

09-2025

ISSN 2734-9888

tapchixaydung.vn

XÂY DỰNG

TẠP CHÍ CỦA BỘ XÂY DỰNG

JOURNAL OF CONSTRUCTION





EEMC

Truyền năng lượng - Dẫn niềm tin

TỔNG CÔNG TY THIẾT BỊ ĐIỆN ĐÔNG ANH

DONG ANH ELECTRICAL EQUIPMENT CORPORATION



Máy biến áp truyền tải 500 kV - 300 MVA



Máy biến áp truyền tải 110 - 220 kV



Máy biến áp phân phối



Trạm Kios



Tủ điện



Sản phẩm phân phối độc quyền tại Việt Nam của hãng Shinsung, Hàn Quốc



Sản phẩm phân phối độc quyền tại Việt Nam của hãng Viztro EM, Hàn Quốc



Biến dòng và biến điện áp



Hộp bộ đo lường



Dây đồng bọc giấy



Cung cấp, lắp đặt trọn bộ trạm biến áp

Thông tin liên hệ:

Địa chỉ: Số 189 đường Lâm Tiên, thị trấn Đông Anh, huyện Đông Anh,

TP. Hà Nội, Việt Nam

Hotline: (+84) 968 630 779

Fax: (+84) 243863 3113

Website: eemc.com.vn

Email: kinhdoanh@eemc.com.vn

Contact:

Add: No. 189 Lam Tien road, Donganh Town, Donganh District,

Hanoi City, Vietnam

Hotline: 0968 630 779

Fax: (84,24) 3863 3113

Website: eemc.com.vn

Email: kinhdoanh@eemc.com.vn





PETROLIMEX



NHỰA ĐƯỜNG PETROLIMEX

Dẫn bước thành công

MỤC LỤC

CONTENT

09.2025 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: Sun PhuQuoc Airways (SPA) đón đông
thời 2 tàu bay Airbus A321CEO tại Cảng hàng không
Quốc tế Nội Bài vào sáng 19/8, chuẩn bị cho bay
thương mại vào đầu tháng 11/2025.

THANH NGA 6 Cải cách toàn diện Luật Xây dựng
MINH THÀNH 8 Sửa đổi toàn diện Luật Hàng không dân dụng Việt Nam
VŨ THÀNH 10 Hiện thực hóa tầm nhìn chính sách hạ tầng đường sắt
VŨ THÀNH VŨ 12 Hoàn thiện hệ thống tiêu chuẩn, quy chuẩn kỹ thuật: “kim chỉ nam” định hướng tương lai hạ
tầng đường sắt
HOÀNG THẠCH 14 Khoa học công nghệ - động lực để ngành Xây dựng bứt phá

QUẢN LÝ NGÀNH

TỪ CHÍNH SÁCH ĐẾN CUỘC SỐNG

AN THẢO 16 Sửa đổi, bổ sung Luật Quy hoạch đô thị và nông thôn phù hợp với tổ chức chính quyền 2 cấp
TS.KTS PHẠM THỊ NHÂM 18 Tác động mô hình chính quyền địa phương 2 cấp đến định hướng phát triển hệ thống đô
thị - nông thôn
TUẤN ĐÔNG 24 Nhận dạng cấu trúc đô thị trong bối cảnh mới
GS.TS.KTS NGUYỄN TỔ LĂNG 26 Quy hoạch và quản lý đô thị ở Việt Nam hiện nay: Thực trạng và giải pháp
TS.KTS TRƯƠNG VĂN QUANG 30 Tương lai đô thị trong tái cấu trúc không gian lãnh thổ quốc gia
PGS.TS LƯU ĐỨC HẢI, KS NGUYỄN THỊ THANH HOA 34 Lý luận và thực tiễn về quản lý phát triển đô thị theo hướng đô thị nén trên thế giới
PGS.TS.KTS NGUYỄN VŨ PHƯƠNG 40 Kẹt xe - ngập lụt vòng xoáy đô thị hóa và tiếp cận quy hoạch tích hợp
THS LÊ TÙNG LÂM 46 BIM Việt Nam, từ tầm nhìn đến hoàn thiện thể chế: Kiến nghị giải pháp “6 rõ” và sửa đổi
Nghị định 175/2024/NĐ-CP

GIỚI THIỆU SÁCH MỚI

AN NHIÊN 49 Sổ tay áp dụng BIM 2025

TRÒ CHUYỆN VỚI CHUYÊN GIA

NGUYỄN HOÀNG LINH 50 Chuyện đang dở về chống thấm cho những công trình xây dựng

GÓC NHÌN TỪ THỰC TIỄN

NGUYỄN MINH VÂN 56 Trạm đổi pin - Bước đột phá trong giao thông xanh!

NGHIÊN CỨU KHOA HỌC

PGS.TS.GVCC.KTS NGUYỄN VŨ PHƯƠNG 60 Đổi mới phân loại đô thị - nông thôn ở Việt Nam: Tiếp cận chức năng - không gian và kinh
nghiệm quốc tế
THS TRƯƠNG THỊ HUYỀN ANH, PGS.TS NGUYỄN NAM 66 Kinh nghiệm quốc tế và bài học cho TP Đà Nẵng trong tổ chức không gian công cộng hấp dẫn
du lịch
PGS.TS VŨ THỊ VINH 72 Không gian hè phố - Giải pháp cân bằng giữa trật tự an toàn và sinh kế đô thị
Tiếp cận từ góc độ hạ tầng kỹ thuật đô thị và quản trị không gian công cộng
LÊ TIẾN THUẬN 76 Nghiên cứu bảo tồn bản sắc văn hóa nhà ở truyền thống dân tộc Thái vùng Tây Bắc
LƯƠNG THỊ HIỀN, NGUYỄN THANH TÚ 81 Tổ chức không gian cư trú dân tộc Thái tỉnh Thanh Hóa gắn với du lịch cộng đồng: Cơ sở thực
tiễn và hệ thống tiêu chí đánh giá để xuất
NGUYỄN PHƯƠNG THẢO NGUYỄN, PHAN NHỰT DUY 86 Đánh giá hiệu quả sử dụng công viên công cộng tại khu vực trung tâm TP.HCM
NGUYỄN QUANG BẢO PHÚC 91 Phát triển đại học thông minh tại Việt Nam trong bối cảnh chuyển đổi số
KTS LÊ MỸ QUỐC 96 Tích hợp chức năng trong các đại học tại vùng Thủ đô dưới góc nhìn liên ngành trong đào tạo
PGS.TS NGUYỄN HỒNG THÁI, PGS.TS TRẦN QUANG PHÚ, 102 Tổ chức vận tải theo mô hình phát triển đô thị định hướng giao thông công cộng (TOD) tại
THS BÙI QUỐC AN khu vực nhà ga đường sắt tốc độ cao và đường sắt đô thị ở TP.HCM
TS NGUYỄN CHÍ KIẾN, TS PHẠM XUÂN BÁCH, 106 Điều khiển và giám sát lưới điện hạ thế dựa trên nền tảng công nghệ IoT
TS NGUYỄN DUY HƯNG
TS ĐỖ VĂN THUẬN 110 Kinh nghiệm đầu tư phát triển đường sắt tốc độ cao ở một số quốc gia
THS.NCS NGÔ MINH QUANG, 114 Thực trạng và giải pháp phát triển chuỗi cung ứng hàng thủy sản đông lạnh sông Cửu Long
PGS.TS NGUYỄN HOÀNG PHƯƠNG
TS NGUYỄN PHONG NHẢ, TS PHẠM THỊ YẾN 118 Các rào cản đối với chuyển đổi số tại cảng biển Hải Phòng: Phân tích dựa trên khung PESTLE
THS.NCS NGÔ VĂN QUÂN, THS TRẦN TRỌNG SƠN, 121 Nghiên cứu các công nghệ xử lý nền móng mặt đường cứng sân bay trong điều kiện bất lợi
GS.TS PHẠM HUY KHANG, PGS.TS NGUYỄN TRỌNG HIỆP, trên thế giới và ở Việt Nam
THS.NCS PHẠM QUANG THÔNG
TS HUỖNH VĂN QUÂN, KS TRƯƠNG MINH THIỆN, 126 Phân tích ổn định mái dốc nền đường sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo và thuật toán
PGS.TS LÊ VĂN PHÚC, TS NGUYỄN VĂN DU, di truyền
THS PHẠM HOÀNG AN



INDUSTRY MANAGEMENT

- THANH NGA **6** Comprehensive reform of the Construction Law
 MINH THANH **8** Comprehensive amendment of Vietnam's civil aviation law
 VU THANH **10** Realizing the railway infrastructure policy vision
 VU THANH VU **12** Improving the system of standards and technical regulations: A 'compass' for the future of railway infrastructure
 HOANG THACH **14** Science and Technology - The driving force for the Construction industry to make a breakthrough

FROM POLICY TO LIFE

- AN THAO **16** Revisions and additions to the urban and rural planning law in accordance with the two-level local government system
 PHAM THI NHAM **18** The impact of the two-level local government structure on urban-rural system development orientation
 TUAN DONG **24** Identifying urban structures in a new context
 NGUYEN TO LANG **26** Urban planning and management in Vietnam today: Current situation and solutions
 TRUONG VAN QUANG **30** The urban future in the restructuring of national territorial space
 LUU DUC HAI, NGUYEN THI THANH HOA **34** Theory and practice of urban development management towards compact urban areas in the world
 NGUYEN VU PHUONG **40** Traffic congestion and flooding: An urbanization vortex and the case for integrated planning
 LE TUNG LAM **46** Vietnam's BIM: From Vision to Institutional Completion - Policy Recommendations on the 'Six Clarities' and Amendments to Decree 175/2024/NĐ-CP

ABOUT NEW BOOK

- AN NHIEU **49** BIM Implementation Handbook 2025

TALK WITH EXPERTS

- NGUYEN HOANG LINH **50** Waterproofing challenges in construction: An unfinished story

PERSPECTIVE TO PRACTICAL

- NGUYEN MINH VAN **56** Battery Swapping Station - A Breakthrough in Green Transportation!

SCIENTIFIC RESEARCH

- NGUYEN VU PHUONG **60** Reforming Urban - Rural classification in Vietnam: A Functional-Spatial approach and International experience
 TRUONG THI HUYEN ANH, NGUYEN NAM **66** International experiences and lessons for Danang in planning appealing public spaces for tourism
 VU THI VINH **72** Sidewalk space - solutions for balancing urban order, safety, and street livelihoods An approach from the perspective of urban technical infrastructure and public space governance
 LE TIEN THUAN **76** Research on preserving the cultural identity of traditional Thai houses in the northwest region of Vietnam
 LUONG THI HIEN, NGUYEN THANH TU **81** Spatial organization of Thai ethnic minority settlements in Thanh Hoa province in relation to community-based tourism: Practical bases and proposed evaluation criteria system
 NGUYEN PHUONG THAO NGUYEN, PHAN NHUT DUY **86** Evaluation of the effectiveness of public parks in the center of Ho Chi Minh City
 NGUYEN QUANG BAO PHUC **91** Developing smart universities in Vietnam in the context of digital transformation
 LE MY QUOC **96** The integrating - oriented design solution at universities in Capital region from an interdisciplinary perspectives
 NGUYEN HONG THAI, TRAN QUANG PHU, BUI QUOC AN **102** Transport organization based on the transit-oriented development (TOD) model in the vicinity of high-speed rail and urban rail stations in Ho Chi Minh city
 NGUYEN CHI KIEN, PHAM XUAN BACH, NGUYEN DUY HUNG **106** IoT-based control and monitoring system for low-voltage power distribution networks
 DO VAN THUAN **110** Investment experiences in high-speed rail development in selected countries
 NGO MINH QUANG, NGUYEN HOANG PHUONG **114** Current situation and solutions for the development of the fisheries supply chain in the Mekong delta
 NGUYEN PHONG NHA, PHAM THI YEN **118** Barriers to digital transformation at Hai Phong seaport: A PESTLE-based analysis
 NGO VAN QUAN, TRAN TRONG SON, PHAM HUY KHANG **121** Research on treatment technologies for base, subbase and subgrade of airport rigid pavement under adverse conditions in the world and in Vietnam

SCIENTIFIC COMMISSION:

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

EDITOR-IN-CHIEF:

Nguyen Thai Binh

DEPUTY-EDITOR-IN-CHIEF:

Nguyen Van Huong

Pham Van Dung

Nguyen Thanh Hoa

Ly Ngoc Thanh

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

09.2025 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 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

- PGS.TS HỒ THỊ THU HÒA** 129 Nghiên cứu bộ tiêu chí đánh giá thương hiệu cảng biển: Trường hợp cảng biển Hải Phòng
- PGS.TS TRẦN QUANG PHÚ, THS TRẦN MINH CƯỜNG** 132 Các yếu tố ảnh hưởng đến công tác quy hoạch không gian ngầm trong phát triển giao thông đô thị tại TP.HCM
- THS PHẠM VĂN HÙNG, KS NGUYỄN ÁNH DƯƠNG,** 137 Thực nghiệm và mô phỏng phân tích ứng xử dính bám của cốt thanh GFRP trong bê tông nhẹ sử dụng sỏi keramzit
- THS ĐÀO QUANG HUY, TS TỪ SỸ QUÂN,** 140 Kết quả kinh doanh của doanh nghiệp bưu chính trong điều kiện chuyển đổi số
- PGS.TS TRẦN THẾ TRUYỀN** 143 Nghiên cứu sự vận động của các chỉ tiêu lập kế hoạch vốn đầu tư công xây dựng công trình giao thông tại Việt Nam
- PGS.TS NGUYỄN ĐĂNG QUANG,** 146 Phân tích hiệu quả cảng biển container phía Nam Việt Nam: Phương pháp phân tích đường bao dữ liệu (DEA)
- PGS.TS DƯƠNG HỮU TUYẾN** 149 Công tác quản lý và khai thác đường cao tốc - Tuân đường và xử lý sự cố trên đường cao tốc trong kỷ nguyên đột phá về phát triển khoa học công nghệ, đổi mới sáng tạo và chuyển đổi số
- THS TRẦN TUẤN PHONG,** 152 Phân tích hiệu ứng tĩnh có xét đến hệ số động lực phát sinh trong cầu dầm giản đơn trên đường sắt tốc độ cao do tải trọng của các mô hình đoàn tàu thiết kế khác nhau
- PGS.TS NGUYỄN LƯƠNG HẢI** 157 Các giải pháp phát triển hệ thống ga hành khách đường sắt tốc độ cao Việt Nam trên cơ sở nghiên cứu kinh nghiệm của đường sắt Trung Quốc
- TS TRẦN THỊ ANH TÂM, TS TRẦN NGUYỄN KHÔI** 160 Thiết kế điều khiển cân bằng con lắc ngược hai bậc tự do sử dụng mô hình động học logic hỗn hợp kết hợp với điều khiển dự báo mô hình
- THS.NCS BÙI VIẾT CƯỜNG, THS NGUYỄN THỊ DIỄM** 163 Biến động giá vật liệu xây dựng tại Việt Nam: Nguyên nhân, tác động và giải pháp quản lý
- HÀNG, PGS.TS TRẦN THỊ KIM ĐĂNG** 168 Đánh giá tiềm năng giảm phát thải khí nhà kính từ việc sử dụng vật liệu thay thế trong sản xuất xi măng
- PGS.TS HOÀNG HÀ** 173 Đánh giá tình trạng và nguyên nhân gây nứt của bê tông khối lớn - Trường hợp móng điện gió
- PGS.TS LÊ QUÂN, TS LÊ BÁ TUẤN** 178 Xây dựng mô hình tối ưu hóa trong thiết kế và phân tích cọc barrette có phụt vữa
- THS PHẠM THANH TÙNG, THS ĐỖ THÁI GIANG** 181 Phương pháp ước lượng tuổi thọ mỏi của sàn cầu thép bằng mô hình số
- NGUYỄN THỊ MỸ HẠNH, NGUYỄN QUỐC TOÀN,** 186 Đánh giá ảnh hưởng của sợi gia cường đến khả năng làm việc của hỗn hợp bê tông nhựa làm mặt đường
- PHẠM MANH TÂN** 190 Đánh giá sức chịu cắt của dầm bê tông cốt thanh FRP dựa trên các mô hình thiết kế
- TẠ THỊ YẾN, CHU CÔNG CẦN** 194 Cấp nước các khu vực đô thị tỉnh Quảng Ninh hướng tới bảo đảm cấp nước an toàn
- NGUYỄN THẾ HOÀNG GIA, NGUYỄN DUY HÙNG** 199 Nghiên cứu và đề xuất bộ tiêu chí và chỉ tiêu đánh giá quản lý thoát nước mặt theo mô hình Thành phố bọt biển
- TS VÕ NGUYỄN PHÚ HUÂN** 204 Nghiên cứu khả năng chống chọc thủng của đài cọc bê tông cốt thép bằng mô phỏng số
- MÃ CHÍ HIẾU** 209 Nghiên cứu thực nghiệm xác định hệ số phá do nổ cho một số loại bê tông
- TS ĐỖ TIẾN THỌ, TS NGUYỄN HUỲNH TẤN TÀI** 214 Khảo sát ảnh hưởng của hệ giằng thép đến sự làm việc của kết cấu nhà khung liên hợp thép bê tông chịu động đất
- ĐẶNG VĂN DUY, THS LƯƠNG VINH PHÚ,** 220 Phân tích kết cấu mặt đường bê tông nhựa bằng phương pháp cơ học thực nghiệm áp dụng trong điều kiện khí hậu khu vực TP.HCM
- THS NGUYỄN THỊ HỒNG NỤ, TS TRƯƠNG GIA TOẠI** 224 Đánh giá hiệu quả đầm của lu rung trên cơ sở phân tích mô hình động lực học
- THS PHẠM NGỌC CHÍNH** 230 Thiết kế cải tiến thiết bị đo sóng cắt dạng nĩa tại hiện trường
- THS NGUYỄN HỮU PHÚ** 236 Ứng dụng thuật toán tiến hóa khác biệt thích nghi ưu việt trong tối ưu hóa kết cấu khung bê tông cốt thép nhiều tầng
- TS TRẦN VIỆT TÂM** 241 Nhà phố và phát triển đô thị bền vững: Di sản, bản sắc và cộng đồng tại TP.HCM
- PGS.TS NGUYỄN TRÍ TÁ** 246 Giải pháp số trong quản lý tài sản xây dựng: Tối ưu hóa công tác bảo trì đường cao tốc dựa trên mô hình dự báo trí tuệ nhân tạo
- TS PHẠM THU HIỀN, TS NGUYỄN VĂN THẮNG,** 252 Nghiên cứu thực nghiệm và mô phỏng số ứng xử uốn bê tông tính năng cao gia cường cốt sợi thép
- TS BÙI SĨ MƯỜI, TS NGUYỄN THỊ THANH THỦY**
- THS NGÔ VĂN TÌNH, THS NGÔ VĂN QUÂN,**
- PHAN THỊ NGỌC TRÂM, NGUYỄN HỒ MỸ HUỲN,**
- TRẦN MINH THÀNH, LÒ CÀ QUANG MINH,**
- TRẦN HỒ ANH THƯ, NGUYỄN QUANG BẢO**
- TS NGUYỄN SỸ NAM**
- TS HOÀNG NGỌC QUÝ, TS NGUYỄN THẾ BẢO,**
- TS TRẦN MINH KHOA, TS TRƯƠNG QUANG HÙNG**
- NGUYỄN QUỐC HUY, NGUYỄN NGỌC PHÚ,**
- LÝ KHƯƠNG DUY, TRẦN QUANG MINH, VŨ HỒ NAM**
- NGUYỄN NGỌC UYÊN, NGUYỄN THANH PHONG**
- ĐÀO ĐẠI DƯƠNG, NGUYỄN THỊ THÚY HIỀN**
- VƯƠNG THỊ NGỌC HÂN, NGUYỄN DUY LIÊM,**
- NGUYỄN HUỲNH TẤN TÀI, LÊ VĂN BÁCH**



HUYNH VAN QUAN, TRUONG MINH THIEN, LE VAN PHUC, NGUYEN VAN DU, PHAM HOANG AN HO THI THU HOA TRAN QUANG PHU, TRAN MINH CUONG	126 129 132	Slope stability analysis of road embankments using artificial neural network and genetic algorithm Research on criteria for evaluating seaport brands: The case of Hai Phong seaport Factors influencing underground space planning for urban transportation development in Ho Chi Minh City
PHAM VAN HUNG, NGUYEN ANH DUONG, DAO QUANG HUY, TU SY QUAN, TRAN THE TRUYEN NGUYEN DANG QUANG, DUONG HUU TUYEN TRAN TUAN PHONG, NGUYEN LUONG HAI	137 140 143	Experimental and numerical analysis of the bond behavior of GFRP bars in lightweight concrete using expanded clay (keramzit) aggregate The business performance of postal enterprises in the context of digital transformation Study on the dynamics of public investment capital planning indicators for transport infrastructure projects in Vietnam
TRAN THI ANH TAM, TRAN NGUYEN KHOI BUI VIET CUONG, NGUYEN THI DIEM HANG, TRAN THI KIM DANG HOANG HA	146 149 152	An efficiency analysis of container ports in Southern Vietnam: A Data Envelopment Approach (DEA) Expressway management and operation - Road patrol and incident response in the era of breakthroughs in science and technology development, innovation and digital transformation Analysis of static effects considering dynamic coefficients generated in simple girder bridges on high-speed railways due to loads of different designed train models
LE QUAN, LE BA TUAN	157	Solutions to develop the passenger station system of Vietnam high-speed railway on the basis of researching the experience of Chinese railway
PHAM THANH TUNG, DO THAI GIANG	160	Design of a balancing controller for a two degrees of freedom inverted pendulum using a mixed logical dynamical model combined with model predictive control
NGUYEN THI MY HANH, NGUYEN QUOC TOAN, PHAM MANH TAN TA THI YEN, CHU CONG CAN	163 168	Price volatility of construction materials in Vietnam: Drivers, impacts, and policy responses Assessing the potential for greenhouse gas emission reduction by using alternative materials in cement production
NGUYEN THE HOANG GIA, NGUYEN DUY HUNG	173	Evaluation of conditions and causes of cracks in large concrete blocks - Case study of wind turbine foundations
VO NGUYEN PHU HUAN MA CHI HIEU	178 181	An optimized approach for performance enhancement of grouted barrette piles Method of estimating fatigue life of steel bridge deck using numerical models
DO TIEN THO, NGUYEN HUYNH TAN TAI	186	Evaluation of the effect of reinforcing fibers on the performance of asphalt concrete pavement mixtures
DANG VAN DUY, LUONG VINH PHU, NGUYEN THI HONG NU, TRUONG GIA TOAI PHAM NGOC CHINH NGUYEN HUU PHU	190 194 199	Shear strength evaluation of FRP reinforced concrete beams based on design models Water supply in urban areas of Quang Ninh province towards ensuring safe water supply Research and proposal of criteria and indicators for evaluating urban stormwater management towards the sponge City model
TRAN VIET TAM NGUYEN TRI TA	204 209	Numerical simulation study on punching shear resistance of reinforced concrete pile caps Experimental study to determine the destruction coefficient by explosive for some types of concrete
PHAM THU HIEN, NGUYEN VAN THANG, BUI SI MUOI, NGUYEN THI THANH THUY NGO VAN TINH, NGO VAN QUAN, PHAN THI NGOC TRAM, NGUYEN HO MY HUYEN, TRAN MINH THANH, LO CA QUANG MINH, TRAN HO ANH THU, NGUYEN QUANG BAO NGUYEN SY NAM HOANG NGOC QUY, NGUYEN THE BAO, TRAN MINH KHOA, TRUONG QUANG HUNG NGUYEN QUOC HUY, NGUYEN NGOC PHU, LY KHUONG DUY, TRAN QUANG MINH, VU HO NAM NGUYEN NGOC UYEN, NGUYEN THANH PHONG	214 220 224 230 236 241	Investigation of the effect of steel bracing systems on the performance of steel-concrete composite frame structures under earthquake loads Analysis of asphalt concrete pavement structure by experimental mechanical method applied in the climatic conditions of Ho Chi Minh City Evaluation of vibration roller compaction efficiency based on dynamic modeling analysis Development of fork-type blade for insitu shear wave measurement Application of adaptive elitist differential evolution for multistory reinforced concrete frame optimization Townhouses and sustainable urban development: Heritage, identity and community in Ho Chi Minh City
DAO DAI DUONG, NGUYEN THI THUY HIEN	246	Digital solutions in construction asset management: Optimizing expressway maintenance based on an AI-driven forecasting model
VUONG THI NGOC HAN, NGUYEN DUY LIEM, NGUYEN HUYNH TAN TAI, LE VAN BACH	252	Experimental And Numerical Solution Study on Beam Behavior Using High-Performance Steel Fiber-Reinforced

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

Cải cách toàn diện Luật Xây dựng



THANH NGÀ

Với phạm vi sửa đổi 141/168 điều, dự thảo Luật Xây dựng tập trung vào 4 trụ cột: Đổi mới quản trị, cắt giảm thủ tục, phân cấp gắn trách nhiệm và số hóa.

Bộ Xây dựng đang xây dựng dự thảo Luật Xây dựng thay thế Luật Xây dựng năm 2014, dự kiến trình Quốc hội trong thời gian tới. Theo định hướng, dự thảo Luật lần này sửa đổi, điều chỉnh 141/168 điều, sắp xếp lại thành 8 chương với 96 điều, tập trung vào 4 nhóm vấn đề lớn: (i) đổi mới phương thức, nâng cao hiệu quả quản trị trong đầu tư xây dựng; (ii) cắt giảm, đơn giản hóa thủ tục hành chính, điều kiện đầu tư kinh doanh; (iii) phân cấp quản lý từ Trung ương đến địa phương gắn với trách nhiệm giải trình; (iv) chỉ quy định những nguyên tắc khung, giao Chính phủ hướng dẫn chi tiết.

Những nội dung sửa đổi thể hiện quyết tâm hoàn thiện thể chế, nâng cao hiệu lực quản lý, đồng thời tạo thuận lợi tối đa cho các chủ thể tham gia hoạt động xây dựng, bảo đảm minh bạch, công bằng và phù hợp thông lệ quốc tế.

PHÂN LOẠI DỰ ÁN THEO HÌNH THỨC ĐẦU TƯ

Một chuyển dịch phương pháp luận quan trọng của dự thảo Luật là phân loại dự án theo hình thức đầu tư thay vì nguồn vốn. Dự án đầu tư xây dựng được chia thành 3 nhóm: dự án đầu tư công, dự án đầu tư theo phương thức PPP và dự án đầu tư kinh doanh. Cách tiếp cận này bảo đảm thống nhất với Luật Đầu tư công, Luật PPP, Luật Đầu tư; hạn chế chồng chéo, giúp nhà đầu tư sớm nhận diện “đường đi” pháp lý, đồng thời tạo mặt bằng quản trị tương thích giữa các loại vốn.

Đối với dự án sử dụng vốn ODA, vốn vay ưu đãi không thuộc phạm vi Luật Đầu tư công, dự thảo Luật quy định quản lý tương tự dự án đầu tư công nhằm bảo đảm kỷ luật ngân sách, tính công khai và trách nhiệm giải trình. Các dự án không thuộc 2 khung trên được quản lý như dự án đầu tư kinh doanh theo quy định của Luật Xây dựng.

Bên cạnh đó, dự thảo Luật tinh gọn mô hình quản lý dự án từ 6 hình thức xuống còn 2 hình thức: (1) BQLDA đầu tư xây dựng chuyên trách; (2) Chủ đầu tư tự tổ chức quản lý dự án. Việc rút gọn tầng nấc trung gian giúp nâng độ linh hoạt, rõ

hóa trách nhiệm, giảm chi phí quản lý, phù hợp với yêu cầu đẩy nhanh tiến độ chuẩn bị và thực thi dự án.

Một điểm đột phá khác là cho phép áp dụng thiết kế kỹ thuật tổng thể (FEED) hoặc thiết kế kỹ thuật thay thế cho thiết kế cơ sở trong Báo cáo nghiên cứu khả thi. Đây là thực tiễn đã diễn ra ở nhiều dự án năng lượng, hạ tầng phức tạp (EPC/Turnkey), nay được luật hóa nhằm rút ngắn thời gian chuẩn bị, tăng tính tương thích với thông lệ quốc tế, đồng thời tạo điều kiện tận dụng thiết kế đặc thù công nghệ cao.

Dự thảo Luật đã chỉnh sửa hệ thống quản lý chi phí đầu tư xây dựng, nhấn mạnh tính chính xác, minh bạch và bám sát thực tế thị trường. Các khái niệm cốt lõi được chuẩn hóa và làm rõ nội hàm và phạm vi áp dụng như: sơ bộ tổng mức đầu tư, tổng mức đầu tư, dự toán xây dựng. Quy định nêu rõ nguyên tắc xác định chi phí gắn với từng giai đoạn thiết kế, làm cơ sở kiểm soát rủi ro đội vốn ngay từ tiền khả thi đến khi phê duyệt dự án và triển khai.

Cùng với đó, dự thảo Luật bổ sung cơ chế điều chỉnh tổng mức đầu tư đồng bộ với điều chỉnh chủ trương đầu tư và điều chỉnh dự án, bảo đảm kỷ luật tài chính, tránh “xé lẻ” thủ tục. Đối với dự án chia thành nhiều dự án thành phần, nguyên tắc xác định chi phí và phương thức điều chỉnh được thiết kế giúp bám sát thực tế tổ chức thi công theo pha, phù hợp mô hình đầu tư hiện đại.

Trụ cột then chốt là công cụ định mức, giá xây dựng. Thay vì “áp cứng”, dự thảo Luật chuyển sang cơ chế tham chiếu linh hoạt, cập nhật theo thị trường và đồng bộ với Luật chuyên ngành (đấu thầu, đường sắt, PPP...). Việc sử dụng, tham khảo hệ thống định mức, đơn giá được quy định theo hướng mở, trao quyền kỹ thuật nhiều hơn cho chủ thể có năng lực, đồng thời vẫn bảo đảm chuẩn mực quản lý nhà nước đối với dự án đầu tư công.

LÀM RÕ NGHĨA VỤ BẢO ĐẢM THỰC HIỆN HỢP ĐỒNG

Trên nền quản trị chi phí, dự thảo Luật Xây dựng (sửa đổi) tăng cường khung pháp lý về hợp đồng xây dựng theo hướng

minh bạch, công bằng, khả thi. Các quy định mới được thiết kế bảo đảm tính thống nhất với Bộ luật Dân sự, Luật Đầu thầu và các luật liên quan, đồng thời phản ánh thông lệ quản lý rủi ro hiện đại.

Trước hết, nghĩa vụ bảo đảm thực hiện hợp đồng của các bên được làm rõ. Các biện pháp như bảo lãnh, bảo hiểm, ký quỹ hay các hình thức bảo đảm khác được xác lập vị thế pháp lý rõ ràng, qua đó góp phần giảm thiểu rủi ro mất cân đối nghĩa vụ, hạn chế tình trạng một bên đơn phương gánh chịu trách nhiệm.

Tiếp đến, dự thảo Luật quy định đầy đủ về bất khả kháng và hoàn cảnh thay đổi cơ bản trong hoạt động xây dựng. Các sự kiện được xác định bao gồm: thiên tai nghiêm trọng (động đất, bão, lũ quét, sạt lở, sóng thần), dịch bệnh nguy hiểm được cơ quan có thẩm quyền công bố, chiến tranh, khủng bố, bạo loạn, đình công quy mô lớn ngoài tầm kiểm soát, hoặc quyết định hành chính gây đình trệ không do lỗi của các bên. Khi phát sinh, các bên được phép tạm ngừng nghĩa vụ, gia hạn thời gian thực hiện hợp đồng tương ứng, thương lượng chi phí phát sinh hợp lý và phải thông báo trong thời hạn đã thỏa thuận.

Bên cạnh đó, dự thảo Luật cũng cụ thể hóa các loại hợp đồng và điều kiện áp dụng, khuyến khích thiết kế các cơ chế chia sẻ rủi ro hợp lý như: biến động giá vật liệu, trễ tiến độ do nguyên nhân khách quan, thay đổi chính sách pháp luật. Việc chuẩn hóa điều khoản bất khả kháng giúp các bên ứng phó gián đoạn chuỗi cung ứng, thiên tai cực đoan... nhưng vẫn bảo đảm nguyên tắc tiết kiệm - hiệu quả - công khai.

Khung quy định này không chỉ tạo nền tảng phân chia rủi ro rõ ràng, giảm thiểu tranh chấp mà còn nâng cao tính dự báo, kỷ luật và minh bạch trong thực thi hợp đồng xây dựng.

ĐƯA BIM, GIS VÀ AI VÀO LUẬT

Dự thảo đưa Mô hình thông tin công trình (BIM), Hệ thống thông tin địa lý (GIS) và Trí tuệ nhân tạo (AI) vào hệ thống pháp luật về xây dựng theo hướng định danh hóa công trình xuyên suốt vòng đời: từ quy hoạch, thẩm định, cấp phép, thi công, nghiệm thu, bàn giao đến quyết toán, vận hành. Trên nền cơ sở dữ liệu quốc gia về hoạt động xây dựng, các tác nhân (cơ quan quản lý, chủ đầu tư, tư vấn, nhà thầu, đơn vị vận hành) được kết nối dữ liệu thống nhất, truy vết thay đổi minh bạch, giảm gian lận, giảm trùng lặp thủ tục, nâng hiệu quả khai thác tài sản công và tư.

Sự tích hợp số liệu quản lý xây dựng với các hệ thống liên ngành (quy hoạch, đầu tư công, đất đai, môi trường, PCCC) mở ra một hệ sinh thái quản trị số đồng bộ, từ đó rút ngắn thời gian phối hợp, chuẩn hóa biểu mẫu, thúc đẩy công bố - chia sẻ dữ liệu trong giới hạn pháp luật, tạo nền cho phân tích dự báo và hoạch định chính sách dựa trên dữ liệu.

Theo hướng cắt giảm tối đa thủ tục, dự thảo Luật quy định: người quyết định đầu tư được lựa chọn phương án thiết kế phù hợp tính chất, độ phức tạp công trình, tránh ràng buộc “một cỡ cho tất cả”. Cơ quan chuyên môn thẩm định tập trung vào an toàn kết cấu, an toàn PCCC, tuân thủ tiêu chuẩn, quy chuẩn và sự phù hợp với quy hoạch; các nội dung khác phân quyền cho chủ đầu tư tự chịu trách nhiệm.

Quy trình thẩm định thiết kế rút từ 2 bước xuống 1 bước

ở giai đoạn thiết kế cơ sở. Giấy phép xây dựng được miễn đối với dự án đã được cơ quan chuyên môn thẩm định Báo cáo nghiên cứu khả thi; đối với công trình nhỏ, nhà ở riêng lẻ chưa có quy hoạch chi tiết, thủ tục cấp phép tiếp cận trực tuyến, minh bạch, có kiểm soát. Dự thảo cũng rà soát, cắt giảm đối tượng kiểm tra công tác nghiệm thu, đơn giản hóa điều kiện khởi công theo hướng trọng yếu, loại bỏ yêu cầu trùng lặp.

Đáng chú ý, so với 8 nhóm thủ tục trong Luật hiện hành, dự thảo Luật đề xuất bãi bỏ 3 nhóm: thẩm định thiết kế sau thiết kế cơ sở; cấp chứng chỉ năng lực hoạt động xây dựng cho tổ chức; công nhận tổ chức xã hội nghề nghiệp đủ điều kiện cấp chứng chỉ. Phần thủ tục còn lại được tiếp tục tinh giản và giao Nghị định hướng dẫn quy định chi tiết, bảo đảm dễ áp dụng, dễ kiểm tra.

PHÂN CẤP, PHÂN QUYỀN ĐI ĐÔI VỚI TRÁCH NHIỆM GIẢI TRÌNH

Xuyên suốt dự thảo Luật là nguyên tắc phân cấp, phân quyền đi đôi với trách nhiệm giải trình. Trung ương xác lập khung chuẩn, nguyên tắc, tiêu chí; địa phương được trao quyền nhiều hơn trong thẩm định, cấp phép, kiểm tra, giám sát. Mỗi quyết định hành chính phải gắn với trách nhiệm cá nhân - tổ chức, công khai căn cứ pháp lý và dữ liệu thẩm định.

Cách tiếp cận “Luật quy định khung, Chính phủ hướng dẫn chi tiết” tạo độ linh hoạt thể chế, giúp hệ thống pháp luật cập nhật nhanh các tiến bộ kỹ thuật, công nghệ và kinh nghiệm thực tiễn, đồng thời giảm nguy cơ “cứng hóa” những nội dung nên thuộc cấp dưới luật.

Tại cuộc họp với Lãnh đạo Chính phủ sáng 12/9, Thứ trưởng Bùi Xuân Dũng cho biết, một số nội dung của dự thảo Luật cần tiếp tục lấy ý kiến rộng rãi, trong đó nổi bật là quản lý định mức và giá xây dựng. Phương án được đề xuất theo hướng kép: (i) Bắt buộc áp dụng định mức do cơ quan nhà nước ban hành đối với dự án đầu tư công, bảo đảm kỷ luật ngân sách và tính so sánh; (ii) Cho phép tổ chức, doanh nghiệp xây dựng, điều chỉnh, vận dụng hoặc sử dụng giá xây dựng khi định mức chưa có hoặc chưa phù hợp với thực tiễn, đặc biệt với công nghệ mới, vật liệu mới, điều kiện thi công đặc thù.

Bên cạnh đó, để tăng linh hoạt tài chính, dự thảo Luật bổ sung quy định cơ quan chủ quản được điều chỉnh nội bộ vốn giữa các dự án thành phần, với điều kiện không thay đổi tổng mức đầu tư toàn dự án, mục tiêu, quy mô, tiến độ; sau điều chỉnh phải báo cáo cấp có thẩm quyền. Cơ chế này giảm thủ tục hành chính, cho phép tối ưu nguồn lực theo nhu cầu triển khai thực tế.

Dự thảo Luật Xây dựng (sửa đổi) thể hiện định hướng cải cách nhất quán: giảm thủ tục, tăng minh bạch, phân quyền có trách nhiệm, số hóa toàn diện, đặt nền tảng cho một khung pháp lý hiện đại, phù hợp thông lệ, đủ linh hoạt để theo kịp đổi thay công nghệ và thực tiễn.

Khi được hoàn thiện và thông qua, Luật mới kỳ vọng nâng hiệu lực quản lý nhà nước, tạo môi trường đầu tư thuận lợi, thúc đẩy phát triển hạ tầng, công nghiệp, đô thị, đóng góp thiết thực cho mục tiêu tăng trưởng xanh, bền vững và nâng cao chất lượng sống của người dân.❖

Sửa đổi toàn diện Luật Hàng không dân dụng Việt Nam

**MINH THÀNH**

Luật Hàng không dân dụng Việt Nam (HKDDVN) được ban hành từ năm 2006 và lần sửa đổi, bổ sung gần đây nhất cũng đã 11 năm (2014). Việt Nam đang là 1 trong 10 thị trường hàng không phát triển nhanh nhất khu vực châu Á - Thái Bình Dương. Trước những đòi hỏi thực tiễn, yêu cầu cấp thiết là phải sửa đổi toàn diện Luật HKDDVN.

SỰ CẦN THIẾT XÂY DỰNG LUẬT MỚI THAY THẾ

Sau 19 năm thực hiện, Luật HKDDVN đã thiết lập được hành lang pháp lý cho hoạt động hàng không của Việt Nam; hệ thống quản lý và giám sát an toàn hàng không được thiết lập phù hợp với tiêu chuẩn của Tổ chức Hàng không dân dụng quốc tế (ICAO); bảo đảm năng lực giám sát an toàn bay theo tiêu chuẩn quốc tế, tạo điều kiện cho các hãng hàng không Việt Nam tiếp cận tới các thị trường yêu cầu cao như Bắc Mỹ, châu Âu.

Các cảng hàng không, sân bay được đầu tư, xây dựng, cải tạo nâng cấp đã nâng cao năng lực khai thác, bảo đảm an ninh, an toàn, phục vụ nhu cầu an ninh quốc phòng, góp phần tích cực trong việc phát triển kinh tế - xã hội của địa phương, thực hiện liên kết vùng và kết nối quốc tế. Đến thời điểm cuối năm 2024, số lượng tàu bay khai thác của 5 hãng hàng không Việt Nam là 211 chiếc và các hãng đều có kế hoạch tiếp tục bổ sung, tăng cường đội tàu bay. Thị phần vận chuyển quốc tế luôn đạt hơn 42% với năng lực cạnh tranh ngày càng cao của các hãng hàng không.

Tuy nhiên, trong quá trình triển khai thi hành Luật HKDDVN đã xuất hiện một số phát sinh trong công tác quản lý nhà nước chuyên ngành về hàng không dân dụng. Nội dung quy định về Nhà chức trách hàng không, người đứng đầu Nhà chức trách hàng không trong Luật vẫn chưa bảo đảm đầy đủ theo các quy định của ICAO. Trong khi đó, quy định về an toàn hàng không cũng chưa bảo đảm tính thống nhất, đồng bộ đối với các lĩnh vực hoạt động hàng không (cảng hàng không, sân bay, vận tải hàng không, quản lý hoạt động bay, khai thác tàu bay). Các quy định về trách nhiệm bảo đảm an ninh hàng không cũng cần được cập nhật để bảo đảm tính pháp lý do công tác quản lý nhà nước về an ninh hàng không đã được Bộ Công an tiếp nhận. Đồng thời, chưa có sự thống nhất và cũng chưa có quy định về kế hoạch phát triển đội tàu bay của các hãng hàng không Việt Nam phải phù hợp với kế hoạch và năng lực kết cấu hạ tầng, năng lực giám sát an toàn hàng không của Nhà chức trách hàng không...

KHOI THÔNG CÁC ĐIỂM NGHẼN

Tờ trình của Chính phủ về Dự án Luật HKDDVN (thay thế) chỉ rõ: “Luật HKDDVN cần phải được xem xét để thay thế, nhằm thể chế hóa chủ trương, chính sách của Đảng và Nhà nước, tiếp tục hoàn thiện cơ chế, chính sách trong lĩnh vực hàng không dân dụng; khắc phục những vướng mắc, bất cập cũng như đề xuất, giải quyết các vấn đề mới, vấn đề phát sinh; đồng thời, khơi thông các điểm nghẽn, tạo ra động lực mới cho sự phát triển kinh tế - xã hội, hội nhập quốc tế, bảo đảm quốc phòng - an ninh trong kỷ nguyên mới của dân tộc”.

Dự thảo Luật gồm 11 chương, 107 điều, giảm 95 điều so với Luật hiện hành.

Để cập về sự cần thiết, mục đích, quan điểm xây dựng dự án Luật HKDDVN (sửa đổi), tại phiên họp thứ 49 của Ủy ban Thường vụ Quốc hội ngày 05/9, Bộ trưởng Bộ Xây dựng Trần Hồng Minh nhấn mạnh: Việc xây dựng Luật HKDDVN (thay thế) nhằm thể chế hóa chủ trương, chính sách của Đảng và Nhà nước, hoàn thiện cơ chế, chính sách trong lĩnh vực hàng không dân dụng; thực hiện cam kết của Việt Nam với cộng đồng quốc tế; tăng cường hiệu lực, hiệu quả công tác quản lý Nhà nước lĩnh vực hàng không dân dụng; khắc phục những vướng mắc, bất cập; đề xuất giải quyết các vấn đề mới, vấn đề phát sinh; khơi thông các điểm nghẽn, tạo ra động lực mới cho sự phát triển kinh tế - xã hội, hội nhập quốc tế, đảm bảo quốc phòng - an ninh trong kỷ nguyên mới - kỷ nguyên vươn mình của dân tộc.

Điểm đáng chú ý của dự thảo Luật HKDDVN (thay thế) là sửa đổi quy định về quy hoạch, đầu tư xây dựng, khai thác cảng hàng không, công trình tại cảng hàng không để phù hợp với thực tiễn hoạt động quy hoạch cảng hàng không, thống nhất trong hệ thống pháp luật về quy hoạch. Đồng thời, triển khai đồng bộ các giải pháp, cơ chế về đầu tư xây dựng để doanh nghiệp cảng và doanh nghiệp sở hữu công trình thực hiện quyền và nghĩa vụ đầu tư theo mô hình tiên tiến, phổ biến của các quốc gia trên thế giới.

Ngoài ra, dự thảo Luật bổ sung nhiều quy định trong đó



có quy định về miễn Giấy phép xây dựng đối với các công trình tại cảng hàng không, các công trình bảo đảm hoạt động bay ngoài cảng hàng không nhằm góp phần đơn giản thủ tục hành chính; nâng cao hiệu quả hoạt động xây dựng tại cảng hàng không.

Theo Bộ trưởng Trần Hồng Minh, dự thảo Luật được soạn thảo theo hướng chỉ quy định những vấn đề khung mang tính nguyên tắc, không quy định cụ thể. Vì vậy, việc cắt giảm, đơn giản hóa thủ tục hành chính, điều kiện kinh doanh sẽ được thực hiện ở các văn bản dưới Luật (sau khi Luật được thông qua và ban hành). Dự thảo Luật cũng thực hiện phân cấp mạnh mẽ cho địa phương theo tinh thần "Địa phương quyết, địa phương làm, địa phương chịu trách nhiệm".

TRÌNH QUỐC HỘI SỬA ĐỔI TOÀN DIỆN VÀO KỲ HỌP THÁNG 10/2025

Đánh giá cao việc Chính phủ chuẩn bị hồ sơ dự thảo Luật tương đối đầy đủ, đảm bảo các thành phần hồ sơ và chất lượng để Ủy ban Thường vụ Quốc hội xem xét, tại phiên thảo luận, cho ý kiến ngày 05/9, các thành viên Ủy ban Thường vụ Quốc hội nhất trí sửa đổi toàn diện Luật HKDDVN và xem xét trình Quốc hội thông qua theo quy trình một kỳ họp tại kỳ họp thứ 10 (tháng 10/2025).

Theo Phó Chủ tịch Quốc hội Nguyễn Khắc Định, sau khi tiếp thu ý kiến của Ủy ban Thường vụ Quốc hội, dự án Luật đủ điều kiện để trình Quốc hội xem xét tại kỳ họp thứ 10. Đồng thời, Phó Chủ tịch Quốc hội đề nghị cơ quan chủ trì soạn thảo tham mưu cho Chính phủ tiếp tục rà soát, làm rõ hơn về phạm vi điều chỉnh của dự thảo Luật đối với một số loại tàu bay không người lái, phương tiện bay khác, bảo đảm không trùng lặp, chồng chéo với quy định của Luật Phòng không nhân dân, nhưng cũng không dẫn đến khoảng trống pháp lý trong việc điều chỉnh đối với các loại phương tiện có liên quan; rà soát kỹ các quy định của dự thảo Luật, bảo đảm tương thích với các điều ước quốc tế

Hiện nước ta có 14 hãng bay thương mại và chuyên dụng, đội bay gồm 254 chiếc, phần đầu đến năm 2030 đạt 400 chiếc hiện đại. Hệ thống đường bay theo đó cũng tăng đáng kể, với 52 đường bay nội địa và 211 đường bay quốc tế.

Với tốc độ tăng trưởng trên 8%/năm, số lượng hành khách đi đến, đi từ và trong nội bộ Việt Nam dự kiến sẽ tăng gấp đôi trong vòng thập kỷ tới, với hơn 75 triệu lượt khách/năm.

mà Việt Nam là thành viên và bảo đảm tính thống nhất của hệ thống pháp luật. Trường hợp thật sự cần thiết phải quy định trong Luật này khác với luật hiện hành để đáp ứng yêu cầu mới của hoạt động hàng không dân dụng thì phải sửa đổi, bổ sung ngay trong các luật có liên quan để bảo đảm tính đồng bộ, thống nhất của hệ thống pháp luật...

Ngoài ra, cần rà soát các quy định về đầu tư tài chính, giá cả, thanh toán liên quan đến khai thác cảng hàng không, công trình tại cảng hàng không để tháo gỡ khó khăn, vướng mắc hiện nay, tạo hành lang pháp lý, huy động các nguồn lực ngoài Nhà nước đầu tư vào lĩnh vực hàng không theo tinh thần Nghị quyết mới của Đảng, vừa phục vụ tốt cho mục tiêu phát triển kinh tế - xã hội, vừa tăng cường tiềm lực quốc phòng - an ninh, vừa bảo đảm tính thống nhất của hệ thống pháp luật; các quy định về vấn đề bảo vệ môi trường gắn với chuyển đổi năng lượng hàng không; hoàn chỉnh các quy định về hệ thống thông tin và cơ sở dữ liệu hàng không bảo đảm các tiêu chuẩn quốc tế cũng như yêu cầu hội nhập quốc tế...❖

Hiện thực hóa tầm nhìn chính sách hạ tầng đường sắt



VŨ THÀNH

Hạ tầng đường sắt đang được định vị là một đột phá chiến lược của quốc gia, gắn với mục tiêu phát triển đồng bộ, hiện đại và bền vững. Từ tầm nhìn chính sách đến các chương trình hành động cụ thể, Đường sắt Việt Nam đang bước vào giai đoạn mới với các hành động quyết liệt để tạo động lực kết nối kinh tế - xã hội và nâng tầm vị thế quốc gia.

ĐỊNH HÌNH TẦM NHÌN CHIẾN LƯỢC CHO HẠ TẦNG ĐƯỜNG SẮT

Nghị quyết Đại hội lần thứ XIII của Đảng đã xác định tiếp tục 3 đột phá chiến lược, trong đó có quan tâm đúng mức phát triển giao thông đường sắt; triển khai xây dựng đường sắt tốc độ cao Bắc - Nam, kết nối đồng bộ hệ thống giao thông với các khu vực kinh tế, khu công nghiệp, cảng hàng không, cảng biển; đẩy nhanh tiến độ xây dựng tuyến đường sắt đô thị tại Hà Nội và TP.HCM nhằm giải quyết các điểm nghẽn về hạ tầng giao thông.

Kết luận số 49-KL/TW ngày 28/02/2023 của Bộ Chính trị về định hướng phát triển GTVT đường sắt Việt Nam đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050 xác định: Phát triển GTVT đường sắt hiện đại, đồng bộ nhằm thúc đẩy phát triển kinh tế - xã hội nhanh, bền vững, đáp ứng mục tiêu đến năm 2045 nước ta là nước phát triển có thu nhập cao.

Thủ tướng Chính phủ đã có Quyết định 1769/QĐ-TTg ngày 19/10/2021 phê duyệt Quy hoạch mạng lưới đường sắt thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050; Chính phủ đã ban hành nhiều Nghị quyết quan trọng để triển khai thực hiện các Nghị quyết của Đảng, Quốc hội với mục tiêu phát triển đường sắt đến năm 2030.

Theo đó, đảm bảo duy trì đối với 7 tuyến đường sắt hiện có với tổng chiều dài 2.440 km; từng bước đầu tư, nâng cấp, hiện đại hóa để đáp ứng nhu cầu vận tải hàng hóa và hành khách địa phương; duy trì các nhánh đường sắt nối cảng biển; tiếp tục cải tạo, mở rộng các ga đường sắt kết nối với đường sắt chuyên dùng.

Đối với tuyến đường sắt mới, đầu tư xây dựng mới tối thiểu 9 tuyến đường sắt với tổng chiều dài 2.362 km. Trong đó, tuyến đường sắt tốc độ cao Bắc - Nam có chiều dài khoảng 1.545 km, hoàn thành công tác chuẩn bị đầu tư, thu xếp nguồn lực để khởi công, hoàn thành trước năm 2035;

hoàn thành tuyến đường sắt Lào Cai - Hà Nội - Hải Phòng trước năm 2030.

Về mạng lưới đường sắt đô thị, hoàn thiện mạng lưới đường sắt đô thị tại Thủ đô Hà Nội với 8 tuyến và TP.HCM với 6 tuyến vào năm 2035, góp phần giải quyết bài toán giao thông đô thị bức thiết.

Về kết nối liên thông, đảm bảo kết nối đường sắt với 100% cảng biển loại I, cảng hàng không quốc tế và các cửa khẩu trọng điểm, tạo thành mạng lưới logistics đa phương thức đồng bộ và hiệu quả.

Tầm nhìn đến năm 2050 là hình thành mạng lưới đường sắt hiện đại, tốc độ cao, bao gồm trục Bắc - Nam, các trục Đông - Tây và các tuyến liên vùng, liên vận quốc tế, có khả năng cạnh tranh sòng phẳng với các loại hình vận tải khác. Đây không chỉ là một kế hoạch phát triển hạ tầng giao thông đơn thuần mà còn là chiến lược phát triển kinh tế - xã hội gắn với nâng tầm vị thế quốc gia trên trường quốc tế.

TẠO XUNG LỰC TỪ GIẢI PHÁP ĐỘT PHÁ

Việc Quốc hội thông qua chủ trương đầu tư 2 dự án đường sắt tốc độ cao trên trục Bắc - Nam và đường sắt Lào Cai - Hà Nội - Hải Phòng được xem là "đấu mốc" quan trọng, thể hiện quyết tâm chính trị cao của Đảng và Nhà nước trong việc hiện thực hóa các mục tiêu phát triển hạ tầng giao thông, đặc biệt là đường sắt, tạo tiền đề vững chắc cho sự phát triển đột phá của đất nước trong những thập kỷ tới.

Chia sẻ về các giải pháp đột phá, toàn diện, lãnh đạo BQLDA Đường sắt cho biết, trước hết, hệ thống pháp luật và thể chế điều phối triển khai dự án phải đi trước một bước. Hoàn thiện, đồng bộ hóa tiêu chuẩn, quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về thiết kế, thi công, điện khí hóa, vận hành... là yêu cầu cấp bách.

Song song với đó, cần ban hành các quy định hướng dẫn



Tuyến đường sắt Lào Cai - Hà Nội - Hải Phòng dự kiến khởi công cuối năm 2025, hoàn thành trước năm 2030.

thi hành Luật Đường sắt, Nghị định về cơ chế đặc thù cho các dự án đường sắt, tạo hành lang pháp lý thống nhất trong tổ chức đầu tư và quản lý. Thiết lập cơ chế điều phối liên ngành với sự tham gia của các bộ ngành và UBND các tỉnh, thành phố, đảm bảo “6 rõ”: Rõ người - Rõ việc - Rõ tiến độ - Rõ trách nhiệm - Rõ sản phẩm - Rõ thẩm quyền.

Vấn đề vốn cũng là thách thức then chốt. Cần huy động và phân bổ vốn linh hoạt, bố trí vốn khả thi, linh hoạt; bố trí đủ vốn đầu tư công trung hạn 2026 - 2030 cho công tác GPMB, thiết kế, chuẩn bị kỹ thuật và các hạng mục thiết yếu, khuyến khích huy động các nguồn vốn, vay ưu đãi từ các định chế tài chính, đẩy nhanh đàm phán hiệp định khung và hợp đồng tài chính.

Đồng thời, đẩy mạnh triển khai PPP có chọn lọc; áp dụng cơ chế khai thác hiệu quả quỹ đất xung quanh các nhà ga đường sắt (TOD). Xây dựng cơ chế ưu đãi cho nhà đầu tư trong và ngoài nước có cam kết chuyển giao công nghệ.

