt động trong các dự án xây dựng (DAXD).

2.3. Thẻ điểm cân bằng (BSC)

BSC lần đầu tiên được thiết kế và giới thiệu vào năm 1992 để đo lường và thúc đẩy hiệu suất của các đơn vị kinh doanh (Kaplan & Norton, 1992). BSC sử dụng bốn quan điểm phản ánh các hoạt động tạo ra giá trị DN: học tập và phát triển, quy trình nội bộ hoặc kinh doanh, khách hàng và tài chính. Theo BSC, tất cả bốn khía cạnh đều cần được cân bằng giữa các mục tiêu ngắn hạn và dài hạn; đầu vào và đầu ra cần thiết; các yếu tố hiệu suất bên trong và bên ngoài; và các chỉ số tài chính và phi tài chính (Kaplan & Norton, 1992). Với ưu điểm của mình, BSC đã trở nên phổ biến trong các NTXDVVN. BSC cũng được một số học giả thừa nhận rằng nó giúp nâng cao năng suất của nhà thầu, nâng cao việc thực hiện chiến lược và hiệu suất của tổ chức (Cooper và ctg., 2017; Rigby & Bilodeau, 2015; Taylor & Taylor, 2013).

2.4. Các nghiên cứu trước đây về năng suất và quản lý năng suất của nhà thầu xây dựng
Có nhiều nghiên cứu trước đây về quản lý năng suất của nhà thầu xây dựng. Bảng 1 trình bày tóm tắt các nhân tố ảnh hưởng đến quản lý năng suất của các nhà thầu xây dựng mà đã được tổng hợp từ các nghiên cứu nói trên. Các nhân tố này được phân nhóm theo 4 quan điểm của BSC dựa trên đặc điểm và nội dung của từng nhân tố. Các nhân tố liên quan đến quan điểm tài chính (finance), khách hàng (customer), quy trình nội bộ (internal process), và học tập và phát triển (learning and growth) có mã hiệu với 2 ký tự đầu là FI, CS, IP, và LG, một cách tương ứng.

Bảng 1. Các nhân tố ảnh hưởng đến quản lý năng suất của các nhà thầu xây dựng từ các nghiên cứu trước đây theo các quan điểm của BSC

Mã hiệu	Tên biến	Tham khảo
FI01	Lập kế hoạch tài chính và phân bổ nguồn lực hợp lý	Jongo et al., 2019; Wu và ctg., 2025
FI02	Chiến lược kinh doanh và khả năng sinh lời	Loosemore, 2014; Sa'eed và ctg., 2020
FI03	Thanh toán hợp đồng đúng hạn	Sa'eed và ctg., 2020
FI04	Tối ưu hóa việc sử dụng tài nguyên	Mostofi và ctg., 2024
FI05	Quản lý mối quan hệ với nhà cung cấp	Loosemore, 2014
FI06	Theo dõi dòng tiền và hiệu quả chi phí	Zidane & Andersen, 2018; Sa'eed và ctg., 2020
CS01	Phù hợp chiến lược khách hàng và xu hướng thị trường	Al Kailani và ctg., 2024
CS02	Đáp ứng sự hài lòng và phản hồi từ khách hàng	Yarnold và ctg., 2021; Love và ctg., 2015
CS03	Giao tiếp hiệu quả với khách hàng	Ali và ctg., 2022; Pavez và ctg., 2021
CS04	Tuân thủ tiêu chuẩn chất lượng dịch vụ	Ahmad & El-Sayegh, 2021
CS05	Đội ngũ nhân sự hướng tới khách hàng	Ali và ctg., 2022
CS06	Liên kết các bên liên quan và truyền thông dự án	Gunduz & Al-Naimi, 2021
CS07	Năng lực lãnh đạo trong quan hệ khách hàng	Podgórska & Pichlak, 2019
CS08	Lịch trình làm việc được thiết lập rõ ràng	Ahmadpour & Ghezavati, 2019
IP01	Lập kế hoạch và thiết kế quy trình dự án	Zabihi và ctg., 2019
IP02	Ứng dụng công nghệ và quản lý vật liệu	Ahmad & El-Sayegh, 2021
IP03	Kiểm soát chất lượng và tuân thủ quy định	Yarnold và ctg., 2021
IP04	Điều phối chuỗi cung ứng và phân phối dịch vụ	Abdul-Rahman và ctg., 2006
IP05	Năng suất lao động và hiệu quả nhân sự	Gondia và ctg., 2020
IP06	Quản lý rủi ro và tác động môi trường	Abdul-Rahman và ctg., 2006
IP07	Đổi mới quy trình	Ahmad & El-Sayegh, 2021
IP08	Tổ chức và điều phối đội nhóm	Ahmad & El-Sayegh, 2021
LG01	Tuyển dụng, đào tạo và quản lý nhân sự	Lim & Ling, 2012
LG02	Văn hóa đổi mới và phát triển bền vững	Kumi & Jeong, 2023
LG03	Phong cách lãnh đạo truyền cảm hứng	Yarnold và ctg., 2021
LG04	Gắn kết nhóm, học tập và hợp tác	Loosemore, 2014
LG05	Khả năng thích ứng và học hỏi liên tục	Lim & Ling, 2012
LG06	Sản xuất tôn trọng môi trường và văn hóa	Ali và ctg., 2022
LG07	Khai thác kinh nghiệm và tri thức tổ chức	Chai và ctg., 2015

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Kế thừa các nghiên cứu trước đây và tham khảo ý kiến chuyên gia trong quản lý năng suất của các NTXDVVN tại Việt Nam, quy trình nghiên cứu của nghiên cứu này được trình bày trong **Hình 1**.

Nghiên cứu được khởi đầu bằng việc tham khảo và phân tích các công trình trước đây có nội dung liên quan đến mục tiêu nghiên cứu. Trên cơ sở đó, danh sách các yếu tố ảnh hưởng đến công tác quản lý năng suất của các nhà thầu xây dựng tại Việt Nam và trên thế giới đã được tổng hợp. Từ kết quả này, một bảng câu hỏi sơ bộ được xây dựng và khảo sát thử nghiệm đã được tiến hành với 5 chuyên gia có trên 10 năm kinh nghiệm trong lĩnh vực quản lý năng suất của nhà thầu xây dựng. Kết quả của khảo sát thử nghiệm được sử dụng làm cơ sở để làm rõ các nội dung còn mơ hồ trong bảng câu hỏi sơ bộ, loại bỏ những nhân tố không phù hợp và bổ sung các nhân tố phù hợp với điều kiện của ngành Xây dựng Việt Nam. Trên cơ sở đó, bảng câu hỏi chính thức được phát trực tiếp cho các đối tượng tham gia khảo sát. Việc thu thập dữ liệu được thực hiện theo phương pháp chọn mẫu thuận tiện kết hợp với kỹ thuật “snowball”. Nhằm gia tăng số lượng mẫu, bảng câu hỏi cũng được thiết kế trên Google Forms để tiến hành khảo sát trực tuyến.

Đối tượng tham gia khảo sát là những người đã từng tham gia làm việc trong ngành Xây dựng tại khu vực TP.HCM và các tỉnh lân cận. Thời gian khảo sát bắt đầu vào tháng 10/2023 và kết thúc vào tháng 3/2024. Cuộc khảo sát đã thu về 675 phiếu trả lời từ 1980 phiếu đã phát ra. Sau khi tinh lọc, chỉ còn 535 bảng hỏi hợp lệ.

Căn cứ dữ liệu đã thu thập, chỉ số ảnh hưởng tương đối (Relative Influence Index, RINI) của mỗi nhân tố được tính toán theo công thức (1) (Chen và ctg., 2009):

$$RINI = \frac{\sum_{i=1}^5 W_i * X_i}{A * N} \quad (1)$$

Trong đó:

- RINI = chỉ số ảnh hưởng tương đối
- W = Trọng số mà người trả lời đã đưa ra cho từng nhân tố và nằm trong khoảng từ 1 đến 5
- X = tần suất chọn lựa thứ i mà những người được khảo sát đưa ra cho mỗi nhân tố
- A = trọng số cao nhất (tức là 5 trong nghiên cứu này)

Bảng 2. Xếp hạng các nhân tố theo RINI (toàn bộ & theo nhóm đối tượng)

Mã hiệu	Nhân tố	RINI (toàn bộ)	Thứ hạng theo toàn bộ và nhóm đối tượng			
			Toàn bộ	Chủ đầu tư	Nhà thầu	Tư vấn và khác
LG03	Phong cách lãnh đạo và truyền cảm hứng của đội ngũ quản lý	0.87	1	1	2	1
IP01	Lập kế hoạch dự án và thiết kế quy trình làm việc	0.87	1	1	2	2
IP04	Điều phối chuỗi cung ứng và hệ thống cung cấp dịch vụ	0.86	3	1	1	3
IP02	Tích hợp công nghệ và quản lý vật liệu	0.86	3	4	5	3
IP05	Tiêu chuẩn năng suất, đo lường năng suất lao động và đánh giá hiệu suất	0.85	5	4	4	3
IP08	Tổ chức đội ngũ và quy trình phối hợp	0.85	5	4	5	3
IP03	Kiểm soát chất lượng và giám sát tuân thủ	0.85	5	4	5	8
IP07	Đổi mới trong quy trình nội bộ	0.85	5	8	8	8
CS08	Một lịch trình làm việc giữa các bên được thiết lập rõ ràng	0.85	5	8	8	3
LG01	Tuyển dụng, quản lý, đào tạo và phát triển nguồn nhân lực đúng pháp luật và làm việc hiệu quả, tận tụy	0.84	10	8	8	8
LG02	Văn hóa đổi mới và phát triển bền vững	0.84	10	12	8	8

- N = tổng số người tham gia



Hình 1. Quy trình nghiên cứu

Các nhân tố được xếp hạng theo RINI. Một nhân tố có RINI cao hơn ngụ ý rằng nhân tố này được các người tham gia đánh giá có mức độ ảnh hưởng mạnh hơn đến quản lý năng suất nhà thầu. Ngoài việc xếp hạng các nhân tố dựa trên toàn bộ người tham gia khảo sát, nghiên cứu còn thực hiện xếp hạng các nhân tố theo ba (03) nhóm đối tượng: 1) chủ đầu tư; 2) Nhà thầu; và 3) Tư vấn và khác.

4. CÁC KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

4.1. Kết quả các nhân tố theo từng nhóm đối tượng khảo sát

Kết quả phân tích cho thấy, thang đo trong bảng câu hỏi là tin cậy bởi vì hệ số Cronbach's alpha của tất cả các nhân tố đều lớn hơn 0.6. Căn cứ RINI, các nhân tố được xếp hạng theo ba nhóm đối tượng khác nhau (chủ đầu tư, nhà thầu, tư vấn và khác). **Bảng 2** bên dưới trình bày thứ hạng các nhân tố theo RINI giảm dần cho toàn bộ người tham gia khảo sát.

Mã hiệu	Nhân tố	RINI (toàn bộ)	Thứ hạng theo toàn bộ và nhóm đối tượng			
			Toàn bộ	Chủ đầu tư	Nhà thầu	Tư vấn và khác
CS06	Truyền thông và sự liên kết các bên liên quan	0.84	10	12	14	8
CS07	Sự tham gia của lãnh đạo trong quan hệ khách hàng	0.84	10	8	14	8
CS05	Đội ngũ nhân sự lấy khách hàng làm trung tâm	0.83	14	14	14	8
CS04	Tiêu chuẩn chất lượng và kiểm soát chất lượng dịch vụ và kết quả phản hồi hiệu quả	0.83	14	17	19	15
IP06	Quản lý rủi ro và giảm thiểu tác động môi trường	0.83	14	14	19	19
FI06	Theo dõi dòng tiền và hiệu quả chi phí	0.83	14	19	12	15
FI04	Tối ưu hóa việc sử dụng tài nguyên và tận dụng sự sẵn có của nguồn lực	0.82	18	19	12	15
FI05	Quản lý quan hệ nhà cung cấp	0.82	18	23	19	15
LG07	Tận dụng kinh nghiệm và kiến thức trước đây	0.82	18	14	14	19
LG06	Văn hóa sản xuất thân thiện môi trường và tôn trọng văn hóa bản địa	0.82	18	17	14	19
LG04	Sự gắn kết, học hỏi, chia sẻ, hợp tác của đội ngũ nhân sự	0.81	22	19	19	19
CS02	Chỉ số hài lòng của khách hàng và cơ chế phản hồi	0.81	22	19	27	19
FI02	Chiến lược kinh doanh và lợi nhuận	0.81	22	26	23	19
FI03	Thanh toán đúng hạn theo hợp đồng	0.80	25	23	23	25
FI01	Lập kế hoạch tài chính và phân bổ nguồn lực tài chính	0.80	25	26	25	25
CS01	Kế hoạch chiến lược khách hàng và thông tin xu hướng thị trường	0.80	25	23	25	27
CS03	Giao tiếp với khách hàng	0.79	28	26	29	27
LG05	Chủ động thích ứng với thay đổi và sẵn sàng học tập cập nhật cái mới	0.77	29	29	27	29

4.2. Thảo luận

Hai nhân tố được xếp hạng đầu là “Phong cách lãnh đạo và truyền cảm hứng của đội ngũ quản lý (LG03)” và “Lập kế hoạch dự án và thiết kế quy trình làm việc (IP01)”. Lãnh đạo gương mẫu và biết truyền cảm hứng luôn luôn là động lực để thúc đẩy và khuyến khích nhân viên làm việc hăng say và hiệu quả. Ngoài ra, việc lập kế hoạch dự án và thiết kế quy trình làm việc hiệu quả luôn luôn phù hợp với mọi tổ chức. Các NTXDVVN Việt Nam cũng không ngoại lệ. Tuy nhiên, khá nhiều NTXDVVN tại Việt Nam không tiến hành lập kế hoạch dự án.

Có một số lý do dẫn đến tình trạng này, bao gồm: không có ngân sách dành cho việc lập kế hoạch dự án do biên lợi nhuận thấp; thiếu nhân sự có kỹ năng lập kế hoạch; và chưa coi trọng đúng mức công tác lập kế hoạch dự án. Vì vậy, để nâng cao hiệu quả quản lý năng suất, các NTXDVVN cần tập trung vào việc xây dựng phong cách lãnh đạo hiệu quả, thực hiện lập kế hoạch dự án và thiết kế quy trình làm việc hợp lý cho các hoạt động.

Thật đáng chú ý khi có đến bảy nhân tố thuộc nhóm “Quá trình nội bộ (IP)” nằm trong chín nhân tố được xếp hạng cao nhất. Hai nhân tố còn lại thuộc các nhóm “Học tập và phát triển (LG)” và “Khách hàng (CS)”, đó là: “Phong cách lãnh đạo và truyền cảm hứng của đội ngũ quản lý (LG03)” và “Lịch trình làm việc giữa các bên được thiết lập rõ ràng (CS08)”. Kết quả này hoàn toàn phù hợp với các nguyên tắc chung về cải thiện năng suất trên thế giới. Các quy trình nội bộ được tổ chức hợp lý đóng vai trò then chốt trong việc tạo ra sản phẩm hoặc dịch vụ có chất lượng cao, đồng thời duy trì NSLĐ ở mức cao.

Kết quả này cho thấy nhận thức đúng đắn của đội ngũ nhân sự trong ngành Xây dựng Việt Nam về các nhân tố có ảnh hưởng mạnh đến công tác quản lý năng suất của nhà thầu. Đồng thời, nó cũng hàm ý rằng việc nâng cao năng suất cần ưu tiên tập trung vào việc cải thiện các quá trình nội bộ của doanh nghiệp xây dựng. Cụ thể, đó là các nhân tố: “Lập kế hoạch dự án và thiết kế quy trình làm việc (IP01)”, “Tích hợp công nghệ và quản lý vật liệu (IP02)”, “Kiểm soát chất lượng và giám sát tuân thủ (IP03)”, “Điều phối chuỗi cung ứng và hệ thống cung cấp dịch vụ (IP04)”, “Tiêu chuẩn năng suất, đo lường năng suất lao động và đánh giá hiệu suất (IP05)”, “Đổi mới trong quy trình nội bộ (IP07)” và “Tổ chức đội ngũ và quy trình phối hợp (IP08)”.

Tám nhân tố xếp hạng cuối liên quan đến tài chính, khách hàng và học tập và phát triển. Trong đó, ba nhân tố liên quan đến “Tài chính (FI)” là “Lập kế hoạch tài chính và phân bổ nguồn lực tài chính (FI01)”, “Chiến lược kinh doanh và lợi nhuận (FI02)”, và “Thanh toán đúng hạn theo hợp đồng (FI03)”. Ba nhân tố thuộc nhóm “Khách hàng (CS)” gồm: “Kế hoạch chiến lược khách hàng và thông tin xu hướng thị trường (CS01)”, “Chỉ số hài lòng của khách hàng và cơ chế phản hồi (CS02)”, và “Giao tiếp với khách hàng (CS03)”; hai nhân tố thuộc nhóm “Học tập và phát triển (LG)” gồm: “Sự gắn kết, học hỏi, chia sẻ, hợp tác của đội ngũ nhân sự (LG04)” và “Chủ động thích ứng với thay đổi, sẵn sàng học tập và cập nhật kiến thức mới (LG05)”.

Các nhân tố này ảnh hưởng nhiều đến năng suất nhà thầu nhưng ảnh hưởng yếu đến quản lý năng suất nhà thầu. Vì thế, việc cải thiện quản lý năng suất các NTXDVVN chưa cần tập trung

hiều vào thanh toán đúng hạn, lập kế hoạch tài chính, chiến lược kinh doanh. Cần phân biệt rõ rằng các giải pháp cải thiện năng suất nhà thầu khác với các biện pháp nâng cao quản lý năng suất nhà thầu. Tương tự, các nhân tố liên quan đến khách hàng có ảnh hưởng yếu đến quản lý năng suất các NTXDVVN. Hơn nữa, điều này cũng chỉ ra sự gắn kết và hợp tác của nhân sự trong các NTXDVVN không đóng vai trò quan trọng trong cải thiện quản lý năng suất nhà thầu. Kết quả này cũng phản ánh đúng thực tiễn của các NTXDVVN tại Việt Nam. Thực tế, lực lượng lao động trong các doanh nghiệp này chủ yếu là công nhân xây dựng. Tuy nhiên, vì nhiều lý do, tâm lý phân biệt vùng miền giữa các nhóm công nhân vẫn tồn tại, gây khó khăn và ảnh hưởng tiêu cực đến công tác quản lý năng suất. Đáng chú ý, nhân tố “Chủ động thích ứng với thay đổi và sẵn sàng học tập, cập nhật cái mới (LG05)” được các nhóm đối tượng khảo sát xếp hạng thấp

nhất. Điều đó cho thấy khả năng thích ứng và tinh thần đổi mới hiện nay vẫn có tác động yếu nhất đến quản lý năng suất trong các NTXDVVN. Nguyên nhân có thể xuất phát từ việc các chủ doanh nghiệp chưa thực sự sẵn sàng học hỏi và áp dụng các phương pháp quản lý, thi công mới.

4.3. Đề xuất các khuyến nghị nhằm cải thiện quản lý năng suất các NTXDVVN

Các khuyến nghị để cải thiện quản lý năng suất các NTXDVVN của Việt Nam sẽ dựa vào bốn nhân tố được xếp hạng đầu bởi vì các nhân tố này có ảnh hưởng lớn nhất. **Bảng 3** trình bày các giải pháp này. Các khuyến nghị này đã được xác nhận bởi 05 chuyên gia với hơn 10 năm kinh nghiệm trong quản lý năng suất nhà thầu bằng phương pháp Delphi.

Bảng 3. Các khuyến nghị nhằm cải thiện quản lý năng suất NTXDVVN

Mã hiệu	Nhân tố	Khuyến nghị để cải thiện quản lý năng suất NTXDVVN
LG03	Phong cách lãnh đạo và truyền cảm hứng của đội ngũ quản lý	- Khuyến khích lãnh đạo các NTXDVVN áp dụng các phong cách lãnh đạo phù hợp với Việt Nam. - Các hội nghề nghiệp tổ chức các lớp học nghiệp vụ nhằm phổ biến phong cách lãnh đạo phù hợp với điều kiện Việt Nam.
IP01	Lập kế hoạch dự án và thiết kế quy trình làm việc	- Hiệp hội nhà thầu xây dựng Việt Nam nên hỗ trợ bằng cách biên soạn các quy trình làm việc điển hình cho các NTXDVVN. - Các NTXDVVN nên coi trọng việc lập kế hoạch dự án và bố trí nhân sự phù hợp.
IP04	Điều phối chuỗi cung ứng và hệ thống cung cấp dịch vụ	- Các chính sách phù hợp nên được ban hành để khuyến khích một chuỗi cung ứng xuyên suốt cho các NTXDVVN. - Các hoạt động điều phối chuỗi cung ứng nên được thúc đẩy bởi các hội nghề nghiệp và các bên liên quan.
IP02	Tích hợp công nghệ và quản lý vật liệu	- Áp dụng các công cụ tạo sinh AI (GenAI tools) như ChatGPT trong quản lý vật liệu và các hoạt động khác. - Chuẩn bị nguồn nhân lực phù hợp cho việc tích hợp công nghệ và quản lý vật liệu. - Đào tạo định kỳ cho nhân viên văn phòng và công nhân. - Lãnh đạo các NTXDVVN cam kết mạnh mẽ cho việc áp dụng công nghệ mới vào quản lý vật liệu và quản lý năng suất.

5. KẾT LUẬN

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu về việc xếp hạng các nhân tố ảnh hưởng đến công tác quản lý năng suất nhà thầu trong nhóm NTXDVVN tại TP.HCM và các tỉnh lân cận. Tổng cộng có 29 nhân tố đã được nhận dạng sau quá trình tổng quan và khảo sát thử nghiệm. Các nhân tố này được phân loại theo bốn quan điểm của thẻ điểm cân bằng (BSC): Tài chính, khách hàng, quá trình nội bộ, học tập và phát triển.

Chỉ số RINI (Relative Influence Index) được dùng để xếp hạng các nhân tố. Từ 535 bảng hỏi hợp lệ, các nhân tố được xếp hạng theo ba nhóm đối tượng khảo sát: nhà thầu, chủ đầu tư, tư vấn và khác. Kết quả nghiên cứu cho thấy các nhân tố thuộc nhóm quá trình nội bộ có ảnh hưởng mạnh nhất đến công tác quản lý năng suất của nhà thầu, trong khi các nhân tố thuộc nhóm khách hàng và tài chính lại thể hiện mức độ ảnh hưởng thấp hơn. Những nhân tố được xếp hạng cao đóng vai trò định hướng cho các NTXDVVN trong việc xây dựng các giải pháp phù hợp nhằm nâng cao hiệu quả quản lý năng suất. Các khuyến nghị cụ thể

được đề xuất dựa trên bốn nhân tố có thứ hạng cao nhất. Cần lưu ý rằng, các kết quả này chủ yếu phản ánh đặc thù của các NTXDVVN; tuy nhiên, các nhà thầu xây dựng quy mô lớn vẫn có thể tham khảo bài báo để phát triển chiến lược cải thiện năng suất phù hợp với điều kiện của mình.

Các nghiên cứu trong tương lai nên mở rộng phạm vi sang các nhà thầu có quy mô lớn, đồng thời áp dụng các phương pháp phân tích thống kê tiên tiến hơn như EFA và SEM để kiểm định độ tin cậy và mối quan hệ giữa các nhân tố. Bên cạnh đó, cũng nên triển khai nghiên cứu tại Hà Nội và các đô thị lớn khác như Hải Phòng, Đà Nẵng, Cần Thơ và Huế nhằm xác định sự khác biệt về đặc điểm quản lý năng suất theo yếu tố địa lý, nếu có.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Abdul-Rahman, H., Berawi, M. A., Berawi, A. R., Mohamed, O., Othman, M., & Yahya, I. A. (2006). Delay Mitigation in the Malaysian Construction Industry. *Journal of Construction Engineering and Management*, 132(2), 125-133. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9364\(2006\)132:2\(125\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9364(2006)132:2(125))

- [2]. Ahmad, I., & El-Sayegh, S. (2021). Digital Technology and Integration in Construction: The UAE Context. 11th International Conference on Construction in the 21st Century, London 2019, London.
- [3]. Ahmadpour, S., & Ghezavati, V. (2019). Modeling and solving multi-skilled resource-constrained project scheduling problem with calendars in fuzzy condition. *Journal of Industrial Engineering International*, 15(51), 179-197. <https://doi.org/10.1007/s40092-019-00328-w>
- [4]. Al Kailani, H., Sweis, G. J., Sammour, F., Maaitah, W. O., Sweis, R. J., & Alkailani, M. (2024). Predicting construction cost index using fuzzy logic and machine learning in Jordan. *Construction Innovation*, ahead-of-print (ahead-of-print). <https://doi.org/10.1108/CI-08-2023-0182>
- [5]. Ali, A. S., Maelah, R., Meerani, M. A., & Jantan, M. D. (2022). A Conceptual Framework of Sustainability Balanced Scorecard to Enhance the Performance of Shared Service Centre. *Asian Journal Of Accounting Perspectives*, 15(2), 66-80. <https://doi.org/10.22452/AJAP.vol15no2.4>
- [6]. Berisha, G., & Pula, J. S. (2015). Defining Small and Medium Enterprises: a critical review. *Academic Journal of Business, Administration, Law and Social Sciences* 1, 17-28
- [7]. Chai, C. S., Yusof, A. M., & Habil, H. (2015). Delay mitigation in the Malaysian housing industry: A structural equation modelling approach. *Journal of Construction in Developing Countries*, 20(1), 65-83
- [8]. Chen, Y., Okudan, G. E., & Riley, D. R. (2009). Sustainable performance criteria for construction method selection in concrete buildings. *Automation in Construction*, 19(2), 235-244. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.10.004>
- [9]. Chính-phủ. (2021). Nghị định 80/2021/NĐ-CP ngày 26/8/2021 của Chính phủ quy định chi tiết và hướng dẫn thi hành một số điều của luật hỗ trợ doanh nghiệp nhỏ và vừa.
- [10]. Cooper, D. J., Ezzamel, M., & Qu, S. Q. (2017). Popularizing a Management Accounting Idea: The Case of the Balanced Scorecard. *Contemporary Accounting Research*, 34(2), 991-1025. <https://doi.org/10.1111/1911-3846.12299>
- [11]. Elghaish, F., Abrishami, S., & Hosseini, M. R. (2020). Integrated project delivery with blockchain: An automated financial system. *Automation in Construction*, 114, 103182. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103182>
- [12]. Faraji, A., Rashidi, M., & Sorooshnia, E. (2020). An Integrated Organizational System for Project Source Selection in the Major Iranian Construction Companies. *Buildings*, 10(12), 251. <https://doi.org/10.3390/buildings10120251>
- [13]. Gondia, A., Siam, A., El-Dakhkhni, W., & Nassar, A. H. (2020). Machine Learning Algorithms for Construction Projects Delay Risk Prediction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 146(1), 04019085. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001736](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001736)
- [14]. GSO. (2025). Báo cáo tình hình kinh tế - xã hội quý IV và năm 2024. Hà Nội, Việt Nam: Thống kê. Được truy cập từ: <https://www.nso.gov.vn/bai-top/2025/01/bao-cao-tinh-hinh-kinh-te-xa-hoi-quy-iv-va-nam-2024>
- [15]. Jongo, J. S., Tesha, D. N. G. A. K., Kasonga, R., Teyanga, J. J., & Lyimo, K. S. (2019). Mitigation measures in dealing with delays and cost overrun in public building projects in Dar-Es-Salaam, Tanzania. *International Journal of Construction Engineering and Management*, 8(3), 81-96
- [16]. Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (1992). The Balance Scorecard - Measures That Drive Performance. *Harvard Business Review*, 70(1), 71-79
- [17]. Kaplan, R. S., & Hoque, Z. (2012). The balanced scorecard: comments on balanced scorecard commentaries. *Journal of Accounting & Organizational Change*, 8(4), 539-545. <https://doi.org/10.1108/18325911211273527>
- [18]. Kumi, L., & Jeong, J. (2023). Optimization model for selecting optimal prefabricated column design considering environmental impacts and costs using genetic algorithm. *Journal of Cleaner Production*, 417, 137995. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137995>
- [19]. Lim, L. J. W., & Ling, F. Y. Y. (2012). Human resource practices of contractors that lead to job satisfaction of professional staff. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 19(1), 101-118. <https://doi.org/10.1108/09699981211192599>
- [20]. Loosemore, M. (2014). Improving construction productivity: a subcontractor's perspective. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 21(3), 245-260. <https://doi.org/10.1108/ecam-05-2013-0043>
- [21]. Mostofi, F., Behzat Tokdemir, O., & Toğan, V. (2024). A decision-support productive resource recommendation system for enhanced construction project management. *Advanced Engineering Informatics*, 62, 102793. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2024.102793>
- [22]. Pavez, I., Gómez, H., Laulié, L., & González, V. A. (2021). Project team resilience: The effect of group potency and interpersonal trust. *International Journal of Project Management*, 39(6), 697-708. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2021.06.004>
- [23]. Podgórska, M., & Pichlak, M. (2019). Analysis of project managers' leadership competencies. *International Journal of Managing Projects in Business*, 12(4), 869-887. <https://doi.org/10.1108/ijmpb-08-2018-0149>
- [24]. Rigby, D., & Bilodeau, B. (2015). Management tools & trends 2015. <http://www.bain.com/publications/articles/management-tools-and-trends-2015.aspx>
- [25]. Sa'eed, A., Gambo, N., Inuwa, I. I., & Musonda, I. (2020). Effects of financial management practices on technical performance of building contractors in northeast Nigeria. *Journal of Financial Management of Property and Construction*, 25(2), 201-223. <https://doi.org/10.1108/jfmpc-07-2019-0064>
- [26]. Taylor, A., & Taylor, M. (2013). Factors influencing effective implementation of performance measurement systems in small and medium-sized enterprises and large firms: a perspective from Contingency Theory. *International Journal of Production Research*, 52(3), 847-866. <https://doi.org/10.1080/00207543.2013.842023>
- [27]. Tucker, R. L. (1986). Management of Construction Productivity. *Journal of Management in Engineering*, 2(3), 148-156. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)9742-597x\(1986\)2:3\(148\)](https://doi.org/10.1061/(asce)9742-597x(1986)2:3(148))
- [28]. Wu, Y., Zeng, H., Hao, N., & Ma, S. (2025). The impact of economic policy uncertainty on the domestic value added rate of construction enterprise exports-evidence from China. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 1-15. <https://doi.org/10.1080/13467581.2025.2479512>
- [29]. Yarnold, J., Banihashemi, S., Lemckert, C., & Golizadeh, H. (2021). Building and construction quality: systematic literature review, thematic and gap analysis. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, 41(5), 942-964. <https://doi.org/10.1108/ijbpa-05-2021-0072>
- [30]. Zabihi, S., Rashidi Kahag, M., Maghsoudlou, H., & Afshar-Nadjafi, B. (2019). Multi-objective teaching-learning-based meta-heuristic algorithms to solve multi-skilled project scheduling problem. *Computers & Industrial Engineering*, 136, 195-211. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.07.032>
- [31]. Zidane, Y. J., & Andersen, B. (2018). Causes of delay and their cures in major Norwegian projects. *The Journal of Modern Project Management*, 5(3), 80-91. <https://doi.org/10.19255/JMPM01509>

Đấu thầu bền vững: Các yếu tố cần được tích hợp trong quá trình lựa chọn nhà thầu

Sustainable procurement: factors to be integrated in the contractor selection process

> **THS LÊ VIỆT HÒA**

Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội; Email: hoalv@hau.edu.vn

TÓM TẮT

Trên thế giới, đấu thầu bền vững (ĐTBV) đã trở thành xu hướng chung của nhiều quốc gia và được tích hợp vào các Mục tiêu Phát triển bền vững (SDGs) của Liên Hợp Quốc [3]. Tại Việt Nam, hoạt động đấu thầu bền vững đã được định hướng và khuyến khích áp dụng, tuy nhiên vẫn còn tồn tại một số hạn chế và thách thức trong quá trình triển khai thực tế. Bài viết này tập trung phân tích các yếu tố cần được tích hợp trong quá trình lựa chọn nhà thầu nhằm hướng tới việc thực hiện ĐTBV một cách hiệu quả hơn.

Từ khóa: Đấu thầu bền vững, minh bạch, môi trường, xã hội và hiệu quả.

ABSTRACT

In the world, sustainable bidding has become a common trend of countries and has been integrated into the United Nations' sustainable development goals [3]. In Vietnam, sustainable bidding activities have been oriented and encouraged to be applied, however, there are still some limitations and challenges in implementation. This article discusses the factors that need to be integrated into the contractor selection process when applying sustainable bidding.

Keywords: Sustainable procurement, transparent, environmental, social and efficient procurement.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

ĐTBV là quá trình đấu thầu tích hợp các yếu tố môi trường, xã hội và kinh tế vào tất cả các giai đoạn của quá trình lựa chọn nhà thầu. Mục tiêu ĐTBV là đảm bảo các dự án được thực hiện không chỉ hiệu quả về chi phí mà còn có trách nhiệm với môi trường và xã hội, đồng thời mang lại lợi ích kinh tế dài hạn.

Luật Đấu thầu [2] thể chế hóa chủ trương của Đảng, Nhà nước về phát triển xanh, phát triển bền vững, chỉ ra những đối tượng được hưởng ưu đãi trong đấu thầu lựa chọn nhà thầu, điều này tạo điều kiện khuyến khích các nhà thầu cải tiến quy trình sản xuất theo hướng ĐTBV, từ đó tăng khả năng trúng thầu. Nghị định của Chính phủ [1] đã quy định ba yếu tố quan trọng (về môi trường, xã hội, kinh tế) được lồng ghép vào quá

trình lựa chọn nhà thầu. Tuy nhiên, còn thiếu một số hướng dẫn cụ thể cho các chủ đầu tư, bên mời thầu và nhà thầu có thể áp dụng và triển khai đúng quy định về ĐTBV.

Do vậy, việc xác định những tồn tại, hạn chế; nghiên cứu các yếu tố cần được tích hợp trong quá trình lựa chọn nhà thầu và đề xuất hướng giải quyết là cần thiết khi thực hiện lựa chọn nhà thầu theo mô hình ĐTBV.

2. NHỮNG TỒN TẠI, HẠN CHẾ GIAI ĐOẠN ĐẦU ÁP DỤNG ĐTBV

Tại Việt Nam, các nội dung về ĐTBV bước đầu hình thành khung pháp lý, tạo tiền đề cho việc triển khai rộng rãi trong tương lai gần. Tuy nhiên, thực tiễn cho thấy quá trình ĐTBV ở Việt Nam còn tồn tại một số hạn chế sau đây:

- Khung pháp lý về ĐTBV chưa đầy đủ, rủi ro về pháp lý cao, thiếu hướng dẫn cụ thể qua các văn bản dưới luật để chủ đầu tư, bên mời thầu có thể triển khai;

- Nhận thức về ĐTBV còn rất hạn chế, chủ yếu tập trung vào việc mua sắm đúng quy trình, mà chưa quan tâm nhiều đến tính hiệu quả của toàn bộ dự án cũng như tính bền vững trong hoạt động mua sắm công;

- Các tiêu chí bền vững thuộc bộ tiêu chí đánh giá trong hồ sơ mời thầu (HSMT) còn thiếu, nên chủ đầu tư, bên mời thầu và các nhà thầu không đủ căn cứ để xác định;

- Năng lực của cán bộ thực hiện ĐTBV còn hạn chế, thiếu kinh nghiệm và chuyên môn trong đánh giá các yếu tố bền vững. Hệ thống chuyên gia độc lập có thể tư vấn cho các bên liên quan về ĐTBV còn mỏng;

- Chi phí ban đầu thực hiện ĐTBV cao hơn, đặt ra cho các chủ đầu tư bài toán khó hơn trong điều kiện nguồn vốn có hạn;

- Ngoài ra, việc thiếu minh bạch và cạnh tranh không lành mạnh vẫn còn tồn tại.

3. CÁC YẾU TỐ CẦN ĐƯỢC TÍCH HỢP/LỒNG GHÉP THEO MÔ HÌNH ĐTBV

3.1. Quy định của pháp luật về các yếu tố

Việc tích hợp các tiêu chí môi trường, xã hội và kinh tế vào quá trình đấu thầu, từ lập kế hoạch đến quản lý hợp đồng là bước quan trọng để lồng ghép tính bền vững vào thực tiễn.

ĐTBV được quy định tại khoản 2 Điều 2 [1]: "ĐTBV bao gồm ba yếu tố cốt lõi về môi trường, xã hội, kinh tế được lồng ghép vào quá trình lựa chọn nhà thầu: Lập kế hoạch tổng thể lựa chọn nhà thầu (nếu có), kế hoạch lựa chọn nhà thầu, lập thiết kế, lập HSMT, hồ sơ yêu cầu, đánh giá hồ sơ dự thầu, hồ sơ đề xuất, ký kết và quản lý thực hiện hợp đồng".