Nhân lực và công nghiệp đường sắt trong nước cũng cần được phát triển song hành. Việc đào tạo kỹ sư, chuyên gia làm chủ công nghệ lõi như tín hiệu, thiết kế tàu, bảo trì điện - cơ khí phải gắn chặt với tiến độ triển khai dự án. Đồng thời, cơ chế đặt hàng và giao nhiệm vụ cho doanh nghiệp trong nước tham gia chế tạo đầu máy, toa xe, thiết bị tín hiệu, ray tà vẹt, điện khí hóa sẽ thúc đẩy nội địa hóa, giảm phụ thuộc vào nguồn nhập khẩu. Thành lập Trung tâm nghiên cứu và chuyển giao công nghệ đường sắt quốc gia, xây dựng mô hình tổ hợp sản xuất - đào tạo - nghiên cứu là bước đi cần thiết để tạo nền tảng phát triển lâu dài.

Ở góc độ triển khai, tiến độ khởi công 2 dự án trọng điểm đòi hỏi sự khẩn trương và quyết liệt. Việc công bố hướng tuyến chính thức, bàn giao mốc giới, thiết lập khu tái định cư phải được thực hiện song song với công tác chuẩn bị kỹ thuật. Cách tiếp cận “làm việc nào dứt việc đó”, tổ chức đấu

thầu theo hướng song song - đồng thời giúp tránh tình trạng chậm trễ dây chuyền. Bên cạnh đó, ứng dụng công nghệ số, mô hình BIM, hệ thống quản lý dự án hiện đại sẽ tăng cường tính minh bạch, kiểm soát chặt chẽ tiến độ và chất lượng...

Một giải pháp tạo đột phá khác là tăng cường ứng dụng công nghệ thông tin, mô hình BIM và hệ thống quản lý dự án hiện đại trong công tác quản lý tiến độ, hồ sơ kỹ thuật và điều phối nhà thầu, tư vấn trong và ngoài nước; tổ chức truyền thông chủ động, minh bạch, thường xuyên cập nhật tiến độ, giải đáp vướng mắc từ nhân dân và doanh nghiệp, góp phần tạo đồng thuận xã hội, nhất là trong các khâu dễ phát sinh xung đột lợi ích như GPMB và tái định cư.

Với nhận thức rằng, một quốc gia hiện đại, phát triển ở trình độ cao trước hết phải có một hệ thống giao thông đường sắt đồng bộ - hiện đại, hệ thống kết cấu hạ tầng giao thông đường sắt ở Việt Nam sẽ tiếp tục được tạo động lực lớn để phát triển.

Theo BQLDA Đường sắt, những gì đã làm được trong thời gian qua mới chỉ là bước khởi đầu cho một hành trình còn rất gian nan, đòi hỏi những nỗ lực không ngừng, phấn đấu liên tục mới có thể hoàn thành những nhiệm vụ lớn hơn, quan trọng hơn trong những năm tới đây.❖

HOÀN THIỆN HỆ THỐNG TIÊU CHUẨN, QUY CHUẨN KỸ THUẬT:

“Kim chỉ nam” định hướng tương lai hạ tầng đường sắt

> VŨ THÀNH VŨ

Hệ thống tiêu chuẩn, quy chuẩn kỹ thuật là cơ sở khoa học rất quan trọng để căn cứ lựa chọn hình thức đầu tư, xác định tiêu chí lựa chọn nhà đầu tư.

Việc hoàn thiện hệ thống tiêu chuẩn, quy chuẩn kỹ thuật cho các dự án đường sắt trọng điểm đang trở thành nhiệm vụ cấp thiết, đóng vai trò như “kim chỉ nam” để bảo đảm các bước triển khai được đồng bộ, an toàn và hiệu quả. Đây là cơ sở quan trọng để lựa chọn công nghệ, phương thức đầu tư và kêu gọi nguồn lực, hướng tới hình thành một hệ thống hạ tầng đường sắt hiện đại, đáp ứng yêu cầu phát triển lâu dài.

NHANH CHÓNG ĐỊNH HÌNH HỆ THỐNG TIÊU CHUẨN, QUY CHUẨN

Thủ tướng Chính phủ Phạm Minh Chính vừa biểu dương Bộ Xây dựng, Bộ KH&CN, các cơ quan, đơn vị đã có nhiều nỗ lực, cố gắng trong thực hiện nhiệm vụ được giao liên quan đến việc triển khai các dự án đường sắt trọng điểm quốc gia. Đến nay, bộ tiêu chuẩn, quy chuẩn liên quan đã định hình cơ bản.

Đặc biệt, các tiêu chuẩn, quy chuẩn liên quan là cơ sở khoa học rất quan trọng để căn cứ thực hiện các bước tiếp theo như lựa chọn hình thức đầu tư, xác định tiêu chí lựa chọn nhà đầu tư..., bảo đảm các dự án đường sắt sẽ được thực hiện đồng bộ, an toàn và hiệu quả. Quan điểm này đã được Thủ tướng Chính phủ chỉ đạo xuyên suốt tại rất nhiều văn bản, cần được các cơ quan, đơn vị liên quan nghiêm túc quán triệt.

Thủ tướng Phạm Minh Chính yêu cầu Bộ KH&CN chủ trì, cùng Bộ Xây dựng và các Bộ, cơ quan liên quan, căn cứ luật pháp và tình hình Việt Nam, thông lệ quốc tế và các tiêu chuẩn ISO, khẩn trương hoàn thiện bộ quy chuẩn, tiêu chuẩn Việt Nam trên cơ sở tham khảo, kế thừa, tiếp thu các tiêu chuẩn, quy chuẩn quốc tế; công bố theo thẩm quyền và quy định, nếu vượt thẩm quyền thì báo cáo cấp có thẩm quyền.

Nghị quyết của Quốc hội về chủ trương đầu tư Dự án đầu

tư xây dựng tuyến đường sắt Lào Cai - Hà Nội - Hải Phòng đã cho phép đầu tư dự án với tốc độ thiết kế tối đa 160 km/h, Thủ tướng chỉ đạo các cơ quan nghiên cứu, đề xuất lựa chọn công nghệ phù hợp nhất, hiệu quả nhất và xây dựng quy chuẩn, tiêu chuẩn theo công nghệ đó.

Tương tự, với Dự án đường sắt tốc độ cao Bắc - Nam, chủ trương của Trung ương, Bộ Chính trị và Nghị quyết của Quốc hội đã xác định tốc độ thiết kế 350 km/h, Thủ tướng yêu cầu các cơ quan nghiên cứu lựa chọn công nghệ phù hợp nhất, hiệu quả nhất và xây dựng quy chuẩn, tiêu chuẩn theo công nghệ đó.

Thủ tướng cũng yêu cầu các cơ quan công bố công khai các quy chuẩn, tiêu chuẩn nói trên để áp dụng cho các dự án, triển khai đầu tư, kêu gọi đầu tư theo các hình thức đầu tư công, đầu tư PPP và các hình thức đầu tư sử dụng nguồn vốn hợp pháp khác; từ nay đến tháng 10/2025 cần hoàn thành việc công bố các tiêu chuẩn, quy chuẩn để khẩn trương triển khai các bước công việc tiếp theo. Trên cơ sở đó xem xét lựa chọn phương thức đầu tư, nhà đầu tư theo đúng quy trình, thủ tục, thẩm quyền và quy định pháp luật trong tháng 10/2025; đồng thời, báo cáo Thủ tướng Chính phủ những nội dung vượt thẩm quyền.

SẴN SÀNG CHO KỶ NGUYÊN MỚI CỦA ĐƯỜNG SẮT

Chỉ đạo rà soát, tổng hợp, hệ thống hóa đầy đủ các tiêu chuẩn hiện hành trong lĩnh vực đường sắt, Bộ trưởng Bộ Xây dựng Trần Hồng Minh yêu cầu, hệ thống đường sắt cần được phân loại thành 3 nhóm chính để thuận tiện cho việc rà soát và áp dụng tiêu chuẩn, gồm: Đường sắt đô thị; đường sắt thông thường có vận tốc dưới 200 km/h; đường sắt tốc độ cao, với vận tốc từ trên 200 km/h đến dưới 400 km/h. Từ đó, các đơn vị có trách nhiệm tiếp tục rà soát, thống kê các tiêu chuẩn hiện hành gồm cả tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN) và tiêu



chuẩn quốc tế đã được cho phép vận dụng tại Việt Nam.

Theo yêu cầu của Bộ trưởng Trần Hồng Minh, cần xác định rõ từng tiêu chuẩn thuộc nhóm danh mục nào trong chuỗi các yếu tố kỹ thuật như kết cấu hạ tầng, thông tin tín hiệu, phương tiện, an toàn vận hành... Song hành với đó, mỗi tiêu chuẩn cần được đánh giá về mức độ khả thi khi áp dụng đối với từng loại hình đường sắt.

Theo Thứ trưởng Phạm Minh Hà, với các dự án có công nghệ phức tạp, đặc biệt là trong các lĩnh vực mà Việt Nam chưa có kinh nghiệm triển khai, thì công tác thẩm định công nghệ cần được thực hiện sớm, thậm chí cần làm trước cả bước thẩm định dự án. Trường hợp dự án đường sắt tốc độ cao cũng không ngoại lệ.

Trước mắt, cần tiến hành rà soát, thống kê các tiêu chuẩn có thể dùng chung cho lĩnh vực đường sắt, đồng thời nghiên cứu thêm các tiêu chuẩn quốc tế có khả năng áp dụng tại Việt Nam. Khi công nghệ đã được xác định, có thể triển khai ngay mà không lo thiếu tiêu chuẩn để thực hiện.

Thứ trưởng Nguyễn Danh Huy nhìn nhận, yêu cầu cấp thiết hiện nay là xác định các thông số kỹ thuật chủ yếu của dự án đường sắt. Trên cơ sở đó, đơn vị tư vấn có trách nhiệm lựa chọn công nghệ phù hợp và đề xuất danh mục tiêu chuẩn áp dụng cho dự án.

Luật Tiêu chuẩn và Quy chuẩn kỹ thuật cho phép dự án áp dụng đồng thời cả TCVN và tiêu chuẩn nước ngoài, phải đảm bảo tính tương thích với công nghệ lựa chọn. Việc kết hợp linh hoạt các nguồn tiêu chuẩn là một lợi thế trong bối cảnh Việt Nam đang tiếp cận công nghệ tiên tiến toàn cầu, đặc biệt trong lĩnh vực đường sắt tốc độ cao.

Theo PGS.TS Lê Trung Thành - Vụ trưởng Vụ KHCNMT&VLXD (Bộ Xây dựng), việc xây dựng quy chuẩn kỹ thuật và tiêu chuẩn về đường sắt tốc độ cao được thực hiện theo quy định của Luật Tiêu chuẩn và Quy chuẩn kỹ thuật.

Theo yêu cầu của Bộ trưởng Trần Hồng Minh, cần xác định rõ từng tiêu chuẩn thuộc nhóm danh mục nào trong chuỗi các yếu tố kỹ thuật như kết cấu hạ tầng, thông tin tín hiệu, phương tiện, an toàn vận hành... Song hành với đó, mỗi tiêu chuẩn cần được đánh giá về mức độ khả thi khi áp dụng đối với từng loại hình đường sắt.

Trong lĩnh vực đường sắt, trước đây Bộ GTVT (nay là Bộ Xây dựng) đã xây dựng và công bố 11 quy chuẩn kỹ thuật quốc gia (QCVN) cùng 130 TCVN có thể áp dụng cho một số hạng mục liên quan đến đường sắt tốc độ cao, đường sắt điện khí hóa và đường sắt đô thị. Các lĩnh vực đã được bao phủ bao gồm công trình, phương tiện, thông tin tín hiệu và điều khiển, điện, sức kéo.

Đặc biệt với đường sắt tốc độ cao là loại hình mới, các tiêu chuẩn kỹ thuật hiện hành chủ yếu tập trung vào phần kết cấu hạ tầng giao thông. Tính đến thời điểm hiện tại, Việt Nam đã công bố được 81 TCVN dùng cho các công trình kết cấu hạ tầng.

Bên cạnh đó, đang có 36 dự thảo TCVN tiếp tục được xây dựng trên cơ sở tham khảo tiêu chuẩn châu Âu và các tiêu chuẩn quốc tế có thể áp dụng tại Việt Nam. Nếu được thông qua, tổng số tiêu chuẩn Việt Nam có thể áp dụng cho đường sắt tốc độ cao sẽ lên tới 117 TCVN.

Tiêu chuẩn, quy chuẩn kỹ thuật liên quan là cơ sở khoa học rất quan trọng để căn cứ lựa chọn hình thức đầu tư, xác định tiêu chí lựa chọn nhà đầu tư.❖

Khoa học công nghệ - động lực để ngành Xây dựng bứt phá



HOÀNG THẠCH

Muốn nâng cao năng suất, chất lượng, hiệu quả và hội nhập sâu rộng, ngành Xây dựng phải lấy khoa học công nghệ, đổi mới sáng tạo và chuyển đổi số làm nền tảng. Đây không còn là lời kêu gọi, mà là mệnh lệnh sống còn để phát triển.

NHỮNG BƯỚC TIẾN VƯỢT BẬC

Tại Hội nghị triển khai Nghị quyết số 57-NQ/TW của Bộ Chính trị; Nghị quyết số 71/NQ-CP của Chính phủ về thúc đẩy hoạt động khoa học công nghệ, đổi mới sáng tạo và chuyển đổi số (KHCN, ĐMST&CĐS) ngành Xây dựng được tổ chức vừa qua, Bộ trưởng Bộ Xây dựng Trần Hồng Minh chỉ rõ, hai Nghị quyết được ban hành trong một thời điểm đặc biệt, khi KHCN, ĐMST&CĐS đã trở thành xu thế toàn cầu, là yếu tố quyết định sự phát triển nhanh, bền vững của mỗi quốc gia. Đối với ngành Xây dựng, Nghị quyết càng có ý nghĩa to lớn khi chúng ta đang đứng trước những thách thức lớn: Hạ tầng kỹ thuật cần hiện đại hóa mạnh mẽ hơn, tốc độ đô thị hóa ngày càng cao, yêu cầu phát triển xanh - thông minh - bền vững ngày càng cấp thiết. Rõ ràng, mô hình quản lý truyền thống và cách làm thủ công không còn phù hợp; muốn nâng cao năng suất, chất lượng, hiệu quả và hội nhập sâu rộng, chúng ta phải lấy KHCN, ĐMST&CĐS làm nền tảng.

Bộ trưởng Trần Hồng Minh chia sẻ, ngành Xây dựng đã có những bước tiến dài từ những công trình đá cổ xưa đến những thành phố với các chức năng thông minh được hỗ trợ bởi trí tuệ nhân tạo (AI). Thế kỷ 21 với những tiến bộ công nghệ hiện đại như: Thiết kế hỗ trợ máy tính (CAD), Mô hình thông tin xây dựng (BIM), Hệ thống thông tin địa lý (GIS)... đã cách mạng hóa công tác quy hoạch và xây dựng cho phép thu thập, lưu trữ, quản lý, phân tích và hiển thị dữ liệu không gian địa lý, mô hình hóa chính xác và phối hợp xây dựng dự án tốt hơn. Thập kỷ qua, xây dựng xanh đã trở thành ưu tiên hàng đầu, vật liệu thân thiện với môi trường và thiết kế tiết kiệm năng lượng đang ngày càng được ưa chuộng. Xu hướng

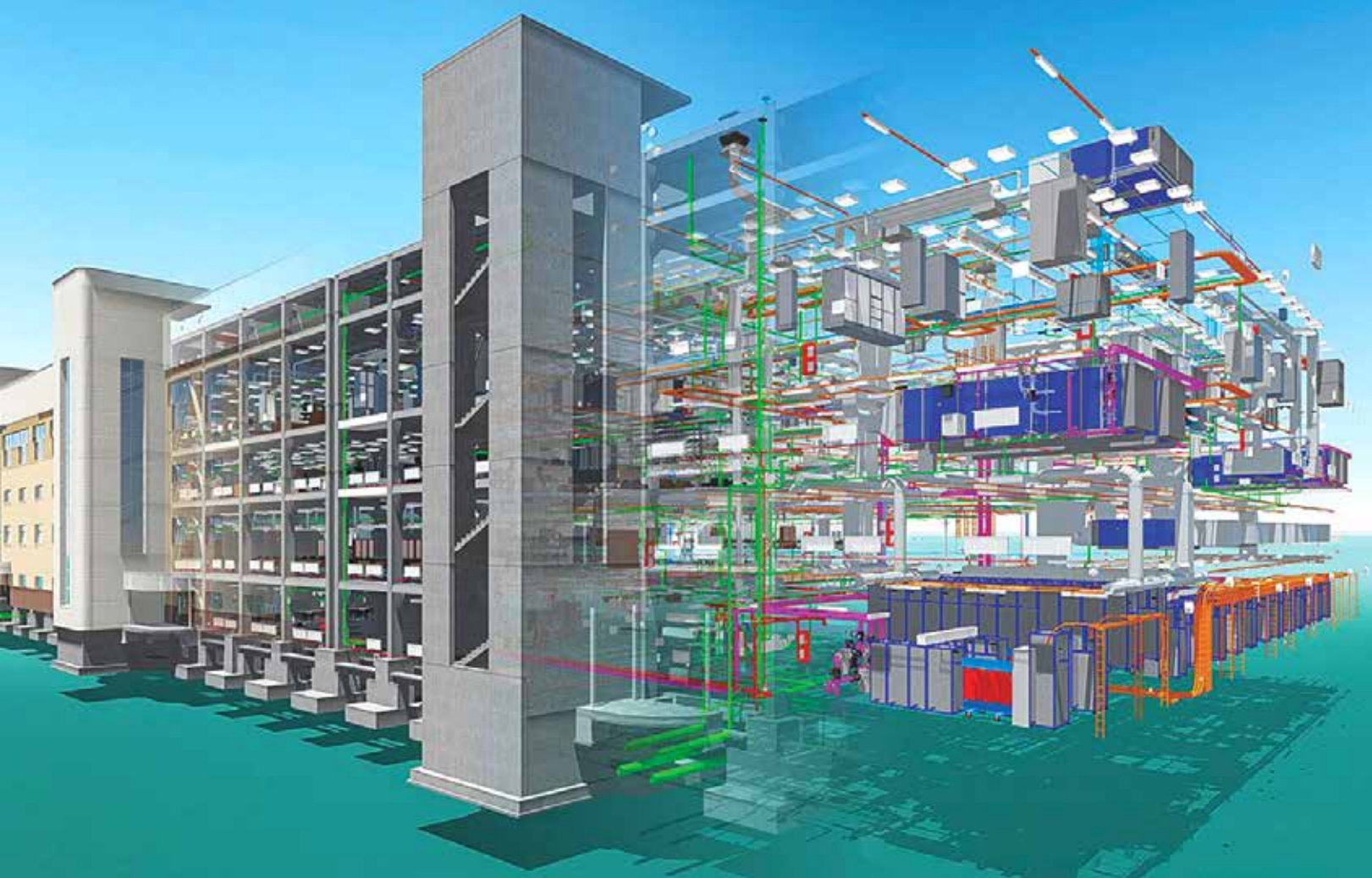
tương lai sẽ là áp dụng AI và tự động hóa để hợp lý hóa quản lý dự án và giảm thiểu sai sót xây dựng, nâng cao hiệu quả hoạt động xây dựng.

Tại nhiều quốc gia, ngành Xây dựng đã và vẫn sẽ là ngành tạo ra tài sản (ở dạng vật thể) và tạo ra tác động kinh tế - xã hội cụ thể nhất, dễ cảm nhận nhất: Đóng vai trò quan trọng trong việc tạo ra đô thị, khu định cư với nhà ở và cơ sở hạ tầng bền vững cho người dân; tạo ra các hạ tầng kinh tế khác như đường giao thông, sân bay, cảng biển, khu công nghiệp...

Bộ trưởng Trần Hồng Minh chỉ rõ, công nghiệp hóa là con đường ngắn nhất để tạo ra tăng trưởng kinh tế bền vững và có thể đi đến thịnh vượng. Đối với Việt Nam cũng như các quốc gia khác, trong từng giai đoạn, việc xác định được tầm nhìn, hướng đi và mô hình phát triển luôn là ưu tiên hàng đầu. Căn cứ năng lực hiện trạng cũng như tiềm năng của Việt Nam thì lĩnh vực xây dựng (xây dựng và giao thông) là lĩnh vực có thể bước vào giai đoạn công nghiệp hóa thuận lợi hơn, hiệu quả hơn so với các lĩnh vực sản xuất khác. Thành công của các doanh nghiệp Việt Nam trong sản xuất VLXD (xi măng, bê tông đúc sẵn, thép, vật liệu ốp lát, kính xây dựng...), làm chủ công nghệ thi công các công trình dân dụng và công trình giao thông quy mô lớn, làm chủ công nghệ đóng tàu, hàng không... là nền tảng để cho hiện đại hóa ngành Xây dựng.

Đồng thời, Bộ trưởng Trần Hồng Minh cũng gợi mở và chia sẻ các giải pháp ưu tiên, mang tính đột phá như:

Một là, khắc phục triệt để những điểm nghẽn về thể chế; rà soát, sửa đổi, bổ sung quy định để tháo gỡ khó khăn, đơn giản hóa thủ tục, tạo điều kiện thuận lợi cho hoạt động KHCN, ĐMST&CĐS trong Ngành.



Hai là, xác định và ưu tiên triển khai các chương trình, nhiệm vụ KHCN, ĐMST&CĐS có tiềm năng, có tính lan tỏa, có khả năng ứng dụng và thương mại hóa cao trong giai đoạn 2025 - 2030.

Ba là, chú trọng phát triển nguồn nhân lực KHCN, ĐMST&CĐS, yếu tố quyết định sự thành công; đồng thời hoàn thiện cơ chế, chính sách để thu hút chuyên gia, trí thức giỏi trong nước và quốc tế.

Bốn là, thúc đẩy chuyển đổi số toàn diện trong toàn Ngành; từ xây dựng văn bản pháp luật, quy chuẩn, tiêu chuẩn cho tới quản lý dự án, thiết kế, thi công, nghiệm thu và vận hành... tất cả đều phải được số hóa, minh bạch, kết nối và truy xuất toàn diện.

MỆNH LỆNH SỐNG CÒN ĐỂ PHÁT TRIỂN

PGS.TS Lê Trung Thành - Vụ trưởng Vụ KHCNMT&VLXD cho biết, đối với Bộ Xây dựng, Nghị quyết số 57-NQ/TW và Nghị quyết số 71/NQ-CP được coi là kim chỉ nam cho quá trình hiện đại hóa toàn diện ngành Xây dựng và GTVT. Đây là một nội dung quan trọng và đã được Bộ Xây dựng triển khai thực hiện với việc ban hành Quyết định số 462/QĐ-BXD ngày 21/4/2025 về Kế hoạch hành động của Bộ Xây dựng thực hiện các nghị quyết và phổ biến đến các đơn vị; ban hành 07 Quyết định; 01 Nghị quyết chuyên đề và các văn bản đơn đốc, chỉ đạo về công tác phát triển KHCN, ĐMST&CĐS và Đề án 06...

Muốn nâng cao năng suất, chất lượng, hiệu quả và hội nhập sâu rộng, ngành Xây dựng phải lấy KHCN, ĐMST&CĐS làm nền tảng. Đây không còn là lời kêu gọi, mà là mệnh

lệnh sống còn để phát triển. Chính vì thế, định hướng triển khai hoạt động KHCN, ĐMST&CĐS thời gian tới, Bộ trưởng Trần Hồng Minh đã giao các tổ chức KHCN, đơn vị chuyên môn, doanh nghiệp trong Ngành tập trung nguồn lực, kinh phí KHCN... vào các đề tài, nhiệm vụ nghiên cứu "giải mã công nghệ" và "Việt Nam hóa" các công nghệ chuyên ngành đã được triển khai tại các quốc gia phát triển để nhanh chóng đưa vào ứng dụng thực tiễn tại Việt Nam như: Nghiên cứu các giải pháp KHCN, ĐMST&CĐS để phát triển đô thị thông minh, hệ thống giao thông thông minh; Nghiên cứu xây dựng bản đồ địa chất tại các đô thị để phục vụ công tác thiết kế, xây dựng công trình; Ứng dụng mô hình BIM và trí tuệ nhân tạo (AI) để khảo sát, thiết kế, thi công, nghiệm thu và vận hành công trình xây dựng dân dụng và công nghiệp, giao thông; Nghiên cứu các giải pháp để phát triển phương tiện vận tải theo mô hình phát thải thấp và chuyển đổi năng lượng xanh trong GTVT; Từng bước tiếp nhận chuyển giao công nghệ, quản lý khai thác và bảo trì đường sắt tốc độ cao, đường sắt đô thị; Phát triển các loại vật liệu thay thế cát xây dựng, cát san lấp công trình và làm móng đường bộ cao tốc, rút ngắn thời gian gia tải chờ lún, đẩy nhanh tiến độ thi công các công trình đường bộ cao tốc; Nghiên cứu ứng dụng thiết bị bay không người lái (Drone) và trí tuệ nhân tạo (AI) trong khảo sát, dự báo và ứng phó thiên tai đối với hạ tầng giao thông đường bộ Việt Nam; Chuyển đổi sử dụng điện, năng lượng xanh hoặc các biện pháp tương đương đối với tàu biển và phương tiện thủy nội địa; Các giải pháp để xử lý rác thải, nước thải đô thị và nông thôn...❖

Sửa đổi, bổ sung Luật Quy hoạch đô thị và nông thôn **phù hợp với tổ chức chính quyền 2 cấp**

> AN THẢO

Bộ Xây dựng đề xuất dự thảo Luật Sửa đổi, bổ sung một số điều của Luật Quy hoạch đô thị và nông thôn; dự thảo Nghị quyết của Ủy ban Thường vụ Quốc hội về phân loại đô thị và văn bản hướng dẫn thi hành nhằm hoàn thiện hệ thống pháp luật về quy hoạch đô thị và nông thôn, phù hợp với mô hình chính quyền địa phương 2 cấp.

ĐỀ XUẤT 3 NHÓM TIÊU CHÍ ĐÁNH GIÁ PHÂN LOẠI ĐÔ THỊ

Luật Quy hoạch đô thị và nông thôn năm 2024 gồm 5 chương, 59 điều, có hiệu lực thi hành từ ngày 01/7/2025. Luật này quy định về hệ thống quy hoạch đô thị và nông thôn; lập, thẩm định, phê duyệt, rà soát, điều chỉnh, tổ chức quản lý quy hoạch đô thị và nông thôn; quản lý nhà nước về quy hoạch đô thị và nông thôn...

Cũng theo quy định của Luật này, đô thị được phân thành 6 loại gồm: loại đặc biệt, loại I, loại II, loại III, loại IV và loại V theo quy định của pháp luật về phân loại đô thị.

Bên cạnh đó, hệ thống phân loại đô thị hiện nay đang chịu sự điều chỉnh bởi hai Nghị quyết của Ủy ban Thường vụ Quốc hội: Nghị quyết 1210/2016/UBTVQH13 (sửa đổi bởi Nghị quyết 26/2022/UBTVQH15) dùng để phân loại đô thị theo các tiêu chí và tiêu chuẩn mang tính kỹ thuật và Nghị quyết 1211/2016/UBTVQH13 phân loại đơn vị hành chính đô thị theo các tiêu chuẩn để phục vụ quản lý hành chính.

Bộ Xây dựng cho biết, dự thảo Luật Sửa đổi, bổ sung một số điều của Luật Quy hoạch đô thị và nông thôn nhằm hoàn thiện hệ thống pháp luật về quy hoạch đô thị và nông thôn, thực hiện mô hình chính quyền địa phương 2 cấp, đẩy mạnh phân quyền, phân cấp, đơn giản hóa thủ tục hành chính, cải thiện môi trường đầu tư, kinh doanh, phát triển kinh tế tư nhân, đáp ứng các yêu cầu phát triển khoa học, công nghệ, đổi mới sáng tạo, chuyển đổi số; bảo đảm tính thống nhất, đồng bộ của hệ thống pháp luật.

Theo Thứ trưởng Bộ Xây dựng Nguyễn Tường Văn, một điểm mới quan trọng của dự thảo là phân cấp mạnh mẽ hơn, nhưng linh hoạt. Cấp xã có thể tự lập, phê duyệt quy hoạch khi đủ năng lực; trường hợp vùng sâu, vùng xa chưa bảo đảm, cấp tỉnh sẽ trực tiếp hỗ trợ và quyết định.

Thứ trưởng Văn khẳng định, quy hoạch đô thị và nông

thôn bao gồm đầy đủ chỉ tiêu kỹ thuật, kinh tế - xã hội, quy chuẩn xây dựng. Nhờ đó, loại quy hoạch này có thể thay thế cho nhiều quy hoạch khác, kể cả kế hoạch sử dụng đất.

Liên quan đến dự thảo Nghị quyết của Ủy ban Thường vụ Quốc hội về phân loại đô thị, Thứ trưởng Nguyễn Tường Văn nêu rõ, mục tiêu đặt ra là đánh giá chất lượng quy hoạch, hạ tầng và mức độ phát triển đô thị, gắn với nhu cầu xem xét để chuyển từ xã thành phường hoặc tỉnh trở thành thành phố.

Trên cơ sở đó, Bộ Xây dựng đề xuất 3 nhóm tiêu chí chính để đánh giá phân loại đô thị gồm: Vai trò, vị trí và chức năng (chính trị, hành chính, kinh tế, văn hóa - xã hội, trung tâm tổng hợp hay chuyên ngành); Mức độ đô thị hóa (quy mô dân số, tỷ lệ lao động phi nông nghiệp, tỷ lệ dân số đô thị - nông thôn); Trình độ phát triển hạ tầng và không gian kiến trúc cảnh quan (hạ tầng kỹ thuật, hạ tầng xã hội, tổ chức quản lý phát triển).

Dựa trên 3 nhóm tiêu chí, hệ thống đô thị cả nước sẽ được phân thành 4 nhóm cơ bản: Đô thị trung tâm cấp quốc gia (các thành phố trực thuộc Trung ương, có trình độ phát triển cao nhất, đóng vai trò đầu tàu, thậm chí vươn tầm khu vực); Đô thị trung tâm cấp vùng (liên quan đến vai trò liên tỉnh, vùng); Đô thị trung tâm cấp tỉnh; Các đô thị cấp dưới, gắn với xã - phường chuyển lên.

Các tiêu chí cũng mang tính định hướng để chính quyền địa phương dựa vào đó đối chiếu, xác định những gì đã có, những gì còn thiếu, từ đó lập chương trình, kế hoạch đầu tư theo lộ trình.

Đáng chú ý, với việc không còn chính quyền đô thị riêng (thành phố trực thuộc tỉnh, thị trấn, thị xã...), Bộ Xây dựng đề xuất tiêu chí mới để xác định phạm vi và ranh giới đô thị, dựa trên quy mô dân số và diện tích, gắn với hệ thống quy chuẩn, tiêu chuẩn kỹ thuật, là nơi tập trung dân cư đông, có tỷ lệ lao động phi nông nghiệp cao, có hạ tầng kỹ thuật và hạ tầng xã hội đầy đủ.



HƯỚNG ĐẾN 3 MỤC TIÊU LỚN

Phó Thủ tướng Trần Hồng Hà đánh giá, thời gian qua quá trình xây dựng pháp luật trong lĩnh vực quy hoạch đô thị, nông thôn còn nhiều hạn chế, từ nhận thức thiếu thống nhất, tư duy phân tán đến phương pháp luận chưa chặt chẽ. Điều đó dẫn tới hệ thống pháp luật về quy hoạch còn chồng chéo, mâu thuẫn, thiếu tính tổng thể, cản trở sự phát triển. Trong khi đó, Luật Quy hoạch đô thị và nông thôn là nền tảng pháp lý cho quản lý, phát triển hệ thống đô thị - nông thôn trong nhiều thập niên tới, liên quan trực tiếp đến phát triển quốc gia, cần được xây dựng một cách căn cơ, đồng bộ và khắc phục triệt để những bất cập hiện nay.

Từ thực tế này, việc sửa đổi phải hướng đến 3 mục tiêu lớn:

Thứ nhất, Luật phải bảo đảm tính đồng bộ và thống nhất với hệ thống chính quyền 2 cấp, gắn với phân cấp, phân quyền và xử lý triệt để những bất cập kéo dài.

Thứ hai, Luật cần kế thừa những thành quả đã có là hàng trăm đô thị đã hình thành, nhiều quy hoạch vùng và chiến lược phát triển kinh tế - xã hội vẫn đang phát huy tác dụng, không thể phủ nhận hay xóa bỏ, nhưng phải được rà soát, điều chỉnh cho phù hợp.

Thứ ba, Luật phải định hướng phát triển hiện đại, xây dựng quy hoạch tổng thể mạng lưới đô thị - nông thôn trên phạm vi toàn quốc; đồng thời phân loại đô thị dựa trên tiêu chí khoa học, có tính dự báo và phản ánh đúng chất lượng sống.

Phó Thủ tướng nhấn mạnh, mấu chốt là cần xác định rõ bản chất quy hoạch đô thị và nông thôn là quy hoạch quốc gia hay quy hoạch ngành, cơ sở khoa học và vị trí pháp lý ra sao.

Việc phân loại đô thị đặc biệt, đô thị loại I, II, III, IV không thể chỉ dựa vào quy mô dân số hay mật độ xây dựng mà cần

Luật Sửa đổi, bổ sung một số điều của Luật Quy hoạch đô thị và nông thôn phải vừa giữ được những thành quả, di sản đã có, vừa loại bỏ những bất cập cũ, để mở ra một giai đoạn phát triển đô thị - nông thôn hiện đại, bền vững, phù hợp với bối cảnh mới.

bộ tiêu chí phản ánh chiều sâu chất lượng, từ bản sắc văn hóa - kiến trúc, thích ứng biến đổi khí hậu, đô thị thông minh, chuyển đổi số, đến quy hoạch giao thông, không gian ngầm, các thiết chế y tế, giáo dục, văn hóa, thể thao.

Luật sửa đổi cũng phải định hình rõ các mô hình phát triển như đô thị nén, đô thị sinh thái, đô thị thông minh, đô thị theo hướng tuyến giao thông (TOD), đô thị vệ tinh... để bảo đảm định hướng dài hạn.

Phó Thủ tướng đặc biệt quan tâm đến nội dung quy hoạch nông thôn, với việc làm rõ mật độ, cơ cấu kinh tế, đất nông nghiệp, môi trường, hạ tầng và bản sắc kiến trúc nông thôn, đồng thời có mẫu thiết kế phù hợp cho từng vùng.

“Luật sửa đổi, bổ sung một số điều của Luật Quy hoạch đô thị và nông thôn phải vừa giữ được những thành quả, di sản đã có, vừa loại bỏ những bất cập cũ, để mở ra một giai đoạn phát triển đô thị - nông thôn hiện đại, bền vững, phù hợp với bối cảnh mới. Những vấn đề lớn, mang tính nguyên tắc phải được luật hóa, còn các vấn đề kỹ thuật, chi tiết sẽ giao Chính phủ quy định. Bộ tiêu chí phân loại đô thị cần được xây dựng rõ ràng, có thể đưa vào Nghị quyết của Quốc hội hoặc của Ủy ban Thường vụ Quốc hội thông qua để tạo cơ sở triển khai ngay”, Phó Thủ tướng nhấn mạnh.❖

Tác động mô hình chính quyền địa phương 2 cấp đến định hướng phát triển hệ thống đô thị - nông thôn



TS.KTS PHẠM THỊ NHÂM

1. MỞ ĐẦU

Từ ngày 01/7/2025, Việt Nam chính thức triển khai mô hình chính quyền địa phương 2 cấp, đi kèm với việc sắp xếp, sáp nhập đơn vị hành chính, thu gọn đầu mối trung gian nhằm tinh gọn bộ máy, nâng cao hiệu lực - hiệu quả quản trị và thích ứng với tốc độ đô thị hóa nhanh. Đây không chỉ là thay đổi về tổ chức hành chính, mà còn là sự điều chỉnh cấu trúc quản trị, có tác động trực tiếp đến quy hoạch, quản lý và đầu tư phát triển đô thị - nông thôn trên phạm vi toàn quốc.

Trong bối cảnh đó, Nghị quyết số 06-NQ/TW (2022) đã nhấn mạnh tầm quan trọng của phát triển bền vững hệ thống đô thị, còn Quyết định số 891/QĐ-TTg (2024) xác định cấu trúc không gian đô thị - nông thôn, trực hành lang phát triển và nguyên tắc tổ chức mạng lưới theo cấp bậc chức năng. Đây là cơ sở quan trọng để định vị và dẫn dắt quá trình tái cấu trúc không gian trong khuôn khổ chính quyền hai cấp.

Tuy nhiên, các vấn đề mới sẽ nảy sinh, với các câu hỏi chính: (1) Mô hình chính quyền địa phương hai cấp sẽ tác động như thế nào đến cấu trúc, vai trò và mối liên kết giữa các đô thị trung tâm, vệ tinh và khu vực nông thôn? (2) Các tuyến hạ tầng chiến lược mới sẽ làm thay đổi định hướng phát triển không gian đô thị và phân bổ nguồn lực ra sao? (3) Hệ thống tiêu chí và ranh giới đô thị cần được điều chỉnh như thế nào để phản ánh đúng thực tiễn đô thị hóa và hỗ trợ quản lý hiệu quả?

2. BỐI CẢNH THAY ĐỔI

2.1. Hiện trạng hệ thống đô thị và phân loại trước cải cách

Trước thời điểm triển khai mô hình chính quyền địa phương 2 cấp, hệ thống đô thị Việt Nam được phân loại theo

Luật Quy hoạch đô thị, gồm các cấp: Đặc biệt, I, II, III, IV, V, dựa trên các tiêu chí về dân số, mật độ, tỷ lệ lao động phi nông nghiệp, hạ tầng kỹ thuật - xã hội và vai trò trong mạng lưới quốc gia. Số lượng có khoảng gần 900 đô thị, trong đó một số lượng lớn là đô thị cấp huyện (thị xã, thành phố thuộc tỉnh) và thị trấn trung tâm huyện. Tỷ lệ đô thị hóa khoảng 42 - 43% (năm 2024).

Phân bố hệ thống đô thị - nông thôn theo vùng kinh tế - xã hội cho thấy, các đô thị Việt Nam tập trung chủ yếu ở vùng Đông Nam Bộ, Đồng bằng sông Hồng, Duyên hải miền Trung; Ở vùng trung du, miền núi và Tây Nguyên có mật độ đô thị thấp hơn. Hệ thống này tạo thành một mạng lưới đa tầng bậc từ đô thị cấp Trung ương đến đô thị trung tâm vùng, đô thị trung tâm tỉnh, đô thị trung tâm cấp huyện thị trấn đến các xã đô thị hóa.

2.2. Những thay đổi lớn khi bỏ cấp trung gian

Cải cách hành chính từ 01/7/2025 bỏ cấp huyện đã dẫn tới các thay đổi lớn mang tính cấu trúc, như:

Việc giải thể hoặc sáp nhập thị xã, thành phố và thị trấn làm cho nhiều đô thị loại III, IV, V vốn đóng vai trò trung tâm cấp tỉnh, huyện bị nhập vào xã/phường trở thành đơn vị hành chính cấp cơ sở thuộc tỉnh, thành phố Trung ương trực tiếp quản lý, tỷ lệ đô thị hoá toàn quốc giảm xuống còn 36,4%.

Giảm số lượng tỉnh, thành từ 63 xuống còn 34, trong đó các tỉnh mới hình thành có quy mô lãnh thổ rộng hơn, cấu trúc không gian khu vực phường và xã tách rời trong mối quan hệ liên kết đô thị - nông thôn.

Mạng lưới trung tâm phục vụ và đầu mối quản lý ở quy mô "huyện" trước đây không còn, để lại khoảng trống về chức năng điều phối trung gian.



2.3. Tác động tới phân loại và ranh giới phát triển đô thị

Trước hết là khoảng trống pháp lý và kỹ thuật thể hiện ở Bộ tiêu chí phân loại đô thị hiện hành không còn phù hợp để áp dụng cho các phường/cụm phường hoặc liên phường/xã.

Tiếp theo ranh giới hành chính và ranh giới không gian đô thị không trùng khớp khiến nhiều khu vực đã có diện tích xây dựng và mật độ dân số đô thị cao, nhưng lại nằm ngoài ranh giới hành chính của đô thị được công nhận; ngược lại, một số khu vực hành chính đô thị vẫn mang tính chất nông thôn.

Thực tế này gây khó khăn trong việc áp dụng chính sách phát triển, thu hút đầu tư, và quản lý trật tự xây dựng - đất đai.

Tóm lại, vấn đề đặt ra đối với định hướng không gian đô thị và nông thôn trên toàn lãnh thổ theo mô hình chính quyền hai cấp tạo ra một loạt hệ quả không gian cần nhận diện và xử lý trong quy hoạch.

3. CÁC VẤN ĐỀ LỚN CHI PHỐI ĐỊNH HƯỚNG PHÁT TRIỂN KHÔNG GIAN LÃNH THỔ

Nhóm 1: Tác động cấu trúc nội tại của hệ thống đô thị

Mất tính tầng bậc đô thị và thay đổi bán kính phục vụ

Việc bãi bỏ cấp huyện trong mô hình chính quyền địa phương 2 cấp đã tạo ra tác động trực tiếp và sâu rộng đến cấu trúc hệ thống đô thị, trong đó mất tính tầng bậc là biến đổi cơ bản nhất. Sự biến mất của các đô thị cấp huyện (thị xã, thành phố thuộc tỉnh) và thị trấn vốn giữ vai trò trung tâm dịch vụ, hành chính trung gian đã làm đứt gãy một mắt xích quan trọng trong mạng lưới phân cấp đô thị.

Hệ quả là bán kính phục vụ của các dịch vụ công chủ chốt (y tế, giáo dục, thương mại, hành chính) bị kéo giãn đáng kể, đặc biệt tại những khu vực trước đây có đô thị loại III, IV đảm

nhệm vai trò trung tâm huyện. Khoảng cách tăng lên không chỉ làm suy giảm khả năng tiếp cận dịch vụ của người dân mà còn tác động tiêu cực đến hiệu quả phân bổ nguồn lực và chất lượng quản trị đô thị và nông thôn.

Trước tình hình này, cần thiết phải tái cấu trúc mạng lưới phục vụ công cộng và hành chính theo hướng hình thành các “liên xã/phường” hoặc “cụm đô thị” với hạ tầng, dịch vụ được tổ chức đồng bộ, bảo đảm vừa duy trì hiệu quả phục vụ vừa thích ứng với cơ cấu hành chính mới.

Vai trò mới của các thành phố trực thuộc Trung ương và tỉnh lỵ

Theo thông lệ quốc tế, đô thị cấp quốc gia và đô thị tỉnh lỵ đảm nhiệm hai vai trò nền tảng trong hệ thống đô thị:

Đô thị cấp quốc gia là trung tâm chính trị - hành chính, tài chính, văn hóa, khoa học công nghệ ở quy mô quốc gia hoặc vùng liên quốc gia. Đây là hạt nhân của mạng lưới đô thị, đồng thời là cực tăng trưởng kinh tế, cửa ngõ hội nhập quốc tế và đầu mối điều phối các chiến lược phát triển vùng.

Đô thị tỉnh lỵ là trung tâm điều hành cấp tỉnh hoặc vùng, đảm nhận chức năng hành chính, dịch vụ công, thương mại, giáo dục, y tế và kết nối với các đô thị vệ tinh cũng như khu vực nông thôn. Trong hệ thống đa tầng, đây là cầu nối giữa chiến lược quốc gia và nhu cầu phát triển địa phương.

Trong bối cảnh Việt Nam sau cải cách hành chính:

Đối với các thành phố trực thuộc Trung ương: 6 thành phố (Hà Nội, TP.HCM, Hải Phòng, Đà Nẵng, Cần Thơ, Huế) tiếp tục giữ vai trò trung tâm cấp quốc gia và vùng. Trong đó, ngoại trừ Hà Nội và Huế giữ nguyên địa giới, 4 đô thị còn lại mở rộng quy mô diện tích và dân số, làm gia tăng đáng kể phạm vi quản lý. Việc không còn cấp huyện khiến các thành phố này phải trực tiếp kết nối và quản lý nhiều khu vực vốn thuộc

phạm vi điều phối của các cấp trung gian, đồng thời đảm nhiệm vai trò điều phối hạ tầng chiến lược, phát triển kinh tế - xã hội và bảo đảm an sinh vùng theo quy mô lớn hơn.

Đối với các đô thị tỉnh lỵ: Trong 28 tỉnh mới hình thành từ việc sáp nhập 2 - 3 tỉnh cũ, nhiều đô thị tỉnh lỵ phải mở rộng phạm vi ảnh hưởng để điều phối toàn tỉnh với quy mô diện tích và dân số lớn hơn đáng kể. Điều này đòi hỏi năng lực tổ chức, quản trị và khả năng dẫn dắt phát triển kinh tế - xã hội cao hơn, đồng thời phải bảo đảm sự liên kết với các trung tâm đô thị cấp dưới và vùng nông thôn.

Từ thực tiễn trên, cần xây dựng cơ chế quản lý đặc thù cho cả đô thị cấp quốc gia và đô thị tỉnh lỵ:

Ở cấp quốc gia: Củng cố năng lực quản trị vùng đô thị lớn, đặc biệt trong phối hợp liên tỉnh, quản lý hạ tầng chiến lược và định hướng phát triển theo tinh thần Nghị quyết 06-NQ/TW.

Ở cấp tỉnh: Thiết lập cơ chế điều phối liên phường/xã, bảo đảm thống nhất quy hoạch, phân bổ nguồn lực và tổ chức mạng lưới dịch vụ công phù hợp với bản kinh phục vụ mới sau cải cách.

Nhóm 2: Tác động ở quy mô vùng và liên vùng

Sự nổi lên của siêu đô thị TP.HCM

Cải cách hành chính và sáp nhập tỉnh ở Việt Nam đang thúc đẩy sự hình thành đô thị siêu lớn, xu thế đã xuất hiện tại nhiều quốc gia phát triển và mới nổi như Tokyo-Yokohama Metropolitan Region (Nhật Bản), Pearl River Delta Greater Bay Area (Trung Quốc) hay Randstad Holland (Hà Lan). Các vùng này thường có ba đặc trưng nổi bật: (i) Quy mô diện tích, dân số vượt trội, với cơ cấu ngành kinh tế đa dạng và tích hợp sâu, (ii) Cấu trúc đa cực đa trung tâm, mỗi cực đảm nhận chức năng chuyên biệt (chính trị, tài chính, công nghiệp, cảng biển, sân bay, logistics, du lịch...); (iii) Hạ tầng chiến lược liên hoàn, cho phép vận hành như một thể thống nhất về không gian kinh tế.

Tại Việt Nam, phương án sáp nhập TP.HCM - Bình Dương - Bà Rịa Vũng Tàu sẽ tạo thành một siêu vùng đô thị vừa là trung tâm sản xuất, dịch vụ, logistics hàng đầu quốc gia, vừa là cửa ngõ hội nhập quốc tế. Quy mô này đòi hỏi mô hình quản trị vùng tích hợp đa cấp trong quy hoạch và quản lý đô thị với năng lực:

- Phân bổ hợp lý chức năng không gian giữa các cực tăng trưởng;
- Đồng bộ hóa hạ tầng chiến lược (giao thông, năng lượng, viễn thông, công nghệ số);
- Điều phối phát triển đô thị - nông thôn dựa trên dữ liệu và nền tảng số.

Tái cấu trúc không gian vùng, mối quan hệ giữa phân vùng kinh tế - xã hội và vùng động lực

Việc điều chỉnh địa giới và sáp nhập tỉnh không chỉ tạo ra đô thị siêu lớn mà còn tái định hình toàn bộ cấu trúc 6 vùng kinh tế - xã hội. Một số thay đổi lớn như: tỉnh Vĩnh Phúc từ vùng Đồng bằng sông Hồng sang vùng Trung du miền núi Bắc Bộ; vùng miền Trung tách thành Bắc Trung Bộ và Nam Trung Bộ - Tây Nguyên; tỉnh Long An cũ chuyển từ vùng ĐBSCL sang vùng Đông Nam Bộ. Trên thế giới, khi ranh giới vùng hành chính và chức năng thay đổi mạnh, cần rà soát

lại cấu trúc không gian phát triển của từng vùng, xây dựng chiến lược liên kết nội ngoại vùng dựa trên chuỗi giá trị liên tỉnh và cực tăng trưởng, áp dụng cơ chế điều phối vùng linh hoạt thay cho mô hình phân cấp thuần túy.

Hội thảo Điều chỉnh quy hoạch tổng thể quốc gia vừa qua cho thấy hiện song song sử dụng 2 cách phân vùng: (1) Vùng kinh tế - xã hội phạm vi rộng, bao trùm toàn bộ hoạt động kinh tế - xã hội, ổn định lâu dài, (2) Vùng động lực (vùng đô thị lớn) phạm vi chọn lọc tập trung ở các địa bàn có tiềm năng vượt trội, đô thị đóng vai trò hạt nhân tăng trưởng.

Theo OECD và UN-Habitat, các quốc gia đẩy mạnh đô thị hóa thường ưu tiên phân vùng theo động lực phát triển song song với vùng yếu thế (nông thôn - miền núi) để tập trung nguồn lực đầu tư. Tuy nhiên, việc tồn tại song song 2 loại phân vùng này có thể tạo:

- Nguy cơ chống chéo: một tỉnh/huyện vừa thuộc vùng động lực vừa không hoàn toàn phù hợp định hướng của vùng kinh tế - xã hội.
- Xung đột ưu tiên: khác biệt trong phân bổ hạ tầng, vốn và chính sách nếu thiếu cơ chế tích hợp.

Sau sáp nhập, nhiều vùng kinh tế - xã hội mang đặc tính kép, vừa là khu vực đô thị hóa cao với hạ tầng đồng bộ và kết nối mở rộng, vừa là khu vực nông thôn bán sơn địa với hạ tầng hạn chế khó tiếp cận dịch vụ công. Nếu không có chiến lược cân bằng phát triển vùng, khoảng cách nội vùng sẽ gia tăng, dẫn tới di cư, áp lực hạ tầng và bất bình đẳng. Đây là mâu thuẫn nội tại cần được giải quyết trong khuôn khổ quản trị vùng tích hợp để đảm bảo phát triển hài hòa đô thị - nông thôn.

Khu vực động lực đô thị hóa mới từ hệ thống hạ tầng chiến lược

Hạ tầng quốc gia luôn dẫn dắt cấu trúc không gian lãnh thổ. Những dự án hạ tầng chiến lược như đường sắt cao tốc Bắc - Nam, cao tốc quốc gia, hành lang ven biển đang đóng vai trò tương tự các trục xương sống ở EU, Trung Quốc và Mỹ, vừa rút ngắn thời gian di chuyển, vừa định hình lại dòng vận tải hàng hóa, dịch vụ và lao động. Nhà nước đang thúc đẩy một loạt hạ tầng lớn như: Đường sắt cao tốc Bắc - Nam, đường sắt Lao Cai - Hà Nội - Hải Phòng, cảng hàng không Long Thành, cảng hàng không Gia Bình... Các tuyến hạ tầng này tạo điều kiện phát triển mô hình đô thị TOD với công nghiệp, logistics, thương mại - dịch vụ, du lịch. Thúc đẩy dịch chuyển không gian phát triển sang các vùng trung du, cao ráo hơn để giảm rủi ro ĐBKH, thay vì tập trung dày đặc ở vùng ven biển.

Giai đoạn 2025 - 2035, hàm ý chiến lược đối với đô thị hóa là tận dụng tối đa các nút giao thông như cực tăng trưởng mới; áp dụng quy hoạch tích hợp sử dụng đất và giao thông để đồng bộ hóa phát triển; kiểm soát phát triển bám trục nhằm ngăn chặn mở rộng đô thị tự phát, giảm áp lực lên môi trường và hạ tầng.

Nhóm 3: Chức năng mới xuất hiện sau thay đổi địa giới hành chính

Thay đổi địa giới và cấu trúc hành chính xuất hiện dạng chức năng mới là: Đô thị biển và cụm đô thị - nông thôn liên phường/xã. Cụ thể:

Gia tăng số lượng và quy mô đô thị biển

Nhiều tỉnh mới sau khi sáp nhập có ranh giới hành chính tiếp cận với biển hoặc có cửa ngõ ra cảng biển quốc tế, như (Hải Dương, Hưng Yên, Hà Nam, Tây Ninh, Đồng Tháp và các tỉnh vùng Tây Nguyên cũ. Từ đó, làm nổi bật một lớp chức năng mới dạng đô thị biển với tổ hợp vai trò cảng logistics, công nghiệp ven biển, dịch vụ hàng hải, du lịch, nghỉ dưỡng và kinh tế biển mở rộng (nuôi biển công nghệ cao, năng lượng gió ngoài khơi...). Đây là cơ hội chiến lược để tái cấu trúc mạng lưới đô thị quốc gia theo hướng mở ra những cực ven biển, song đi kèm yêu cầu quản trị không gian môi trường chặt chẽ hơn. Có thể thấy rõ đặc trưng chức năng với cơ hội và thách thức như:

Cơ hội:

- Cửa ngõ giao thương quốc tế: tăng năng lực thông quan, hình thành hậu phương cảng sâu vào nội địa, kết nối với cao tốc, đường sắt.

- Cụm đô thị cảng, công nghiệp, logistics: tạo giá trị gia tăng từ chuỗi cung ứng (lạnh, thương mại điện tử xuyên biên giới, dịch vụ tài chính - bảo hiểm hàng hải).

- Đô thị du lịch biển chất lượng cao: thúc đẩy dịch vụ, công nghiệp sáng tạo và kinh tế đêm.

Rủi ro và ràng buộc quản trị:

- Tổn thương khí hậu, môi trường (xói lở bờ biển, nước biển dâng, xâm nhập mặn) đòi hỏi quản lý tổng hợp đối bờ, quy hoạch không gian biển và hạn chế phát triển trong dải lùi bờ biển.

- Xung đột sử dụng đất và mặt nước giữa cảng, du lịch, nuôi trồng và bảo tồn; nguy cơ bao chiếm bờ biển nếu thiếu hành lang công cộng ven biển.

Hàm ý quy hoạch, công cụ thực thi là: Phân tầng đô thị biển: (i) cửa ngõ quốc gia (cảng cửa ngõ, sân bay quốc tế); (ii) nút cảng, công nghiệp, logistics vùng; (iii) đô thị du lịch, sinh thái biển. Tích hợp đánh giá rủi ro khí hậu vào đồ án không gian; khoanh vùng đệm sinh thái, hành lang xanh để giảm rủi ro. Áp dụng cơ chế thu hồi giá trị đất đai (land value capture) từ dự án cảng, logistics để tái đầu tư hạ tầng công cộng ven biển; quy định quyền tiếp cận bờ biển như chuẩn mực thiết kế đô thị.

Tái cấu trúc nội tỉnh và hình thành cụm đô thị - nông thôn liên phường/xã

Việc sắp xếp đơn vị hành chính đã tạo ra các cấu trúc dân cư mới. Nhiều khu vực đô thị hóa nhanh vốn thuộc thành phố, thị xã của tỉnh cũ nay hình thành cụm đô thị liên phường/xã có quy mô dân số lớn, mật độ xây dựng cao, chuỗi dịch vụ và hạ tầng dùng chung, nhưng không trùng khớp với địa giới một đô thị được công nhận từ trước đó. Nhiều thị trấn huyện lỵ trước đây bị xóa khỏi bản đồ hành chính, sáp nhập vào xã mới, làm mất vai trò trung tâm tiểu vùng nông thôn. Một số tỉnh mới hình thành vùng nông thôn rộng lớn thiếu kết nối hiệu quả với trung tâm tỉnh lỵ, đặc biệt tại các khu vực Tây Bắc, Tây Nguyên - Nam Trung Bộ (ví dụ: Phú Thọ mới, Quảng Ngãi mới). Kết quả là xuất hiện một tầng chức năng mới trong hệ thống đô thị - nông thôn, nhưng hiện chưa có khung pháp lý và công cụ quy hoạch riêng để quản trị.

Đặc trưng không gian và quản trị

- Về đô thị

Hình thái cụm liên phường/xã có dạng tiêu biểu như: Cụm đô thị lõi và vệ tinh quanh trung tâm tỉnh lỵ; Cụm đô thị theo chuỗi dọc trục giao thông; Vành đai chuyển tiếp hỗn hợp đô thị và nông thôn.

Nhìn trên bản đồ toàn quốc cho thấy, quy mô chênh lệch từ cụm liên phường siêu lớn tại TP Hải Phòng mới hay tỉnh Quảng Ninh) đến cụm nhỏ tại nhiều tỉnh mới như Phú Thọ, Quảng Ngãi. Dẫn đến nhu cầu dịch vụ liên thông như cấp nước, thoát nước, rác thải, giao thông công cộng, phòng cháy chữa cháy, y tế, giáo dục... không tương thích với ranh giới hành chính từng phường/xã. Nguy cơ quản lý cắt khúc nếu thẩm quyền vẫn chia nhỏ dẫn đến chi phí cao, tiêu chuẩn dịch vụ không đồng đều.

- Về nông thôn

Xóa nhòa thị trấn trong xã làm mất vai trò trung tâm tiểu vùng, giảm khả năng cung cấp dịch vụ cho khu vực nông thôn xung quanh. Việc hình thành vùng liên cụm xã quy mô lớn ở nhiều tỉnh làm thiếu kết nối với đô thị, đặc biệt ở các tỉnh miền núi và cao nguyên. Chênh lệch khả năng tiếp cận dịch vụ giữa xã mới từng có thị trấn cũ (xu hướng đô thị hóa mạnh) và xã mới không có thị trấn cũ (duy trì đặc điểm nông thôn).

Kinh nghiệm quốc tế tham chiếu ở Đức, Pháp, Nhật có mô hình liên kết mềm giữa các đơn vị hành chính cơ sở để cung ứng dịch vụ công liên địa bàn, lập kế hoạch đầu tư chung, chia sẻ cơ sở dữ liệu và phối hợp quản lý không gian.

Hàm ý quy hoạch, công cụ thực thi: (1) Quy ước liên phường/xã: xác định phạm vi cụm, danh mục dịch vụ chung, chuẩn kỹ thuật tối thiểu, cơ chế góp vốn, phân bổ chi phí, chia sẻ nguồn thu. (2) Loại hình quy hoạch cấu trúc không gian cụm Sơ đồ liên kết địa bàn xác định mạng lưới giao thông, hạ tầng xanh, bán kính phục vụ theo thời gian di chuyển (15 - 30 - 60 phút) tới các dịch vụ y tế, giáo dục, hành chính. (3) Tổ chức dịch vụ chuyên biệt cho nước, rác, giao thông công cộng; lập kế hoạch đầu tư công trung hạn chung; xây dựng nền tảng GIS dùng chung để theo dõi chỉ tiêu tiếp cận dịch vụ. (4) Tiêu chí phân loại cụm phường/xã đô thị hóa: gồm dân số, mật độ đất xây dựng, tỷ lệ lao động phi nông nghiệp, mức độ kết nối hạ tầng... làm căn cứ phân bổ nguồn lực và ưu tiên vốn.

Nhóm 4: Sự chuyển dịch hệ thống đô thị và công cụ quản lý

Sự dịch chuyển của hệ thống đô thị cấp tỉnh và quốc gia

Luận điểm cốt lõi của cải cách đơn vị hành chính, hình thành siêu đô thị, tái cấu trúc không gian đô thị hoá theo hành lang hạ tầng, thay đổi vai trò mạng lưới trung tâm tỉnh lỵ đang làm dịch chuyển trật tự hệ thống đô thị. Quá trình này làm thay đổi thứ bậc đô thị, không gian đô thị hoá động lực và luồng di cư việc làm, kéo theo nhu cầu điều chỉnh khung phân loại đô thị và công cụ quản lý lãnh thổ.

Biểu hiện:

- Hình thành trục kết nối nội tỉnh mới: Các tỉnh sáp nhập thường xuất hiện trục liên kết trung tâm tỉnh lỵ mới với trung tâm lịch sử (tỉnh lỵ cũ), tạo ra cấu trúc đa cực với vai trò mới cho mối quan hệ đô thị trung tâm - đô thị vệ tinh.

- Tái định vị đô thị vệ tinh: các trung tâm tỉnh lỵ hoặc thành phố/thị xã thuộc tỉnh cũ có sẵn cơ sở hạ tầng sẽ nắm giữ vị trí đô thị vệ tinh; sẽ được nâng hạng lên trung tâm dịch vụ, logistics, giáo dục và y tế cấp tỉnh hoặc cấp vùng, một số khác suy giảm do lệch khỏi trục kết nối mới.

- Chuyển dịch hướng mở rộng đô thị: Không gian tăng trưởng bám theo nút hạ tầng chiến lược (cao tốc, đường sắt cao tốc, cảng, sân bay), thay thế cho định hướng trước đây chủ yếu mở rộng quanh trung tâm cũ. Điều này làm thay đổi bản đồ đầu tư và quỹ đất phát triển.

Hệ quả:

Thứ bậc đô thị thay đổi bởi sự chi phối của trật tự các đô thị trong hệ thống cấp tỉnh hoặc quốc gia theo quy mô, chức năng, sức hút dân cư, kinh tế. Mức độ chi phối đô thị (sức hội tụ, lan tỏa và tính dẫn dắt của đô thị) tập trung sức mạnh vào một số ít đô thị lớn. Bản đồ phân bố phường/xã toàn quốc cho thấy quyền lực và nguồn lực có xu hướng tập trung vào 1 vài đô thị, còn các đô thị khác yếu hơn nhiều.

Ngoài ra, sự phân bố hạng kích cỡ đô thị (dân số và diện tích) có xu hướng thay đổi. Cấu trúc luồng di cư và việc làm, làm gia tăng đi lại trong phạm vi liên tỉnh và mở rộng đô thị vùng chức năng vượt ranh giới hành chính. Sau khi thay đổi địa giới và hạ tầng, một số đô thị có thể vượt hạng nhanh chóng, hút dân và đầu tư mạnh, trong khi các cực trung gian khác bị lu mờ vai trò làm mất cân đối hệ thống, dẫn đến siêu tập trung (megacity quá mạnh, đô thị nhỏ yếu đi).

Hàm ý quy hoạch và công cụ thực thi: (1) Thiết lập chỉ số đo lường khả năng tiếp và trọng lực hấp dẫn không gian để định vị lại vai trò đô thị trung tâm - vệ tinh. (2) Chỉ số đa cực và kết nối cấp tỉnh/vùng nhằm xác định yêu cầu để củng cố hệ thống đô thị.

Khoảng trống trong phân loại đô thị và ranh giới phát triển

Hiện tại ranh giới giữa đô thị hành chính (phường hay liên phường) và không gian phát triển đô thị thực tế (built-up kết hợp vùng đi lại hằng ngày) khác nhau gây khó khăn trong quy hoạch đất, hạ tầng, và phân bổ vốn. Dẫn đến phân mảnh chính sách, cùng một cụm chức năng nhưng nhiều đơn vị quản trị, tiêu chuẩn dịch vụ không đồng đều.

Theo thông lệ quốc tế, đô thị chức năng và mức độ đô thị hóa để phân định đô thị theo mật độ xây dựng trong phạm vi luồng đi lại. Dựa trên dữ liệu ảnh đêm, built-up, tín hiệu di động, lưu lượng giao thông, kết hợp thời gian di chuyển 15 - 30 - 60 phút.

Hàm ý quy hoạch và công cụ thực thi:

(1) Bản đồ pháp lý “Không gian phát triển đô thị” ở cấp tỉnh/thành: lớp GIS bắt buộc trong quy hoạch, cập nhật định kỳ theo dữ liệu động; là căn cứ quản lý đất đai, hạ tầng, tiêu chuẩn dịch vụ.

(3) Hệ phân loại ba lớp: Lớp A là đô thị chức năng (cụm liên phường/xã) có tiêu chí dân số trong đất xây dựng, mật độ, tỷ lệ lao động phi nông nghiệp, mức độ kết nối hạ tầng. Lớp B là lõi đô thị & cận đô thị, phân định lõi - vành đai, chỉ tiêu kiểm soát mật độ, hỗn hợp sử dụng đất, TOD. Lớp C là nông thôn chuyển tiếp với công cụ kiểm soát lan tỏa, vành đai xanh, ngưỡng hạ tầng tối thiểu.

4. ĐỀ XUẤT ĐIỀU CHỈNH PHÁT TRIỂN KHÔNG GIAN ĐÔ THỊ VÀ NÔNG THÔN TRONG BỐI CẢNH MỚI

Dựa trên yêu cầu thực tiễn sau khi triển khai mô hình chính quyền địa phương 2 cấp và Đề xuất điều chỉnh Nghị quyết 06-NQ/TW cùng Quyết định 891/QĐ-TTg, việc phát triển không gian lãnh thổ cần được tổ chức theo các cấp độ và lớp chức năng sau:

4.1. Đối với Nghị quyết 06-NQ/TW

Hoàn thiện thể chế, chính sách: Bổ sung cơ chế pháp lý cho quản lý và quy hoạch “cụm liên phường/xã” và “liên đô thị cơ sở”, khắc phục khoảng trống trong phân loại đô thị và ranh giới phát triển sau sáp nhập địa giới.

Nâng cao chất lượng quy hoạch và phát triển đô thị: Yêu cầu các quy hoạch cập nhật kịp thời biến động ranh giới hành chính, hạ tầng chiến lược và cấu trúc đô thị mới; áp dụng phương pháp đánh giá đa cực, kết nối vùng và khả năng tiếp cận dịch vụ công theo thời gian di chuyển.

Phát triển nhà ở và hạ tầng thích ứng biến đổi khí hậu: Tập trung vào đô thị biển mới hình thành sau thay đổi địa giới; có chiến lược hạ tầng ven biển kết hợp bảo vệ môi trường và thích ứng biến đổi khí hậu; ưu tiên đầu tư hệ thống giao thông công cộng, phòng cháy chữa cháy, thoát nước ở các cụm liên phường/xã.

Hoàn thiện mô hình chính quyền đô thị: Thiết lập khung quản trị linh hoạt cho vùng đô thị đa trung tâm và các cụm liên phường/xã; quy định rõ thẩm quyền điều phối dịch vụ công liên địa bàn; thúc đẩy nền tảng dữ liệu chung (GIS) phục vụ quản lý.

Phát triển kinh tế đô thị và đổi mới cơ chế tài chính: Xây dựng cơ chế phân bổ nguồn lực dựa trên chức năng và mức độ kết nối, không chỉ dựa vào phân loại hành chính; khuyến khích hợp tác công, tư để khai thác hiệu quả quỹ đất dọc các hành lang hạ tầng chiến lược.

4.2. Đối với Quyết định 891/QĐ-TTg

Ở cấp quốc gia

Rà soát và xác định lại cực tăng trưởng quốc gia: đánh giá lại vị trí và vai trò của các vùng đô thị lớn như Hà Nội, TP.HCM, Hải Phòng, Đà Nẵng, Cần Thơ và các trung tâm tỉnh lỵ chiến lược, bảo đảm phù hợp với cấu trúc hành chính và kinh tế - xã hội mới.

Hoạch định lại các hành lang và trục phát triển chiến lược: Trục Bắc - Nam: gắn đường sắt cao tốc, cao tốc Bắc - Nam, hành lang logistics; Trục ven biển: kết nối các đô thị cảng, du lịch biển, công nghiệp ven biển; Các hành lang Đông - Tây: tăng cường liên kết xuyên vùng và kết nối quốc tế. Liên kết hạ tầng chiến lược với cực tăng trưởng: ưu tiên các dự án hạ tầng trọng điểm (giao thông, logistics, năng lượng, hạ tầng số) làm đòn bẩy cho phát triển không gian.

Ở cấp vùng

Thiết lập cơ chế điều phối vùng đô thị lớn: Thành lập hoặc củng cố các tổ chức điều phối vùng (theo mô hình Ban quản lý hoặc Cơ quan điều phối vùng đô thị - metropolitan authority) để quản lý phát triển không gian, hạ tầng, môi trường và dịch vụ công liên tỉnh. Đặc biệt chú trọng các vùng



đô thị siêu lớn như Hà Nội mở rộng, TP.HCM mở rộng (TP. HCM - Bình Dương - Bà Rịa Vũng Tàu).

Phát triển vùng ven biển và vùng kinh tế trọng điểm: Hình thành các cụm đô thị biển, đô thị cảng và trung tâm dịch vụ logistics quốc tế; Khai thác hiệu quả các khu kinh tế ven biển, đồng thời kiểm soát chặt chẽ sử dụng đất ven biển và bảo vệ môi trường sinh thái.

Ở cấp tỉnh/thành phố

Tổ chức lại mạng lưới đô thị - nông thôn: Đánh giá lại vị trí, chức năng và phạm vi phục vụ của từng đô thị, nhất là các đô thị trung gian và vệ tinh; Điều chỉnh bán kính phục vụ của hạ tầng và dịch vụ công, bảo đảm người dân tiếp cận thuận lợi.

Hình thành các cụm đô thị liên phường/xã làm hạt nhân tăng trưởng: Tổ chức phát triển đồng bộ hạ tầng kỹ thuật - xã hội ở quy mô cụm; Xây dựng cơ chế quản lý liên kết mềm để điều phối quy hoạch, đầu tư và cung ứng dịch vụ chung cho cả cụm.

Theo chức năng lãnh thổ

Vùng đô thị hóa tập trung: Là khu vực ưu tiên phát triển hạ tầng đồng bộ, tập trung các dự án đầu tư lớn, phát triển theo mô hình đô thị xanh - thông minh - đa cực.

Vùng đệm phát triển kiểm soát: Khu vực chuyển tiếp giữa vùng đô thị hóa tập trung và vùng nông thôn; Kiểm soát tốc độ và hình thức đô thị hóa, ưu tiên phát triển nông nghiệp đô

thị, dịch vụ sinh thái, các chức năng hỗ trợ đô thị lớn.

Vùng mở rộng tiềm năng đô thị trong dài hạn: Khu vực dự phòng cho mở rộng đô thị về sau, giữ quỹ đất và hạ tầng cơ bản; Lập kế hoạch sử dụng đất, phân kỳ đầu tư để tránh phát triển tự phát, bảo đảm khả năng tích hợp với mạng lưới đô thị hiện hữu.

5. KẾT LUẬN

Cải cách đơn vị hành chính và mô hình chính quyền 2 cấp đang tạo ra sự dịch chuyển sâu rộng trong cấu trúc không gian đô thị và nông thôn, đòi hỏi tư duy quy hoạch tích hợp, đa cấp và linh hoạt hơn. Sự hình thành các cực tăng trưởng mới, hành lang phát triển nội tỉnh hoặc liên tỉnh và cụm đô thị liên phường/xã đặt ra yêu cầu bổ sung khung pháp lý, tiêu chí phân loại và công cụ quản trị phù hợp. Để bảo đảm cân bằng hệ thống, cần có cơ chế duy trì vai trò của các cực trung gian, tránh tình trạng “siêu tập trung” nguồn lực vào một vài đô thị lớn. Việc sửa đổi Nghị quyết 06-NQ/TW và sửa đổi Quyết định 891/QĐ-TTg phải đi kèm với cơ chế phối hợp thực thi ở cấp xã/phường và hạ tầng dịch vụ công liên thông. Đây là thời điểm quan trọng để định vị lại hệ thống đô thị quốc gia theo hướng bền vững, đa cực, có sức lan tỏa, thích ứng với biến đổi khí hậu và yêu cầu phát triển dài hạn.❖

Nhận dạng cấu trúc đô thị trong bối cảnh mới



TUẤN ĐÔNG (thực hiện)

Từ tháng 01/7/2025, Việt Nam chính thức đổi mới, tái cấu trúc chính quyền địa phương 2 cấp, do đó việc nhận dạng về hình thái đô thị và công tác quy hoạch và quản lý đô thị cần tiếp cận theo hướng hoàn toàn mới để phù hợp với bối cảnh mới. BTV Tạp chí Xây dựng có cuộc trao đổi với PGS.TS ĐỖ TÚ LAN - Ủy viên BCH Hội Quy hoạch phát triển đô thị Việt Nam, nguyên Phó cục trưởng Cục Phát triển đô thị (Bộ Xây dựng) - về một số tiếp cận mới trong công tác quy hoạch và quản lý đô thị trong bối cảnh đổi mới chính quyền địa phương 2 cấp.

♦ Thưa PGS.TS Đỗ Tú Lan, như vậy là chính quyền địa phương 2 cấp đã chính thức vận hành từ 01/7/2025. Theo bà, bối cảnh này tác động như thế nào đến công tác quy hoạch, quản lý phát triển đô thị tại Việt Nam?

- Tôi cho rằng năm 2025 là một năm đặc biệt trong lịch sử của Việt Nam, một cuộc cách mạng về thể chế, tái cấu trúc hệ thống cơ quan quản lý Nhà nước và hệ thống hành chính địa phương. Sự thay đổi cấu trúc hành chính địa phương 2 cấp có liên quan đến hệ thống đô thị Việt Nam, việc nhận dạng cấu trúc đô thị trong bối cảnh mới và thay đổi hoàn toàn phương thức quy hoạch, là một bước ngoặt lớn cho công tác quản lý đô thị.

Theo bối cảnh mới, 2 cấp chính quyền sẽ không có các đơn vị đô thị như vậy nữa, mà sẽ hình thành các đơn vị có tính chất đô thị theo cách tiếp cận mới.

Cụ thể, các khu vực có tính chất đô thị được tổ chức thành đơn vị hành chính là phường (cấp phường), khu vực có tính chất nông thôn được tổ chức đơn vị hành chính là xã (cấp xã). Nhiều phường liên kết thành một khu vực lớn có tính chất đô thị tạm gọi là "khu vực đô thị".

♦ Vậy theo bà, việc nhận dạng về "khu vực đô thị" trong bối cảnh mới nên như thế nào?

- Trước tiên, cần nhận diện được các khu vực đô thị thì mới xác định được nên quy hoạch như thế nào, quản lý phát triển ra sao... Đô thị thì vẫn là thực thể ấy, là cấu trúc ấy, vẫn trong quá trình vận động phát triển nên không thể dừng nó lại được.

Thế thì cách làm cần thay đổi như thế nào? Quan điểm của tôi là, chúng ta vẫn phải tuân thủ theo mô hình 2 cấp

hiện nay. Theo đó, mỗi một đơn vị cấp phường có thể coi là một đơn vị đô thị, theo các quy mô khác nhau; chúng ta cũng phải phân loại, xác định các nhóm tính chất khác nhau để đưa ra phương án quản lý khác nhau.

Bối cảnh tái cấu trúc toàn diện địa phương thành 2 cấp, bỏ cấp huyện, bỏ thị trấn (trước đây có 84 thành phố, thị xã, là đơn vị cấp huyện) như vậy, hệ thống khu vực có tính chất đô thị từ lớn đến nhỏ sẽ có thể nhận dạng như sau:

Thứ nhất, hệ thống thành phố trực thuộc Trung ương, sau sáp nhập có 6 thành phố trực thuộc Trung ương bao gồm: TP Hà Nội, TP.HCM (sáp nhập thêm tỉnh Bình Dương và Bà Rịa - Vũng Tàu), TP Hải Phòng (sáp nhập thêm tỉnh Hải Dương), TP Đà Nẵng (sáp nhập thêm tỉnh Quảng Nam), TP Huế, TP Cần Thơ (sáp nhập thêm tỉnh Sóc Trăng và Vĩnh Long).

Giai đoạn từ 2025 - 2030, dự kiến sẽ phát triển tiếp 4 tỉnh trở thành thành phố trực thuộc Trung ương là tỉnh Ninh Bình (sáp nhập tỉnh Nam Định và tỉnh Hà Nam), tỉnh Bắc Ninh (sáp nhập tỉnh Bắc Giang), tỉnh Quảng Ninh, tỉnh Khánh Hòa (sáp nhập thêm tỉnh Ninh Thuận). Như vậy, giai đoạn này sẽ có các chùm và chuỗi đô thị lớn của 10 đô thị trực thuộc Trung ương, chùm đô thị lớn phía Bắc gồm Hà Nội, Hải Phòng, Quảng Ninh, Bắc Ninh và Ninh Bình; chuỗi đô thị lớn miền Trung gồm Huế, Đà Nẵng, Khánh Hòa; chùm đô thị phía Nam là TP.HCM và chùm đô thị Cần Thơ.

Bên cạnh đó, hệ thống phường có "tính chất đô thị" ở các thành phố trực thuộc Trung ương sẽ có những quy mô khá lớn, có từ 45 nghìn người trở lên, thậm chí có thể tương đương gần bằng dân số của (một thị xã tỉnh lỵ cũ). Sau tái cấu trúc, Việt Nam có 672 phường với quy mô lớn nhỏ khác nhau và có những cấu trúc liên kết liên kề, cũng có những phường

ở vị trí vệ tinh, riêng lẻ trong tỉnh, tùy thuộc điều kiện cụ thể của từng địa phương.

Mỗi phường có bộ máy hành chính và tự quản lý theo phân cấp, thực hiện các công tác về quy hoạch và quản lý đô thị, từ lập kế hoạch, chương trình phát triển đô thị, tổ chức lập quy hoạch, đến trực tiếp tổ chức thực hiện quy hoạch.

Trong tương lai, những khu vực phát triển đô thị mang tính chất liên kết vùng nên được định danh, mặc dù không có chính quyền, từ đó có cách xác định phạm vi, địa điểm rõ ràng hơn, phục vụ cho việc quy hoạch và quản lý phát triển hạ tầng đô thị, bảo vệ môi trường...

Ngoài ra, theo sắp xếp mới, Việt Nam có 13 đặc khu, hầu hết là hải đảo, thực tế có đặc khu Phú Quốc và Côn Đảo có khu vực phát triển đô thị khá lớn.

Tuy nhiên, thực tế còn khá nhiều địa phương có các khu vực đã và đang hình thành là các khu kinh tế biển và biên giới, là những khu vực phi nông nghiệp, khu vực động lực kinh tế của quốc gia.

❖ **Theo bà, bối cảnh mới với mô hình chính quyền địa phương 2 cấp đang đặt ra những yêu cầu gì về đổi mới phương thức quy hoạch và quản lý đô thị tại Việt Nam?**

- Theo tôi có mấy vấn đề: Thứ nhất, đối với công tác quy hoạch đô thị: Phát triển đô thị là một quá trình động, tùy theo điều kiện kinh tế - xã hội, đô thị hoá có thể lan rộng theo những cấu trúc có quy luật nhất định, do đó đối với một khu vực đô thị gồm có nhiều phường liên kết (trước đây là một thành phố hoặc một thị xã) thì việc quy hoạch chung có thể tiếp cận theo hướng “phi ranh giới hành chính” và do cơ quan chuyên môn cấp tỉnh chỉ đạo thực hiện, đảm bảo một hệ thống liên kết trong tỉnh, thậm chí liên tỉnh (nếu có).

Bước tiếp theo, quy hoạch mỗi phường chủ yếu là quy hoạch phân khu, sẽ là quy hoạch có ranh giới cụ thể do chính quyền cấp phường chỉ đạo thực hiện lập quy hoạch và quản lý phạm vi đô thị đó. Tuy nhiên, cách thức lập quy hoạch cũng cần đổi mới theo xu hướng cấu trúc đô thị mới và cách tổ chức không gian thông minh có sự hỗ trợ của chuyển đổi số.

Thứ hai, đối với công tác quản lý đô thị: Cần thiết phải đổi mới hoàn toàn phương thức quản lý đô thị, không theo tư duy phân loại (6 loại), và tăng bậc như trước, bởi cách sắp xếp lại các tỉnh cũng như cấu trúc lại hệ thống cấp xã cho thấy việc phân vùng cũng sẽ có nhiều thay đổi. Khái niệm về vùng để xác định một khoảng không gian lớn có tính liên kết của một số tỉnh đặc trưng, không theo nguyên tắc trước đây.

Ngoài ra, cần xác định (nhận dạng) các nhóm loại đô thị để có những phương thức đánh giá thích hợp. Cách đánh giá thường xuyên bằng nhiều công cụ khác nhau (có thể bằng KPI), sẽ tạo sự cạnh tranh phát triển giữa các phường, và thúc đẩy phát triển lành mạnh.

Một yêu cầu đổi mới nữa là cần đổi mới tư duy, tăng cường sự tham gia của cộng đồng, tư nhân vào hỗ trợ quản lý đô thị, đây là một tiềm năng rất lớn nếu có phương thức và cơ chế huy động hợp lý, sẽ chia sẻ gánh nặng cho công tác quản lý nhà nước và có thể hiệu quả cao hơn.

Thứ ba, chúng ta đang bước vào kỷ nguyên chuyển đổi



PGS.TS Đỗ Tú Lan - Ủy viên BCH Hội Quy hoạch phát triển đô thị Việt Nam, nguyên Phó cục trưởng Cục Phát triển đô thị (Bộ Xây dựng)

xanh, chuyển đổi số, việc hình thành nên một hệ sinh thái mới trong quản lý đô thị là rất cần thiết.

Hiện nay, số lượng cán bộ hành chính quản lý đô thị ở các phường rất hạn chế, do đó công cụ số hoá, kiểm soát bằng hệ thống số và AI sẽ giúp cho hệ thống quản lý thông minh, nhanh và hiệu quả.

Thứ tư, phát triển đô thị thông minh là xu hướng tất yếu, một tiếp cận mới là sử dụng KPI để đánh giá chất lượng đô thị (có thể lấy đơn vị phường) làm cơ sở. Trong Quyết định số 950/QĐ-TTg ngày 01/8/2018 của Thủ tướng Chính phủ về Đề án về phát triển đô thị thông minh có nêu: “Nghiên cứu, xây dựng các chỉ số chính đánh giá về hiệu quả hoạt động (KPI) cho đô thị thông minh phù hợp với các tiêu chuẩn quốc tế và các đặc thù của Việt Nam; Nghiên cứu xây dựng, hướng dẫn áp dụng Khung tham chiếu ICT phát triển đô thị thông minh và thiết lập cơ chế tự đánh giá mức độ phát triển đô thị thông minh theo các chỉ số chính đánh giá về hiệu quả hoạt động KPI”... Chúng ta cũng có thể xây dựng một khung tiêu chí đánh giá chất lượng phát triển đô thị theo KPI, với công cụ thông minh có thể thường xuyên theo dõi đánh giá về các khía cạnh khác nhau của đô thị một cách chính xác nhất.

Tôi cho rằng, trong bối cảnh mới, tái cấu trúc chính quyền địa phương 2 cấp vừa là thách thức cho công tác quy hoạch và quản lý đô thị, nhưng cũng có nhiều cơ hội cho chúng ta đổi mới tư duy nhận thức và có những tiếp cận mới trong công tác quy hoạch và quản lý đô thị theo hướng tiên tiến hơn.❖

❖ **Trân trọng cảm ơn bà!**

QUY HOẠCH VÀ QUẢN LÝ ĐÔ THỊ Ở VIỆT NAM HIỆN NAY:

Thực trạng và giải pháp



GS.TS.KTS NGUYỄN TỐ LĂNG*

Đất nước ta đang phát triển mạnh mẽ trong Kỷ nguyên mới, Kỷ nguyên vươn mình của dân tộc. Một trong những nhiệm vụ đầu tiên của Kỷ nguyên là việc triển khai tinh gọn bộ máy Nhà nước cũng như bộ máy hành chính các cấp, sáp nhập một số tỉnh, bỏ chính quyền cấp huyện kể cả các thành phố thuộc tỉnh, thành phố thuộc thành phố trực thuộc Trung ương, các thị xã, thị trấn, thực hiện mô hình chính quyền địa phương 2 cấp. Điều này tác động không nhỏ đối với công tác quy hoạch và quản lý đô thị ở Việt Nam hiện nay.

Bài viết này trình bày bối cảnh hiện tại của đất nước; một vài nét về thực trạng quy hoạch và quản lý đô thị ở Việt Nam; một số bài học quốc tế về quy hoạch và quản lý đô thị; một vài đề xuất nhằm nâng cao chất lượng công tác quy hoạch và quản lý đô thị trong bối cảnh nước ta thực hiện mô hình chính quyền địa phương hai cấp.

BỐI CẢNH ĐẤT NƯỚC HIỆN NAY

Căn cứ Kết luận số 127-KL/TW của Bộ Chính trị, Ban Bí thư ngày 28/02/2025 và thực hiện Luật Tổ chức chính quyền địa phương số 72/2025/QH15 ngày 16/6/2025 của Quốc hội, từ ngày 01/7/2025 cả nước đã chính thức vận hành chính quyền địa phương hai cấp bao gồm 34 đơn vị cấp tỉnh (28 tỉnh và 6 thành phố trực thuộc trung ương) và 3.321 đơn vị cấp xã (687 phường, 2.621 xã và 13 đặc khu), không còn chính quyền cấp huyện.

Về hệ thống đô thị, cả nước đã giảm từ 916 đô thị [1] xuống chỉ còn 6 thành phố trực thuộc trung ương; không còn 910 đô thị, trong đó có 85 thành phố thuộc tỉnh, 2 thành phố thuộc thành phố trực thuộc trung ương, 53 thị xã và các thị trấn.

THỰC TRẠNG CÔNG TÁC QUY HOẠCH VÀ QUẢN LÝ ĐÔ THỊ

Công tác quy hoạch và quản lý đô thị trong bối cảnh hiện nay có nhiều thuận lợi, tuy nhiên bên cạnh đó còn có một số khó khăn, bất cập cần khắc phục.

() Nguyên Vụ trưởng, Chủ nhiệm Văn phòng thường trực Ban Chỉ đạo quy hoạch và đầu tư xây dựng vùng Thủ đô Hà Nội, kiêm Phó hiệu trưởng Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội*

Thuận lợi

Đất nước ta bước vào Kỷ nguyên mới - Kỷ nguyên vươn mình của dân tộc, được Đảng và Nhà nước quan tâm đặc biệt, định hướng và chỉ đạo sát sao công cuộc chuyển đổi, được nhân dân đồng tình.

Bộ máy tinh giản. Bộ máy Chính phủ chỉ còn 14 bộ và 3 cơ quan ngang bộ và theo đó ở cấp địa phương bộ máy cũng được tinh giản, tinh nhiều nhất hiện nay cũng chỉ còn 15 sở và cơ quan tương đương. Chính quyền địa phương còn 2 cấp gồm cấp tỉnh và cấp xã (phường, xã, đặc khu).

Quy hoạch tổng thể quốc gia và các quy hoạch cấp quốc gia kể cả Quy hoạch hệ thống đô thị và nông thôn quốc gia, 6 quy hoạch vùng, 63 quy hoạch tỉnh (cũ) thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050 đã được phê duyệt và đưa vào thực tiễn.

Nhiều đồ án quy hoạch các vùng đặc thù như Vùng Thủ đô Hà Nội, Vùng TP.HCM và các vùng kinh tế trọng điểm được phê duyệt và triển khai. Nhiều đồ án quy hoạch đô thị và nông thôn được phê duyệt và đang được thực hiện.

Nhiều khu vực đô thị và nông thôn được xây dựng tương đối hoàn chỉnh, có đầy đủ hệ thống hạ tầng kỹ thuật và dịch vụ xã hội, phục vụ tốt đời sống của nhân dân.

Nhiều văn bản pháp lý được ban hành, phục vụ kịp thời cho công cuộc chuyển đổi của đất nước, đáng kể là:

- Nghị quyết số 203/2025/QH15 sửa đổi, bổ sung một số điều của Hiến pháp nước Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam;
- Luật Tổ chức chính quyền địa phương số 72/2025/QH15;
- Luật Quy hoạch đô thị và nông thôn số 47/2024/QH15;
- Nghị định số 145/2025/NĐ-CP quy định về phân định thẩm quyền của chính quyền địa phương 2 cấp, phân quyền, phân cấp trong lĩnh vực quy hoạch đô thị và nông thôn;
- Nghị định số 178/2025/NĐ-CP quy định chi tiết một số điều của Luật Quy hoạch đô thị và nông thôn;
- Thông tư số 10/2005/TT-BXD của Bộ Xây dựng hướng dẫn chức năng, nhiệm vụ, quyền hạn của cơ quan chuyên môn thuộc UBND tỉnh, thành phố trực thuộc Trung ương và UBND xã, phường, đặc khu thuộc tỉnh, thành phố trực thuộc Trung ương về lĩnh vực xây dựng;



- Thông tư số 16/2005/TT-BXD của Bộ Xây dựng Quy định chi tiết một số điều của Luật Quy hoạch đô thị và nông thôn.

Khó khăn, bất cập

Một số văn bản pháp lý cần được sửa đổi:

- Luật Quy hoạch đô thị và nông thôn 2024. Mặc dù Chính phủ đã ban hành Nghị định số 145/2025/NĐ-CP và Nghị định số 178/2025/NĐ-CP, Bộ Xây dựng đã ban hành Thông tư số 16/2005/TT-BXD, nhiều điều trong Luật [7] còn quy định về “thành phố thuộc tỉnh, thành phố thuộc thành phố trực thuộc Trung ương, thị xã, thị trấn, đô thị mới, huyện”; nhiều điều trong Luật còn căn cứ vào 6 loại đô thị...

- Nghị quyết số 1210/2016/UBTVQH13 (2016) và Nghị quyết số 26/2022/UBTVQH15 (2022) về phân loại đô thị vẫn còn đơn vị hành chính cấp huyện, bao gồm thành phố thuộc tỉnh, thành phố thuộc thành phố trực thuộc Trung ương, thị xã, thị trấn, đô thị mới trong khi hiện nay chỉ còn các phường thuộc tỉnh.

- Nghị quyết số 1211/2016/UBTVQH13 (2016) và Nghị quyết số 27/2022/UBTVQH15 (2022) về đơn vị hành chính cũng không còn đơn vị hành chính cấp huyện, chỉ còn các xã, phường và đặc khu.

- Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về Quy hoạch đô thị và nông thôn và các Tiêu chuẩn kỹ thuật về Quy hoạch đô thị và nông thôn vẫn còn căn cứ nhiều vào các loại đô thị trước đây.

Các Quy hoạch cấp quốc gia, 6 Quy hoạch vùng và 63 Quy hoạch tỉnh (cũ) cần được điều chỉnh hoặc lập mới do một số tỉnh được sáp nhập, ranh giới vùng không còn như quy hoạch, bỏ cấp huyện và vì vậy không còn vùng huyện, liên huyện.

Phương pháp lập quy hoạch đô thị chưa tiên tiến, chủ yếu vẫn dựa vào phương pháp cũ (từ những năm 1960) với một số điều chỉnh, cập nhật những kiến thức tiên tiến của khoa học công nghệ. Theo Viện Quy hoạch đô thị và nông thôn quốc gia (VIUP) [10], “công tác lập quy hoạch đô thị ở Việt Nam hiện còn nhiều tồn tại về phương pháp luận, tính tương thích với nền kinh tế thị trường, chưa phù hợp với tiến trình cải cách hành chính và chưa có sự tham gia thỏa đáng của các bên liên quan”.

Việc quản lý đất đai và phát triển không gian đô thị bị phân tán, thiếu liên kết và việc điều phối giữa các phường/xã

chưa tốt; một số phường mới sau khi được sáp nhập với các xã có tỷ lệ đô thị hóa thấp, đất đai chủ yếu là sản xuất nông nghiệp; mối liên kết giữa các phường/xã mới cần được tổ chức tốt sau khi thiết lập, nhất là khi các phường trong các khu vực đô thị hoạt động độc lập nhưng đều bị tác động của cùng một Quy hoạch chung cho một thực thể đô thị thống nhất trước đây.

Quy hoạch không được triển khai đồng bộ ở cấp cơ sở; nhiều đồ án quy hoạch phân khu, quy hoạch chi tiết bị điều chỉnh nhiều lần, nhiều đồ án dựa vào địa giới hành chính nay đã bị thay đổi. Các phường, đặc khu hiện nay có quy mô, đặc điểm, tính chất rất khác nhau nên việc lập quy hoạch cho các phường, đặc khu cũng sẽ rất khác nhau cần có những tiêu chuẩn, quy định cụ thể (ví dụ phường Rạch Giá, tỉnh An Giang có quy mô dân số lớn nhất cả nước là 250.661 người [2] trong khi nhiều phường vẫn có quy mô dân số khoảng vài chục ngàn người; đặc khu Phú Quốc có diện tích 575,29 km², dân số 157.629 người trong khi đặc khu Cô Tô có diện tích 53,68 km², dân số 6.778 người [6]).

Thiếu lực lượng chuyên môn về quy hoạch - kiến trúc đô thị, những người có vai trò tham mưu và kiểm soát trung gian giữa tỉnh và xã; cán bộ chuyên môn cấp tỉnh cần thời gian thực tế để có thể đảm nhận công việc của cán bộ cấp thành phố trước đây cho việc quản lý đô thị từ 2 phường trở lên.

Năng lực quản lý đô thị ở cấp phường/xã còn hạn chế, chưa đáp ứng yêu cầu về quản lý trật tự đô thị - quy hoạch - xây dựng - đất đai...

MỘT SỐ BÀI HỌC QUỐC TẾ

Nhìn chung, nhiều nước trên thế giới tổ chức chính quyền địa phương 2 cấp. Tuy nhiên, hầu hết các nước đều có đơn vị thành phố, thị xã, thị trấn tùy theo quy mô, đặc điểm, tính chất và có quy hoạch, quản lý đô thị theo đơn vị cơ sở [3].

Hầu hết ở các nước, chính quyền địa phương cấp cơ sở chịu trách nhiệm và quyết định phần lớn mọi hoạt động của dân cư trong địa bàn; chính quyền cấp trên chịu trách nhiệm cao hơn về mọi mặt [3], ví dụ:

- Ở Na Uy, chính quyền cấp trên quản lý phát triển vùng và quy hoạch tổng thể, quản lý giáo dục trung học phổ thông trong khi chính quyền đô thị quản lý quy hoạch địa phương, quản lý giáo dục tiểu học và trung học cơ sở, vận hành nhà trẻ và mẫu giáo...

- Ở Úc, chính quyền địa phương thường giải quyết các nhu cầu cơ bản của cộng đồng và chịu trách nhiệm về các vấn đề trên địa bàn;

- Ở Malaysia, chính quyền địa phương chịu trách nhiệm cung cấp các tiện nghi cơ bản, quản lý chất thải đô thị và giám sát quy hoạch và phát triển đô thị trong phạm vi quyền hạn của họ.

Về Quy hoạch đô thị: Phương pháp và quy trình lập quy hoạch đô thị của các nước trên thế giới khác nhau tùy theo cơ chế, nhất là rất khác với cách lập quy hoạch đô thị ở nước ta. Nhiều nước trên thế giới lập Quy hoạch chiến lược, một phương pháp mang tính định hướng cho phát triển đô thị trong tương lai (Hình 1, 2).

Ở Nga, thừa hưởng từ Liên Xô một hệ thống quy hoạch đô thị tương đối phức tạp, đứng đầu là Bộ luật Phát triển Đô thị của Liên bang (ban hành ngày 29/12/2004 và vài lần điều chỉnh sau đó). Ở cấp thành phố có các quy hoạch đô thị và ở cấp thấp nhất có quy hoạch chi tiết cho một khu vực cụ thể. Quy hoạch chung đô thị được phê duyệt là công cụ pháp lý ràng buộc cao nhất. Các quy định của quy hoạch chi tiết chỉ rõ các loại và chỉ số sử dụng đất và các thành phần khác trong một khu vực lãnh thổ nhất định [5].

Quy hoạch đô thị cho các thành phố ở Nhật Bản gồm quy hoạch sử dụng đất; quy hoạch hạ tầng và danh mục các dự án phát triển. Quy hoạch các đơn vị nhỏ hơn (quận, huyện) thường cụ thể, chủ yếu liên quan đến thiết kế đô thị, dự án chuyển đổi đất xây dựng đô thị và xây dựng điều lệ quản lý sử dụng đất [11].

Ở Úc, quy hoạch đô thị được thực hiện ở mọi cấp chính quyền. Chính phủ Liên bang ngày càng đóng vai trò quan trọng trong việc hoạch định chính sách, chiến lược quốc gia. Tại hầu hết các tiểu bang, sau khi có quy hoạch chiến lược chung cho từng thành phố, chính quyền thiết lập các Planning Scheme [4] (có thể hiểu là Quy chế kiểm soát phát triển) cho các thành phố. Chính quyền địa phương tham gia cùng cộng đồng để đưa ra quyết định về các thiết kế quy hoạch đô thị nhằm thúc đẩy sự gắn kết xã hội. Planning Scheme đặt ra các chính sách và yêu cầu của việc sử dụng, phát triển và bảo vệ đất đai. Tất cả mọi thành phần xã hội từ Bộ trưởng, cơ quan chính phủ, cơ quan công quyền và hội đồng đô thị đến người dân và doanh nghiệp đều phải tuân thủ. Planning Scheme bao gồm một văn bản và các bản đồ, kế hoạch hoặc các tài liệu khác liên quan. Văn bản trình bày Khung chính sách, các yêu cầu của khu đất (về việc khuyến khích các khu vực xây dựng và không cần cấp phép, khu vực cần thiết phải có giấy phép và khu vực cấm xây dựng...) và các Quy định cụ thể về không gian, kiến trúc, cảnh quan, nhà ở và hệ thống hạ tầng kỹ thuật cũng như các hoạt động phát triển kinh tế. Bản đồ quy hoạch thể hiện phân vùng đất đai, mức độ ảnh hưởng bởi các thành phần khác và các bản đồ chi tiết cho từng thành phần chức năng trên các địa bàn,



Hình 1. Quy hoạch chiến lược thành phố Copenhagen, Đan Mạch [11]



Hình 2. Quy hoạch chiến lược thành phố Melbourne, Úc [9]



Hình 3. Bản đồ phân vùng (hình trái) và Bản đồ thể hiện các di sản đô thị cần kiểm soát phát triển (hình phải)[9]

tuyến phố cụ thể (Hình 3).

Một vài đề xuất

Hoàn thiện hệ thống văn bản pháp lý:

Đề nghị Quốc hội, Chính phủ, Thủ tướng Chính phủ sửa đổi, ban hành các văn bản pháp lý liên quan đến Quy hoạch đô thị và nông thôn, nhất là Luật Quy hoạch đô thị và nông thôn 2024 và Quy hoạch hệ thống đô thị và nông thôn thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050 theo Quyết định số 891/QĐ-TTg, trong đó làm rõ khái niệm đô thị, có hay không các loại đô thị và cách phân loại nếu có.

Đề nghị Bộ Xây dựng sớm điều chỉnh, ban hành Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về Quy hoạch đô thị và nông thôn và các tiêu chuẩn kỹ thuật liên quan.

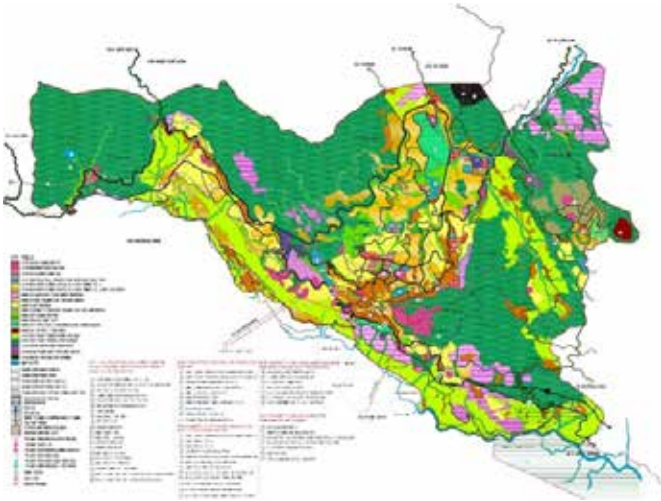
Bổ sung khái niệm "khu vực đô thị": Khu vực đô thị cần được hiểu là phạm vi các thành phố, thị xã, thị trấn và các đô thị mới trước đây, bao gồm các phường, xã và đơn vị trực thuộc.

Đổi mới phương pháp lập quy hoạch đô thị:

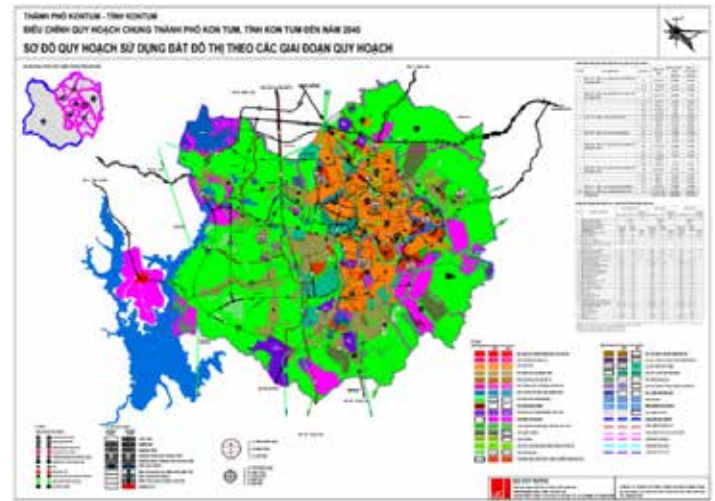
Các phương pháp được áp dụng có thể là Quy hoạch chiến lược, Quy hoạch hành động, Quy hoạch quy chế, Quy hoạch cộng đồng... Cần có các đề tài nghiên cứu khoa học về lĩnh vực này gắn với thực tiễn, nhất là trong bối cảnh chính quyền địa phương hai cấp, không có cấp huyện.

Các quy hoạch, quy hoạch đô thị và nông thôn:

Với các thành phố trực thuộc trung ương mới sáp nhập (TP.HCM, Cần Thơ, Đà Nẵng, Hải Phòng) vẫn nên áp dụng



Hình 4. Bản đồ Định hướng phát triển không gian vùng lõi thị xã Sa Pa, nay là phường Sa Pa, tỉnh Lào Cai (nguồn VIUP)



Hình 5. Khu vực đô thị - thành phố Kon Tum cũ nay được chia thành 3 phường và 3 xã (nguồn VIUP)

phương pháp quy hoạch tích hợp theo Luật Quy hoạch. Tuy nhiên, chỉ nên lập mới một quy hoạch, thay vì hai quy hoạch trước đây (Quy hoạch tỉnh, Quy hoạch chung). Cần điều chỉnh Quy hoạch chung Thủ đô Hà Nội và Quy hoạch chung TP Huế đảm bảo phù hợp với chính quyền địa phương hai cấp, không còn quận, huyện, thành phố thuộc thành phố trực thuộc trung ương...

Quy hoạch chung nên mang tính chiến lược, không quá cụ thể, cần căn cứ vào thực tiễn và nguồn lực thực hiện, căn cứ vào các cơ sở dữ liệu chính xác và dự báo hợp lý. Quy hoạch chung cần kế thừa và điều chỉnh các quy hoạch cho các thực thể đô thị trước đây. Quy hoạch phân khu, quy hoạch chi tiết cần cụ thể, căn cứ vào nhu cầu thực tế, nguồn vốn đầu tư và khoảng thời gian thực hiện. Việc quản lý đô thị cần căn cứ vào các văn bản quy phạm pháp luật và tình hình phát triển thực tế.

Đối với các phường đơn lẻ có quy mô lớn (hiện tại có một số phường ở các tỉnh được thành lập trên cơ sở của cả khu vực đô thị trước đây, ví dụ phường Sa Pa, tỉnh Lào Cai gồm 6 phường cũ) có thể lập, điều chỉnh quy hoạch chung phường để phù hợp với quy hoạch cấp cao hơn (Hình 4).

Đối với khu vực đô thị liên phường, xã (thành phố, thị xã cũ), quy hoạch chung cần được kế thừa và lập, điều chỉnh cho toàn bộ khu vực để đảm bảo tính đồng bộ và hoàn chỉnh, đặc biệt là hệ thống hạ tầng kỹ thuật (Hình 5).

Kiên toàn bộ máy quản lý đô thị ở cấp tỉnh và cấp xã, nhất là tăng cường lực lượng và năng lực quản lý đô thị cho cán bộ chuyên môn ở phường:

Cấp tỉnh quản lý khu vực đô thị có từ hai phường, xã trở lên; cần tổ chức sự phối hợp chặt chẽ giữa các phường xã liên quan, nhất là các phường cùng nằm trong một quy hoạch chung đô thị hiện hữu.

Cấp xã (phường) quản lý khu vực đô thị chỉ có một phường. Đối với các xã có bao gồm thị trấn trước đây cần quan tâm đến khu vực đô thị hóa, phát huy vai trò hoạt động kinh tế - xã hội của khu vực này.

Huy động nguồn lực:

Huy động nguồn lực đầu tư xây dựng và phát triển đô thị từ mọi thành phần xã hội, nhất là thành phần kinh tế tư nhân.

KẾT LUẬN

Cùng với bộ máy nhà nước và các lĩnh vực hoạt động phát triển khác, Quy hoạch và quản lý đô thị ở Việt Nam đang triển khai theo mô hình chính quyền địa phương cấp tỉnh và xã. Bài viết đã nêu lên một số thuận lợi và khó khăn đang tồn tại bước đầu trong quá trình chuyển đổi, một số bài học kinh nghiệm quốc tế về quy hoạch và quản lý đô thị để nước ta có thể học tập. Bài viết cũng đã trình bày một vài đề xuất nhằm nâng cao chất lượng Quy hoạch và quản lý đô thị trong bối cảnh đất nước ta chuyển sang mô hình chính quyền địa phương hai cấp, từ việc hoàn chỉnh thể chế đến công tác quy hoạch và quản lý đô thị.

Với quyết tâm của Đảng, Nhà nước và toàn thể nhân dân Việt Nam về đổi mới mạnh mẽ đất nước, lĩnh vực Quy hoạch và quản lý đô thị sẽ chuyển mình, góp phần đáng kể vào sự nghiệp xây dựng đất nước trong Kỷ nguyên mới - Kỷ nguyên vươn mình của dân tộc.❖

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Lê Thị Thu Hương. Đô thị, thành phố cấp cơ sở tại một số nước châu Á và vấn đề đặt ra cho sự phát triển đô thị của Việt Nam. Tạp chí Quy hoạch đô thị số 59/2025.
2. <https://baochinhphu.vn/2025>.
3. https://en.m.wikipedia.org/wiki/List_of_administrative_divisions_by_country# (10/8/2025).
4. https://en.wikipedia.org/wiki/Urban_planning_in_Australia. (12/8/2025).
5. https://en.wikipedia.org/wiki/Urban_planning_in_Russia (12/8/2025).
6. <https://thuvienphapluat.vn/chinh-sach-phap-luat-moi/vn/ho-tro-phap-luat/thong-tin-huu-ich> (19/6/2025).
7. Quốc hội (2024). Luật Quy hoạch đô thị và nông thôn số 47/2024/QH15.
8. Victoria Government (2000 và 2022). Melbourne Planning Scheme.
9. Viện Quy hoạch đô thị và nông thôn quốc gia (VIUP, 2019). Nghiên cứu đổi mới toàn diện công tác lập quy hoạch đô thị ở Việt Nam. Đề tài NCKH cấp nhà nước.
10. Thông tin trên các trang web quốc tế và trong nước.

Tương lai đô thị trong tái cấu trúc không gian lãnh thổ quốc gia



TS.KTS TRƯƠNG VĂN QUẢNG*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngày 28/02/2025, Bộ Chính trị, Ban Bí thư đã có Kết luận số 127-KL/TW về triển khai nghiên cứu, đề xuất tiếp tục sắp xếp tổ chức bộ máy của hệ thống chính trị. Trong đó có việc nghiên cứu định hướng sáp nhập một số đơn vị cấp tỉnh, không tổ chức cấp huyện, sáp nhập một số đơn vị cấp xã; thực hiện mô hình chính quyền địa phương 2 cấp (cấp 1 gồm tỉnh, thành phố trực thuộc Trung ương; cấp 2/cấp dưới tỉnh gồm: phường, xã, đặc khu), bảo đảm tinh gọn, hiệu năng, hiệu lực, hiệu quả.

Việc sáp nhập một số đơn vị cấp tỉnh từ 63 xuống còn 34 tỉnh, thành phố trực thuộc Trung ương không chỉ hướng đến mục tiêu xây dựng chính quyền gần dân, sát dân, phục vụ nhân dân tốt hơn, chủ động tiếp cận người dân thay vì để người dân phải tìm đến chính quyền, mà còn tạo không gian phát triển kinh tế - xã hội mới cho từng khu vực, từng địa phương hướng tới sự phồn vinh của đất nước và nâng cao đời sống nhân dân.

Tuy nhiên, sau sáp nhập từ 63 xuống còn 34 tỉnh, thành phố trực thuộc Trung ương, trong đó 6 thành phố trực thuộc Trung ương gồm: Hà Nội, Hải Phòng, Huế, Đà Nẵng, TP.HCM, Cần Thơ. Hệ thống đô thị thuộc 28 tỉnh mới, 6 thành phố trực thuộc Trung ương được phân thành các phường để phù hợp với mô hình chính quyền địa phương 2 cấp. Theo cách hiểu đơn giản hệ thống đô thị Việt Nam trước ngày 01/7/2025 sẽ không tồn tại khi chính quyền địa phương 2 cấp đi vào hoạt động. Một câu hỏi lớn đặt ra: Tương lai đô thị sẽ đi về đâu?

2. TƯ DUY LẠI VỀ “ĐƠN VỊ Ở” ĐÔ THỊ

Ở Việt Nam, từ nhận thức đến thực tiễn thời gian qua cho thấy, “Đơn vị láng giềng”, “Tiểu khu nhà ở”, “Đơn vị ở” trong quá trình phát triển đô thị đều đóng vai trò là đơn vị tổ chức

() Phó Tổng thư ký Hội Quy hoạch phát triển Đô thị quốc gia*

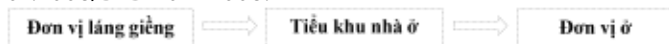
quy hoạch cơ bản trong khu dân dụng, thành phần cơ bản tạo dựng cấu trúc không gian đô thị đã dần có sự thay đổi theo từng giai đoạn phát triển của đất nước.

Năm 1996, Quy chuẩn Xây dựng Việt Nam ban hành kèm theo Quyết định số 682/BXD-CSXD của Bộ trưởng Bộ Xây dựng đã quy định đơn vị cơ bản của khu ở là “Đơn vị ở” nhằm thay thế cho khái niệm “Tiểu khu nhà ở” trước đây. Đây là dấu hiệu cho thấy những thay đổi trong quan điểm quản lý khi nền kinh tế thị trường bắt đầu tác động mạnh mẽ vào sự phát triển của các đô thị và Việt Nam cũng đã có những bước tiến mạnh mẽ sau 10 năm đổi mới. Quy mô diện tích đơn vị ở được xác định bởi bán kính phục vụ các công trình công cộng không quá 500 m, nghĩa là tương đương hình tròn có diện tích khoảng 80 ha. Các đơn vị ở ghép lại thành các khu ở có quy mô không lớn hơn 700 ha (bán kính phục vụ công trình công cộng không lớn hơn 1.500 m).