1) Yếu tố môi trường

Yếu tố môi trường trong ĐTBV thực chất hướng đến mục tiêu bảo vệ môi trường, thông qua việc đánh giá tác động môi trường của dự án, khuyến khích các phương án bền vững về sử dụng tài nguyên thiên nhiên, giảm thiểu ô nhiễm và bảo vệ đa dạng sinh học. Đây là một trong những yếu tố quan trọng, đòi hỏi các nhà thầu cần chú trọng đến việc giảm thiểu tác động tiêu cực đến thiên nhiên.

Các yếu tố môi trường có thể được đánh giá qua nhiều tiêu chí như:

- Sử dụng vật liệu thân thiện với môi trường bao gồm vật liệu tái chế, có thể tái sử dụng hoặc giảm thiểu chất thải;
- Các giải pháp tiết kiệm năng lượng và nước, giúp giảm tiêu thụ năng lượng và nước trong suốt vòng đời của dự án;
- Giảm thiểu khí thải trong quá trình sản xuất, vận chuyển và thi công sẽ là một phần quan trọng trong tiêu chí lựa chọn nhà thầu.

Yếu tố môi trường còn đòi hỏi thực hiện đấu thầu xanh, trong đó các yếu tố về môi trường này được xem xét trong quá trình lựa chọn nhà thầu và cả khi mua sắm hàng hóa, dịch vụ. Thực hiện đấu thầu xanh không chỉ giúp giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường mà còn thúc đẩy sử dụng công nghệ và sản phẩm thân thiện với môi trường. Nếu hồ sơ mời thầu trong ĐTBV được đưa vào yếu tố đấu thầu xanh sẽ giúp ích rất nhiều cho việc giảm phát thải môi trường do các chất ô nhiễm và hiệu ứng nhà kính, với những nội dung sau:

- Khuyến khích sử dụng công nghệ sạch: Công nghệ hoặc sản phẩm có ít phát thải, giúp giảm thiểu lượng khí thải nhà kính và các chất gây ô nhiễm môi trường;
- Tối ưu hóa hiệu quả năng lượng: Yêu cầu sử dụng vật liệu cách nhiệt tốt hoặc các thiết bị tiêu thụ ít năng lượng như đèn LED, hệ thống năng lượng tái tạo (như điện mặt trời, điện gió); giúp giảm phát thải CO₂ trong suốt vòng đời của dự án;
- Tăng cường tái sử dụng và tái chế: Thúc đẩy việc sử dụng các vật liệu tái chế và sản phẩm có vòng đời bền vững, nhằm giảm lượng chất thải và tiêu thụ tài nguyên, giảm lượng tài nguyên khai thác và giảm phát thải liên quan đến quá trình sản xuất.

- Giảm thiểu tác động môi trường chuỗi cung ứng: Yêu cầu nhà cung cấp tuân thủ các tiêu chuẩn môi trường nghiêm ngặt trong suốt quá trình sản xuất, vận chuyển và thi công;

- Khuyến khích đổi mới về yếu tố môi trường: Tạo động lực cho các doanh nghiệp đầu tư vào các giải pháp công nghệ mới giúp giảm phát thải, từ đó góp phần tạo ra môi trường kinh doanh cạnh tranh dựa trên yếu tố xanh. Điều này khuyến khích sự phát triển của các sản phẩm và dịch vụ thân thiện với môi trường, góp phần giảm thiểu ô nhiễm lâu dài.

2) Yếu tố xã hội

Trong ĐTBV, yếu tố xã hội đề cập đến các tiêu chí, điều khoản và quy định liên quan đến tác động của dự án đến cộng đồng, người lao động và các vấn đề xã hội khác, như quyền con người, điều kiện làm việc, an toàn và sự tham gia của cộng đồng. Nó bao gồm việc xem xét các khía cạnh như: Đảm bảo công bằng, minh bạch và cạnh tranh, bảo vệ quyền lao động, đóng góp vào phát triển cộng đồng, đồng thời tôn trọng các giá trị văn hóa và lịch sử.

Yếu tố xã hội trong ĐTBV đòi hỏi các nhà thầu phải cân nhắc đến ảnh hưởng của dự án đến cộng đồng và xã hội, thể hiện qua các tiêu chí như:

- Thực hiện các chính sách lao động công bằng gồm: Đảm bảo điều kiện làm việc tốt cho người lao động, không phân biệt đối xử và tạo ra môi trường lao động an toàn;

- Phát triển cộng đồng, thể hiện: Tạo cơ hội việc làm cho cộng đồng địa phương, hỗ trợ các sáng kiến xã hội hoặc tài trợ cho các chương trình giáo dục, y tế;

- Chính sách đối với các nhóm yếu thế: Thông qua các nhóm người thiệt thòi như phụ nữ, người khuyết tật và các cộng đồng thiểu số có cơ hội tham gia vào các dự án.

3) Yếu tố kinh tế

Yếu tố kinh tế trong ĐTBV thực chất là tối ưu hóa hiệu quả kinh tế của dự án, thúc đẩy tăng trưởng bền vững, cân nhắc tới chi phí trọn đời, quản lý rủi ro và đóng góp vào mục tiêu phát triển kinh tế - xã hội tổng thể.

Để dự án thực sự hiệu quả, trong ĐTBV phải mang lại lợi ích kinh tế lâu dài; lợi ích này bao gồm việc nâng cao hiệu quả sử dụng vốn, thúc đẩy cạnh tranh lành mạnh và tạo ra sự phát triển bền vững cho nền kinh tế. ĐTBV giúp tối ưu hóa chi phí, tăng cường chất lượng sản phẩm và dịch vụ, đồng thời khuyến khích đổi mới, sáng tạo cho các ngành nghề liên quan.

Biểu hiện chủ yếu của yếu tố kinh tế trong ĐTBV gồm:

- Giảm chi phí vận hành: Trong hồ sơ dự thầu, các nhà thầu cần đưa ra giải pháp giảm chi phí trong quá trình vận hành và bảo trì công trình sau khi hoàn thành;

- Lợi nhuận dài hạn: Các công trình bền vững không chỉ tiết kiệm chi phí trong ngắn hạn mà còn đem lại lợi ích dài lâu thể hiện qua khả năng tiết kiệm năng lượng, vật liệu và sự bền vững/tuổi thọ qua thời gian;

- Giải pháp sáng tạo trong tài chính: Các hình thức tài trợ xanh (tài chính xanh - là việc sử dụng các công cụ tài chính để hỗ trợ các hoạt động bảo vệ môi trường, giảm thiểu tác động tiêu cực đến hệ sinh thái và thúc đẩy sự phát triển bền vững), hợp tác công tư (PPP) hay các khoản đầu tư bền vững là các mô hình có thể giúp giảm thiểu chi phí đầu tư ban đầu.

3.2. Các yếu tố cần được tích hợp/lồng ghép khác

1) Yếu tố quản trị và tính minh bạch công bằng

Tính minh bạch - công bằng và có một hệ thống quản trị rõ ràng là yếu tố không thể thiếu trong ĐTBV.

- Minh bạch trong lựa chọn nhà thầu thể hiện: Các tiêu chí về bền vững cần được công khai và nhà thầu phải chứng minh khả năng của mình thông qua giá trị tài chính và qua cam kết với môi trường, xã hội.

- Minh bạch và công bằng: Đảm bảo quá trình đấu thầu được thực hiện công khai, minh bạch và tuân thủ quy định pháp luật, tạo sân chơi bình đẳng cho tất cả các nhà thầu.

- Quản trị hiệu quả: Các tổ chức tham gia ĐTBV cần có hệ thống quản lý để đảm bảo rằng các cam kết bền vững được thực hiện đầy đủ trong suốt quá trình thi công và sau khi dự án hoàn thành. Yếu tố này giúp các bên liên quan an tâm, giúp dự án đạt được mục tiêu bền vững theo đúng kế hoạch và hiệu quả sử dụng vốn cao.

Quản trị hiệu quả của các tổ chức tham gia ĐTBV giúp lựa chọn nhà thầu có năng lực tốt nhất, đảm bảo sử dụng vốn hiệu quả, tránh lãng phí và thất thoát.

2) Yếu tố đổi mới - sáng tạo và công nghệ

- Đổi mới và sáng tạo tạo động lực cho các nhà thầu không ngừng đổi mới, cải tiến công nghệ, nâng cao năng lực cạnh tranh, từ đó thúc đẩy sự phát triển của toàn ngành/lĩnh vực;

- Công nghệ là một yếu tố quan trọng không thể thiếu trong ĐTBV, đổi mới công nghệ giúp các nhà thầu sáng tạo ra những giải pháp thân thiện với môi trường, tối ưu hóa chi phí và tăng hiệu quả dự án.

Các công nghệ tiên tiến có thể là: (i) Công nghệ tái chế và xử lý chất thải - đảm bảo rằng chất thải được giảm thiểu và tái chế hiệu quả; (ii) Công nghệ tiết kiệm năng lượng - việc ứng dụng các thiết bị và hệ thống tiết kiệm năng lượng sẽ giúp giảm thiểu tác động môi trường của dự án; (iii) Ứng dụng các công nghệ xanh - công nghệ sử dụng năng lượng tái tạo, xây dựng thông minh hoặc các vật liệu xanh là xu hướng không thể thiếu trong ĐTBV.

4. ĐỀ XUẤT TRONG QUÁ TRÌNH LỰA CHỌN NHÀ THẦU THEO MÔ HÌNH ĐTBV

4.1. Đề xuất về khung khổ pháp lý về ĐTBV

Khung khổ pháp lý hiện tại của Việt Nam mới dừng lại ở mức định hướng, khuyến khích hoạt động ĐTBV, chưa có chỉ tiêu cụ thể và bắt buộc về lộ trình hoặc tỷ lệ phần trăm ĐTBV nên các chủ đầu tư, bên mời thầu chưa chủ động áp dụng. [1], [2]

Từng bước hình thành đồng bộ khung khổ pháp lý cho hoạt động ĐTBV theo chuẩn quốc tế với đặc trưng ở Việt Nam.

Đồng thời, nghiên cứu bổ sung thông tư hướng dẫn việc thực thi hoạt động ĐTBV cho các đối tượng liên quan.

Khung khổ pháp lý về ĐTBV phải là một hệ thống các quy tắc, luật lệ và hướng dẫn được thiết lập để điều chỉnh mô hình ĐTBV. Nó bao gồm các quy định, chính sách và tiêu chuẩn do Chính phủ hoặc các cơ quan có thẩm quyền ban hành, nhằm đảm bảo tuân thủ, bảo vệ quyền lợi của các bên liên quan và duy trì trật tự, ổn định trong xã hội.

Đây là bộ quy tắc mà mọi người, tổ chức, doanh nghiệp phải tuân theo khi hoạt động trong lĩnh vực ĐTBV lựa chọn nhà thầu.

4.2. Nghiên cứu kinh nghiệm xây dựng quy trình ĐTBV và đề xuất về nguyên tắc xây dựng quy trình ĐTBV

1) Nghiên cứu kinh nghiệm xây dựng quy trình ĐTBV thành công của Úc để đề xuất quy trình ĐTBV sau cho Việt Nam

Quy trình ĐTBV tại Úc nhấn mạnh việc tích hợp các yếu tố môi trường, xã hội và kinh tế vào quá trình lựa chọn nhà thầu, nhằm đạt được các mục tiêu phát triển bền vững. Chính phủ Úc đã xây dựng một quy trình ĐTBV chặt chẽ, bao gồm 6 bước, để đảm bảo hiệu quả đầu ra trên cả ba khía cạnh kinh tế, xã hội và môi trường:

Bước 1. Xác định nhu cầu và mục tiêu: Bắt đầu bằng việc xác định rõ ràng các yêu cầu của dự án, bao gồm cả các yếu tố bền vững cần đạt được;

Bước 2. Nghiên cứu thị trường và phân tích rủi ro: Tiến hành nghiên cứu thị trường để tìm kiếm các nhà thầu tiềm năng và đánh giá rủi ro liên quan đến các yếu tố bền vững;

Bước 3. Xây dựng tiêu chí đánh giá: Xác định các tiêu chí đánh giá dựa trên các yếu tố kinh tế, xã hội và môi trường, đồng thời đảm bảo rằng các tiêu chí này cụ thể, có thể đo lường được và có thể so sánh được;

Bước 4. Phát triển HSMT: Soạn thảo HSMT chi tiết, trong đó nêu rõ các yêu cầu về bền vững, tiêu chí đánh giá và quy trình đánh giá;

Bước 5. Đánh giá và lựa chọn nhà thầu: Đánh giá hồ sơ dự thầu dựa trên các tiêu chí đã được xác định, bao gồm cả các yếu tố bền vững;

Bước 6. Quản lý hợp đồng và theo dõi thực hiện: Theo dõi việc thực hiện hợp đồng, đảm bảo các cam kết về bền vững được tuân thủ và đánh giá hiệu quả của quá trình ĐTBV.

2) Cần nhắc các nguyên tắc trong ĐTBV để xây dựng quy trình ĐTBV trên cơ sở đặc thù quy trình đấu thầu của Việt Nam,

đồng thời bổ sung thêm các cấu phần bền vững trong hoạt động đấu thầu.

Thực hiện ĐTBV ở Việt Nam cần tuân thủ nguyên tắc:

- Cạnh tranh, công bằng, minh bạch cho tất cả các bên tham gia, đảm bảo mọi nhà thầu đều có cơ hội tham gia bình đẳng, không phân biệt đối xử, và quá trình đấu thầu diễn ra công khai, rõ ràng;

- Nguyên tắc giá trị của hàng hóa và dịch vụ đấu thầu: Nguyên tắc giá trị trong đấu thầu hàng hóa và dịch vụ bền vững bao gồm việc xem xét toàn diện các yếu tố về môi trường, xã hội và kinh tế trong quá trình lựa chọn nhà thầu, không chỉ tập trung vào giá cả thấp nhất. Phải đánh giá đầy đủ từ vòng đời sản phẩm, hiệu quả năng lượng, tác động đến môi trường, điều kiện làm việc và đóng góp vào sự phát triển kinh tế địa phương.

- Xác định chi phí cho toàn bộ vòng đời của sản phẩm: Nguyên tắc này là phương pháp tính toán tổng chi phí (kể cả dự kiến phát sinh) trong suốt vòng đời của sản phẩm, từ giai đoạn hình thành ý tưởng, thiết kế, sản xuất, sử dụng, bảo trì, cho đến khi loại bỏ hoặc tái chế. Đây là nguyên tắc giúp doanh nghiệp đưa ra quyết định đầu tư, quản lý và tối ưu hóa chi phí hiệu quả hơn, thay vì chỉ tập trung vào chi phí ban đầu.

4.3. Đề xuất về lựa chọn yêu cầu, tiêu chí đánh giá ĐTBV và cách tích hợp các tiêu chí bền vững

1) Lựa chọn yêu cầu, tiêu chí đánh giá:

Mỗi hàng hóa và dịch vụ trong hoạt động ĐTBV cần có yêu cầu và tiêu chí khác biệt, phù hợp với đặc thù của từng loại hàng hóa và dịch vụ.

Tuy nhiên, các yêu cầu cần bao trùm lên ba khía cạnh chính, đảm bảo phù hợp với thông lệ quốc tế là: (i) Khí hậu, (ii) Môi trường và (iii) Tính tuần hoàn.

Đồng thời, các tiêu chí đánh giá cần được lựa chọn kỹ càng, đảm bảo có thể đo lường và đánh giá dễ dàng, tránh việc sử dụng các tiêu chí chung chung, khó chấm điểm và xếp hạng các bên mời thầu.

2) Cách tích hợp các tiêu chí đánh giá:

- Trong HSMT, cần có các tiêu chí cụ thể về môi trường và xã hội như: Sử dụng vật liệu tái chế, giảm thiểu khí thải, đảm bảo điều kiện làm việc an toàn cho người lao động;

- Bên mời thầu cần có thang điểm đánh giá cụ thể cho các yếu tố bền vững, song song với các tiêu chí về năng lực và kinh nghiệm khác;

- Sau khi lựa chọn nhà thầu, cần có các biện pháp giám sát để đảm bảo nhà thầu thực hiện đúng cam kết về bền vững trong suốt quá trình thực hiện hợp đồng.

4.4. Đề xuất về nâng cao nhận thức xã hội trong ĐTBV

Nâng cao nhận thức xã hội về ĐTBV là quá trình tăng cường hiểu biết của cộng đồng về ĐTBV, từ đó thay đổi thái độ, hành vi và đóng góp tích cực vào sự phát triển bền vững của xã hội.

Để nâng cao nhận thức xã hội về ĐTBV, cần tăng cường truyền thông bằng nhiều kênh khác nhau, tổ chức các khóa đào tạo/hội thảo chuyên sâu cho cả công chức và doanh nghiệp, đồng thời khuyến khích các dự án thí điểm để minh chứng lợi ích và quy trình.

Các đề xuất chi tiết gồm:

1) Truyền thông và nâng cao nhận thức: (i) Tổ chức các chiến dịch truyền thông trên phương tiện đại chúng nhằm giải thích khái niệm ĐTBV, vai trò và lợi ích của nó cho xã hội, môi trường và kinh tế; (ii) Sử dụng các kênh truyền thông đa dạng như báo chí, truyền hình, mạng xã hội, và các nền tảng trực

tuyển chuyên về đấu thầu để tiếp cận rộng rãi cộng đồng và các bên liên quan.

2) Đào tạo và bồi dưỡng: (i) Tổ chức các khóa đào tạo, hội thảo cho cán bộ làm công tác đấu thầu, chủ đầu tư, và các doanh nghiệp về nguyên tắc, quy định và kỹ năng thực hành ĐTBV; (ii) Xây dựng các tài liệu đào tạo để tiếp cận bao gồm các tình huống thực tế và bài học kinh nghiệm.

3) Thí điểm và nhân rộng: (i) Triển khai các dự án thí điểm về ĐTBV trong các lĩnh vực trọng điểm để đánh giá hiệu quả và rút ra bài học kinh nghiệm; (ii) Tổ chức các sự kiện để chia sẻ kết quả của các dự án thí điểm, từ đó nhân rộng mô hình thành công.

4) Tích hợp vào quy trình đấu thầu: (i) Rà soát và sửa đổi quy định, quy trình để lồng ghép các tiêu chí bền vững vào mọi giai đoạn của quá trình đấu thầu, từ lập kế hoạch, lập HSMT, đến đánh giá hồ sơ và quản lý hợp đồng; (ii) Khuyến khích việc đánh giá dựa trên "giá trị trọn đời" thay vì chỉ xem xét chi phí ban đầu.

5) Khuyến khích sự tham gia của các bên liên quan: (i) Tạo cơ chế khuyến khích doanh nghiệp tham gia và phát triển các sản phẩm, dịch vụ và giải pháp bền vững; (ii) Thúc đẩy sự hợp tác giữa các cơ quan Chính phủ, tổ chức phi Chính phủ, doanh nghiệp và cộng đồng để cùng nhau thúc đẩy ĐTBV.

4.5. Đề xuất về xây dựng đội ngũ chuyên gia độc lập về ĐTBV

ĐTBV là một lĩnh vực phức tạp và đòi hỏi trình độ chuyên môn cao. Trong khi đó, các bên liên quan mà đặc biệt là bên mời thầu không có đủ chuyên môn và kinh nghiệm đối với tất cả các hàng hóa và dịch vụ của ĐTBV. Để xây dựng đội ngũ chuyên gia độc lập về ĐTBV, cần tập trung vào ba trụ cột chính:

1) Tuyển dụng và phát triển chuyên gia: (i) Đề ra các tiêu chí chuyên môn cao, đòi hỏi kiến thức về môi trường, xã hội, kinh tế và kinh nghiệm thực tế trong lĩnh vực ĐTBV; (ii) Cung cấp các chương trình đào tạo chuyên sâu để cập nhật kiến thức mới, nâng cao kỹ năng phân tích và đánh giá các yếu tố bền vững trong quá trình đấu thầu; (iii) Tạo cơ hội phát triển nghề nghiệp, khuyến khích chuyên gia gắn bó lâu dài với đội ngũ và doanh nghiệp.

2) Thiết lập quy trình làm việc độc lập và minh bạch: (i) Thiết kế các quy trình đánh giá hồ sơ dự thầu, hồ sơ đề xuất một cách khách quan, không chịu ảnh hưởng bởi các bên liên quan; (ii) Xác định rõ vai trò, trách nhiệm và quyền hạn của từng thành viên trong đội ngũ để đảm bảo sự chuyên nghiệp, tránh chồng chéo hoặc xung đột lợi ích; (iii) Sử dụng Hệ thống mạng đấu thầu quốc gia để theo dõi quá trình làm việc, đảm bảo tính minh bạch và hiệu quả.

3) Xây dựng cơ chế hợp tác và kết nối: (i) Liên kết với các cơ quan quản lý nhà nước, các hiệp hội ngành nghề, viện nghiên cứu để trao đổi, học hỏi kinh nghiệm và cập nhật các quy định, chính sách mới nhất; (ii) Tổ chức các buổi hội thảo, tọa đàm để chia sẻ kiến thức và kết quả nghiên cứu với các chuyên gia khác trong ngành, giúp nâng cao nhận thức về ĐTBV trong toàn xã hội; (iii) Tạo dựng một mạng lưới các chuyên gia độc lập có năng lực để có thể hợp tác trong các dự án cụ thể, giúp nâng cao chất lượng và tính chuyên nghiệp của đội ngũ.

4.6. Đề xuất về một số giải pháp cụ thể trong quá trình đấu thầu xanh

Giải pháp cụ thể trong quá trình đấu thầu xanh tích hợp tiêu chí sau:

- Yêu cầu kỹ thuật xanh: Các tổ chức/doanh nghiệp đặt ra các tiêu chuẩn kỹ thuật về giảm thiểu phát thải hoặc sử dụng công nghệ thân thiện với môi trường khi lựa chọn nhà thầu.

- Ưu tiên nhà thầu có chứng nhận môi trường: Chứng nhận về quản lý môi trường như ISO 14001 hoặc có chính sách bảo vệ môi trường hiệu quả có thể được ưu tiên hoặc đánh giá cao hơn, hoặc thậm chí là điều kiện tiên quyết khi tham dự thầu.

- Cơ chế đánh giá theo tác động môi trường: Yêu cầu các nhà thầu đưa ra kế hoạch giảm thiểu tác động môi trường hoặc phải chứng minh được cách giảm thiểu phát thải khí nhà kính và ô nhiễm. Có tiêu chí kỹ thuật bắt buộc mà nhà thầu phải đề xuất và thực hiện.

- Khuyến khích đổi mới công nghệ sạch: Đấu thầu có thể khuyến khích các nhà thầu đầu tư vào công nghệ mới, sạch hơn.

- Hợp đồng có điều khoản về môi trường: Trong các hợp đồng có thể tích hợp các điều khoản về tuân thủ tiêu chuẩn phát thải hoặc yêu cầu phải giảm thiểu tác động môi trường theo từng giai đoạn của dự án.

- Dán nhãn xanh: Thực hiện dán nhãn xanh với các sản phẩm hoặc nhà thầu được chứng nhận xanh. Khi đó ưu tiên xem xét hàng hóa, dịch vụ được dán nhãn xanh.

5. KẾT LUẬN

ĐTBV là xu thế không thể đảo ngược trên thế giới; Việt Nam không thể đứng ngoài xu thế này, nhất là trong bối cảnh đất nước ngày càng hội nhập sâu rộng. Ba trụ cột của khái niệm bền vững (gồm kinh tế, xã hội và môi trường) ngày càng được chú trọng để thúc đẩy ĐTBV tại Việt Nam. Từ đó, sẽ góp phần thúc đẩy sản xuất trong nước, nhất là các sản phẩm đổi mới sáng tạo, sản phẩm thân thiện với môi trường thông qua hoạt động đấu thầu; ĐTBV thúc đẩy doanh nghiệp thực hiện nghiên cứu, đầu tư, kinh doanh các ý tưởng khởi nghiệp, đổi mới sáng tạo, tạo động lực cho các doanh nghiệp Việt Nam phát triển, đất nước phát triển nhanh và bền vững.

Bằng cách tích hợp các yếu tố môi trường, xã hội, kinh tế và các yếu tố liên quan khác vào trong quá trình đấu thầu, kỳ vọng tạo ra được những dự án đẹp về hình thức, nâng cao chất lượng hàng hóa, tăng sức cạnh tranh tại các cuộc thầu ... ĐTBV không chỉ mang lại lợi ích cho doanh nghiệp mà còn cho cả cộng đồng và cho cả hành tinh.

ĐTBV yêu cầu người làm công tác đấu thầu phải thay đổi tư duy, áp dụng một quy trình làm việc mới... Bắt đầu từ khung pháp lý, tiếp đến là các hoạt động phổ biến, hướng dẫn nâng cao nhận thức, nâng cao năng lực cho chủ đầu tư, bên mời thầu, nhà thầu, các chuyên gia tư vấn đấu thầu và rộng hơn là toàn xã hội.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Chính phủ (2024). Nghị định 24/2024/NĐ-CP ngày 27/02/2024 quy định chi tiết một số điều và biện pháp thi hành luật đấu thầu về lựa chọn nhà thầu.
- [2]. Quốc hội (2023). Luật Đấu thầu số 22/2023/QH15 ngày 23/6/2023.
- [3]. DCCEEW (2024). Environmentally Sustainable Procurement Policy, Department of Climate Change, Energy, the Environment and Water, Canberra, July. CC BY 4.0.
- [4]. DCCEEW (2024). Sustainable Procurement Guide, Department of Climate Change, Energy, the Environment and Water, Canberra, March. CC BY 4.0.
- [5]. OECD (2024). Harnessing Public Procurement for the Green Transition: Good Practices in OECD Countries, OECD Public Governance Reviews, OECD Publishing, Paris.

Nghiên cứu về phí sử dụng đường trong nội đô tại các nước tiên tiến và khả năng áp dụng tại Việt Nam

Research on urban road user charging in developed countries and its applicability in Vietnam

> TS VŨ MINH TÂM*, TS THÁI HỒNG NAM, PGS.TS VŨ HOÀI NAM, PGS.TS ĐÌNH VĂN HIỆP
PGS.TS VŨ NGỌC TRỤ, PGS.TS NGUYỄN VIỆT PHƯƠNG

Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

*Email: tamvm@huce.edu.vn

TÓM TẮT

Tình trạng ùn tắc giao thông (UTGT) và ô nhiễm không khí (ONKK) tại các đô thị lớn như Hà Nội và TP.HCM đang trở thành vấn đề nghiêm trọng, cần thiết có các giải pháp quản lý hiệu quả hơn. Một trong những chính sách được nhiều thành phố ở các nước phát triển áp dụng là thu phí sử dụng đường trong nội đô, bao gồm phí UTGT và phí vùng phát thải thấp (VPTT). Chính phủ Việt Nam cũng đã có nghị quyết giao các thành phố trực thuộc Trung ương xây dựng đề án nghiên cứu về khả năng áp dụng các loại phí này. Bài báo giới thiệu tổng quan về các loại phí sử dụng đường trong nội đô và tổng hợp các bài học kinh nghiệm từ các thành phố trên thế giới. Ngoài ra, một số nghiên cứu liên quan đến các loại phí này ở Việt Nam cũng được phân tích. Từ đó, các tác giả đề xuất các nội dung tích hợp cần nghiên cứu trong một đề án thu phí sử dụng đường trong nội đô để chính quyền địa phương tham khảo và xây dựng lộ trình triển khai phù hợp với điều kiện thực tế.

Từ khóa: Phí ùn tắc giao thông; phí vùng phát thải thấp; ùn tắc giao thông; ô nhiễm không khí.

ABSTRACT

Traffic congestion and air pollution have become critical issues in major urban areas such as Hanoi and Ho Chi Minh City, calling for more effective management measures. One of the policies widely adopted by cities in developed countries is urban road user charging, which includes congestion charging and low emission zone (LEZ) schemes. The Government of Vietnam has also issued resolutions assigning centrally governed cities to study the feasibility of implementing such charging policies. This paper provides an overview of urban road user charging schemes and synthesizes lessons learned from international experiences. In addition, several related studies conducted in Vietnam are reviewed. Based on these findings, the authors propose key components to be considered in developing a comprehensive framework for implementing these charging schemes, serving as references for local authorities to design roadmaps tailored to local conditions.

Keywords: Congestion charge; low emission zone; traffic congestion; air pollution.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, các đô thị lớn của Việt Nam như Hà Nội và TP.HCM đang phải đối mặt với tình trạng UTGT và ONKK ngày càng nghiêm trọng, ảnh hưởng tới kinh tế, sức khỏe và môi trường. Không chỉ gây thiệt hại về kinh tế rất lớn [1], UTGT còn góp phần làm gia tăng ONKK. Một trong những nguồn phát thải chính là từ phương tiện giao thông. Tình trạng ONKK đã dẫn đến gia tăng các bệnh về hô hấp, đặc biệt ở người già và trẻ em [2].

Hiện nay, các thành phố lớn đã và đang nghiên cứu và đề xuất các giải pháp quản lý giao thông để giải quyết các vấn đề trên theo Nghị quyết số 48/NQ-CP ngày 05/4/2022 về tăng cường đảm bảo trật tự, an toàn giao thông và chống UTGT giai đoạn 2022 - 2025 [3], trong đó có phí UTGT và phí VPTT là các loại phí đã được nhiều quốc gia trên thế giới triển khai thành công, góp phần giảm thiểu UTGT và ONKK. Vì vậy, bài báo đề xuất khung nghiên cứu về hai loại phí trên để chính quyền địa phương tham khảo và xây dựng lộ trình

triển khai phù hợp với điều kiện thực tế. Phần 2 của bài báo trình bày tổng quan về phí UTGT và VPTT. Bài học kinh nghiệm quốc tế sẽ được tóm tắt ở Phần 3. Phần 4 nêu tình hình nghiên cứu ở Việt Nam và đề xuất khung nghiên cứu cho các chương trình triển khai phí sử dụng đường trong nội đô tại Việt Nam. Phần 5 là kết luận của bài báo.

2. TỔNG QUAN VỀ PHÍ UTGT VÀ VPTT

Thu phí sử dụng đường trong nội đô là một chiến lược quản lý giao thông được triển khai tại nhiều thành phố trên thế giới nhằm giảm thiểu UTGT và VPTT. Hai hình thức phổ biến của chiến lược này là phí UTGT và phí VPTT [4].

2.1. Phí UTGT

Phí UTGT là số tiền lái xe phải trả khi đi vào trong khu vực trung tâm của thành phố được quy định. Khoản phí này liên quan đến sự chênh lệch chi phí thời gian và chi phí nhiên liệu bổ sung, trong đó phần chênh lệch chi phí thời gian chiếm tỷ trọng lớn nhất. Chênh lệch chi phí thời gian có thể được ước tính bằng sự khác biệt về thời gian hành trình do một phương tiện bổ sung trên đường gây ra, nhân với giá trị thời gian của loại phương tiện đó. Nói cách khác, khi một phương tiện được bổ sung đi vào một tuyến đường hiện tại đã có sẵn một lượng phương tiện đang đi, phương tiện bổ sung này sẽ làm cho thời gian di chuyển của tất cả các phương tiện đang lưu thông trên tuyến đường này di chuyển lâu hơn một khoảng thời gian chênh lệch. Khoảng thời gian chênh lệch này là giá trị cốt lõi để tính toán ra khoản phí UTGT [5]. Mục tiêu của chính sách thu phí này là giảm UTGT trong khu vực trung tâm thành phố bằng việc hạn chế phương tiện cá nhân và khuyến khích sử dụng giao thông công cộng (GTCC).

Phí UTGT có thể được phân loại theo nhiều cách khác nhau. Phổ biến nhất là theo phạm vi áp dụng bao gồm: Phí vành đai (cordon charge) thu tại ranh giới một khu vực cụ thể [6]; phí theo vùng (area charge) áp dụng cho toàn bộ khu vực bên trong [7]; phí cho một tuyến đường cụ thể [8]. Thứ hai, theo thời gian, có phí cố định áp dụng cả ngày và phí biến đổi theo giờ cao điểm để kiểm soát lưu lượng giao thông. Đối với các loại phương tiện khác nhau có mức phí có thể khác nhau. Đối với phương thức thu, có hệ thống thu phí điện tử tự động qua nhận diện biển số xe và hệ thống thu phí tại trạm kiểm soát.

2.2. Phí VPTT

Phí VPTT là khoản phí áp dụng cho các phương tiện không đáp ứng tiêu chuẩn khí thải khi đi vào các khu vực được xác định là VPTT [9]. Mục tiêu của chính sách thu phí này là khuyến khích sử dụng các phương tiện thân thiện với môi trường và giảm thiểu ONKK. Nguyên tắc cơ bản nhất để tính toán phí VPTT là dựa vào mức phát thải khí CO₂ và NO_x của từng loại phương tiện. Tương tự như phương thức thu phí UTGT, có hệ thống thu phí điện tử tự động qua nhận diện biển số xe hoặc hệ thống thu phí tại trạm kiểm soát cho loại phí VPTT. Số tiền thu được từ loại phí này thường được dùng để cải thiện chất lượng không khí và/hoặc giảm phát thải khí gây biến đổi khí hậu, cũng như vận hành của chương trình VPTT.

3. KINH NGHIỆM QUỐC TẾ

Nhiều thành phố trên thế giới đã thành công với các chương trình về thu loại phí này như London, Stockholm và Singapore. London là một trong những thành phố tiên phong trong việc áp dụng phí UTGT từ năm 2003, giúp giảm đáng kể lượng xe cá nhân đi vào trung tâm thành phố. Theo Transport for London (TfL), số lượng xe trong khu vực thu phí giảm khoảng 15% và tốc độ di chuyển trung bình tăng lên đáng kể [10-12]. Ngoài ra, chương trình vùng phát thải cực thấp được triển khai từ năm 2019 đã góp phần giảm

44% lượng khí thải NO₂ từ GT trong khu vực trung tâm [13, 14]. Nguồn thu từ các loại phí này được tái đầu tư vào hệ thống GTCC.

Stockholm bắt đầu triển khai thu phí UTGT vào năm 2006 dưới dạng thử nghiệm và chính thức áp dụng từ năm 2007 sau khi nhận được sự ủng hộ từ công chúng qua một cuộc trưng cầu dân ý. Hệ thống thu phí đã giúp giảm khoảng 20% lượng xe vào trung tâm thành phố và 10% khí thải CO₂ từ GT. Từ đó, thời gian di chuyển trong khu vực trung tâm đã giảm đáng kể. Toàn bộ số tiền thu được từ phí UTGT được đầu tư vào cải thiện cơ sở hạ tầng giao thông, bao gồm hệ thống xe buýt nhanh và mở rộng mạng lưới tàu điện [12, 15, 16].

Singapore là một trong những thành phố đầu tiên trên thế giới áp dụng hệ thống thu phí UTGT điện tử (Electronic Road Pricing - ERP) từ năm 1998, giúp kiểm soát lưu lượng giao thông hiệu quả. Hệ thống ERP sử dụng công nghệ cảm biến và thu phí theo thời gian thực, điều chỉnh mức phí dựa trên mật độ GT nhằm đảm bảo dòng xe lưu thông ổn định. Nhờ đó, tốc độ di chuyển trung bình đã tăng đáng kể. Đồng thời, Chính phủ Singapore kết hợp chính sách này với việc đầu tư mạnh vào GTCC [10, 12].

Mặc dù vậy, một số thành phố đã gặp khó khăn hoặc thất bại trong việc triển khai chương trình thu phí UTGT. Trong đó, Jakarta, Indonesia là một ví dụ điển hình. TP Jakarta đã nhiều lần cố gắng triển khai hệ thống thu phí UTGT điện tử (ERP) để giảm thiểu tình trạng UTGT nghiêm trọng. Tuy nhiên, từ năm 2007 đến nay, các nỗ lực này chưa thành công do nhiều yếu tố như tranh chấp pháp lý, thiếu sự đồng thuận từ công chúng và hạn chế về cơ sở hạ tầng GTCC. Mặc dù chính quyền thành phố đang tiếp tục thúc đẩy kế hoạch ERP, việc triển khai vẫn đối mặt với nhiều thách thức [17]. Jakarta cũng là thành phố có lượng xe máy chiếm ưu thế và có đặc điểm dòng giao thông tương đồng với các thành phố lớn ở Việt Nam như Hà Nội và TP.HCM, vì vậy cần các nghiên cứu kỹ và đồng bộ cho các chính sách về thu phí UTGT và VPTT ở Việt Nam.

4. TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU Ở VIỆT NAM

4.1. Các nghiên cứu đã thực hiện

Nghị quyết số 48/NQ-CP đã nêu: "UBND các thành phố: Hà Nội, Hải Phòng, Đà Nẵng, Cần Thơ, TP.HCM nghiên cứu xây dựng, triển khai Đề án thu phí phương tiện cơ giới vào một số khu vực trên địa bàn thành phố có nguy cơ UTGT và ô nhiễm môi trường để hạn chế số lượng xe cơ giới đi vào" [3]. Hà Nội đã có Đề án "Thu phí phương tiện cơ giới vào một số khu vực trên địa bàn thành phố có nguy cơ UTGT và ô nhiễm môi trường để hạn chế số lượng xe cơ giới đi vào" [18], trong khi TP.HCM đang đề xuất xây dựng đề án thu phí ô tô vào nội đô [19].

Đối với Hà Nội, hình thức thu phí dạng vành đai (Cordon charge) được đề xuất lấy Vành đai 3 làm ranh giới khu vực thu phí và dự kiến có 87 cổng thu phí như trong Hình 1. Một số loại phương tiện giao thông cơ giới (ô tô) di chuyển từ bên ngoài vào trong khu vực thu phí sẽ bị thu phí tại 87 cổng này thông qua công nghệ thu phí không dừng, dự kiến kết hợp giữa công nghệ nhận diện vô tuyến RFID và công nghệ tự động nhận dạng biển số ANPR. Mức phí được đề xuất theo tỷ giá năm 2019 là 30.000 VNĐ/1 lượt cho các xe ô tô cá nhân dưới 9 chỗ và xe tải dưới 2 tấn và 50.000 VNĐ/1 lượt cho xe kinh doanh vận tải từ 9 chỗ trở lên và xe tải các loại trên 2 tấn. Số tiền thu được sẽ dùng để vận hành chương trình thu phí và sau đó một phần cho cải thiện hệ thống GTCC của Hà Nội.

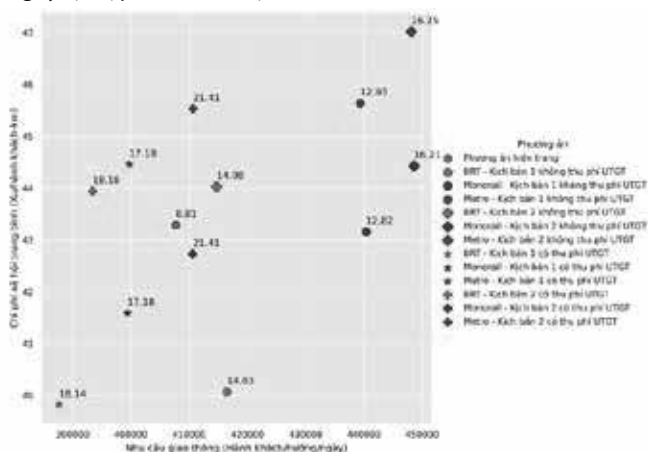
Tuy nhiên, một số vấn đề trong đề án này chưa được nghiên cứu triệt để. Thứ nhất về phạm vi áp dụng, trong đề án chưa phân tích và đánh giá được tại sao thu phí vành đai được lựa chọn; Thứ hai, đề án chưa phân tích tại sao không thu phí xe máy; Thứ ba, mức phí áp dụng cho các loại phương tiện giao thông chưa được đưa ra

nguyên tắc tính toán và mô hình nào áp dụng để tính toán; Thứ tư, đề án cũng chưa đưa ra mô hình tính toán định lượng ảnh hưởng của việc áp dụng chương trình thu phí mặc dù trong báo cáo có đưa ra các giá trị về mức giảm lưu lượng xe, giảm lượng khí phát thải.

Hình 1. Vị trí 87 cổng thu phí dự kiến [18, 20]



Một nghiên cứu khác về thu phí UTGT cho một tuyến đường có vận hành tuyến đường sắt đô thị là tuyến Nguyễn Trãi - Trần Phú - Quang Trung được ứng dụng cụ thể [21]. Lưu lượng xe tại các nút trên tuyến đường này được thu thập năm 2018 và phần mềm VISSIM mô phỏng lại GT hiện trạng. Các kịch bản tăng hoặc giảm lưu lượng ô tô hoặc xe máy đã được mô phỏng để xác định tốc độ và thời gian xe chạy trung bình để từ đó tính toán phí UTGT cho ô tô và xe máy. Phí UTGT được đề xuất cho ô tô cá nhân và xe máy là 3.760 VNĐ/1 km trong giờ cao điểm và 165 VNĐ/1 km trong giờ bình thường với tỷ giá năm 2015. Kết quả dựa theo nguyên tắc tính toán cơ bản về phí UTGT và có đối sánh với giá trị phí UTGT ở London để chứng minh tính phù hợp của kết quả này. Ba phương thức GTCC gồm metro, đường sắt một ray Monorail và xe buýt nhanh (BRT) được nghiên cứu với 2 trường hợp có thu phí UTGT cho phương tiện cá nhân và 2 kịch bản các tuyến xe buýt bị thay thế hoàn toàn (kịch bản 1 trong Hình 2) hoặc một phần (kịch bản 2 trong Hình 2) trên tuyến đường này. 12 phương án đã được tính toán tổng lưu lượng hành khách, tỷ lệ đảm nhận hành khách từng phương thức và chi phí xã hội trung bình trên tuyến đường và kết quả được thể hiện trong Hình 2. Hình 2 cho thấy khi áp dụng phí UTGT cùng với việc mở mới 1 tuyến GTCC mới sẽ làm giảm chi phí xã hội trung bình và tăng tỷ lệ thị phần đảm nhận của GTCC.



Hình 2. Tổng nhu cầu đi lại hàng ngày và thị phần GTCC của 12 phương án theo mức giá năm 2015 [21]

Ghi chú: Giá trị thị phần GTCC thể hiện trên các ký hiệu cho từng phương án

Tuy nhiên, nghiên cứu [21] có nhược điểm chỉ xét đến một

tuyến đường độc lập ở Hà Nội. Khi một tuyến GTCC mới được vận hành sẽ thu hút được nhiều hơn hành khách từ các phương tiện khác và các tuyến đường lân cận. Trong khi phí UTGT có thể làm cho nhiều người sử dụng phương tiện cá nhân đi các tuyến đường song song lân cận với tuyến đường GTCC mới. Mô hình thu phí này có thể khó áp dụng ở Hà Nội và đạt được hiệu quả cao trong quá trình vận hành. Vì vậy, trong mục tiếp theo, bài báo sẽ đề xuất khung nghiên cứu chi tiết và đồng bộ cho chương trình thu phí UTGT và VPTT.

4.2. Đề xuất khung nghiên cứu về phí UTGT và VPTT

Hai chương trình thu phí UTGT và VPTT có mục tiêu, đối tượng thu phí và mức thu phí khác nhau, nhưng cũng có thể phối hợp với nhau cùng với chương trình cải thiện hệ thống GTCC của một thành phố. TP London là điển hình cho sự phối hợp thành công này. Đề án nghiên cứu cho việc triển khai thí điểm và chính thức về các chương trình thu phí UTGT và VPTT cần bao gồm 7 vấn đề cần được nghiên cứu đồng thời và tác động qua lại với nhau bao gồm [22-25]:

1) Phân tích tình trạng UTGT và ONKK hiện tại. Việc thu thập dữ liệu về mật độ phương tiện, tốc độ trung bình, thời gian di chuyển và mức độ ONKK giúp xác định các khu vực cần can thiệp. Các nghiên cứu điển hình tại London và Stockholm cho thấy việc đánh giá kỹ lưỡng trước khi thực hiện chính sách góp phần thành công khi triển khai.

2) Mô hình thu phí (vùng hay vành đai), phương pháp tính mức phí và phương tiện cần thu phí. Đây là yếu tố rất quan trọng để đảm bảo các loại phí đạt được mục tiêu mà không tạo gánh nặng tài chính quá lớn cho người tham gia giao thông.

3) Công nghệ giám sát phương tiện và thu phí đóng vai trò quyết định trong sự thành công thu phí UTGT và VPTT. Công nghệ nhận diện biển số tự động (ANPR) và hệ thống nhận dạng tần số vô tuyến (RFID) là những giải pháp phổ biến để xác định phương tiện và thu phí. Những công nghệ này giúp đảm bảo tính minh bạch và hạn chế hành vi trốn phí. Việc lựa chọn công nghệ phù hợp cần xem xét chi phí, độ chính xác và khả năng thích ứng với điều kiện địa phương.

4) Tác động kinh tế và xã hội của khu vực áp dụng phí. Việc đánh giá tác động kinh tế - xã hội của chính sách thu phí rất quan trọng để đảm bảo quyền tiếp cận giao thông công bằng. Người có thu nhập thấp có thể bị ảnh hưởng nặng nề nếu không có lựa chọn giao thông thay thế hợp lý. Để giải quyết vấn đề này, nguồn thu từ phí sử dụng đường có thể được tái đầu tư vào việc cải thiện GTCC, hỗ trợ phương tiện thân thiện môi trường hoặc miễn giảm phí cho các phương tiện thiết yếu.

5) Sự chấp nhận của công chúng. Sự đồng thuận của công chúng đóng vai trò quan trọng đối với sự thành công của các chính sách thu phí giao thông. Sự phản đối thường xuất phát từ lo ngại về chi phí tăng lên và những thay đổi trong thói quen di chuyển. Để cải thiện sự chấp nhận, các nhà hoạch định chính sách cần thực hiện các chiến dịch truyền thông minh bạch, tham vấn ý kiến của các bên liên quan và áp dụng lộ trình triển khai từng bước. Kinh nghiệm từ London cho thấy, các chương trình thí điểm và chiến dịch nâng cao nhận thức đã giúp tăng cường sự ủng hộ của công chúng.

6) Tích hợp chính sách và định hướng phát triển bền vững của thành phố. Việc phối hợp với các chính sách sử dụng đất, cải thiện GTCC và các sáng kiến thành phố thông minh giúp nâng cao hiệu quả dài hạn. Việc đánh giá xu hướng giao thông, mức độ ô nhiễm và tỷ lệ tuân thủ theo thời gian giúp cải thiện chính sách liên tục. Đặc biệt, phải đồng thời có chương trình cải thiện GTCC nghiên cứu triển khai đồng thời để phát huy tối đa hiệu quả của chương trình thu phí sử dụng đường trong nội đô.

7) Khung pháp lý và chính sách cần được triển khai ngay từ

quá trình nghiên cứu bao gồm: Cơ sở pháp lý để thu phí (luật giao thông, môi trường, thuế, phí); Quy trình phê duyệt chính sách và mức độ ủng hộ từ chính quyền và công chúng và cách thức phân bổ nguồn thu từ phí để đảm bảo sự công bằng và tính khả thi.

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã phân tích chương trình/nghiên cứu thu phí UTGT và VPTT dựa trên kinh nghiệm từ các thành phố trên thế giới. Các chương trình này giúp giảm UTGT, cải thiện chất lượng không khí và tạo nguồn thu tái đầu tư cho GTCC. Việc triển khai tại Việt Nam cần nghiên cứu sâu về phạm vi thu phí, mức phí hợp lý, phương tiện bị thu phí, công nghệ giám sát cũng như tác động kinh tế - xã hội. Đặc biệt, phải đảm bảo tích hợp chính sách với phát triển GTCC để tạo sự thay đổi hành vi di chuyển của người dân.

Lộ trình thực hiện nên bắt đầu từ các dự án thí điểm, có đánh giá tác động rõ ràng trước khi áp dụng rộng rãi. Đồng thời, cần có cơ chế điều chỉnh linh hoạt dựa trên phản hồi của cộng đồng, đảm bảo tính công bằng và hiệu quả thực tiễn.

Một trong những thách thức lớn là sự đồng thuận của người dân và doanh nghiệp, do đó, chính sách cần minh bạch và đi kèm các biện pháp hỗ trợ phù hợp. Việc truyền thông hiệu quả và sử dụng nguồn thu để cải thiện hạ tầng GT sẽ giúp nâng cao mức độ chấp nhận của xã hội.

Tóm lại, thu phí UTGT và VPTT có thể là công cụ quan trọng giúp cải thiện giao thông đô thị tại Việt Nam. Tuy nhiên, để đảm bảo tính khả thi và hiệu quả cần một chiến lược triển khai toàn diện, kết hợp giữa quản lý GT, chính sách môi trường và đầu tư hạ tầng bền vững. Bài báo này đã đề xuất được khung nghiên cứu cần sớm triển khai đồng bộ ở Việt Nam để có thể kết luận được sự khả thi của các chương trình thu phí này.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi nhiệm vụ KH&CN mã số RD14-24.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Viện Chiến lược và Phát triển GTVT (2018), Hà Nội thiệt hại cả tỷ USD mỗi năm vì “căn bệnh” UTGT. Truy cập: https://www.vietnamplus.vn/ha-noi-thiet-hai-ca-ty-usd-moi-nam-vi-can-benh-un-tac-giao-thong-post531569.vnp?utm_source=chatgpt.com.
- [2]. Reuters (2025), Hanoi declared world's most polluted city, authorities seek action. Truy cập: https://www.reuters.com/world/asia-pacific/hanoi-declared-worlds-most-polluted-city-authorities-seek-action-2025-01-03/?utm_source=chatgpt.com.
- [3]. Chính phủ (2022), Nghị quyết số 48/NQ-CP của Chính phủ Về tăng cường bảo đảm trật tự, an toàn giao thông và chống UTGT giai đoạn 2022 - 2025.
- [4]. Bliemer, M.C., A. Loder and Z. Zheng (2024), A Novel Mobility Consumption Theory for Road User Charging, *Transportation Research Part B: Methodological*, 189, p.102998.
- [5]. Link, H., et al. (2016), A Generalized Approach for Measuring the Marginal Social Costs of Road Transport in Europe, *International Journal of Sustainable Transportation*, 10(2), pp.105-119.
- [6]. May, A.D., et al. (2002), The impact of cordon design on the performance of road pricing schemes. *Transport Policy*, 9(3), pp.209-220.
- [7]. Transport for London (2025), Congestion Charge. Truy cập: <https://tfl.gov.uk/modes/driving/congestion-charge>.
- [8]. Walters, A. (1961), The theory and measurement of private and social cost of highway congestion, *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, pp.676-699.
- [9]. Transport Scotland (2021), Low Emission Zone Guidance, Truy cập: https://www.legislation.gov.uk/ssi/2021/177/pdfs/ssipn_20210177_en.pdf.
- [10]. Santos, G. (2005), Urban congestion charging: A comparison between London and Singapore. *Transport Reviews*, 25(5), pp.511-534.
- [11]. Santos, G., K. Button and R.G. Noll (2008), London congestion charging,

Brookings-Wharton papers on urban affairs, pp.177-234.

[12]. Metz, D. (2018), Tackling urban traffic congestion: The experience of London, Stockholm and Singapore, *Case Studies on Transport Policy*, 6(4), pp.494-498.

[13]. Bishop, H.F.J. and Anna Bornioli (2022), Effectiveness of London's ultra low emission zone in reducing air pollution: A pre-and post-comparison of NO₂ and PM10 levels, *Journal of Environmental Health*, 85(1), pp.16-23.

[14]. Broster, S. and K. Terzano (2024), A systematic review of the pollution and health impacts of low emission zones, *Case Studies on Transport Policy*, p.101340.

[15]. Kottenhoff, K. and K.B. Freij (2009), The role of public transport for feasibility and acceptability of congestion charging-the case of Stockholm, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 43(3), pp.297-305.

[16]. Börjesson, M., et al. (2012), The Stockholm congestion charges-5 years on. Effects, acceptability and lessons learnt. *Transport Policy*, 20, pp.1-12.

[17]. Cổng Thông tin điện tử Bộ GTVT (2023), Jakarta quyết thu phí ùn tắc sau nhiều lần thất bại. Truy cập: https://mt.gov.vn/khcn/tin-tuc/87026/jakarta-quyet-thu-phi-un-tac-sau-nhieu-lan-that-bai.aspx?utm_source=chatgpt.com.

[18]. Sở Giao thông vận tải Hà Nội (2021), Đề án “Thu phí phương tiện cơ giới vào một số khu vực trên địa bàn thành phố có nguy cơ UTGT và ô nhiễm môi trường để hạn chế số lượng xe cơ giới đi vào”.

[19]. Minh Quân (2024), Sở Giao thông vận tải TP.HCM đề xuất xây dựng đề án thu phí ô tô vào nội đô. Truy cập: <https://laodong.vn/xa-hoi/so-giao-thong-van-tai-tphcm-de-xuat-xay-dung-de-an-thu-phi-oto-vao-noi-do-1343797.lido>.

[20]. Vnexpress (2024), Đề xuất thu phí vào nội đô từ năm 2024. Truy cập: <https://vnexpress.net/de-xuat-thu-phi-vao-noi-do-tu-nam-2024-4524871.html>.

[21]. Tam Vu (2021), A Comparative Economic Assessment of Urban Transport Infrastructure Options in Low- and Middle-Income Countries. University of Southampton, PhD thesis.

[22]. Cascetta, E. and M. Montanino (2022), Unleashing the potential of price-based congestion management schemes: A unifying approach to compare alternative models under multiple objectives. *Systems and Control*.

[23]. Maheshwari, C., et al. (2024), Congestion pricing for efficiency and equity: Theory and applications to the san francisco bay area, *Computer Science and Game Theory*.

[24]. Cárdenas-Montes, M. (2020), Evaluation of the Impact of Low-Emission Zone: Madrid Central as a Case Study, *Atmospheric and Oceanic Physics*.

[25]. Gehlot, H., H. Honnappa and S.V. Ukkusuri (2020), An optimal control approach to day-to-day congestion pricing for stochastic transportation networks, *Systems and Control*, 119: p.104929.

Nghiên cứu hệ thống lưu kho tự động

Research on automated storage and retrieval systems

> THS PHẠM THỊ HỒNG ANH

Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email: anhpth.ddt@vimar.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo tập trung nghiên cứu, thiết kế hệ thống lưu kho tự động. Mô hình gồm có 3 thành phần: Hệ thống vận chuyển, hệ thống xuất nhập sử dụng mã vạch QR và hệ thống lưu trữ. Kết quả thực nghiệm cho thấy hệ thống hoạt động ổn định, đảm bảo quá trình lưu kho và xuất kho diễn ra liên mạch và hiệu quả.

Từ khóa: Lưu kho tự động; mã vạch QR.

ABSTRACT

The article focuses on researching and designing an automated storage system. The model consists of three components: A transportation system, an input/output system using QR code, and a storage system. Experimental results show that the system operates stably, ensuring a seamless and efficient warehousing and retrieval process.

Keywords: Automated storage; QR code.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngày nay, với sự phát triển siêu tốc của công nghiệp 4.0, các kho thông minh ra đời, sử dụng những công nghệ cao như robot tự động, trí tuệ nhân tạo (AI), nhận dạng mã vạch hoặc QR code và Internet vạn vật (IoT) [1]. Các công nghệ này giúp tối ưu hóa việc di chuyển, kiểm soát hàng tồn kho và lưu trữ hàng hóa một cách gọn gàng, góp phần quản lý hàng hóa hiệu quả hơn và không còn quá phụ thuộc vào lao động thủ công [2]. Kho thông minh không chỉ được kiểm soát, điều hành thông qua các phần mềm chuyên dụng, mà còn đòi hỏi rất ít sự xuất hiện của con người, đem tới hiệu quả vượt trội trong công tác quản lý và vận hành [3].

Mặc dù vốn cần thiết cho đầu tư ban đầu của hệ thống kho thông minh khá cao, song lợi ích mà nó đem tới cho doanh nghiệp là rất đáng kể: Bảo quản hàng hóa tốt hơn, thuận tiện hơn trong việc quản lý và tiết kiệm nhân công. Chính vì những lợi ích to lớn đó mà đã có rất nhiều doanh nghiệp lớn nhỏ đầu tư vào công nghệ này [4]. Bên cạnh đó, vẫn tồn tại một nhóm doanh nghiệp đang sử dụng loại kho truyền thống do chi phí đầu tư phù hợp với số vốn của doanh nghiệp và sự linh hoạt trong vận hành. Nhược điểm của kho truyền

thống là yêu cầu rất nhiều nhân công, không được cập nhật những công nghệ hiện đại và sự tối ưu trong việc sử dụng không gian thấp hơn nhiều so với hệ thống kho thông minh.

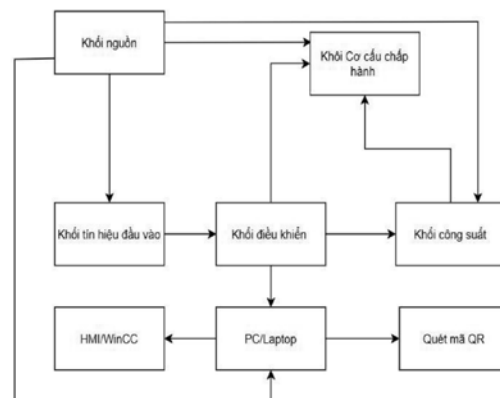
Nhu cầu về các kho hàng hiện đại ngày càng tăng nhằm đáp ứng, đảm bảo quá trình sản xuất của các doanh nghiệp và loại bỏ đi những nhược điểm của kho hàng truyền thống [5]. Việc các doanh nghiệp chọn thay đổi từ loại kho truyền thống sang kho thông minh không chỉ là một sự nhảy vọt trong quản lý kho bãi mà còn tạo nên một nền tảng vững chắc cho dây chuyền sản xuất thông minh, giúp các doanh nghiệp phát triển nhanh chóng bắt kịp với nhu cầu của thị trường [4]. Quá trình phát triển không ngừng của các hệ thống tự động hóa lưu kho đóng vai trò then chốt trong việc tối ưu hóa quy trình sản xuất và lưu trữ, đảm bảo sự cạnh tranh lành mạnh và tăng trưởng lâu dài trong thời đại công nghiệp 4.0.

Các kho hiện nay đa phần sử dụng các kệ chứa hàng, trong đó kho pallet tự động AS/RS là một giải pháp công nghệ tự động hóa kho với mục đích phân loại, lưu trữ, truy xuất sản phẩm và hàng tồn kho theo yêu cầu. Bài báo tập trung nghiên cứu mô hình hệ thống lưu kho tự động AS-RS sử dụng mã Qrcode.

2. THIẾT KẾ HỆ THỐNG

2.1. Sơ đồ khối của hệ thống

- Khối nguồn cung cấp các dải điện áp như sau:
 - + 230V AC: Cấp nguồn cho bộ xử lý trung tâm PC, PLC.
 - + 24V DC: Cấp nguồn cho cảm biến, động cơ, đèn báo hoạt động.
 - + 24V DC: Cấp nguồn cho Step, bộ Driver điều khiển động cơ bước.



Hình 1. Sơ đồ cấu trúc của hệ thống

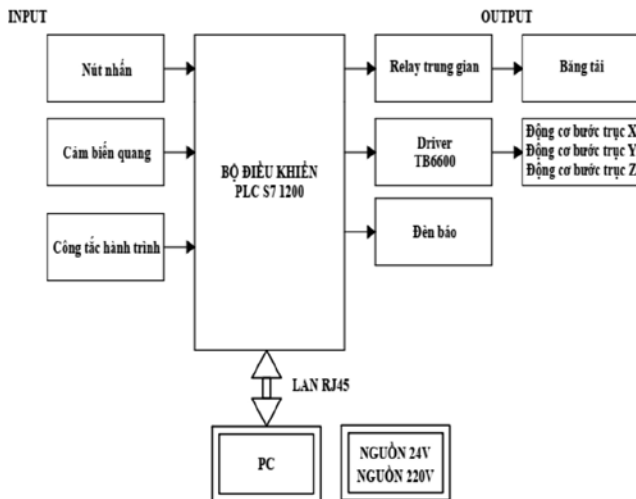
- Khối tín hiệu đầu vào: Bao gồm các tín hiệu đầu vào của cảm biến quang, nút bấm, sau đó truyền tín hiệu cho bộ xử lý trung tâm.
- Khối điều khiển: Là "bộ não" của hệ thống sẽ tiếp nhận tín

hiệu từ đầu vào để xử lý và đưa ra tín hiệu điều khiển cho hệ thống. Để thực hiện được cần phải có những thiết bị sau:

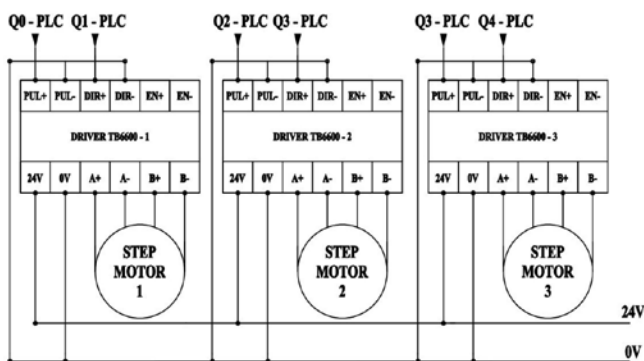
- + PLC S7-1200: Nhận tín hiệu quét mã sau đó đưa ra tín hiệu điều khiển cho đầu ra.
- + Máy quét mã QR code: Nhận tín hiệu xử lý ảnh từ PC sau đó kích tín hiệu cho PLC để thực hiện tiếp các tác vụ sau.
- Khối công suất: Nhận tín hiệu điều khiển từ bộ xử lý trung tâm, bao gồm bộ Driver và Relay trung gian để điều khiển động cơ bước và động cơ một chiều.
- Khối cơ cấu chấp hành: Bao gồm đèn báo và các cơ cấu động cơ để thực hiện các tác vụ của hệ thống.
- Máy tính giám sát (PC): Giám sát toàn bộ hệ thống, nhận tín hiệu xử lý mã QR code.
- Khối quét mã QR code: Camera của máy sẽ xử lý ảnh, đọc mã vạch QR code của hàng hóa khi đưa vào kho, sau đó truyền tín hiệu cho bộ xử lý trung tâm.
- Khối HMI/WinCC: Phần mềm của TIA PORTAL sẽ quản lý các giao diện để sử dụng nhanh hơn và hiệu quả hơn.

2.2. Sơ đồ đấu nối hệ thống

Trong Hình 2, nguồn điện 24VDC từ bộ nguồn tổ ong sẽ cấp nguồn cho mạch hạ áp LM2596, nhằm chuyển đổi và cung cấp điện áp 12V cho động cơ của băng tải. Để điều khiển trạng thái dừng hoặc chạy của băng tải, ta sử dụng tiếp điểm R1 của relay trung gian. Relay này đóng vai trò là một công tắc điện tử, giúp kiểm soát dòng điện đến động cơ băng tải, đảm bảo quá trình vận hành được thực hiện một cách chính xác và hiệu quả.



Hình 2. Sơ đồ khối điều khiển



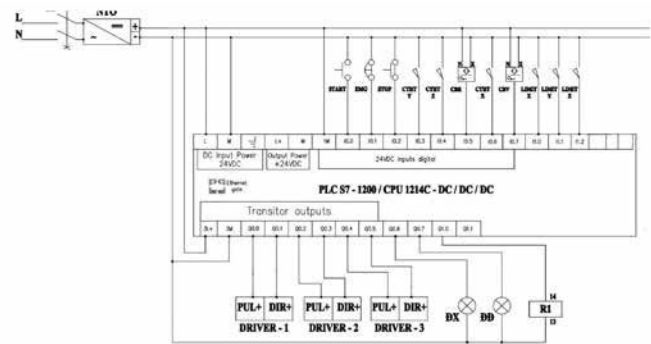
Hình 3. Sơ đồ đấu nối cho driver

Cả ba driver TB6600 trong Hình 3 đều được đấu theo kiểu

Sourcing nhằm giảm nguy cơ chập điện. Do các chân điều khiển không được nối trực tiếp với GND, khả năng xảy ra chập điện không mong muốn khi có sự cố sẽ thấp hơn. Các chân nhận xung và nhận hướng của driver được kết nối về PLC, đảm bảo tín hiệu điều khiển được truyền chính xác và an toàn.

Ở Hình 4, nguồn điện 24V DC từ nguồn tổ ong sẽ cấp điện cho PLC, các nút ấn START, STOP, EMG, cảm biến phát hiện hàng hóa và các công tắc hành trình. Các thiết bị này được kết nối với các chân tín hiệu đầu vào của PLC (từ chân I0.0 đến I1.2) theo kiểu Sourcing, nghĩa là chân âm không được nối trực tiếp với GND, giúp giảm nguy cơ chập điện.

Chân 3L+ và 3M của PLC cũng được cấp nguồn từ cùng nguồn tổ ong. Các chân tín hiệu đầu ra của PLC (từ Q0.0 đến Q1.1) sẽ phát tín hiệu điều khiển hướng động cơ cho driver TB6600 và điều khiển bật/tắt đèn tín hiệu. Hệ thống này đảm bảo sự an toàn và hiệu quả trong việc điều khiển hoạt động của động cơ và các thiết bị phụ trợ khác.

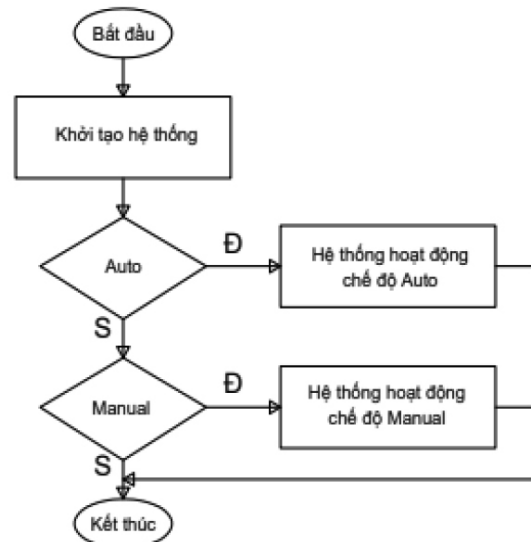


Hình 4. Sơ đồ đấu nối PLC

2.3. Lưu đồ thuật toán

- Lưu đồ thuật toán của hệ thống:

Lưu đồ minh họa một cách rõ ràng và có hệ thống về cách thức mà hệ thống kiểm tra và lựa chọn chế độ hoạt động. Nếu chế độ AUTO không được kích hoạt, hệ thống sẽ tự động kiểm tra và chuyển sang chế độ MANUAL/Kiểm tra. Trong trường hợp cả hai chế độ đều không được kích hoạt, quy trình sẽ kết thúc. Điều này đảm bảo rằng hệ thống chỉ hoạt động khi một trong hai chế độ được thiết lập đúng, tránh những hoạt động ngoài mong muốn.



Hình 5. Lưu đồ thuật toán của hệ thống

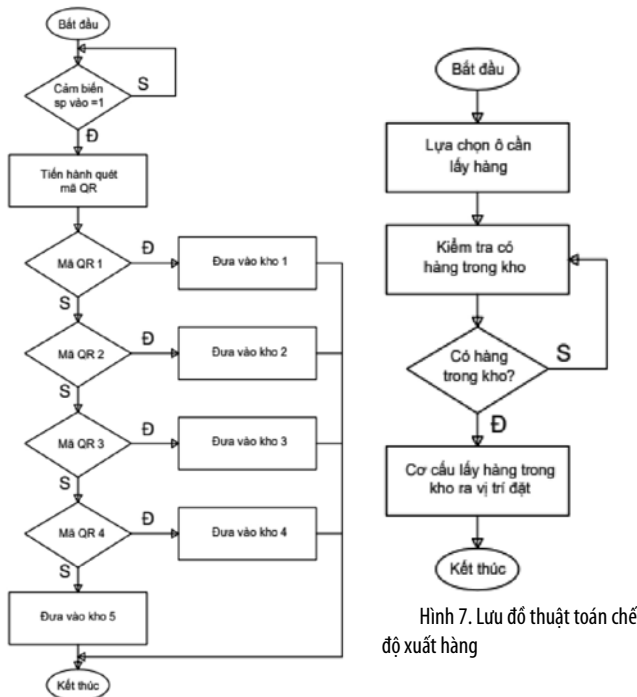
- Lưu đồ thuật toán chế độ Auto chế độ nhập hàng:

Trong lưu đồ thuật toán tự động phân loại và lưu trữ hàng hóa

dựa trên mã QR ở Hình 6, hệ thống hoạt động theo các bước sau: Đầu tiên, cảm biến sẽ được kích hoạt để phát hiện sự hiện diện của hàng hóa. Sau đó, mã QR của hàng hóa sẽ được quét để xác định kho lưu trữ phù hợp. Dựa trên kết quả quét mã QR, hàng hóa sẽ được phân bổ vào các kho tương ứng như kho 1, kho 2, kho 3 hoặc kho 4. Hệ thống có khả năng mở rộng để hoạt động với số lượng kho lớn hơn bằng cách áp dụng cùng một thuật toán này. Quy trình này đảm bảo rằng việc phân loại và lưu trữ hàng hóa được thực hiện một cách tự động và hiệu quả cao.

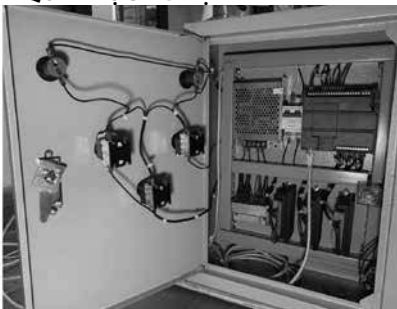
- Lưu đồ thuật toán chế độ đưa hàng ra:

Hình 7 trình bày quá trình để chọn và lấy hàng hóa. Quá trình bắt đầu bằng việc lựa chọn ô cần lấy hàng. Sau đó, hệ thống kiểm tra xem hàng hóa có trong kho hay không. Nếu hàng hóa không có trong kho (S), hệ thống sẽ quay lại bước kiểm tra kho để chọn một ô khác. Nếu hàng hóa có trong kho (Đ), hệ thống hoặc nhân viên sẽ tiến hành lấy hàng từ ô đã chọn và đặt vào vị trí cần thiết. Quá trình kết thúc khi hàng hóa đã được lấy ra và đặt vào vị trí định sẵn. Lưu đồ này đảm bảo rằng hàng hóa chỉ được lấy ra khi đã xác nhận có trong kho, tối ưu hóa hiệu quả và độ chính xác trong hoạt động quản lý kho hàng.



Hình 6. Lưu đồ thuật toán ở chế độ nhập hàng

3. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM



Hình 8. Tủ điện điều khiển hệ thống



1 - Hệ thống kho hàng; 2 - Cơ cấu nâng hạ hàng; 3 - Băng tải di chuyển hàng

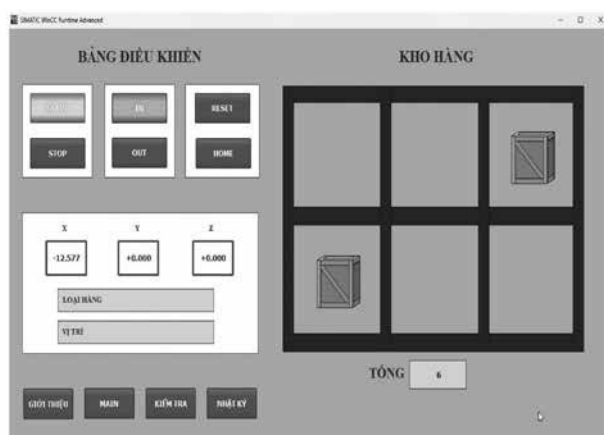
Hình 9. Mô hình hệ thống hoàn chỉnh



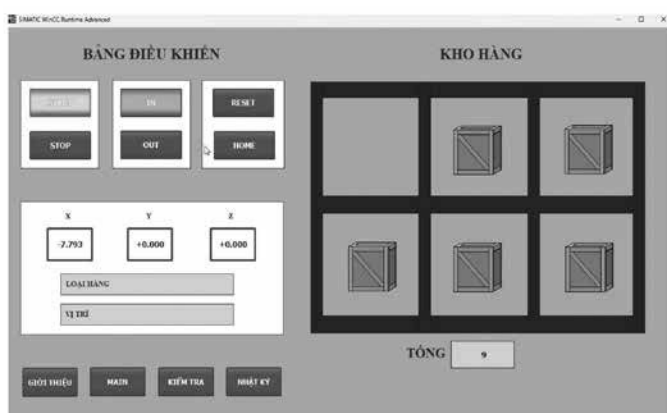
Hình 10. Giao diện kết nối webcam để quét QR



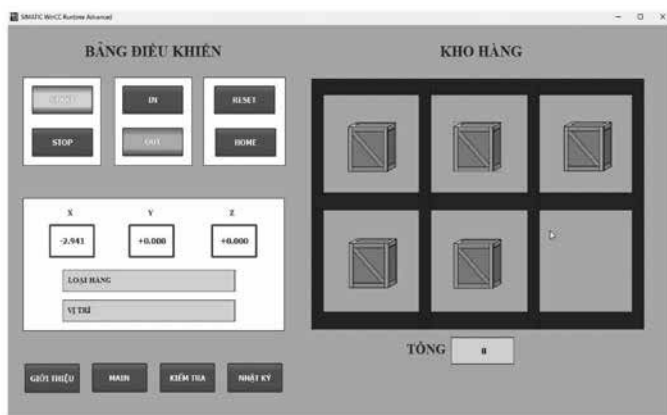
Hình 11. Hệ thống khi xác định được sản phẩm thông qua mã QR



Hình 12. Hai sản phẩm đã được lưu kho



Hình 13. Hệ thống vào chế độ chờ khi các kho chứa hàng đầy



Hình 14. Sản phẩm được đưa ra vị trí cần đặt

4. KẾT LUẬN

Bài báo nghiên cứu, thiết kế hệ thống lưu kho tự động có khả năng hoạt động ổn định trong thời gian dài mà không gặp sự cố đáng kể, đảm bảo quá trình lưu kho và xuất kho diễn ra liên tục và hiệu quả. Hệ thống có thể xử lý lượng hàng hóa một cách ổn định và tin cậy.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Zhi Qiang Yao, Heng Jun Zhu, Wen He Du (2014), Design and Implementation of Automated Warehouse Monitoring System Based on the Internet of Things, Applied Mechanics and Materials, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.543-547.1099>.