Mô hình “Đơn vị ở” (Theo các nước XHCN).

Năm 2006, Chính phủ đã ban hành Nghị định số 02/2006/NĐ-CP về Quy chế khu đô thị mới, trong đó quy định khu đô thị mới có diện tích tối thiểu là 50 ha. Như vậy có thể thấy, một khu đô thị mới có quy mô nhỏ nhất tương đương một “Đơn vị ở” theo khái niệm truyền thống. Tuy nhiên, khu đô thị mới chưa được thừa nhận là hạt nhân cơ bản để quy hoạch tổ chức không gian trong khu dân dụng, mà chỉ đơn giản là phương thức phát triển đô thị mà thôi. Bởi vậy, trong Quy chuẩn Xây dựng Việt Nam QCVN 01:2008/BXD, khái niệm và quy mô “Đơn vị ở” được xác định lại rõ ràng hơn ngay trong phần giải thích các thuật ngữ. Đến năm 2019, khi Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia QCVN 01:2019/BXD về quy hoạch xây dựng, khái niệm “Đơn vị ở” vẫn được xem là “Khu chức năng cơ bản của đô thị chủ yếu phục vụ nhu cầu ở”, quy mô diện tích và dân số được khẳng định lại như QCVN 01:2008/BXD năm 2008.



Quá trình biến đổi tên gọi “Đơn vị ở” tại Việt Nam.

Nhìn lại diễn biến quy định về “Đơn vị ở”, đã có nhiều thay đổi về quan điểm. Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về quy hoạch xây dựng QCVN 01:2021 mới ban hành có nội dung về “Đơn vị ở”, quy định quy mô dân số, diện tích và các chỉ tiêu hạ tầng xã hội, hạ tầng kỹ thuật cho “Đơn vị ở” để đảm bảo an toàn, tiện nghi, môi trường. Các chỉ tiêu của Quy chuẩn này đã có sự điều chỉnh so với quy chuẩn QCVN 01:2008/BXD hay QCVN 1997 do điều kiện đất đai, mật độ dân số và kỹ thuật công nghệ xây dựng hiện nay đã thay đổi nhiều so với 20 năm trước... Tuy QCVN 01:2019 áp dụng từ 01/7/2020 nhưng cũng đã bắt đầu cho thấy những quy định về “Đơn vị ở” phần nào không theo kịp những thay đổi trong thực tế và thậm chí, gây khó khăn cho cả đơn vị lập quy hoạch, chủ đầu tư dự án và cả cơ quan quản lý địa phương.

Mặc dù mô hình “Đơn vị ở” đối với nhiều quốc gia đã bị coi là cứng nhắc và không được ứng dụng phổ biến trong lập quy hoạch nữa nhưng đối với Việt Nam, đây vẫn là một mô hình, một công cụ cần thiết cho công tác lập và quản lý quy hoạch đô thị. Trong bối cảnh phát triển mới, mô hình “Đơn vị ở” cũng cần phải được đổi mới, đa dạng, linh hoạt hơn và có thể phải hàm chứa cả những yếu tố phi không gian, để thỏa mãn được mục tiêu làm cơ sở cho việc tạo dựng nơi cư trú tốt, phản ánh được hình thái phát triển đô thị, lồng ghép được các yêu cầu kiểm soát phát triển đô thị, đóng góp thiết thực cho công tác quy hoạch, xây dựng, quản lý, phát triển bền vững đô thị.

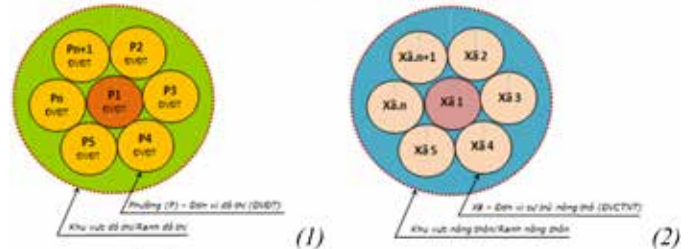
Bản chất của “Đơn vị ở” trong đô thị ở giai đoạn phát triển mới nằm trong cấu trúc “Đơn vị đô thị” được thể hiện rõ nét trong mô hình chính quyền địa phương hai cấp (cấp 1 gồm tỉnh, thành phố trực thuộc Trung ương; cấp 2/cấp dưới tỉnh gồm: phường, xã, đặc khu). Trong đó, cấp 2 là cấp các đơn vị ở gồm: đơn vị ở đô thị là Phường, đơn vị ở nông thôn là Xã, đơn vị ở hải đảo là Đặc khu. Như vậy, cấp phường mới sau sáp nhập, tinh gọn được hiểu là “Đơn vị đô thị”, hạt nhân mới tạo dựng cấu trúc đô thị trong giai đoạn “vươn mình”. Chính yếu tố “Phường - Đơn vị đô thị” sẽ tạo nên hỗn cốt của đô thị, khu vực đô thị hay vùng đô thị (dù ngày nay có thể không còn đô

thị hay chính quyền đô thị) theo mô hình chính quyền địa phương hai cấp. Và cũng chính nó, yếu tố “Phường - Đơn vị đô thị” là thành phần cơ bản tạo nên cấu trúc đô thị trên nền tảng kế thừa, phát triển trong quá trình đô thị hoá tại Việt Nam: Tương lai của đô thị trong giai đoạn phát triển mới.

Theo đó, khái niệm Đô thị cũng được nhận diện lại rõ ràng, chính xác hơn. Đô thị là nơi tập trung dân cư sinh sống có mật độ cao và chủ yếu hoạt động trong lĩnh vực phi nông nghiệp; là trung tâm chính trị, hành chính, kinh tế, văn hóa hoặc chuyên ngành, có vai trò thúc đẩy phát triển kinh tế - xã hội của quốc gia hoặc một vùng lãnh thổ. Trên cơ sở thực hiện mô hình chính quyền địa phương hai cấp, danh xưng Đô thị không tồn tại. Nhưng về bản chất Phường vẫn luôn là “máu thịt”, “xương cốt” của Đô thị. Chính vì thế Đô thị vẫn tồn tại và phát triển theo quy luật của nó bất chấp những đổi thay. Khu vực tập hợp các Phường - Đơn vị đô thị tạo nên không gian Đô thị, có ranh giới được bảo trợ bởi khái niệm đô thị. Khu vực tập hợp các Phường - Đơn vị đô thị rộng lớn, có quy mô và mật độ cao... là bản chất của một vùng đô thị hóa.



Nhận thức mới về Phường (P) -> Đơn vị đô thị (ĐVĐT)



(1) Sơ đồ cấu trúc tập hợp đơn vị đô thị (Vùng đô thị hoá)

(2) Sơ đồ cấu trúc tập hợp đơn vị cư trú nông thôn

Khu vực nông thôn sẽ là nơi tập hợp các Xã - Đơn vị cư trú nông thôn. Với mô hình chính quyền địa phương hai cấp thì cấp 1 gồm tỉnh, thành phố trực thuộc Trung ương sẽ trở thành các ranh chứa đựng các tập hợp Đơn vị đô thị và Đơn vị cư trú nông thôn (tương đương với hệ thống đô thị - nông thôn trong tỉnh và thành phố trực thuộc Trung ương trước đây). Tập hợp Đơn vị đô thị thuộc tỉnh hoặc thành phố trực thuộc Trung ương bản chất sẽ trở thành trung tâm động lực phát triển kinh tế - xã hội chính của địa phương có tính khu vực và liên vùng... Tỉnh và thành phố trực thuộc Trung ương về danh nghĩa đóng vai trò là vùng kinh tế - xã hội địa phương có mối liên kết chặt chẽ về chia sẻ chức năng trong cấu trúc không gian tổng thể quốc gia.

3. TƯƠNG LAI ĐÔ THỊ VIỆT NAM

Tính đến hết tháng 11/2024, Việt Nam có hơn 900 đô thị, trong đó có 2 đô thị loại đặc biệt (Hà Nội và TP.HCM), 21 đô thị loại I, 39 đô thị loại II, 44 đô thị loại III, 97 đô thị loại IV (chưa kể các đô thị loại V và thành phố thuộc thành phố trực thuộc Trung ương).

Khi thực hiện mô hình chính quyền địa phương 2 cấp, hệ thống đô thị Việt Nam sẽ bị tác động rất mạnh. Hơn 900 đô thị sẽ bị phân mảnh thành các phường, việc lập quy hoạch, phân loại đô thị cũng cần phải được nghiên cứu lại. Các vấn đề liên quan đến đô thị hóa cũng cần có cách tiếp cận mới.

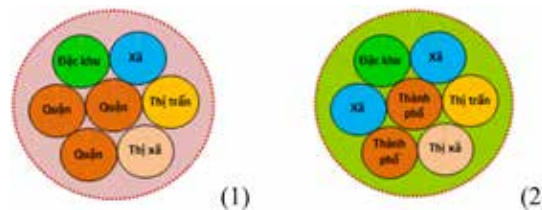
Hiện nay, trên thế giới, sự cạnh tranh toàn cầu đang chuyển từ cạnh tranh giữa các nước, sang cạnh tranh giữa các đô thị, đặc biệt là cạnh tranh giữa các vùng đô thị và các vùng kinh tế lớn. Kể từ năm 2009, Việt Nam có 4 vùng kinh tế trọng điểm, bao gồm Vùng kinh tế trọng điểm Bắc Bộ, Vùng kinh tế trọng điểm miền Trung, Vùng kinh tế trọng điểm phía Nam và vùng kinh tế trọng điểm ĐBSCL, với các đô thị hạt nhân là Hà Nội, TP.HCM, Đà Nẵng, và Cần Thơ, được xem là những vùng kinh tế động lực làm đầu tàu kéo theo sự phát triển của các địa phương trên cả nước... Khi thực hiện tái cấu trúc không gian lãnh thổ quốc gia từ 63 đơn vị hành chính xuống còn 34 tỉnh, thành phố trực thuộc Trung ương, việc tái cấu trúc lại vùng kinh tế trọng điểm hoặc xác định mới các vùng này cũng là điều cần thiết.

Trong bối cảnh mới, tương lai đô thị Việt Nam không thể không được nghiên cứu, định hình lại, gắn kết một cách biện chứng giữa quá trình công nghiệp hóa, hiện đại hóa đất nước với quá trình đô thị hóa quốc gia nhằm đạt được mục tiêu bước vào kỷ nguyên mới - kỷ nguyên vươn mình của dân tộc. Dưới đây là một số đề xuất cụ thể:

Đề xuất 1: Để đảm bảo đô thị vẫn tồn tại và phát triển theo hệ thống, bảo lưu tính ưu việt và kế thừa thì cấp dưới tỉnh/cấp cơ sở không nhất thiết phải phụ thuộc vào quy mô diện tích, dân số (mấy mốc theo tiêu chí toán học hay tên gọi). Điều quan trọng là cách thức quản trị cần phân biệt rạch ròi giữa khu vực đô thị và nông thôn. Nếu chúng ta coi cấp dưới tỉnh theo mô hình chính quyền địa phương 2 cấp gồm: quận, thị xã, thị trấn, xã, đặc khu đối với thành phố trực thuộc Trung ương; thành phố, thị xã, thị trấn, xã, đặc khu đối với tỉnh và được nhất thể hoá bởi nhận thức đây là các loại hình cấp hai theo mô hình chính quyền địa phương 2 cấp. Và chúng được hiểu với các tên tương đương: Phường, Xã và Đặc khu... Trong đó, Phường được hiểu gồm Quận, Thành phố, Thị xã, Thị trấn (không bao gồm ngoại thành, ngoại thị của thành phố và thị xã thuộc tỉnh).



Mô hình chính quyền địa phương hai cấp (Đề xuất)



(1) Sơ đồ cấu trúc thành phố trực thuộc Trung ương (vùng kinh tế - xã hội).

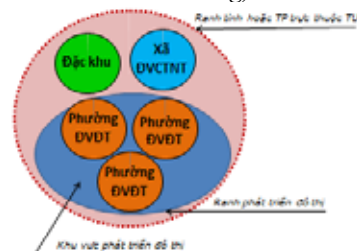
(2) Sơ đồ cấu trúc tỉnh (vùng kinh tế - xã hội).

Đề xuất 2: Để phù hợp với bối cảnh chung nhằm thực hiện mô hình chính quyền địa phương 2 cấp hiệu quả nhưng vẫn có cơ hội để duy trì hệ thống đô thị theo cách tiếp cận riêng của tư duy mới về phát triển đô thị, phù hợp quy luật quá trình đô thị hoá một cách linh hoạt... Như trên đã trao đổi, khu vực tập hợp các Phường - Đơn vị đô thị tạo nên không gian Đô thị, có ranh giới được bảo trợ bởi khái niệm đô thị. Khu vực tập hợp các Phường - Đơn vị đô thị rộng lớn, có quy mô và mật độ cao... là bản chất của một vùng đô thị hóa. Khu vực phát triển đô thị chính là khu vực tập hợp Đơn vị đô thị thuộc tỉnh hoặc thành phố trực thuộc Trung ương bản chất sẽ trở thành trung tâm động lực phát triển kinh tế - xã hội chính của địa phương có tính khu vực và liên vùng...

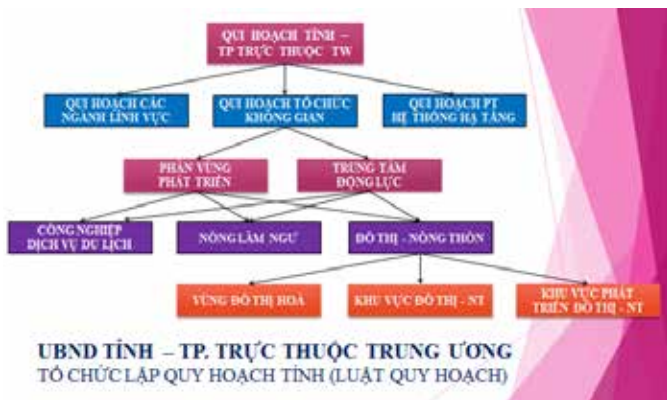
Ranh của khu vực phát triển đô thị có thể là ranh của một đô thị hoàn chỉnh, chúng cũng có thể dùng để xác định ranh vùng đô thị hoá, một cực tăng trưởng của một không gian lãnh thổ cụ thể. (Ví dụ: "Xây dựng phường Xuân Hương - Đà Lạt trở thành một vùng đô thị du lịch, dịch vụ, nghỉ dưỡng, thông minh, hiện đại; có đặc thù về khí hậu, cảnh quan tự nhiên..." theo Nghị quyết Đại hội lần thứ I, Đảng bộ phường Xuân Hương - Đà Lạt, tỉnh Lâm Đồng xác định).



Mô hình chính quyền địa phương 2 cấp (phù hợp với bối cảnh chung)



Sơ đồ cấu trúc tỉnh hoặc thành phố trực thuộc Trung ương (vùng kinh tế - xã hội)



Như vậy, đô thị vẫn luôn được khẳng định là khu vực tập trung dân cư sinh sống có mật độ cao và chủ yếu hoạt động trong lĩnh vực phi nông nghiệp; là trung tâm tổng hợp hoặc chuyên ngành, có vai trò thúc đẩy phát triển kinh tế - xã hội của quốc gia hoặc một vùng lãnh thổ; được tổ chức, quản lý phát triển theo quy hoạch và quy luật của quá trình đô thị hóa. Các loại quy hoạch đô thị và nông thôn bao gồm: Quy hoạch đô thị; Quy hoạch nông thôn; Quy hoạch đặc khu; Quy hoạch khu chức năng; Quy hoạch không gian ngầm và quy hoạch chuyên ngành hạ tầng kỹ thuật đối với thành phố trực thuộc Trung ương. Quy hoạch chung được lập cho thành phố trực thuộc Trung ương; Đô thị có phạm vi không gian là phường - đơn vị đô thị, là ranh tập hợp các phường - đơn vị đô thị/khu vực phát triển đô thị; Đô thị mở rộng hoặc đô thị mới có phạm vi không gian phát triển được UBND cấp tỉnh xác định trên cơ sở định hướng phát triển đô thị tại quy hoạch tổng thể hệ thống đô thị và nông thôn hoặc quy hoạch vùng, quy hoạch tỉnh và theo quy định của Chính phủ. Tùy vào trường hợp cụ thể, ranh tập hợp các phường - đơn vị đô thị/khu vực phát triển đô thị có quy mô diện tích, dân số, cấp loại đô thị tương đương với các loại đô thị tại thời điểm trước ngày 01/7/2025. UBND cấp tỉnh có trách nhiệm quyền hạn tổ chức lập ranh tập hợp các phường - đơn vị đô thị/khu vực phát triển đô thị, lập quy hoạch chung và các loại quy hoạch đô thị, nông thôn khác theo quy định của pháp luật. (Nghị định số 145/2025/NĐ-CP về phân định thẩm quyền của chính quyền địa phương 2 cấp; phân quyền phân cấp trong lĩnh vực quy hoạch đô thị và nông thôn; Nghị định số 178/2025/NĐ-CP quy định chi tiết một số điều của Luật Quy hoạch đô thị và nông thôn/Điều 7).

Trên cơ sở đó cần thống nhất nhận thức:

[a] PHƯỜNG - ĐƠN VỊ ĐÔ THỊ; XÃ - ĐƠN VỊ/CƯ TRÚ NÔNG THÔN;

[b] ĐÔ THỊ - TẬP HỢP CÁC ĐƠN VỊ ĐÔ THỊ;

[c] KHU VỰC (PHÁT TRIỂN) ĐÔ THỊ: Là khu vực tập hợp các đơn vị đô thị được tổ chức không gian trong một cấu trúc tổng thể thống nhất, theo mô hình và tiêu chuẩn đô thị. Các loại hình tổ chức không gian trong khu vực/phát triển đô thị bao gồm: (1) Khu đô thị mới: là khu vực được định hướng để phát triển theo mô hình và tiêu chuẩn đô

thị. (2) Khu đô thị hiện hữu: là khu vực đã phát triển theo mô hình và tiêu chuẩn đô thị. Căn cứ vào đặc điểm và tỷ lệ lấp đầy của khu vực, có thể lựa chọn mô hình tổ chức không gian đô thị theo các dạng: khu bảo tồn cấu trúc đô thị lịch sử, khu cải tạo, chỉnh trang, khu tái thiết...

[d] KHU VỰC LẬP QUY HOẠCH ĐÔ THỊ: là phạm vi hành chính của thành phố trực thuộc Trung ương; Khu vực/phát triển đô thị: cụm phường xã, phường riêng lẻ, hoặc khu vực được định hướng trở thành đô thị, được xác định (trong quy hoạch cấp trên, hoặc do cơ quan có thẩm quyền quyết định) để quy hoạch như một chỉnh thể đô thị thống nhất. Khu vực quy hoạch đô thị có thể được chia thành 4 loại theo quy mô dân số: (i) Siêu đô thị: có quy mô dân số từ 3 triệu người trở lên; (ii) Đô thị lớn: có quy mô dân số từ 0,5 - 3 triệu người; (iii) Đô thị trung bình: có quy mô dân số từ 50.000 - 500.000 người; (iv) Đô thị nhỏ: có quy mô dân số dưới 50.000 người...

4. VĨ THANH

Phát triển đô thị là một quá trình. Đô thị hóa là tất yếu khách quan, là một động lực quan trọng cho phát triển kinh tế - xã hội nhanh và bền vững. Trong kỷ nguyên vươn mình, quá trình đô thị hóa không thể tách rời quá trình công nghiệp hóa, hiện đại hóa đất nước. Tương lai đô thị sẽ tiếp tục phát triển theo đúng quy luật của nó. Đặc biệt chúng ta tin tưởng rằng hệ thống đô thị tiếp tục phát triển bền vững theo mạng lưới, phân bổ hợp lý, phù hợp với từng vùng, miền, bảo đảm đồng bộ, thống nhất, cân đối giữa các vùng, miền; tiếp tục phát triển các đô thị có chức năng tổng hợp với quy mô và dân số ở mức hợp lý theo hướng đô thị xanh, thông minh, thích ứng với biến đổi khí hậu, phòng, chống thiên tai và dịch bệnh; bảo đảm tính kết nối cao giữa các đô thị trực thuộc Trung ương, đô thị trung tâm cấp quốc gia với đô thị vùng và khu vực nông thôn; có những đô thị lớn, đủ tầm cỡ, đủ sức cạnh tranh, sánh vai với các đô thị lớn trên thế giới như Nghị quyết 06-NQ/TW của Bộ Chính trị đã xác định...❖

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

1. Nghị quyết 06-NQ/TW ngày 24/01/2022 của Bộ Chính trị về quy hoạch, xây dựng, quản lý và phát triển bền vững đô thị Việt Nam đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045.
2. Kết luận số 127-KL/TW về triển khai nghiên cứu, đề xuất tiếp tục sắp xếp tổ chức bộ máy của hệ thống chính trị...
3. Dự thảo Nghị định của Chính phủ Quy định về phân cấp, phân định trách nhiệm, thẩm quyền trong hoạt động quy hoạch đô thị và nông thôn khi tổ chức chính quyền địa phương 2 cấp.../Bộ Xây dựng.
4. Báo cáo tổng kết lĩnh vực quy hoạch kiến trúc, phát triển đô thị năm 2024 của Bộ Xây dựng/Ý Nhi/Báo Xây dựng.
5. Đơn vị ở và câu chuyện của tương lai/TS.KTS Trương Văn Quảng (VUPDA)
6. Nghị định số 145/2025/NĐ-CP về phân định thẩm quyền của chính quyền địa phương hai cấp; phân quyền phân cấp trong lĩnh vực quy hoạch đô thị và nông thôn.
7. Nghị định số 178/2025/NĐ-CP quy định chi tiết một số điều của Luật Quy hoạch đô thị và nông thôn.

Lý luận và thực tiễn về quản lý phát triển đô thị theo hướng đô thị nén trên thế giới



PGS.TS LƯU ĐỨC HẢI



KS NGUYỄN THỊ THANH HOA

Qúa trình đô thị hóa nhanh chóng tại nhiều quốc gia, trong đó có Việt Nam, đã làm gia tăng tình trạng đô thị trải rộng, gây lãng phí đất đai, ô nhiễm môi trường và suy giảm chất lượng sống. Trong bối cảnh đó, mô hình đô thị nén (compact city) được xem là một giải pháp phát triển bền vững, hướng tới sử dụng hiệu quả không gian đô thị, giảm phát thải, tăng cường tương tác xã hội và nâng cao chất lượng hạ tầng. Bài viết này hệ thống hóa cơ sở lý luận về đô thị nén, từ khái niệm, các tiêu chí đánh giá đến lợi ích và thách thức trong triển khai. Đồng thời, nghiên cứu phân tích kinh nghiệm quốc tế tại châu Âu, Bắc Mỹ và châu Á, trong đó nhiều đô thị thành công nhờ quy hoạch tích hợp, phát triển giao thông công cộng chất lượng cao, chính sách quản lý đất đai - tài chính chặt chẽ và các giải pháp đảm bảo công bằng xã hội. Trên cơ sở đó, bài viết rút ra một số bài học cho Việt Nam, bao gồm: tích hợp quy hoạch đô thị - giao thông theo định hướng TOD, kiểm soát mật độ dân số và hạ tầng, áp dụng cơ chế tài chính đất đai bền vững, phát triển nhà ở xã hội và hướng tới đô thị xanh - thông minh. Kết luận khẳng định rằng đô thị nén là một hướng đi tất yếu cho phát triển đô thị bền vững, nhưng việc áp dụng tại Việt Nam cần có sự điều chỉnh phù hợp với điều kiện kinh tế - xã hội và thể chế quản lý.

1. TỔNG QUAN VỀ PHÁT TRIỂN ĐÔ THỊ THEO XU HƯỚNG ĐÔ THỊ NÉN TRÊN THẾ GIỚI

1.1. Sự xuất hiện của đô thị nén

Đô thị nén xuất hiện từ những năm 1930 như phản ứng trước mở rộng đô thị và nhu cầu bảo tồn đất, được định hình rõ hơn từ thập niên 1960 - 1970 và phát triển mạnh từ thập niên 1990 gắn với mục tiêu phát triển bền vững, tăng trưởng

xanh và ứng phó biến đổi khí hậu.

Khái niệm này nhìn chung chỉ thành phố có mật độ cao, đa chức năng, dựa trên giao thông công cộng, khuyến khích đi bộ và xe đạp. Đô thị nén vừa mang lại lợi ích về kinh tế (hiệu quả hạ tầng, năng suất, hấp dẫn đầu tư), xã hội (tăng tương tác cộng đồng, cơ hội giao lưu, bình đẳng xã hội), môi trường (giảm phát thải, tiết kiệm đất, bảo tồn tự nhiên) và di chuyển (giảm phụ thuộc ô tô, cải thiện chất lượng không khí), vừa tiềm ẩn thách thức như chi phí sống cao, phân biệt xã hội, ô nhiễm, đảo nhiệt, tắc nghẽn giao thông hoặc căng thẳng đô thị.

Ngày nay, đô thị nén được nhiều tổ chức quốc tế (EU, OECD, UN-Habitat) coi là chiến lược phát triển bền vững, đồng thời gắn với sáng tạo, đổi mới và nâng cao chất lượng sống đô thị.

1.2. Một số khái niệm về đô thị nén

OECD (2012): "Đô thị nén là một dạng phát triển đô thị với mật độ dân cư và xây dựng cao, phân bố chức năng hỗn hợp và hệ thống giao thông bền vững, nhằm tối ưu hóa sử dụng đất, tiết kiệm năng lượng và nâng cao chất lượng sống đô thị".

Jenks & Burgess (2000): "Mô hình đô thị nén nhấn mạnh vào sự phát triển trong phạm vi không gian đô thị hiện hữu, với các đặc trưng như: tái phát triển nội đô, mật độ cao, sử dụng hỗn hợp đất đai và khả năng tiếp cận dễ dàng đến các dịch vụ và phương tiện giao thông công cộng".

UN-Habitat (2012): "Đô thị nén được thiết kế nhằm đảm bảo mức độ nén hợp lý giữa con người, công trình và hạ tầng trong không gian đô thị, thúc đẩy hiệu quả kinh tế và giảm tác động môi trường".

European Environment Agency (EEA): "Đô thị nén là hình thức quy hoạch chống đô thị hóa tràn lan (urban sprawl),

Viện Nghiên cứu đô thị và phát triển hạ tầng



trong đó các không gian được tổ chức hợp lý nhằm giảm quãng đường di chuyển, tiêu thụ đất và năng lượng".

Đô thị nhỏ gọn: là một khái niệm tương đồng của đô thị nén, được định nghĩa là đô thị có mật độ định cư cao, diện tích nhỏ nên chủ yếu phát triển về chiều cao và không gian phía trên, ít phụ thuộc vào xe ô tô cá nhân, có ranh giới rõ ràng với các khu vực xung quanh, có khả năng tự cung cấp đầy đủ dịch vụ, sử dụng hỗn hợp đất đai một cách đa dạng tức là phát triển các khu vực đô thị đa chức năng (cư trú, làm việc, học hành, mua sắm và giải trí), để tạo điều kiện cho phần lớn người dân hàng ngày có thể đến các nơi cần thiết chỉ bằng đi bộ, xe đạp và giao thông công cộng" (Nguồn Wikipedia).

Đô thị nén là đô thị có mô hình tổ chức không gian tập trung dựa trên ba đặc điểm cơ bản về không gian: mật độ và khoảng cách; liên kết không gian bằng hệ thống GTCC; đặc điểm tiếp cận tới việc làm và dịch vụ.

Đô thị nén đa trung tâm: là đô thị có mô hình tổ chức không gian với nhiều trung tâm khác nhau, có tính chất độc lập hoặc phụ thuộc lẫn nhau. Mỗi trung tâm có tiêu chí của đô thị nén và được liên kết với nhau bằng hệ thống giao thông công cộng [2].

Khu vực phát triển nén: là một bộ phận của đô thị, có không gian phát triển nén tại một khu vực, địa điểm, bao gồm một hoặc nhiều tổ hợp công trình [3].

2. LÝ LUẬN VỀ MÔ HÌNH ĐÔ THỊ NÉN

2.1. Tiêu chí đánh giá mô hình đô thị nén

Xuất phát từ quan điểm bảo vệ môi trường và sử dụng năng lượng hiệu quả (Rod Burgess, 2000). Đô thị nén gắn với mật độ dân số và xây dựng cao, tập trung hoạt động kinh tế - xã hội - văn hóa, định hình quy mô và cấu trúc đô thị.

2.2. Nguyên tắc quản lý đô thị nén

Cân bằng giữa khu vực trung tâm và vùng ngoại vi

Trung tâm nén cao cần ngoại vi rộng để dự trữ nước, nông nghiệp đô thị, rừng - đất ngập nước.

Khu trung tâm (CBD) phải có nhiều không gian công cộng, giao thông và công trình công cộng (như Barcelona, New York dành ~35% cho giao thông, 15% cho công trình công cộng).

Mức độ nén phụ thuộc vào năng lực của hệ thống giao thông, hạ tầng kỹ thuật

Mật độ nén phải phù hợp với năng lực hạ tầng giao thông và giao thông công cộng.

New York giới hạn FAR <10 (cá biệt 15 ở gần Metro và công viên).

Ở Hà Nội và TP.HCM, FAR đã 10 - 12 nhưng đất giao thông mới 7 - 10%, thấp hơn chuẩn quốc tế.

Cần áp dụng Traffic Impact Assessment (TIA) để quản lý mật độ theo khả năng hạ tầng.

Lựa chọn mô hình phát triển nhà ở đóng vai trò quan trọng đối với mức độ nén của đô thị

Nhà ở chiếm tới 50% diện tích đô thị → ảnh hưởng lớn tới mức độ nén.

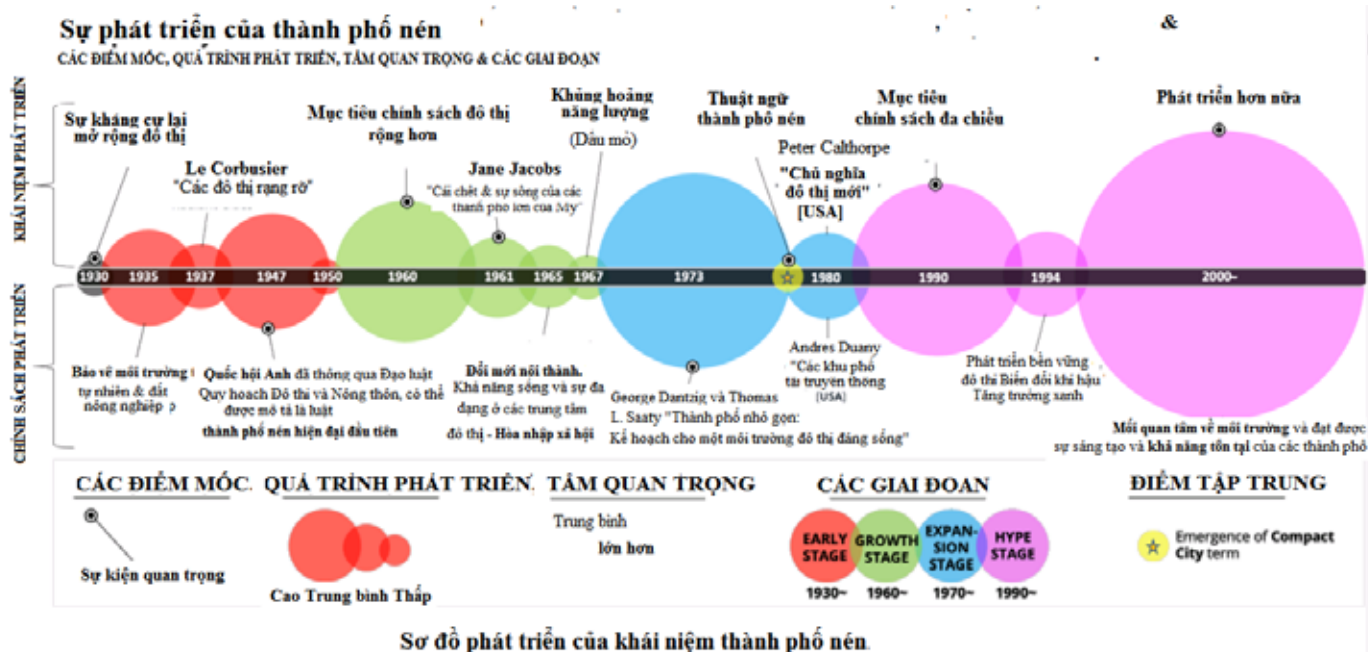
Chung cư thấp tầng có thể nén cao hơn nhiều so với biệt thự (giảm diện tích tới 6 - 15 lần).

Đúc đạt hiệu quả nén với nhà dưới 6 tầng ($\leq 22m$), tiết kiệm đất, chi phí, tăng gắn kết cộng đồng.

Vấn đề: nhiều dự án bỏ trống đất, phân kỳ xây dựng kéo dài, đất ngoại ô xen kẹt 15 - 30% do thiếu công cụ kiểm soát thị trường và quản lý đất đai.

Phát triển đô thị nén phải đi đôi với kiểm soát chất lượng môi trường

Một trong các mục tiêu của phát triển nén là dành nhiều không gian hơn cho không gian xanh, không gian sinh



Hình 1. Minh họa sự phát triển chi tiết của khái niệm đô thị nén [1].

thái, không gian công cộng, qua đó cải thiện chất lượng môi trường sống. Tuy nhiên, nếu không kiểm soát tốt việc phát triển nén ở mức độ phù hợp lại có thể gây ra nhiều hệ lụy ngược lại cho môi trường sống, cụ thể là làm giảm chất lượng nhà ở, quá tải về hạ tầng, tăng nguy cơ lây nhiễm dịch bệnh... Ví dụ của Hồng Kông (Trung Quốc) là một điển hình.

2.3. Lợi ích của mô hình đô thị nén

Mô hình đô thị nén mang lại nhiều lợi ích đa chiều, góp phần định hướng phát triển đô thị bền vững.

Thứ nhất, đô thị nén tối ưu hóa sử dụng đất và hạn chế mở rộng đô thị tràn lan, từ đó bảo tồn không gian xanh, hệ sinh thái và đất nông nghiệp. Bằng cách tập trung phát triển, các thành phố không chỉ giảm thiểu dấu chân sinh thái mà còn thúc đẩy các giải pháp giao thông bền vững như đi bộ, xe đạp và giao thông công cộng, qua đó giảm phát thải khí nhà kính và tình trạng tắc nghẽn.

Thứ hai, đô thị nén cải thiện khả năng tiếp cận và di chuyển, nhờ bố trí nhà ở, dịch vụ và tiện ích gần nhau, giúp rút ngắn thời gian đi lại, nâng cao chất lượng sống và tạo điều kiện cho kinh tế địa phương phát triển.

Thứ ba, mô hình này mang lại hiệu quả kinh tế, khi tận dụng tốt hạ tầng hiện hữu, giảm chi phí mở rộng và vận hành. Các tòa nhà đa chức năng cùng mật độ dân số cao giúp gia tăng lưu lượng khách hàng, thu hút đầu tư, sáng tạo và khởi nghiệp, qua đó hình thành nền kinh tế đô thị năng động.

Thứ tư, đô thị nén thúc đẩy tương tác xã hội, với không gian công cộng, quảng trường, công viên và các khu chức năng hỗn hợp, tạo cơ hội giao lưu, gắn kết cộng đồng, giảm thiểu sự cô lập xã hội.

Cuối cùng, việc sử dụng đất hiệu quả giúp tái tạo các khu đất bỏ trống, khai thác tối đa diện tích đô thị, đồng thời duy trì cảnh quan nông thôn và hệ sinh thái tự nhiên. Điều này

tạo nền tảng cho phát triển đô thị bền vững, cân bằng giữa nhu cầu tăng trưởng và bảo vệ môi trường.

2.4. Thách thức trong quản lý đô thị nén

Đô thị nén không đơn thuần là xây dựng hơn mà là tăng trưởng thông minh hơn. Khái niệm đô thị "nén" (compact) không chỉ là một kết quả cụ thể mà là một quá trình điều chỉnh chính cách thức tăng trưởng thông minh hơn (smart growth) với mục tiêu xây dựng các đô thị nhỏ gọn, hiệu quả từ sử dụng đất cho tới đi lại nhằm nâng cao khả năng tiếp cận đến các trung tâm công cộng, nhà ở, và việc làm với chi phí và cự ly di chuyển hợp lý, giảm thiểu chi phí hạ tầng và dịch vụ công, giảm chi phí kinh doanh cho doanh nghiệp, giảm thiểu tác động của quá trình đô thị hóa lên môi trường tự nhiên, và giảm bất bình đẳng xã hội [4].

Áp lực về hạ tầng và dịch vụ công cộng

Đô thị nén tập trung đông dân cư và hoạt động kinh tế, tạo áp lực lớn lên hệ thống hạ tầng và dịch vụ công cộng hiện có.

Giao thông: Tắc nghẽn giao thông, thiếu chỗ đậu xe và áp lực lên hệ thống giao thông công cộng là những vấn đề thường gặp. Mặc dù mục tiêu của đô thị nén là khuyến khích đi bộ, đi xe đạp và sử dụng phương tiện công cộng, nhưng việc triển khai và nâng cấp hạ tầng giao thông để đáp ứng nhu cầu tăng cao là một thách thức lớn.

Nhà ở: Nhu cầu nhà ở tăng cao dẫn đến giá nhà đất leo thang, khiến nhiều người dân khó có thể tiếp cận nhà ở giá phải chăng. Vấn đề nhà ở xã hội và quản lý thị trường bất động sản trở nên phức tạp hơn.

Cấp thoát nước, điện, xử lý rác thải: Hệ thống cấp thoát nước, điện và xử lý rác thải cần được nâng cấp và mở rộng để đáp ứng nhu cầu của dân số đông đúc. Nguy cơ quá tải và ô nhiễm môi trường là rất cao nếu không có quy hoạch và

Bảng 1. Tiến trình phát triển tiêu chí mô hình đô thị nén

Năm	Tác giả/Tổ chức	Nội dung & Tiêu chí chính
1973	Danzig & Saaty	Xem đô thị nén là môi trường định cư lý tưởng; tiêu chí: đất đai, giao thông, công trình công cộng, công viên - quảng trường; bán kính khu ở 500 m.
1996	Thomas & Cousins	Đề xuất đô thị nén Mỹ: tiếp cận bằng đi bộ, xe đạp, GTCC, tôn trọng thiên nhiên hoang dã.
1999	Churchman	Đưa ra tiêu chí ranh giới phát triển đô thị (kiểm soát đô thị hóa) và sử dụng đất hỗn hợp.
2002	Burton	Đề xuất: nhà ở mật độ cao, sử dụng đất hỗn hợp (theo chiều dọc, cao tầng), hệ thống trung tâm thứ cấp; nghiên cứu 25 đô thị Anh, chỉ ra công bằng xã hội ít gắn với đô thị nén.
2005	Newman	Bổ sung tiêu chí về hình thái xây dựng (lô đất, ô phố, ranh giới đô thị, độ đặc rỗng), hạ tầng kỹ thuật, tài chính và thể chế quy hoạch - quản lý.
2012	OECD	Xây dựng bộ tiêu chí cho châu Âu: mật độ cao, ranh giới đô thị, GTCC định hướng, đất hỗn hợp, khả năng tiếp cận dịch vụ - việc làm, phối hợp quản lý đô thị - vùng.
2017	UN-Habitat	Mô hình toàn diện, 5 nguyên tắc: (1) Mạng đường phố hiệu quả; (2) Mật độ ≥ 15.000 người/km ² ; (3) Sử dụng đất hỗn hợp $\geq 40\%$ diện tích sàn cho kinh tế; (4) Đa dạng thu nhập (20 - 50% sàn cho nhà ở giá thấp); (5) Hạn chế đơn chức năng $\leq 10\%$, tiếp cận GTCC trong bán kính 400 - 500 m.

Bảng 2. Các đặc điểm cốt lõi của đô thị nén

Yếu tố	Mô tả
Mật độ cao	Cả về dân cư và công trình xây dựng; giúp tối ưu hóa hạ tầng và dịch vụ.
Sử dụng đất tích hợp	Bố trí chức năng đa dạng trong cùng không gian (ở, làm việc, giải trí).
Giao thông xanh bền vững	Ưu tiên đi bộ, xe đạp, giao thông công cộng - hạn chế xe cá nhân.
Tái phát triển nội thị	Tận dụng quỹ đất hiện hữu thay vì mở rộng mới.
Tăng không gian công cộng	Xen cài công viên, quảng trường, tiện ích cộng đồng để nâng cao chất lượng sống.

quản lý hiệu quả.

Y tế, giáo dục, không gian xanh: Các dịch vụ y tế, giáo dục cũng phải đối mặt với áp lực do số lượng người sử dụng tăng lên. Việc duy trì và phát triển không gian xanh công cộng, khu vui chơi giải trí cũng là một thách thức trong bối cảnh quỹ đất hạn chế.

Chất lượng sống và môi trường đô thị

Mặc dù đô thị nén có thể thúc đẩy sự sống động, nhưng nếu không được quản lý tốt, nó có thể ảnh hưởng tiêu cực đến chất lượng sống và môi trường.

Ô nhiễm môi trường: Mật độ dân số và hoạt động giao thông cao có thể dẫn đến ô nhiễm không khí và tiếng ồn. Quản lý chất lượng không khí và giảm tiếng ồn trở thành ưu tiên.

Thiếu không gian riêng tư và căng thẳng: Mật độ dân số cao có thể làm giảm không gian riêng tư và gây căng thẳng cho cư dân.

Hiệu ứng đảo nhiệt đô thị: Bê tông hóa và thiếu cây xanh làm tăng nhiệt độ đô thị, đặc biệt là vào mùa hè, gây ra hiệu ứng đảo nhiệt đô thị.

Vấn đề xã hội và quản trị

Đô thị nén cũng đặt ra các thách thức về mặt xã hội và quản trị.

Đa dạng xã hội và xung đột: Sự đa dạng về kinh tế, văn hóa và xã hội trong một không gian hạn chế có thể dẫn đến xung đột hoặc căng thẳng nếu không có cơ chế quản lý và

hòa giải hiệu quả.

Bảo tồn di sản và bản sắc đô thị: Trong quá trình phát triển đô thị nén, việc bảo tồn các công trình kiến trúc, di sản văn hóa và bản sắc riêng của đô thị là một thách thức lớn.

Sự tham gia của cộng đồng: Đảm bảo sự tham gia của người dân vào quá trình quy hoạch và quản lý đô thị là rất quan trọng để đạt được sự đồng thuận và hiệu quả.

Quản lý không gian công cộng: Việc quản lý và duy trì không gian công cộng hiệu quả để phục vụ đa dạng nhu cầu của người dân là cần thiết.

Thách thức về quy hoạch và chính sách

Việc quy hoạch và ban hành chính sách phù hợp cho đô thị nén đòi hỏi sự cân nhắc kỹ lưỡng.

Thiếu tầm nhìn dài hạn: Quy hoạch đô thị cần có tầm nhìn dài hạn, tích hợp các yếu tố về kinh tế, xã hội, môi trường và thích ứng với biến đổi khí hậu.

Phối hợp liên ngành: Quản lý đô thị nén đòi hỏi sự phối hợp chặt chẽ giữa các sở, ban, ngành khác nhau (giao thông, xây dựng, môi trường, y tế, giáo dục...).

Khung pháp lý: Cần có khung pháp lý rõ ràng, linh hoạt để điều chỉnh các vấn đề liên quan đến mật độ xây dựng, chiều cao công trình, sử dụng hỗn hợp đất đai.

Tài chính và đầu tư: Huy động nguồn lực tài chính và khuyến khích đầu tư tư nhân vào phát triển hạ tầng và dịch vụ là yếu tố then chốt.

Tóm lại, quản lý đô thị nén là một quá trình phức tạp, đòi

hỏi sự kết hợp hài hòa giữa quy hoạch thông minh, đầu tư hợp lý, quản trị hiệu quả và sự tham gia của cộng đồng để đảm bảo phát triển bền vững và nâng cao chất lượng sống cho người dân.

3. KINH NGHIỆM QUỐC TẾ TRONG QUẢN LÝ PHÁT TRIỂN ĐÔ THỊ NÉN

Kinh nghiệm quốc tế về quản lý phát triển đô thị nén rất đa dạng, phản ánh sự khác biệt về bối cảnh kinh tế, xã hội, văn hóa, thể chế và địa lý của từng quốc gia. Tuy nhiên, có những nguyên tắc và chiến lược chung đã được nhiều thành phố áp dụng thành công để đạt được mục tiêu về hiệu quả sử dụng đất, bền vững môi trường và chất lượng sống đô thị.

3.1. Châu Âu

Các thành phố châu Âu, với lịch sử phát triển đô thị lâu đời và cấu trúc đô thị dày đặc, đã tiên phong trong việc áp dụng mô hình đô thị nén như một giải pháp chống lại sự bành trướng đô thị và thúc đẩy phát triển bền vững.

Copenhagen, Đan Mạch: Mô hình "Five Finger Plan" (Quy hoạch năm ngón tay)

Đặc điểm: Từ năm 1947, Copenhagen đã định hướng phát triển đô thị theo hình "năm ngón tay", với các dải đô thị nén chạy dọc theo các tuyến giao thông công cộng chính (đường sắt S-tog) tỏa ra từ trung tâm thành phố, trong khi các "kẽ tay" được giữ lại làm không gian xanh, nông nghiệp và giải trí.

- *Chiến lược quản lý:*

Quy hoạch vùng chặt chẽ: Kiểm soát chặt chẽ việc phát triển đô thị bên ngoài các "ngón tay" để bảo tồn không gian mở.

Ưu tiên xe đạp và giao thông công cộng: Đầu tư mạnh vào mạng lưới xe đạp rộng khắp và hệ thống giao thông công cộng hiệu quả, khuyến khích người dân sử dụng các phương tiện bền vững.

Phát triển đa chức năng: Khuyến khích phát triển các khu đô thị hỗn hợp dọc theo các tuyến giao thông, giảm nhu cầu di chuyển.

- *Bài học:* Sự cam kết lâu dài với một tầm nhìn quy hoạch rõ ràng, tích hợp giao thông công cộng với sử dụng đất, và ưu tiên các phương tiện bền vững là chìa khóa thành công.

3.2. Châu Á

Các thành phố châu Á đối mặt với tốc độ đô thị hóa nhanh chóng và quy mô dân số khổng lồ, buộc phải áp dụng các chiến lược phát triển nén để đối phó với áp lực tài nguyên và không gian.

Singapore: Quy hoạch tổng thể chặt chẽ và tái phát triển đất đai

- **Đặc điểm:** Là một quốc đảo có diện tích rất hạn chế, Singapore đã áp dụng một chiến lược quy hoạch đô thị nén cực kỳ chặt chẽ và dài hạn.

- *Chiến lược quản lý:*

Quy hoạch tổng thể (Master Plan) nghiêm ngặt: Quy hoạch đất đai được kiểm soát bởi chính phủ, đảm bảo sử dụng đất hiệu quả tối đa.

Tái phát triển đất đai: Các khu vực cũ được tái phát triển



Hình 2. Copenhagen, Đan Mạch.

Nguồn: Internet.

thành các khu đô thị hiện đại, mật độ cao.

Xây dựng trên đất lấn biển và công trình ngầm: Mở rộng diện tích đất và không gian sử dụng thông qua các dự án lấn biển và xây dựng công trình ngầm quy mô lớn.

Phát triển các "thị trấn" tự cung tự cấp: Tạo ra các khu dân cư lớn, được quy hoạch toàn diện với đầy đủ tiện ích (nhà ở, trường học, trung tâm mua sắm, công viên) để giảm nhu cầu di chuyển vào trung tâm.

Mạng lưới giao thông công cộng tích hợp: Đầu tư mạnh vào hệ thống tàu điện ngầm (MRT) và xe buýt, kết nối các khu dân cư với trung tâm và các khu vực làm việc. Tại Singapore, nhiều giải pháp được sử dụng để cải thiện quá trình di chuyển đến nơi làm việc theo hai cấp (20 phút đến nơi có dịch vụ và 45 phút đến trung tâm thành phố). Các giải pháp này tháo gỡ nhiều vướng mắc trong tiếp cận đến nơi có giao thông công cộng, đến nơi có dịch vụ, và nhiều vướng mắc khác với sự tổ hợp hệ thống hai cấp gồm các tuyến đường được phục vụ linh hoạt (DRS - Dynamic Routed Services), các tuyến đường xe đạp riêng, các hành lang ưu tiên vận tải công cộng (Transit Priority Corridors - TPC), và chương trình kết nối thẳng không qua trung chuyển (Point-to-Point - P2P)

- *Bài học:* Tầm nhìn dài hạn, quy hoạch tổng thể nghiêm ngặt, khả năng thích ứng thông qua tái phát triển và sử dụng công nghệ để tối ưu hóa không gian là chìa khóa thành công.

3.3. Bắc Mỹ

Ở Bắc Mỹ, thuật ngữ "Tăng trưởng thông minh" thường được sử dụng thay cho "Đô thị nén", tập trung vào việc chống lại "bành trướng đô thị" (urban sprawl).

Portland, Oregon, Hoa Kỳ: "Urban Growth Boundary" (Ranh giới tăng trưởng đô thị)

- **Đặc điểm:** Portland là một trong những thành phố tiên phong ở Mỹ áp dụng "Ranh giới tăng trưởng đô thị" nhằm kiểm soát sự bành trướng và định hướng phát triển nội đô.

- *Chiến lược quản lý:*

Thiết lập ranh giới tăng trưởng đô thị (UGB): Pháp luật yêu cầu các thành phố phải thiết lập UGB để phân định rõ ràng



Hình 4. Chiến lược phát triển thành phố theo thời gian tiếp cận ở Singapore [5].

khu vực phát triển đô thị và khu vực nông nghiệp/tự nhiên được bảo tồn.

Khuyến khích phát triển nội đô: Tập trung đầu tư và khuyến khích phát triển mật độ cao, hỗn hợp trong khu vực UGB, đặc biệt xung quanh các tuyến giao thông công cộng.

Đầu tư vào giao thông công cộng: Phát triển hệ thống xe điện (MAX light rail) và xe buýt.

- *Bài học:* Việc áp dụng một công cụ quy hoạch mạnh mẽ như UGB, kết hợp với các chính sách khuyến khích phát triển nội đô và giao thông công cộng, có thể kiểm soát hiệu quả sự bành trướng.

3.4. Các yếu tố thành công chung trong quản lý đô thị nén

Kinh nghiệm quốc tế cho thấy sự thành công trong quản lý phát triển đô thị nén phụ thuộc vào nhiều yếu tố then chốt. Trước hết là tầm nhìn quy hoạch dài hạn và nhất quán, cùng với hệ thống giao thông công cộng hiệu quả, đặc biệt là chiến lược phát triển định hướng giao thông (TOD). Bên cạnh đó, chính sách sử dụng đất cần linh hoạt nhưng vẫn được kiểm soát chặt chẽ để vừa hỗ trợ phát triển mật độ cao, đa chức năng, vừa bảo vệ không gian xanh và nông nghiệp. Sự hợp tác công - tư và sự tham gia của cộng đồng đóng vai trò quan trọng trong việc nâng cao tính khả thi và bền vững của các dự án. Đồng thời, việc đầu tư vào hạ tầng xã hội và không gian xanh giúp bảo đảm chất lượng sống trong môi trường mật độ cao. Một khung pháp lý - thể chế mạnh mẽ cùng khả năng thích ứng, đổi mới liên tục là nền tảng để ứng phó với các thách thức mới. Nhìn chung, quản lý đô thị nén là một chiến lược phức tạp nhưng khả thi, đòi hỏi sự phối hợp đa ngành và học hỏi từ kinh nghiệm quốc tế nhằm hướng tới phát triển đô thị bền vững.

4. LỜI KẾT

Mô hình đô thị nén ngày càng trở thành định hướng phát triển cấp thiết trong bối cảnh toàn cầu hóa và đô thị

hóa nhanh. Không chỉ dừng lại ở một khái niệm quy hoạch kỹ thuật, đô thị nén được nhìn nhận như một triết lý phát triển đô thị bền vững, hướng tới tối ưu hóa sử dụng đất, giảm thiểu tác động môi trường, nâng cao hiệu quả kinh tế và cải thiện chất lượng sống. Các nguyên tắc cốt lõi bao gồm phát triển mật độ cao hợp lý, sử dụng đất hỗn hợp, ưu tiên giao thông công cộng và di chuyển bền vững, song song với bảo tồn không gian xanh.

Thực tiễn từ các thành phố như Tokyo, Copenhagen, Singapore hay Portland đã chứng minh tính khả thi của mô hình; đồng thời chỉ ra những yếu tố quyết định thành công: tầm nhìn quy hoạch dài hạn, hệ thống giao thông công cộng hiệu quả (đặc biệt là TOD), chính sách sử dụng đất linh hoạt nhưng kiểm soát chặt chẽ, hợp tác công - tư, đầu tư vào hạ tầng xã hội và không gian xanh, cùng khung pháp lý mạnh mẽ. Tuy nhiên, các thách thức như áp lực giá nhà, nguy cơ quá tải hạ tầng và duy trì chất lượng sống trong bối cảnh mật độ cao vẫn hiện hữu.

Nhìn chung, đô thị nén là xu thế tất yếu, đòi hỏi chuyển đổi tư duy quản lý từ mở rộng không gian sang tối ưu hóa không gian, cùng sự phối hợp chặt chẽ giữa chính quyền, khu vực tư nhân và cộng đồng nhằm kiến tạo đô thị bền vững và đáng sống cho tương lai.❖

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Compact City: What Is the Extent of Our Exploration for Its Meanings? A Systematic Review- by Faisal Bin Sulaiman, 2023.
2. PGS.TS Lưu Đức Cường, ThS.KTS Lê Kiều Thanh (2018), Cơ hội và thách thức phát triển mô hình đô thị nén bền vững tại Việt Nam, Tạp chí Quy hoạch xây dựng số 94, 2018.
3. Phạm Sĩ Liêm, Bùi Mạnh Tiến (2013), Sức sống đô thị nén, tạp chí Asui.com. 2013 <https://ashui.com/mag/chuyenmuc/quy-hoach-do-thi/8253-suc-song-do-thi-nen.html>
4. Vaggione, P. and e. al, Urban planning for city leaders, ed. n. edition. 2013: UN-HABITAT.
5. Authority, S.s.L.T., Land Transport Master Plan 2040, 2019.

Kẹt xe - ngập lụt

Vòng xoáy đô thị hóa và tiếp cận quy hoạch tích hợp



PGS.TS.KTS NGUYỄN VŨ PHƯƠNG*

Quá trình đô thị hóa ở Việt Nam diễn ra nhanh chóng và rộng khắp, trở thành động lực then chốt cho tăng trưởng kinh tế và hội nhập quốc tế. Tuy nhiên, sự phát triển này cũng kéo theo nhiều hệ lụy môi trường - xã hội, trong đó nổi bật là ùn tắc giao thông và ngập lụt đô thị. Đây là “tác động kép” tại các siêu đô thị như Hà Nội và TP.HCM, nơi dân số đã vượt ngưỡng 8 triệu người, trong bối cảnh đô thị hóa thiếu kiểm soát, hạ tầng chưa đồng bộ và quy hoạch thiếu tích hợp. Nếu chỉ tập trung mở rộng đường hoặc phát triển metro mà bỏ qua cải tạo hệ thống thoát nước hoặc ngược lại, đô thị sẽ phải gánh “chi phí kép” cả về kinh tế lẫn hiệu quả vận hành.