[2]. Aldona Jarašūnienė, Kristina Čižiūnienė, Audrius Čereška (2023), Research on Impact of IoT on Warehouse Management, Sensors 2023, 23(4), 2213. <https://doi.org/10.3390/s23042213>.

[3]. Jin Y.L., Gong A.L., Liu S.P (2013), Study of logistics warehouse management system based on RFID. Adv. Mater. Res. 2013;748:1281-1284, www.scientific.net/AMR.748.1281.

[4]. Nguyễn Hải Anh (2023), Ứng dụng xe tự hành vận chuyển hàng tự động trong kho thương mại điện tử, Tạp chí Công Thương, số 8, tháng 4.

[5]. Chung Tấn Lâm, Nguyễn Tường Long, Phan Hoàng Phụng, Lê Hoài Quốc (2010), Phát triển hệ thống lưu kho tự động, Tạp chí phát triển KH&CN, tập 13, số K4-2010.

Kinh nghiệm các nước về chính sách chuyển đổi xanh đối với thiết bị xây dựng công trình giao thông - bài học cho Việt Nam

Green transformation policies for transport construction machinery - experiences for Vietnam

> TS NGUYỄN ĐÌNH TỬ, PGS.TS NGUYỄN HỒNG THÁI*

Trường Đại học Giao thông vận tải

*Email: nhthai@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Việc chuyển đổi xanh cho thiết bị xây dựng công trình giao thông là một trong những hướng chính yếu để giảm phát thải, cải thiện chất lượng không khí và nâng cao hiệu quả năng lượng trong giai đoạn thi công. Bài báo tổng hợp kinh nghiệm chính sách của một số nền kinh tế (EU, Nhật Bản, Hàn Quốc cùng các dự án đa phương), phân tích hiệu quả và rút ra các bài học. Trên cơ sở đó, đề xuất khuyến nghị chính sách phù hợp với điều kiện Việt Nam. Dung lượng bài báo được mở rộng, phân tích chi tiết hơn gấp 3 lần, kèm các bảng biểu và hình minh họa để tăng tính trực quan và khoa học.

Từ khóa: Chuyển đổi xanh; thiết bị xây dựng; chính sách; đầu tư xanh.

ABSTRACT

The Green Transformation of transport construction machinery plays a pivotal role in reducing greenhouse gas emissions, improving air quality and enhancing energy efficiency during infrastructure construction phases. This paper synthesizes policy experiences from several leading economies - including the European Union, Japan and South Korea - alongside selected multilateral initiatives. It provides a comparative analysis of policy instruments, regulatory frameworks and incentive mechanisms that facilitate the adoption of low-emission, hybrid and electric machinery in the transport construction sector. Drawing from these international experiences, the study highlights key lessons and formulates policy recommendations tailored to Vietnam's specific conditions to accelerate the Green Transformation of its transport infrastructure machinery sector. The analysis has been expanded threefold, with detailed tables, figures and visual illustrations to enhance scientific clarity, analytical depth and practical relevance.

Keywords: Green transition; construction equipment; policy; green procurement.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh toàn cầu đang chịu tác động mạnh mẽ từ biến đổi khí hậu, vấn đề giảm phát thải khí nhà kính và hướng tới phát triển bền vững đã trở thành ưu tiên hàng đầu của nhiều quốc gia. Việt Nam, với tư cách là một trong những nước đang phát triển có tốc độ đô thị hóa và công nghiệp hóa nhanh đang phải đối mặt với thách thức to lớn trong việc cân bằng giữa yêu cầu tăng trưởng kinh tế và bảo vệ môi trường. Ngành xây dựng giao thông - lĩnh vực giữ vai trò động lực trong phát triển hạ tầng hiện được xác định là một trong những nguồn tiêu thụ năng lượng hóa thạch lớn và phát thải khí nhà kính đáng kể.

Ngành xây dựng giao thông Việt Nam sử dụng các thiết bị thi công cơ giới chủ yếu, bao gồm: Máy xúc, máy ủi, xe lu, xe bơm bê

tông, cần cẩu và các phương tiện chuyên dụng khác. Các thiết bị này hoạt động chủ yếu dựa vào động cơ diesel truyền thống - vốn được chứng minh là nguồn phát thải lớn các chất gây ô nhiễm không khí như CO₂, NOx (oxit nitơ) và PM2.5 (bụi mịn).

Từ góc độ lý luận, việc giảm thiểu tác động môi trường từ hoạt động xây dựng giao thông có mối quan hệ chặt chẽ với các lý thuyết về phát triển bền vững, kinh tế xanh và chuyển đổi năng lượng. Các nghiên cứu quốc tế đã khẳng định rằng, nếu không có các chính sách chuyển đổi xanh trong lĩnh vực xây dựng cơ bản, đặc biệt là khâu thi công hạ tầng giao thông, mục tiêu giảm phát thải ròng bằng "0" sẽ khó có thể đạt được. Đây chính là nền tảng lý luận quan trọng khẳng định tính cấp thiết của nghiên cứu.

Như vậy, từ thực tiễn, có thể khẳng định rằng lĩnh vực xây

dụng giao thông đang là “điểm trống” trong chính sách giảm phát thải ở Việt Nam. Nếu không sớm có giải pháp, áp lực môi trường đô thị sẽ ngày càng gia tăng, đồng thời làm suy giảm uy tín quốc tế của Việt Nam trong việc thực hiện các cam kết khí hậu.

2. KINH NGHIỆM CỦA CÁC NƯỚC

Việc nghiên cứu kinh nghiệm quốc tế về chính sách chuyển đổi xanh trong lĩnh vực thiết bị xây dựng công trình giao thông có ý nghĩa quan trọng, bởi đây là lĩnh vực có đặc thù kỹ thuật cao, yêu cầu chi phí lớn và chịu sự điều chỉnh chặt chẽ của các quy định môi trường. Thực tiễn ở các quốc gia phát triển cho thấy, để thúc đẩy chuyển đổi xanh, không thể chỉ dựa vào các biện pháp kỹ thuật đơn lẻ mà cần sự kết hợp đồng bộ giữa chuẩn khí thải, công cụ tài chính và cơ chế mua sắm công xanh.

Bảng 1. Kinh nghiệm chính sách quốc tế về chuyển đổi xanh thiết bị xây dựng

Quốc gia/Tổ chức	Chính sách khí thải	Hỗ trợ tài chính	Mua sắm công xanh
EU	Stage I-V cho động cơ NRMM	Hỗ trợ R&D, quỹ xanh	Quy định GPP bắt buộc
Nhật Bản	Chuẩn khí thải nghiêm ngặt	Trợ cấp hybrid, EV	Ưu tiên đấu thầu
Hàn Quốc	Áp tiêu chuẩn tương đương EU	Chương trình scrappage (thu hồi, thay thế thiết bị cũ)	Thí điểm metro xanh
WB/ADB	Yêu cầu ESS/Safeguard	Cho vay ưu đãi	Điều kiện môi trường trong thầu

Nguồn: Tổng hợp của tác giả

1) Kinh nghiệm EU: Liên minh châu Âu được xem là khu vực tiên phong trong việc kiểm soát phát thải của thiết bị phi đường bộ. Bộ tiêu chuẩn khí thải Stage I-V cho NRMM áp dụng từ những năm 1990 đến nay đã liên tục siết chặt giới hạn phát thải NOx, PM và HC. Cùng với quy định bắt buộc, EU triển khai Quỹ xanh (Green Deal Fund) để hỗ trợ doanh nghiệp đổi mới công nghệ, đồng thời yêu cầu Green Public Procurement (GPP) - tức là các dự án sử dụng ngân sách công phải ưu tiên thiết bị đạt chuẩn xanh. Chính sách này tạo động lực kép, vừa buộc doanh nghiệp tuân thủ, vừa khuyến khích thị trường thiết bị sạch phát triển.

2) Kinh nghiệm Nhật Bản: Nhật Bản sớm đưa ra các tiêu chuẩn khí thải nghiêm ngặt cho thiết bị xây dựng từ thập niên 2000. Một đặc điểm nổi bật là chính sách hỗ trợ R&D và thí điểm công nghệ mới. Ví dụ, Tập đoàn Komatsu đã phát triển dòng máy xúc hybrid và thiết bị chạy pin lithium-ion, được chính phủ hỗ trợ thông qua trợ cấp đầu tư và chính sách thuế. Đồng thời, Nhật Bản áp dụng cơ chế ưu tiên đấu thầu xanh, các nhà thầu sử dụng thiết bị ít phát thải được chấm điểm cao hơn trong quá trình lựa chọn nhà thầu công trình công. Điều này tạo ra môi trường cạnh tranh lành mạnh, buộc doanh nghiệp tích cực đổi mới công nghệ.

3) Kinh nghiệm Hàn Quốc: Hàn Quốc áp dụng tiêu chuẩn khí thải tương đương EU nhưng nổi bật ở cơ chế scrappage program - thu hồi và thay thế thiết bị cũ bằng thiết bị đạt chuẩn mới, có trợ cấp trực tiếp từ ngân sách. Ngoài ra, Hàn Quốc cũng triển khai mô hình “metro xanh”, thí điểm các công trường thi công tàu điện ngầm với thiết bị chạy điện hoặc LNG, nhằm đánh giá hiệu quả kỹ thuật trước khi nhân rộng. Chính sách này kết hợp giữa áp lực pháp lý và hỗ trợ tài chính, giúp thị trường chuyển đổi diễn ra nhanh chóng hơn.

4) Kinh nghiệm của WB/ADB: Ngân hàng Thế giới (WB) và Ngân hàng Phát triển châu Á (ADB) không trực tiếp áp dụng chuẩn khí thải, nhưng họ tạo ra cơ chế “chuẩn mực quốc tế bắt buộc” thông qua các chính sách an toàn môi trường - xã hội (ESS, Safeguard Policy). Các dự án hạ tầng do WB/ADB tài trợ đều phải sử dụng thiết bị thi công đạt tiêu chuẩn khí thải quốc tế, đồng thời gắn điều kiện môi trường vào hồ sơ mời thầu. Đây là công cụ gián tiếp nhưng rất hiệu quả, buộc các nước tiếp nhận vốn vay phải nâng cấp khung chính sách và thị trường thiết bị xanh.

Bảng 1 cho thấy các nước tiên tiến đều áp dụng tiêu chuẩn khí thải khắt khe và kết hợp nhiều công cụ chính sách. EU nổi bật với hệ thống chuẩn Stage V, Nhật Bản chú trọng thí điểm và hỗ trợ R&D, trong khi Hàn Quốc tập trung vào cơ chế tài chính và thay thế thiết bị cũ. WB/ADB tạo ra “áp lực mềm” thông qua điều kiện môi trường trong cấp.

3. THỰC TRẠNG VÀ CƠ HỘI - THÁCH THỨC TẠI VIỆT NAM

- Cơ cấu thiết bị: Khoảng 70 - 80% thiết bị thi công hiện nay là thiết bị cũ nhập khẩu, chủ yếu đạt tiêu chuẩn khí thải thấp (Euro II-III). Những thiết bị này có hiệu suất sử dụng nhiên liệu thấp, công nghệ lạc hậu, dẫn đến mức phát thải cao (CO₂, NOx, PM2.5).

- Khung pháp lý: Hiện chưa có quy định kiểm soát khí thải chặt chẽ đối với thiết bị thi công. Trong khi đó, phương tiện giao thông đường bộ đã có lộ trình áp dụng tiêu chuẩn khí thải, cho thấy sự thiếu đồng bộ trong chính sách môi trường.

- Ứng dụng công nghệ sạch: Việc ứng dụng thiết bị điện, hybrid hoặc nhiên liệu thay thế (LNG, HVO, biodiesel) mới chỉ dừng lại ở giai đoạn thử nghiệm với quy mô nhỏ, chưa có dự án thương mại hoặc cơ chế khuyến khích triển khai diện rộng.

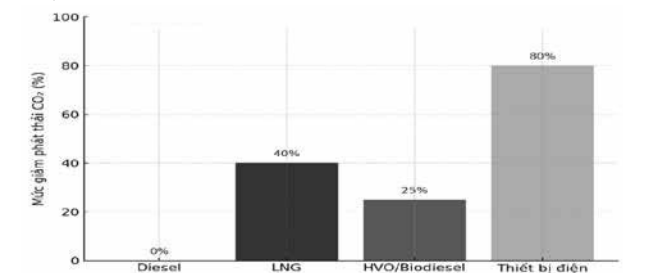
Những điểm này cho thấy Việt Nam đang tụt hậu so với quốc tế trong quản lý khí thải NRMM và nếu không có giải pháp kịp thời thì nguy cơ trở thành “bãi chứa thiết bị cũ, bẩn” là rất lớn.

Bảng 2. Cơ hội và thách thức cho Việt Nam

Cơ hội	Thách thức
Cam kết Net Zero 2050	Thiếu cơ chế kiểm soát thiết bị cũ
Nguồn tài trợ quốc tế (WB, ADB, JICA, Quỹ khí hậu xanh)	Chi phí đầu tư cao cho thiết bị sạch
Các đô thị lớn (Hà Nội, TP.HCM) có thể làm thí điểm	Hạ tầng sạc điện, LNG còn hạn chế
Thị trường xây dựng phát triển mạnh, tạo nhu cầu lớn	Doanh nghiệp ưu tiên chi phí ngắn hạn

Nguồn: Tổng hợp của tác giả

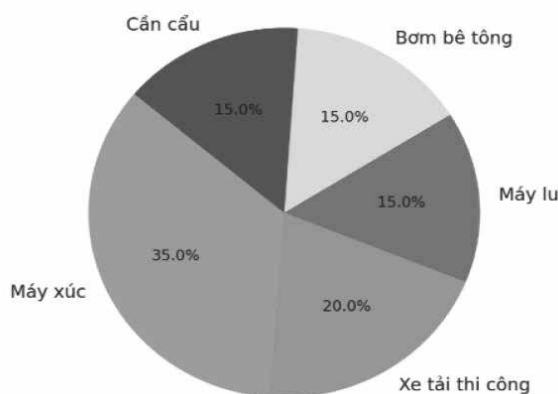
Việt Nam có nhiều cơ hội nhờ cam kết quốc tế (Net Zero 2050), nguồn tài chính hỗ trợ từ các tổ chức đa phương và nhu cầu xây dựng hạ tầng đô thị ngày càng tăng. Tuy nhiên, thách thức lớn nhất nằm ở chi phí đầu tư ban đầu cao, thiếu hạ tầng năng lượng sạch và tâm lý doanh nghiệp còn thiên về lợi ích ngắn hạn.



Hình 1. Tiềm năng giảm phát thải CO₂ theo loại năng lượng

Phân tích biểu đồ trên Hình 1 cho thấy, thiết bị chạy điện có thể giảm tới 80% phát thải CO₂ so với diesel; thiết bị sử dụng LNG giúp giảm khoảng 40% phát thải, đồng thời giảm NOx và PM2.5; nhiên liệu sinh học (HVO, biodiesel) cũng có tiềm năng giảm phát thải 20 - 30% tùy theo tỷ lệ pha trộn. Từ những phân tích trên cho thấy điện hóa thiết bị thi công tại các đô thị lớn là hướng đi đầy tiềm năng, còn LNG hoặc biodiesel chỉ có thể đóng vai trò giải pháp chuyển tiếp trong ngắn hạn.

Phân tích biểu đồ trên Hình 1 cho thấy, máy xúc và xe tải thi công chiếm hơn 55% tổng phát thải từ thiết bị thi công; các thiết bị khác như máy lu, xe bơm bê tông, cần cẩu đóng góp ít hơn (10 - 15% mỗi loại). Từ phân tích trên cho thấy, nếu ưu tiên chính sách chuyển đổi xanh cho máy xúc và xe tải thi công thì Việt Nam có thể đạt hiệu quả giảm phát thải lớn nhất với chi phí tối ưu. Đây là các nhóm thiết bị cần được đưa vào chương trình thí điểm công trường xanh trong giai đoạn tới.



Hình 2. Cơ cấu phát thải theo loại thiết bị thi công

4. KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ

Kinh nghiệm quốc tế cho thấy, một gói chính sách tổng hợp gồm: (i) tiêu chuẩn khí thải bắt buộc, (ii) cơ chế mua sắm công xanh, (iii) hỗ trợ tài chính và thuế ưu đãi, (iv) các chương trình thí điểm công nghệ, (v) hệ thống giám sát minh bạch sẽ mang lại hiệu quả cao hơn so với các biện pháp đơn lẻ. Đây cũng chính là con đường mà nhiều quốc gia đã áp dụng thành công để giảm phát thải trong lĩnh vực thiết bị xây dựng.

Trong bối cảnh Việt Nam đã cam kết Net Zero 2050, có thể rút ra một số khuyến nghị chính sách trọng tâm:

- 1) Hoàn thiện khung pháp lý và tiêu chuẩn khí thải: Ban hành quy định kiểm soát khí thải đối với thiết bị thi công cơ giới, tương thích với tiêu chuẩn Euro IV-V; xây dựng lộ trình loại bỏ dần thiết bị cũ dưới chuẩn (Euro II-III), kết hợp cơ chế kiểm định định kỳ.
- 2) Thúc đẩy cơ chế tài chính và hỗ trợ doanh nghiệp: Áp dụng ưu đãi thuế nhập khẩu và tín dụng xanh cho thiết bị điện, hybrid, LNG; xây dựng quỹ hỗ trợ chuyển đổi xanh trong xây dựng, có thể kết hợp vốn từ WB, ADB, JICA và Quỹ Khí hậu xanh.
- 3) Phát triển hạ tầng năng lượng sạch: Quy hoạch và đầu tư trạm sạc nhanh tại các đô thị lớn, kết hợp với mạng lưới năng lượng tái tạo; phát triển hạ tầng kho LNG và nguồn cung nhiên liệu sinh học, đảm bảo tính ổn định và cạnh tranh.
- 4) Triển khai thí điểm "công trường xanh" tại các đô thị lớn: Lựa chọn các dự án giao thông đô thị tại Hà Nội, TP.HCM, Đà Nẵng làm mô hình thử nghiệm thiết bị điện/hybrid; thiết lập bộ chỉ số giám sát phát thải tại công trường để đánh giá hiệu quả thực tế.
- 5) Nâng cao nhận thức và đào tạo nguồn nhân lực: Tổ chức

các chương trình đào tạo kỹ thuật vận hành thiết bị sạch cho công nhân và kỹ sư; tăng cường truyền thông chính sách nhằm thay đổi nhận thức doanh nghiệp, hướng tới lợi ích dài hạn thay vì chi phí ngắn hạn.

Việt Nam có nhiều cơ hội nhờ cam kết quốc tế, sự hỗ trợ tài chính từ các tổ chức đa phương và nhu cầu xây dựng hạ tầng ngày càng tăng. Tuy nhiên, để tận dụng hiệu quả các cơ hội này, cần triển khai chiến lược chuyển đổi xanh toàn diện với trọng tâm là hoàn thiện chính sách, hỗ trợ tài chính, phát triển hạ tầng và thúc đẩy mô hình công trường xanh. Đây sẽ là nền tảng quan trọng để giảm phát thải khí nhà kính, bảo vệ môi trường đô thị và nâng cao năng lực cạnh tranh của ngành Xây dựng trong kỷ nguyên phát triển bền vững.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. European Commission (2020), Non-road mobile machinery (NRMM) emission standards - Stage V. Retrieved from <https://ec.europa.eu>.
- [2]. International Energy Agency (IEA) (2023), Global EV Outlook 2023, Paris: IEA.
- [3]. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2021), Climate Change 2021: Mitigation of Climate Change, Cambridge: Cambridge University Press.
- [4]. Komatsu Ltd. (2022), Hybrid excavator technology report, Tokyo: Komatsu Research Institute.
- [5]. Ministry of Construction of Vietnam (2024), Thông tư 13/2024/TT-BXD về tiêu chuẩn môi trường trong xây dựng, Hà Nội, NXB. Xây dựng.
- [6]. Ministry of Industry and Trade (MOIT) (2020), Vietnam Energy Statistics 2020, Hà Nội, NXB. Công Thương.
- [7]. United Nations Environment Programme (UNEP) (2021), Green public procurement guidelines, Nairobi: UNEP.
- [8]. World Bank (2022), Environmental and social framework (ESF), Washington, DC: World Bank.
- [9]. Asian Development Bank (ADB) (2020), Sustainable transport infrastructure report, Manila: ADB.
- [10]. Arizton Advisory & Intelligence (2023), Vietnam crawler excavator market - Industry analysis and forecast 2023 - 2028, Singapore: Arizton.
- [11]. OECD (2022), Financing clean energy transitions in emerging economies, Paris: OECD Publishing.
- [12]. JICA (2021), Green growth and infrastructure investment in Asia, Tokyo: Japan International Cooperation Agency.
- [13]. Ministry of Natural Resources and Environment (MONRE) (2022), Vietnam's National Climate Change Strategy 2050, Hà Nội: MONRE.
- [14]. Kang, J., & Lee, H. (2020), Policies for green construction equipment in South Korea: Opportunities and challenges, Journal of Cleaner Production, 265, 121779.
- [15]. Zhang, Y., & Li, X. (2021), Emission reduction potential of alternative fuels for construction machinery, Energy Policy, 149, 112014.

Xây dựng hệ thống chỉ tiêu đánh giá hoạt động điều hành kế hoạch vốn đầu tư công trong xây dựng công trình giao thông tại Việt Nam

Developing a system of indicators to evaluate the management of public investment capital plans for transportation infrastructure construction in Vietnam

> TS ĐỖ VĂN THUẬN¹, PGS.TS NGUYỄN LƯƠNG HẢI^{2,*}

¹Học viện Chiến lược, bồi dưỡng cán bộ xây dựng

²Trường Đại học Giao thông vận tải

*Email: hainl@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu đề xuất hệ thống 5 chỉ tiêu đánh giá hoạt động điều hành kế hoạch vốn đầu tư công xây dựng công trình giao thông tại Việt Nam, dựa trên các nguyên tắc quản lý dự án, lý thuyết lãnh đạo và quy định pháp luật đầu tư công. Các chỉ tiêu bao gồm: Mức độ phù hợp của giải pháp tổ chức (DR1), chất lượng chỉ đạo (DR2), trách nhiệm giải trình (DR3), động lực làm việc (DR4) và quyền tự quyết định (DR5). Hệ thống này đảm bảo tính khoa học, logic, phản ánh đầy đủ các khía cạnh lãnh đạo và quản lý, từ tổ chức, chỉ đạo đến trao quyền. Kết quả nghiên cứu cung cấp công cụ đánh giá hiệu quả, góp phần cải thiện quản lý vốn đầu tư công, tối ưu hóa nguồn lực và thúc đẩy phát triển cơ sở hạ tầng giao thông bền vững tại Việt Nam.

Từ khóa: Đầu tư công; điều hành kế hoạch; công trình giao thông; chỉ tiêu đánh giá; lãnh đạo.

ABSTRACT

This study proposes a system of five indicators to evaluate the management of public investment capital plans for transportation infrastructure construction in Vietnam, grounded in project management principles, leadership theories and Vietnam's public investment laws. The indicators include: Appropriateness of organizational solutions (DR1), quality of direction and management (DR2), accountability (DR3), work motivation (DR4) and decision-making autonomy (DR5). This system ensures scientific rigor and logical coherence, comprehensively reflecting leadership and management aspects, from organization and direction to empowerment. The findings provide an effective evaluation tool, contributing to improved management of public investment capital, resource optimization and sustainable development of transportation infrastructure in Vietnam.

Keywords: Public investment; plan management; transportation infrastructure; evaluation indicators; leadership.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh phát triển kinh tế - xã hội của Việt Nam, đầu tư công đóng vai trò quan trọng trong việc thúc đẩy tăng trưởng, đặc biệt trong lĩnh vực xây dựng cơ sở hạ tầng giao thông. Kế hoạch vốn đầu tư công xây dựng công trình giao thông không chỉ góp phần nâng cao năng lực kết nối mà còn đảm bảo sự phát triển bền vững và hiệu quả sử dụng nguồn lực quốc gia. Tuy nhiên, việc điều hành kế hoạch vốn đầu tư công trong lĩnh vực này thường đối mặt với nhiều thách thức như chậm tiến độ giải ngân, thiếu hiệu quả trong quản lý nguồn lực hoặc thiếu sự phối hợp chặt chẽ giữa các cơ quan liên quan. Những vấn đề này đòi hỏi một hệ thống đánh giá khoa học và toàn diện để đo lường chất lượng hoạt động điều hành, từ đó đề xuất các giải pháp cải thiện.

Hoạt động điều hành kế hoạch vốn đầu tư công xây dựng công trình giao thông là một quá trình phức tạp, đòi hỏi sự lãnh đạo hiệu quả, phối hợp chặt chẽ và trách nhiệm giải trình rõ ràng từ các cơ quan quản lý nhà nước, chủ đầu tư và các đơn vị thực hiện. Theo lý thuyết quản lý dự án và lãnh đạo, hiệu quả điều hành phụ thuộc vào các yếu tố như khả năng tổ chức, chỉ đạo, tạo động lực, trao quyền và đảm bảo trách nhiệm [3, 7]. Trong bối cảnh Việt Nam, Luật Đầu tư công [9] quy định rõ trách nhiệm của các cấp chính quyền trong việc tổ chức, thực hiện và điều phối nguồn vốn, nhưng việc đánh giá hiệu quả của các hoạt động này vẫn chưa được chuẩn hóa một cách khoa học và đồng bộ.

Việc xây dựng các chỉ tiêu đánh giá hoạt động điều hành kế hoạch vốn đầu tư công xây dựng công trình giao thông là cần thiết

để đảm bảo tính minh bạch, hiệu quả và phù hợp với các mục tiêu phát triển quốc gia. Các chỉ tiêu này cần được xây dựng dựa trên cơ sở lý luận vững chắc, kết hợp với thực tiễn quản lý đầu tư công tại Việt Nam, đồng thời phản ánh đầy đủ các khía cạnh của quá trình lãnh đạo và quản lý, bao gồm tổ chức, chỉ đạo, trách nhiệm, động lực và quyền tự quyết. Nghiên cứu này nhằm đề xuất một hệ thống chỉ tiêu đánh giá mang tính logic và khoa học, góp phần hoàn thiện cơ sở lý luận và tạo nền tảng cho các nghiên cứu tiếp theo về quản lý đầu tư công trong lĩnh vực xây dựng công trình giao thông tại Việt Nam.

2. XÂY DỰNG CHỈ TIÊU ĐÁNH GIÁ HOẠT ĐỘNG ĐIỀU HÀNH KẾ HOẠCH VỐN ĐẦU TƯ CÔNG XÂY DỰNG CÔNG TRÌNH GIAO THÔNG

Công tác điều hành kế hoạch vốn đầu tư công xây dựng công trình giao thông là một quá trình quản lý phức tạp, đòi hỏi sự phối hợp chặt chẽ giữa các cơ quan quản lý nhà nước, chủ đầu tư và các đơn vị liên quan nhằm đảm bảo thực hiện hiệu quả các mục tiêu kế hoạch đề ra. Để đánh giá chất lượng hoạt động điều hành, cần xây dựng một hệ thống chỉ tiêu khoa học, logic, phản ánh đầy đủ các khía cạnh của quá trình lãnh đạo và quản lý. Dựa trên các nguyên tắc quản lý dự án, lý thuyết lãnh đạo và quy định pháp luật đầu tư công tại Việt Nam, nghiên cứu đề xuất 5 chỉ tiêu đánh giá chính, được trình bày logic theo các khía cạnh cốt lõi của hoạt động điều hành: Tổ chức, chỉ đạo, trách nhiệm, động lực và quyền tự quyết.

2.1. Cơ sở lý luận xây dựng chỉ tiêu

Hoạt động điều hành kế hoạch vốn đầu tư công xây dựng công trình giao thông được xem như một quá trình lãnh đạo nhằm định hướng và thúc đẩy các cá nhân, tổ chức đạt được mục tiêu chung [3]. Theo lý thuyết hành vi lãnh đạo, một nhà lãnh đạo hiệu quả cần tập trung vào việc tổ chức công việc, truyền đạt rõ ràng mục tiêu, phân bổ trách nhiệm, tạo động lực và trao quyền cho các bộ phận liên quan [2]. Đặc biệt, lý thuyết theo đuổi con đường mục tiêu (path-goal theory) nhấn mạnh vai trò của nhà lãnh đạo trong việc làm rõ các con đường dẫn đến mục tiêu, loại bỏ rào cản và cung cấp phần thưởng để thúc đẩy hiệu suất [8].

Trong bối cảnh đầu tư công tại Việt Nam, Luật Đầu tư công [9] quy định trách nhiệm của các cơ quan quản lý nhà nước và các cấp chính quyền trong việc tổ chức, điều phối và thực hiện kế hoạch vốn đầu tư công. Các cơ quan chủ trì cần xây dựng các giải pháp điều hành phù hợp, đảm bảo sử dụng hiệu quả nguồn vốn ngân sách nhà nước và vốn vay, đồng thời không làm thay đổi mục tiêu của các chương trình, dự án. Dựa trên cơ sở này, các chỉ tiêu đánh giá được xây dựng nhằm đo lường mức độ hiệu quả của các giải pháp điều hành, chất lượng chỉ đạo, trách nhiệm giải trình, động lực làm việc và mức độ trao quyền trong quá trình thực hiện.

2.2. Hệ thống chỉ tiêu đánh giá

Dựa trên phân tích lý thuyết và thực tiễn, 5 chỉ tiêu đánh giá hoạt động điều hành kế hoạch vốn đầu tư công xây dựng công trình giao thông được đề xuất như sau:

** Mức độ phù hợp và chất lượng của các giải pháp tổ chức điều hành kế hoạch (DR1):*

Chỉ tiêu này đánh giá khả năng của cơ quan chủ trì trong việc xây dựng và triển khai các giải pháp tổ chức điều hành kế hoạch vốn đầu tư công. Các giải pháp này cần cụ thể, phù hợp với nguồn vốn được phân bổ và các mục tiêu của dự án giao thông. Theo hành vi lãnh đạo định hướng công việc (initiating structure leadership behavior), nhà lãnh đạo cần xác định rõ các nhiệm vụ, mối quan hệ công việc và mục tiêu cụ thể [7]. Trong lĩnh vực đầu tư công, điều này bao gồm việc lập kế hoạch chi tiết, phân bổ nguồn lực hợp lý và xây dựng các cơ chế phối hợp giữa các bên liên quan để đảm bảo tiến độ giải ngân và chất lượng dự án.

Chỉ tiêu DR1 tập trung vào năng lực tổ chức, một yếu tố nền tảng để đảm bảo sự thành công của kế hoạch đầu tư công. Trong thực tiễn, các giải pháp tổ chức thường gặp thách thức do sự phức tạp của các dự án giao thông, bao gồm quy mô lớn, nhiều bên liên quan và các yêu cầu kỹ thuật đặc thù. Ví dụ, việc lập kế hoạch chi tiết cần xem xét các yếu tố như điều kiện địa hình, yêu cầu giải phóng mặt bằng và nguồn lực tài chính. Nếu các giải pháp không được thiết kế phù hợp, có thể dẫn đến chậm trễ trong giải ngân hoặc lãng phí nguồn lực. Hơn nữa, việc xây dựng cơ chế phối hợp hiệu quả giữa các cơ quan quản lý, nhà thầu và đơn vị tư vấn là yếu tố then chốt để giảm thiểu rủi ro và đảm bảo tiến độ dự án. Theo nghiên cứu của Nguyen [6], các giải pháp tổ chức cần được điều chỉnh linh hoạt theo từng giai đoạn của dự án để đáp ứng các yêu cầu thay đổi trong môi trường thực hiện.

** Mức độ phù hợp và chất lượng của các chỉ đạo, điều hành phạm vi công việc (DR2):*

Chỉ tiêu này tập trung vào chất lượng các hoạt động chỉ đạo và điều hành trong phạm vi trách nhiệm quản lý. Một nhà lãnh đạo hiệu quả cần truyền đạt rõ ràng các yêu cầu, mục tiêu và tiến độ công việc đến các cấp dưới [6]. Trong bối cảnh xây dựng công trình giao thông, điều này đòi hỏi các chỉ đạo phải cụ thể, kịp thời và phù hợp với từng giai đoạn của dự án, từ chuẩn bị đầu tư, giải phóng mặt bằng đến thi công. Việc thường xuyên kiểm tra, rà soát và tháo gỡ khó khăn kịp thời cũng là yếu tố quan trọng để đảm bảo hiệu quả điều hành.

Chất lượng chỉ đạo (DR2) là yếu tố quyết định sự trơn tru trong triển khai các dự án giao thông. Trong thực tế, nhiều dự án gặp phải vấn đề do thiếu sự chỉ đạo rõ ràng hoặc chậm trễ trong việc xử lý các vướng mắc, như tranh chấp đất đai hoặc thay đổi thiết kế kỹ thuật. Theo lý thuyết path-goal, nhà lãnh đạo cần cung cấp hướng dẫn cụ thể và hỗ trợ kịp thời để cấp dưới hiểu rõ mục tiêu và cách thức thực hiện [8]. Ví dụ, trong giai đoạn giải phóng mặt bằng, các chỉ đạo cần tập trung vào việc phối hợp với chính quyền địa phương và người dân để giải quyết các vấn đề phát sinh. Việc rà soát thường xuyên và sử dụng các công cụ giám sát hiện đại, như hệ thống quản lý dự án điện tử, có thể nâng cao hiệu quả của chỉ tiêu này. Tuy nhiên, thách thức nằm ở việc đảm bảo tính nhất quán và sự đồng bộ trong các chỉ đạo giữa các cấp quản lý, đặc biệt trong các dự án liên tỉnh hoặc liên vùng.

** Mức độ đảm bảo tự chịu trách nhiệm và trách nhiệm giải trình (DR3):*

Trách nhiệm giải trình là yếu tố cốt lõi trong quản lý dự án đầu tư công. Chỉ tiêu này đánh giá mức độ các cá nhân và đơn vị liên quan hiểu rõ và chịu trách nhiệm đối với phạm vi công việc được giao. Theo Brian Tracy [1], lãnh đạo hiệu quả thể hiện qua việc làm rõ kỳ vọng, quy định trách nhiệm và áp dụng cơ chế thưởng phạt công bằng. Trong hoạt động đầu tư công, trách nhiệm giải trình cần được đảm bảo thông qua việc xác định rõ vai trò, nhiệm vụ và hậu quả khi không hoàn thành công việc, từ đó xây dựng niềm tin và cam kết trong tổ chức.

Trách nhiệm giải trình (DR3) là yếu tố then chốt để đảm bảo tính minh bạch và hiệu quả trong quản lý vốn đầu tư công. Trong thực tiễn, các dự án giao thông thường gặp vấn đề về trách nhiệm khi xảy ra sai phạm, như chậm tiến độ hoặc thất thoát vốn, do thiếu sự phân định rõ ràng về vai trò của từng đơn vị. Theo Pinto J. K. et al., [7], một mức độ trách nhiệm hợp lý sẽ thúc đẩy động lực làm việc, trong khi trách nhiệm quá cao hoặc quá thấp có thể dẫn đến mất động lực hoặc thiếu cam kết. Để nâng cao chỉ tiêu này cần thiết lập các cơ chế giám sát chặt chẽ, như báo cáo định kỳ và kiểm toán độc lập, đồng thời áp dụng các biện pháp thưởng phạt công bằng. Tuy nhiên, thách thức nằm ở việc cân bằng giữa việc áp đặt trách nhiệm

và tạo môi trường khuyến khích sáng tạo, tránh gây áp lực quá lớn lên các đơn vị thực hiện.

** Mức độ phù hợp của động lực làm việc (DR4):*

Động lực làm việc là yếu tố quan trọng để thúc đẩy các cá nhân và bộ phận hoàn thành các mục tiêu của kế hoạch đầu tư công, bao gồm giải ngân, chất lượng và tiến độ dự án. Chỉ tiêu này đánh giá khả năng của nhà lãnh đạo trong việc tạo cảm hứng và khơi gợi sự nhiệt tình thông qua các công cụ như khích lệ, phần thưởng và sự cam kết của chính lãnh đạo [4]. Một nhà lãnh đạo tài năng cần biến nhiệt huyết cá nhân thành động lực chung cho đội ngũ, từ đó nâng cao hiệu suất và cam kết thực hiện dự án.