Hai hiện tượng này không tồn tại tách biệt mà có mối quan hệ tương hỗ, do đó quy hoạch tích hợp giữa giao thông và thoát nước đô thị trở thành yêu cầu cấp thiết đối với các đô thị lớn của Việt Nam. Đây chính là chìa khóa giúp các đô thị thoát khỏi vòng luẩn quẩn “kẹt xe - ngập lụt”, đồng thời hướng tới một tương lai an toàn, đáng sống, phát triển bền vững và thích ứng với biến đổi khí hậu.

1. THỰC TRẠNG VÀ NGUYÊN NHÂN

Trong hơn hai thập kỷ qua, tắc nghẽn giao thông và ngập lụt đã trở thành những thách thức điển hình của các đô thị lớn tại Việt Nam, đặc biệt là Hà Nội và TP.HCM. Tại TP.HCM, số lượng phương tiện cá nhân tăng với tốc độ trung bình 7 - 8%/năm trong giai đoạn 2010 - 2020, khiến mật độ giao thông vượt xa năng lực hạ tầng hiện hữu (Sở GTVT TP.HCM, 2022). Tại Hà Nội, với hơn 9,2 triệu dân nhưng có tới gần 9 triệu phương tiện lưu thông (Sở GTVT Hà Nội, 2024), trong khi quỹ đất dành cho giao thông chỉ đạt khoảng 10% diện tích đất đô thị, thấp hơn nhiều so với mức chuẩn 20 - 25% của các thành phố phát triển (World Bank, 2019).

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

Cùng với đó, tình trạng ngập úng cục bộ ngày càng gia tăng do sự cộng hưởng của nhiều yếu tố: (i) diện tích bề mặt bê tông hóa mở rộng làm suy giảm khả năng thấm tự nhiên; (ii) hệ thống cống thoát nước xuống cấp, nhiều tuyến được xây dựng từ thời Pháp thuộc hoặc giai đoạn 1960 - 1980, không còn phù hợp với lượng mưa cực đoan hiện nay; (iii) tác động của biến đổi khí hậu với tần suất mưa lớn và triều cường ngày càng bất thường. Theo báo cáo của Trung tâm Quản lý hạ tầng kỹ thuật TP.HCM (2021), chỉ một trận mưa có vũ lượng trên 100 mm cũng có thể gây ra hơn 20 điểm ngập trên toàn thành phố. (Hình 1a,b)

Nguyên nhân cốt lõi của vòng xoáy “kẹt xe - ngập lụt” là do đô thị hóa thiếu kiểm soát và quy hoạch thiếu tích hợp. Nhiều dự án giao thông được triển khai độc lập với hệ thống thoát nước hoặc quy hoạch sử dụng đất, dẫn đến tình trạng đường mở rộng nhưng không có giải pháp tiêu thoát kèm theo, hoặc cống thoát nước được xây dựng mà không tính đến tác động từ giao thông và phát triển các khu dân cư lân cận. Ngoài ra, mô hình quản lý phân tán giữa các cơ quan trong lĩnh vực giao thông, xây dựng, môi trường, cấp thoát nước, khiến việc phối hợp thiếu hiệu quả, làm chậm tiến độ và giảm chất lượng triển khai.

Sự kết hợp của áp lực tăng trưởng đô thị nhanh, hạn chế về hạ tầng kỹ thuật và thiếu quy hoạch tích hợp đã đẩy các đô thị Việt Nam vào tình trạng vừa tắc nghẽn giao thông, vừa ngập úng, với chi phí kinh tế - xã hội ngày càng lớn.

2. TÁC ĐỘNG KÉP CỦA “KẸT XE - NGẬP LỤT”

Tình trạng tắc nghẽn giao thông và ngập lụt đô thị không chỉ diễn ra đồng thời mà còn có mối quan hệ tương hỗ, khiến vấn đề đô thị thêm phức tạp. Khi mưa lớn gây ngập đường, năng lực lưu thông của phương tiện suy giảm, dẫn đến ùn tắc



kéo dài; ngược lại, tình trạng kẹt xe khiến dòng chảy thoát nước bị cản trở, làm gia tăng ngập úng cục bộ và nguy cơ tai nạn. Đây chính là “tác động kép” đặc trưng ở các siêu đô thị như Hà Nội và TP.HCM, nơi dân số đã vượt ngưỡng 8 triệu người.

Theo Sổ GTVT TP.HCM (2022), ùn tắc giao thông gây thiệt hại ước tính khoảng 6 tỷ USD mỗi năm, bao gồm chi phí nhiên liệu, thời gian lao động bị lãng phí và lượng phát thải khí nhà kính gia tăng. Trong khi đó, dự án chống ngập cho khoảng 6,5 triệu dân TP.HCM giai đoạn 2008 - 2018, với tổng vốn đầu tư hơn 10 nghìn tỷ đồng, đã bị “đập chiếu” nhiều năm và đứng trước nguy cơ đội vốn hàng nghìn tỷ đồng, ảnh hưởng trực tiếp đến hạ tầng đô thị, hoạt động sản xuất và đời sống người dân. Các nghiên cứu quốc tế cũng chỉ ra rằng chi phí kinh tế do ùn tắc giao thông và ngập lụt tại các đô thị đang phát triển có thể chiếm tới 2 - 5% GDP hàng năm (ADB, 2020).

Ngoài tổn thất kinh tế, hệ quả xã hội cũng vô cùng nghiêm trọng. Ùn tắc kéo dài làm giảm năng suất lao động, gia tăng căng thẳng và ô nhiễm không khí, trong khi ngập lụt thường xuyên đe dọa sức khỏe cộng đồng, đặc biệt đối với trẻ em và người cao tuổi. Đồng thời, các hiện tượng này làm suy giảm chất lượng sống, hình ảnh và năng lực cạnh tranh của đô thị. Như vậy, nếu thiếu một cách tiếp cận quy hoạch tích hợp, các đô thị lớn sẽ tiếp tục mắc kẹt trong vòng xoáy “kẹt xe - ngập lụt”, vừa gây tổn thất kinh tế - xã hội lớn, vừa cản trở mục tiêu phát triển bền vững. (Hình 3)

3. KINH NGHIỆM QUỐC TẾ

Nhiều đô thị trên thế giới đã áp dụng cách tiếp cận quy hoạch tích hợp giao thông và thoát nước, nhằm hướng tới mô hình thành phố xanh - thông minh - bền vững, có khả năng chống chịu cao. Tiêu biểu có thể kể đến bài học kinh nghiệm từ các đô thị như:

Singapore: Quy hoạch tích hợp trong chương trình ABC Waters

Với 8.000 km đường thủy và 17 hồ chứa, Singapore vừa đảm bảo nguồn nước, vừa kiểm soát ngập cho 5,6 triệu dân. Ngay từ giai đoạn quy hoạch tích hợp, hạ tầng giao thông và hệ thống thoát nước được thiết kế đồng bộ, kết hợp với mạng lưới MRT phủ khắp nhằm giảm phụ thuộc vào xe cá nhân. Từ năm 2006, chương trình ABC Waters (Active - Beautiful - Clean) đã biến hồ điều hòa và kênh dẫn nước thành không gian công cộng đa chức năng:

- Active: tạo nơi sinh hoạt cộng đồng gắn với mặt nước.
- Beautiful: cải tạo kênh bê tông thành cảnh quan xanh hài hòa.
- Clean: quản lý tổng thể nguồn nước, nâng cao chất lượng và ý thức cộng đồng. (Hình 4a,b)

Tokyo (Nhật Bản): G-Cans

Hệ thống hầm thoát nước ngầm G-Cans (Metropolitan Area Outer Underground Discharge Channel) tại Tokyo được xây dựng trong giai đoạn 1992 - 2006, song song với mạng lưới metro, nhằm bảo vệ cả giao thông ngầm lẫn mặt đất trước các trận mưa cực đoan. Theo Japan Insider, công trình gồm 5 giếng chứa khổng lồ nối với 6,4 km hầm ngầm, có sức chứa khoảng 670 nghìn m³ nước, cùng bể điều tiết với công suất bơm 200 tấn/giây ra sông Edo. Đây là minh chứng điển hình cho giải pháp hạ tầng quy mô lớn, bảo đảm an toàn cho các siêu đô thị trong bối cảnh biến đổi khí hậu. (Hình 5a,b)

Copenhagen (Đan Mạch): Kế hoạch quản lý mưa cực đoan CMP

Quy hoạch quản lý mưa cực đoan (CMP - Cloudburst Management Plan) là chiến lược cho toàn thành phố Copenhagen nhằm ứng phó với các trận mưa cực lớn được thông qua năm 2012, bổ sung cho Kế hoạch thích ứng biến đổi khí hậu năm 2011.



Hình 1 (a, b). Tắc nghẽn giao thông và ngập lụt ở Hà Nội.

Copenhagen đặt mục tiêu thực hiện 300 dự án trong 20 năm, CMP với hệ thống “đường mưa” (cloudburst roads) và “công viên mưa” (cloudburst parks) thiết kế để dẫn nước mưa ra khỏi đô thị, kết hợp với không gian xanh. Hằng năm, các dự án được lựa chọn dựa trên mức độ rủi ro, khả năng triển khai, và cơ hội lồng ghép vào các chương trình phát triển đô thị hiện có. (Hình 6a,b,c)

Cơ chế tài chính và thực hiện dự án gồm: TP Copenhagen; Cty Tiện ích Greater Copenhagen và các chủ thể tư nhân (như chủ đất, nhà đầu tư).

Rotterdam (Hà Lan): Water Plazas

Tại Rotterdam (Hà Lan), thành phố nằm dưới mực nước biển, mô hình “water plazas” được triển khai từ năm 2013 như giải pháp đa chức năng: Khi mưa lớn, các quảng trường trở thành hồ chứa tạm, giảm tải cho hệ thống cống ngầm; khi khô ráo, chúng hoạt động như sân chơi, đường cho xe đạp và không gian cộng đồng. Đây là dạng thoát nước thụ động dựa trên hạ tầng trữ nước bề mặt, đồng thời là minh chứng cho quy hoạch tích hợp, kết hợp tiêu thoát nước với không gian xanh và giao thông bền vững, góp phần giảm phụ thuộc vào ô tô và nâng cao khả năng thích ứng trước biến đổi khí hậu. (Hình 7a,b)

Water Plazas là quảng trường nước đầu tiên trên thế giới, vừa làm hồ chứa tạm khi mưa lớn, vừa là sân chơi - không gian cộng đồng khi khô ráo. Công trình minh chứng cho cách tiếp cận quy hoạch tích hợp, kết hợp thoát nước đô thị với cảnh quan và thích ứng biến đổi khí hậu.

Seoul (Hàn Quốc): Dự án Cheonggyecheon

Dự án phục hồi suối Cheonggyecheon (2003) khôi phục dòng chảy 5,8 km, kết nối trực tiếp với hệ thống thoát nước và sông Hàn. Công trình vừa tiêu thoát bán chủ động (có bơm và cửa xả), vừa tạo “hành lang xanh” giúp giảm nhiệt độ khu vực 3 - 4°C, cải thiện vi khí hậu và thu hút hàng triệu khách tham quan. Đây là điển hình của quy hoạch tích hợp, kết hợp thoát nước, giao thông và không gian xanh trong cùng một dự án. (Hình 8a,b)

Từ những kinh nghiệm trên, có thể thấy các đô thị tiên tiến đều coi thoát nước là một bộ phận gắn kết hữu cơ với quy hoạch giao thông, không gian công cộng và hạ tầng xanh - xám, qua đó nâng cao khả năng chống chịu khí hậu và chất lượng sống đô thị.



Hình 3. Tác động kép của “kẹt xe và ngập lụt” ở TP.HCM (6/2025)

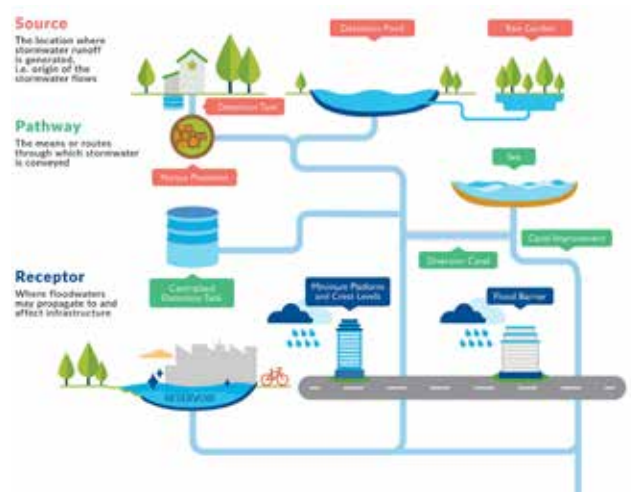
4. BÀI HỌC CHO VIỆT NAM

Thực tiễn tại Việt Nam cho thấy, tình trạng kẹt xe và ngập lụt ở các đô thị lớn bắt nguồn từ sự thiếu đồng bộ giữa giao thông, thoát nước và quy hoạch sử dụng đất. Các giải pháp đơn lẻ như mở rộng đường hoặc nâng cấp cống ngầm chưa đủ bền vững, thậm chí tạo “chi phí kép” khi không tính đến mối quan hệ tương hỗ.

Kinh nghiệm quốc tế cho thấy, cần chuyển từ tư duy xử lý sự cố sang quy hoạch tích hợp: kết hợp giao thông, thoát nước và không gian công cộng ngay từ khâu thiết kế; đồng thời lồng ghép hạ tầng xanh - xám và công nghệ quản lý thông minh - hiện đại. Điều này vừa tăng khả năng chống chịu khí hậu, vừa nâng cao chất lượng sống đô thị.

Đối với “siêu đô thị” như Hà Nội, TP.HCM và các đô thị ven biển, bài học quan trọng là không chỉ đầu tư vào hạ tầng giao thông quy mô lớn, mà phải song hành với cải tạo, mở rộng mạng lưới thoát nước, hồ điều hòa và hành lang xanh. Mô hình quảng trường chứa nước ở Rotterdam, hầm chứa nước ngầm ở Tokyo, hay dự án phục hồi sông ở Seoul đều gợi mở cách kết hợp đa chức năng: giảm ngập, giảm ùn tắc, đồng thời cải thiện cảnh quan đô thị.

Bên cạnh đó, Việt Nam cần tiếp cận quản lý đô thị theo hướng hệ thống, ứng dụng dữ liệu lớn và cảm biến thông



Hình 4 (a, b). Chương trình thoát nước "ABC Waters"



Hình 5 (a, b). Hệ thống thoát nước ngầm G-Cans - Kết hợp với giáo dục công dân.

minh để giám sát mưa - ngập theo thời gian thực, từ đó điều phối giao thông và thoát nước hiệu quả. Chỉ khi đó, các đô thị lớn mới có thể thoát khỏi vòng xoáy "kẹt xe - ngập lụt" và hướng tới một tương lai an toàn và thích ứng biến đổi khí hậu. (Hình 11)

Mối quan hệ giữa ĐTH thiếu kiểm soát → Tắc nghẽn giao thông + Ngập lụt → Cái giá kép → Giải pháp: Quy hoạch tích hợp.

5. GIẢI PHÁP QUY HOẠCH TÍCH HỢP XANH - THÔNG MINH - BỀN VỮNG

Luật Quy hoạch đô thị và nông thôn năm 2024, có hiệu lực từ ngày 01/7/2025, đánh dấu bước chuyển quan trọng trong quản lý quy hoạch tại Việt Nam. Luật này xác lập nguyên tắc quy hoạch tích hợp, bảo đảm tính liên thông giữa đô thị và nông thôn, đồng thời lồng ghép các yếu tố xanh, thông minh, bền vững và thích ứng với biến đổi khí hậu trong tất cả các giai đoạn quy hoạch. Để giải quyết căn cơ tình trạng tắc nghẽn giao thông và ngập lụt, các đô thị Việt Nam cần chuyển từ tư duy ứng phó sự cố sang cách tiếp cận quy hoạch tích hợp. Cách tiếp cận này đòi hỏi sự kết nối đồng bộ giữa hạ tầng giao thông,

hệ thống thoát nước và không gian đô thị ngay từ giai đoạn thiết kế.

Một số định hướng và giải pháp trọng tâm gồm:

- Kết hợp hạ tầng xanh - xám: Song hành với mở rộng cống ngầm, cần phát triển hồ điều hòa, vùng trữ nước và hành lang xanh để giảm tải cho hệ thống kỹ thuật.
- Tích hợp quy hoạch giao thông - thoát nước đô thị: Thiết kế đường phố, quảng trường và kết nối với không gian công cộng đa chức năng - vừa là nơi sinh hoạt, vừa có khả năng chứa nước khi thời tiết cực đoan, mưa lớn.
- Ứng dụng công nghệ thông minh: Triển khai cảm biến, radar mưa và phần mềm quản lý để dự báo - điều hành thoát nước, đồng thời kết nối dữ liệu với điều tiết giao thông.
- Hoàn thiện cơ chế quản lý: Tăng cường phối hợp giữa các ban - ngành; ban hành quy định rõ ràng về phân cấp trách nhiệm và nguồn lực tài chính.
- Tham gia cộng đồng: Khuyến khích người dân cùng bảo vệ, duy trì hạ tầng xanh - thoát nước, gắn trách nhiệm quản lý với lợi ích sinh hoạt và cảnh quan đô thị.

Các giải pháp trên không chỉ nhằm giảm ngập và ùn tắc, mà còn hướng tới mục tiêu dài hạn: xây dựng đô thị xanh - thông minh, thích ứng khí hậu và phát triển bền vững.



Hình 6 (a, b, c). Kế hoạch quản lý mưa cực đoan của Copenhagen - Đan Mạch



Hình 7 (a, b). Watersquare Bentheplein (Rotterdam, 2013).



Hình 8 (a, b). Dự án Cheonggyecheon.

KẾT LUẬN

Tắc nghẽn giao thông và ngập lụt không chỉ là những vấn đề kỹ thuật riêng lẻ, mà là “tác động kép” có mối quan hệ tương hỗ trong tiến trình đô thị hóa ở Việt Nam. Thực tiễn tại Hà Nội, TP.HCM và nhiều đô thị cho thấy, việc mở rộng đường hoặc cải tạo thoát nước theo hướng tách biệt dễ dẫn đến “chi phí kép”, vừa tốn kém kinh tế vừa hạn chế hiệu quả vận hành. Kinh nghiệm quốc tế cũng chỉ ra rằng, chỉ có quy hoạch tích

hợp - gắn kết giao thông, thoát nước, không gian xanh và công nghệ quản lý thông minh trong cùng một chiến lược, mới giúp đô thị phát triển bền vững.

Để thoát khỏi vòng luẩn quẩn “kẹt xe - ngập lụt”, các đô thị Việt Nam cần sớm đổi mới tư duy theo hướng quy hoạch tích hợp và bao trùm (UN-Habitat); đồng thời linh hoạt vận dụng các mô hình như đô thị xanh - thông minh, đô thị nén, đô thị bọt biển và đô thị chống chịu - bền vững. Cách tiếp



Hình 9. Đường phố thông minh ở Hàn Quốc.

Hàn Quốc triển khai hệ thống cảm biến kết hợp vòi phun tự động, tận dụng nguồn nước mưa lưu trữ để làm mát bề mặt đường trong những ngày nắng nóng. Giải pháp này giúp giảm nhiệt độ mặt đường từ 15 - 20°C, đồng thời góp phần lọc bụi mịn, tránh hiện tượng đảo nhiệt đô thị, qua đó thể hiện rõ cách tiếp cận quy hoạch tích hợp giữa hạ tầng thoát nước, thích ứng khí hậu và nâng cao chất lượng sống đô thị.



Hình 10. Thoát nước TM tại Singapore.

Singapore trang bị cảm biến và thiết bị điều khiển tự động, cho phép giám sát mực nước mưa và điều tiết dòng chảy theo thời gian thực. Giải pháp này là một hợp phần quan trọng trong chương trình ABC Waters, không chỉ góp phần kiểm soát ngập lụt và bảo đảm an toàn hạ tầng giao thông, mà còn gắn kết với hồ điều hòa và không gian xanh, hướng tới mô hình đô thị bền vững, thích ứng với biến đổi khí hậu.



Hình 11. Từ đô thị hóa thiếu kiểm soát đến quy hoạch tích hợp

cận toàn diện này không chỉ đòi hỏi sự kết hợp hài hòa giữa hạ tầng xanh và hạ tầng xám, mà còn gắn với cải cách cơ chế quản lý và phát huy vai trò cộng đồng. Đây là con đường tất yếu để xây dựng những đô thị an toàn, đáng sống, đồng thời hướng tới mục tiêu Net Zero (phát thải ròng bằng 0) trước

năm 2050 theo cam kết của Thủ tướng Chính phủ trong ứng phó với biến đổi khí hậu toàn cầu.❖

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Vũ Phương, Chủ trì dự án cấp Bộ (2019), Rà soát quy hoạch chung các đô thị thuộc vùng Duyên hải miền Trung, đề xuất nội dung ứng phó với biến đổi khí hậu, nước biển dâng trong điều chỉnh quy hoạch chung các đô thị
2. Học viện ACST 2025, Tài liệu giảng dạy “Quản lý phát triển đô thị tăng trưởng xanh, thông minh hướng tới phát triển bền vững”
3. Học viện ACST (7/2025); Tài liệu đào tạo - Tăng cường thể chế và Năng cao năng lực cho phát triển đô thị Việt Nam (Dự án ISCB).
4. UN-Habitat (2023), Our City Plan - In Action
5. UN-Habitat (2015), Urban Governance and the New Urban Agenda.
6. <https://www.princelandscapes.com/abc-waters/>
7. <https://www.urbanisten.nl/work/benthemplein>
8. <https://www.tanaka-tokyotours.com/g-cans/>
9. <https://dantri.com.vn/xa-hoi/ha-noi-92-trieu-nguoi-nhung-co-toi-9-trieu-phuong-tien-luu-thong-20240917175725839.htm>
10. <https://vnexpress.net/8-nam-trac-tro-cua-du-an-chong-ngap-10-000-ty-o-tp-hcm-4811651.html>
11. <https://transformative-mobility.org/tumi-lab-hcmc-big-data-for-climate-proofing-urban-buses-to-flooding/>
12. Kế hoạch quản lý mưa lớn - Copenhagen | Interlace Hub - Kế hoạch quản lý mưa lớn - Copenhagen | Interlace Hub <https://share.google/lizu8YhAg5BSKlaER>

BIM VIỆT NAM, TỪ TẦM NHÌN ĐẾN HOÀN THIỆN THỂ CHẾ:

Kiến nghị giải pháp “6 rõ” và sửa đổi Nghị định 175/2024/NĐ-CP



THS LÊ TÙNG LÂM*

BIM không phải là câu chuyện của phần mềm hay bản vẽ 3D, mà là câu chuyện của dữ liệu - tiêu chuẩn - hợp tác - và tầm nhìn quốc gia. Chúng ta đang ở một ngã rẽ quan trọng: Hoặc tận dụng cơ hội để bứt phá, hoặc tiếp tục đứng ngoài cuộc chơi toàn cầu.

1. ĐÁNH GIÁ THỰC TRẠNG BIM VIỆT NAM

1.1. Mở đầu

Trong hơn một thập kỷ qua, cụm từ “BIM” (Building Information Modeling) đã trở nên quen thuộc trong ngành Xây dựng Việt Nam. Nhưng nếu so với thế giới, chúng ta vẫn mới ở chặng mở đầu của một hành trình rất dài. Ở nhiều quốc gia, BIM không còn là công cụ hỗ trợ thiết kế - thi công đơn thuần, mà đã trở thành hạ tầng dữ liệu cốt lõi cho toàn bộ ngành xây dựng và quản lý đô thị.

Việt Nam đã có những bước tiến quan trọng, đặc biệt với các quyết định và nghị định gần đây bắt buộc áp dụng BIM trong một số loại dự án. Tuy vậy, khi nhìn sâu vào cách triển khai, chúng ta vẫn thấy rõ 4 vấn đề nổi bật: Tầm nhìn chưa rõ - Dẫn dắt chưa ra - Hệ quả đã thấy - Trách nhiệm chưa phân định. Và để thoát khỏi vòng luẩn quẩn này, cần một khung giải pháp đủ cụ thể, đủ mạnh - đó là “6 rõ”.

1.2. Thực trạng - 4 vấn đề cốt lõi

Tầm nhìn chưa rõ: Các văn bản và kế hoạch hiện tại chủ yếu tập trung vào mục tiêu ngắn hạn: Áp dụng BIM cho dự án nhóm B, sử dụng vốn ngân sách, hoàn thành trong vài năm. Chúng ta chưa có chiến lược dài hạn 10 - 15 năm/ Lộ trình triển khai BIM (BIM ROAD-MAP) để biến BIM thành nền tảng dữ liệu quốc gia, kết nối với các hạ tầng số khác như GIS, IoT, AI, Digital Twin.

Nói cách khác, chúng ta đang nhìn BIM như “một công cụ kỹ thuật” hơn là “hạ tầng chiến lược”, trong khi thế giới đã coi nó là trục xương sống dữ liệu của toàn ngành; là công cụ để quản trị quốc gia, quản lý đô thị.

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

Dẫn dắt chưa ra: Bộ Xây dựng được giao làm đầu mối, nhưng chưa có cơ chế đủ mạnh để điều phối các bộ, ngành, địa phương và hiệp hội. Không có một “nhạc trưởng” thực sự để đảm bảo tất cả cùng đi đúng nhịp. Hệ quả là: Các bộ/ngành liên quan triển khai rời rạc; nhiều địa phương chưa có kế hoạch riêng; Hiệp hội nghề nghiệp hoạt động phân tán, thiếu vai trò cầu nối tiêu chuẩn và tri thức; Các viện, trường thì lúng túng; Doanh nghiệp chờ hướng dẫn hơn là chủ động nâng cấp năng lực.

Hệ quả đã thấy: Hệ quả của “tầm nhìn mờ” và “dẫn dắt yếu” không khó để nhận ra:

Áp dụng manh mún: Mỗi đơn vị làm một kiểu, không tạo được chuẩn chung.

Tiêu chuẩn thiếu đồng bộ: Một số dự án áp dụng ISO 19650 nhưng lại không được nghiệm thu vì khác QCVN hiện hành.

Hệ sinh thái BIM nội địa chậm hình thành: Thiếu thư viện BIM, nền tảng CDE, dịch vụ kiểm định...

Nguy cơ tụt hậu: Trong khi khu vực đã tiến tới BIM 6D - 7D, chúng ta vẫn loay hoay ở mức 3D - 4D.

Ai chịu trách nhiệm? Không thể chỉ quy về một cơ quan, nhưng cũng không thể để trách nhiệm “chung chung”.

Bộ Xây dựng: Cơ quan chủ trì, phải chịu trách nhiệm chính về chiến lược và điều phối.

Các bộ/ngành khác: Tài chính, KH&CN, Công Thương, NN&MT... cần tích hợp BIM vào lĩnh vực quản lý.

Địa phương: Chủ động lập kế hoạch, không thụ động chờ chỉ đạo.

Hiệp hội, viện, trường: Trở thành cầu nối tri thức, tiêu



chuẩn và thị trường.

Doanh nghiệp: Không thể mãi chờ “mệnh lệnh” mới hành động.

1.3. Giải pháp theo hướng “6 rõ”

1. *Rõ tầm nhìn*: Xác định BIM là nền tảng dữ liệu công trình quốc gia gắn với chiến lược chuyển đổi số ngành xây dựng, phát triển đô thị thông minh, kinh tế dữ liệu. Tầm nhìn 10 - 15 năm, với KPI rõ: 100% dự án vốn nhà nước áp dụng BIM vào năm 2035, thư viện BIM quốc gia hoàn chỉnh, vận hành CDE quốc gia.

2. *Rõ mục tiêu*: Ngắn hạn (1 - 3 năm): Hoàn thiện tiêu chuẩn, đào tạo 10 nghìn nhân lực BIM nòng cốt. Trung hạn (4 - 6 năm): BIM cho toàn bộ dự án hạ tầng trọng điểm. Dài hạn (7 - 15 năm): Tích hợp BIM với Digital Twin, IoT, AI trong vận hành đô thị.

3. *Rõ lộ trình*: Xây dựng Roadmap BIM quốc gia gắn với các luật mới và chiến lược số. Các giai đoạn: tiêu chuẩn hóa → đào tạo và thí điểm → nhân rộng và tích hợp.

4. *Rõ trách nhiệm*: Bộ Xây dựng điều phối, các Bộ ngành phối hợp, địa phương chủ động, hiệp hội hỗ trợ, doanh nghiệp tự nâng cấp năng lực.

5. *Rõ nguồn lực*: Tài chính: Ngân sách + xã hội hóa + ODA. Nhân lực: Đào tạo chuẩn ở đại học, nghề, trung tâm chuyên môn. Công nghệ: CDE quốc gia, thư viện BIM Việt Nam, API mở.

6. *Rõ kiểm tra - đánh giá*: Giám sát định kỳ 6 tháng/lần. Cơ chế thưởng - phạt minh bạch. Đánh giá độc lập từ đơn vị trong và ngoài nước.

Nếu tiếp tục với tầm nhìn ngắn và dẫn dắt yếu, BIM ở Việt

Nam sẽ mãi chỉ là một “cuộc thí điểm kéo dài”, trong khi thế giới coi nó là nền tảng chiến lược.

“6 rõ” không chỉ là khẩu hiệu, mà là Khung hành động để biến BIM từ một công cụ kỹ thuật thành hạ tầng dữ liệu quốc gia, từ vài dự án thí điểm thành chuẩn mực toàn ngành, và từ lời kêu gọi thành kết quả thực tế.

2. KIẾN NGHỊ SỬA ĐỔI NGHỊ ĐỊNH 175/2024/CP

2.1. Bối cảnh và tầm quan trọng

Nghị định 175/2024/NĐ-CP quy định chi tiết một số điều và biện pháp thi hành Luật Xây dựng về quản lý hoạt động xây dựng được coi là một dấu mốc quan trọng, lần đầu tiên đưa BIM từ mức “khuyến khích” lên mức “bắt buộc” đối với một số loại dự án mới. Đây là bước tiến không thể phủ nhận, tạo ra sức ép tích cực buộc các chủ đầu tư, tư vấn, nhà thầu phải chuyển đổi.

Tuy nhiên, nếu dừng lại ở việc áp dụng BIM cho chỉ công trình mới, chúng ta sẽ bỏ qua một “mỏ vàng” - đó là kho tài sản công trình hiện hữu: hàng triệu mét vuông nhà ở, công sở, hạ tầng kỹ thuật, cầu đường... đang vận hành hàng chục năm nay.

Chính giai đoạn vận hành mới chiếm tới 70 - 90% tổng chi phí vòng đời công trình, và đây cũng là giai đoạn BIM có thể đem lại giá trị kinh tế lớn nhất: Tiết kiệm chi phí bảo trì, kéo dài tuổi thọ công trình, và tạo dữ liệu phục vụ đô thị thông minh.

2.2. Lý do cần sửa đổi

Kinh tế: Giảm 10 - 20% chi phí bảo trì/năm nếu áp dụng BIM trong vận hành. Kéo dài tuổi thọ công trình thêm 5 - 10 năm nhờ bảo trì chủ động.

Quản lý tài sản công: Minh bạch thông tin, giảm thất thoát và sử dụng sai mục đích. Lập ngân sách chính xác, tối ưu phân bổ vốn bảo trì.

Cơ hội cho doanh nghiệp vừa và nhỏ: Nếu mở rộng phạm vi áp dụng, DN vừa và nhỏ có thể tham gia từ các công việc LOD thấp (đo vẽ hiện trạng, mô hình hóa cơ bản) đến các gói tích hợp quản lý vận hành.

Chuẩn bị cho Digital Twin: Không thể có mô hình số đô thị toàn diện nếu dữ liệu chỉ có ở công trình mới. BIM hóa công trình hiện hữu là điều kiện bắt buộc để hình thành CSDL công trình quốc gia, liên thông với GIS, IoT, FM, ERP.

2.3. Nội dung đề xuất sửa đổi

Mở rộng phạm vi áp dụng: Áp dụng BIM cho cả công trình mới và công trình hiện hữu, đặc biệt là tài sản công, hạ tầng đô thị, các dự án cải tạo, nâng cấp.

Ban hành chuẩn năng lực BIM quốc gia: Xây dựng khung năng lực từ cơ bản đến nâng cao (Level 1 - 3 hoặc tương đương). Áp dụng thống nhất trong đấu thầu, nghiệm thu và đánh giá năng lực nhà thầu.

Lộ trình đa cấp độ: Cho phép triển khai từ LOD thấp (100 - 200) ở giai đoạn khởi động, đến LOD cao (400 - 500) cho các dự án trọng điểm. Khuyến khích mô hình “bắt đầu nhỏ - mở rộng dần”, phù hợp nguồn lực từng đơn vị.

Liên thông dữ liệu: Quy định BIM phải tích hợp với CSDL công trình quốc gia và kết nối các hệ thống GIS, IoT, FM, ERP. Đảm bảo khả năng dùng lại dữ liệu cho Digital Twin.

Cơ chế hỗ trợ doanh nghiệp: Hỗ trợ tài chính và đào tạo cho DN áp dụng BIM hóa tài sản công. Ưu tiên điểm cộng trong đấu thầu đối với nhà thầu có năng lực BIM hóa công trình hiện hữu.

2.4. Lợi ích khi sửa đổi

Kinh tế: Tiết kiệm hàng nghìn tỷ đồng/năm chi phí bảo trì.

Xã hội: Quản lý tài sản công minh bạch, nâng cao an toàn, chất lượng dịch vụ.

Công nghiệp BIM nội địa: Tạo thị trường rộng lớn cho DN vừa và nhỏ, thúc đẩy đổi mới công nghệ.

Hạ tầng số: Chuẩn bị nền dữ liệu cho đô thị thông minh, kinh tế số, Digital Twin...

2.5. Lộ trình triển khai

Ngắn hạn (1 - 2 năm): Sửa đổi Nghị định 175/2024/NĐ-CP, ban hành chuẩn năng lực BIM. Thí điểm BIM hóa một số tài sản công tại Hà Nội, TP.HCM, Đà Nẵng.

Trung hạn (3 - 5 năm): Nhân rộng áp dụng BIM cho toàn bộ tài sản công, hạ tầng trọng điểm. Vận hành cơ sở dữ liệu công trình quốc gia liên thông dữ liệu.

Dài hạn (5 - 10 năm): Tích hợp BIM toàn diện với Digital Twin quốc gia, phục vụ quản lý đô thị thông minh và kinh tế số.

Việc sửa đổi Nghị định 175/2024/NĐ-CP không chỉ là chỉnh kỹ thuật pháp lý, mà là thay đổi tư duy quản lý tài sản công và hạ tầng: Từ vận hành thủ công, phân tán sang quản lý dữ liệu số đồng bộ.

BIM cho cả công trình mới và cũ sẽ giúp Việt Nam không bỏ phí 70 - 90% giá trị vòng đời công trình, mở thị trường công bằng cho doanh nghiệp mọi quy mô, và đặt nền móng

vững chắc cho một quốc gia số hóa toàn diện.

3. KẾT LUẬN CHUNG

3.1. BIM Việt Nam - vấn đề cốt lõi không chỉ là công nghệ

Qua phân tích ở phần 1, có thể thấy rõ: Điểm nghẽn lớn nhất của BIM ở Việt Nam không nằm ở phần mềm, phần cứng hay kỹ thuật, mà nằm ở tầm nhìn chiến lược và cơ chế dẫn dắt. Khi thiếu một định hướng dài hạn, thiếu một “nhạc trưởng” điều phối và thiếu chuẩn mực thống nhất, BIM khó có thể phát huy hết giá trị.

“6 rõ” chính là khung hành động giúp tháo nút thắt này:

Rõ tầm nhìn để biết ta muốn đi đâu.

Rõ mục tiêu để biết ta muốn đạt gì.

Rõ lộ trình để biết đi bằng cách nào.

Rõ trách nhiệm để biết ai làm và ai chịu trách nhiệm.

Rõ nguồn lực để biết lấy gì mà làm.

Rõ kiểm tra - đánh giá để biết tiến độ và chất lượng ra sao.

Nếu không giải quyết dứt điểm 6 yếu tố này, mọi quyết định bắt buộc áp dụng BIM cũng sẽ chỉ đạt kết quả hạn chế.

3.2. Sửa Nghị định 175/2024/NĐ-CP - Đòn bẩy thể chế để mở toàn bộ “cánh cửa BIM”

Từ phần 2, ta thấy Nghị định 175/2024/NĐ-CP hiện mới mở một nửa cánh cửa: BIM cho công trình mới. Nhưng giá trị lớn nhất của BIM lại nằm ở giai đoạn vận hành - tức là ở các công trình đã và đang sử dụng.

Sửa đổi Nghị định 175/2024/NĐ-CP để mở rộng phạm vi áp dụng cho cả công trình hiện hữu; đồng thời ban hành chuẩn năng lực BIM quốc gia và lộ trình đa cấp độ, sẽ: Giải phóng tiềm năng kinh tế khổng lồ từ khâu vận hành; Tạo thị trường công bằng, thu hút cả doanh nghiệp vừa và nhỏ; Chuẩn bị nền dữ liệu đầy đủ để triển khai Digital Twin và đô thị thông minh.

3.3. Thông điệp hành động

Nếu tiếp tục như hiện nay, BIM ở Việt Nam sẽ mãi là “cuộc thí điểm kéo dài”, trong khi thế giới coi nó là hạ tầng chiến lược quốc gia. Chúng ta không thể hài lòng với vài dự án mẫu hay vài thông tư hướng dẫn; chúng ta cần một chiến lược rõ ràng, một thể chế mạnh mẽ và một lộ trình cụ thể.

Hành động cần thực hiện ngay:

1. Thông qua Khung pháp lý “6 rõ” trong quản lý và triển khai BIM. Khẩn trương ban hành Lộ trình áp dụng BIM đến 2035.

2. Sửa đổi Nghị định 175/2024/NĐ-CP để áp dụng BIM cho cả công trình mới và cũ.

3. Thiết lập Cơ quan điều phối BIM quốc gia đủ quyền lực và nguồn lực.

3.4. Tóm lại

BIM không phải là câu chuyện của phần mềm hay bản vẽ 3D. BIM là câu chuyện của dữ liệu - tiêu chuẩn - hợp tác - và tầm nhìn quốc gia.

Chúng ta đang ở một ngã rẽ quan trọng: Hoặc tận dụng cơ hội để bứt phá, hoặc tiếp tục đứng ngoài cuộc chơi toàn cầu.

Và câu hỏi cuối cùng không phải là “Có cần thay đổi không?”, mà là “Ngay bây giờ phải bắt đầu từ đâu và như thế nào?” - bởi từng ngày chậm trễ hôm nay sẽ phải trả giá bằng cả thập kỷ tụt hậu ngày mai.❖

Sổ tay áp dụng BIM 2025

> AN NHIÊN

Để góp phần chuẩn hóa, phổ biến và thúc đẩy áp dụng BIM trong thực tiễn, Tạp chí Xây dựng - tạp chí khoa học chuyên ngành của Bộ Xây dựng đã tổ chức biên soạn và phát hành “Sổ tay hướng dẫn BIM 2025”.

Trong bối cảnh ngành Xây dựng Việt Nam bước vào giai đoạn chuyển đổi số mạnh mẽ, Mô hình thông tin công trình (BIM - Building Information Modeling) đã trở thành một công cụ không thể thiếu. BIM không chỉ thay đổi cách thức thiết kế, thi công và quản lý công trình mà còn mở ra phương thức làm việc minh bạch, hợp tác và hiệu quả hơn giữa các bên tham gia.

Sổ tay hướng dẫn BIM 2025 được hình thành trên cơ sở tổng hợp tri thức từ đội ngũ chuyên gia đầu ngành trong nước và quốc tế, phản ánh cả kinh nghiệm thực tiễn tại Việt Nam lẫn các bài học thành công từ thế giới. Đây là tài liệu toàn diện, cập nhật và có tính ứng dụng cao, được cấu trúc thành 4 phần chính.

Phần I - Tổng quan và chính sách BIM, giới thiệu khái niệm, lợi ích cốt lõi của BIM và tiến trình xây dựng cơ chế, chính sách tại Việt Nam. Độc giả có thể tìm thấy sự gắn kết giữa BIM với định hướng phát triển bền vững, chuyển đổi số quốc gia và khung pháp lý mới ban hành. Việc lồng ghép kinh nghiệm quốc tế giúp so sánh, đối chiếu để có cái nhìn toàn diện hơn.

Phần II - Công nghệ và giải pháp, trình bày các công cụ và xu hướng công nghệ tiên tiến như nền tảng môi trường dữ liệu chung (CDE), tích hợp GIS - BIM, quét laser 3D, UAV LiDAR, thiết kế tham số, BIM 4D, 5D, 7D, cùng khả năng kết hợp với trí tuệ nhân tạo (AI), IoT và Digital Twin. Những giải pháp của Autodesk, IDECO, ONECAD và nhiều đơn vị khác được minh họa qua các ví dụ cụ thể, cho thấy công nghệ đang hỗ trợ các doanh nghiệp rút ngắn tiến độ, nâng cao chất lượng và quản lý vòng đời công trình.

Phần III - Ứng dụng BIM trong các lĩnh vực, là phần đặc sắc nhất, với hàng loạt case study thực tế: từ sân bay Long Thành, nhà ga T3 Tân Sơn Nhất, Metro số 1 TP.HCM, đường sắt tốc độ cao cho đến công trình năng lượng, nông nghiệp, bệnh viện, công trình dân dụng và hạ tầng đô thị. Các minh chứng này

cho thấy, BIM là “ngôn ngữ chung” giúp phối hợp đa ngành, phát hiện xung đột sớm, kiểm soát chi phí và hỗ trợ vận hành hiệu quả. Những dự án quốc tế lớn như Changi (Singapore), Heathrow (Anh), Hinkley Point C (Anh) cũng được giới thiệu như tấm gương tham chiếu cho Việt Nam.

Phần IV - Đào tạo và phát triển nhân lực BIM, nhấn mạnh vai trò của các trường đại học, cao đẳng, viện nghiên cứu, doanh nghiệp công nghệ và hợp tác quốc tế trong việc hình thành lực lượng chuyên gia BIM. Các mô hình đào tạo chính quy, thực hành, ngắn hạn và chứng chỉ quốc tế được hệ thống hóa, giúp định hướng rõ ràng cho sinh viên, kỹ sư và nhà quản lý muốn tiếp cận hoặc nâng cao năng lực BIM.

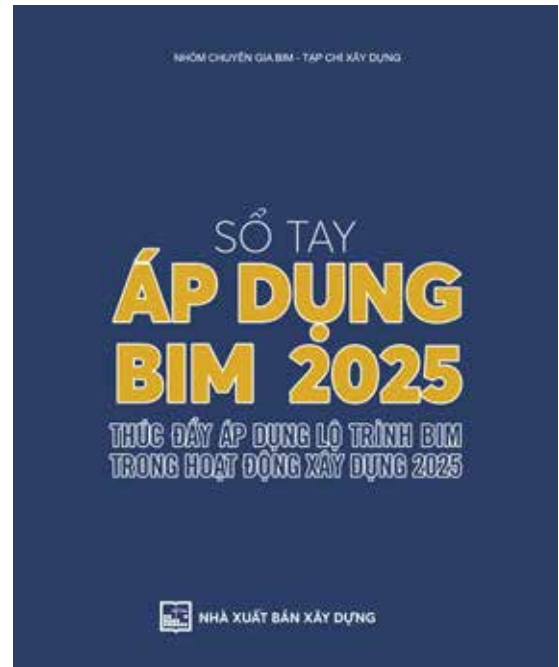
Điểm nổi bật xuyên suốt cuốn Sổ tay là sự kết hợp giữa lý luận - chính sách với kinh nghiệm thực tiễn. Các chuyên đề không chỉ dừng ở giới thiệu công nghệ, mà còn gắn với quy trình triển khai, quy chuẩn kỹ thuật, môi trường pháp lý và yêu cầu quản lý ở Việt Nam. Nhờ vậy, tài liệu trở thành công cụ hành động, hỗ trợ cơ quan quản lý hoạch định chính sách, doanh nghiệp nâng cao năng lực cạnh tranh, nhà đầu tư kiểm soát rủi ro, và các cơ sở đào tạo định hướng chương trình học phù hợp.

Với tầm nhìn dài hạn, Tạp chí Xây dựng định kỳ 3 năm sẽ tổ chức biên soạn, cập nhật và tái bản Sổ tay để phản ánh kịp thời sự phát triển của công nghệ và pháp luật. Đây không chỉ là một ấn phẩm khoa học đơn thuần, mà còn là sản phẩm truyền thông - tri thức nhằm lan tỏa BIM tới toàn Ngành.

Có thể khẳng định, Sổ tay hướng dẫn BIM 2025 là tài liệu nền tảng, vừa mang tính học thuật, vừa giàu tính thực tiễn, giúp chuẩn hóa cách tiếp cận và tạo động lực cho hành trình chuyển đổi số của ngành Xây dựng Việt Nam.

Việc ra đời của cuốn sách là minh chứng cho sự đồng hành của giới khoa học, quản lý và doanh nghiệp vì mục tiêu chung: nâng cao năng lực cạnh tranh, xây dựng công trình chất lượng cao, bền vững và hiện đại trong kỷ nguyên số hóa.

Sách do NXB Xây dựng ấn hành.❖



Chuyện đang dở về Chống thấm cho những công trình xây dựng



NGUYỄN HOÀNG LINH (thực hiện)

Theo nghiên cứu “Khảo sát tình trạng thấm dột các công trình xây dựng dân dụng” của Khoa Kỹ thuật xây dựng Đại học Bách khoa TP.HCM, tỷ lệ thấm dột tại TP.HCM lên đến 84,35%. Theo tờ New York Time và nhiều tài liệu khác thì tại Mỹ cũng có đến 60% nhà và tầng hầm bị thấm, và ngạc nhiên hơn nữa, việc chống thấm ngược tầng hầm được coi là căn bệnh mà thế giới đang bất lực! BTV Tạp chí Xây dựng đã có cuộc trò chuyện thú vị với “chuyên gia chống thấm” Đỗ Thành Tích về một sản phẩm 100% Việt Nam đã chinh phục được “căn bệnh mà thế giới đang bất lực” ấy!

SỰ BẤT LỰC LÀ ĐỘ BỀN VỚI THỜI GIAN!

◆ Thưa ông, trong thi công xây dựng, chống thấm không tốn nhiều chi phí so với giá trị công trình, không gây hậu quả quá nghiêm trọng nhưng là lĩnh vực gây nhiều phiền phức nhất trong xây dựng. Vậy hậu quả của nó thường dẫn đến điều gì cho công trình?

- Từ xưa tới nay, tình trạng thấm dột của các công trình xây dựng sau khi hoàn công luôn luôn là vấn nạn trên toàn cầu chứ không riêng gì Việt Nam. Theo nghiên cứu “Khảo sát tình trạng thấm dột các công trình xây dựng dân dụng” của Khoa Kỹ thuật xây dựng Đại học Bách khoa TP.HCM, tỷ lệ thấm dột tại TP.HCM lên đến 84,35%. Theo Hiệp hội Giám định nhà ở tại Mỹ đăng trên tờ New York Time và nhiều tài liệu khác thì tại Mỹ cũng có đến 60% nhà và tầng hầm bị thấm; và đáng ngạc nhiên hơn nữa, việc chống thấm ngược tầng hầm được coi là căn bệnh mà thế giới đang bất lực.

Đúng như anh nói, nếu chống thấm ngay từ đầu thì chi phí không lớn nhưng khi công trình đã đưa vào sử dụng mà bị thấm thì chi phí đục đẽo, phá bỏ, dọn dẹp làm xáo trộn sinh hoạt... thì sự phiền phức và cái giá phải trả không hề nhỏ chút nào! Đây là chưa nói đến việc nếu không khắc phục kịp thời sẽ dẫn đến ảnh hưởng chất lượng và tuổi thọ của công trình.

◆ Ô, trong thời đại công nghệ 4.0, làm sao lại có chuyện thế giới đang bất lực trong việc chống thấm ngược tầng hầm được nhỉ? Hiện nay trên thị trường ngay ở Việt Nam thôi đã có cả chục hãng chống thấm, rồi màng chống thấm, tinh thể thẩm thấu... cùng nhiều biện pháp chống thấm khác cho công trình rồi mà?

- Vâng, đúng là như vậy! Hiện nay, thị trường đang có quá nhiều loại sản phẩm chống thấm, đa phần là ngoại nhập. Thương hiệu nào cũng đưa ra những lý thuyết và thông số riêng, nghe rất thuyết phục, vì vậy người tiêu dùng rất dễ bị “lạc lối” trước một rừng thương hiệu ngoại lẫn nội. Thực ra, thế giới cũng chưa có một tiêu chuẩn chất lượng chung cho lĩnh vực này và cũng chưa có giáo trình giảng dạy trong các trường đại học chuyên ngành xây dựng. Vì vậy, ngay cả các nhà chuyên môn cũng rất khó khăn để đánh giá và nhận biết loại chống thấm nào đạt chất lượng và thường phải dựa vào cảm tính mà cảm tính thì dễ sai sót.

Anh sẽ dễ dàng nhận thấy cả thế giới đang chống thấm và đang dùng chất chống thấm đấy, nhưng độ bền sẽ được bao lâu, 2 năm, 3 năm hay 5 năm? Theo tôi, sản phẩm chống thấm đạt chất lượng thì phải có độ bền chống thấm sau ít nhất 10 năm cho các công trình thi công. Sự bất lực mà người ta nói đến, tôi cho rằng là độ bền với thời gian này!

”

Muốn chọn lựa một sản phẩm chống thấm có chất lượng hiệu quả lâu dài chỉ cần yêu cầu họ chứng minh đã có bao nhiêu công trình sử dụng đạt hiệu quả lâu dài 10 năm, 20 năm... Đừng quan tâm nhiều đến lý thuyết vì chống thấm không có quy chuẩn, tiêu chuẩn nào bắt buộc nào cả. Lấy thực tiễn để chứng minh là có sức thuyết phục nhất. Mọi lời giới thiệu, quảng cáo chỉ nên để tham khảo mà thôi”.

ông Đỗ Thành Tích



◆ Chống thấm ngược tầng hầm mà khó khăn đến vậy ư, thưa ông?

- Hiện đang có sự ngộ nhận lớn trong việc chống thấm ngược cần làm rõ. Nhiều đơn vị cho rằng họ đã chống thấm ngược rất nhiều tầng hầm, có minh họa quy trình, hình ảnh, video thi công hẳn hoi sao gọi là bất lực? Để làm rõ điều này, tôi tạm chia thấm tầng hầm thành 3 dạng cơ bản:

Dạng D1 là khi bề mặt khô ráo hoặc ẩm nhẹ (bề mặt không ướt) thường gặp ở những tầng hầm mới thi công chưa kịp thấm, trường hợp này thì hầu hết các sản phẩm có độ bám dính nhất định đều chống thấm được, nhưng tầng hầm phải khô ráo trong thời gian dài (10 năm chẳng hạn) mới được xem là đạt chất lượng.

Dạng D2, nước thấm chảy thành dòng, hoặc phun thành vòi... qua khe nứt hoặc lỗ thủng bê tông. Biện pháp phổ biến là bơm foam trương nở và dễ dàng ngăn dòng nước chảy, nhưng thường chỉ bền khoảng 1 năm.

Dạng D3, nước thấm mao lỗ li ti, nước thấm ướt bề mặt nhưng không chảy thành dòng, biểu hiện là khi lau bề mặt thì nước tiếp tục thấm ra... Đây mới là trường hợp khó nhất vì bắn foam thì bị trào và tô, quét, dán... các loại chống thấm thì bị đẩy ra, ngay cả loại tự cho là thấm thấu tinh thể... nhưng cũng chào thua.

Đó là lý do người ta “sáng tạo” ra khái niệm “cho phép thấm”.

Thấm dạng D3 rất thường xảy ra sau vài năm sử dụng, cho nên để chắc ăn, người ta đối phó bằng cách thiết lập mương dẫn, bơm nước, tường che... rất phức tạp, tốn kém, choán không gian và phải chịu ẩm mốc.

Tầng hầm bị ngấm nước xảy ra có thể do thực trạng địa chất có áp lực nước ngầm cao, do nứt nẻ kết cấu, hệ thống thoát nước kém, hoặc chất lượng vật liệu không đảm bảo. Mỗi nguyên nhân lại có phương pháp khắc phục riêng biệt. Nói chống thấm ngược tầng hầm khó thì cũng không kể là khó, mà khó nhất vẫn là bảo đảm độ bền vững với thời gian.

HÃY TỰ TIN VÀO “SẢN PHẨM CÔNG NGHỆ VIỆT 100%”!

◆ Được biết cách đây cỡ 30 năm, ông đã thành công sáng chế ra chất chống thấm có tên là INTOC và đã thành danh trên thị trường. Vậy INTOC đã trải qua thử thách với thời gian như thế nào? Liệu đã vượt qua con số sàn 10 năm kia chưa?

- Tôi xin nêu vài ví dụ thôi. Chẳng hạn, hồ bơi ở tầng 6 khách sạn Victory (TP.HCM), sâu đến 2,8 m, trước 1975 là nơi vừa tắm và nhảy cầu. Sau 1975, hồ bị thấm nặng nề, sau 4 - 5 lần chống thấm không hiệu quả đành phải bỏ khô, không thể sử dụng. Thật may mắn các anh ở đây đã biết đến INTOC và tin tưởng INTOC. Chúng tôi đã đến xử lý triệt để và bền vững trên 20 năm qua.



Tại Trung tâm thương mại GIGAMALL, INTOC đã chống thấm khô ráo toàn bộ khoảng 5.000 m² vách hầm Barrette, mà trước đó đã có ít nhất 5 đơn vị với sản phẩm ngoại nhưng không thể xử lý khô ráo tại chỗ chứ chưa nói đến hiệu quả lâu dài.

Hoặc việc chống thấm thành công hồ bơi lớn nhất khách sạn Rex, ở tầng 5 cũng tạo cơ duyên cho INTOC thâm nhập thị trường Myanmar. Đây cũng là một ca khó vì nhiều năm trước đó đã chống thấm với nhiều sản phẩm ngoại không thành công, lần cuối là bằng lớp màng composite nhưng nước vẫn thấm từ mương tràn qua khe hở giữa composite. Khoảng năm 2013, ông Đoàn Nguyên Đức (Bầu Đức) thường xuyên ở tại phòng VIP nên ông chứng kiến trong một thời gian dài hồ bơi bị thấm, rồi hết thấm. Từ thông tin của ông Tào Văn Nghệ - Giám đốc khách sạn REX, Bầu Đức đã chủ động gặp tôi. Sau khi chăm chú theo dõi những thông tin của INTOC, ông đã quyết định chọn INTOC cho khu phức hợp Hoàng Anh Gia Lai - Myanmar tại Yangon (giai đoạn 1). Cũng nhờ chống thấm thành công các hạng mục khó như sân thượng trồng cây, hồ bơi trên cao, tầng hầm không cần mương dẫn... nên sau 10 năm INTOC cũng đã được chủ đầu tư mới Công ty Đại Quang Minh - chọn sử dụng cho giai đoạn 2 tại đây.

◆ Còn chiến đấu với “căn bệnh mà thế giới đang bất lực” kia thì như thế nào?

- Cũng nhiều đấy! Với sản phẩm INTOC, chúng tôi đã liên tục xử lý thành công hàng loạt các hạng mục chống thấm ngược tầng hầm không cần mương dẫn, như tầng hầm Nhà máy dệt Chungshing Vina (Long An), Maximark Cộng Hòa, Trường THPT Lê Quý Đôn (Biên Hòa). Gần đây nhất là chống thấm ngược hồ thang máy tầng hầm cao ốc FPT khu Công nghệ cao (TP.HCM) tầng hầm khu Phức hợp Hoàng Anh Gia Lai (Myanmar)...

Một công trình nữa là Trụ sở Điện lực TP.HCM. Cả 3 tầng hầm được thi công bằng công nghệ barrette bị thấm. Đã có 4 - 5 thương hiệu ngoại làm chống thấm mẫu khoảng 2m² nhưng không thành công. Đến mẫu của INTOC lại hoàn toàn khô ráo nên được chọn thi công cho toàn bộ 3 tầng hầm.

Thú thật, việc thay đổi các giải pháp chống thấm phức tạp, tốn kém, chịu ẩm mốc... đã tồn tại hàng trăm năm trên thế giới quả thật là việc làm quá lớn đến mức tôi ngại, thường

là nói ít hơn những gì mình đã làm được.

Tuy nhiên ngày càng có nhiều tài liệu nghiên cứu uy tín của Mỹ và các nước xác nhận tồn tại nhiều mặt hạn chế từ giải pháp của họ, đặc biệt là danh sách các công trình khó mà sản phẩm chống thấm ngoại “bỏ chạy” và INTOC thành công ngày càng tăng lên cùng sự bền vững của INTOC đã được thử thách trên 20 năm qua, nên tôi nghĩ đã đến lúc cần phải nói thẳng rằng, trong một số lĩnh vực, chúng ta hoàn toàn có thể tự tin vào “sản phẩm công nghệ Việt 100%”.

◆ Tôi có được nghe chuyện kể lại từ anh em KTS ở Công ty Kiến trúc và Xây dựng AST - một doanh nghiệp khá nổi tiếng hoạt động trong lĩnh vực tư vấn xây dựng - gặp căn bệnh bất lực kia khi thi công hầm kỹ thuật Nhà máy Ford Việt Nam (Hải Dương cũ) liên quan đến INTOC. Vậy câu chuyện cụ thể như thế nào vậy?

- Lúc đó hầm kỹ thuật Nhà máy Ô tô Ford Hải Dương đang bị thấm, anh em KTS ở Hà Nội giới thiệu INTOC tham gia xử lý chống thấm ngược, nhưng hồ sơ của chúng tôi bị loại ngay từ “vòng gửi xe”. Rất có thể vì phía dưới bộ tài liệu có ghi “INTOC - Tự hào công nghệ Việt 100%”!

Bẵng đi một thời gian mấy năm, một buổi sáng đẹp trời, tôi nhận được một cuộc gọi từ Nhà máy Ford... muốn thử với INTOC. Tôi hơi ngạc nhiên và tự nhủ, Ford là tên tuổi lớn của Mỹ nên đây là dịp quý báu để INTOC khẳng định mình. Vì vậy không để họ lẩn tránh đối ý, tôi chủ động đề nghị: “Quý vị an tâm, tôi không lấy trước đồng nào cả cho đến khi công việc được nghiệm thu hiệu quả”.

Thì ra trong suốt 2 năm sau đó, nhà máy đã thử nhiều sản phẩm chống thấm ngoại nhập nhưng đều thất bại. Tình trạng thấm nước dạng D3, với nước thấm qua mao mạch li ti và rỉ nước liên tục. Theo chúng tôi biết, ngoài INTOC, hiện chưa có sản phẩm nào khác trên thế giới có thể xử lý triệt để loại thấm này (thường phải xây mương dẫn và bơm nước).

Chỉ trong 2 ngày đầu tháng 3/2017, INTOC đã thành công hoàn toàn, tầng hầm khô ráo cho đến ngày nay. Sau đó, đơn



Hiện nay, tỷ lệ công trình bị thấm lên đến trên 80% và kéo dài suốt mấy chục năm qua. Chắc hẳn phải có điều gì đó bất ổn?

vị thi công là Công ty Kiến trúc và Xây dựng AST rất vui mừng vì đã giải quyết được hạng mục khó khăn này và đã gửi thư ghi nhận rằng: "Trong 2 năm qua, đơn vị đã xử lý bằng nhiều biện pháp chống thấm với nhiều loại vật liệu chống thấm trong và ngoài nước nhưng đều không hiệu quả. Cuối cùng, chúng tôi cùng Phòng Vật liệu Nhà máy Ford Việt Nam đồng ý sử dụng vật liệu chống thấm INTOC...".

Đấy, chuyện nó chỉ có vậy nhưng chúng tôi rất hạnh phúc vì đã đem lại sự an tâm cho khách hàng và rất tự hào về một sản phẩm công nghệ Việt 100%.

SỨC SÁNG TẠO CỦA KINH TẾ TƯ NHÂN LÀ KHỦNG KHIẾP LẮM!

◆ **Nay có thể coi là một doanh nghiệp tư nhân thành đạt trong lĩnh vực VLXD, ông suy nghĩ gì khi Đảng và Nhà nước đưa vai trò kinh tế tư nhân là nhân tố quan trọng nhất trong công cuộc hưng thịnh nước nhà?**

- Tôi sinh ra và lớn lên tại huyện Hoài Ân, miền Trung du của tỉnh Bình Định. Hồi còn học cấp 2, khoảng 14 - 15 tuổi, tôi được may mắn đọc một số cuốn sách trong tủ sách "Học làm người" của học giả Nguyễn Hiến Lê và nhớ mãi câu nói của ông: "Làm giàu là một thành công nhưng chưa trọn vẹn nếu chưa đóng góp gì cho xã hội". Câu nói này đeo đuổi mãi trong tôi và tôi rất khát khao làm cái gì đó để thoát nghèo và có ích cho xã hội. Tôi tốt nghiệp Đại học Sư phạm Toán tại TP.HCM, năm 1979 ra trường dạy Toán cấp 3 tại Cần Thơ hồi đó là tỉnh Hậu Giang được 4 năm, đến 1982 thi đậu cao học Toán tại Đại học Sư phạm Hà Nội 1.

Sau khi tốt nghiệp cao học, tôi được phân công về dạy Toán tại Cao đẳng Sư phạm Cần Thơ. Có thời gian rảnh rỗi hơn, tôi nghĩ đây là cơ hội tốt để mình làm cái gì đó vừa thoát nghèo và có ích cho xã hội, nhưng quan trọng nhất là làm cái gì?

Nếu mình kinh doanh cái gì đã có nhiều người làm thì phải có vốn và kiến thức về kinh doanh. Cả hai cái đó, một thấy giáo nghèo như tôi đều không có. Sau nhiều đêm suy nghĩ, tôi nhận ra rằng mình phải làm cái gì đó có tính sáng



Tôi được may mắn đọc một số cuốn sách trong tủ sách "Học làm người" của học giả Nguyễn Hiến Lê và nhớ mãi câu nói của ông: "Làm giàu là một thành công nhưng chưa trọn vẹn nếu chưa đóng góp gì cho xã hội". Câu nói này đeo đuổi mãi trong tôi và tôi rất khát khao làm cái gì đó để thoát nghèo và có ích cho xã hội" - ông Đỗ Thành Tích

tạo, khác biệt mới có thể tồn tại và phát triển. Thế là tôi lao vào nghiên cứu, tìm tòi nhiều thứ từ dầu gội trị gàu, phấn không bụi, keo bâu áo, bình chữa cháy tự động... và được Cục Sở hữu trí tuệ cấp 5 Bằng sáng chế và giải pháp hữu ích.

Đấy, anh thấy không, sức sáng tạo của kinh tế tư nhân nếu có môi trường phù hợp thì nó khủng khiếp đến mức nào rồi đấy. Vì vậy, tôi cho rằng, việc Đảng và Nhà nước đưa vai trò kinh tế tư nhân là nhân tố quan trọng nhất trong công cuộc hưng thịnh nước nhà là hoàn toàn đúng đắn!

◆ **Trên thương trường, quả là không nhiều người thành công ngay từ những bước đầu tiên như vậy, đúng không?**

- Không hề có chuyện đó đâu! Tôi nghiên cứu và làm nhiều thứ nhưng thực sự thành công không nhiều, chỉ có Dầu gội trị gàu Thanh Diễm (tên con gái đầu lòng của tôi) là có kết quả. Nhưng chỉ được 4 tháng sản phẩm ra thị trường lập tức bị làm giả. Đành phải cắt đi làm kỷ niệm!

◆ **Trong họa thường có phúc, có lẽ chính vì thế mà INTOC ra đời?**

- Có thể coi là như vậy. Tôi đến với chống thấm trong một



INTOC đã chống thấm hồ bơi trên cao tầng 6, khách sạn Victory, hiệu quả suốt 20 năm qua, mà trước đó đã có không dưới 4 đến 5 đơn vị xử lý nhưng không thành công.



Một bất hợp lý rất lớn hiện nay là khi xét năng lực của đơn vị chống thấm, người ta chỉ yêu cầu về doanh số, các hạng mục đã chống thấm, diện tích chống thấm... Trong khi đó cái mà chúng ta quan tâm nhất là hiệu quả chống thấm kéo dài được bao lâu thì lại bỏ qua!"

ông Đỗ Thành Tích

dịp rất tình cờ khi nhà cấp 4 của mình ở Cần Thơ bị thấm vách tường. Tôi hỏi người bạn là kỹ sư xây dựng tư vấn nên dùng sản phẩm chống thấm nào nhưng bạn ấy nói: "Tao nói thật với mày, chống thấm Mỹ, Pháp, Nhật... tao không tin thằng nào cả". Ngay lúc đó tôi bỗng nảy ra suy nghĩ hay là mình lao vào lĩnh vực chống thấm và gắn bó với chống thấm từ đó, khoảng năm 1992.

Con đường lao vào nghiên cứu chống thấm tôi cũng không hề đơn giản chút nào. Thú thật với anh là lúc đầu không ai chịu sử dụng chống thấm của mình. May mà có một vài người bạn chấp nhận, thuyết phục nên cũng rất tự tin.

Ngẫm lại, có được thành công như ngày hôm nay là nhờ một phần thừa hưởng tính sáng tạo của Ba mình, những ý

tưởng từ tủ sách "Học làm người" của học giả Nguyễn Hiến Lê; ngoài ra, tư duy toán học cũng giúp ích tôi trong việc sớm nhận ra bản chất của vấn đề trong quá trình tìm tòi sáng tạo...

♦ Thật hạnh phúc khi có người con ở tuổi thất thập mà vẫn luôn nhớ đến hình ảnh Ba của mình!

- Dạ vâng, tôi xin kể một chút về Ba, về sự sáng tạo không ngừng của Ba trong tìm kiếm sinh nhai. Thời đó, huyện Hoài Ân của tôi đa phần là làm nghề đan nong, được làm từ cây tre, hình tròn đường kính khoảng một mét rưỡi dùng để phơi khô lúa. Để vận chuyển những cái nong này bán cho các địa phương khác trong tỉnh thường phải vác bộ và tối đa là khoảng 4 - 5 cái, đi về mất 4 - 5 ngày khá bất tiện và chậm chạp. Ba tôi đã nghĩ ra cách thiết kế nối tay lái dài hơn để vận chuyển bằng xe đạp với số lượng gấp đôi và thời gian đi về chỉ 2 - 3 ngày. Sau một thời gian, cách này cũng bị nhiều người bắt chước làm theo và Ba nghĩ ra cách vận chuyển bằng xe gắn máy. Vậy là Ba mua một chiếc gắn máy Bridgestone (lúc đó chưa có xe Suzuki và Honda tại Việt Nam) và chở được trên hai chục cái nong, hôm trước đi hôm sau về... rất tuyệt vời!

Hồi đó, mỗi lần Ba chuẩn bị chuyến đi, tôi thường giúp Ba những việc lật vật. Tôi thắc mắc sao Ba đi rất sớm, khoảng 3 giờ sáng... Hóa ra là để "bảo mật" tránh ăn cắp bản quyền (cười)! Và nhiều thứ khác nữa...

MỘT KHÁT VỌNG CÒN DANG DỜ...

♦ Trở lại câu của học giả Nguyễn Hiến Lê đã khiến ông nhớ mãi: "Làm giàu là một thành công nhưng chưa trọn"

Ông Đỗ Thành Tích - Chủ tịch kiêm Tổng giám đốc Công ty TNHH Tân Tín Thành - INTOC, sinh năm 1957 tại huyện Hoài Ân, tỉnh Bình Định (cũ).

Ông tốt nghiệp Đại học Sư phạm Toán tại TP.HCM năm 1979, Thạc sĩ Toán học 1985 tại Đại học Sư phạm Hà Nội 1.

Là nhà khởi nghiệp sáng tạo đã nghiên cứu sản xuất ra nhiều sản phẩm có tính mới như: dầu gội trị gàu, phấn không bụi, keo bâu áo, bình chữa cháy tự động... và được Cục Sở hữu trí tuệ cấp 5 Bằng sáng chế và giải pháp hữu ích.

Năm 1992, ông bắt đầu nghiên cứu và sản xuất chất chống thấm INTOC và từng bước được thị trường chấp nhận nhờ tính hiệu quả đặc biệt và phát triển cho tới ngày nay.



ven nếu chưa đóng góp gì cho xã hội". Đến nay, ông còn tâm tư điều gì chăng?

- Còn nhiều lắm! Hiện nay, tỷ lệ công trình bị thấm lên đến trên 80% và kéo dài suốt mấy chục năm qua. Chắc hẳn phải có điều gì đó bất ổn? Thật vậy, vấn nạn thấm không chỉ là nó xảy ra rất phổ biến mà còn ở chỗ nhiều công trình bị thấm đã phải sửa chữa nhiều lần, kéo dài nhiều tháng, nhiều năm mà vẫn không biết tại sao vẫn không ổn, dù đa phần là sử dụng chống thấm ngoại.

Vậy điều bất ổn đó là gì? Theo tôi, bất ổn lớn nhất là chúng ta chưa có cách đánh giá phù hợp để nhận biết một sản phẩm chống thấm có chất lượng hay không.

Điển hình là cùng một hạng mục cần chống thấm nhưng các nhà tư vấn thường đưa ra những giải pháp rất khác nhau, mà phần lớn là dựa vào cảm tính chứ khó có cơ sở khoa học nào để khẳng định giải pháp của mình sẽ hiệu quả lâu dài. Trong thực tế vì chống thấm không có quy chuẩn, tiêu chuẩn bắt buộc nào cả (theo QCVN 16:2017/BXD) và không có giáo trình giảng dạy trong các trường chuyên ngành Xây dựng. Nói cách khác, chống thấm đang bất ổn về mặt lý luận.

Việc đánh giá để phân biệt đâu là sản phẩm chống thấm đáng tin cậy là điều vô cùng quan trọng vì khi đánh giá sai, chọn nhầm chống thấm kém chất lượng thì dù thi công đúng hay thi công sai cũng đều bị thấm!

♦ Theo ông, làm cách nào để hạ tỷ lệ các công trình bị thấm đột sau khi hoàn công?

- Hiện nay phần lớn các đơn vị chống thấm là thầu phụ của Tổng thầu xây dựng. Vì vậy, các đơn vị chống thấm này thường chỉ bảo hành 1 - 2 năm là hết trách nhiệm. Trong khi đó, tình trạng thấm nặng nề thường chỉ xảy ra sau 1 - 2 năm.

Để khắc phục tình trạng trên, gói thầu chống thấm cần phải quy định thêm thời gian bảo hành, ít nhất là 5 năm.

Một bất hợp lý rất lớn hiện nay là khi xét năng lực của đơn vị chống thấm, người ta chỉ yêu cầu về doanh số, các hạng mục đã chống thấm, diện tích chống thấm... trong khi đó cái mà chúng ta quan tâm nhất là hiệu quả chống thấm kéo dài được bao lâu thì lại không được quan tâm!

♦ Vậy ông có lời khuyên gì đối với các chủ đầu tư khi giám sát nhà thầu trong công việc không quan trọng nhưng gây phiền não cho rất nhiều công trình như vậy?

- Chủ đầu tư là người gánh chịu những thiệt hại do tình trạng thấm gây ra nhưng lại không tham gia vào việc chọn lựa chống thấm vì họ cho rằng mình không rành về chống thấm.

Thực ra, muốn chọn lựa một sản phẩm chống thấm có chất lượng hiệu quả lâu dài chỉ cần yêu cầu nhà cung cấp chứng minh đã có bao nhiêu công trình sử dụng đạt hiệu quả lâu dài 10 năm, 20 năm... Đừng quan tâm nhiều đến lời giới thiệu sản phẩm vì chống thấm không có quy chuẩn, tiêu chuẩn nào bắt buộc nào cả. Lấy thực tiễn để chứng minh là có sức thuyết phục nhất. Mọi lời giới thiệu, quảng cáo chỉ nên để tham khảo mà thôi. ♦

♦ Xin cảm ơn ông về câu chuyện bổ ích và lý thú này!

Trạm đổi pin - Bước đột phá trong giao thông xanh!

> **NGUYỄN MINH VÂN**

Có 2 vấn đề lớn khiến nhiều người dân lo lắng khi triển khai giao thông xanh ở nội đô Hà Nội (và có lẽ cũng là nỗi lo lắng của nhiều khu đông dân cư khác trên cả nước), một là phụ tải điện tăng đột biến khi phải sạc điện cho hàng trăm ngàn phương tiện cùng một thời điểm, hai là hệ thống trạm sạc điện trên một địa bàn đông dân, chật hẹp, "quý đất hơn vàng" kia sẽ được giải quyết như thế nào?

Theo lộ trình Thủ tướng Chính phủ yêu cầu, từ tháng 7/2026, xe máy chạy xăng sẽ không được phép lưu thông trong vành đai 1 Hà Nội, bao gồm phần lớn diện tích 4 quận cũ vùng lõi Thủ đô là Hoàn Kiếm, Ba Đình, Đống Đa, Hai Bà Trưng. Xa hơn nữa, từ ngày 01/01/2028, ngoài cấm xe gắn máy chạy xăng dầu, ô tô cá nhân sử dụng nhiên liệu hóa thạch cũng bị hạn chế trong khu vực vành đai 1 và vành đai 2; đến năm 2030 áp dụng với toàn bộ phương tiện cá nhân sử dụng nhiên liệu hóa thạch trong phạm vi vành đai 3...

Có 2 vấn đề lớn khiến nhiều người dân lo lắng nhất, một là phụ tải điện tăng đột biến khi phải sạc điện cho hàng trăm ngàn phương tiện cùng một thời điểm, hai là hệ thống trạm sạc điện trên một địa bàn đông dân, chật hẹp, "quý đất hơn vàng" kia sẽ như thế nào?

Tuy nhiên, các nhà hoạch định chiến lược giao thông xanh không những ở Việt Nam mà trên thế giới đã và đang thực hiện những giải pháp có hiệu quả đáng khích lệ, trong đó có Trạm đổi pin cho xe điện.

KHAI THÁC THẢM HỌA "ĐƯỜNG CONG CON VỊT"

Hầu nhiều người đã biết một thảm họa hy hữu về phụ tải tiêu thụ điện năng xảy ra hồi tháng 4/2025 trên diện rộng khiến hệ thống tàu điện ngầm của thủ đô Tây Ban Nha và của Bồ Đào Nha, các sân bay quốc tế Barajas của Madrid và Humberto Delgado của Lisbon đã phải dừng hoạt động đột ngột trong 13 giờ.

Khi phân tích nguyên nhân, các chuyên gia thấy có một trùng hợp khá đặc biệt, tại thời điểm đó, tất cả các nhà máy điện hạt nhân và nhà máy khí chu trình kết hợp của Tây Ban Nha đều ngừng hoạt động, trong khi các nguồn năng lượng tái tạo vẫn có thể cung cấp điện...

Điểm trùng hợp đặc biệt ấy là một đầu mối quan trọng để

tìm ra nguyên nhân của sự cố hy hữu này. Các chuyên gia đặt câu hỏi, phải chăng có thể do mất cân bằng đột ngột phụ tải, hoặc sự cố dao động tần số lớn của lưới điện kéo dài thành một quá trình, tác động hệ thống bảo vệ tự động gây ra sự cố rã lưới trong tình trạng độ linh hoạt của hệ thống chưa thực sự đáp ứng kiểu phản ứng nhanh? Thời điểm ngắt mạch chính là lúc điện mặt trời phát cao, sau đó đột ngột sụt giảm rất nhanh - một trong những nguyên nhân mất ổn định hệ thống, khi các nguồn điện nền không kịp phản ứng.

Sự thất thường, thiếu ổn định của điện mặt trời hoàn toàn có thể gây thảm họa tương tự cho hệ thống điện của bất cứ quốc gia mất cảnh giác nào đã được các chuyên gia đặt tên là hiệu ứng "đường cong con vịt", bởi lẽ khi vẽ đồ thị cho một ngày tiêu biểu (tiêu thụ điện thấp), hình dáng đồ thị cho thấy phụ tải còn lại rất thấp vào giữa trưa, sau đó là tăng nhanh vào buổi tối (khi mất nguồn phát từ điện mặt trời). Đồ thị trông giống như đường cong của lưng một con vịt.

Thế nhưng thảm họa "đường cong con vịt" hoàn toàn vô hại đối với hệ thống pin lưu trữ điện và thậm chí còn mang lại lợi ích không nhỏ. Bởi lẽ, điện là một loại hàng hóa rất đặc biệt, khi sản xuất ra, tung lên lưới rồi, nếu không có người dùng sẽ như ném tiền qua cửa sổ. Nhưng nếu được lưu trữ trong pin sạc thì lại khác... Vì vậy, có thể nhận xét, pin lưu trữ điện chính là khắc tinh của sự thất thường, thiếu ổn định của điện mặt trời.

Pin lưu trữ sẽ được sạc khi điện mặt trời thừa công suất và được sử dụng vào nhiều mục tiêu khác nhau trong cuộc sống, trong đó có các phương tiện giao thông xanh.

CUỘC ĐUA SẢN XUẤT PIN LƯU TRỮ ĐIỆN

Nhìn thấy xu thế tất yếu của thị trường giao thông xanh tại Việt Nam, nhiều nhà đầu tư trong và ngoài nước đã không ngại



XI MĂNG CẨM PHẢ
CÔNG NGHỆ NHẬT BẢN

HÂN HẠNH TÀI TRỢ CHUYÊN MỤC

đồ tiên của vào lĩnh vực sản xuất pin lưu trữ điện.

Mới đây nhất, tháng 7/2025, một công ty con của Tập đoàn Hòa Phát là Công ty CP Cơ khí xây dựng thương mại Đại Dũng đã đại diện cho liên danh các nhà đầu tư có văn bản gửi UBND TP.HCM đề xuất đầu tư nhà máy sản xuất pin lưu trữ điện tại Khu công nghệ cao thành phố. Địa điểm được đề xuất đầu tư là Khu công nghệ cao TP.HCM với nhu cầu sử dụng đất khoảng 12 - 15 ha dùng để xây dựng nhà máy, khu văn phòng, nhà kho và trung tâm nghiên cứu. Tổng vốn đầu tư dự án khoảng 850 triệu USD, thời gian triển khai dự kiến bắt đầu từ năm 2026 và hoàn thành vào năm 2028.

Đối tác quốc tế liên danh là Công ty TNHH Cục công trình số 8 xây dựng Trung Quốc (CCEED) hợp tác với Công ty Smart Tech Group Vietnam (STG VN), trực thuộc Smart Tech Group Inc tại Hoa Kỳ.

Liên danh đề xuất đầu tư dự án nhà máy sản xuất pin lưu trữ điện phục vụ cho công nghiệp và khu vực dân dụng với công suất thiết kế dự kiến 5 GWh giai đoạn 1 và có thể nâng công suất trong các giai đoạn tiếp theo. Ngoài ra, nhà máy còn cung cấp, chuyển giao các giải pháp phần mềm công nghiệp, nghiên cứu phát triển pin, robot, kỹ thuật tàu điện đô thị...

Nhìn xa trông rộng hơn, ngay từ tháng 12/2021, Tập đoàn Vingroup đã khởi công giai đoạn 1 của Nhà máy sản xuất pin VinES tại Khu kinh tế Vũng Áng (Hà Tĩnh) có diện tích 8 ha và vốn đầu tư 3.784 tỷ đồng. Nhà máy cung cấp pin Lithium cho ô tô điện và bus điện của VinFast, hiện đã đi vào hoạt động ổn định.

Tháng 11/2022, VinES hợp tác với Công ty Gotion, Inc. triển khai Dự án Nhà máy sản xuất cell pin LFP tại lô CN4-5 Khu kinh tế Vũng Áng. Dự án có vốn đầu tư gần 6.329 tỷ đồng, trên diện tích 14 ha, với công suất thiết kế 5 GWh/năm, tương đương khoảng 30 triệu cell pin/năm, trở thành nhà máy sản xuất pin LFP đầu tiên tại Việt Nam...

Ngoài ra, tham gia cuộc đua sản xuất pin lưu trữ điện ở Việt Nam còn có nhiều gương mặt khác, như Nhà máy sản xuất và lắp ráp pin Lithium-ion LiFePO4 thuộc Công ty CP Công nghệ Pin Xing Heng được đặt tại Sóc Sơn, Hà Nội; Nhà máy Exquisite Power Việt Nam thuộc Tập đoàn Highpower Technology tại Hải Phòng; Công ty Pin Fuji Việt Nam; Tập đoàn Hóa chất Đức Giang; Ấc quy Tia Sáng...

Với nguồn cung pin sạc dự kiến hùng hậu như vậy, cuộc cách mạng giao thông xanh của Việt Nam hy vọng sẽ có những bước đột phá mới.

ĐẦU ĐUÔI CŨNG CÓ TRẠM ĐỔI PIN...

Hiện nay, cả nước đang có khoảng 17 nghìn cây xăng được phân bố đồng đều theo các khu vực dân cư. Nhiều người không khỏi lo lắng khi có pin rỗng, liệu các trạm đổi pin có thuận lợi hơn?

Thật may mắn, trạm đổi pin là một dịch vụ đơn giản hơn rất nhiều so với các cây xăng dầu. Diện tích chiếm đất nhỏ gọn, thời gian đổi pin thực hiện nhanh, quản lý tự động... khiến cho bất cứ hộ dân nào có điều kiện đều có thể hợp tác với nhà sản xuất để cung ứng dịch vụ này.

Chẳng thế mà theo lịch trình được định sẵn, tháng 10/2025 tới, VinFast ra mắt xe máy điện phiên bản đổi pin và bắt đầu triển khai một chương trình hành động chưa từng có, đó là mở 1 nghìn trạm đổi pin đầu tiên từ tháng 10/2025, mở rộng lên 50 nghìn trạm trong năm 2025, tiến tới mục tiêu là 150 nghìn



Trạm đổi pin tự động của Selex giúp khách hàng tiết kiệm lên tới 35% chi phí so với xăng trên cùng một quãng đường đi được. Bên cạnh đó, nhu cầu bảo dưỡng, vận hành và sửa chữa không cao, người dùng không phải lo "chai pin" như hình thức sạc pin truyền thống.

trạm trên toàn quốc.

Việc quy hoạch mạng lưới đổi pin này so với hệ thống khoảng 17 nghìn cây xăng, dầu hiện nay trên toàn quốc quả là một con số đầy ấn tượng.

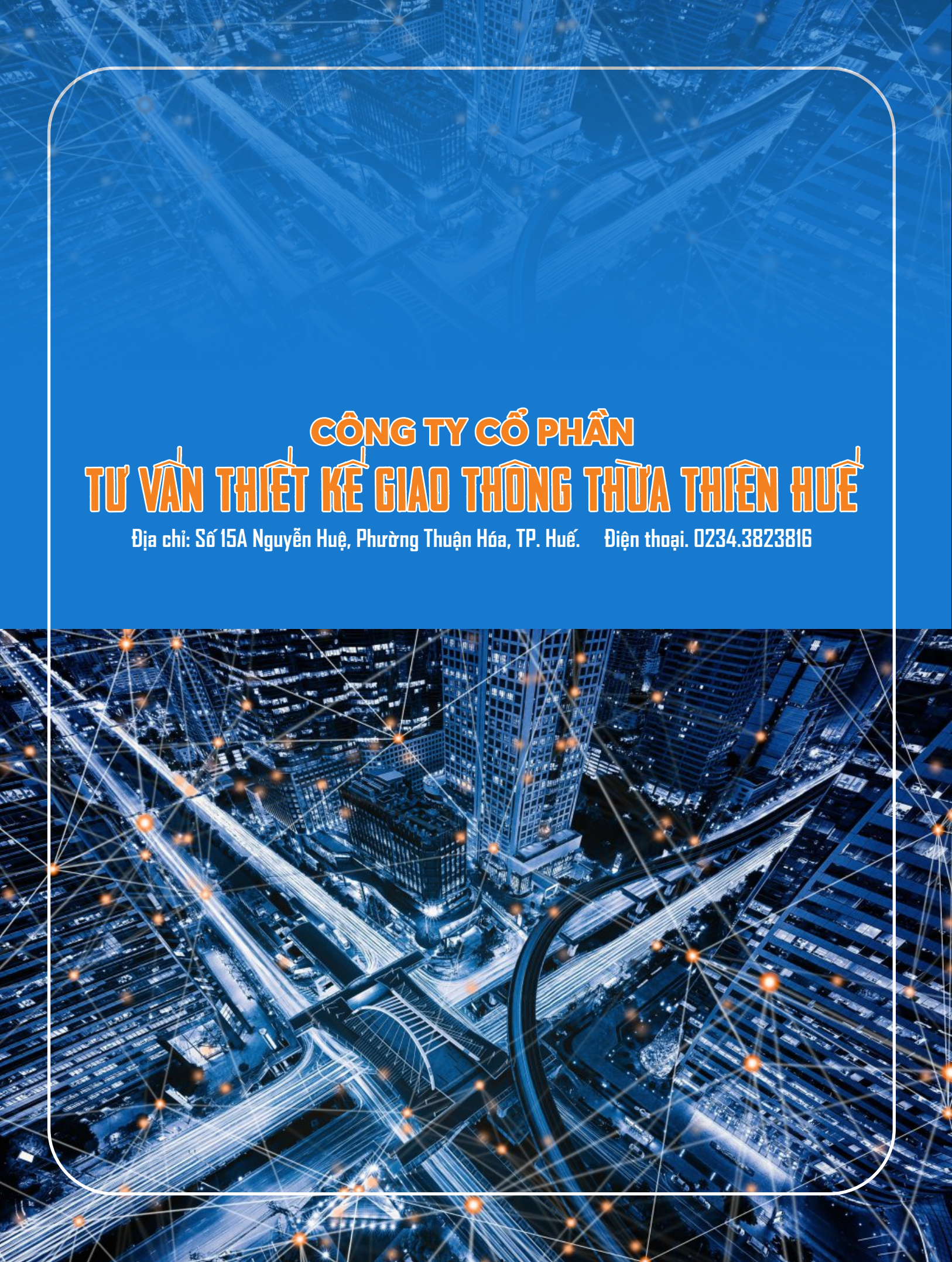
Theo thông báo, mỗi viên pin có dung lượng 1,5kWh, cho khả năng di chuyển 85 km (điều kiện gần như lý tưởng) sau mỗi lần sạc đầy. Mức phí thuê 200 nghìn đ/tháng cho mỗi viên và có thể sạc tại nhà. Khi đổi pin tại trạm, người dùng cần trả phí 9 nghìn đ/pin (đã sạc điện). Cộng các chi phí lại thì việc sử dụng xe điện sẽ ngang hoặc rẻ hơn so với xe xăng, đặc biệt với những người có nhu cầu di chuyển nhiều.

Một đối thủ nặng ký là TMT Motors - nhà phân phối xe Wuling, một thương hiệu xe của Trung Quốc, độc quyền sản xuất, lắp ráp và phân phối các dòng ô tô điện Wuling tại Việt Nam. Cuối tháng 7/2025, doanh nghiệp này cho biết sẽ mở bán 5 mẫu xe máy điện vào quý IV tới, đồng thời xây dựng hệ thống trạm sạc và đổi pin công cộng.

Theo thông tin từ báo Dân trí, Hãng xe điện sớm triển khai mô hình trạm đổi pin tự động tại Việt Nam là Selex Motor. So với các thương hiệu xe máy điện trên thị trường, Selex là một cái tên không quá nổi bật, do ít sản phẩm và hãng này chủ yếu tập trung vào nhóm khách hàng là tài xế chở khách hay chở hàng. Từ tháng 4/2023, Selex Motor đã triển khai các trạm đổi pin và đến nay có khoảng 90 trạm, nhưng chỉ lắp đặt tại các thành phố lớn như Hà Nội, TP.HCM và Đà Nẵng...

Trở lại 2 vấn đề lớn đã và đang khiến nhiều người dân lo lắng nhất khi triển khai giao thông xanh ở nội đô Hà Nội (và có lẽ cũng là nỗi lo lắng của nhiều khu đông dân cư khác trên cả nước), một là phụ tải điện tăng đột biến khi phải sạc điện cho hàng triệu phương tiện cùng một thời điểm, hai là hệ thống trạm sạc điện trên một địa bàn đông dân, chật hẹp, "quý đất hơn vàng" kia sẽ được giải quyết như thế nào?

Câu trả lời duy nhất khả thi hiện nay là triển khai rộng rãi trạm đổi pin. Đồng thời ghi nhận và dành nhiều hy vọng cho chương trình hành động "vô tiền khoáng hậu" 150 nghìn trạm đổi pin trên toàn quốc của VinFast trong tương lai.❖

The background of the entire image is an aerial night view of a city, likely Ho Chi Minh City, showing a complex network of highways and skyscrapers. Overlaid on this is a glowing blue network of lines and nodes, resembling a digital or communication network. The top half of the image is a solid blue gradient. The text is centered in the middle section.

CÔNG TY CỔ PHẦN TƯ VẤN THIẾT KẾ GIAO THÔNG THỪA THIÊN HUẾ

Địa chỉ: Số 15A Nguyễn Huệ, Phường Thuận Hóa, TP. Huế. Điện thoại: 0234.3823816

BAN BẢO TRÌ ĐƯỜNG BỘ

Địa chỉ: Phường Điện Biên Phủ, tỉnh Điện Biên



Đổi mới phân loại đô thị - nông thôn ở Việt Nam: Tiếp cận chức năng - không gian và kinh nghiệm quốc tế

Reforming Urban - Rural classification in Vietnam: A Functional-Spatial approach and International experience

> PGS.TS.GVCC.KTS NGUYỄN VŨ PHƯƠNG

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

TÓM TẮT

Trong nhiều thập kỷ qua, hệ thống phân loại và quản lý đô thị - nông thôn ở Việt Nam chủ yếu dựa trên tiêu chí hành chính - pháp lý, phản ánh ranh giới địa lý và quyết định công nhận hành chính. Tuy nhiên, từ ngày 01/7/2025, cải cách hành chính, với mô hình chính quyền hai cấp, đặt ra yêu cầu cấp thiết phải chuyển từ quản lý theo địa giới sang quản lý dựa trên chức năng - không gian. Trong khi đó, các hệ thống quốc tế như NUTS, DEGURBA, FUA, FRA của EU, cùng với khung phân cấp lãnh thổ của OECD, UN DESA, Hoa Kỳ, Canada và Nhật Bản, đã phát triển thành những chuẩn mực quan trọng trong thống kê, so sánh và hoạch định chính sách đô thị - nông thôn.

Bài báo phân tích và so sánh hệ thống phân loại đô thị - nông thôn của Việt Nam với các hệ thống quốc tế, chỉ ra những khoảng trống trong cách tiếp cận hiện hành, đồng thời đề xuất lộ trình cải cách cho giai đoạn 2025-2030 với ba mục tiêu chính:

1. Hệ thống hóa các khái niệm và mô hình quốc tế.
2. So sánh với thực tiễn Việt Nam để nhận diện bất cập và khoảng trống.
3. Đề xuất lộ trình cải cách, hướng tới quản lý lãnh thổ dựa trên **chức năng - không gian** đô thị và nông thôn.

Trọng tâm lộ trình là duy trì hệ thống phân cấp đô thị 6 loại trong ngắn hạn, đồng thời thí điểm và từng bước thể chế hóa khung đô thị - nông thôn chức năng, nhằm xây dựng hệ thống quản lý lãnh thổ hiện đại, tích hợp và hội nhập quốc tế.

Từ khóa: Đô thị, nông thôn, NUTS, DEGURBA, FUA - FRA, cải cách hành chính, chính quyền hai cấp.

ABSTRACT

For decades, Vietnam's classification and governance of urban and rural areas have been grounded primarily in administrative-legal criteria, reflecting territorial boundaries and official recognition. The introduction of a two-tier government model on July 1, 2025, however, underscores the urgent need to transition from boundary-based to function-and space-based management. By contrast, international frameworks such as NUTS, DEGURBA, FUA, and FRA in the European Union, together with territorial classification systems developed by the OECD, UN DESA, the United States, Canada, and Japan, have become widely recognized standards for statistics, comparison, and urban-rural policy design.

This paper analyzes and compares the Vietnamese and international approaches, identifies gaps in the current system, and proposes a reform roadmap for 2025-2030 with three objectives:

1. Systematize key international concepts and models.
2. Benchmark Vietnam's practice to reveal limitations and gaps.
3. Outline a reform pathway toward function- and space-based territorial governance.

The roadmap emphasizes maintaining the existing six-tier urban classification in the short term, while piloting and gradually institutionalizing functional urban-rural frameworks, aiming to establish a modern, integrated, and internationally harmonized system of territorial management.

Keywords: Urban, Rural, NUTS, DEGURBA, FUA-FRA, Administrative reform, Two-tier government.

1. TIẾP CẬN PHÂN LOẠI ĐÔ THỊ - NÔNG THÔN: BỐI CẢNH VIỆT NAM VÀ XU HƯỚNG QUỐC TẾ

Quản lý và phân loại đô thị - nông thôn là nền tảng quan trọng cho phát triển kinh tế - xã hội, phân bổ nguồn lực và hoạch định

chính sách. Trên thế giới, nhiều quốc gia đã chuyển từ mô hình quản lý dựa trên ranh giới hành chính sang tiếp cận theo không gian - chức năng, tập trung vào mật độ dân cư, luồng di chuyển lao động, khả năng tiếp cận dịch vụ và các mối liên kết kinh tế - xã hội.

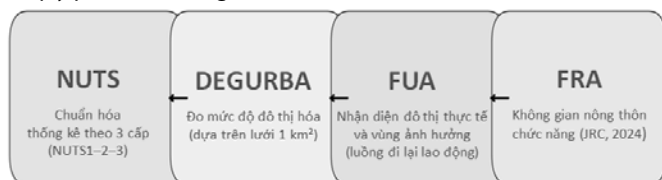
1.1. Thực trạng tiếp cận hành chính - pháp lý ở Việt Nam

Ở Việt Nam, hệ thống phân loại đô thị - nông thôn được quy định trong Luật và Nghị quyết số 1210/2016/UBTVQH13, phân thành 6 loại (Đặc biệt, I, II, III, IV, V), dựa chủ yếu trên các tiêu chí: (i) quy mô dân số, (ii) mật độ dân cư, (iii) cơ cấu lao động, (iv) mức độ phát triển hạ tầng đô thị và (v) vai trò - chức năng trong hệ thống đô thị quốc gia. Thành phố được xác định là một đơn vị hành chính và có thể tồn tại ở nhiều cấp khác nhau: trực thuộc Trung ương, trực thuộc tỉnh hoặc trực thuộc thành phố trực thuộc Trung ương (như TP Thủ Đức trước đây).

Nông thôn được hiểu là phần lãnh thổ ngoài phạm vi đô thị, với xã là đơn vị hành chính cơ bản. Cách tiếp cận này có ưu điểm là rõ ràng, dễ quản lý và tạo cơ sở pháp lý cho việc phân bổ nguồn lực từ Trung ương, phù hợp với mô hình quản trị hành chính ba cấp trước đây.

1.2. Khung chức năng - không gian trong hệ thống phân loại của EU và OECD

Khác với Việt Nam, Liên minh châu Âu (EU) và Tổ chức hợp tác và phát triển kinh tế (OECD) với 38 quốc gia thành viên tiếp cận đô thị - nông thôn theo hướng **chức năng - không gian** (functional-spatial), dựa trên mật độ dân số, quy mô cụm dân cư, luồng di chuyển lao động và mức độ tiếp cận dịch vụ. Các công cụ tiêu biểu gồm: DEGURBA - chuẩn hóa mức độ đô thị hóa dựa trên lưới dân số 1 km²; FUA (Functional urban area) - phản ánh đô thị thực tế thông qua sự kết hợp giữa lõi đô thị và vùng đi lại; và FRA (Functional rural area) - khái niệm mới ra đời cuối năm 2024, nhằm nhận diện nông thôn chức năng với trung tâm dịch vụ và vùng ảnh hưởng. Bên cạnh đó, khung NUTS với 3 cấp, bảo đảm tính thống nhất xuyên quốc gia trong thống kê, so sánh và hoạch định chính sách, đồng thời đóng vai trò nền tảng cho phân tích và phân bổ quỹ phát triển vùng.



Hình 1. Tiến hóa logic từ NUTS → DEGURBA → FUA → FRA

1.3. Tác động của cải cách hành chính 2025 tới hệ thống phân loại đô thị - nông thôn ở Việt Nam

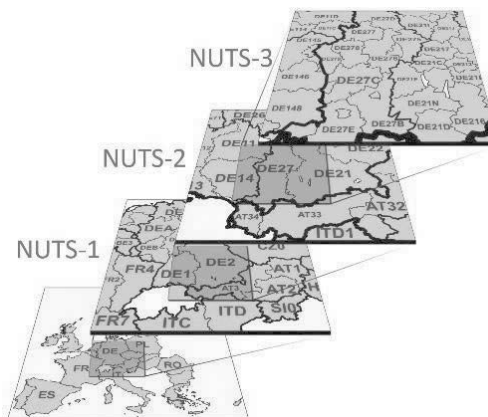
Cải cách hành chính năm 2025 bãi bỏ cấp trung gian (huyện, quận, thị xã), chỉ duy trì hai cấp - tỉnh và xã/phường. Từ 926 đô thị, Việt Nam chỉ còn 06 thành phố trực thuộc Trung ương (TP.HCM, Hà Nội, Hải Phòng, Huế, Đà Nẵng, Cần Thơ). Cấu trúc đô thị thay đổi, kéo theo hệ quả là 920 “thành phố, thị xã, thị trấn” trước đây không còn tư cách pháp nhân hành chính. Thực tiễn này đặt ra câu hỏi: trong bối cảnh mới, các khái niệm “đô thị”, “thành phố” và “nông thôn” cần được định nghĩa lại như thế nào? Và Việt Nam nên tham khảo kinh nghiệm quốc tế ra sao để xây dựng một hệ thống phân loại và quản lý vừa phù hợp với mô hình chính quyền hai cấp, vừa bảo đảm khả năng hội nhập quốc tế?

Trong khi đó, nhiều quốc gia tiên tiến đã xây dựng hệ thống phân loại lãnh thổ hiện đại, chuyển từ khung hành chính sang tiếp cận **chức năng - không gian**. Các công cụ như NUTS, DEGURBA, FUA - FRA, LAUs không chỉ chuẩn hóa thống kê mà còn hỗ trợ quản lý phát triển vùng, phân bổ nguồn lực và hoạch định chính sách xuyên biên giới theo hướng tích hợp, bền vững. Đây là những kinh nghiệm có giá trị tham khảo cho Việt Nam, đặc biệt trong bối cảnh cải cách hành chính, khi mô hình quản lý lãnh thổ hai cấp đòi hỏi tư duy vượt khỏi giới hạn của khung hành chính truyền thống.

2. CƠ SỞ LÝ LUẬN VÀ KINH NGHIỆM QUỐC TẾ VỀ PHÂN LOẠI LÃNH THỔ ĐÔ THỊ - NÔNG THÔN

2.1. Hệ thống phân loại lãnh thổ - NUTS (Nomenclature of Territorial Units for Statistics)

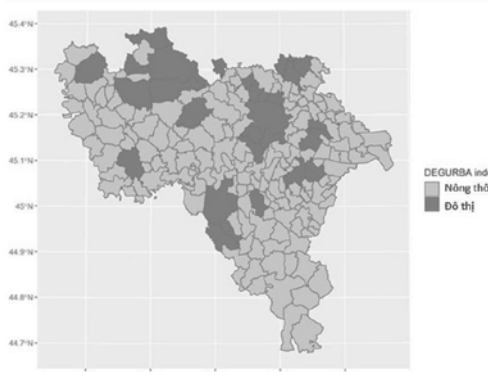
Hệ thống NUTS được hình thành từ thập niên 1970 và được thể chế hóa bằng Quy định số 1059/2003 của Ủy ban châu Âu (EC). Cấu trúc NUTS gồm ba cấp: NUTS 1 - các vùng kinh tế - xã hội lớn; NUTS 2 - các vùng cơ bản cho hoạch định chính sách và phân bổ quỹ; NUTS 3 - các vùng nhỏ phục vụ phân tích và chẩn đoán chi tiết. Bên cạnh NUTS, hệ thống còn có Đơn vị hành chính địa phương - LAUs (Local Administrative Units), thường tương ứng với cấp (xã/phường?), nhằm bảo đảm tính chi tiết trong thu thập dữ liệu và phục vụ quản lý ở cấp cơ sở. Với tính chuẩn hóa xuyên quốc gia, NUTS kết hợp với LAUs trở thành khung phân cấp thống nhất để thu thập và so sánh dữ liệu, xây dựng chính sách phát triển vùng và phân bổ Quỹ liên kết (Cohesion fund - công cụ tài chính của EU), qua đó đóng vai trò nền tảng trong quản trị lãnh thổ của EU.



Hình 2. Hệ thống phân cấp lãnh thổ NUTS của EU

2.2. Chỉ số mức độ đô thị hóa - DEGURBA (Degree of Urbanisation)

DEGURBA là hệ thống phân loại không gian do Cơ quan thống kê liên minh châu Âu (Eurostat) phát triển nhằm thống nhất cách xác định mức độ đô thị hóa giữa các quốc gia EU. Phương pháp này dựa trên lưới ô vuông 1 km² và phân loại lãnh thổ thành ba nhóm: thành phố (cities), thị trấn và vùng ven đô (towns and suburbs), và nông thôn (rural areas). Nhờ dựa vào mật độ và sự phân bố dân cư thay vì ranh giới hành chính, DEGURBA phản ánh khách quan hơn cấu trúc không gian, đồng thời tạo cơ sở cho so sánh quốc tế, xây dựng chính sách phát triển vùng và theo dõi tiến trình đô thị hóa - nông thôn hóa trong toàn EU.



Hình 3. Phân bố không gian đô thị - nông thôn theo DEGURBA, tỉnh Pavia, Italia (chỉ số mức độ đô thị hóa - DEGURBA Index)

2.3. Khu vực đô thị chức năng - FUA (Functional Urban Area)

FUA (Functional urban area) là khái niệm do OECD và Ủy ban châu Âu (EC) xây dựng năm 2011 nhằm đo lường đô thị theo chức năng thực tế thay vì địa giới hành chính. Một FUA bao gồm: (i) **lõi đô thị (urban core)** - cụm dân cư có tối thiểu 50.000 người với mật độ ≥ 1.500 người/km²; và (ii) **vùng đi lại (commuting zone)** - khu vực có ít nhất 15% lực lượng lao động di chuyển vào lõi đô thị để làm việc. Nhờ kết hợp không gian cư trú, lao động và dịch vụ, FUA phản ánh đô thị theo đúng chức năng thực tế, vượt qua giới hạn hành chính, trở thành công cụ quan trọng cho hoạch định chính sách về giao thông, môi trường, nhà ở và phát triển vùng. Đây cũng là cơ sở so sánh xuyên quốc gia, khi nhiều đô thị lớn ở EU có phạm vi chức năng mở rộng vượt ra ngoài đơn vị hành chính truyền thống.

FUA chỉ chiếm khoảng 21% diện tích EU nhưng tập trung tới 62% dân số, cho thấy vai trò vượt trội trong phát triển kinh tế - xã hội của khu vực đô thị. Về phương diện chính sách, FUA cung cấp cơ sở để:

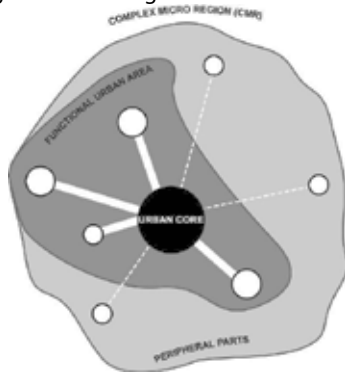
- So sánh đô thị giữa các quốc gia theo chuẩn quốc tế.
- Quy hoạch vùng đô thị mở rộng và tăng cường liên kết vùng.
- Hạn chế tình trạng quy hoạch manh mún theo đơn vị hành chính nhỏ lẻ.

Lõi đô thị (Urban Core): khu vực tập trung dân cư, kinh tế, dịch vụ với mật độ cao.

Vùng đô thị chức năng - FUA (Functional urban area): bao gồm lõi đô thị và các khu vực xung quanh có quan hệ mật thiết với lõi đô thị về kinh tế, y tế, lao động, dịch vụ, giao thông.

Vùng ngoại vi (Peripheral parts): các khu vực ở rìa, mật độ thấp hơn nhưng vẫn chịu ảnh hưởng và kết nối với vùng lõi qua hệ thống giao thông, việc làm, dịch vụ.

Vùng vi mô phức hợp - CMR (Complex micro region): phạm vi rộng nhất, bao gồm toàn bộ các thành phần trên, phản ánh mối liên kết không gian - chức năng.



Hình 4. Khu vực đô thị chức năng - FUA & Vùng vi mô phức hợp - CMR

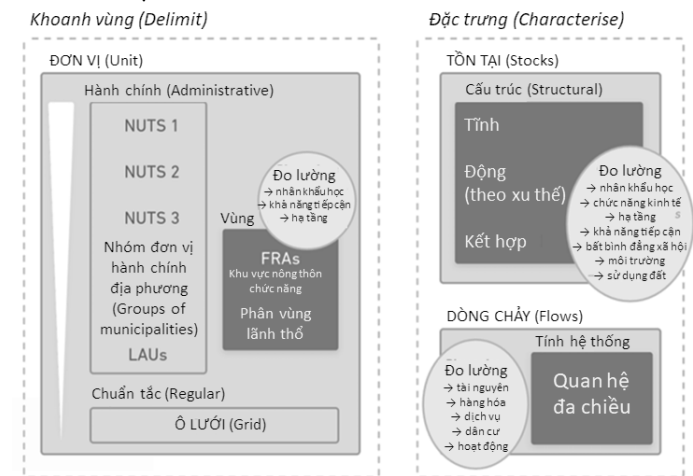
Sơ đồ minh họa cách tiếp cận theo bậc thang không gian đô thị, trong đó các lớp không gian được mở rộng dần từ trung tâm ra vùng ven. Đây là cơ sở khoa học quan trọng để quản lý mối **liên kết đô thị - nông thôn - vùng ven** trong quy hoạch phát triển tích hợp. Cấu trúc được thể hiện như sau: Từ lõi đô thị (**Urban core**) → Khu vực đô thị chức năng mở rộng (**FUA**) → Vùng vi mô phức hợp (**CMR**).

2.4. Khu vực nông thôn chức năng - FRA (Functional Rural Area)

FRA là khái niệm mới do Trung tâm nghiên cứu chung của Ủy ban châu Âu (JRC) đề xuất năm 2024, nhằm bổ sung cho FUA và lấp khoảng trống trong quản lý không gian nông thôn. Một FRA

được xác định qua hai thành tố: (i) **trung tâm nông thôn (rural centre)** - thường là thị trấn hoặc cụm dân cư cung cấp dịch vụ cơ bản cho khu vực xung quanh; và (ii) **vùng ảnh hưởng (catchment area)** - không gian mà cư dân phụ thuộc vào trung tâm để tiếp cận dịch vụ, việc làm hoặc các hoạt động kinh tế - xã hội.

Cách tiếp cận này cho phép nhận diện nông thôn không chỉ như phần "còn lại ngoài đô thị", mà như một không gian chức năng có vai trò độc lập trong phát triển vùng. FRA được kỳ vọng trở thành công cụ quan trọng cho chính sách nông thôn của EU sau năm 2027, đặc biệt trong phân bổ dịch vụ công, đầu tư hạ tầng, chuỗi cung ứng nông sản (logistics) và ứng phó với biến đổi nhân khẩu học.



Hình 5. Cách tiếp cận đa chiều trong phân loại lãnh thổ đô thị - nông thôn

kết hợp giữa khoanh vùng (delimit) và đặc trưng (characterise) - Nguồn EU

Việc khoanh vùng (Delimit - xác định đơn vị không gian) không chỉ dừng ở cấp hành chính, mà còn mở rộng sang đơn vị chức năng (FUA, FRA) và ô lưới dữ liệu, giúp nhận diện lãnh thổ linh hoạt và chuẩn hóa hơn. **Không gian lãnh thổ (Characterise -** xác định tính chất và động lực) không chỉ được đo bằng quy mô tĩnh (dân số, đất, hạ tầng) mà còn bởi dòng chảy động (di cư, giao thương, dịch vụ) và mối quan hệ đa chiều giữa các vùng.

• Phân loại lãnh thổ hiện đại không dừng ở ranh giới hành chính (NUTS/LAUs) mà kết hợp nhiều cách: ô lưới chuẩn hóa + đơn vị chức năng (FUA/FRA).

• Đặc trưng lãnh thổ phải đo lường cả **yếu tố tĩnh (stocks)** và **động (flows)**, từ dân số, kinh tế, dịch vụ, hạ tầng đến các dòng di chuyển và quan hệ liên vùng.

• Đây là nền tảng cho tiếp cận **chức năng - không gian** trong quản lý đô thị - nông thôn, thay thế dần mô hình hành chính truyền thống.

2.5. Hệ thống phân loại lãnh thổ của UN, OECD, Hoa Kỳ, Nhật Bản và Canada

Ngoài EU, nhiều tổ chức và quốc gia lớn cũng phát triển khung phân loại lãnh thổ nhằm phục vụ thống kê, quy hoạch và chính sách phát triển. Dù cách tiếp cận khác nhau, các hệ thống này đều hướng tới chuẩn hóa không gian đô thị - nông thôn dựa trên mật độ dân cư, luồng đi lại và chức năng kinh tế - xã hội.

• **Liên Hợp Quốc (UN):** sử dụng khung WUP (*World Urbanization Prospects*), chỉ đưa ra định nghĩa và khuyến nghị về "Đô thị" và "Nông thôn", để các quốc gia tự nguyện áp dụng. Hạn chế là chưa có hệ thống phân cấp chi tiết như EU và OECD.

- **OECD:** phát triển FUA (2011) và FRA (2024), nhấn mạnh tiếp cận chức năng - không gian, áp dụng cho cả thành viên và đối tác như Mỹ, Nhật Bản, Hàn Quốc, Canada, trở thành khung chuẩn hóa xuyên quốc gia ngoài EU.
- **Hoa Kỳ:** phân loại Khu vực thống kê đô thị lớn MSAs (*Metropolitan Statistical Areas*) ≥ 50.000 dân và Khu vực thống kê tiểu đô thị μSA (*Metropolitan Statistical Areas*) 10.000-50.000 dân, dựa trên di chuyển lao động, tương đồng với FUA.