Động lực làm việc (DR4) đóng vai trò quan trọng trong việc thúc đẩy các cá nhân và tổ chức vượt qua các thách thức trong quá trình thực hiện dự án giao thông. Trong thực tế, các dự án đầu tư công thường gặp khó khăn trong việc duy trì động lực do tính chất dài hạn và áp lực từ các yêu cầu kỹ thuật, tài chính. Theo Gransberg và Ellicott [4], sự nhiệt tình của nhà lãnh đạo có thể lan tỏa đến đội ngũ, tạo ra môi trường làm việc tích cực. Các biện pháp như khen thưởng kịp thời, công nhận thành tích hoặc cung cấp các cơ hội phát triển nghề nghiệp có thể nâng cao động lực. Tuy nhiên, việc tạo động lực cần được cá nhân hóa để phù hợp với từng nhóm đối tượng, từ nhà thầu đến đội ngũ kỹ thuật. Thách thức lớn là duy trì động lực trong các dự án gặp khó khăn về ngân sách hoặc tiến độ, đòi hỏi nhà lãnh đạo phải linh hoạt trong việc sử dụng các công cụ khích lệ.

** Mức độ phù hợp trong thực hiện quyền tự quyết định (DR5):*

Chỉ tiêu này đánh giá mức độ trao quyền cho các cá nhân và bộ phận trong phạm vi quyền hạn của họ khi thực hiện kế hoạch vốn đầu tư công. Hành vi tham gia lãnh đạo (participative leadership) và lý thuyết quyết định chuẩn tắc (Vroom-Yetton-Jago) nhấn mạnh rằng việc cho phép các cấp dưới tham gia vào quá trình ra quyết định sẽ tăng cường cam kết và hiệu quả thực hiện [5]. Trong xây dựng công trình giao thông, quyền tự quyết định cần được thực hiện phù hợp với từng giai đoạn dự án, đảm bảo sự linh hoạt nhưng vẫn tuân thủ các quy định pháp luật và mục tiêu chung.

Quyền tự quyết định (DR5) là yếu tố quan trọng để tăng cường sự linh hoạt và sáng tạo trong quản lý dự án giao thông. Trong thực tiễn, việc trao quyền cho các cá nhân hoặc bộ phận giúp rút ngắn thời gian ra quyết định và cải thiện khả năng xử lý các vấn đề phát sinh tại chỗ, như điều chỉnh tiến độ thi công hoặc giải quyết các vấn đề kỹ thuật. Tuy nhiên, mức độ trao quyền cần được kiểm soát chặt chẽ để tránh vượt quá phạm vi quy định pháp luật hoặc gây xung đột lợi ích. Theo Hales [5], việc tham gia ra quyết định không chỉ tăng cường cam kết mà còn giúp các bên liên quan cảm thấy có trách nhiệm hơn với kết quả công việc. Thách thức ở đây là xác định mức độ trao quyền phù hợp cho từng giai đoạn dự án và từng đối tượng, đảm bảo cân bằng giữa tự do hành động và tuân thủ mục tiêu chung.

Các chỉ tiêu trên được tổng hợp trong Bảng 1, phản ánh các khía cạnh cốt lõi của hoạt động điều hành kế hoạch vốn đầu tư công xây dựng công trình giao thông:

Bảng 1. Chỉ tiêu mô tả nội dung điều hành thực hiện kế hoạch vốn đầu tư công xây dựng công trình giao thông

STT	Mã CT	Nội dung
1	DR1	Mức độ phù hợp và chất lượng của các giải pháp tổ chức điều hành kế hoạch đầu tư công thuộc nguồn vốn do cấp mình quản lý.
2	DR2	Mức độ phù hợp và chất lượng của các chỉ đạo, điều hành các phạm vi công việc thuộc trách nhiệm quản lý trong quá trình thực hiện kế hoạch vốn đầu tư công xây dựng công trình giao thông.

3	DR3	Mức độ đảm bảo tự chịu trách nhiệm và trách nhiệm giải trình đối với phạm vi trách nhiệm công việc trong quá trình thực hiện kế hoạch vốn đầu tư công xây dựng công trình giao thông.
4	DR4	Mức độ phù hợp của các động lực làm việc được tạo ra để các cá nhân, bộ phận nỗ lực hoàn thành các mục tiêu nhiệm vụ của mình trong quá trình thực hiện kế hoạch vốn đầu tư công xây dựng công trình giao thông.
5	DR5	Mức độ phù hợp trong thực hiện quyền tự quyết định trong phạm vi quyền hạn của các cá nhân, bộ phận phụ trách công việc cụ thể trong quá trình triển khai kế hoạch vốn đầu tư công xây dựng công trình giao thông.

Hệ thống chỉ tiêu được đề xuất đảm bảo tính logic, khoa học và toàn diện, dựa trên các lý thuyết lãnh đạo hiện đại và thực tiễn quản lý đầu tư công tại Việt Nam. Các chỉ tiêu này không chỉ giúp đánh giá hiệu quả hoạt động điều hành mà còn cung cấp cơ sở để cải thiện chất lượng quản lý, đảm bảo sử dụng hiệu quả nguồn vốn đầu tư công trong xây dựng công trình giao thông.

3. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã đề xuất một hệ thống 5 chỉ tiêu đánh giá hoạt động điều hành kế hoạch vốn đầu tư công xây dựng công trình giao thông tại Việt Nam, bao gồm: Mức độ phù hợp và chất lượng của các giải pháp tổ chức điều hành (DR1), chất lượng chỉ đạo và điều hành phạm vi công việc (DR2), mức độ đảm bảo trách nhiệm giải trình (DR3), mức độ phù hợp của động lực làm việc (DR4) và mức độ trao quyền tự quyết định (DR5). Các chỉ tiêu này được xây dựng dựa trên nền tảng lý thuyết lãnh đạo hiện đại, các nguyên tắc quản lý dự án và quy định pháp luật đầu tư công tại Việt Nam, đảm bảo tính logic, khoa học và toàn diện.

Hệ thống chỉ tiêu không chỉ cung cấp một công cụ đánh giá hiệu quả hoạt động điều hành mà còn tạo cơ sở khoa học cho việc phân tích, cải thiện chất lượng quản lý và tối ưu hóa sử dụng nguồn vốn đầu tư công trong lĩnh vực xây dựng công trình giao thông. Kết quả nghiên cứu góp phần hoàn thiện cơ sở lý luận, đồng thời mở ra hướng tiếp cận cho các nghiên cứu tiếp theo nhằm nâng cao hiệu quả quản lý đầu tư công, đáp ứng yêu cầu phát triển cơ sở hạ tầng giao thông bền vững tại Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Brian Tracy (2014), Leadership - Thuật lãnh đạo; Nguyễn Huyền, Nguyễn Chánh dịch. Alpha Books, NXB. Thế giới.

[2]. Bass B. M. and Bruce J. A. (1997), Full Range Leadership Development: Manual for the Multifactor Leadership Questionnaire; Palo Alto, California: Mind Garden.

[3]. Charles W.L.Hill and Steven L.McShane (2006), Principles of Management, McGraw-Hill, Irwin.

[4]. Gransberg and Ellicott, (1997), Life cycle project management, American Association of Cost Engineers, Chicago, 28: 288-292.

[5]. Hales C. P. (2019), What do managers do?, A critical review of the evidence, Managerial Work: 263-290.

[6]. Nguyen L. H., (2019), Relationships between Critical Factors Related to Team Behaviors and Client Satisfaction in Construction Project Organizations, Journal of Construction Engineering and Management, 145(3): 04019002.

[7]. Pinto J. K., Thomas P., Traylor J., Palmer T. and Govekar M. (1998), Project Leadership: From Theory to Practice, Published by: Project Management Institute Headquarters.

[8]. Rachel E. S. (2013), Some Tech Firms Ask: Who Needs Managers?, in The Wall Street Journal.

[9]. Quốc hội (2024), Luật Đầu tư công số 58/2024/QH15 ngày 29/11/2024, Quốc hội.

Nghiên cứu các yếu tố tác động tới hành vi lái xe nguy hiểm của người lái xe buýt ở Hà Nội

Studying factors influencing risky driving behaviours of bus drivers in Hanoi

> PGS.TS NGUYỄN THANH CHƯƠNG

Khoa Vận tải Kinh tế - Trường Đại học Giao thông vận tải

Email: ntchuong@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Để phát triển thành phố văn minh và xanh, chính quyền đô thị ưu tiên phát triển vận tải hành khách công cộng (VTHKCC), tuy nhiên những rủi ro về tai nạn liên quan tới hành vi lái xe nguy hiểm hiện đang là vấn đề nhức nhối. Nghiên cứu này phân tích tác động của áp lực công việc đến hành vi lái xe nguy hiểm của 428 lái xe buýt Hà Nội. Kết quả chỉ ra 4 nhóm áp lực chính là: (1) Cabin và phương tiện; (2) thời gian làm việc (3); đường sá và (4) thời tiết. Trong đó, áp lực từ thời gian làm việc và đường sá là những yếu tố mạnh nhất thúc đẩy các hành vi lái xe nguy hiểm, đặc biệt ở nhóm lái xe trên 45 tuổi và có kinh nghiệm trên 2 năm. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất các giải pháp nhằm hạn chế ảnh hưởng tiêu cực từ các yếu tố áp lực công việc này.

Từ khóa: Vận tải hành khách công cộng; an toàn; áp lực công việc; buýt.

ABSTRACT

To develop a civilized and green city, urban authorities prioritize the development of public passenger transport. However, the risks of accidents related to dangerous driving behaviors are currently a pressing issue. This study analyzes the impact of work pressure on the dangerous driving behaviors of 428 Hanoi bus drivers. The results identify four main sources of pressure: (1) Cabin and vehicle, (2) Working hours, (3) Roads and (4) Weather. Among these, pressure from working hours and roads are the strongest factors driving dangerous driving behaviors, especially among drivers over 45 years old with more than 2 years of experience. Based on these findings, the study proposes solutions to mitigate the negative impact of these work pressure factors.

Keywords: Public transport; safety; job demands; bus.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

VTHKCC bằng xe buýt giữ vai trò then chốt trong hệ thống giao thông đô thị, mang lại hàng loạt lợi ích đáng kể, bao gồm: Tăng cường chất lượng môi trường thông qua việc cải thiện chất lượng không khí, giảm tiếng ồn, giảm tiêu hao năng lượng và khí thải; tăng cường an toàn bằng cách giảm thiểu tai nạn, thương vong; tăng khả năng tiếp cận cho mọi người dân đến các hoạt động và việc làm [1]; tăng cường hiệu quả kinh tế nhờ giảm chi phí vận chuyển hàng hóa, giảm thời gian và chi phí đi lại, giảm ùn tắc giao thông và thúc đẩy cơ hội phát triển kinh tế [2]. Tuy nhiên, tất cả những lợi ích này chỉ có thể đạt được trọn vẹn khi dịch vụ buýt thật sự an toàn và được đông đảo người dân tin tưởng, đón nhận.

Nghiên cứu này phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến hành vi lái xe nguy hiểm của lái xe buýt sử dụng dữ liệu từ hơn 400 lái xe.

2. MÔ HÌNH NGHIÊN CỨU

Lao động lái xe buýt là công việc vất vả với trách nhiệm cao,

đặc biệt khi phải điều khiển phương tiện trong môi trường đô thị có mật độ giao thông lớn, thường xuyên ra vào các điểm dừng đón khách. Những đặc thù này tạo ra các nguồn áp lực lớn, dẫn đến hành vi lái xe bất thường [3, 4], bao gồm những hành vi rủi ro cao như phóng nhanh, vượt đèn đỏ và lấn làn vốn tiềm ẩn nguy cơ va chạm và tai nạn giao thông nghiêm trọng. Tuy nhiên, các nghiên cứu trước đây thường tập trung vào các hành vi lái xe nguy hiểm mà hiếm khi xem xét các hành động mất lịch sự của lái xe đối với hành khách, gây ảnh hưởng xấu đến chất lượng dịch vụ và hình ảnh an toàn của xe buýt.

Các nguồn áp lực chính được phân loại thành 3 nhóm cơ bản, trong đó hai nguồn chính liên quan trực tiếp đến môi trường vật lý và tổ chức kỹ thuật vận hành. Nguồn áp lực đầu tiên là môi trường vật lý, bao gồm: (1) Cabin: Không gian làm việc bó hẹp, chịu ảnh hưởng bởi tiếng ồn và mùi từ khoang hành khách, cùng với thái độ không lịch sự của hành khách, gây mệt mỏi và khó chịu trực tiếp cho lái xe; (2) Điều kiện đường sá: Việc phải lưu thông cùng dòng giao thông hỗn hợp, thiếu làn ưu tiên và phải liên tục quan sát,

điều khiển xe ra vào điểm dừng tạo ra sự căng thẳng lớn. Các tuyến đường rộng, có nhiều làn và dải phân cách cứng được chứng minh là giúp giảm áp lực cho lái xe, qua đó giảm các thao tác lái xe nguy hiểm; (3) Điều kiện thời tiết: Nhiệt độ cao, thấp hoặc mưa đều làm tăng mệt mỏi, giảm khả năng tập trung, đặc biệt là tăng nguy cơ tai nạn do điều kiện đường trơn trượt hoặc tầm nhìn bị hạn chế [5, 6].

Nguồn áp lực thứ hai là tổ chức kỹ thuật vận hành liên quan đến: (1) Thời gian hoạt động: Lịch trình dày đặc, kể cả trong thời gian cao điểm và giờ làm việc kéo dài từ rất sớm đến rất muộn (5h00 - 23h00) khiến lái xe không đủ thời gian nghỉ ngơi, luôn trong trạng thái áp lực phải đúng giờ, làm suy giảm nhịp sinh học và tăng nguy cơ mệt mỏi khi lái xe. Việc phải làm việc liên tục cả tuần, không có ngày nghỉ cuối tuần cũng là yếu tố gia tăng áp lực; (2) Phương tiện: Xe cũ hoặc bảo dưỡng kém dễ phát sinh sự cố dọc đường, khiến lái xe lo lắng và mất yên tâm, đe dọa đến an toàn kỹ thuật của chuyến đi. Nhóm yếu tố thứ ba là các đặc điểm nhân khẩu học (tuổi, giới tính, thâm niên), trong đó thâm niên lái xe là yếu tố quan trọng quyết định cách lái xe phản ứng với các tác động và xung đột từ bên ngoài (như xung đột với hành khách). Dưới sức ép của công việc, lái xe buýt có thể thực hiện hàng loạt hành vi tiêu cực đối với hành khách, từ bỏ qua, tranh luận, cãi vã đến tấn công bằng hành động, gây tổn hại nghiêm trọng đến an toàn dịch vụ và trải nghiệm của người dùng [7, 8].

Trên cơ sở phân tích nêu trên, bài báo tiến hành phân tích các áp lực từ môi trường vật lý, tổ chức kỹ thuật vận hành và đặc điểm nhân khẩu học, công việc đến hành vi lái xe nguy hiểm.

3. DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

mục, khẳng định tính thích hợp của phương pháp EFA.

Bảng 1. Kết quả phân tích nhân tố khám phá

TT	Mục hỏi	Yếu tố				
		Áp lực cabin và phương tiện	Áp lực thời gian làm việc	Áp lực đường sá	Áp lực từ thời tiết	Tần suất thực hiện hành vi tiêu cực
Biến độc lập						
	Áp lực về thời gian làm việc					
1	Thời gian làm việc hàng ngày hiện nay quá dài		0,8421			-
2	Thời gian chạy xe giữa các chuyến quá sát nhau		0,8754			-
3	Tôi thường phải thay đổi (xoay ca) làm việc liên tục		0,8321			-
4	Tôi thường thiếu thời gian để đi vệ sinh trong ca làm việc		0,8864			-
5	Tối thiểu thời gian để chớp mắt (ngủ) trong ca làm việc		0,7964			-
	Áp lực cabin					
1	Các hành khách đi xe buýt thường ồn ào khiến tôi khó chịu	0,8345				-
2	Các hành khách thường không tuân thủ, lắng nghe hướng dẫn của nhân viên khi đi xe buýt khiến tôi cảm thấy khó chịu	0,8532				-
	Áp lực đường sá					-

Khảo sát thực địa diễn ra trong tháng 3/2024 tại 50 tuyến buýt có trợ giá của Tổng công ty Vận tải Hà Nội (Transerco), đơn vị có thị phần lớn nhất [9]. Sáu sinh viên được thuê để phỏng vấn trực tiếp các lái xe vào thời gian nghỉ giữa ca hoặc chuyển, ghi lại câu trả lời vào phiếu giấy và lái xe nhận được 15.000 đồng phí tham gia. Để đảm bảo tính đại diện, số lượng lái xe được khảo sát giới hạn không quá 5 người mỗi tuyến. Kết thúc quá trình thu thập, trong số 450 lái xe được mời có 403 phần trả lời đủ điều kiện để phân tích chuyên sâu.

Nghiên cứu áp dụng kỹ thuật Phân tích nhân tố khám phá (EFA) để rút ra các yếu tố cơ bản của áp lực công việc (các biến ẩn) từ các câu trả lời về quan điểm của 428 lái xe. Sau đó, các yếu tố áp lực được trích xuất này sẽ được đưa vào mô hình Hồi quy tuyến tính (Linear Regression) cùng với các biến nhân khẩu học (biến quan sát được) để giải thích cho tần suất thực hiện hành vi lái xe thiếu an toàn. Toàn bộ quá trình phân tích thống kê được thực hiện bằng phần mềm STATA 15.0.

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

4.1. Kết quả phân tích nhân tố khám phá

Nghiên cứu áp dụng kỹ thuật Phân tích nhân tố khám phá (EFA) lần đầu tiên cho các mục hỏi về áp lực công việc (thời gian làm việc, cabin, đường sá, thời tiết, phương tiện) và đã rút trích thành công 4 nhóm yếu tố cơ bản: (1) Áp lực cabin và phương tiện; (2) Áp lực thời gian làm việc; (3) Áp lực đường sá; (4) Áp lực thời tiết. Các yếu tố được rút trích này đạt độ tin cậy và phù hợp cao, được xác nhận bởi chỉ số KMO là 0,7028 (lớn hơn 0,5) [10], khả năng giải thích 61,21% tổng phương sai (vượt mức 50% tối thiểu) và kết quả từ Bartlett's Test of Sphericity cho thấy mối liên hệ đáng kể giữa các

1	Xe buýt phải đi chung đường với các phương tiện khác khiến công việc của tôi áp lực và mệt mỏi			0,8457		-
2	Nhiều tuyến đường có bề rộng hẹp, thường xuyên ùn tắc là gia tăng áp lực cho công việc của tôi			0,8543		-
	<i>Áp lực thời tiết</i>					-
1	Thời tiết vào mùa hè ở Hà Nội rất khắc nghiệt với nhiệt độ cao khiến công việc của tôi thêm nhiều áp lực				0,8324	-
2	Thời tiết vào mùa đông ở Hà Nội rất khắc nghiệt với nhiệt độ giảm sâu khiến công việc của tôi thêm nhiều áp lực				0,8128	-
	<i>Áp lực về phương tiện</i>					
1	Xe buýt tôi điều khiển xuống cấp nhanh vì phải hoạt động nhiều và chất lượng bảo dưỡng sửa chữa không đủ tốt	0,7653				
2	Xe buýt tôi điều khiển không có đầy đủ các tính năng để hỗ trợ việc đón, trả, vận chuyển hành khách một cách an toàn và thuận lợi	0,7647				-

Trong lần áp dụng phân tích nhân tố khám phá thứ 2, bài báo rút được yếu tố hành vi lái xe nguy hiểm. Yếu tố này giải thích được 71,34% sự biến thiên của dữ liệu.

4.2. Kết quả yếu tố ảnh hưởng

Hai yếu tố nhân khẩu học có ý nghĩa thống kê trong việc dự báo hành vi tiêu cực của lái xe là tuổi tác và thâm niên công việc. Nhóm lái xe cao tuổi (trên 45 tuổi) có xu hướng thực hiện hành vi tiêu cực nhiều hơn nhóm trẻ tuổi, điều này có thể xuất phát từ khả năng chịu đựng áp lực thấp hơn, dễ nổi cáu và các vấn đề sức khỏe như mất ngủ. Tương tự, lái xe có thâm niên cao cũng cho thấy xu hướng tiêu cực lớn hơn so với nhóm có kinh nghiệm dưới 2 năm, có thể do lái xe mới thường có ý thức tuân thủ quy định về an toàn và doanh nghiệp tốt hơn. Ngược lại, trình độ học vấn và mức thu nhập hàng tháng lại không có sự khác biệt đáng kể trong việc dự báo hành vi mất lịch sự với hành khách.

Bảng 2. Yếu tố ảnh hưởng đến hành vi lái xe nguy hiểm

TT	Biến	Hệ số	Sai số chuẩn	p
1	Tuổi			
	Dưới 25 tuổi (<i>giá trị tham chiếu</i>)			
	26 - 45 tuổi			
	Trên 45 tuổi	2,372	0,372	0,004
2	Trình độ học vấn			
	Chưa có bằng đại học (<i>giá trị tham chiếu</i>)			
	Có bằng đại học			
3	Thu nhập			
	Dưới 15 triệu/tháng (<i>giá trị tham chiếu</i>)			
	Từ 15 triệu/tháng trở lên			
4	Thâm niên lái xe buýt			
	Dưới 2 năm (<i>giá trị tham chiếu</i>)			
	2 - 5 năm	1,523	0,173	0,021
	Trên 5 năm	1,955	0,197	0,013
5	Áp lực từ cabin và phương tiện	0,323	0,050	0,002
6	Áp lực thời gian hoạt động	0,788	0,050	0,000
7	Áp lực đường sá	0,552	0,050	0,000
8	Áp lực từ thời tiết	0,321	0,050	0,006
Hệ số R ² : 56,3%; Bảng chỉ hiển thị kết quả các biến có ý nghĩa thống kê				

Tất cả các yếu tố áp lực công việc đều có tác động thuận chiều và có ý nghĩa thống kê đến hành vi tiêu cực của lái xe, cho thấy căng thẳng là nguồn gốc chính gây ra thái độ làm tăng rủi ro. Áp lực thời gian là yếu tố có tác động lớn nhất, bởi lái xe phải căng thẳng liên tục để đảm bảo lịch trình và thiếu thời gian nghỉ ngơi, dẫn đến việc họ không muốn hoặc phản hồi thiếu lịch sự, chỉ muốn tập trung năng lượng để hoàn thành chuyến xe. Áp lực đường sá là yếu tố tác động lớn thứ hai do điều kiện giao thông đô thị ngày càng chật hẹp, hỗn hợp, đòi hỏi lái xe phải thực hiện nhiều thao tác liên tục và tiềm ẩn nguy cơ va chạm cao. Tiếp theo là áp lực cabin và phương tiện (ảnh hưởng từ hành khách, xe xuống cấp) và cuối cùng là áp lực thời tiết (tác động nhỏ nhất) [11, 12].

Kết quả nghiên cứu nhấn mạnh sự cần thiết phải xem xét lại các chính sách tổ chức kỹ thuật và vận hành hệ thống buýt để giảm căng thẳng cho lái xe, từ đó ngăn chặn hành vi mất lịch sự và hành vi lái xe mất an toàn. Các giải pháp cụ thể bao gồm: (1) Tối ưu hóa thời gian làm việc và nghỉ ngơi bằng cách bố trí luân phiên lái xe để tránh tình trạng một số người phải lái các chuyến đầu/cuối liên tục, đồng thời tăng thời gian chuyển xe, đặc biệt vào giờ cao điểm để tính toán đến ùn tắc và rủi ro trên đường; (2) Nâng cao nguồn nhân lực bằng cách tuyển dụng thêm lao động để tăng ngày nghỉ và tạo điều kiện xin nghỉ đột xuất dễ dàng hơn; (3) Cải thiện môi trường vận hành thông qua việc kiến nghị xây dựng làn ưu tiên cho xe buýt, nâng cấp công tác bảo dưỡng để xe luôn trong tình trạng kỹ thuật tốt và trang bị các thiết bị hỗ trợ an toàn như camera lùi, hệ thống cảnh báo va chạm; (4) Xây dựng văn hóa xe buýt để giảm thiểu xung đột giữa lái xe và hành khách.

5. KẾT LUẬN

Dịch vụ VTHKCC bằng xe buýt đóng vai trò thiết yếu cho phát triển đô thị bền vững, nhưng để đạt được điều này cần có chất lượng dịch vụ tốt nhằm thu hút và duy trì khách hàng. Người lái xe là yếu tố quan trọng quyết định chất lượng dịch vụ, tuy nhiên, dưới áp lực công việc, họ có xu hướng thể hiện các hành vi tiêu cực đối với hành khách, làm giảm cảm nhận chất lượng dịch vụ. Nghiên cứu này được thực hiện nhằm phân tích định lượng chuyên sâu nguyên nhân và mức độ tác động của các áp lực công việc đến sự xuất hiện của các hành vi lái xe nguy hiểm, từ đó đưa ra các giải pháp thiết thực nhằm hạn chế tác động tiêu cực của lái xe đến an toàn của dịch vụ này.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Giáo dục và Đào tạo trong Đề tài mã số B2024-GHA-01.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. M. Amoade, E.W. Ansah, J.O. Sarfo, Psychosocial work conditions and traffic safety among minibus and long-bus drivers, *Journal of Occupational Health* 66 (2024) uiad019. <https://doi.org/10.1093/joccu/uiad019>.
- [2]. F. Hammami (2020), The impact of optimizing delivery areas on urban traffic congestion, *Research in Transportation Business & Management* 37, 100569. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2020.100569>.
- [3]. T.C. Nguyen, M.H. Nguyen, J. Armoogum, T.T. Ha (2021), Bus Crash Severity in Hanoi, Vietnam, *Safety* 7, 65. <https://doi.org/10.3390/safety7030065>.
- [4]. T.C. Nguyen, T.T. Ha, J. Armoogum, K. Joh, M.H. Nguyen (2025), Exploring risky driving behaviours among bus drivers in Hanoi, Vietnam using an extended Job Demands-Resources framework, *Journal of Transport & Health* 44, 102100. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2025.102100>.
- [5]. J.L.M. Tse, R. Flin, K. Mearns (2006), Bus driver well-being review: 50 years of research, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 9, 89-114. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2005.10.002>.
- [6]. C.-F. Chen, Y.-C. Hsu (2020), Taking a Closer Look at Bus Driver Emotional Exhaustion and Well-Being: Evidence from Taiwanese Urban Bus Drivers, *Safety and Health at Work* 11, 353-360. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2020.06.002>.
- [7]. D. Chimba, T. Sando, V. Kwigizile (2010), Effect of bus size and operation to crash occurrences, *Accident Analysis & Prevention* 42, 2063-2067. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.06.018>.
- [8]. F. Gómez, J.P. Bocarejo (2015), Accident Prediction Models for Bus Rapid Transit Systems: Generalized Linear Models Compared with a Neural Network, *Transportation Research Record* 2512, 38-45. <https://doi.org/10.3141/2512-05>.
- [9]. T.T. Ha (2025), Predictors of Intention to Quit Among Urban Bus Drivers in Developing Countries: A Case Study of Vietnam, *Sustainability* 17, 2850. <https://doi.org/10.3390/su17072850>.
- [10]. J.F. Hair, W.C. Black, B.J. Babin, R.E. Anderson (2009), *Multivariate Data Analysis*, 7th edition, Pearson, Upper Saddle River, NJ.
- [11]. S. Feng, Z. Li, Y. Ci, G. Zhang (2016), Risk factors affecting fatal bus accident severity: Their impact on different types of bus drivers, *Accident Analysis & Prevention* 86, 29-39. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.09.025>.
- [12]. H. Mokarami, S.S. Alizadeh, T. Rahimi Pordanjani, S. Varmazyar (2019), The relationship between organizational safety culture and unsafe behaviors and accidents among public transport bus drivers using structural equation modeling, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 65, 46-55. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.07.008>.

Nghiên cứu phương pháp Random Forest và XGBoost trong dự báo lưu lượng giao thông

A study on Random Forest and XGBoost methods for traffic flow prediction

> TS PHẠM THỊ LÝ, KS NGUYỄN VINH HOÀNG, THS NGUYỄN THỊ HỒNG HOA*

Trường Đại học Giao thông vận tải

*Email: hoanthe@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Nội dung bài báo sử dụng bộ dữ liệu gồm 2.976 bản ghi dưới định dạng tệp CSV và 9 đặc trưng đầu vào: Time, Date, Day of Week, Carcount, Bikecount, buscount, truckcount, total, situatison để phục vụ cho mô hình dự báo lưu lượng giao thông. Nhóm tác giả đã tiến hành phân tích dữ liệu và trích chọn đặc trưng của dữ liệu để phục vụ cho việc thử nghiệm của hai mô hình dự báo là Random Forest và XGBoost. Nội dung được tiến hành thử nghiệm đánh giá trên cả hai mô hình và kết quả cho thấy XGBoost là lựa chọn phù hợp tốt hơn cho bài toán dự báo lưu lượng và tình trạng giao thông so với Random Forest.

Từ khóa: Dự báo giao thông; lưu lượng giao thông; học máy; hệ thống giao thông thông minh; hồi quy.

ABSTRACT

The paper uses a dataset consisting of 2,976 records in CSV format with 9 input features: Time, Date, Day of Week, Carcount, Bikecount, Buscount, Truckcount, Total and Situation to serve as inputs for the traffic flow prediction model. The authors conducted data analysis and feature extraction to prepare the dataset for testing two prediction models: Random Forest and XGBoost. We were tested and evaluated on both models, and the results showed that XGBoost is a more suitable choice for predicting traffic flow and traffic conditions compared to Random Forest.

Keywords: Traffic forecasting; traffic volume; regression; machine learning; intelligent transport systems.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, ở nhiều đô thị lớn trên thế giới, đặc biệt là ở những trung tâm kinh tế có mật độ dân số cao, phụ thuộc lớn vào ô tô cá nhân nên tình trạng tắc nghẽn giao thông đang ngày càng nghiêm trọng, khiến cho người dân mất trên 100 giờ mỗi năm vì kẹt xe [1]. Tại Việt Nam, Hà Nội cũng đang đối mặt với tình trạng ùn tắc ở mức báo động, gây thiệt hại kinh tế từ 1 đến 1,2 tỷ USD mỗi năm [2] và ảnh hưởng lớn đến năng suất lao động cũng như chi phí logistics. Lượng phương tiện cá nhân tăng nhanh trong khi hạ tầng và giao thông công cộng chưa phát triển kịp, khiến người dân mất trung bình 30 - 60 phút mỗi ngày vì kẹt xe [2]. Mặc dù đã có những nỗ lực giải quyết, đến cuối năm 2024 Hà Nội vẫn ghi nhận 36 điểm ùn tắc trong giờ cao điểm, chủ yếu do mật độ dân số cao, đô thị hóa nhanh và hạ tầng giao thông yếu. Vì vậy, việc cải thiện hiệu quả giao thông mang lại nhiều lợi ích quan trọng cho xã hội. Việc dự báo lưu lượng giao thông hỗ trợ hiệu quả quá trình ra quyết định phù hợp [3].

Việc dự báo lưu lượng giao thông mang lại rất nhiều lợi ích thiết thực: Tối ưu hóa lộ trình xe, giảm thiểu ùn tắc giao thông đô thị và cải thiện hiệu quả thông lượng xe tổng thể [4, 5]; hỗ trợ lên lịch trình hoạt động của phương tiện trong hệ thống giao thông

công cộng; giảm mức tiêu thụ năng lượng liên quan đến việc di chuyển, phù hợp với mục tiêu phát triển thành phố thân thiện với môi trường và lượng khí thải carbon thấp.

Có nhiều phương pháp dự báo lưu lượng giao thông [6] như: Thống kê, trí tuệ nhân tạo, phương pháp lai. Phương pháp thống kê truyền thống như: HA, ARIMA, SARIMA, lọc Kalman... thực hiện dựa vào mối quan hệ tuyến tính giữa dữ liệu lưu lượng hiện tại và quá khứ. Nó phù hợp với kiểu dữ liệu ổn định, có quy luật lặp lại theo thời gian. Do giao thông đô thị thường bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố phức tạp như thời tiết, tai nạn, sự kiện, tín hiệu đèn, hành vi người lái... nên phương pháp này không phản ứng tốt với sự thay đổi đột ngột hoặc phi tuyến trong dữ liệu thực tế.

Phương pháp dự báo lưu lượng giao thông dựa trên trí tuệ nhân tạo sử dụng các kỹ thuật học máy và học sâu [7-11] để học từ dữ liệu lịch sử, từ đó phát hiện các mẫu ẩn và mối quan hệ phi tuyến phức tạp giữa các yếu tố giao thông. Phương pháp này cho phép tự động trích xuất đặc trưng và thích nghi linh hoạt với các điều kiện thay đổi của môi trường giao thông [7-11] phù hợp hơn với sự phức tạp ngày càng tăng của giao thông đô thị hiện đại.

Trong nội dung bài báo này, nhóm tác giả tiến hành phân tích

và chuẩn hóa dữ liệu được thu thập từ camera tại nút giao thông dưới dạng CSV và thử nghiệm khả năng dự báo lưu lượng giao thông của hai mô hình Random Forest và XGboost.

2. PHÂN TÍCH DỮ LIỆU

2.1. Mô tả dữ liệu

Tập dữ liệu được sử dụng trong nghiên cứu này được thu thập từ camera giám sát giao thông và lưu trữ theo định dạng CSV được đưa ra trong Bảng 1. Tập dữ liệu bao gồm các cột như: Thời gian tính theo giờ, ngày, ngày trong tuần và số lượng cho từng loại phương tiện (CarCount, BikeCount, BusCount, TruckCount). Cột "Tổng" biểu thị tổng số lượng của tất cả các loại phương tiện được phát hiện trong khoảng thời gian 15 phút. Bộ dữ liệu được cập nhật 15 phút một điểm. Ngoài ra, bộ dữ liệu bao gồm một cột chỉ ra tình huống giao thông được phân loại thành 4 loại: 1 - Heavy, 2 - High, 3 - Normal và 4 - Low. Dữ liệu tình huống giao thông này giúp đánh giá mức độ nghiêm trọng của tình trạng tắc nghẽn và theo dõi tình trạng giao thông tại các thời điểm và ngày khác nhau trong tuần.

2.2. Phân tích các đặc trưng trong bộ dữ liệu

Việc phân tích dữ liệu để kiểm tra xác định tính toàn vẹn của dữ liệu, dữ liệu lỗi, dữ liệu ngoại lệ (nhiều)... làm ảnh hưởng tới quá trình huấn luyện mô hình. Xác định xu hướng của dữ liệu nhằm xác định yếu tố ảnh hưởng tới mô hình dự báo.

- *Phân tích thành phần của dòng giao thông:* Việc phân tích thành phần của dòng giao thông được thực hiện dựa trên loại phương tiện trong bộ dữ liệu. Kết quả phân tích cho thấy phương tiện ô tô con "Car" chiếm số lượng lớn nhất so với các loại phương tiện khác như xe máy/xe đạp "Bike", xe buýt "Bus" và xe tải "Truck". Điều này cho thấy sự phân bố không đồng đều giữa các loại phương tiện

- *Phân tích lưu lượng giao thông theo thời gian:* Phân tích lưu lượng giao thông theo thời gian là yếu tố cốt lõi trong dự báo. Tiến hành phân tích lưu lượng giao thông trung bình theo giờ cho thấy lưu lượng thấp nhất vào ban đêm, tăng dần từ sáng sớm và đạt đỉnh điểm vào giờ đi làm buổi sáng (khoảng 7 - 9 giờ). Sau đó, lưu lượng giảm xuống vào giữa ngày và tăng trở lại, đạt đỉnh điểm lần thứ hai vào giờ tan tầm buổi chiều/tối (khoảng 16 - 18 giờ), trước khi giảm nhanh chóng vào cuối ngày. Kết quả phân tích này chỉ ra được hành vi đi lại hàng ngày của người dân.

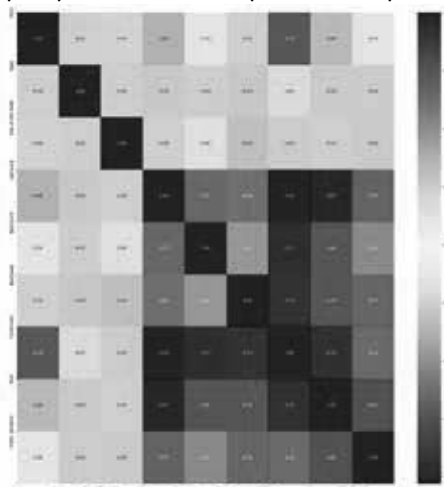
- *Phân tích lưu lượng giao thông trung bình theo ngày trong tuần:* Ngoài biến động hàng ngày, lưu lượng giao thông còn thể hiện sự khác biệt giữa các ngày trong tuần. Kết quả phân tích được thực hiện đã chỉ ra lưu lượng giao thông trung bình theo ngày trong tuần biến động từ thứ Hai đến Chủ nhật. Các ngày trong tuần có lưu lượng trung bình cao hơn và cuối tuần có lưu lượng khác biệt hơn.