Bảng 1. So sánh hệ thống phân loại đô thị - nông thôn quốc tế

HỆ THỐNG	CÔNG CỤ CHÍNH	TIÊU CHÍ CỐT LÕI
NUTS - DEGURBA - FUA - FRA Liên minh châu Âu EU (Eurostat, JRC)	- NUTS: phân cấp thống kê (tương đương Vùng - tỉnh - huyện trước đây) - DEGURBA: phân loại 3 mức (thành phố, thị trấn và khu ven đô/nông thôn) - FUA: Lõi đô thị ≥ 50.000 dân + Vùng di chuyển - FRA: Trung tâm nông thôn + Vùng ảnh hưởng	- Lưới 1 km ² (mật độ ≥ 1.500) - Luồng đi lại (≥ 15%) - Mật độ nông thôn < 150 (EU). - Hệ thống chi tiết, ràng buộc pháp lý, chuẩn hóa thống kê toàn EU
OECD Tổ chức hợp tác và phát triển KT gồm 38 quốc gia	- FUA Khu vực đô thị chức năng - FRA Khu vực nông thôn chức năng - Tương tự như FUA và FRA của EU	- Lõi đô thị ≥ 50.000 dân, mật độ ≥ 1.500 (châu Âu) hoặc ≥ 300 (châu Á) - Nông thôn < 150 (châu Âu) hoặc < 300 (châu Á)
MSA / μSA Hoa Kỳ (US Census, OMB)	- MSA - Khu vực thống kê đô thị lớn - μSA - Khu vực thống kê tiểu đô thị - Rất gần với FUA của EU/OECD	- MSA: ≥ 50.000 dân. - μSA: 10.000-50.000 dân. - Dựa trên luồng đi lại giữa các hạt (counties)
CMA / CA Canada	- CMA Khu vực đô thị theo điều tra dân số - CA Khu dân cư tập trung thống kê - Tương tự hệ thống Mỹ và FUA	- CMA: ≥ 100.000 dân - CA: ≥ 10.000 dân - Dựa trên dòng di chuyển ≥ 50%
DID Nhật Bản	- DID - Khu dân cư mật độ cao - Giống urban core trong DEGURBA	- Mật độ ≥ 4.000 người/km ² - Quy mô ≥ 5.000 dân
WUP Liên Hợp Quốc	- Báo cáo triển vọng đô thị hóa Toàn cầu (Khuyến nghị phân loại và áp dụng)	- Mỗi nước tự xác định tiêu chí (mật độ, dân số, hành chính)

Dù có sự khác biệt về tiêu chí và phạm vi áp dụng, các hệ thống phân loại lãnh thổ trên thế giới đều hội tụ ở xu hướng **nhận diện đô thị - nông thôn** dựa trên **chức năng** và **luồng di chuyển lao động**, thay vì chỉ dựa vào ranh giới hành chính. Đây là cơ sở quan trọng để Việt Nam tham khảo trong quá trình đổi mới, nhằm xây dựng một hệ thống phân loại vừa phù hợp với bối cảnh trong nước, vừa tiệm cận chuẩn mực quốc tế.

3. ĐỊNH HƯỚNG CHUYỂN ĐỔI HỆ THỐNG PHÂN LOẠI ĐÔ THỊ - NÔNG THÔN Ở VIỆT NAM

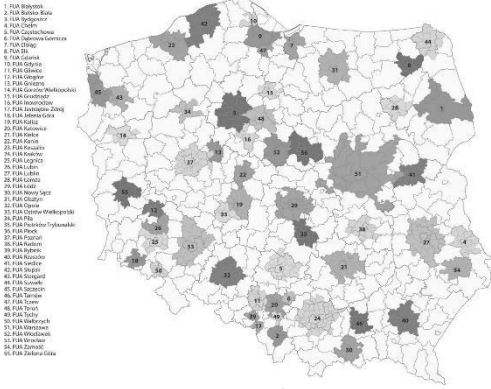
3.1. Khoảng trống thể chế và dữ liệu trong quản lý đô thị - nông thôn

Sơ với xu thế quốc tế, Việt Nam còn thiếu nhiều nền tảng quan trọng cho quản lý lãnh thổ, có thể nhận diện qua hai nhóm khoảng trống lớn:

- (i) **Thiếu dữ liệu và thống kê chuẩn hóa:** chưa có cơ sở dữ liệu dân số chi tiết theo ô lưới và luồng đi lại lao động; chưa hình thành khung thống kê lãnh thổ tương tự NUTS; dữ liệu quốc gia còn phân tán, thiếu tích hợp và chưa đáp ứng yêu cầu phân tích, giám sát theo thời gian thực.
 - (ii) **Thiếu công cụ quản lý liên kết đô thị - nông thôn:** chưa có cơ chế nhận diện và điều phối hiệu quả các mối liên kết chức năng, dẫn đến quy hoạch còn phân tán và thiếu tích hợp.
- Trong bối cảnh cải cách hành chính với mô hình chính quyền 2 cấp, các khoảng trống này càng bộc lộ rõ, cho thấy nhu cầu cấp thiết phải đổi mới theo tiếp cận chức năng - không gian. Trong khi EU/OECD đã hình thành các công cụ hiện đại như NUTS, DEGURBA, FUA và FRA, hệ thống phân loại của Việt Nam vẫn chưa theo kịp xu thế này. Đặc biệt, khi khái niệm “thành phố - đô thị” hành chính bị

- **Nhật Bản:** áp dụng chỉ số DID (*Densely Inhabited Districts*) với mật độ ≥ 4.000 người/km² và ≥ 5.000 dân, gần với khái niệm “lõi đô thị” DEGURBA.
- **Canada:** sử dụng CMAs (*Census Metropolitan Areas*) ≥ 100.000 dân và CAs (*Census Agglomerations*) ≥ 10.000 dân, dựa trên di chuyển, gần giống FUA.

thu hẹp, giới hạn nhưng thực tế không gian đô thị tiếp tục mở rộng, yêu cầu cải cách càng trở nên cấp bách.



Hình 6: Các khu vực đô thị chức năng (FUA) ở Ba Lan năm 2023. Warsaw (FUA 51) có phạm vi lan tỏa lớn nhất, kết nối vùng trung Ba Lan

Thay vì loại bỏ hệ thống phân loại đô thị hiện hành, Việt Nam cần tiếp tục duy trì và từng bước cải tiến nó như một khung pháp lý - quản lý trong nước. Đồng thời, cần chủ động xây dựng một khung tiếp cận dựa trên chức năng - không gian để phù hợp với chuẩn mực quốc tế. Kinh nghiệm quốc tế cho thấy quá trình áp dụng hệ thống như FUA, FRA thường kéo dài hàng thập kỷ, qua nhiều giai đoạn nghiên cứu, thử nghiệm và thể chế hóa. Với quyết tâm chuyển đổi số mạnh mẽ của Chính phủ, Việt Nam có thể thiết kế lộ trình triển khai theo ba giai đoạn: ngắn hạn (2025-2028), trung hạn (2028-2030) và dài hạn (sau 2030). Đây sẽ là bước đi chiến lược nhằm kiến tạo một hệ thống phân loại lãnh thổ hiện đại, vừa bảo đảm tính tương thích với thông lệ quốc tế, vừa đáp ứng yêu cầu phát triển bền vững và hội nhập toàn cầu.

3.2. Lộ trình cải cách từ khung hành chính sang chức năng - không gian

1) Giai đoạn 2025-2028

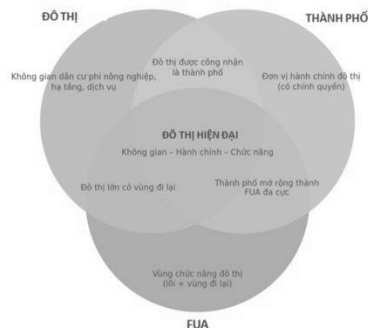
Trong giai đoạn đầu, trọng tâm là giữ ổn định thể chế, đồng thời chuẩn bị và thử nghiệm các công cụ quản lý không gian mới:

(i) Duy trì hệ thống phân chia đô thị 06 loại nhằm bảo đảm tính liên tục pháp lý, tránh xáo trộn thể chế và tạo cơ sở cho phân bổ nguồn lực, quản lý đầu tư, ngân sách cũng như phân quyền. Điều này giúp các địa phương có thời gian thích ứng dần với khung phân loại mới.

(ii) Điều chỉnh, bổ sung tiêu chí phân loại để phản ánh đúng thực trạng phát triển, đặc biệt là các chỉ số về mật độ dân cư thực tế và khả năng tiếp cận dịch vụ cơ bản. Đây là bước đệm quan trọng để gắn phân loại đô thị với chất lượng sống của cư dân và công bằng dịch vụ.

(iii) Thí điểm tiếp cận **chức năng - không gian**, thông qua mô hình FUA tại các cực đô thị tăng trưởng lớn và FRA ở những vùng nông thôn - sinh thái đặc thù. Các thí điểm này sẽ là “phòng thí nghiệm chính sách” cho giai đoạn sau 2030.

Giai đoạn 2025-2028 có thể xem là bước “ổn định - chuẩn bị - thử nghiệm”. Hệ thống phân cấp hiện hành, tiếp tục được duy trì nhằm bảo đảm tính ổn định pháp lý và sự liên tục trong quản trị. Đồng thời, đây cũng là thời kỳ chuẩn bị về dữ liệu, phương pháp luận và thể chế, thông qua việc bổ sung **bộ tiêu chí phân loại / bộ chỉ số (KPI) đánh giá đô thị bền vững**, thí điểm các khung chức năng - không gian (FUA, FRA), tạo tiền đề cho quá trình cải cách toàn diện ở giai đoạn sau.



Hình 7. Mối quan hệ giữa Đô thị - Thành phố - FUA trong quy hoạch Tỉnh

Bảng 2. Các cấp quy hoạch tích hợp trong hệ thống quy hoạch đô thị và nông thôn

CẤP QUY HOẠCH	NỘI DUNG	LIÊN HỆ VỚI NUTS, FUA VÀ FAR
1. Quy hoạch quốc gia (NUTS 1)	Định hướng phát triển tổng thể về kinh tế, xã hội, môi trường và không gian lãnh thổ.	NUTS: Cung cấp khung pháp lý cho phân bổ tài nguyên và ưu tiên phát triển các vùng (NUTS).
2. Quy hoạch vùng (NUTS 2)	Phân bổ tài nguyên, xác định các khu vực động lực phát triển từ quốc gia xuống các tỉnh, thành phố.	Quy hoạch quốc gia: Cụ thể hóa chiến lược quốc gia, hình thành nền tảng cho FUA và FRA.
3. Quy hoạch tỉnh (NUTS 3)	Xác định FUA và FRA, phân bổ các khu vực chức năng như công nghiệp, dịch vụ, nông nghiệp, ngoại vi đô thị.	NUTS: Áp dụng FUA và FRA để tạo ra các khu vực phát triển không bị giới hạn bởi ranh giới hành chính cứng nhắc.
4. Quy hoạch FUA Đô thị (chức năng - không gian)	Xác định các khu vực đô thị trung tâm, khu công nghiệp, nông thôn và khu vực sinh thái.	FRA: FUA và FRA là hai không gian chức năng độc lập, với FUA tập trung vào đô thị và FRA vào nông thôn.
5. Quy hoạch FRA Nông thôn (chức năng - không gian)	Xác định các chức năng của vùng nông thôn như công nghiệp, nông nghiệp, dịch vụ, văn hóa, giao thông – gắn với xây dựng nông thôn mới	FUA: Quy hoạch FRA phát triển độc lập với FUA, tuy nhiên có thể có sự tương tác giữa đô thị và nông thôn trong phát triển.
6. Quy hoạch chi tiết LAUs	Cụ thể hóa các dự án hạ tầng, nhà ở, công trình công cộng cho FUA và FRA.	FUA và FRA: Quy hoạch chi tiết (LAUs) là bước cụ thể hóa các chiến lược phát triển từ FUA và FRA thành các dự án thực tế.

Giai đoạn 2028-2030 được coi là giai đoạn bản lề, đóng vai trò “bước chuyển” từ mô hình quản lý hành chính truyền thống sang mô hình dựa trên **chức năng - không gian**. Đây là thời kỳ “song hành hai khung”: vừa củng cố nền tảng pháp lý hiện có, vừa xây

Hình minh họa thể hiện mối quan hệ giữa ba khái niệm: **Đô thị** (gắn với không gian - xã hội), **Thành phố** (gắn với địa vị hành chính - pháp lý), và **FUA** - khái niệm về chức năng kinh tế vùng. Một đô thị hiện đại cần hội tụ đầy đủ cả ba yếu tố: vừa là **không gian đô thị**, vừa có **địa vị hành chính**, và đồng thời vận hành theo **chức năng vùng đô thị**.

2) Giai đoạn 2028-2030

Trong giai đoạn này, định hướng là vừa duy trì ổn định pháp lý, vừa chuyển dần theo hướng chức năng - không gian thông qua hai nhóm nhiệm vụ chính:

(i) Xây dựng song song hai khung phân loại:

- Khung phân loại truyền thống tiếp tục duy trì để phục vụ các mục đích pháp lý, quản trị hành chính, phân bổ ngân sách và ra quyết định chính sách.

- Khung chức năng (FUA, FRA, DEGURBA) được phát triển nhằm phục vụ quy hoạch, thống kê, nghiên cứu chính sách và so sánh quốc tế, bảo đảm tương thích với chuẩn OECD/EU, UN DESA và các khung toàn cầu.

(ii) Tích hợp dần FUA/FRA vào pháp luật và quy hoạch:

- Quy định rõ tiêu chí xác định ranh giới FUA/FRA.

- Xây dựng cơ chế quản trị liên kết đa địa phương trong phạm vi FUA/FRA.

- Lồng ghép FUA/FRA vào quy hoạch tích hợp cấp tỉnh và vùng để bảo đảm tính kết nối và đồng bộ.

(iii) Các cấp Quy hoạch tích hợp áp dụng theo hệ thống NUTS, FUA, FRA và LAUs

Trong hệ thống EU, NUTS được chia thành 3 cấp. Nếu đối chiếu sang Việt Nam, có thể xem NUTS1 tương ứng với cấp Quốc gia, NUTS2 với cấp Vùng, và NUTS3 với cấp Tỉnh. Dưới cấp Tỉnh sẽ được bao phủ bởi các khung FUA (từ các Khu vực đô thị chức năng) và FRA (từ các Khu vực nông thôn chức năng).

dựng cơ sở dữ liệu, phương pháp luận và hành lang pháp lý, đồng thời từng bước thể chế hóa các công cụ mới như FUA và FRA, tạo tiền đề cho quá trình chuyển đổi toàn diện sau năm 2030.

3) Giai đoạn sau 2030

Mục tiêu chiến lược sau năm 2030 là thay thế hoàn toàn hệ thống phân loại hiện hành bằng **khung quản lý chức năng - không gian**, phù hợp theo chuẩn quốc tế và yêu cầu phát triển bền vững.

(i) Hoàn toàn thay thế hệ thống phân cấp đô thị bằng mô hình quản lý dựa trên ba lớp: Lõi đô thị (Urban Core), Khu vực đô thị chức năng FUA (Functional urban areas) và Khu vực nông thôn chức năng FRA (Functional rural areas).

(ii) Xây dựng hệ thống thống kê lãnh thổ chuẩn quốc tế, tương tự NUTS của EU với ba cấp: vùng - tỉnh - xã/phường (hoặc liên xã). Hệ thống này bảo đảm tính so sánh quốc tế, hỗ trợ hội nhập kinh

tế - chính trị toàn cầu, đồng thời nâng cao năng lực giám sát và đánh giá chính sách.

(iii) Triển khai quy hoạch tích hợp theo khung chức năng:

• Ở cấp FUA: tập trung vào giao thông công cộng, nhà ở, môi trường và dịch vụ đô thị để phát triển bền vững vùng đô thị mở rộng.

• Ở cấp FRA: tổ chức mạng lưới nông thôn, phân phối (logistics) và dịch vụ công cơ bản (y tế, giáo dục, hạ tầng số), gắn với đô thị hạt nhân và thích ứng với biến đổi khí hậu.

Bảng 3. Lộ trình cải cách hệ thống phân loại đô thị - nông thôn ở Việt Nam

2025-2028 Ổn định - chuẩn bị thử nghiệm	2028-2030 Bước chuyển sang chức năng - không gian	Sau 2030 Cải cách toàn diện & hội nhập quốc tế
- Duy trì khung phân cấp hiện hành để ổn định pháp lý - Bổ sung chỉ số mới: mật độ thực, tiếp cận dịch vụ - Thí điểm FUA tại cực tăng trưởng, FRA ở vùng nông thôn - sinh thái. - Rà soát các Quy hoạch phân khu và chi tiết theo LAUs	- Duy trì song song 2 khung: Phân loại (pháp lý) & FUA/FRA + DEGURBA (chức năng hành chính - không gian) - Thể chế hóa FUA/FRA vào Luật & và Văn bản pháp luật về quản lý đô thị và nông thôn - Cơ chế liên kết đa địa phương trong FUA/FRA (trong tỉnh và có thể liên tỉnh, liên xã)	- Thay thế hoàn toàn khung phân cấp đô thị 6 loại bằng hệ thống Urban Core của các FUA/FRA - Xây dựng thống kê lãnh thổ và quy hoạch vùng - tỉnh - xã/phường (tương tự NUTS-FUA/FRA-LAUs) - Quy hoạch tích hợp: • FUA: đô thị - giao thông, nhà ở, môi trường, dịch vụ • FRA: nông thôn - logistics nông nghiệp dịch vụ công, biến đổi khí hậu

Như vậy, giai đoạn sau 2030 được xác định là bước **“cải cách toàn diện và hội nhập quốc tế”**, khi Việt Nam hoàn tất quá trình chuyển đổi từ quản lý theo địa giới hành chính sang **quản lý theo chức năng - không gian**, đặt nền tảng cho một hệ thống đô thị - nông thôn hiện đại, linh hoạt và có sức cạnh tranh toàn cầu.



Hình 7. Tiếp cận chức năng - không gian FUA/FRA gắn với bối cảnh Việt Nam

4. KẾT LUẬN

Trong nhiều thập kỷ, quản lý đô thị - nông thôn dựa trên địa giới hành chính đã đóng vai trò quan trọng trong ổn định thể chế và phân bổ nguồn lực quốc gia. Tuy nhiên, trước bối cảnh đô thị hóa nhanh, liên kết vùng ngày càng phức tạp và đặc biệt là cải cách hành chính đưa Việt Nam vào mô hình chính quyền hai cấp, cách tiếp cận này bộc lộ nhiều hạn chế.

Kinh nghiệm quốc tế, điển hình là EU và OECD, cho thấy xu thế tất yếu là chuyển từ quản lý theo địa giới hành chính sang quản lý theo không gian - chức năng. Các công cụ như NUTS, DEGURBA, FUA, FRA phản ánh chính xác hơn thực tế phân bố dân cư, lao động, dịch vụ, đồng thời tạo khung chuẩn hóa để so sánh, đánh giá và hoạch định chính sách xuyên quốc gia.

Để từng bước chuyển đổi, Việt Nam cần triển khai lộ trình hợp lý:

1. Ngắn hạn: Giữ hệ thống phân chia đô thị 06 loại, đồng thời cải tiến tiêu chí theo hướng gắn với mật độ thực và khả năng tiếp cận dịch vụ.

2. Trung hạn: Thí điểm và thể chế hóa cách tiếp cận chức năng - không gian (FUA/FRA), từng bước lồng ghép vào Luật Quy hoạch đô thị và nông thôn.

3. Dài hạn: Xây dựng hệ thống thống kê lãnh thổ chuẩn hóa cấp quốc gia, vùng, tỉnh, xã/phường tương thích quốc tế (NUTS), gắn với khu vực đô thị (FUA), khu vực nông thôn (FRA) với phân khu và chi tiết (LAUs)

4. Xuyên suốt: Đầu tư hạ tầng dữ liệu số, hoàn thiện cơ sở dữ liệu tích hợp và nâng cao năng lực phân tích không gian, điều kiện tiên quyết để quản lý hiện đại và minh bạch.

Cách tiếp cận **không gian - chức năng** không chỉ là xu thế toàn cầu, mà còn là nền tảng cho quản lý lãnh thổ ở Việt Nam trong giai đoạn mới. Hệ thống phân loại dựa trên FUA và FRA sẽ khắc phục những hạn chế của khung hành chính - pháp lý hiện hành, tạo điều kiện xây dựng mô hình phát triển toàn diện, khoa học, bền vững và hội nhập quốc tế.

Đồng thời, cách tiếp cận này còn góp phần bảo đảm phân bổ ngân sách công bằng, nâng cao hiệu quả quản lý tài nguyên, hỗ trợ thực hiện cam kết “Net zero 2050” và tăng cường năng lực ứng phó với biến đổi khí hậu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Nguyễn Vũ Phương, tapchixaydung.vn (7/2025); Đổi mới phân loại đô thị sau cải cách hành chính: Đề xuất khung tiêu chí Xanh - Thông minh - Bền vững
[2]. Nguyễn Vũ Phương, Tạp chí Xây dựng (8/2025); Tích hợp quy hoạch đô thị bền vững gắn với cải cách chính quyền hai cấp ở Việt Nam.
[3]. Học viện ACST (7/2025); Tài liệu đào tạo - Tăng cường thể chế và nâng cao năng lực cho phát triển đô thị Việt Nam (Dự án ISCB).
[4]. UN-Habitat (2023), Our City Plan - In Action.
[5]. Spatial-Temporal Modelling of Disease Risk Accounting for PM2.5 Exposure in the Province of Pavia: An Area of the Po Valley
[6]. https://www.ruralgranular.eu/news/towards-a-definition-of-functional-rural-areas/?utm_source
[7]. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/nuts>
[8]. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Degree_of_urbanisation
[9]. <https://www.oecd.org/en/data/datasets/oecd-definition-of-cities-and-functional-urban-areas.html>

Kinh nghiệm quốc tế và bài học cho TP Đà Nẵng trong tổ chức không gian công cộng hấp dẫn du lịch

International experiences and lessons for Da nang in planning appealing public spaces for tourism

> THS TRƯƠNG THỊ HUYỀN ANH¹, PGS.TS NGUYỄN NAM²

¹NCS Đại học Sư phạm Kỹ thuật - Đại học Đà Nẵng

²Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

TÓM TẮT

Trong bối cảnh phát triển đô thị gắn liền với mục tiêu nâng cao giá trị văn hóa và phát triển du lịch, không gian công cộng (KGCC) ngày càng được xem là một thành tố chiến lược trong quy hoạch kiến trúc đô thị. Bài báo tập trung nghiên cứu các kinh nghiệm quốc tế trong tổ chức KGCC có khả năng thu hút các hoạt động văn hóa - nghệ thuật và thúc đẩy phát triển du lịch bền vững, thông qua phân tích các mô hình tiêu biểu như Superkilen (Copenhagen), High Line (New York), Federation Square (Melbourne) và các dự án tại Milan.

Từ các mô hình tham chiếu, bài báo đề xuất định hướng tổ chức KGCC theo hướng đa chức năng, mở, linh hoạt và kết nối tuyến tính; tăng cường các yếu tố bản sắc văn hóa - nghệ thuật trong thiết kế kiến trúc cảnh quan; đồng thời khuyến nghị áp dụng các nguyên lý thiết kế đô thị hiện đại như placemaking, quy hoạch dựa trên sự tham gia cộng đồng. Qua đó, KGCC được xác định như nền tảng quan trọng thúc đẩy phát triển du lịch văn hóa bền vững tại Đà Nẵng. Nói cách khác, bài báo làm rõ mối quan hệ giữa KGCC với các hoạt động văn hóa chính là nền tảng cho sự phát triển du lịch văn hóa của đô thị.

Từ khóa: Không gian công cộng, du lịch văn hóa, tổ chức không gian, kiến trúc cảnh quan, Đà Nẵng.

ABSTRACT

In the context of urban development oriented towards enhancing cultural and tourism values, public space is increasingly considered a strategic component in architectural and spatial planning. This paper investigates international experiences in organizing public spaces that successfully attract cultural and artistic activities while promoting sustainable urban tourism. Case studies analyzed include Superkilen (Copenhagen), the High Line (New York), Federation Square (Melbourne), and Singapore's green corridor network.

The paper examines the current state of public space systems in Da Nang, with a particular focus on waterfront areas, urban parks, and central squares. Findings indicate that although the city possesses significant landscape potential, the existing public spaces lack spatial coherence, cultural expression, and multifunctional connectivity required to serve cultural tourism effectively.

Drawing from international models, the paper proposes a set of spatial planning and architectural strategies, including the development of multifunctional and flexible public spaces, the integration of local cultural-artistic elements into landscape design, and the application of modern urban design principles such as placemaking, tactical urbanism, and community-based planning. These strategies aim to position public space as a foundational platform for promoting sustainable cultural tourism in Da Nang. In other words, the article clarifies that the relationship between urban tourism and cultural activities is the foundation for the development of urban cultural tourism.

Keywords: Public space, cultural tourism, spatial planning, landscape architecture, Da Nang, international practices.

MỞ ĐẦU

Trong bối cảnh đô thị hóa gia tăng, vai trò của các không gian văn hóa công cộng trong quy hoạch đô thị ngày càng được đề cao. Trong thực tiễn phát triển đô thị, các nhà quy hoạch đã sử dụng văn

hóa, nghệ thuật như những công cụ quan trọng đem lại các giá trị tinh thần, sinh khí và hình thức mới cho đô thị. UNESCO cũng ghi nhận rằng các không gian công cộng văn hóa “cung cấp nhiều cơ hội để mọi người cùng tiếp cận, tham gia và chia sẻ lợi ích” [12] làm

nổi bật tiềm năng của văn hóa trong thúc đẩy tính bao trùm và bền vững xã hội đô thị. Trên cơ sở đó, nghiên cứu kinh nghiệm quốc tế về tổ chức không gian văn hóa, nghệ thuật công cộng trở nên cấp thiết nhằm nâng cao năng lực quy hoạch và phát triển du lịch văn hóa tại Đà Nẵng. Các cuộc tranh luận hiện nay về thiết kế đô thị luôn nhấn mạnh phương pháp tiếp cận đa ngành, tích hợp các quan điểm không gian, nhận thức và trải nghiệm.

KGCC được xem là có đặc tính “định hình suy nghĩ, hành vi và tương tác xã hội, KGCC - chẳng hạn như quảng trường, công viên và nơi tụ họp - trở thành những phòng thí nghiệm thực sự cho trải nghiệm và hạnh phúc của con người” phản ánh lịch sử và bản sắc văn hóa cộng đồng”. Ngoài ra, nhiều nghiên cứu còn nhấn mạnh tầm quan trọng của sự hình thành KGCC trong sự hợp tác liên ngành, kết hợp những hiểu biết sâu sắc từ kiến trúc, khoa học thần kinh và tâm lý môi trường để thiết kế những không gian thúc đẩy hạnh phúc, khuyến khích sự tham gia và ảnh hưởng tích cực đến hành vi [7].

Kinh nghiệm các thành phố châu Âu như Barcelona và Copenhagen cho thấy cần thiết lập ngay từ đầu một “khung chiến lược” cho các KGCC trong quy hoạch tổng thể [14]. Điều này nhấn mạnh rằng tổ chức không gian văn hóa và nghệ thuật công cộng cần được tính đến để không chỉ nâng cao chất lượng cảnh quan đô thị mà còn phục vụ nhu cầu văn hóa, nghệ thuật của cộng đồng và du khách. Không gian văn hóa, nghệ thuật công cộng còn là động lực quan trọng thu hút du lịch và phát triển kinh tế địa phương. KGCC khi được tích hợp các giá trị văn hóa khi tổ chức phù hợp có thể tạo thêm trải nghiệm cho du khách và gia tăng sức hấp dẫn cho điểm đến.

Đà Nẵng hiện nay chủ yếu phát triển du lịch vào mùa hè, trong khi mùa đông rất hạn chế; vì vậy, thành phố cần đa dạng hóa các loại hình văn hóa và dịch vụ để không phụ thuộc vào yếu tố thời tiết. Do đó, xây dựng không gian công cộng tích hợp các giá trị văn hóa, nghệ thuật giàu bản sắc địa phương sẽ gia tăng tính hấp dẫn và mang đến những trải nghiệm đa dạng, phù hợp với nhu cầu cộng đồng. Đây là vấn đề cấp thiết để nâng cao chất lượng du lịch quanh năm.

Nghiên cứu này tổng hợp kinh nghiệm quốc tế về tổ chức không gian tích hợp các giá trị văn hóa và nghệ thuật công cộng, qua đó đề xuất một số gợi ý áp dụng cho đô thị Đà Nẵng.

1. MỘT SỐ LÝ LUẬN VỀ KGCC VÀ MỐI QUAN HỆ GIỮA KHÔNG GIAN VỚI HÀNH VI

KGCC tích hợp các giá trị văn hóa - nghệ thuật là sự phát triển nâng cao của KGCC. Trước đây, vai trò của KGCC là thành tố quan trọng trong cấu trúc đô thị, vừa phục vụ nhu cầu sinh hoạt, tiếp xúc, gặp gỡ cộng đồng. Trong bối cảnh này, KGCC được hiểu là những “không gian mở, nơi tất cả mọi người có thể tiếp cận dễ dàng một cách miễn phí” và đóng vai trò như cơ sở quan trọng cho cảnh quan đô thị. Trong quá trình phát triển, người ta nhận thấy không gian mở công cộng không chỉ đơn giản như khái niệm nêu trên như một không gian vật lý, mà nó còn mang theo một giá trị tinh thần phản ánh lịch sử cùng sự đa dạng văn hóa của xã hội đô thị.

Đặc biệt, khi KGCC được tích hợp các giá trị văn hóa - nghệ thuật công cộng thì nó trở thành hạ tầng tiện ích đô thị phục vụ giao lưu văn hóa, sinh hoạt cộng đồng, vừa là thành phần kiến trúc mang bản sắc đặc trưng, giúp cộng đồng chia sẻ và sáng tạo các giá trị văn hóa tinh thần và vật chất. Theo UNESCO, những không gian gắn kết với yếu tố văn hóa, nghệ thuật sẽ cung cấp nhiều cơ hội cho mọi người tham gia, đóng góp và cùng hưởng lợi từ đó [12].

Ngày nay, xu hướng phát triển du lịch văn hóa diễn ra tại nhiều đô thị thế giới. Đây là loại hình du lịch dựa trên tài nguyên văn hóa địa phương đáp ứng nhu cầu tìm hiểu và khám phá của du khách.

Việc tập trung các cơ sở văn hóa liên kế nhau tạo ra hiệu ứng cộng sinh, thúc đẩy phát triển kinh tế - xã hội chung nhiều hơn so với khi chúng nằm rải rác [13]. Tuy nhiên, quy mô và phân bố không gian cần cân đối với nhu cầu địa phương. UNESCO cũng nhấn mạnh rằng số lượng, chất lượng, khả năng tiếp cận và kết nối của các KGCC là các tiêu chí then chốt cho sức khỏe cộng đồng và phát triển đô thị bền vững [9].

Vai trò của KGCC trong phát triển du lịch văn hóa là không thể phủ nhận. Một số lý thuyết đã làm rõ những nhận định nêu trên.

- Lý thuyết Kinh tế Trải nghiệm (Experience Economy) của Pine & Gilmore (1999) [6]. Trong tác phẩm này, hai nhà nghiên cứu cho rằng “Trải nghiệm là một dạng sản phẩm kinh tế riêng biệt, vượt lên trên hàng hóa và dịch vụ”. Đó là một chuỗi tiến hóa về kinh tế từ nông sản đến hàng hóa, tới dịch vụ và cuối cùng là trải nghiệm. Triết lý cốt lõi là khách hàng sẵn sàng trả giá cao hơn cho những trải nghiệm đáng nhớ, cá nhân hóa. Áp dụng trong du lịch là một bước tiến, trong đó thay vì bán dịch vụ sẽ là bán “kỷ ức”. Trải nghiệm được coi là cấp độ kinh tế cao hơn hàng hóa và dịch vụ, khách hàng sẵn sàng chi trả nhiều hơn cho những trải nghiệm đáng nhớ và cá nhân hóa. Trong du lịch, KGCC đóng vai trò như “sân khấu”, nơi hoạt động văn hóa - nghệ thuật trở thành “vở diễn” để cộng đồng và du khách tham gia thụ hưởng. Điều này giúp tạo giá trị kinh tế lâu dài và hấp dẫn hơn so với dịch vụ thông thường [6].

- Lý thuyết thành phố phải được thiết kế cho **con người**. Kiến trúc sư, nhà quy hoạch đô thị Jan Gehl trong nghiên cứu của mình đã đưa ra các tiêu chí đánh giá KGCC thu hút du lịch như sau: dễ dàng tiếp cận (giao thông đi bộ, công cộng); sức hút từ các hoạt động thông qua các hoạt động nghệ thuật, văn hóa đa dạng; có điểm nhấn kiến trúc như tượng đài, tranh tường...; có bản sắc văn hóa thông qua đặc trưng địa phương như biểu tượng, vật liệu, lịch sử; có không gian lịch sử (câu chuyện lịch sử); tính tương tác giữa người dân với du khách; cơ sở vật chất tiện nghi sử dụng và môi trường (ghế ngồi, chòi che nắng, Wifi...) [10]. Nhiều lý luận về KGCC đã làm rõ vai trò không chỉ của không gian mở trong gắn kết cộng đồng mà còn là một vai trò quan trọng khác trong thu hút khách du lịch, tạo ra giá trị mới cho các không gian bị bỏ hoang.

- Lý thuyết thiết kế KGCC và gắn kết xã hội - Public Space Design and Social Cohesion: An International Comparison (Patricia Aelbrecht & Quentin Stevens, 2019)[1] - đặt lại câu hỏi: “Không gian công cộng có thực sự tạo ra gắn kết xã hội không? Nếu có, thì bằng cách nào?”. Tác giả phê phán giả định phổ biến về “không gian công cộng tự động tạo gắn kết xã hội”. KGCC không tự động tạo ra gắn kết xã hội mà phụ thuộc vào cách thiết kế và quản lý. Các yếu tố như tính linh hoạt, khả năng tiếp cận, sự đa dạng nhóm cộng đồng và cơ chế quản lý có sự tham gia đều quyết định mức độ gắn kết. Nếu chỉ có “vỏ cứng” vật lý mà thiếu hoạt động văn hóa - xã hội “mềm”, KGCC sẽ kém hấp dẫn. Sức hút của không gian bắt đầu từ sự đa dạng và linh hoạt trong trải nghiệm cộng đồng.

- Lý thuyết đô thị mới “new urbanism” được thể hiện qua cuốn sách “The Death and Life of Great American Cities” (1961) [4] của Jane Jacobs là một lý thuyết phê phán các mô hình quy hoạch hiện đại trong giai đoạn đó ưu tiên ô tô và các chức năng tách biệt, tạo ra cuộc sống đô thị kém sôi động. Bà nhấn mạnh thành phố phải được thiết kế từ nhu cầu thực của người dân, với quy mô vừa phải, mạng lưới đường phố dày đặc, sử dụng đất đa chức năng và nhiều không gian mở để tăng giao tiếp xã hội. Quan điểm này đặt nền móng cho đô thị nhân văn, coi KGCC là “sân khấu” cho hoạt động văn hóa, từ đó thúc đẩy du lịch đô thị.

- Lý luận về thiết kế đô thị và hành vi của con người được thể hiện trong cuốn sách Life Between Buildings: Using Public Space - cuộc sống giữa các công trình, sử dụng KGCC của Jan Gehl (xuất bản

1987) [2]. Gehl nghiên cứu cách thiết kế đô thị ảnh hưởng đến hành vi xã hội, từ việc đi bộ, dừng lại, trò chuyện đến vui chơi. Ông đề xuất xây dựng không gian đô thị lấy con người làm trung tâm, thân thiện và hấp dẫn, để các hoạt động xã hội diễn ra tự nhiên và an toàn. Lý thuyết này tạo nền tảng cho phát triển các hoạt động văn hóa cộng đồng, góp phần thúc đẩy du lịch văn hóa tại không gian mở đô thị.

- Lý thuyết “không gian thứ 3” trong cuốn sách The Great Good Place: Coffee Shops, Bookstores, Bars, Hair Salons, and Other của Ray

Oldenburg (xuất bản 1989) [5] : Bên cạnh nhà (không gian thứ nhất) và nơi làm việc (không gian thứ hai), “không gian thứ ba” như quán cà phê, chợ phiên, phố đi bộ... giữ vai trò quan trọng trong đời sống xã hội đô thị. Đây là nơi nuôi dưỡng bản sắc văn hóa, gắn kết cộng đồng và tạo sức hút tự nhiên cho du khách. Những không gian nhỏ nhưng gắn gũi này trở thành “sân khấu đời sống” đặc trưng, góp phần nâng cao trải nghiệm và thúc đẩy du lịch bền vững.

Bảng 1. Bảng tổng hợp một số quan điểm lý luận KGCC và hành vi

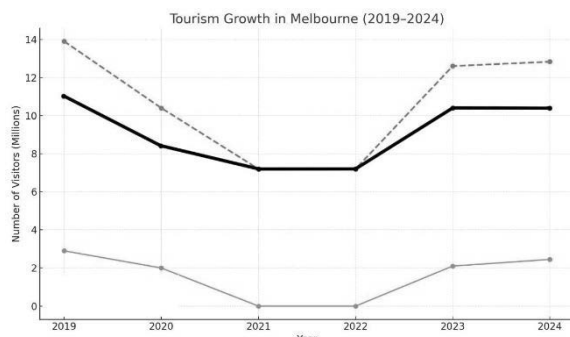
ĐẶC ĐIỂM	JACOBS	GEHL	OLDENBURG	AELBRECHT
LÝ LUẬN	Tính sống động và đa dạng chức năng của đô thị	Tương tác hành vi con người - KGCC	Không gian phi chính thức - đặc trưng văn hóa, nơi gắn kết cộng đồng	KGCC - môi trường văn hóa thúc đẩy kết nối xã hội
KGCC	Đa dạng, nhộn nhịp, gắn kết nhiều hoạt động	Không gian hỗ trợ hành vi sử dụng linh hoạt	Không gian nhỏ, thân thiện, dễ tiếp cận	Không gian linh hoạt, công bằng, tạo cảm giác thuộc về
HÀNH VI XÃ HỘI	Tương tác tạo ra an ninh và tính “giám sát đường phố”	Không gian khuyến khích quan sát - gặp gỡ - tìm hiểu, khám phá	Không gian văn hóa đặc trưng khơi tạo quan hệ cộng đồng	Thiết kế tác động đến mức độ gắn kết xã hội
QUY HOẠCH-KIẾN TRÚC	Phân đối phân khu chức năng cứng nhắc	Thiết kế tỉ lệ với con người, không	Khuyến khích mô hình không gian nhỏ - phi chính thức	Đề xuất khung đánh giá xã hội cho thiết kế KGCC
VAI TRÒ CỦA DU KHÁCH	Du khách là một phần mạng lưới đa dạng	Hành vi quan sát, tìm hiểu, khám phá tương tác là phổ biến	Không gian gắn gũi, thân thiện, an toàn cho mọi tầng lớp và du khách	Nhấn mạnh hòa nhập: du khách & cộng đồng địa phương cùng tương tác

Tóm lại, các quan điểm lý luận nêu trên đều cho thấy sự sống động và đa dạng chức năng mới là điều kiện tiên quyết tạo nên một không gian công cộng bền vững, gắn kết và tương tác giữa con người với nhau và với không gian. Khi không gian có cộng đồng vui vẻ, hạnh phúc thì sẽ tạo ra chất xúc tác hấp dẫn du khách tới cùng trải nghiệm.

2. KINH NGHIỆM QUỐC TẾ

Thành phố Melbourne, Australia-Úc

Được mệnh danh là “Thủ đô văn hóa” của Úc, Melbourne nổi bật với nghệ thuật đường phố và các lễ hội quốc tế (như Arts Festival, White Night). Chính sách khuyến khích nghệ thuật đã giúp thành phố hồi phục nhanh sau đại dịch và thu hút mạnh mẽ khách du lịch. Nhờ vậy, kinh tế du lịch của Melbourne đã dần khắc phục được giai đoạn suy thoái và phục hồi tăng trưởng nhanh trong 5 năm trở lại đây (2019-2024).



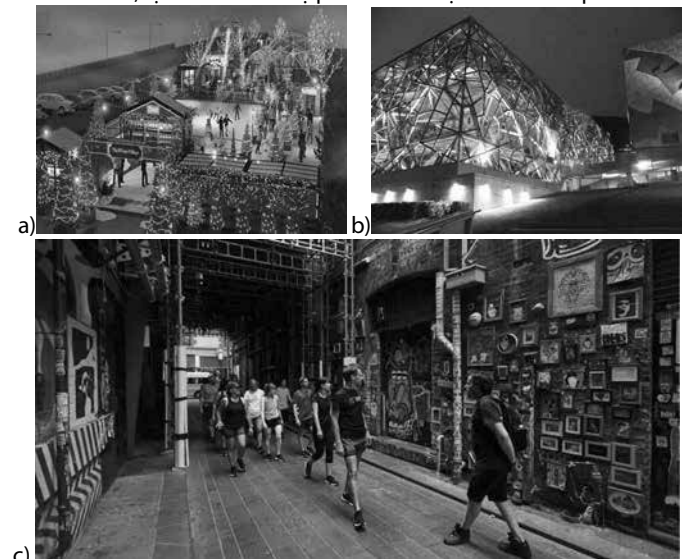
Sơ đồ 1. Số lượt khách du lịch quốc tế đến Melbourne (2019-2024)

(Nguồn <https://www.ra.gov.au/en/international/international-tourism>)

Trong đó khách du lịch nội địa (đường đen): phục hồi mạnh từ 2022 và gần chạm lại mức trước đại dịch. Khách quốc tế (đường màu

xám): suy giảm mạnh vào 2021-2022 và tăng trở lại sau năm 2023. Tổng số khách (đường đứt): cho thấy xu hướng phục hồi tổng thể và vượt nhẹ mốc 2019 vào năm 2024 [11].

Các KGCC như Hoiser Lane, Federation Square, Royal Botanic Gardens... được tổ chức đa dạng: đường phố nghệ thuật, công viên, quảng trường, không gian ven sông. Nghệ thuật hiện hữu ở khắp nơi trong không gian của Melbourne, tạo ra sức hút không nhầm lẫn đối với du khách, tạo tiền đề cho sự phát triển du lịch của thành phố.



Hình 1. Quảng trường Federation, nơi tập trung đa dạng các loại hình nghệ thuật và trải nghiệm văn hóa tại Melbourne, Australia a) Khu vực làng tuyết ; b) Công trình kiến trúc độc đáo trên quảng trường; c) Hẻm nghệ thuật

(Nguồn <https://bgg.edu.vn/top> và <https://www.pelago.com/vi/activity/pq9vu-melbourne-street-art-cbd-tour-melbourne/>).

Công viên High Line - New York, Hoa Kỳ

High Line là một ví dụ điển hình về việc chuyển hóa hạ tầng công nghiệp cũ thành KGCC phục vụ nghệ thuật đương đại và giao lưu cộng đồng. Tuyến đường sắt trên cao bỏ hoang được cải tạo thành công viên đi bộ dài 2,4 km, kết hợp cây xanh, tác phẩm nghệ thuật, sân khấu biểu diễn ngoài trời và không gian nghỉ chân.



Hình 2. Công viên trên cao High line - New York

(Nguồn <https://architizer.com/blog/inspiration/stories/evolution-of-the-high-line-nyc/>)

Triết lý Thiết kế: "Tôn trọng Di sản, Kết nối với Đô thị": Bảo tồn cấu trúc công nghiệp cũ, tái sử dụng sáng tạo để quá khứ hòa nhập vào hiện tại. Công viên tích hợp hạ tầng linh hoạt, phân vùng đa dạng (không gian tĩnh - cây xanh, không gian động - quảng trường, sân khấu, triển lãm), tạo chuỗi trải nghiệm phong phú. Các sự kiện cộng đồng và nghệ thuật đương đại liên tục đổi mới, giữ sức hút cho du khách. Tác động của nó diễn ra sâu rộng ở nhiều cấp độ tới xã hội:

- Kích hoạt Phát triển Kinh tế: thu hút du lịch (hàng triệu lượt khách/năm). Thúc đẩy bất động sản mạnh mẽ xung quanh (khu Chelsea, Meatpacking District), tăng giá trị tài sản, thu hút doanh nghiệp sáng tạo, nhà hàng, khách sạn cao cấp.



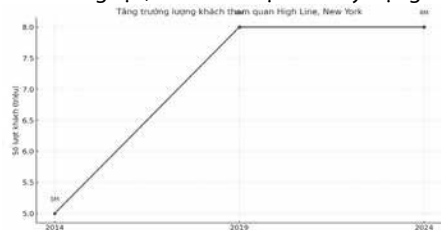
Hình 3. Tác phẩm nghệ thuật và sân khấu nhỏ ngoài trời trên công viên

(Nguồn <https://architizer.com/blog/inspiration/stories/evolution-of-the-high-line>)

- Định hình lại Khu vực: Chuyển đổi các khu công nghiệp, kho bãi xuống cấp thành khu vực sáng tạo, văn hóa, đẳng cấp thế giới.
- Tái sử dụng thích ứng (adaptive reuse) và thiết kế KGCC sáng tạo trên cao.

- Gắn kết Cộng đồng & Văn hóa: Tạo không gian chung cho cư dân đa dạng của New York và du khách. Là nền tảng không ngừng cho nghệ thuật cộng đồng và biểu đạt văn hóa.

Thành công của High Line là thành công của cộng đồng địa phương, thiết kế kiến trúc - cảnh quan sáng tạo, tôn vinh di sản và thiên nhiên, nó chứng minh rằng một KGCC được quy hoạch và quản lý tốt không chỉ là nơi giải trí mà còn là động lực tái sinh đô thị, thúc đẩy kinh tế sáng tạo, kinh tế du lịch và xây dựng cộng đồng.



Sơ đồ 2. Sơ đồ tuyến thể hiện sự tăng trưởng số lượt khách tham quan công viên High Line (New York) từ năm 2009 đưa vào vận hành, qua các năm 2014, 2019 và 2024. Biểu đồ cho thấy mức tăng đáng kể từ 5 triệu lên 8 triệu lượt, và duy trì ổn định trong những năm gần đây, trong đó khách quốc tế chiếm 80%

(Nguồn: <https://www.mckinsey.com>; <https://fhl-website.s3.amazonaws.com>)

Công viên nghệ thuật Superkilen - Copenhagen, Đan Mạch

Superkilen (30.000 m²) được tái sinh từ tuyến giao thông bỏ hoang, trở thành công viên nghệ thuật cộng đồng nổi bật. Áp dụng phương pháp **đồng thiết kế (co-design)**: Cư dân nhiều sắc tộc cùng đóng góp biểu tượng văn hóa quê hương, tạo nên không gian phản ánh chính người sử dụng.

Công viên được chia thành ba khu chính: Quảng trường (dành cho các hoạt động thể thao, biểu diễn), khu tĩnh (dành cho nghỉ ngơi và giao tiếp), và công viên xanh (phục vụ vui chơi, thể thao ngoài trời). Hệ thống hạ tầng được trang bị đầy đủ với ghế ngồi, sân chơi, wifi, hệ thống chiếu sáng và các kết nối giao thông thuận tiện, cùng với các yếu tố "mềm" như hội chợ, lớp học ngoài trời và biểu diễn đường phố.



Hình 4. Phân khu chức năng bằng màu sắc (Nguồn <https://ibstac.vn/copenhagen>)

Với kiến trúc cảnh quan mang tính biểu tượng và triết lý thiết kế Đan Mạch hướng đến niềm vui và hạnh phúc, Superkilen đã trở thành "giao điểm đô thị", góp phần gắn kết cộng đồng và thu hút khách du lịch.

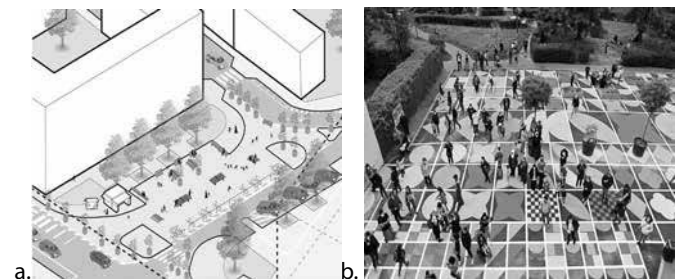
Từ các kinh nghiệm quốc tế đã phân tích ở trên, chúng ta có thể rút ra một số bài học và qua đó là dự kiến tiềm năng áp dụng cho Đà Nẵng.

Dự án Piazza Aperte - quảng trường mở (năm 2018), Milan, Italia

Ra đời năm 2018, dự án Piazza Aperte chuyển đổi giao lộ và bãi đỗ xe thành quảng trường xanh, ưu tiên người đi bộ và xe đạp. Thiết kế linh hoạt, sử dụng vật liệu địa phương (terrazzo, granite, gỗ), ghế di động, cây xanh, nghệ thuật đường phố, kết hợp giải pháp bền vững (cây bản địa, bể mặt thấm nước, đèn LED).

Không gian gắn kết lịch sử và văn hóa bản địa, tổ chức thường xuyên các hoạt động như chợ, triển lãm, biểu diễn, ẩm thực ngoài trời. Kết quả: tăng 15-30% doanh thu cửa hàng, giảm 40% tai nạn, 85% người dân hài lòng, diện tích cây xanh tăng 30%.

Từ thành công của dự án đã lan tỏa cải tạo 25 quảng trường (2020-2023) và trở thành hình mẫu về đô thị "lấy con người làm trung tâm".



Hình 5. Quảng trường Piazza Aperte Milan, a. Mặt bằng quảng trường trước khi cải tạo, b. Thiết kế linh hoạt màu sắc của quảng trường Piazza Aperte Milan

(Nguồn: <https://www.archilovers.com/projects/288550/quadra.html>)

Bảng 2. Tổng hợp bài học kinh nghiệm quốc tế

Bài học	Piazzes Aperte (Milan, Ý)	High Line (New York, Mỹ)	Federation Square (Melbourne, Úc)	Superkilen (Copenhagen, Đan Mạch)
1. Tái định hình chức năng không gian	- Cải tạo không gian bị ô tô chiếm dụng (bãi đỗ, giao lộ) thành quảng trường sinh hoạt. - Ưu tiên người đi bộ , mở rộng vỉa hè.	- Tái sử dụng cơ sở hạ tầng cũ (đường sắt trên cao bỏ hoang) thành công viên treo. - Khai thác tầng cao để tạo tầm nhìn đô thị.	- Tái sử dụng khoảng trống đô thị (khu đất trống cạnh ga Flinders) bằng quần thể kiến trúc đa năng. - Kết nối các khu chức năng (giao thông, văn hóa, thương mại).	- Chuyển hóa khu vực phân cách sắc tộc thành công viên hòa nhập. - Thiết kế "dải màu" (Đỏ/Đen/Xám) định hướng hoạt động .
2. Bản sắc văn hóa địa phương	- Vật liệu địa phương (gạch terrazzo, đá granite Milan). - Nghệ thuật đường phố kể chuyện lịch sử. - Khuyến khích văn hóa : quán cà phê ngoài trời, quán ăn đường phố....	- Bảo tồn dấu tích công nghiệp (đường ray, cầu thép). - Trồng cây bản địa (cỏ prairie, sỏi đỏ) tái hiện cảnh quan tự nhiên.	- Công trình kiến trúc độc đáo tượng trưng cho sự đổi mới của Melbourne. - Sử dụng sa thạch Kimberley (đá Úc) trong mặt tiền.	- Sử dụng các vật thể đặc trưng cho các sắc dân (cầu trượt Iraq, đài phun nước Morocco, băng ghế Thái Lan...). - Là " bảo tàng đa văn hóa ngoài trời".
3. Thu hút cộng đồng	- Thiết kế linh hoạt : Ghế di động, sân chơi tháo lắp nhanh. - Cộng đồng tham gia thiết kế qua nền tảng online. - Tổ chức sự kiện địa phương (chợ nông sản, biểu diễn âm nhạc).	- Chương trình cộng đồng (triển lãm nghệ thuật, tham quan bảo tồn thiên nhiên). - Không gian yên tĩnh đan xen khu vực sôi động.	- Quảng trường mở rộng lớn (44.000 m ²) cho tụ tập đại chúng (lễ hội , chiếu World Cup). - Trưng bày công nghệ (màn hình LED khổng lồ).	- Cộng đồng đề xuất vật phẩm đại diện văn hóa gốc. - Thiết kế phân khu chức năng (khu thể thao, picnic, chợ trời).
4. Kiến trúc linh hoạt	- Chi phí thấp : Dùng yếu tố tạm thời (sơn mặt đường, chậu cây di động). - Dễ điều chỉnh theo mùa/nhu cầu.	- Cảnh quan thích ứng : Cây trồng tự nhiên hóa theo thời gian. - Lộ trình uốn lượn tạo góc nhìn đa dạng.	- Mái hiên kim loại phức tạp tạo hình ảnh biểu tượng , đồng thời che nắng/mưa. - Kết nối không gian trong nhà - ngoài trời liền mạch.	- Sàn cao su màu sắc (Đỏ: hoạt động thể thao; Đen: tĩnh lặng). - Tiên nghi sử dụng đa chức năng (ghế tập yoga, bàn ăn).

Quá trình phục hồi và phát triển KGCC tại các đô thị có thể coi là tiếng nói phản kháng của người dân đối với quá trình đô thị hóa. Xu hướng tạo ra các đô thị và khu dân cư nhỏ, giàu bản sắc địa phương, tập trung đa chức năng với công viên và không gian đi bộ... là những lựa chọn cần thiết cho một đô thị phát triển bền vững vị nhân sinh. Các KGCC đậm đà bản sắc văn hóa địa phương luôn là những động lực thu hút cộng đồng và du khách tới trải nghiệm và khám phá.

3. THỰC TRẠNG ĐÀ NẴNG

Trong những năm gần đây, Đà Nẵng đã ghi nhận sự phát triển mạnh mẽ về hạ tầng đô thị, đặc biệt là trong lĩnh vực du lịch và KGCC. Tuy nhiên, xét dưới góc độ tổ chức KGCC gắn với thẩm mỹ, bản sắc văn hóa và trải nghiệm du lịch, thành phố vẫn đang trong giai đoạn hoàn thiện và thử nghiệm.

KGCC tại Đà Nẵng chủ yếu tập trung ở các dạng sau:

- Công viên, quảng trường và bãi biển: gồm công viên Biển Đông, công viên 29/3, công viên APEC và quảng trường trước Trung tâm Hành chính thành phố. Ngoài ra, các tuyến bờ biển như Mỹ Khê, Phạm Văn Đồng là cảnh quan tự nhiên có giá trị cao.
- Không gian ven sông: hai bên sông Hàn, đặc biệt là tuyến đường Trần Hưng Đạo (phía Đông) và Bạch Đằng (phía Tây), đã được đầu tư cảnh quan với các hoạt động giải trí về đêm.
- Không gian phụ trợ trong các sự kiện văn hóa - du lịch: Nhiều lễ hội (Lễ hội Pháo hoa quốc tế, Lễ hội ánh sáng, các chương trình nghệ thuật ngoài trời) thường sử dụng không gian có diện tích lớn tạm thời để dựng sân khấu, sự kiện tạm thời, vì vậy thiếu cấu trúc không gian ổn định, gắn kết với các yếu tố xung quanh.