- *Phân tích các tình huống giao thông:* Các tình huống lưu lượng giao thông được phân tích bao gồm: "normal" (bình thường), "low" (thấp), "high" (cao) và "heavy" (rất cao/ùn tắc nặng). Kết quả phân tích cho biết tần suất xuất hiện của từng tình huống: Tình huống "normal" chiếm tỷ lệ lớn nhất, điều này cho thấy phần lớn thời gian giao thông diễn ra ở mức bình thường. Ngược lại, tỷ lệ của "high" hoặc "heavy" ở mức cao cho thấy trong bộ dữ liệu hiện có có nhiều trường hợp ùn tắc.

2.3. Trích chọn đặc trưng dữ liệu

Qua phân tích ở trên ta có bộ dữ liệu mới phục vụ cho mô hình dự báo của nghiên cứu. Việc trích chọn đặc trưng dữ liệu để đánh giá mối quan hệ giữa các biến thông qua biểu đồ ma trận tương quan heatmap. Biểu đồ này hiển thị hệ số tương quan Pearson giữa tất cả các cặp biến trong tập dữ liệu, bao gồm Time, Date, Day of the week, số lượng của từng loại phương tiện (ô tô, xe máy/xe đạp, xe buýt, xe tải), tổng số lượng phương tiện và tình huống giao thông.

Giá trị trong mỗi ô của ma trận thể hiện cường độ và chiều của mối quan hệ tuyến tính giữa hai biến tương ứng, với màu sắc được mã hóa từ đen nhạt (tương quan nghịch mạnh) sang đen đậm (tương quan thuận mạnh) và các màu nhạt hơn biểu thị tương quan yếu.



Hình 1. Biểu đồ nhiệt phục vụ trích chọn đặc trưng

Kết quả phân tích cho thấy hệ số tương quan rất cao giữa Car Count và Total (0,97). Do đó, ô tô con là thành phần chiếm tỷ trọng lớn nhất và có sự biến động nhất với tổng lưu lượng. Bike Count cũng cho thấy tương quan mạnh với Total (0,89), trong khi Bus Count (0,79) và Truck Count (0,73) có mức độ tương quan với Total thấp hơn. Điều này chỉ ra rằng các mô hình dự báo lưu lượng tổng thể có thể được chi phối chủ yếu bởi hành vi của ô tô con và xe máy/xe đạp. Mối tương quan dương nhưng không quá cao giữa các loại phương tiện với nhau như Car Count với Bike Count là 0,72 cho thấy mặc dù chúng có xu hướng biến động cùng chiều nhưng mức độ đồng bộ không hoàn toàn tuyệt đối, phản ánh sự khác biệt trong mục đích và thời gian di chuyển của từng loại phương tiện.

Xét mối quan hệ của các yếu tố thời gian với lưu lượng, biến Time có mối tương quan dương ở mức trung bình với các biến đếm số lượng phương tiện (khoảng 0,30 đến 0,45) và với Tổng số lượng phương tiện (0,48). Mặc dù không phải là tương quan rất mạnh (gần 1), giá trị dương này cho thấy có một xu hướng tăng lưu lượng tuyến tính chung từ sáng đến chiều tối trong ngày. Mặt khác, biến Day of the week cho thấy mối tương quan rất yếu hoặc gần như không có với tất cả các biến đếm số lượng và Tổng lưu lượng (hệ số rất gần 0). Biến "Day of the week" trong tập dữ liệu được mã hóa theo cách không tạo ra mối quan hệ tuyến tính mạnh với lưu lượng hoặc ảnh hưởng của ngày trong tuần, làm thay đổi mức lưu lượng trung bình tổng thể chứ không phải là một tương quan tuyến tính trực tiếp với các biến đếm trong toàn bộ tập dữ liệu.

Ngoài ra, mối quan hệ giữa Tình huống giao thông (Traffic Situation) và các biến khác là cực kỳ quan trọng. Biến Traffic Situation cho thấy mối tương quan thuận mạnh mẽ với Tổng số lượng phương tiện (0,88). Điều này cho thấy, khi số lượng phương tiện trên đường tăng lên, tình trạng giao thông có xu hướng xấu đi (chuyển sang "high" hoặc "heavy"). Mối tương quan này cũng mạnh với Car Count (0,87), Bike Count (0,75), Bus Count (0,61) và Truck Count (0,62), lần lượt theo thứ tự đóng góp vào tổng lưu lượng. Mối tương quan dương nhưng ở mức thấp hơn với Time (0,29) và gần như không có với Day of the week (-0,02). Điều này ngụ ý rằng, mặc dù giờ cao điểm có xu hướng xảy ra ùn tắc hơn, bản thân biến thời gian và ngày trong tuần không có mối quan hệ tuyến tính mạnh với mức độ nghiêm trọng của tình huống giao thông khi xem xét toàn

bộ tập dữ liệu. Điều này nhấn mạnh rằng chính lượng phương tiện trên đường tại một thời điểm mới là yếu tố quyết định chính đến tình huống giao thông. Phân tích ma trận tương quan đã cung cấp bằng chứng định lượng về mối quan hệ giữa các biến. Nó xác nhận tầm quan trọng của các loại phương tiện, đặc biệt là ô tô con, đối với tổng lưu lượng, làm nổi bật sự phụ thuộc của lưu lượng vào yếu tố thời gian trong ngày và chứng minh mối liên hệ chặt chẽ giữa tổng số lượng phương tiện và tình trạng giao thông. Mặc dù mối quan hệ với ngày trong tuần có vẻ yếu về mặt tuyến tính, các phân tích khác (như biểu đồ trung bình theo ngày) có thể tiết lộ những khác biệt phi tuyến tính hoặc ảnh hưởng gián tiếp.

Những phát hiện này là cơ sở cho việc lựa chọn các biến đầu vào cho mô hình dự báo và xác định các yếu tố chi phối lưu lượng giao thông.

3. MÔ HÌNH DỰ BÁO

Tiến hành xây dựng mô hình dự báo lưu lượng và tình trạng giao thông trong ngắn hạn, giúp nhận diện sớm các mức độ ùn tắc (low, normal, high, heavy). Mô hình được phát triển dựa trên dữ liệu thời gian - không gian thu thập tại nút giao, với các đặc trưng đầu vào gồm: Số lượng phương tiện theo loại (CarCount, BikeCount, BusCount, TruckCount), đặc trưng thời gian (Hour, DayOfWeek, IsWeekend) và đặc trưng thống kê ngắn hạn (Total_lag1, Total_roll3). Dữ liệu sau khi được phân tích, chuẩn hóa và huấn luyện trên hai thuật toán là Random Forest và XGBoost để so sánh hiệu quả dự báo. Hiệu suất của mô hình được đánh giá qua ma trận nhầm lẫn.

3.1. Thuật toán Random Forest

Thuật toán Random Forest là mô hình tổ hợp của nhiều cây quyết định độc lập. Quá trình thuật toán diễn ra như sau:

- 1) Từ tập dữ liệu gốc, thuật toán lấy mẫu ngẫu nhiên nhiều tập con.
- 2) Với mỗi tập con, xây dựng một cây quyết định bằng cách:
 - Tại mỗi nút, chọn ngẫu nhiên một tập con các đặc trưng (features);
 - Chọn đặc trưng chia tách tốt nhất dựa trên chỉ số giảm phương sai (Variance Reduction) hoặc MSE (Mean Squared Error).
- 3) Khi dự báo, mỗi cây tạo ra một dự đoán riêng.
- 4) Kết quả cuối cùng là trung bình giá trị dự báo từ tất cả các cây:

$$\hat{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N \hat{y}_i \quad (1)$$

Trong đó:

$\hat{y}$ - Giá trị dự báo cuối cùng của Random Forest, là kết quả mà mô hình xuất ra sau khi tổng hợp kết quả từ tất cả các cây trong rừng. Đây chính là dự báo lưu lượng giao thông cuối cùng;

N - Số lượng cây quyết định trong mô hình Random Forest. Trong nghiên cứu này, $N=100$ cây. Mỗi cây được huấn luyện độc lập trên một tập con dữ liệu;

$\hat{y}_i$ - Giá trị dự báo của cây thứ i , là kết quả mà cây quyết định thứ i đưa ra cho cùng một mẫu đầu vào;

$\sum_{i=0}^N \hat{y}_i$ - Tổng giá trị dự báo của tất cả các cây, là tổng hợp toàn bộ các dự báo riêng lẻ của từng cây để tính trung bình;

$\frac{1}{N}$ - Hệ số trung bình, biểu thị rằng mọi cây đều được coi trọng như nhau, mỗi cây đóng góp một phần $1/N$ vào dự báo cuối cùng.

Mô hình được thiết lập với các thông số sau:

- max_depth = 10 nhằm giới hạn độ sâu của cây;
- min_samples_split = 10 để đảm bảo mỗi nút chỉ tách khi có đủ dữ liệu;
- random_state = 42 để duy trì tính tái lập.

3.2. Thuật toán XGBoost (Extreme Gradient Boosting)

XGBoost huấn luyện nhiều cây quyết định nhỏ (regression trees) nối tiếp nhau. Mỗi cây mới được thêm vào để giảm sai số (Residual Error) mà toàn bộ mô hình trước đó mắc phải. Để dự báo lưu lượng xe tại thời điểm t , ta có:

y_i - Giá trị lưu lượng giao thông thực tế;

$\hat{y}_i(k)$ - Giá trị dự báo sau k cây đầu tiên.

Thuật toán sẽ thêm cây thứ $k+1$ sao cho:

$$\hat{y}_i(k+1) = \hat{y}_i(k) + \eta f_{k+1}(x_i) \quad (2)$$

Trong đó:

- $f_{k+1}(x_i)$ - Cây quyết định mới học được, dự báo phần sai lệch còn lại (Residual);

- η - Hệ số học (Learning rate), điều chỉnh tốc độ cập nhật mô hình.

Hàm mất mát (Loss Function):

Đề đo độ sai khác giữa giá trị thật và dự báo:

$$L = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (3)$$

XGBoost không chỉ giảm sai số này mà còn thêm hệ số phạt (Regularization) để tránh overfitting:

$$Obj = L + \sum_k \Omega(f_k) \quad (4)$$

$$\text{Trong đó: } \Omega(f_k) = \gamma T + \frac{1}{2} \lambda \sum_{j=1}^T w_j^2 \quad (5)$$

γ - Phạt độ phức tạp của cây (số nút lá); λ - Hệ số phạt độ lớn của trọng số lá; T - Số nút lá trong cây thứ k ; w_j - Giá trị dự báo tại nút lá thứ j .

Xây dựng cây quyết định:

Mỗi cây được xây dựng dựa trên gradient của hàm mất mát. Cây được chia nhánh tại vị trí đặc trưng (feature) nào giúp giảm sai số nhiều nhất. Công thức chọn điểm chia tối ưu được xác định như sau:

$$Gain = \frac{1}{2} \left[\frac{(G_L)^2}{H_L + \lambda} + \frac{(G_R)^2}{H_R + \lambda} - \frac{(G_L + G_R)^2}{H_L + H_R + \lambda} \right] \quad (6)$$

Trong đó: G_L, G_R - Tổng gradient bên trái và bên phải của điểm chia; H_L, H_R - Tổng hessian (đạo hàm bậc hai) tương ứng; λ, γ - Các hệ số điều chuẩn (Regularization). Điểm chia có Gain lớn nhất sẽ được chọn để tách nhánh.

Dự báo tổng hợp:

Sau khi xây dựng K cây, dự báo cuối cùng cho một mẫu x_i là tổng có trọng số của các cây:

$$\hat{y}_i = \sum_{k=1}^K \eta f_k(x_i) \quad (7)$$

Triển khai mô hình huấn luyện thực tế, các tham số khởi tạo cho mô hình như sau:

- n_estimators = 100: Tổng số vòng boosting (số cây);
- max_depth = 6: Giới hạn độ sâu mỗi cây để tránh quá khớp;
- learning_rate = 0,1: Tốc độ học, giúp mô hình hội tụ dần nhưng ổn định;
- n_jobs = -1: Tận dụng toàn bộ CPU để song song hóa tính toán;
- subsample = 0,8: Lấy ngẫu nhiên 80% dữ liệu mỗi vòng;
- colsample_bytree = 0,8: Lấy ngẫu nhiên 80% đặc trưng;
- reg_lambda = 1,0: Hệ số phạt L2;
- reg_lambda = 0,0: Hệ số phạt L1;
- random_state = 42: Đảm bảo tính tái lập của quá trình huấn luyện.

4. THỬ NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ

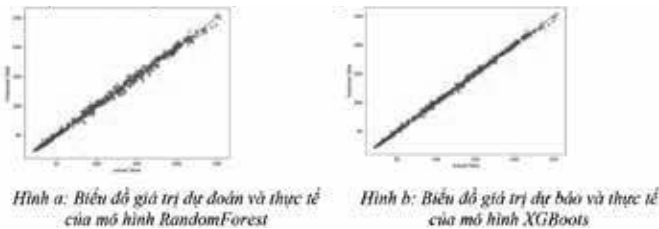
4.1. Thử nghiệm dùng RF và XGBoots huấn luyện mô hình dự báo

Tiến hành thử nghiệm dự báo với hai mô hình XGBoots và Random Forest với bộ dữ liệu gồm 2.976 bản ghi dưới định dạng tệp CSV và 9 đặc trưng đầu vào: Time, Date, Day of Week,

Carcount, Bikecount, buscount, truckcount, total, situation

Kết quả ở Hình 2b khi sử dụng bộ dữ liệu cho phương pháp XGBoost để huấn luyện cho mô hình dự báo lưu lượng giao thông cho thấy các điểm dữ liệu phân bố rất sát với đường chéo chính, chứng tỏ mô hình dự đoán chính xác cao. Về sai số hệ thống không có dấu hiệu lệch nhiều về một phía, độ phân tán thấp quanh đường y-x cho thấy mô hình ổn định, không dự đoán quá xa với thực tế. Độ dốc đường hồi quy gần như trùng với đường chéo cho thấy mô hình học tốt mối quan hệ tuyến tính hoặc phi tuyến giữa biến đầu vào và đầu ra.

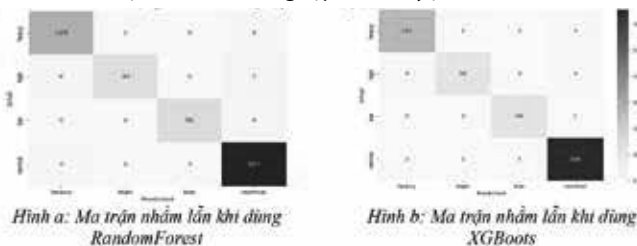
Kết quả trên Hình 2a cho phương pháp Random Forest cho thấy các điểm hình tròn rơi gần đường chéo chứng tỏ mô hình có độ chính xác khá cao, vẫn còn một số điểm nằm lệch xa đường chéo, đặc biệt ở giá trị cao do mô hình ít gặp các mẫu có lưu lượng cao và chưa học tốt những dạng này. Đa số điểm gần đường chéo cho thấy mô hình dự đoán tổng lưu lượng khá ổn. Tuy nhiên, ở khu vực lưu lượng cao (>200), mô hình có vẻ dự đoán thấp hơn thực tế. Dự đoán tốt ở lớp normal nhưng kém ở lớp "low" và "high".



Hình 2. Biểu đồ so sánh giá trị dự báo và thực tế của các mô hình

4.2. Đánh giá hiệu suất của mô hình dựa trên ma trận nhầm lẫn

Đánh giá hiệu suất mô hình dựa trên ma trận nhầm lẫn trong nhiệm vụ phân loại tình trạng giao thông thành 4 mức: heavy, high, low và normal. Kết quả trên Hình 3a cho thấy mô hình sử dụng phương pháp Random Forest đạt hiệu suất phân loại cao đối với hai lớp heavy và normal, với số lượng dự đoán đúng lần lượt là 129 và 327 trên tổng số 137 và 334 mẫu thực tế, tương ứng với độ chính xác khoảng 94,1% và 97,9%. Hiệu suất của mô hình đối với hai lớp high và low hạn chế hơn so với lớp heavy và normal. Cụ thể, chỉ có 49/64 mẫu high và 56/60 mẫu low được phân loại chính xác, tương ứng với độ chính xác lần lượt là 76,5% và 93,3%. Phần lớn các mẫu khá tương đồng với nhau, chỉ riêng lớp normal là vượt trội hơn hẳn. Điều này thể hiện rõ xu hướng thiên lệch của mô hình về phía lớp có tần suất xuất hiện cao hơn trong tập huấn luyện.



Hình 3. Ma trận nhầm lẫn

Đối với phương pháp XGBoost ở Hình 3b cho thấy giảm thiểu đáng kể các lỗi nhầm lẫn liên lớp, đặc biệt là giữa low, high và normal. Cải thiện precision và recall rõ rệt ở tất cả các nhãn, từ đó tăng độ ổn định và nhất quán trong việc phân loại tất cả các mức giao thông. Lớp normal được mô hình dự đoán chính xác nhất (328/334 → ~98,2%), lớp low cũng được mô hình nhận diện tốt (58/60 → ~96,7%), lớp high có độ chính xác thấp hơn một chút (57/64 → ~89,1%). Mô hình XGBoost cho thấy độ chính xác cao và

khả năng phân biệt các lớp rất tốt.

Bảng 1 thể hiện các chỉ số đánh giá mô hình phân loại tình trạng giao thông bao gồm các chỉ số: precision (độ chính xác) là tỷ lệ các dự đoán đúng trên tổng số dự đoán cho một lớp; recall (độ bao phủ) là tỷ lệ dự đoán đúng trên tổng số mẫu thực tế của lớp đó; F1-Score trung bình điều hòa giữa Precision và Recall là chỉ số tổng hợp thể hiện sự cân bằng giữa độ chính xác và độ bao phủ.

Bảng 1. Các chỉ số đánh giá theo từng lớp cho mô hình RF và XGBoots

Thuật toán	Accuracy	Precision	Recall	F1-score
Random Forest	0,9429	0,9433	0,9429	0,9417
XGBoost	0,9630	0,9629	0,9630	0,9628

Từ các chỉ số trên, có thể khẳng định rằng mô hình XGBoost thể hiện hiệu suất vượt trội hơn rõ rệt so với Random Forest. Mô hình này không chỉ dự đoán chính xác hơn mà còn ổn định hơn trong việc mô hình hóa mối quan hệ giữa biến đầu vào và đầu ra. XGBoost là lựa chọn phù hợp hơn cho bài toán dự báo lưu lượng và tình trạng giao thông so với Random Forest.

5. KẾT LUẬN

Nội dung bài báo đã khai thác bộ dữ liệu được thu thập từ camera giao thông gồm 2.976 bản ghi dưới định dạng CSV và phân tích để xác định xu hướng giữa các đặc trưng đầu vào: Time, Date, Day of Week, carcount, bikecount, buscount, truckcount, total, situation liên quan đến mô hình dự báo lưu lượng giao thông. Việc ứng dụng các thuật toán Random Forest và XGBoost với 80% dữ liệu để huấn luyện cho mô hình dự báo lưu lượng giao thông và 20% dữ liệu để kiểm tra đã cho ra đặc tính bám giống như đặc tính thực tế. Việc đánh giá hiệu suất của thuật toán thông qua ma trận nhầm lẫn đều nhận được kết quả tốt ở cả hai phương pháp. Tuy nhiên, mô hình XGBoost thể hiện hiệu suất vượt trội hơn so với Random Forest. Mô hình này không chỉ dự đoán chính xác hơn mà còn ổn định hơn trong việc mô hình hóa mối quan hệ giữa biến đầu vào và đầu ra. XGBoost là lựa chọn phù hợp tốt hơn cho bài toán dự báo lưu lượng và tình trạng giao thông so với Random Forest.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Ranked: The world's most congested cities, ITS International.
- [2]. Hanoi takes measures to reduce traffic jams, Vietnam+ (VietnamPlus).
- [3]. Mansor, T. S., & Abri, R. (2023), Data-Driven Optimization of Urban Traffic using AI and Real-Time Analysis, Proceedings of the 1st International Conference on Pioneer and Innovative Studies, 507-514. <https://doi.org/10.59287/icpis.881>.
- [4]. Lana, I.; Del Ser, J.; Velez, M.; Vlahogianni, E.I. (2018), Road traffic forecasting: Recent advances and new challenges. IEEE Intell. Transp. Syst. Mag., 10, 93-109.
- [5]. Elassy, N., Toulmi, A., & Alsharif, M. H. (2024), Intelligent Transportation Systems for Sustainable Smart Cities, Proceedings of the 1st International Conference on Pioneer and Innovative Studies, 507-514.
- [6]. Zhou, Y., Wang, H., & Li, X. (2023), A Review of Traffic Flow Prediction Methods in Intelligent Transportation Systems, Applied Sciences, 13(5), 1234.
- [7]. Xing, Z., Huang, M., & Peng, D. (2023), Overview of Machine Learning-Based Traffic Flow Prediction, Digital Transportation and Safety, 2(3), 164-175.
- [8]. Kumar, R., & Singh, A. (2025), A Novel CNN-GRU-LSTM Based Deep Learning Model for Accurate Traffic Flow Prediction, Information Retrieval Journal, 28(2), 123-140.
- [9]. Chen, L., & Zhao, Y. (2024), In-Depth Insights into the Application of Recurrent Neural Networks in Traffic Prediction, Algorithms, 17(9), 398.
- [10]. Breiman, L. (2001), Random Forests. Machine Learning, 45(1), 5-32.
- [11]. Chen, T., & Guestrin, C. (2016), XGBoost: A Scalable Tree Boosting System, In Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, pp.785-794.

Tối ưu hóa kết nối giao thông xanh với người trùng tuyến đường

Optimize green transport connections with co-road people

> TS ĐINH QUANG TOÀN

Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải
Email: toandq@utt.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo đề xuất hệ thống ghép hành trình (C2C) cho xe máy điện cá nhân, kết nối người sở hữu xe với hành khách đi cùng tuyến, nhằm tối ưu hóa hiệu suất sử dụng phương tiện và hướng tới mục tiêu Net Zero 2050. Phương pháp tiếp cận dựa trên (i) mô hình hóa đô thị không gian-thời gian trên các điểm trọng tâm (POIs) tập trung nhu cầu lớn; (ii) thuật toán ghép lại kết hợp chỉ mục không gian-thời gian (trực tuyến) và khớp song phương có trọng số tối đa (tối ưu ghép khách) để đạt hiệu suất cao và thời gian thực. Nghiên cứu tại Hà Nội cho thấy hệ số ghép có thể đạt 1,6 (giảm 30 - 40% km) và giảm phát thải CO₂ đáng kể (2 - 4 tấn/năm), mô hình này chứng minh tính khả thi cao và khả năng nhân rộng tại các khu vực tập trung nhu cầu di chuyển lớn như cụm trường học, ga metro và trung tâm thương mại. Việc đánh giá tác động dựa trên bộ chỉ số (KPI) toàn diện bao gồm tỷ lệ ghép (km) tối ưu, lượng CO₂ giảm được, (CSAT) và tỷ lệ khiếu nại.

Từ khóa: Xe máy điện; POIs; ghép hành trình trùng tuyến; Net Zero; CO₂ tránh phát thải; kinh tế chia sẻ.

ABSTRACT

The article proposes a (C2C) trip matching system for personal electric motorbikes, connecting vehicle owners with passengers traveling on the same route, aiming to optimize vehicle utilization efficiency and towards the Net Zero 2050 target. The approach is based on (i) spatio-temporal graph modeling on focal points (POIs) with high demand concentration; (ii) a hybrid matching algorithm combining spatio-temporal indexing (online) and maximum weighted bilateral matching (optimal passenger matching) to achieve high efficiency and real-time. Research in Hanoi shows that the matching coefficient can reach 1.6 (reducing 30 - 40% km) and significantly reducing CO₂ emissions (2 - 4 tons/year), this model proves its high feasibility and replicability in areas with high travel demand concentration such as school clusters, metro stations and commercial centers. Impact assessment is based on a comprehensive set of (KPI) indicators including optimal (km) coupling ratio, CO₂ reduction, (CSAT) and complaint rate.

Keywords: Electric scooters; POIs; route matching; Net Zero; CO₂ emission avoidance; sharing economy.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nhu cầu di chuyển ngắn (3 - 10 km) quanh (POIs) ở đô thị rất cao nhưng xe máy cá nhân chở 1 người đang lãng phí, gây ùn tắc, và tăng CO₂. Mô hình chia sẻ ghế trống trên xe máy điện (C2C) là giải pháp giao thông xanh, giúp giảm chi phí, phát thải và áp lực hạ tầng, hỗ trợ cam kết (Net Zero 2050).

Nghiên cứu hiện tại bỏ sót loại hình xe hai bánh điện với bối cảnh (POIs) dày và cửa sổ thời gian hẹp.

Mục tiêu nghiên cứu: (i) Mô hình hóa bài toán ghép trùng tuyến theo không gian-thời gian; (ii) thiết kế thuật toán ghép trực tuyến tối ưu hóa kết nối; (iii) đánh giá toàn diện tác động kinh tế - xã hội - môi trường phù hợp với mục tiêu (Net Zero).



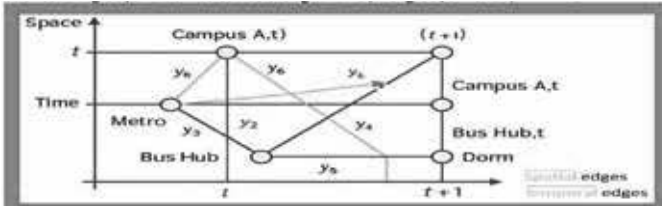
Hình 1. Xe xăng truyền thống và xe máy cũ, thải khói mù mịt là một trong những nguyên nhân gây ô nhiễm không khí nghiêm trọng (tăng lượng phát thải CO₂)

(Nguồn: Tạp chí điện tử Người đô thị, ngày 23/7/2025)

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Mô hình hóa

Đồ thị không gian - thời gian $G = (V, E)$ trên tập dữ liệu các điểm trọng tâm POIs; đỉnh là (POI, thời điểm), cạnh gồm di chuyển (không gian) và chờ/đón (thời gian). Biến quyết định gồm x_{hd} (ghép hành khách h với taxi d) và y_e (cạnh e được sử dụng). Hàm mục tiêu tối đa hóa lợi ích tổng hợp gồm tiết kiệm chi phí, km trống được kết nối tối ưu và giảm phát thải CO_2 dưới các ràng buộc khả thi về cửa sổ thời gian và độ vòng được mô tả tại Hình 2.



Hình 2. Mô hình hóa theo sơ đồ không gian và thời gian $G = (V, E)$

Qua Hình 2, mô hình hóa theo đồ thị $G = (V, E)$, trong đó:

(1) Trục [Không gian $\times$ Thời gian], các POIs (Campus/ Metro/ Bus Hub/ Dorm) tại hai thời điểm $[t, t+1]$;

- Cạnh di chuyển (không gian - spatial) và chờ/đón (thời gian - temporal) được tô màu khác nhau;
- Có huyền thoại (legend) biến quyết định x_{hd} , y_e và hàm mục tiêu tối đa hóa lợi ích.

(2) Giả sử có tập hành khách H , tập chủ xe điện D :

- Mỗi yêu cầu $h \in H$ có $(o_h, d_h, [])$;

- Mỗi taxi $d \in D$ có lộ trình (r_d) ;

- Qua tập dữ liệu các điểm trọng tâm POIs và cửa sổ thời gian $[\]$, kèm năng lực 1 ghế trống.

(3) Xây dựng đồ thị $G = (V, E)$ trên không gian/thời gian:

- Có đỉnh V là (POI, thời điểm),

- Cạnh E gồm:

1/ Di chuyển (không gian): Chi phí C_{move} (thời gian/ độ vòng).

2/ Chờ/ đón (thời gian): Chi phí C_{wait} .

(4) Biến quyết định:

- $x_{hd} \in \{0,1\}$: 1 nếu ghép hành khách h với taxi d ;

- $y_e \in \{0,1\}$: 1 nếu cạnh e được sử dụng trong hành trình ghép.

(5) Hàm mục tiêu (đa mục tiêu quy đổi), được xây dựng theo công thức (1):

$$\max \sum_{hd} x_{hd} (\Delta S_{hd} + \lambda_1 \Delta C_{hd} + \lambda_2 \Delta E_{hd}) \quad (1)$$

Trong đó:

- ΔS - Tiết kiệm chi phí cho hai bên;

- ΔC - km đơn lẻ thay thế;

- ΔE - CO_2 tránh phát thải;

- λ_1, λ_2 - Trọng số chính sách.

Ràng buộc:

- Mỗi h ghép tối đa 1 taxi: ≤ 1 .

- Khả năng ghép theo "cửa sổ thời gian và độ vòng" tối đa ϵ : $x_{hd} = 0$ nếu không thỏa mãn.

- Luồng trên đồ thị không gian/thời gian đảm bảo tính khả thi hành trình (ràng buộc trên y_e).

(6) Trong đó, việc ghép theo "cửa sổ thời gian và độ vòng" là hai ràng buộc để quyết định một cặp hành khách - taxi có thể ghép chung chuyến hay không:

a) Cửa sổ thời gian (time window)

- Ý nghĩa: Mỗi yêu cầu đi có khoảng thời gian chấp nhận được để đón và đến (ví dụ: Đón trong 10 - 15 phút tới, đến nơi trước 8:30).

- Ràng buộc: Chỉ ghép nếu thời điểm taxi có thể quay tới điểm đón nằm trong khoảng đó và thời gian đến dự kiến không vượt hạn của hành khách.

- Ví dụ: Hành khách cần đón trong khoảng [08:00, 08:10]. Nếu taxi dự kiến đến điểm đón 08:07 $\rightarrow$ hợp lệ; 08:12 $\rightarrow$ không hợp lệ.

b) Độ vòng (tỷ lệ và ngân sách đường vòng - detour ratio/ detour budget, ký hiệu ϵ)

- Ý nghĩa: Mức "đi vòng" tối đa taxi sẵn sàng chấp nhận khi ghép thêm hành khách, so với quãng đường/thời gian gốc của taxi.

- Cách tính (một trong hai dạng phổ biến):

- Theo quãng đường, được xác định bằng công thức (2):

$$\epsilon_{\text{Độ vòng}} = \frac{S_{\text{Quãng đường sau khi ghép}}}{S_{\text{Quãng đường gốc}}} - 1 \quad (2)$$

- Theo thời gian, được xác định bởi công thức (3):

$$\epsilon_{\text{Độ vòng}} = \frac{S_{\text{Thời gian sau khi ghép}}}{S_{\text{Thời gian gốc}}} - 1 \quad (3)$$

- Ràng buộc: Chỉ ghép nếu độ vòng $\leq \epsilon$ (ví dụ $\epsilon = 10 - 12\%$).

- Ví dụ: Lộ trình gốc 6 km. Sau khi ghép phải rẽ đón thêm 0,5 km rồi trả khách lệch 0,7 km $\rightarrow$ tổng $\sim 7,2$ km. Độ vòng được tính $= 7,2/6 - 1 = 20\%$. Nếu $\epsilon = 12\% \rightarrow$ không ghép.

c) Việc có hai ràng buộc trên và ghép trong thực tế (quy tắc nhanh), bởi vì:

- Cửa sổ thời gian đảm bảo đúng giờ và giữ chân người dùng (CSAT).

- Độ vòng bảo vệ lợi ích taxi và chất lượng hệ thống (không biến ghép đôi thành đi "vòng vèo" quá mức).

- Lọc ứng viên theo bán kính R (gần tuyến của taxi).

- Kiểm tra cửa sổ thời gian: ETA đón và ETA đến phải nằm trong khoảng chấp nhận.

- Tính độ vòng dự kiến; chỉ giữ cặp có độ vòng $\leq \epsilon$.

- Trong các cặp còn lại, chọn cặp lợi ích biên cao nhất (tiết kiệm chi phí + km đơn lẻ thay thế + CO_2 tránh phát thải).

- Gợi ý thực hành: Với chuyến đồ thị 3 - 10 km, thiết lập Δt (cửa sổ chờ) 10 - 15 phút và ϵ (độ vòng) $\leq 10 - 12\%$ thường cho tỷ lệ ghép tốt mà vẫn giữ trải nghiệm.

2.2. Thuật toán

Sử dụng chỉ mục không gian/thời gian (R-tree + time buckets) để lọc ứng viên, cụ thể:

- Ghép trực tuyến nhiều tiêu chí theo lợi ích biên;

- Định kỳ ghép lô (batch) bằng khớp song phương có trọng số tối đa (Hungarian/min-cost flow) trong khung thời gian từ 1 - 5 phút.

(1) Lập chỉ mục không gian/thời gian:

- R-tree (không gian - spatial) + Time-buckets (thời gian - temporal);

- Lọc sơ bộ theo bán kính R và Δt .

(2) Ghép trực tuyến nhiều tiêu chí:

- Bộ ứng viên $C(h)$ gồm taxi trống chỗ (POI gần, cùng hướng, còn ghế).

- Tính lợi ích biên $g(h,d)$ (tiết kiệm chi phí + km thay thế + CO_2).

- Chọn $d^* = \arg g(h, d)$ nếu $g(h, d^*) \geq \theta$ (ngưỡng nhận).

- Cập nhật trạng thái (cửa sổ thời gian, vị trí dự báo).

(3) Tối ưu lô (batch) theo khung thời gian từ 1 - 5 phút: Giải khớp song phương có trọng số tối đa trên đồ thị ứng viên bằng dòng chảy Hungary/chi phí tối thiểu.

Như vậy, độ phức tạp giảm mạnh nhờ lọc POIs và cửa sổ thời gian; lô (batch) giúp gần tối ưu mà vẫn đáp ứng thời gian thực.

2.3. Chỉ số đánh giá

Tỷ lệ ghép (CR), hệ số ghép (người/chuyến), km đơn lẻ thay

thể, CO₂ tránh phát thải, khiếu nại/1.000 chuyến, chỉ số hài lòng của khách hàng (CSAT), tiết kiệm chi phí trung vị cho người dùng, thu nhập bổ sung cho người có xe. Chỉ số đánh giá được tính:

- Tỷ lệ ghép (CR), hệ số ghép ϕ (người/chuyến).
- Km đơn lẻ thay thế bởi công thức (4):

$$Km_{rep} = N_{trip} \times d_{med} \times (1 - \frac{1}{\phi}) \quad (4)$$

- CO₂ tránh phát thải được xác định bởi công thức (5):

$$CO_{2avoided} = Km_{rep} \times EF_{ref} \text{ với } EF_{ref} \quad (5)$$

+ CO_{2avoided} - Hệ số phát thải phương án tham chiếu (xe xăng cá nhân/xe ô tô xăng).

- Chất lượng: Chỉ số hài lòng của khách hàng (CSAT) sau chuyến, khiếu nại/1.000 chuyến.

- Kinh tế: Tiết kiệm chi phí trung vị người dùng, thu nhập bổ sung cho chủ xe, phí nền tảng.

- Cộng đồng và an sinh xã hội: Giảm lưu lượng phương tiện, qua đó giảm nguy cơ tai nạn giao thông (tăng an toàn giao thông); tác động lớn đến yếu tố môi trường xanh thông qua việc giảm khí phát thải CO₂ hướng đến Net Zero.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Thực trạng kết nối xanh theo POIs

- Nhu cầu di chuyển cao điểm bùng nổ quanh các (POIs) (ga metro, trường học), nhưng cung xe điện trống ghế lại phân tán, dẫn đến lệch cầu - cung và tỷ lệ ghép thấp.

- Các hoạt động đi ghép tự phát (qua nhóm kín) thiếu (KYC), ký quỹ và đánh giá hai chiều, gây rủi ro an toàn và cản trở khả năng mở rộng.

- Hiệu quả môi trường bị bỏ ngỏ do nhiều (km) đơn lẻ và CO₂ tránh được chưa được Đo lường - Xác minh - Báo cáo (MRV).

- Việc thiếu (MRV) khiến mô hình không thể huy động tài trợ dựa trên kết quả.

- Bảng chứng thí điểm cho thấy tỷ lệ ghép (CR) cao (70%) chỉ khi có điều phối chủ động tại (POIs) và chỉ mục theo giờ.

- Thực trạng này hàm ý cần phải chuyển đổi từ đi ghép tự phát sang nền tảng số có kiểm soát.

- Nền tảng mới phải bao gồm các cơ chế (KYC), (SOP) tại điểm ghép, cùng với việc đo lường chuẩn hóa tác động môi trường (CO₂ giảm được) để đạt được hiệu quả bền vững.

3.2. Các nhân tố tác động

a) Cấu trúc nhu cầu theo POI - thời gian

- Mật độ theo POI: Càng gần ga metro/trạm buýt/cổng trường, bệnh viện/trung tâm thương mại/..., xác suất trùng tuyến càng cao → nâng CR, ϕ .

- Δt (cửa sổ chờ): Δt rộng tăng cơ hội ghép nhưng làm tăng thời gian chờ; cần tối ưu theo từng POI/khung giờ.

- d_{med} (quãng đường trung vị): d_{med} lớn giúp lợi ích ghép (km thay thế, CO₂) tăng, nhưng nếu quá dài sẽ tăng ràng buộc độ vòng.

b) Tham số thuật toán

- R (bán kính ghép): Tăng R → tăng tập ứng viên → CR↑ nhưng độ vòng và thời gian tiếp cận có thể ↑ nên R thích nghi theo mật độ POI.

- ϵ (độ vòng tối đa): ϵ lớn dễ ghép hơn nhưng giảm trải nghiệm; khuyến nghị $\epsilon \leq 10 - 12\%$ cho quãng 3 - 10 km.

- θ (ngưỡng lợi ích biên): Kiểm soát chất lượng ghép; θ quá thấp → ghép "kém lợi ích", θ quá cao → bỏ lỡ cơ hội ghép.

c) Chất lượng dữ liệu và chỉ mục

- Vị trí thời gian thực, R-tree + time-buckets rút mạnh độ phức tạp, duy trì đáp ứng thời gian thực (SLA 1 - 5 phút cho lỗ).

d) Cơ chế tin cậy - an toàn - khuyến khích

- KYC + đánh giá hai chiều + bảo hiểm/ký quỹ tăng tỷ lệ hoàn tất, CSAT, giảm khiếu nại.

- Hạ tầng "điểm ghép xanh": Chỗ dừng 1 - 2 phút, làn tiếp cận, trạm sạc → rút ngắn thời gian tiếp cận, tăng CR.

- Khuyến khích chính sách: Công nhận CO₂ tránh được phát thải, ưu đãi đỗ/sạc, truyền thông "đi ghép xanh".

3.3. Hạn chế hiện tại

- Sai số định vị/POI (GPS trôi, POI không chuẩn hóa cổng/luong vào ra) → lọc ứng viên sai, giảm CR.

- Rào cản an toàn và pháp lý cho mô hình C2C hai bánh (chuẩn bảo hiểm, trách nhiệm dân sự, quy tắc điểm ghép).

- Nút cổ chai giờ cao điểm: Nếu chỉ dùng ghép online, độ trễ tăng; cần lỗ 1 - 5 phút.

- Động lực tài xế chưa tối ưu: Phí/độ vòng/khen thưởng chưa cân bằng → bỏ ghép.

- Thiếu cơ chế MRV CO₂: Không chứng nhận được tác động → khó thu hút tài trợ kết quả.

3.4. Thử nghiệm minh họa tại đô thị Hà Nội

Hà Nội là trung tâm lớn về giáo dục, y tế và thương mại, dẫn đến nhu cầu di chuyển khổng lồ và tập trung, đồng thời hạ tầng chưa đáp ứng kịp. Tính đến đầu 2025, Hà Nội quản lý trên 8 triệu phương tiện (chưa kể 1,2 triệu ngoại tỉnh) với 15% là xe điện. Quy mô phương tiện này kéo theo hệ lụy báo động là ùn tắc và 28 triệu tấn khí phát thải (CO₂)/năm. Do vậy, "Giải pháp xe xanh đô thị - tối ưu hóa kết nối giao thông xanh" là cấp bách cho Hà Nội nói riêng và các đô thị lớn nói chung. Hà Nội được chọn thí điểm để tận dụng 15% xe điện có sẵn và làm cơ sở nhân rộng mô hình giải pháp xanh này.

a) Mô hình sử dụng trong nghiên cứu

* Chỉ số và công thức tính:

- Km trống được tối ưu hay còn gọi là km đơn lẻ thay thế (năm): Được xác định theo công thức (4) trên.

- CO₂ tránh phát thải (năm): Được xác định theo công thức (5) trên.

- Không gian thử nghiệm: Cụm POIs quanh các khu vực Cầu Giấy - Thanh Xuân - Đống Đa, dọc trục tuyến Cát Linh - Hà Đông.

- Đầu vào: Số chuyến theo giờ, phân phối quãng đường (trung vị 6 km), cửa sổ Δt khoảng 10 - 15 phút, bán kính ghép R từ 500 - 700 m.

- Chính sách: Ngưỡng độ vòng $\epsilon \leq 12\%$; ưu tiên ghép tại POIs để an toàn.

* Kịch bản mô phỏng (minh họa) với kết quả:

Kịch bản và kết quả:

- $N_{trip} = 12.000/\text{năm}$ (1.000 chuyến/tháng), $\phi = 1,6$, $d_{med} = 6 \text{ km}$, $EF_{ref} = 0,09 \text{ kg CO}_2/\text{km}$.

- Kết quả: $Km_{rep} = 27.000 \text{ km/năm} \Rightarrow 2,43 \text{ tấn CO}_2/\text{năm}$ tránh phát thải; tiết kiệm người dùng ~12.000 đ/chuyến; CR mục tiêu $\geq 70\%$.

Mô phỏng cho thấy $Km_{rep} \approx 27.000 \text{ km/năm}$ và $CO_{2avoided} \approx 2,43 \text{ tCO}_2/\text{năm}$ trong kịch bản thí điểm nhỏ. Kết quả nhạy với hệ số ghép, bán kính ghép và cửa sổ thời gian. Rào cản gồm an toàn, biến động nhu cầu theo mùa, chất lượng dữ liệu; cần KYC, SOP tại POIs, đánh giá hai chiều và giám sát nhật ký.

b) Hàm chính sách

- Điểm mạnh: Chi phí thấp, triển khai nhanh với PWA; tận dụng "điểm ghép" an toàn; dễ nhân rộng theo cụm.

- Rủi ro: Độ tin cậy dữ liệu, an toàn, biến động nhu cầu theo mùa; cần KYC, đánh giá hai chiều, SOP tại POIs, giám sát nhật ký.

- Đạo đức và dữ liệu: Ẩn danh hóa, chỉ lưu dữ liệu tối thiểu; tách riêng hồ sơ KYC; tuân thủ quyền riêng tư và DSR.

- Thí điểm điểm ghép xanh trong/giáp khuôn viên trường và ga metro/trạm buýt; phối hợp 3 nhà (Nhà trường - Đơn vị vận hành - Chính quyền).

- Khuyến khích xe điện và hạ tầng sạc; ưu đãi phí đậu/điểm ghép.
- Chuẩn bộ KPI tác động và cơ chế công nhận CO₂avoided huy động tài trợ dựa trên kết quả.

3.5. Phương pháp/Thực nghiệm

a) Bảng thời gian chạy (runtime) và thỏa thuận mức dịch vụ (SLA), minh họa có thể tái lập được mô tả tại bảng 01 (phụ lục đính kèm), trong đó:

Các số liệu dưới đây được chuẩn hóa cho MVP vận hành quanh cụm POIs (ga metro/cổng trường) với 1.000 - 3.000 yêu cầu/giờ, thiết bị máy chủ (server) phổ thông (8 vCPU, 16 GB RAM), định vị 1 - 2 Hz. Tham số mặc định: R = 600 m, Δt = 12 phút, ε = 12%.

b) Mô tả quy trình MRV và baseline (đo lường - báo cáo - thẩm định CO₂ tránh được phát thải), được mô tả tại bảng 02 (Phụ lục đính kèm), trong đó:

* Ranh giới và đối tượng tính:
- Ranh giới dự án: Chỉ tính km đơn lẻ được thay thế nhờ ghép 2 người/1 xe điện trong phạm vi POIs tham gia dự án.
- Đơn vị hoạt động: 1 chuyến ghép thành công (có log ghép, log hành trình, đánh giá hai chiều).
- Tránh đếm trùng: Mỗi km thay thế chỉ ghi nhận một lần; không cộng gộp nếu có nguồn tài trợ khác cùng đo CO₂.

* Baseline (đường cơ sở) - cách chọn và biện minh:
- Chọn 1 trong các baseline bảo thủ (tùy kịch bản địa phương, khuyến nghị ghi rõ trong báo cáo):

+ Xe xăng cá nhân 2 bánh (SOA tại Việt Nam): $EF_{ref} \sim 0,09 \text{ kgCO}_2/\text{km}$ (tham chiếu hệ số/tài liệu trong nước hoặc từ GHG Protocol/ IPCC quy đổi nhiên liệu - nên cập nhật khi có số liệu cục bộ).

+ Xe ôm xăng/gọi xe 2 bánh: Dùng hệ số phát thải theo km của nhà vận hành/định mức nhiên liệu địa phương.

+ Phép thử nhảy cảm: Trình bày thêm trường hợp đường cơ sở (baseline) trung lập (xe buýt + đi bộ) để thể hiện tính bảo thủ (thường không chọn làm baseline chính vì không phản ánh hành vi thực tế thay thế ở chặng cuối).

- Khuyến nghị: Với Hà Nội, baseline (1) là phù hợp nhất cho “last-mile” 3 - 10 km.

* Monitoring (Đo lường):

- Dữ liệu hoạt động: log ghép (ID người lái xe ẩn danh hóa), POI - thời điểm, GPS (1 - 2 Hz), thời gian đón - trả, quãng đường (trước/sau ghép), đánh giá giá hai chiều, khiếu nại.

- Xử lý dữ liệu: Bản đồ - khớp (map - matching), loại nhiễu GPS, hợp lệ hóa POI/cửa sổ thời gian, tính độ vòng ε, suy ra km thay thế.

- Quản trị dữ liệu: Phân quyền, giữ nhật ký truy cập, lưu tối thiểu theo chính sách quyền riêng tư (KYC tách lớp).

* Reporting (Báo cáo):

- Chu kỳ: hàng tháng/quý; báo cáo tổng hợp CR, φ, Km_{rep}, CO₂avoided, phân tách theo POI - khung giờ.

- Minh bạch: Mô tả đường cơ sở (baseline), nguồn hệ số EFref, bất định đo lường, thay đổi tham số (R, Δt, ε).

- Định dạng: Bảng tổng hợp + biểu đồ thời gian; phụ lục cung cấp mô tả đường ống, phiên bản (pipeline, version) thuật toán.

* Verification (Thẩm định):

- QA/QC nội bộ: Kiểm tra chéo 5 - 10% mẫu chuyển (GPS vs ETA), đối chiếu log hệ thống - biên nhận escrow; thử nhiễu GPS ±15/±25/±35 m.

- Thẩm định bên thứ ba: Kiểm định công thức, đường cơ sở (baseline), nguồn EF; tái tính trên mẫu ngẫu nhiên.

- Bảo thủ: Khi nghi ngờ, áp dụng hệ số suy giảm (ví dụ trừ 5 - 10% CO₂ tránh phát thải) để tránh thổi phồng.

4. KẾT LUẬN

Mô hình (C2C) ghép hành trình xe máy điện giải quyết ùn tắc và CO₂ bằng cách tối ưu hóa chuyển đi theo không gian-thời gian tại (POIs). Thuật toán ghép trực tuyến đảm bảo đáp ứng thời gian thực, trong khi bộ chỉ số cho phép đo lường tác động minh bạch CO₂ giảm tránh được. Thử nghiệm tại Hà Nội đã chứng minh hiệu quả và có khả năng nhân rộng theo cụm nhu cầu lớn tại các đô thị khác của Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Luật số 35/2024/QH15 của Quốc hội, Luật Đường bộ.
[2]. Luật số 39/2024/QH15 của Quốc hội, Luật Thủ đô.
[3]. Bộ GTVT (2019) ban hành các quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về động cơ và ắc quy cho xe điện “QCVN 90:2019/BGTVT đối với động cơ xe gắn máy điện”.
[4]. Bộ GTVT (2024), Thông tư số 54/2024/TT-BGTVT, bao gồm các yêu cầu về hồ sơ, kiểm tra chất lượng và nhân năng lượng.
[5]. Tạp chí Công Thương (2017), Thị trường xe điện hai bánh Việt Nam: Nhu cầu, đặc điểm và thực trạng, Nhóm tác giả Viện Kinh tế và Quản lý, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.
[6]. TS Đình Quang Toàn và nhóm dự án tham gia Cuộc thi khởi nghiệp quốc gia do Bộ Giáo dục và Đào tạo chủ trì (2022), Sinh viên đi ghép - giảm ùn tắc giao thông.
[7]. Zwick, F. et al (2022), Ride-pooling demand prediction: A spatiotemporal analysis. Transportation Research Part A.
[8]. TS Đình Quang Toàn và nhóm nghiên cứu Trường Đại học Công nghệ GTVT (2023), Đánh giá hiệu quả thử nghiệm mô hình giao thông xanh với xe điện hai bánh, Đề tài trọng điểm.
[9]. Azaghirre, X. et al (2023), Reinforcement Learning at Lyft (industry paper; matching & batch decisions at scale). arXiv.
[10]. Zhang, X. et al (2023), Future-Aware Pricing and Matching for Sustainable On-Demand Ride Pooling, AAAI Conference on Artificial Intelligence.

PHỤ LỤC. PHƯƠNG PHÁP/THỰC NGHIỆM

Bảng 1. Bảng thời gian chạy (runtime) và thỏa thuận mức dịch vụ (SLA)

Hạng mục	Mô tả	Mục tiêu SLA	Kết quả quan sát (P50)	P90	Ghi chú kỹ thuật
Tra cứu POI & lưới	Bản đồ khớp + chuẩn hóa lối vào/ra POI	30 ms	18 ms	35 ms	Bộ nhớ đệm nóng theo POI-giờ
Chỉ mục không gian	Truy vấn R-tree (ứng viên trong bán kính R)	15 ms	7 ms	12 ms	Lô 128 - 256 điểm/truy vấn
Gộp theo thời gian	Time-buckets (1 phút) & lọc Δt	10 ms	5 ms	9 ms	Dựa trên phút kỳ nguyên

Hạng mục	Mô tả	Mục tiêu SLA	Kết quả quan sát (P50)	P90	Ghi chú kỹ thuật
Ước lượng ETA	Dijkstra/OSRM tóm lược; dự phòng học máy	60 ms	38 ms	85 ms	Giao thông chụp nhanh theo giờ
Ghép trực tuyến	Tối đa hóa g(h,d) (lợi ích biên)	≤ 120 ms	72 ms	110 ms	SIMD hóa tính điểm
Ghép lô (batch)	Phù hợp với trọng số tối đa (dòng chảy/ chi phí tối thiểu) khung 1 - 5 phút	SLA khung ≤ 5 phút	1,6 phút	3,1 phút	Cỡ lô ~ 300-800 cặp
Xác nhận và ký quỹ	KYC/điều kiện ràng buộc & tạo giao dịch	100 ms	65 ms	95 ms	Khóa tạm cọc/ ký quỹ
Push tới ứng dụng	Gửi thông báo 2 chiều (driver/rider)	1 s	420 ms	900 ms	FCM/APNs song song
Tính KPI	CR, ϕ , Km_{rep} , $CO_{2avoided}$ (gần thời gian thực)	5 s	1,3 s	3,9 s	Lambda/streaming job
Độ sẵn sàng	Uptime hệ thống	$\geq 99,5\%$	99,7%	-	SLI/ SLO qua Prometheus
Tỉ lệ ghép (CR)	Thành công trong khung Δt	$\geq 60\%$ (MVP)	71%	78%	POI dày, giờ cao điểm
Thời gian chờ người lái xe	Từ đặt đến đón	≤ 7 phút (P90)	4,2 phút	6,8 phút	Theo Δt & R
Độ vòng ϵ	So với lộ trình gốc	$\leq 12\%$ (P90)	7,9%	11,6%	Tối ưu hóa theo POI

Lưu ý: Các trị số là minh họa thực nghiệm có thể đạt với cấu hình nêu trên; khi mở rộng quy mô, cần tuning: Co giãn batch window, sharding chỉ mục theo khu vực - giờ và bật bộ nhớ đệm ETA cho cặp POI “nóng”.

Bảng 2. Bảng check-list MRV, mô tả quy trình MRV và đo lường - báo cáo - thẩm định CO₂ tránh được phát thải

Thành phần	Mô tả	Nguồn dữ liệu	Tần suất	Kiểm soát chất lượng
N_{trip}	Số chuyến ghép thành công	Log hệ thống	Tháng	So khớp ký quỹ/ biên nhận
d_{med}	Quãng đường trung vị	GPS + map-matching	Tháng	Loại nhiễu/điểm ngoại lai
ϕ	Hệ số ghép (người/ chuyến)	Log ghép	Tháng	Đối soát cặp người lái xe
EF_{ref}	Hệ số phát thải baseline	Tài liệu chuẩn/ IPCC/ GHG	Năm	Cập nhật và trích dẫn rõ
Km_{rep}	Km đơn lẻ thay thế	Tính từ 3 biến trên	Tháng	Kiểm toán lại 5 - 10% mẫu
$CO_{2avoided}$	Phát thải tránh được	$Km_{rep} \times EF_{ref}$	Tháng/Quý	Kiểm định bên thứ ba

Criteria for synchronized transport infrastructure investment in the Vietnamese Mekong Delta for climate change adaptation: A Social Network Analysis approach

Tiêu chí đầu tư hạ tầng giao thông đồng bộ vùng ĐBSCL ứng phó với biến đổi khí hậu: Phương pháp phân tích mạng lưới xã hội

> **THUC LE DINH, MINH NGUYEN VAN***

Civil Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology and Education, Ho Chi Minh City, Vietnam

*Email: nguyenvanminh@hcmute.edu.vn

ABSTRACT

Climate change poses significant challenges to transport infrastructure investment in the Vietnamese Mekong Delta, a region vital for national agricultural production and exports yet highly vulnerable to environmental pressures and fragmentation in its transport system. This study applies Social Network Analysis (SNA) to identify and prioritize criteria for selecting synchronized transport infrastructure projects that enhance sustainability and climate change adaptation. Fifteen criteria were identified through literature review and expert consultation, with pairwise influence data collected from nine senior professionals experienced in regional infrastructure projects. Centrality analysis revealed the five most influential criteria: environmental impact, investment cost, travel time, expertise, and reliability. These factors reflect a balanced consideration of sustainability, financial feasibility, operational efficiency, institutional capacity, and service quality. The study also established a relational framework illustrating the interdependencies among all criteria, providing policymakers and practitioners with a comprehensive tool for evidence-based decision-making toward sustainable and climate-resilient development.

Keywords: Climate change, transport infrastructure, Mekong Delta, social network analysis.

TÓM TẮT

Biến đổi khí hậu đặt ra những thách thức đáng kể đối với đầu tư cơ sở hạ tầng giao thông tại Đồng bằng sông Cửu Long, Việt Nam, một khu vực quan trọng đối với sản xuất nông nghiệp và xuất khẩu quốc gia nhưng lại rất dễ bị tổn thương trước áp lực môi trường và sự phân mảnh trong hệ thống giao thông. Nghiên cứu này áp dụng Phân tích mạng xã hội (SNA) để xác định và ưu tiên các tiêu chí để lựa chọn các dự án cơ sở hạ tầng giao thông đồng bộ nhằm tăng cường tính bền vững và thích ứng với biến đổi khí hậu. Mười lăm tiêu chí đã được xác định thông qua việc xem xét tài liệu và tham vấn chuyên gia, với dữ liệu ảnh hưởng theo cặp được thu thập từ chín chuyên gia cấp cao có kinh nghiệm trong các dự án cơ sở hạ tầng khu vực. Phân tích tính tập trung cho thấy năm tiêu chí có ảnh hưởng nhất: Tác động môi trường; chi phí đầu tư; thời gian di chuyển; chuyên môn và độ tin cậy. Các yếu tố này phản ánh sự cân nhắc cân bằng về tính bền vững, khả năng tài chính, hiệu quả hoạt động, năng lực thể chế và chất lượng dịch vụ. Nghiên cứu cũng thiết lập một khuôn khổ quan hệ minh họa sự phụ thuộc lẫn nhau giữa tất cả các tiêu chí, cung cấp cho các nhà hoạch định chính sách và các nhà thực hành một công cụ toàn diện để ra quyết định dựa trên bằng chứng hướng tới phát triển bền vững và chống chịu được khí hậu.

Từ khóa: Biến đổi khí hậu, hạ tầng giao thông, Đồng bằng sông Cửu Long, phân tích mạng lưới xã hội

1. INTRODUCTION

Transport infrastructure development plays a vital role in socio-economic growth. It contributes to increased productivity, reduced transportation costs, and improved economic outputs (Wessel,

2019; Jecmen et al., 2024). As a result, the decision-making process for transport infrastructure investment has been implemented at multiple administrative levels across countries. For instance, the European Union supports member states with vulnerable

infrastructure systems through dedicated funding programs (Jecmen et al., 2024). Similarly, leading economies such as the United States, China, and Japan have prioritized infrastructure investment as a fundamental component of their development strategies (Bielenberg et al., 2021).

However, global investment in transport infrastructure faced significant pressure following the 2008 financial crisis, which led to a tightening of the credit environment (Vassallo & Garrido, 2023). Vanelslander et al. (2018) emphasized the widening gap between infrastructure demand and the limited availability of funding, exacerbating the so-called “infrastructure gap.” Furthermore, Puga (2002) warned that uneven infrastructure investment can lead to substantial regional inequalities within countries, reinforcing core-periphery dynamics-particularly in developing nations.

In Vietnam, the Mekong Delta is considered one of the most crucial economic regions. It specializes in rice cultivation and benefits from favorable natural conditions for agricultural development, contributing significantly to national agricultural exports. To sustain this performance, a well-developed and resilient transport system is essential. However, the region is facing increasing ecological pressure due to climate change and rapid urbanization, which are degrading its ecosystems (Do et al., 2024).

Climate change poses substantial challenges to the planning, investment, and maintenance of transport infrastructure in the Mekong Delta. Additionally, the region has long lagged behind other areas in terms of economic development, livelihoods, education, and human resource training. Its development remains disproportionate to its inherent potential and advantages. One of the core constraints is the fragmented and unsynchronized transport infrastructure-particularly the lack of integration across road, inland waterways, maritime, and air transport modes. These modes, when effectively synchronized, can support regional connectivity and economic development (Michniak, 2015).

Given the complexity, dynamism, and multi-dimensional impact of transport systems, investment decisions require comprehensive evaluation (Caliskan, 2006). It is essential to integrate climate adaptation and urbanization dynamics into transport infrastructure planning and investment to ensure the Mekong Delta's sustainable development (VnEconomy, 2024). However, few studies have explored how to assess investment criteria for synchronized transport infrastructure in the context of climate change-especially in developing countries (Wessel, 2019; Eshitera et al., 2024).

This study aims to identify and propose a relationship framework between criteria for investing in synchronized transport infrastructure in the Mekong Delta. The findings are expected to support policymakers and practitioners in making effective, evidence-based decisions that promote sustainable, inclusive, and climate-resilient transport infrastructure—both within the region and in other developing areas facing similar challenges.

2. SELECTION CRITERIA FOR TRANSPORT INFRASTRUCTURE INVESTMENT

Transport infrastructure investment selection is a complex and widespread issue that involves a wide range of criteria, particularly in the context of sustainable development. This topic has attracted considerable global attention due to increasing concerns about climate change and resource allocation (Mohagheghi et al., 2017).

In their study, Mohagheghi et al. (2017) employed interval-valued fuzzy sets to evaluate and select the most suitable marine transport project among four alternatives in Iran, using ten sustainability criteria as judged by three experts. Similarly, Dobrovolskiene et al. (2021) applied the TOPSIS method to evaluate transport investment projects based on 14 sustainability criteria, aiming to mitigate the impacts of climate change.

Transport infrastructure investment not only drives economic development but also delivers localized benefits, including improved accessibility, environmental protection, and enhanced public participation (Gokasar & Sahin, 2019). Eshitera et al. (2024) emphasized that developing diverse modes of transport infrastructure is a strategic pathway toward national sustainability. From a similar perspective, Lakshmanan (2011) highlighted that investment in transport infrastructure can significantly enhance freight and service markets, boosting trade efficiency.

Despite these recognized benefits, many countries still face an urgent demand for transport infrastructure investment due to rapid urbanization, population growth, and climate pressures. Pradhan (2019), using a panel vector error-correction model (PVECM), explored the relationship between transport infrastructure investment and economic growth in G-20 countries. He identified three key mechanisms for financial penetration in this sector: generating credit funds, disseminating financial information, and expanding financing mechanisms.

Furthermore, Bielenberg et al. (2021) recommended prioritizing infrastructure projects that are both shovel-ready and capable of delivering long-term connectivity to vulnerable populations. Du et al. (2022), using provincial data from 2004 to 2019, confirmed the vital role of infrastructure investment in promoting economic growth in developing countries. Their findings indicated that new investments contribute significantly to improving economic growth quality, including technological innovation, industrial restructuring, and productivity enhancement.

In addition to national-level studies, user preferences also play a role in shaping investment decisions. For instance, Kumar and Ganguly (2018) applied the Analytic Hierarchy Process (AHP) to identify and rank criteria influencing urban public transport mode selection in New York (USA) and Delhi (India). Their results revealed that commuters in the United States prioritized safety and reliability, while those in India placed greater importance on affordability, reflecting the different socio-economic contexts of developed and developing countries.

Generally, prior studies have expressed that current transport infrastructure investment is an essential task for the long-term social and economic development of many developed and developing nations in the context of climate change. Selection criteria for investing in transport projects need to be carefully considered to address demands and inform investment decisions for transportation infrastructure. However, the real problem is that the criteria for investment decision-making vary from different perspectives (Linh et al., 2023). Thus, this research might develop a relationship framework between the criteria in transport infrastructure investment in the Vietnamese Mekong Delta.

3. RESEARCH METHODOLOGY

Social Network Analysis (SNA) is a methodological framework for examining the structure and dynamics of relationships among social actors, represented as nodes and their interactions as ties (Malisiovas and Song, 2014). Originating from the sociometric

research of Moreno in the 1930s, SNA integrates graph theory and statistical measures to quantify network properties such as centrality, density, and connectivity. This enables researchers to uncover patterns of communication, influence, and collaboration within a network (Wambeke et al., 2012).

A key strength of SNA lies in its ability to capture both formal and informal relationships, reveal hidden influencers, and identify structural bottlenecks that may hinder performance (Fathalizadeh et al., 2021). By combining visual mapping with quantitative metrics, SNA facilitates the interpretation of complex interaction systems and supports the design of evidence-based interventions to improve knowledge flow, governance, and collaboration (Wang et al., 2018).

Centrality measures are particularly important in SNA:

- Degree centrality measures the number of direct connections an actor has, indicating its level of immediate interaction.
- Closeness centrality reflects how near an actor is to all others in the network, with higher values suggesting quicker potential communication across the network.
- Betweenness centrality measures how often an actor lies on the shortest path between other actors, highlighting its role as a broker or gatekeeper in information flow.
- Eigenvector centrality captures not only the quantity but also the quality of an actor's connections, assigning higher scores to nodes connected to other well-connected nodes.

These analytical dimensions demonstrate SNA's versatility and strategic value for diagnosing systemic issues and enhancing performance in complex, project-based environments. Accordingly, SNA represents a suitable methodological approach for achieving the objectives of the present study.

4. RESULT AND DISCUSSION

4.1. Data collection

A comprehensive literature review was conducted to identify the core factors influencing transport infrastructure investment in the Mekong Delta, particularly in the context of increasing climate change pressures. Based on the synthesis and analysis of domestic and foreign research documents related to developing climate-adaptive transport infrastructure, 15 main factors influencing the decision to invest in transport infrastructure were initially identified.

To assess the interrelationships among criteria, primary data were collected through structured expert elicitation. Nine experts with extensive experience in infrastructure projects in the Vietnamese Mekong Delta were invited to participate in the study (see Table 1). Each expert was asked to evaluate the pairwise influence among 15 predefined criteria.

A structured questionnaire was designed using a direct influence matrix format, in which respondents rated the extent to which each factor influences every other factor. The influence scale ranged from 0 (no influence) to 5 (very strong influence), by standard practice in methods such as the Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) and SNA.

The survey was conducted individually to prevent cross-influence among participants. The collected responses were then aggregated to produce a composite influence matrix, which formed the basis for subsequent network-based analysis aimed at identifying the most influential and dependent criteria. The expert-based approach was considered appropriate given the complexity and novelty of synchronizing transport infrastructure in the Mekong Delta, where empirical data are limited and professional judgment is essential for system-level assessment.

Table 1. The background of experts

Number of respondents	Years of experiences	Type of organization	Position
4	> 15 years	Government	Dean of division
1	11 - 15 years	Consultant firm	Director
2	> 15 years	Education	Head of Faculty
2	11 - 15 years	Contractor	Manager

4.2. Results

Based on SNA analysis, the obtained data was computed and presented in Figure 1 and Table 2.

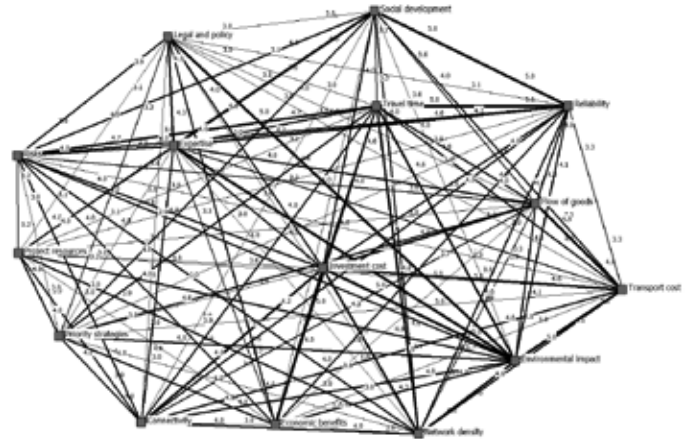


Figure 1. SNA framework of 15 criteria

Table 1. Centrality measures

Ranking	Criterion	Eigenvector centrality	Closeness centrality	Degree centrality
1	Environmental impact	0.290	0.232	0.860
2	Investment cost	0.278	0.244	0.819
3	Travel time	0.272	0.250	0.802
4	Expertise	0.267	0.255	0.786
5	Reliability	0.266	0.256	0.781
6	Risks	0.260	0.263	0.765
7	Network density	0.257	0.265	0.754
8	Connectivity	0.257	0.265	0.754
9	Flow of goods	0.256	0.266	0.751
10	Transport cost	0.255	0.269	0.744
11	Social development	0.252	0.270	0.740
12	Economic benefits	0.246	0.278	0.721
13	Priority strategies	0.240	0.284	0.703
14	Legal and policy	0.239	0.287	0.697
15	Project resources	0.230	0.297	0.673

4.3. Discussion

The analysis identified environmental impact, investment cost, travel time, expertise, and reliability as the five most influential criteria in synchronizing transport infrastructure investment in the Vietnamese Mekong Delta.

4.3.1. Top five criteria

Environmental impact ranked highest across all centrality measures, underscoring its pivotal role in decision-making for sustainable infrastructure development. This finding aligns with global evidence that climate change adaptation and environmental protection are increasingly central to transport planning (Eshitera et al., 2024; Mohagheghi et al., 2017). In the Mekong Delta context—where ecological fragility and biodiversity loss are pressing concerns—prioritizing environmental considerations ensures that infrastructure projects contribute to resilience rather than exacerbate vulnerabilities.

Investment cost emerged as the second most central criterion, reflecting the financial constraints that often shape infrastructure decisions, especially in developing regions (Vassallo & Garrido, 2023). In the Mekong Delta, where resources are finite and competition for funding is intense, cost efficiency becomes a decisive factor. However, the prominence of this criterion also indicates the ongoing tension between financial viability and long-term sustainability.

Travel time ranked third, highlighting the operational efficiency dimension of transport infrastructure. Reduced travel time directly benefits both passenger mobility and freight logistics, enhancing economic productivity and regional integration (Lakshmanan, 2011). For the Mekong Delta, where fragmented transport modes impede connectivity, optimizing travel time can significantly improve socio-economic outcomes.

Expertise was the fourth-ranked factor, demonstrating the importance of human capital and technical capacity in ensuring that projects are designed, implemented, and maintained effectively. The result reflects the broader literature emphasizing that technical know-how is critical for managing complex, climate-adaptive infrastructure systems (Du et al., 2022).

Reliability, ranking fifth, is fundamental to user confidence and network efficiency. Reliable transport systems attract consistent usage, support trade, and facilitate socio-economic development. In flood-prone and climatically volatile regions like the Mekong Delta, reliability also encompasses the system's ability to withstand environmental shocks without prolonged service disruption.

Overall, these top five criteria capture a balance between sustainability imperatives (environmental impact), economic feasibility (investment cost), operational efficiency (travel time), institutional capacity (expertise), and service quality (reliability). Their high centrality scores suggest that policy frameworks should integrate all five dimensions rather than prioritizing one in isolation.

4.3.2. Other significant criteria

Beyond the top five, several other criteria exhibited notable influence and warrant consideration in investment planning. Risks ranked sixth, highlighting the need to address uncertainties such as climate hazards, cost overruns, and demand fluctuations. Integrating risk assessment frameworks into project appraisal can reduce vulnerability and improve project resilience.

Network density, connectivity, and flow of goods-ranking seventh to ninth-reflect the structural integration of the transport system. A denser and better-connected network enhances accessibility, supports economic clustering, and optimizes freight movements (Michniak, 2015). In the Mekong Delta, improving these aspects could mitigate the longstanding fragmentation between road, waterway, and maritime systems.

Transport cost (tenth) and social development (eleventh) underline the socio-economic accessibility dimension of infrastructure. Affordable transport services promote inclusivity, enabling lower-income populations to access opportunities and services (Kumar & Ganguly, 2018).

Finally, economic benefits, priority strategies, legal and policy frameworks, and project resources-though ranked lower-remain important for strategic alignment and governance. While their lower centrality suggests less direct influence on other criteria, neglecting them could undermine implementation effectiveness. For example, the lowest-ranked project resources criterion still represents the material and financial foundation upon which all other priorities depend.

4.3.3. Highlight relationship between criteria

Figure 1 revealed not only the individual importance of criteria but also the structural interdependencies that shape decision-making for synchronized transport infrastructure investment in the Vietnamese Mekong Delta. The network patterns indicate that certain criteria function as central hubs, exerting strong influence over others, while some act as bridging nodes that facilitate cross-domain linkages between economic, technical, and environmental considerations.

One of the most prominent relationships observed was between environmental impact and investment cost. These two criteria exhibited strong mutual influence, reflecting the tension between sustainability objectives and financial feasibility. Environmentally sound projects often require higher initial investments, while budget constraints may lead to compromises in environmental safeguards. This reciprocal influence aligns with global findings that cost-environment trade-offs are among the most challenging aspects of sustainable infrastructure planning (Vassallo & Garrido, 2023; Eshitera et al., 2024). In the Mekong Delta context, where environmental fragility is acute, this relationship underscores the need for funding mechanisms that explicitly account for long-term ecological benefits.

A second key relationship was found between travel time and connectivity. The analysis indicated that reductions in travel time are strongly dependent on improved intermodal connectivity, and conversely, better connectivity amplifies the travel time benefits of individual infrastructure projects. This bidirectional influence highlights the systemic nature of transport efficiency: isolated projects may yield marginal improvements, whereas synchronized investments across modes-road, waterway, maritime, and air-can produce substantial regional accessibility gains.

The link between expertise and reliability also emerged as significant. High technical capacity within planning and operational teams was associated with increased system reliability, particularly in the face of environmental stressors such as flooding. Conversely, reliable operations generate institutional learning and operational stability, which further enhance expertise over time. This reinforcing loop aligns with the capacity-building literature, which emphasizes the virtuous cycle between technical skill development and operational performance (Du et al., 2022).

Another notable connection involved risks and network density. The network structure suggested that denser transport networks can reduce certain operational risks by providing alternative routes and redundancy, thereby mitigating service disruptions during extreme weather events or system failures. At the same time, higher network density may introduce new forms of risk, such as congestion or maintenance complexity, indicating that density must be managed strategically rather than pursued indiscriminately.

Finally, the relationship between social development and economic benefits demonstrated the socio-economic spillover effects of synchronized infrastructure investment. Enhanced transport accessibility stimulates local economies, supports labor mobility, and improves access to education and healthcare, which in turn contribute to broader social development goals. This dynamic reinforces the argument that infrastructure investments should be appraised not only on direct financial returns but also on their capacity to catalyze inclusive growth.

In sum, the highlighted relationships reveal that criteria influencing transport infrastructure decisions in the Mekong Delta are deeply interconnected, with multiple feedback loops shaping their relative importance. These findings affirm that effective

investment strategies must adopt a systems-oriented approach, recognizing that optimizing individual criteria in isolation is insufficient for achieving sustainable and synchronized transport development.

5. CONCLUSION

Climate change poses a significant challenge for transport infrastructure investment in the Mekong Delta region. Therefore, a well-synchronized transport infrastructure system plays a pivotal role in the socio-economic development of a nation or region. Applying Social Network Analysis (SNA), the results of this study identified the top five critical criteria for selecting transport infrastructure investment projects in the Vietnamese Mekong Delta: environmental impact, investment cost, travel time, expertise, and reliability. In addition, the findings established a relational framework among 15 identified criteria, enabling practitioners and policymakers to gain a comprehensive understanding of the necessity of synchronizing transport infrastructure and the key criteria on which investment decisions should rely. This framework can serve as a reference model for governments in developing countries to guide the development of transport infrastructure toward sustainability and climate change adaptation.

Based on the insights derived from this research, several recommendations are proposed:

- Establish a shared database on climate change and sea level rise to inform planning solutions and strategic priorities for sustainable and green transport infrastructure development.
- Prioritize capital mobilization for projects that align with sustainable development goals.
- Enhance the quality and capacity of expert teams in the context of digital transformation for transport infrastructure management.

Acknowledgement: This research was funded by Ho Chi Minh City University of Technology and Education, Vietnam, under grant No. T2025-257.

REFERENCES

- [1]. Bielenberg, A., Brody, S., Jacobson, P., & Pritchard, R. (2021). Selecting infrastructure projects for the next normal.
- [2]. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/selecting-infrastructure-projects-for-the-next-normal>.
- [3]. Caliskan, N. (2006). A decision support approach for the evaluation of transport investment alternatives. *European Journal of Operational Research*, 175, 1696-1704. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.02.035>.
- [4]. Do, D.T., Nguyen, Q.H., & Do, X.S. (2024). Sustainable development in Mekong Delta, Vietnam: designing resilient cities based on landscape ecological principles. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 1-18. <https://doi.org/10.1080/13467581.2024.2358210>
- [5]. Dobrovolskiene, N., Tvaronaviciene, M., & Jurenaite, K. (2021). Selection of a transport investment project based on sustainability index, return on investment and risk. *Arctic Journal*, 74(6), 117-140. <https://etalpykla.vilniustech.lt/handle/123456789/152310>
- [6]. Du, X., Zhang, H., & Han, Y. (2022). How Does New Infrastructure Investment Affect Economic Growth Quality? Empirical Evidence from China. *Sustainability*, 14, 3511. <https://doi.org/10.3390/su14063511>
- [7]. Eshitera, A., Esho, L., & Njoroge, C.G. (2024). Impact of Road Transportation Network Infrastructure on Regional Development in Kenya. *American Journal of Industrial and Business Management*, 14, 992-1011. <https://doi.org/10.4236/ajibm.2024.147051>.
- [8]. Fathalizadeh, A., Reza Hosseini M., Gilbert Silvius, A.J., Rahimian, A., Martek, I., and Edwards, D.J. (2021). Barriers impeding sustainable project management: A Social Network Analysis of the Iranian construction sector. *Journal of Cleaner Production*, 318, 128405. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128405>
- [9]. Gokasar, I., & Sahin, O. (2019). An overview of the effects of transportation investments. Paper presentation at International Civil Engineering and Architecture Conference, Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey
- [10]. Jecmen, K., Mockova, D., & Teichmann, D. (2024). Solving Transport Infrastructure Investment Project Selection and Scheduling Using Genetic Algorithms. *Mathematics*, 12, 3056. <https://doi.org/10.3390/math12193056>
- [11]. Kumar, C., & Ganguly, A. (2018). Travelling together but differently: comparing variations in public transit user mode choice attributes across New Delhi and New York. *Theoretical and Empirical Researches in Urban Management*, 13 (3), 54-73.
- [12]. Lakshmanan, T.R. (2011). The broader economic consequences of transport infrastructure investments. *Journal of Transport Geography*, 19(1), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2010.01.001>.
- [13]. Linh, L.H., Phong, H.T., Tuong, L.M., Huong, N.T.H., & Vu, L.P. (2023). Research On Climate Heterogeneity Factors Affecting the Economic Development Through Negative Impacts on The Transport System Along the Coastal Rivers in The Mekong Delta. *International Journal of Scientific Research in Civil Engineering*, 7(4), 40-60.
- [14]. Malisiovas, A., and Song, X. (2014). Social Network Analysis (SNA) for Construction Projects' Team Communication Structure Optimization. *Construction Research Congress* 2014.
- [15]. Michniak, D. (2015). Main Problems of Transport Infrastructure Development in Slovakia and Effects on Regional Development. *Geographia Polonica*, 88, 21-39. <https://doi.org/10.7163/gpol.0004>.
- [16]. Mohagheghi, V., Mousavi, S.M., Aghamohagheghi, M., & Vahdani, B. (2017). A new approach of multi-criteria analysis for the evaluation and selection of sustainable transport investment projects under uncertainty: A case study. *International Journal of Computational Intelligence System*, 10, 605-626. <http://doi.org/10.2991/ijcis.2017.10.1.41>
- [17]. Pahan, R.P. (2019). Investigating the causal relationship between transportation infrastructure, financial penetration and economic growth in G20 countries. *Research in Transportation Economics*, 78, 100766. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2019.100766>
- [18]. Puga, D., (2002). European regional policies in light of recent location theories. *Journal of Economic Geography*, 2(4), 373-406. <https://doi.org/10.1093/jeg/2.4.373>.
- [19]. Vanelander, T., Roumboutsos, A., & Pantelias, A. (2018). Editorial: Understanding funding and financing of transportation infrastructure. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 18(4). <https://doi.org/10.18757/ejtr.2018.18.4.3260>.
- [20]. Vassallo, J.M., & Garrido, L. (2023). Transport funding and financing: a conceptual overview of theory and practice. In: Tirachini, A., Hörcher, D. Verhoef, E.T. (eds) *Handbook on Transport Pricing and Financing*. Edward Elgar Publishing (Chapter 14)
- [21]. VnEconomy. (2024). Development prospects of the Mekong Delta. <https://vneconomy.vn/trien-vong-phat-trien-vung-dong-bang-song-cuu-long.htm>.
- [22]. Wambeke, B.W., Liu, M., & Hsiang, S.M. (2012). Using Pajek and Centrality Analysis to Identify a Social Network of Construction Trades. *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(10), [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.000052](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.000052)
- [23]. Wang, H., Zhang, X., & Lu, W. (2018). Improving Social Sustainability in Construction: Conceptual Framework Based on Social Network Analysis. *Journal of Management in Engineering*, 34(6), 05018012. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000607](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000607).
- [24]. Wessel, J. (2019). Evaluating the transport-mode-specific trade effects of different transport infrastructure types. *Transport Policy*, 78, 42-57. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2019.04.002>

Finite element analysis of lightweight rc slabs

Phân tích phần tử hữu hạn của tấm sàn bê tông cốt thép trọng lượng nhẹ

HUYNH HAN PHONG

Faculty of Civil Engineering, Mien Tay Construction University

Email: huynhhanphong@mtu.edu.vn

ABSTRACT

This paper investigates the structural performance of prefabricated lightweight aggregate concrete (LWAC) slabs through finite element analysis using ANSYS software. The proposed slab system integrates lightweight aggregate concrete and grouted core assembly to achieve an optimized balance between strength and reduced self-weight. Experimental mix designs were developed with target strength class CL30 and density of 1600 kg/m^3 , based on Vicem Ordinary Portland Cement and lightweight ceramic aggregates. Numerical modeling with SOLID65 elements captured the nonlinear interaction between concrete and reinforcement. The analysis revealed that stress concentrations occur near the mid-span upper surface, where compressive stresses approach the material limit, confirming the model's accuracy. The study proposes a simplified formula for normal-section bearing capacity consistent with ANSYS simulation results and conventional design codes. A flowchart for on-site quality control is presented, highlighting key checkpoints for cement grouting, reinforcement placement, and compaction quality. The findings demonstrate that LWAC slabs can achieve comparable load-bearing capacity with substantial self-weight reduction, promoting sustainability and construction efficiency in prefabricated systems.

Keywords: Lightweight aggregate concrete, prefabrication, finite element analysis, ANSYS, reinforced concrete slab, quality control.

TÓM TẮT

Bài báo này nghiên cứu hiệu suất kết cấu của các tấm sàn bê tông nhẹ cốt liệu được chế tạo sẵn thông qua phân tích phần tử hữu hạn bằng phần mềm ANSYS. Hệ thống tấm sàn được đề xuất kết hợp bê tông nhẹ cốt liệu và lõi chèn vữa nhằm đạt được sự cân bằng tối ưu giữa cường độ và trọng lượng bản thân giảm. Các cấp phối thí nghiệm được thiết kế với khối lượng riêng 1.600 kg/m^3 , sử dụng xi măng Poóc-lăng thông thường và cốt liệu nhẹ. Mô hình số sử dụng phần tử SOLID65 để mô phỏng tương tác phi tuyến giữa bê tông và cốt thép. Kết quả phân tích cho thấy ứng suất tập trung xuất hiện gần bề mặt phía trên tại giữa nhịp, nơi ứng suất nén gần đạt giới hạn vật liệu, xác nhận độ chính xác của mô hình. Nghiên cứu cũng đề xuất công thức giản lược cho khả năng chịu lực của tiết diện thường, phù hợp với kết quả mô phỏng ANSYS và các tiêu chuẩn thiết kế thông dụng. Một lưu đồ kiểm soát chất lượng tại công trường được trình bày, nhấn mạnh các điểm kiểm tra chính đối với công tác bơm vữa xi măng, bố trí cốt thép và chất lượng đầm chặt. Kết quả cho thấy các tấm sàn LWAC có thể đạt khả năng chịu tải tương đương trong khi giảm đáng kể trọng lượng bản thân, góp phần thúc đẩy tính bền vững và hiệu quả thi công trong hệ thống cấu kiện lắp ghép.

Từ khóa: Bê tông nhẹ cốt liệu, cấu kiện lắp ghép, phân tích phần tử hữu hạn, ANSYS, tấm sàn bê tông cốt thép, kiểm soát chất lượng.

1. INTRODUCTION

As a direct consequence of the widespread use of flat slabs supported by columns in the early 20th century [1], a great deal of research on the punching strength of flat slabs was carried out. One of the most typical approaches to fixing the problem with the slab-column connection is cutting down on the amount of weight carried by the reinforced concrete slab [2]. It is often believed that the incorporation of foam as an additive for reinforced concrete was the driving factor behind the creation of a new kind of concrete known as Light Weight Concrete (LWC) [3]. However, low-weight concrete has a number of downsides when compared to ordinary weight concrete. These negatives include an increase in creep and shrinkage, an increase in deflection, and a decrease in splitting tensile strength.

Khaleel et al. [4] investigated the feasibility of using the Fibre Reinforced Polymers (FRP) technology in order to strengthen the slab-column connection in the midst of punching shear. The results of the tests indicated that using steel links, GFRP stirrups[5], or CFRP stirrups [6] of the same area as the control specimens raised the first cracking load by 229%, 35%, or 47%, respectively, and increased the ultimate capacity by 60%, 60%, or 733%. These percentages were compared to the control specimens' initial cracking load and ultimate capacity. The surface failure of the tested specimens assumes the shape of an approximately square with a stress slab attached to one side. Research conducted by Zaher and colleagues [7] investigated the punching shear behaviour of self-compacting lightweight

concrete (LWC) slabs. The use of polystyrene foam [8] as a partial aggregate substitution resulted in a reduction in the dry unit weight of concrete from 23.0 kN/m³ to 18.5 kN/m³. A total of nine medium-sized RC slabs were subjected to axial punching stresses that were concentric until the slabs failed the static test. The kind of concrete, the thickness of the slab, the amount of shear reinforcement, and the loaded plate area were the variables that were tested. The outcomes of the tests indicated that making use of LWC slabs led to structural degradations when compared to controls that used nearly the same concrete grades. These LWC specimen degradations included fewer uniform failure crack patterns and lower post-cracking stiffness until failure, both of which were notably visible in the post-cracking stage till failure. In addition, there were fewer uniform failure crack patterns. Youm et al. [9] conducted study on the punching shear resisting performance of a lightweight concrete slab. The kind of lightweight aggregates was the variable that was put through its paces throughout the test and contrasted with a slab of regular-weight concrete. According to the results, the surface angle of punching shear failure was significantly influenced by the types of lightweight aggregates [10] that were used.

Caratelli et al. conducted research [11] on the punching shear behaviour of lightweight concrete slabs. In order to investigate the impact that lightweight fibre reinforced materials have on punching shear resistance, three full-scale slabs designed to resemble bridge decks were put through their paces in a series of tests. According to the results of the tests, using steel fibre reinforced concrete as an alternative that is both reasonable and effective seems to be a viable option for increasing the punching resistance of traditional bridge decks. The punching strength of a typical concrete slab was increased by about 48% thanks to the modifications that were made. Additional measurements show that there has been a significant increase in both the ultimate displacement and the ductility.

Several scientists have devoted a significant amount of time and energy to researching the material qualities of Light Weight Concrete Aggregates, often known as LWCA. In their study, Cui et al. [12] presented the compressive strength, elastic modulus, and peak strain of LWCA. The investigation of the thermal properties of LWCA that Go et al. [13] conducted. Costa et al. [14] investigated the possibility of accurately predicting high-strength LWCA shrinking. In addition, the use of CT imaging by Chung et al. [15] enabled the researchers to evaluate the stiffness of lightweight aggregates as well as the distribution of voids in the material. The punching shear strength of LWCA slab or deck was explored by Cho et al. [16], Marzouk et al. [17], and Pantelides et al. [18] in the context of LWCA slab's punching shear behaviour. As a result of the fast urbanization that is occurring in Chinese nation, housing supply is now having trouble keeping up with demand, and the quality of the buildings is not meeting the industry requirements. As a direct consequence of this, the general trend in the construction industry is toward the industrialization of housing, standardization, and assembly integration. At National Conference conducted over Building houses in Rural and Urban locations that took place at finishing year of 2015, 8 main responsibilities for Ministry of Construction and Housing post 2016 were established. These responsibilities convey novel practices of upcoming city developments, encourage break-through advancement of collective constructions [19]. A further link that is absolutely necessary is the production of finished concrete slabs, which is brought up as its

own separate item. Professionals and academics from all over the world have carried out a large number of experimental investigations on built concrete slabs. These studies have been carried out both in the United States and in other countries. In Poland, load-bearing buildings are built with prefabricated concrete in the pre-stressed trabecula, and then hollowed concrete slabs were pour over top of pre-cast concrete in making 3 components working together [20].

Across these studies, key themes emerge:

Material Optimization: Balancing strength-to-weight ratios through mix design innovations.

Numerical Modeling: Expanding FEA-based approaches to simulate complex stress and cracking patterns.

Prefabrication and Industrialization: Transitioning toward modular LWC components for efficient construction.

Quality Assurance: Incorporating rigorous construction control systems to ensure field reliability.

The present work builds upon this foundation by developing a practical finite element model and proposing design and quality frameworks for prefabricated LWAC slabs suitable for modern housing and infrastructure demands.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Testing method and content

2.1.1. Design of Testing material

Cements is produced by Vicem Cement. The company specializes in the production of Ordinary Portland Cement. A natural fine aggregate with a particle size of 5 millimeters or less may be found buried under the sand of river. A natural fine aggregate is sand that has a particle size of five millimeters or less. The flyash, which is located in Soc Trang.

2.1.2. Material preparation

Within the scope of this study, a total of five test pieces were developed, and they are as follows: Irrigation: 1,500,300,100 Millimeters A slab made of lightweight concrete with constructed aggregate; the lump size ranges from 30 to 50 millimeters. Light aggregate was evaluated using the "lightweight aggregate and its test method".

2.2. Mix design of lightweight aggregate concrete

Table 1 displays results of using the light aggregate concrete formula to determine how much of each material should be used when designing a lightweight aggregate concrete slab with a strength of CL30 and a density class of 1600Kg/m³. The pulverized coal has a slump requirement of 30-50mm and is made up of gray ceramic particles of 15mm in size. Dry apparent density of light coarse aggregate is 1050Kg/m³, cylinder compressive strength is 4.0MPa, and one, two, or three sizes are available. Finally, we get the following theoretical mix ratio for a slab of lightweight aggregate concrete which is core-assembled type: mc:mw:ms:ma = 1:0.53:0.66:1.19.

Table 1. The technique for calculating the mix ratio for lightweight aggregated concrete

Formula code	Name	Formula
(1)	Compounding strength of concrete	$f_{cu,s} = f_{cu,i} + 1.645\sigma$
(2)	The formula of the volume of sand	$V_s = [1 - (\frac{m_s}{\rho_s} + \frac{m_c}{\rho_c})]$
(3)	The quality formula of sand	$m_s = V_s \times \rho_s \times 1000$
(4)	Volume formula of coarse aggregate	$V_a = [1 - (\frac{m_s}{\rho_s} + \frac{m_c}{\rho_c} + \frac{m_a}{\rho_a})]$
(5)	Quality formula of coarse aggregate	$m_a = V_a \rho_a$
(6)	Rechecking the density of lightweight aggregate concrete	$\rho_{ad} = 1.15 \times m_s + m_c + m_a$

2.3. Diagram design of component

Figure 1 to Figure 5 illustrate section and plane of core constructed light-weight aggregated concrete slabs, respectively

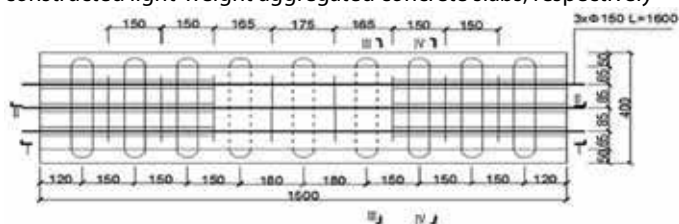


Figure 1. The process of laying down a slab of lightweight aggregate concrete

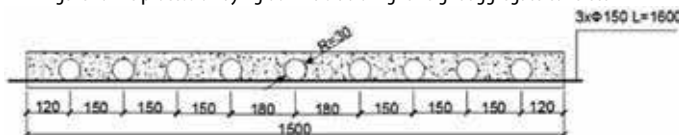


Figure 2. 1-1 profile

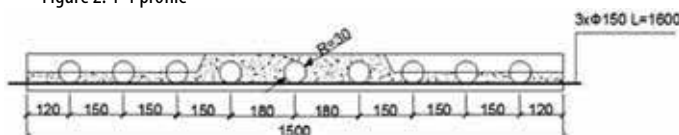


Fig. 3. 2-2 profile

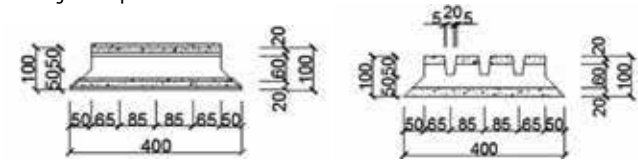


Figure 4. 3-3 profile

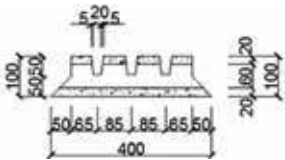


Figure 5. 4-4 profile

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

3.1. Analysis of ANSYS finite elements

Such design employs SOLID65 element's integrated prototype, which accounts for the overall element's reinforcement bar distribution. The concrete and reinforcing bars seem to have established a tight bond, and the whole component looks like it was cast in one piece. Figures 6 and 7 depict finite element models concerning prefabricated light aggregated slab containing filling of core. Since this kind of prefabricated slab does not fit into the typical categories for 6- and 4-hedral or hexagonal pieces, it is not possible to build a sweep grid or a mapping grid for it. Powering our investigation with help from smart grids. The process of making a mesh grid may be shown here as part of the study.



Figure 6. In finite element prototype, a grout precast concreted slab



Figure 7. Prefabricated concrete slabs that have meshes that have been grouted

Figures 8 and 9 provide valuable insight into the stress distribution behavior and the reinforcing effect of steel fibers within the lightweight aggregate concrete slab. The stress nephogram in Figure 8 illustrates that the maximum compressive stress develops near the top mid-span region of the slab, corresponding to the theoretical location of maximum bending compression. This stress pattern confirms the validity of the finite element model and its ability to replicate the nonlinear flexural

behavior of reinforced concrete members under vertical loads. The absence of localized crushing in the compression zone further indicates that the concrete material remains within its allowable strain range, thereby ensuring structural safety.



Figure 8. Identical Diagram of Stress pertaining to Standard Prefabricated Concreted Slabs



Figure 9. The spreading layer of steel fibers affecting compressive strength of cube

The smooth stress gradient across the slab depth demonstrates that the interaction between concrete and reinforcement is properly captured by the SOLID65 element used in ANSYS. This observation agrees with previous research by Marzouk et al. [17] and Pantelides et al. [18], who reported similar stress propagation patterns in lightweight reinforced members analyzed by nonlinear finite element methods. In addition, the stress contour reveals that edge and joint regions carry comparatively lower stress levels, confirming that the grouted core configuration effectively redistributes internal forces and enhances the global stiffness of the slab. This characteristic is particularly beneficial for prefabricated floor systems where joint continuity often governs overall performance.

In contrast, Figure 9 focuses on the microstructural effect of steel fibers on the compressive strength of lightweight aggregate concrete cubes. The illustration highlights that fibers are uniformly dispersed throughout the matrix, creating a continuous network capable of bridging microcracks and transferring stresses more evenly. This mechanism significantly improves the post-cracking ductility and energy absorption capacity of the concrete. Compared to plain lightweight concrete, the inclusion of steel fibers leads to an observed increase in compressive strength of approximately 10-15%, which is consistent with findings reported by Caratelli et al. [11] and Cho et al. [16].

Moreover, stress concentrations around the upper compression layer suggest that fiber density and orientation influence local stiffness and failure patterns. This finding implies that optimizing fiber volume ratio and placement could further improve the slab's resistance to localized crushing and fatigue degradation. In future research, hybrid reinforcement approaches-combining discrete steel fibers with conventional rebar-should be explored to enhance both global flexural capacity and micro-level crack resistance.

When examined together, Figures 8 and 9 highlight the dual-scale reinforcement behavior of the proposed system: macroscopically, the bar reinforcement and grouted connections maintain flexural rigidity and load transfer efficiency; microscopically, the fibers strengthen the matrix by mitigating crack growth and enhancing compressive resistance. This synergy yields a high strength-to-weight ratio and supports the use of lightweight aggregate concrete in prefabricated modular construction. Therefore, the combined stress and fiber analysis confirms the structural feasibility and mechanical reliability of the proposed lightweight slab design.

According to the stress nephograms of both standard concrete and lightweight aggregate concrete, the region where there is absence of extra grooves over slab having mid-span is

where majority of coagulation stresses are distributed, and this is where the stress levels are the greatest overall. Although absence of coagulation crushing in zone of compression, peak stress over slab top surface is very near of final compression stress over coagulation process. This take place because slab's features allow for such a close relationship between the two stresses.

3.2. Computation regarding bearing cabability of normal section of core structured light-weight aggregated concrete slab

As per the research done on bending members consisting of row-wise arrangement of circle shape holes [9], strain observed over pier central position concerning pre-cast plate fill containing core light-weight aggregated proves presumption regarding flat section designing. Additionally, when total proximity amongst honeycomb beam holes surpasses 1.5 times thickness of reinforced concrete, flat section assumption may get used concerning mean of strain for longitudinal and length member section. Because of beam deflection remains identical compared to beam of solid web thereby normal stress distribution in section of beam tries to become linear along with rise in ratio, influence of reserved circular holes reduces pre-fabricated slab's bearing

capability. This occurs because of fact that beam deflection near proximity compared to beam of solid web

Table 2. Formula for calculating normal section bearing capacity pertaining to regular concrete

Formula code	Name	Formula
(1)	Pressure area height	$\alpha_1 f_c b x = f_y A_s$
(2)	Calculation bearing capacity of positive section	$M = \alpha_1 f_c b x (h_0 - \frac{x}{2})$
(3)	Effective height of cross section	$h_0 = h - a_s$

3.3. Quality controlling main points

In making sure construction quality is maintained, a construction flow chart and four main points of quality regulation is proposed: "whether the cement slurry is painted well," "checking the bar binding is in line with the requirements," "whether the reinforced bar is in line with requirements," , "whether model meets requirements of the regulations." In addition, quality of construction is evaluated based on whether or not the requirements are met.

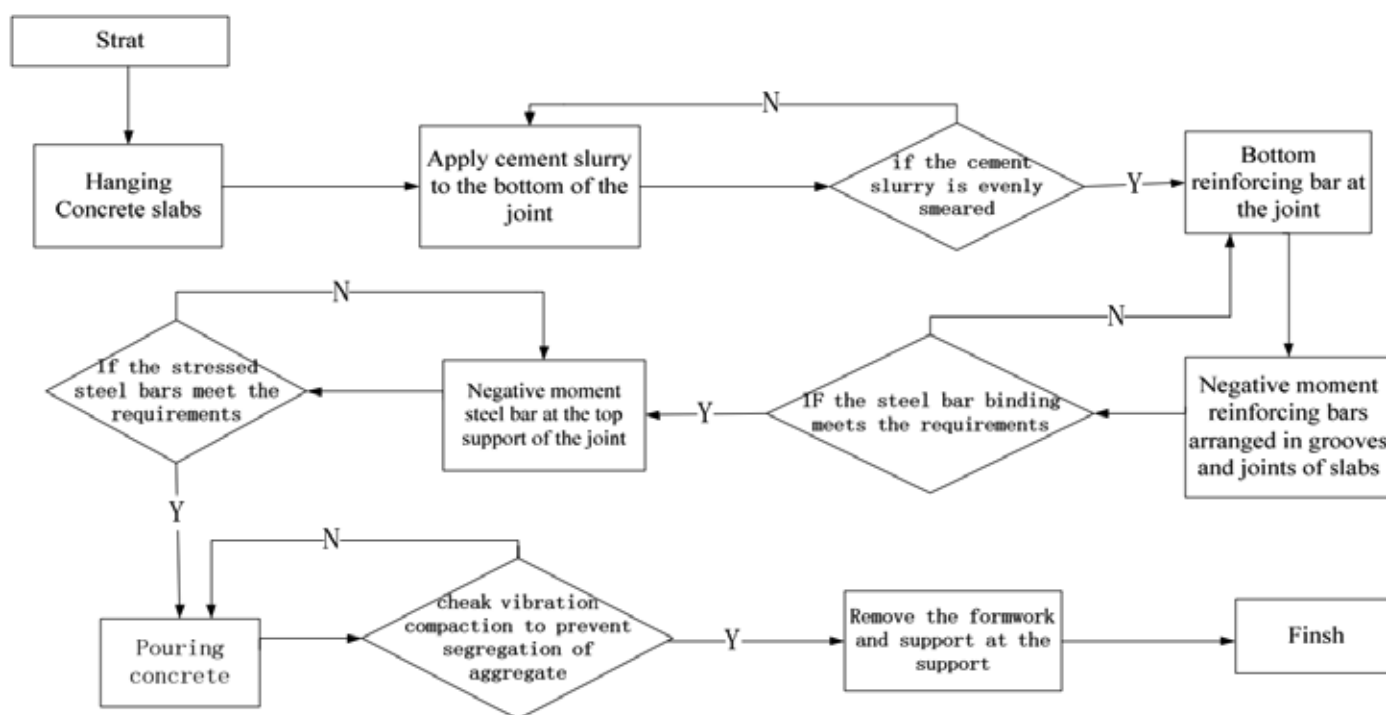


Figure 10. A flow chart illustrating the process of building a filled-assembled slab of lightweight aggregate concrete

The finite element analysis results validate the structural feasibility of the proposed lightweight slab system. Stress nephograms (Figures 6–9) clearly identify the mid-span top surface as the critical region, confirming the theoretical prediction of maximum compressive stress. Despite the absence of a reserved groove in this area, the numerical results indicate that the stress magnitude approaches the ultimate compression limit without inducing crushing - demonstrating adequate stiffness and load transfer efficiency.

The derived formula for normal-section bearing capacity effectively integrates theoretical concrete design equations with

simulation data. This analytical alignment suggests that the proposed core-filled LWAC slab behaves similarly to solid RC slabs while providing a significant weight reduction of approximately 25-35%, which can reduce foundation loads and seismic effects. Moreover, by adopting prefabrication and controlled grouting processes, the system supports faster installation and quality consistency.

The introduced quality control flowchart (Figure 10) is a notable contribution, summarizing four pivotal inspection stages: (1) verification of grout coverage, (2) steel reinforcement alignment, (3) bar compliance with design

codes, and (4) concrete compaction and curing adequacy. These checkpoints form a practical guideline for ensuring construction reliability in field conditions.

Overall, the study confirms that integrating lightweight aggregates and finite element modeling yields a structurally efficient and sustainable slab system. However, further research should address long-term deflection behavior, cyclic loading resistance, and field-scale experimental validation to fully establish design parameters for future industrial application.

4. CONCLUSION

The ANSYS finite element method is used to model a prefabricated lightweight aggregate concrete slab that has been designed via comparative study. Mid-span slab's top position is where bulk of coagulation's largest stress is distributed since there is no reserved groove there. The ultimate compressive stress over coagulation's top are almost comparable to maximum stress at slab's top, even though absence of compressive zone's coagulation. Flow chart of construction chart and 4 most important control of quality aspects is provided together in this article in order to calibrate on-site construction and serve as a guide concerning construction on-site. Using equation for normal section from ANSYS software and traditional code of concrete manuals for simulating analysis and comparison, this study determined computation equation for normalized portion of light-weight aggregate filled concreted slabs. The standard portion of a concrete slab with lightweight aggregate was built using this formula.

REFERENCES

- [1]. Alzara, Majed, et al. "Research Article Analysis of Lightweight Polystyrene Foam Concrete Flat Slabs under Fire Condition." (2022).
- [2]. Sun, Jinkun, et al. "Experimental study on lightweight precast composite slab of high-titanium heavy-slag concrete." *Advances in Civil Engineering* 2021 (2021): 1-17.
- [3]. Zahid, Manar, and Salah Al-Zaidee. "Validated Finite Element Modeling of Lightweight Concrete Floors Stiffened and Strengthened with FRP." *Engineering, Technology & Applied Science Research* 13.4 (2023): 11387-11392.
- [4]. Khaleel, et al. "Parametric Finite Element Analyses of Lightweight Cold-formed Steel-concrete Composite Floor Beams." *ce/papers* 5.4 (2022): 836-846.
- [5]. Alzara, Majed, et al. "Analysis of Lightweight Polystyrene Foam Concrete Flat Slabs under Fire Condition." *Advances in Civil Engineering* 2022 (2022).
- [6]. Kumar, M. Vinod, and Taha Abou Hamza. "Finite element analysis on effect of different ball spacing in bubble deck lightweight concrete slab." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 872. No. 1. IOP Publishing, 2020.
- [7]. Zaher, et al. "Analysis of lightweight composite sections with reinforced concrete infill with autoclaved aerated concrete (AAC)." *Frontiers in Built Environment* 9 (2023): 1149442.
- [8]. Sherif, Alaa G., et al. "Finite element modeling of light-weight concrete solid slabs reinforced using gfrp rebar."
- [9]. Youm, et al. "Testing and FE simulation of lightweight CFS composite built-up columns: Axial strength and deformation behaviour." *Thin-Walled Structures* 167 (2021): 108222.
- [10]. El-Mandouh, Mahmoud A., and Khaled Abu el-hassan. "Cyclic behavior of high strength lightweight concrete slab-edge column connections with and without openings." *Case Studies in Construction Materials* 16 (2022): e00832.
- [11]. Caratelli, et al. "Nonlinear Finite Element Analysis of Fiber Reinforced Concrete Slabs." *Jour. of Engineering and Technology, University of Technology (Baghdad), Iraq* (2020).
- [12]. Cui et al. "Analytical analysis of Light-weight Concrete slabs under punching Load."
- [13]. Go et al. "Proposing and finite element analysis of a new composite profiled sheet deck—Applying PU and PVC and stability considerations." *Structures*. Vol. 34. Elsevier, 2021.
- [14]. Costa et al. "Research Article Experimental Study on Lightweight Precast Composite Slab of High-Titanium Heavy-Slag Concrete." (2021).
- [15]. Chung et al. "Seismic performance evaluation of full-scale confined masonry building using light weight cellular panels." *Journal of Building Engineering* 32 (2020): 101473.
- [16]. Cho et al. "Nonlinear Finite Element Analysis of Fiber Reinforced Concrete Slabs." *Engineering and Technology Journal* 39.3A (2021): 426-439.
- [17]. Marzouk et al. "Prediction of load capacity of one way reinforced concrete slabs with openings using nonlinear finite element analysis." *Journal of Building Engineering* 44 (2021): 102945.
- [18]. Pantelides et al. "Numerical deformation analysis of flexural reinforced lightweight aggregate concrete members." *AIP Conference Proceedings*. Vol. 2425. No. 1. AIP Publishing, 2022.
- [19]. Babu B, Ranjith. "Experimental and numerical studies on punching shear strength of concrete slabs containing sintered fly ash aggregates." *Revista de la construcción* 20.1 (2021): 15-25.
- [20]. Moslemi, Abdollah, et al. "Proposing and finite element analysis of a new composite profiled sheet deck." *Structures*. Vol. 27. Elsevier, 2020.



VĂN PHÒNG TƯ VẤN VÀ CHUYÊN GIA CÔNG NGHỆ XÂY DỰNG

Địa chỉ: Tầng 1, nhà E, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội
Km10, Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội
Điện thoại: 0243 8545115
Fax: 0243 8542994
Website: www.vptv.com.vn
Email: pda.vptv@gmail.com

LỜI GIỚI THIỆU

Văn phòng tư vấn và chuyên giao công nghệ xây dựng được Bộ trưởng Bộ xây dựng cho phép thành lập theo Quyết định số 11/QĐ-BXD ngày 04/01/2002 (trước đây là "Văn phòng tư vấn xây dựng") là đơn vị tư vấn được đại diện cho Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội thực hiện các công tác tư vấn và chuyên giao công nghệ xây dựng theo giấy chứng nhận đăng ký hoạt động công nghệ và tư vấn xây dựng số 758 của Bộ trưởng Bộ Khoa học công nghệ và môi trường cấp ngày 16/01/2002 và được cấp lại số A-575 ngày 07/03/2016 và chứng chỉ năng lực hoạt động xây dựng số: BXD_00003543 do Cục quản lý hoạt động Bộ xây dựng cấp ngày 28/11/2022; giấy chứng nhận đủ điều kiện hành nghề bảo quản, tu bổ phục hồi di tích số 23/GCN-SVHTT do Sở Văn hóa thể thao Hà Nội cấp ngày 09/04/2020.

Văn phòng tư vấn và chuyên giao công nghệ xây dựng đã xây dựng hệ thống quản lý chất lượng sản phẩm tư vấn theo đúng quy định hiện hành của Nhà nước. Sản phẩm tư vấn của Văn phòng được đảm bảo cao nhất về chất lượng kỹ thuật, mỹ thuật, tiêu chuẩn, quy chuẩn về xây dựng, được tiến hành theo Luật xây dựng, các quy định của Chính phủ và Bộ Xây dựng về công tác xây dựng cơ bản.

Với tiêu chí hàng đầu là "CHẤT LƯỢNG, TIẾN ĐỘ VÀ LƯƠNG TÂM NGHỀ NGHIỆP" của đội ngũ cán bộ Văn phòng tư vấn và chuyên giao công nghệ xây dựng, chúng tôi rất mong tiếp tục nhận được sự tin nhiệm và cộng tác của các đơn vị, cơ quan đối tác trong và ngoài nước.



BẢO TÀNG HÀ TĨNH

Địa điểm: Khu đô thị bắc thành phố Hà Tĩnh



TỔ HỢP: KHU ĐÔ THỊ MƯỜNG THANH A - CHỢ MƯỜNG THANH - KHU PHỐ ĐÊM PHƯỜNG MƯỜNG THANH

Địa điểm: phường Mường Thanh, Tp. Điện Biên Phủ, tỉnh Điện Biên



**TƯỢNG ĐÀI THANH NIÊN XUNG PHONG ĐIỆN BIÊN PHỦ
(GIÁNH PHƯỜNG AN HIỆN RÚC)**

Địa điểm: nút giao giữa tuyến QL6 cũ và QL6 mới, thuộc xã Tủa Tĩnh, huyện Thuận Giao, tỉnh Điện Biên



XI MĂNG CẨM PHẢ

CÔNG NGHỆ NHẬT BẢN



CÔNG TY CỔ PHẦN XI MĂNG CẨM PHẢ

ĐT: (+84-203) 3 721995

ĐT: (+84-203) 3 721996

FAX: (+84-203) 3 714605

ĐC: Km6, Quốc lộ 18A, P. Cẩm Thạch
TP. Cẩm Phả, Tỉnh Quảng Ninh

CHI NHÁNH PHÍA NAM

ĐT: (+84-254) 3 899 630

FAX: (+84-254) 3 899 629

ĐC: Khu công nghiệp Mỹ Xuân A, P. Mỹ Xuân,
Thành phố Phú Mỹ, Tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu

www.ximangcampha.vn