Mặc dù sở hữu nhiều tài nguyên thiên nhiên thuận lợi, hệ thống KGCC của Đà Nẵng vẫn gặp một số vấn đề:

- Thiếu tính kết nối không gian: Các công viên, quảng trường và tuyến phố đi bộ hiện nay chủ yếu tồn tại độc lập, thiếu sự liên kết chức năng và với hoạt động đô thị, khiến trải nghiệm du lịch bị phân mảnh.
- Chưa có bản sắc kiến trúc rõ ràng: trừ một số công trình biểu tượng như Cầu Rồng, Bảo tàng Điều Ước Khắc Chăm, hầu hết KGCC còn thiếu đặc điểm nhận diện kiến trúc mang tính bản địa hoặc hiện đại đặc sắc, chưa tạo được dấu ấn thị giác rõ rệt.
- Kiến trúc cảnh quan còn mang tính hình thức, đơn điệu thiếu điểm nhấn sáng tạo: Cảnh quan công cộng thường sử dụng hình thức cây xanh, bồn hoa, vật liệu lát nền giống nhau ở mọi nơi, ít có sự sáng tạo trong cấu trúc không gian để kích thích tương tác xã hội hay tạo nền cho các hoạt động văn hóa - nghệ thuật.
- Tác động đến trải nghiệm và hành vi du khách. Không gian thiếu sự đổi mới, sáng tạo: Nhiều KGCC hiện có chức năng thụ động, chủ yếu phục vụ đi dạo, nghỉ ngơi, chưa thực sự hấp dẫn du khách tham gia các hoạt động văn hóa, nghệ thuật tương tác.
- Thiếu các điểm nhấn (placemaking): thiếu KGCC được thiết kế như nơi lưu giữ ký ức, nơi giao tiếp cộng đồng hay không gian nghệ thuật mở - là yếu tố then chốt để giữ chân du khách trong các đô thị du lịch.
- Không gian chưa được sử dụng tối ưu theo giờ và mùa: Ban ngày, nhiều quảng trường, khu công viên bị nắng gắt và thiếu bóng mát; buổi tối thiếu ánh sáng thẩm mỹ và tổ chức sự kiện thường xuyên, dẫn đến không gian trở nên buồn tẻ "trống rỗng" sau các khung giờ cao điểm.

Mặc dù còn nhiều thách thức, Đà Nẵng vẫn có những điều kiện thuận lợi để phát triển KGCC gắn với du lịch văn hóa nhờ sự ưu đãi về tài nguyên thiên nhiên (sông, núi, biển), giúp hình thành nhiều loại hình không gian mở đặc biệt.

Mật độ du khách cao, do có sự kết nối du lịch giữa các tỉnh, đặc biệt vào mùa lễ hội, tạo nhu cầu trải nghiệm không gian sống động và đặc sắc.

Ngoài ra chính quyền thành phố có định hướng phát triển đô thị theo hướng kinh tế xanh và bền vững, do đó công nghiệp văn hóa, trong đó có du lịch sẽ là trọng tâm được các cấp lãnh đạo quan tâm đầu tư, phát triển.

4. BÀI HỌC KHUYẾN NGHỊ CHO ĐÀ NẴNG

Dựa trên một số lý thuyết về KGCC - “sân khấu” cho các hoạt động văn hóa kích thích phát triển du lịch và bài học kinh nghiệm quốc tế, cũng như phân tích các điều kiện thực tiễn Đà Nẵng nêu trên, các khuyến nghị có thể áp dụng cho Đà Nẵng được vận dụng như sau:

- Mở rộng vỉa hè tuyến ven sông (xem xét thu hẹp giao thông cơ giới), tạo điều kiện phát triển các Kios bán hàng kết hợp các loại hình mái che nghệ thuật, tạo tiện nghi và các hoạt động trải nghiệm văn hóa địa phương, giúp tăng cường thời gian hoạt động của du khách tại không gian ven sông.

- Phát triển chuỗi không gian công cộng ven biển - ven sông - trung tâm:

Thiết lập trục cảnh quan chính nối các điểm như: Công viên APEC - Bạch Đằng - Cầu Rồng - Mỹ Khê - Di tích Điện Hải. Kết hợp không gian xanh với các điểm dừng văn hóa - nghệ thuật, nhà hát ngoài trời, sân chơi đô thị.

- Thiết kế kiến trúc linh hoạt, tạo không gian trải nghiệm đa dạng, linh hoạt:

Chuyển đổi công viên hiện hữu thành các không gian có thể tổ chức chợ thủ công, biểu diễn ngoài trời, triển lãm ảnh, sự kiện cộng đồng. Ưu tiên vật liệu thân thiện môi trường, mô-đun dễ tháo lắp, ánh sáng cảnh quan và sân biểu diễn nghệ thuật.

- Xây dựng “điểm nhấn văn hóa” trong KGCC:

Mỗi cụm không gian cần tích hợp ít nhất một điểm nhấn đặc trưng: tượng điêu khắc bản địa, nghệ thuật công cộng (public art), bản đồ văn hóa số (QR/code), sân chơi nghệ sĩ, phòng đọc ngoài trời,...

- Tạo nền tảng cho sự tham gia cộng đồng:

Khuyến khích các loại hình kinh doanh vỉa hè tại mặt tiền có các hoạt động đi bộ. Mời gọi các nhóm sáng tạo, trường đại học, nghệ sĩ bản địa cùng tham gia thiết kế không gian hoặc sử dụng không gian qua các cuộc thi, hội thảo, thử nghiệm. Áp dụng nguyên tắc thiết kế từ ý tưởng tới tạm thời thử nghiệm trước khi làm cố định.

- Ứng dụng công nghệ bản đồ số, chỉ dẫn thông minh:

Xây dựng bản đồ số không gian công cộng Đà Nẵng tích hợp hướng dẫn trải nghiệm (tour đi bộ nghệ thuật, không gian mở, sự kiện), liên kết Google Maps hoặc App du lịch Đà Nẵng.

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã phân tích một số kinh nghiệm quốc tế tiêu biểu trong tổ chức KGCC phục vụ các hoạt động văn hóa - nghệ thuật, bao gồm các mô hình như Superkilen (Copenhagen), High Line (New York), Federation Square (Melbourne) hay hệ thống hành lang xanh tại Singapore. Các mô hình này cho thấy, KGCC hiệu quả là không gian có khả năng tích hợp nhiều chức năng sử dụng, khuyến khích sự tham gia xã hội, thúc đẩy các hoạt động sáng tạo, đồng thời đóng vai trò như nền tảng phát triển du lịch bền vững và văn hóa bản địa.

Từ những phân tích trên, bài báo đề xuất một số định hướng chiến lược nhằm nâng cao giá trị sử dụng và sức hấp dẫn du lịch của KGCC tại Đà Nẵng: (1) Phát triển mạng lưới không gian công cộng theo hướng mở, đa chức năng và kết nối tuyến tính; (2) Lồng ghép yếu tố văn hóa - nghệ thuật bản địa trong thiết kế kiến trúc và cảnh quan; (3) Áp dụng các phương pháp quy hoạch linh hoạt như quy hoạch thử nghiệm (tactical urbanism) và thiết kế dựa trên sự tham gia; (4) Kết hợp công nghệ số để gia tăng trải nghiệm tương tác cho người dân và du khách.

Với các định hướng trên, KGCC không chỉ là thành phần vật lý của cấu trúc đô thị, mà còn trở thành chất xúc tác cho sự kết nối văn hóa, tăng cường bản sắc địa phương và thúc đẩy phát triển du lịch đô thị theo hướng bền vững và nhân văn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Aelbrecht, P., & Stevens, Q. (2019). An international comparison. Routledge.
- [2]. Gehl, J. (1987). Life between buildings: Using public space. Van Nostrand Reinhold.
- [3]. Gehl, J. (2010). Cities for people. Island Press.
- [4]. Jacobs, J. (1961). The death and life of great American cities. Random House.
- [5]. Oldenburg, R. (1989). The great good place: Coffee shops, bookstores, bars, hair salons, and other hangouts at the heart of a community. Paragon House.
- [6]. Pine, B. J., & Gilmore, J. H. (1999). The experience economy: Work is theatre and every business a stage. Harvard Business School Press.
- [7]. Frontiers in Built Environment. (2025). Public space and the built environment [Abstract]. Frontiers. <https://www.frontiersin.org/journals/built-environment/articles/10.3389/fbuil.2025.1504549/abstract>
- [8]. Australian Bureau of Statistics. (n.d.). Overseas arrivals by city. Canberra, Australia: ABS.
- [9]. National Institute of Urban Affairs – SmartNet. (n.d.). SmartNet portal. <http://web.smartnet.niua.org>
- [10]. Project for Public Spaces. (2008). What is placemaking? Project for Public Spaces.
- [11]. Tourism Research Australia. (n.d.). International visitor survey: Annual report. Canberra, Australia: TRA.
- [12]. UNESCO. (n.d.). Culture-powered public spaces: Inclusivity, growth, resilience. UNESCO. <https://www.unesco.org/en/articles/culture-powered-public-spaces-inclusivity-growth-resilience>
- [13]. University of Chicago Crown Family School of Social Work, Policy, and Practice. (n.d.). Homepage. <https://crownschool.uchicago.edu>
- [14]. Văn Nghệ Đà Nẵng. (n.d.). Góc nhìn về không gian công cộng trong tổ chức đô thị Đà Nẵng. <https://vanngheданang.org.vn/goc-nhin-ve-khong-gian-cong-cong-trong-to-chuc-do-thi-da-nang>
- [15]. Vietnamtourism. Đà Nẵng: Đầu tư không gian văn hóa hấp dẫn để thu hút du lịch. <https://vietnamtourism.gov.vn/post/54844>

Không gian hè phố - Giải pháp cân bằng giữa trật tự an toàn và sinh kế đô thị

Tiếp cận từ góc độ hạ tầng kỹ thuật đô thị và quản trị không gian công cộng

Sidewalk space - solutions for balancing urban order, safety, and street livelihoods
An approach from the perspective of urban technical infrastructure and public space governance

> PGS.TS VŨ THỊ VINH

Hội Quy hoạch phát triển đô thị Việt Nam

TÓM TẮT

Trong cấu trúc đô thị hiện đại, hè phố không chỉ là hạ tầng giao thông dành cho người đi bộ mà còn là một không gian công cộng năng động, nơi diễn ra các hoạt động xã hội, văn hóa và kinh tế quy mô nhỏ. Tại các đô thị đông dân như Hà Nội và TP.HCM, hè phố còn đóng vai trò là nguồn sinh kế quan trọng của hàng vạn lao động tự do, tiểu thương và người nhập cư. Tuy nhiên, việc khai thác hè phố cho mục đích kinh tế đang tạo ra xung đột ngày càng rõ giữa yêu cầu quản lý trật tự - an toàn giao thông và nhu cầu bảo đảm sinh kế, đặc biệt trong bối cảnh đô thị hướng tới hình ảnh “văn minh - hiện đại - thông minh”. Bài viết phân tích thực trạng sử dụng và quản lý hè phố tại một số đô thị lớn ở Việt Nam, làm rõ các giá trị kinh tế tiềm năng, đồng thời đề xuất các giải pháp nhằm cân bằng giữa yêu cầu quản lý trật tự, kỹ thuật, pháp lý và bảo vệ sinh kế của người dân. Các đề xuất được xây dựng trên cơ sở tham khảo kinh nghiệm quốc tế và phù hợp với điều kiện thực tiễn trong nước.

Từ khóa: Hè phố đô thị, hạ tầng kỹ thuật đô thị, quản lý không gian công cộng, sinh kế đô thị, đô thị thông minh, trật tự đô thị.

ABSTRACT

In the structure of modern cities, sidewalks are not merely pedestrian infrastructure but also vibrant public spaces where social, cultural, and small-scale economic activities take place. In densely populated cities such as Hanoi and Ho Chi Minh City, sidewalks also serve as an essential source of livelihood for tens of thousands of informal workers, small traders, and migrants. However, the economic use of sidewalks increasingly creates visible conflicts between the requirements of order and traffic safety and the need to ensure livelihoods-particularly as cities aim to project an image of being “civilized, modern, and smart.”

This paper analyzes the current status of sidewalk use and management in several major Vietnamese cities, clarifies the potential economic value, and proposes solutions to balance order management, technical and legal considerations, and the protection of livelihoods, drawing on international experience and local realities.

Keywords: Urban sidewalks, pavements, urban technical infrastructure, public space management, urban livelihoods, smart cities, urban order.

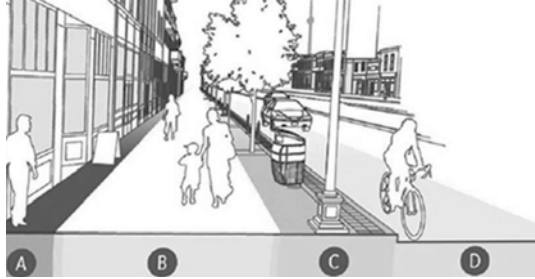
1. HÈ PHỐ VÀ HỆ THỐNG HẠ TẦNG KỸ THUẬT ĐÔ THỊ

1.1. Hè phố và cơ sở hạ tầng kỹ thuật đô thị

Hè phố và hệ thống hạ tầng kỹ thuật là hai yếu tố gắn bó mật thiết trong quy hoạch và quản lý đô thị. Hè phố, hay vỉa hè, là phần đường dành cho người đi bộ, đồng thời là không gian bố trí các công trình hạ tầng kỹ thuật. QCVN 07:2023/BXD của Bộ Xây dựng yêu cầu việc thiết kế và quản lý hè phố phải tích hợp đồng bộ với

hệ thống hạ tầng kỹ thuật và không gian công cộng. Luật Quy hoạch 2017, quy định chung về hoạt động quy hoạch, không nhắc trực tiếp từ “hè phố” hoặc “vỉa hè”, nhưng các quy định về quy hoạch giao thông đô thị và hạ tầng kỹ thuật đã gián tiếp bảo đảm hướng tới việc thiết kế, sử dụng và quản lý hè phố. Luật Trật tự, an toàn giao thông đường bộ năm 2024 (số 36/2024/QH15), xác định vỉa hè là phần sử dụng dành cho người đi bộ, có thể được sử dụng

tạm thời cho mục đích khác nếu không ảnh hưởng đến giao thông và được cơ quan có thẩm quyền cho phép.



Hình 1. Phân chia các Khu vực trên mặt cắt hè phố
Ghi chú: Khu vực A - trước công trình; Khu vực B - dành cho người đi bộ; Khu vực C - dành cho các trang thiết bị; và Khu vực D - lòng đường sát hè phố.

Để nâng cao chất lượng hè phố, WRI (2024) đề xuất 8 nguyên tắc gồm: kích thước hợp lý, tiếp cận phổ quát, kết nối an toàn, biển báo rõ ràng, không gian hấp dẫn, an ninh, bề mặt chất lượng, và thoát nước hiệu quả. Các nguyên tắc này không chỉ nhằm đáp ứng nhu cầu đi lại thuận tiện mà còn hướng tới việc tạo lập không gian công cộng thân thiện, an toàn và bền vững. Theo Gehl (2010), hè phố là lớp chuyển tiếp giữa không gian công cộng và không gian riêng tư, giữ vai trò quan trọng trong cấu trúc xã hội và tổ chức đô thị. Lý thuyết “Complete Streets” cũng nhấn mạnh rằng đường phố cần được thiết kế đa chức năng, vừa phục vụ người đi bộ, cây xanh, hạ tầng kỹ thuật, vừa tạo điều kiện cho các hoạt động cộng đồng và thương mại nhỏ.

Tại Việt Nam, cách tiếp cận này đã được vận dụng trong các chương trình chỉnh trang và quản lý vỉa hè tại Hà Nội, TP.HCM, hướng tới tích hợp giao thông, cảnh quan và tiện ích công cộng trong một thiết kế tổng thể.

1.2. Phân loại hè phố theo chức năng và quản lý khai thác
Tại các đô thị Việt Nam, vỉa hè thường được phân loại dựa trên chức năng sử dụng và hình thức quản lý - khai thác. Việc phân loại này giúp nhận diện rõ vai trò và phương thức vận hành của từng loại vỉa hè, từ đó hỗ trợ công tác quy hoạch, quản lý và khai thác thành các nhóm chính sau:

- Phân loại theo chức năng sử dụng

Bảng 1. Thực trạng, yêu cầu và giải pháp kỹ thuật đối với hạ tầng hè phố

VẤN ĐỀ	HIỆN TRẠNG	YÊU CẦU	NGUYÊN NHÂN	GIẢI PHÁP
Chiều rộng vỉa hè	40% < 2m; nhiều tuyến 0,8-1,5m	≥ 3m phố chính; ≥ 1,5m khu dân cư	Quy hoạch cũ, thiếu mở rộng	Cải tạo từng giai đoạn, ưu tiên trục chính
Độ dốc ngang	Nhiều tuyến > 3-4%	1-2%	Thi công sai, thiếu giám sát	Kiểm soát nghiệm thu, nâng cao kỹ thuật
Vật liệu lát	Đá, gạch nhanh hỏng; tuổi thọ 3-5 năm	Tuổi thọ ≥ 10 năm; ma sát ≥ 0,5	Vật liệu kém, các lớp nền đường yếu	Quy chuẩn vật liệu, kiểm tra trước nghiệm thu
Kết cấu nền	Móng K<95%; lún > 2cm sau mưa	K ≥ 95%; lún < 5mm/năm	Thi công ẩu, thiếu cát đệm	Kiểm tra độ chặt, bổ sung rãnh thoát nước
Thoát nước	60% thiếu rãnh; hay đọng nước	Không đọng > 24h	Thiết kế thiếu đồng bộ, tắc rác	TK đồng bộ rãnh và ga thu; bảo dưỡng định kỳ
Công trình trên vỉa hè	Cột điện, cây, biển báo chiếm 0,3-0,8m	≥ 1,5m lối thông thoáng	Quản lý phân tán	Quy hoạch lại, ngầm hóa hạ tầng
Duy tu bảo trì	Chỉ sửa khi hỏng nặng; vá không đồng bộ	Bảo trì 2-3 năm/lần	Thiếu ngân sách, cơ chế	Kế hoạch bảo trì thường xuyên, hợp đồng trọn gói
Hạ tầng kỹ thuật ngầm	Tỷ lệ thấp; dây nổi; đào phá nhiều; thiếu hành lang kỹ thuật	QCVN07:2023/BXD yêu cầu hào/hầm ngầm; hạn chế đào	Quy hoạch thiếu đồng bộ; quản lý phân tán; chi phí cao	Xây hầm kỹ thuật chung; quy chế phối hợp; ưu tiên ngầm hóa trung tâm

2. THỰC TRẠNG SỬ DỤNG HÈ PHỐ TẠI CÁC ĐÔ THỊ Ở VIỆT NAM

2.1. Hè phố như một không gian kinh tế - xã hội
Hè phố không chỉ đóng vai trò giao thông, mà còn là một không gian kinh tế - xã hội quan trọng của đô thị Việt Nam. Trong cấu trúc đô thị đặc trưng với các dãy nhà phố liên kế, không gian

- Hè phố dành cho người đi bộ (phổ biến ở các tuyến phố chính, khu phố cổ, khu trung tâm thương mại, gần trường học, bệnh viện).
- Hè phố kết hợp kinh doanh (nhiều tuyến phố cho phép một phần vỉa hè dùng cho dịch vụ ăn uống, cửa hàng, chỗ để xe - có quy định tạm thời về thu phí).
- Hè phố kết hợp bãi đỗ xe (một số tuyến phố có kẻ vạch cho ô tô, xe máy dừng đỗ...).
- Hè phố phục vụ kỹ thuật và hạ tầng ngầm, cây xanh.
- Phân loại theo quản lý và khai thác
- Hè phố do phường/xã quản lý (đa số các tuyến phố).
- Hè phố giao doanh nghiệp khai thác (theo hình thức xã hội hóa, thu phí sử dụng).
- Hè phố chuyên biệt (khu phố đi bộ, tuyến phố du lịch, khu vực lễ hội).



Hình 2. Tiêu chuẩn và yêu cầu kỹ thuật thiết kế vỉa hè (Ảnh: Haledco)
1.3. Thực trạng cơ sở hạ tầng hè phố tại các đô thị

Các khảo sát gần đây của nhóm nghiên cứu tại Hà Nội và TP.HCM cho thấy còn nhiều bất cập kỹ thuật trong xây dựng và quản lý hè phố. Hè phố tại nhiều đô thị còn hẹp (40% < 2m) không đáp ứng nhu cầu đi bộ an toàn. Vật liệu lát thường xuyên xuống cấp, kết cấu nền yếu và hệ thống thoát nước kém hiệu quả. Hạ tầng kỹ thuật ngầm thiếu đồng bộ, trong khi phần lớn các tuyến phố chưa có bản đồ hạ tầng ngầm đầy đủ. Điều này dẫn đến tình trạng thi công chồng lấn, khoan cắt thiếu kiểm soát, làm giảm độ bền và tuổi thọ công trình. Bên cạnh đó, sự chồng chéo trong đầu tư, quản lý và thi công các hạng mục liên quan tiếp tục làm giảm tính đồng bộ và hiệu quả khai thác.

trước cửa nhà đã hình thành một nét văn hóa riêng: vừa là nơi sinh hoạt, buôn bán, vừa là nơi giao lưu cộng đồng. Đây cũng là nơi mưu sinh của nhiều lao động đô thị, trong đó không ít hộ gia đình phụ thuộc hoàn toàn vào nguồn thu từ các hoạt động trên hè phố. Trong bối cảnh kinh tế phi chính thức ngày càng phát triển, hè phố tạo ra nhiều cơ hội việc làm, đặc biệt cho nhóm lao động nhập cư

từ nông thôn. Tại Hà Nội, kinh tế hệ phố đóng góp khoảng 5-7% GDP phi chính thức, gần 80% người bán hàng là phụ nữ, người cao tuổi hoặc người nhập cư (Viện Nghiên cứu phát triển kinh tế - xã hội Hà Nội, 2022). Khảo sát tại TP.HCM (2024) cho thấy có hơn 12.000 hộ kinh doanh cá thể đang hoạt động trên các tuyến hệ phố trung tâm, với thu nhập bình quân từ 3 đến 5 triệu đồng mỗi tháng. Trong số này, khoảng 70% hộ phụ thuộc hoàn toàn vào nguồn thu từ các hoạt động buôn bán trên vỉa hè. Nếu được quản lý hợp lý, không gian hệ phố không chỉ đảm bảo chức năng giao thông mà còn có thể phát huy hiệu quả các giá trị kinh tế, văn hóa và du lịch đô thị.



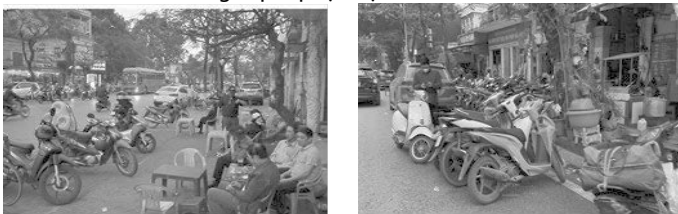
Hình 3. Không gian hệ phố và thiết kế đô thị

2.2. Tình hình sử dụng hệ phố hiện nay

Tại nhiều đô thị lớn ở Việt Nam, hệ phố đang bị khai thác vượt ra ngoài chức năng chính là phục vụ người đi bộ. Tại Hà Nội, chỉ khoảng 30% trong tổng số hơn 3.200 tuyến phố đảm bảo thông thoáng cho người đi bộ; phần còn lại bị sử dụng sai mục đích (Sở Xây dựng Hà Nội, 2023). Ở TP.HCM, trong khoảng 3.500 tuyến đường có vỉa hè, hơn 60% bị chiếm dụng cho kinh doanh, đỗ xe hoặc hàng rong tự phát (Sở Giao thông vận tải TP.HCM, 2023). Các hoạt động kinh tế diễn ra trên hệ phố đặt ra nhiều thách thức: chiếm dụng không gian giao thông, gây mất trật tự, ảnh hưởng đến mỹ quan đô thị và tiềm ẩn nguy cơ mất an toàn. Những nguyên nhân chính dẫn đến tình trạng này bao gồm:

- Chồng chéo trong quản lý, thiếu sự phối hợp giữa các cơ quan.
- Thiếu tiêu chuẩn kỹ thuật cho không gian kinh tế phi chính thức.
- Chưa có cơ chế tích hợp khai thác kinh tế hệ phố với mục tiêu xây dựng đô thị văn minh.

Thực trạng này cho thấy cần một chiến lược quản lý đồng bộ, hài hòa giữa mục tiêu trật tự đô thị và duy trì sinh kế của nhóm yếu thế, làm cơ sở cho các giải pháp tại Mục 4.



Hình 4. Thực trạng sử dụng hệ phố tại Hải Phòng và Hà Nội

2.3. Những thách thức trong quản lý hệ phố

Quản lý hệ phố tại các đô thị đang đối mặt với những mâu thuẫn phức tạp, nổi bật là xung đột giữa đảm bảo trật tự đô thị và bảo vệ sinh kế của nhóm yếu thế.

- **Nếu cấm tuyệt đối**, sinh kế của hàng chục nghìn lao động nghèo, đặc biệt là người nhập cư và người cao tuổi không có việc làm ổn định, sẽ bị ảnh hưởng nghiêm trọng.
- **Nếu buông lỏng quản lý**, hệ phố có nguy cơ trở thành không gian lộn xộn, mất mỹ quan, tiềm ẩn nguy cơ mất an toàn giao thông và suy giảm chất lượng không gian công cộng.
- Ngoài ra, thách thức còn đến từ:
- **Hạn chế về quy hoạch và pháp lý:** Nhiều địa phương chưa có quy hoạch phân vùng hệ phố rõ ràng theo chức năng.

Khung pháp lý cụ thể để cấp phép, giám sát và xử lý các hoạt động kinh doanh tạm thời còn thiếu.

- **Bất cập trong khung pháp luật hiện hành:** Việc “chấp nhận thực tế” trong khai thác hệ phố mới mang tính linh hoạt tình thế, chưa được luật hóa.

- **Hạn chế về mô hình quản lý và sự tham gia cộng đồng:** Quản lý hệ phố hiện nghiêng về kiểm soát hành chính, chủ yếu thông qua xử phạt, thay vì thúc đẩy mô hình tự quản, hỗ trợ kỹ thuật hay đào tạo sinh kế bền vững.

Việt Nam hiện cũng chưa có cơ chế thí điểm hoặc mô hình hóa hợp pháp các hình thức “hệ phố có kiểm soát” như cấp phép theo giờ, khu phố ẩm thực đường phố hay phố đi bộ ban đêm. Thiếu chính sách thí điểm ở cấp quốc gia dẫn đến sự lúng túng trong triển khai tại địa phương, hạn chế nhân rộng các mô hình hiệu quả.

3. KINH NGHIỆM QUỐC TẾ TRONG KHAI THÁC HỆ PHỐ ĐÔ THỊ

Nhiều quốc gia đã triển khai thành công các mô hình quản lý và khai thác hệ phố như một không gian kinh tế - xã hội đa chức năng, bảo đảm cân bằng giữa giao thông, thương mại và sinh hoạt cộng đồng. Một số điển hình tiêu biểu:

3.1. Bangkok (Thái Lan): Quy hoạch chợ đường phố hợp pháp

Chính quyền Bangkok đã tái cấu trúc không gian vỉa hè thông qua việc quy hoạch một số tuyến phố thành khu chợ đường phố hợp pháp. Quy trình bao gồm phân vùng rõ ràng các tuyến cho phép kinh doanh, quy định thời gian hoạt động, danh mục mặt hàng, và yêu cầu về vệ sinh môi trường. Thành phố đồng thời xây dựng cơ chế cấp phép minh bạch, gắn với trách nhiệm cộng đồng, qua đó giảm thiểu xung đột giữa người bán, người đi bộ, cơ quan quản lý, đồng thời duy trì sự hấp dẫn của không gian phố chợ.

3.2. Singapore: Giấy phép sử dụng tạm thời có điều kiện

Singapore áp dụng chương trình Temporary Use License (TUL), cho phép cá nhân hoặc tổ chức tạm thời sử dụng vỉa hè cho mục đích kinh doanh hoặc tổ chức sự kiện. Giấy phép này đi kèm với các tiêu chuẩn nghiêm ngặt về vệ sinh, an toàn, thời gian sử dụng và nghĩa vụ hoàn trả hiện trạng ban đầu. Cách tiếp cận này không chỉ giúp kiểm soát hiệu quả các hoạt động trên vỉa hè mà còn khuyến khích khai thác không gian đô thị một cách sáng tạo, linh hoạt và có trách nhiệm.

3.3. New York (Hoa Kỳ): Mô hình “Open Streets”

New York triển khai mô hình Open Streets, theo đó vỉa hè và một phần lòng đường được tạm thời mở rộng để phục vụ các hoạt động cộng đồng, nghệ thuật đường phố và kinh doanh ngoài trời, chủ yếu vào cuối tuần. Quy trình triển khai được thực hiện thông qua sự phối hợp chặt chẽ giữa chính quyền và cộng đồng cư dân nhằm lựa chọn các tuyến phố, khung thời gian và loại hình hoạt động phù hợp. Mô hình này không chỉ góp phần tái thiết không gian công cộng sau đại dịch COVID-19 mà còn thúc đẩy kinh tế địa phương và tăng cường gắn kết xã hội.

Bài học kinh nghiệm: Các mô hình trên cho thấy việc khai thác hệ phố hiệu quả đòi hỏi ba yếu tố then chốt: (i) quy hoạch phân vùng và tiêu chuẩn kỹ thuật rõ ràng; (ii) cơ chế cấp phép minh bạch và linh hoạt; (iii) sự tham gia của cộng đồng trong quản lý và giám sát. Đây là kinh nghiệm quan trọng cho các đô thị Việt Nam khi nghiên cứu xây dựng mô hình “hệ phố có kiểm soát” gắn với văn hóa, nhu cầu kinh tế và điều kiện hạ tầng đặc thù.



Hình 5. Kinh doanh hè phố ở New York và Singapore

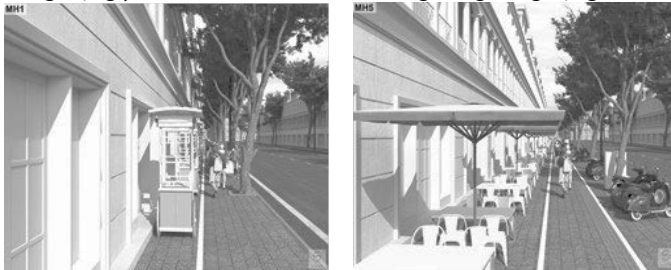
4. GIẢI PHÁP CÂN BẰNG GIỮA TRẬT TỰ ĐÔ THỊ VÀ SINH KẾ ĐƯỜNG PHỐ

Để khai thác hiệu quả giá trị kinh tế của vỉa hè mà vẫn đảm bảo trật tự, an toàn và mỹ quan đô thị, cần một hệ thống giải pháp đồng bộ, linh hoạt và khả thi.

4.1. Phân vùng và tổ chức sử dụng vỉa hè theo chức năng

Việc xác định rõ chức năng từng đoạn vỉa hè là cơ sở để quản lý minh bạch và hiệu quả. Làn đường dành cho người đi bộ phải được ưu tiên và đảm bảo giữ nguyên chức năng đi lại, đặc biệt tại các tuyến phố chính, khu trung tâm thương mại, hành chính. Phân vùng chức năng là nền tảng để quản lý minh bạch và hiệu quả:

- Khu vực ưu tiên giao thông: Các tuyến phố chính, khu hành chính, trung tâm thương mại - bảo đảm dành riêng cho người đi bộ.
- Khu vực cho phép kinh doanh có điều kiện: Tuyến phố có mặt cắt đủ rộng, đảm bảo an toàn giao thông, vệ sinh và mỹ quan; cấp phép theo khung giờ, loại hình hàng hóa.
- Khu vực cấm tuyệt đối: Trước bệnh viện, trường học, nút giao thông trọng yếu - đảm bảo an toàn và công năng công cộng.



Hình 6. Giải pháp quy hoạch hè phố an toàn - văn minh

4.2. Thí điểm mô hình “Vỉa hè có kiểm soát”

Do đặc thù quản lý phức tạp, cần triển khai thí điểm trước khi nhân rộng:

- Cấp phép có thời hạn: Gắn với vị trí, khung giờ cụ thể, loại hình kinh doanh rõ ràng.
- Tải thiết hạ tầng phù hợp: Bố trí mái che di động, ghế ngồi, thùng rác, chiếu sáng, nhà vệ sinh công cộng.
- Ứng dụng công nghệ số: Quản lý qua QR code, giám sát trực tuyến, tích hợp dữ liệu với hệ thống đô thị thông minh.

4.3. Hỗ trợ sinh kế bền vững và tăng cường đồng thuận cộng đồng

Bảo đảm công bằng xã hội, duy trì sinh kế hợp pháp và tạo đồng thuận xã hội là yếu tố then chốt để quản lý vỉa hè hiệu quả:

- Hỗ trợ chuyển đổi sinh kế: Đào tạo nghề, kỹ năng bán hàng, vệ sinh an toàn thực phẩm; khuyến khích chuyển đổi mô hình sang chợ đêm, phố ẩm thực hoặc không gian thương mại cộng đồng có tổ chức.
- Tham vấn và truyền thông cộng đồng: Tổ chức đối thoại, lấy ý kiến tiểu thương và cư dân trong quy hoạch, thiết kế, vận hành

mô hình; truyền thông minh bạch về khu vực được phép - không được phép kinh doanh; hạn chế áp dụng các biện pháp cấm đột ngột nhằm tránh phản ứng tiêu cực và duy trì sự ổn định đô thị.

4.4. Khuyến nghị chính sách tổng thể

Các giải pháp nêu trên chỉ phát huy hiệu quả khi được đặt trong một khung chính sách đồng bộ và dài hạn. Do đó, cần những định hướng mang tính tổng thể nhằm vừa đảm bảo trật tự, mỹ quan đô thị vừa duy trì sinh kế hợp pháp:

- Quản lý cân bằng - tránh cực đoan: Không áp dụng “cấm tuyệt đối” hoặc “thả nổi hoàn toàn”; chính quyền cần chuyển từ tư duy kiểm soát sang tư duy kiến tạo.
- Xây dựng mô hình quản lý linh hoạt, nhân văn: Tổ chức theo thời gian (giờ hoạt động) và không gian (khu thí điểm) phù hợp với đặc điểm từng khu vực và nhu cầu sinh kế.
- Ứng dụng công nghệ số và quản lý thông minh: Kết nối quản lý vỉa hè với cơ sở dữ liệu kỹ thuật - xã hội; tích hợp vào hệ thống quản trị đô thị thông minh để giám sát, cấp phép và xử lý minh bạch.
- Thí điểm và hoàn thiện hành lang pháp lý: Xây dựng hành lang pháp lý rõ ràng, kết hợp quy chuẩn kỹ thuật, cơ chế hỗ trợ sinh kế và quản lý hành chính nhằm nhân rộng các mô hình hiệu quả.

5. KẾT LUẬN

Quản lý và khai thác hợp lý không gian hè phố vừa là thách thức vừa là cơ hội để hướng tới đô thị văn minh, bao trùm và bền vững. Thay vì tiếp cận theo tư duy “cấm - cho phép” đơn thuần, cần áp dụng mô hình quản lý linh hoạt dựa trên phân vùng chức năng, thí điểm có kiểm soát và khung pháp lý minh bạch. Hè phố nên được nhìn nhận như một nguồn lực đô thị đa giá trị: vừa đảm bảo giao thông vừa duy trì sinh kế hợp pháp đồng thời góp phần tạo dựng bản sắc văn hóa, du lịch. Sự phối hợp chặt chẽ giữa chính quyền, cộng đồng và khu vực kinh tế phi chính thức sẽ là yếu tố then chốt để cân bằng trật tự, phát triển kinh tế và nâng cao chất lượng sống. Đây chính là nền tảng cho quản trị không gian công cộng hiệu quả, đáp ứng yêu cầu hội nhập và phát triển bền vững của các đô thị Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bộ TT&TT (2021). Hướng dẫn xây dựng đô thị thông minh tại Việt Nam.
- [2]. Đề án về Quản lý, khai thác, sử dụng lòng đường, hè phố trên địa bàn Thành phố Hà Nội. Nhóm chuyên gia Tư vấn PGS.TS Vũ Thị Vinh, TS Thân Đình Vinh, PGS.TS Ngô Trí Thường, ThS Lê Văn Che, ThS Phan Hiến.
- [3]. QCVN 07:2016/BXD. Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về các công trình hạ tầng kỹ thuật đô thị. Bộ Xây dựng.
- [4]. Sở Giao thông vận tải TP.HCM. (2023). Báo cáo hiện trạng sử dụng và quản lý vỉa hè trên địa bàn Thành phố. TP.HCM.
- [5]. Viện Nghiên cứu Phát triển kinh tế - xã hội Hà Nội. (2022). Báo cáo đánh giá vai trò kinh tế phi chính thức và hoạt động trên vỉa hè tại Hà Nội.
- [6]. Gehl, J. (2010). Cities for People. Island Press.
- [7]. Jacobs, J. (1961). The Death and Life of Great American Cities. Random House.
- [8]. UN-Habitat. (2013). Streets as Public Spaces and Drivers of Urban Prosperity. Nairobi: United Nations Human Settlements Programme.
- [9]. Bangkok Metropolitan Administration (BMA). (2019). Guidelines for Street Vendor Management in Bangkok.
- [10]. Urban Redevelopment Authority (Singapore). (2020). Temporary Use License Guidelines.
- [11]. NYC Department of Transportation. (2021). Open Streets Program: Evaluation and Future Directions.
- [12]. Hillary Smith, 8 Principles to Better Sidewalks; <https://thecityfix.com/blog/8-principles-better-sidewalks-hillary-smith-paula-manoela-dos-santos/>

Nghiên cứu bảo tồn bản sắc văn hóa nhà ở truyền thống dân tộc Thái vùng Tây Bắc

Research on preserving the cultural identity of traditional Thai houses in the Northwest Region of Vietnam

> LÊ TIẾN THUẬN

Trường Đại học Xây dựng Hà Nội; Email: thuanlt@huce.edu.vn.

TÓM TẮT

Nhà sàn truyền thống của người Thái ở vùng Tây Bắc Việt Nam là một biểu hiện quan trọng của bản sắc văn hóa dân tộc, thể hiện sự thích ứng linh hoạt với môi trường tự nhiên và phản ánh hệ tri thức bản địa được tích lũy qua nhiều thế hệ. Tuy nhiên, quá trình chuyển đổi kinh tế - xã hội diễn ra nhanh chóng, cùng với sự phổ biến ngày càng tăng của kiểu nhà hiện đại thường chịu ảnh hưởng từ kiến trúc của người Kinh đã góp phần gia tăng nguy cơ mai một đối với loại hình di sản kiến trúc độc đáo này. Nghiên cứu này nhằm nhận diện các giá trị kiến trúc và văn hóa cốt lõi trong nhà ở truyền thống của người Thái, đồng thời đề xuất các chiến lược bảo tồn bền vững trong bối cảnh phát triển hiện tại và tương lai. Với cách tiếp cận liên ngành, kết hợp giữa hình thái kiến trúc, nhân học văn hóa và xã hội học không gian, nhóm nghiên cứu đã tiến hành khảo sát thực địa tại 06 tỉnh vùng Tây Bắc, thông qua quan sát hiện trường, phỏng vấn bán cấu trúc với người dân, già làng, và thực hiện nghiên cứu tình huống chuyên sâu tại một số bản tiêu biểu.

Kết quả nghiên cứu cho thấy, nhà ở truyền thống của người Thái không chỉ là nơi cư trú, mà còn là một hiện vật văn hóa gắn bó sâu sắc với quan hệ huyết thống, thực hành tâm linh và tri thức sinh thái. Nghiên cứu đề xuất các mô hình bảo tồn dựa vào cộng đồng, phù hợp với bối cảnh văn hóa và đáp ứng nhu cầu hiện đại. Những kết quả này đóng góp thiết thực vào các diễn đàn học thuật về bảo tồn di sản dân tộc, phát triển nông thôn bền vững và chính sách phát triển bao trùm trong các xã hội đa dân tộc.

Từ khóa: Dân tộc Thái, kiến trúc bản địa, bản sắc văn hóa, bảo tồn di sản kiến trúc, vùng Tây Bắc Việt Nam, biến đổi văn hóa - xã hội, phát triển nhà ở bền vững.

ABSTRACT

The traditional stilt houses of the Thai ethnic group in Northwest Vietnam embody cultural identity, ecological adaptation, and indigenous knowledge passed down through generations. Yet, rapid socio-economic change and the dominance of modern housing forms increasingly threaten this architectural heritage.

This study identifies the key architectural and cultural values of Thai stilt houses and proposes adaptive conservation strategies in line with contemporary development needs. Using an interdisciplinary approach that integrates architecture, cultural anthropology, and spatial sociology, fieldwork was conducted in six provinces through on-site observation, semi-structured interviews, and case studies.

The findings highlight that Thai houses are not only dwellings but also cultural artifacts connected to kinship, rituals, and ecological wisdom. The paper introduces community-based conservation models that preserve architectural authenticity while accommodating modern living. These insights provide a scientific foundation for sustainable rural development and culturally sensitive heritage policies.

Keywords: Thai ethnic group, Vernacular architecture, Cultural identity, Heritage conservation, Northwest Vietnam, Sustainable development

1. GIỚI THIỆU

Trong tiến trình văn hóa Việt Nam, cộng đồng người Thái ở vùng Tây Bắc giữ vai trò then chốt trong bảo tồn các giá trị bản địa đặc sắc, thể hiện qua sinh hoạt, tín ngưỡng, ngôn ngữ, nghệ thuật và đặc biệt là kiến trúc nhà ở truyền thống. Nhà sàn của người Thái không chỉ là nơi cư trú, mà còn là một thiết chế văn hóa sống phản ánh sự đan kết giữa tự nhiên - xã hội - tâm linh. Ở đó, các lựa chọn

vật liệu, hệ kết cấu, hình thái, tổ chức mặt bằng và phân bố công năng hàm chứa hệ tri thức bản địa được tích lũy và truyền thừa qua nhiều thế hệ; đồng thời kiến tạo mối quan hệ hài hòa giữa con người, môi trường và cộng đồng.

Tuy nhiên, vài thập kỷ gần đây, chuyển động kinh tế - xã hội mạnh mẽ tại Tây Bắc kéo theo những biến đổi sâu sắc trong nhu cầu và hình thức cư trú. Nhiều nhà sàn truyền thống được thay thế bởi

công trình kiên cố kiểu nhà xây phổ biến ở vùng đồng bằng, nhằm đáp ứng tiêu chí tiện nghi, an toàn và thẩm mỹ theo quan niệm đương đại. Quá trình này, dù cải thiện điều kiện sống, vẫn tạo ra nguy cơ đứt gãy các giá trị văn hóa - kiến trúc cốt lõi của người Thái, đe dọa tính liên tục văn hóa và làm suy giảm bản sắc ở quy mô cộng đồng địa phương.

Trong bối cảnh đó, việc nghiên cứu hệ thống các đặc trưng kiến trúc - văn hóa của nhà ở truyền thống người Thái, đồng thời đề xuất giải pháp bảo tồn thích ứng phù hợp với điều kiện phát triển hiện nay, là yêu cầu cấp thiết. Mục tiêu không chỉ dừng ở bảo tồn một loại hình kiến trúc, mà còn khẳng định vai trò của tri thức bản địa trong phát triển bền vững, góp phần định hướng xây dựng nông thôn mới có nhạy cảm văn hóa và củng cố đa dạng văn hóa của Việt Nam.

Bài viết này hướng đến hai mục tiêu chính: (i) nhận diện và phân tích các giá trị văn hóa - kiến trúc cốt lõi trong nhà ở truyền thống người Thái vùng Tây Bắc, và (ii) đề xuất các mô hình bảo tồn bản sắc kiến trúc dân tộc trên cơ sở tiếp cận liên ngành và phù hợp với xu thế phát triển hiện đại. Nghiên cứu được thực hiện trên cơ sở khảo sát thực địa, phỏng vấn cộng đồng và nghiên cứu tình huống tại 06 tỉnh trọng điểm, kết hợp giữa kiến thức chuyên môn về kiến trúc, văn hóa học và xã hội học không gian. Những kết quả thu được kỳ vọng sẽ đóng góp vào kho tàng tri thức khoa học liên ngành về bảo tồn kiến trúc truyền thống các dân tộc thiểu số trong điều kiện chuyển đổi hiện nay.

Câu hỏi nghiên cứu:

- 1: Những giá trị và đặc trưng nào định hình bản sắc văn hóa của nhà ở truyền thống người Thái?
- 2: Các tác nhân biến đổi hiện nay ảnh hưởng đến từng giá trị ra sao?
- 3: Mô hình nào giúp cân bằng giữa bảo tồn bản sắc và nhu cầu tiện nghi - an toàn đương đại?

2. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU

Trong bối cảnh toàn cầu hóa và hiện đại hóa, vấn đề bảo tồn kiến trúc truyền thống và bản sắc văn hóa các dân tộc thiểu số đã nhận được sự quan tâm ngày càng lớn từ giới học giả trong và ngoài nước. Các nghiên cứu quốc tế khẳng định kiến trúc bản địa là một dạng biểu đạt văn hóa sâu sắc, gắn với điều kiện tự nhiên, môi trường sống và cấu trúc xã hội của cộng đồng [1,2]. Cách tiếp cận này được phát triển trong các lý thuyết bảo tồn di sản phi vật thể, coi kiến trúc dân gian không chỉ là hiện vật vật chất mà còn là hệ tri thức sống, cần được bảo tồn thích ứng với sự tham gia của cộng đồng [3,4,5].

Tại Việt Nam, các công trình nghiên cứu về nhà ở truyền thống dân tộc Thái đã tập trung vào nhiều khía cạnh: đặc điểm hình thái kiến trúc [6,7], mối quan hệ giữa kiến trúc và môi trường tự nhiên - xã hội [8], hay phân tích vai trò của nhà sàn trong cấu trúc cộng đồng và nghi lễ văn hóa [9]. Một số đề tài cấp bộ và cấp tỉnh cũng đã tiến hành điều tra, tư liệu hóa hệ thống nhà sàn truyền thống tại các địa phương như Sơn La, Điện Biên và Lai Châu.

Tuy nhiên, đa số các nghiên cứu hiện nay vẫn thiên về mô tả và phân tích đơn ngành, chưa làm rõ mối quan hệ phức hợp giữa kiến trúc, bản sắc và chuyển đổi kinh tế - xã hội. Đặc biệt, thiếu các công trình tiếp cận vấn đề bảo tồn kiến trúc truyền thống dân tộc Thái trong bối cảnh phát triển hiện đại, nhằm hướng tới mô hình bảo tồn tích hợp giữa truyền thống và nhu cầu sống đương đại. Khoảng trống này trở nên cấp thiết trong bối cảnh các chương trình xây dựng nông thôn mới, phát triển du lịch cộng đồng và xu hướng kiên cố hóa nhà ở đang tạo áp lực lớn lên không gian cư trú truyền thống ở vùng Tây Bắc.

Trên cơ sở kế thừa các hướng tiếp cận từ kiến trúc học, văn hóa học và xã hội học không gian, nghiên cứu này nhằm bổ khuyết khoảng trống nói trên bằng cách tiếp cận liên ngành, vừa đảm bảo chiều sâu phân tích, vừa gắn với mục tiêu phát triển bền vững tại miền núi phía Bắc Việt Nam.

3. HƯỚNG TIẾP CẬN VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

3.1. Hướng tiếp cận nghiên cứu

Nghiên cứu này được thực hiện tại các bản người Thái thuộc 06 tỉnh Tây Bắc của Việt Nam (trước khi sáp nhập): Hòa Bình, Sơn La, Điện Biên, Lai Châu, Lào Cai và Yên Bái; sử dụng phương pháp tiếp cận liên ngành và tích hợp, kết nối giữa các lĩnh vực kiến trúc, nhân học văn hóa, xã hội học không gian và quy hoạch phát triển nông thôn. Việc nghiên cứu kiến trúc truyền thống không thể tách rời khỏi bối cảnh văn hóa - xã hội mà trong đó nó được hình thành và vận hành. Đồng thời, để đề xuất được các mô hình bảo tồn hiệu quả, cần xem xét một cách cân bằng cả yếu tố bản sắc và nhu cầu thích nghi trong quá trình hiện đại hóa.

Cách tiếp cận liên ngành cho phép phân tích tổng thể mối quan hệ giữa hình thái kiến trúc - không gian sống - đời sống cộng đồng, từ đó nhận diện rõ các giá trị cốt lõi cần bảo tồn, cũng như các yếu tố nguy cơ dẫn đến mai một di sản kiến trúc truyền thống.

3.2. Phương pháp nghiên cứu

- Thu thập dữ liệu thực địa:

- Quan sát tham dự về không gian nhà ở, hoạt động sinh hoạt, nghi lễ trong và quanh ngôi nhà.
- Phỏng vấn bán cấu trúc với người dân bản địa (chủ hộ, nghệ nhân, thợ xây truyền thống, già làng) để thu thập thông tin về quá trình xây dựng, quan niệm về nhà ở, các biến đổi theo thời gian.
- Lập hồ sơ kiến trúc: đo vẽ, chụp ảnh, ghi chép kết cấu, vật liệu, bố cục không gian của các ngôi nhà sàn truyền thống còn nguyên vẹn.

- Phỏng vấn chuyên gia: kiến trúc sư, nhà dân tộc học, cán bộ văn hóa địa phương để có thêm góc nhìn chuyên môn và chính sách.

- Phân tích dữ liệu:

- Phân tích nội dung các dữ liệu phỏng vấn, nhật ký điền dã.
- Phân tích hình thái kiến trúc để nhận diện các yếu tố cấu thành bản sắc nhà ở người Thái.
- So sánh đối chiếu giữa các nghiên cứu đã có để chỉ ra sự đa dạng vùng miền và mức độ biến đổi kiến trúc.
- Tổng hợp và đề xuất giải pháp:
- Xây dựng khung tiêu chí bảo tồn dựa trên các yếu tố cốt lõi của bản sắc kiến trúc.
- Đề xuất các mô hình bảo tồn phù hợp theo 3 hướng: bảo tồn nguyên trạng, bảo tồn cải tiến, và tái lập biểu tượng kiến trúc trong thiết kế mới.
- Tham vấn cộng đồng và chuyên gia để đánh giá tính khả thi của các giải pháp.

4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

4.1. Đặc trưng kiến trúc nhà ở truyền thống người Thái

Qua khảo sát tại 06 bản địa bản nghiên cứu vùng Tây Bắc, có thể khái quát một số đặc trưng kiến trúc nhà ở truyền thống của người Thái: Nhà thường được dựng trên cột gỗ cao từ 1,5-2 m, chia làm hai tầng rõ rệt: tầng trên để ở, tầng dưới để chứa nông cụ, gia súc hoặc làm nơi sinh hoạt phụ trợ, không gian này tạo điều kiện thông thoáng, phù hợp khí hậu và phòng tránh thú dữ, lũ lụt. Cấu trúc không gian chia thành 5 gian, bao gồm gian thờ, gian tiếp khách, khu vực bếp, nơi ngủ và khu sinh hoạt chung - cách bố cục

phản ánh rõ tính thứ bậc, giới tính và nghi lễ văn hóa trong đời sống người Thái. Sử dụng vật liệu địa phương và thân thiện môi trường như gỗ, tre, nứa, lá cọ được sử dụng linh hoạt, thể hiện khả năng thích ứng với điều kiện sinh thái vùng núi. Trang trí trong nhà sàn Thái là một hệ ngôn ngữ biểu tượng gắn với sinh kế, nghi lễ và trật tự xã hội, được thể hiện chủ yếu trên cấu kiện gỗ - tre; các trang trí điển hình có thể kể đến là đầu nóc/bờ mái/đầu hồi, khâu cắt hình

chữ X trên mái, lan can - tay vịn - song cửa có hình thái và nhịp điệu; thêm vào đó là hệ kèo - xà và bậu cửa chạm họa tiết hình học/cây cỏ, mô tả cách bố trí theo cặp đối xứng. Việc dựng nhà thường huy động cả bản làng, gắn liền với lễ cúng nhập trạch, thể hiện sự gắn kết cộng đồng và quan niệm "nhà không chỉ là chỗ ở, mà là phần nối dài của linh hồn dân tộc".

Bảng 1. Đặc trưng kiến trúc nhà ở truyền thống dân tộc Thái

Đặc điểm	Mô tả	Hình ảnh
Kết cấu - hình thái	Nhà sàn trên cột gỗ 1,5-2 m, hai tầng; tầng trên để ở, tầng dưới phụ trợ; thông thoáng, tránh thú dữ và lũ.	
Cấu trúc không gian	Gồm gian thờ, gian khách, bếp, ngủ, sinh hoạt chung; bố cục thể hiện rõ thứ bậc, phân giới tính và nghi lễ.	
Vật liệu xây dựng	Gỗ, tre, nứa, lá cọ được dùng linh hoạt, cho thấy khả năng thích ứng với sinh thái vùng núi.	
Trang trí	Trang trí là ngôn ngữ biểu tượng trên gỗ-tre: đầu nóc/bờ mái/đầu hồi, khâu cắt chữ X, lan can-song cửa nhịp điệu, kèo-xà/bậu cửa chạm hình học-cây cỏ, đối xứng.	
Gắn kết cộng đồng	Dựng nhà huy động cả bản, gắn lễ cúng-nhập trạch; quan niệm nhà ở là phần nối dài của "linh hồn cộng đồng".	

4.2. Nguy cơ mai một kiến trúc truyền thống

Dù hình thức nhà sàn vẫn còn hiện diện tại một số bản, quá trình hiện đại hóa, chuyển dịch sinh kế và áp lực từ phát triển du lịch đang tạo ra những nguy cơ mai một có thể quan sát rõ trong không gian ở của người Thái vùng Tây Bắc. Trên cơ sở khảo sát thực địa đa địa điểm, đo vẽ, phỏng vấn bản cấu trúc với già làng, nghệ nhân, chủ hộ, và đối chiếu với các nguồn tài liệu thứ cấp, nghiên cứu đã nhận diện 08 nguy cơ nổi bật. Những nguy cơ này phản ánh đồng thời các biến đổi về vật chất kiến trúc, tổ chức công năng - nghi lễ, chuỗi tri thức bản địa và cả bối cảnh chính sách - thị trường.

- Thay thế vật liệu bản địa: Việc thay tỷ lệ lớn gỗ, tre, nứa, lá bằng bê tông, gạch, tôn và các bề mặt công nghiệp làm suy giảm cảm quan vật liệu, vi khí hậu và đặc tính âm học đặc trưng của nhà sàn. Vỏ nhà trở nên phẳng, lạnh, ít “mộc”, kéo theo giảm chất lượng trải nghiệm không gian và nhận diện bản địa.

- Biến đổi hệ kết cấu và hình thái mái: Chuyển từ khung gỗ-mộng truyền thống sang khung bê tông cốt thép/thép, đồng thời thay đổi độ dốc mái, vì kèo, nhịp hiên-cầu thang, làm đứt gãy logic hình khối. Kết quả là profile và tỷ lệ đặc trưng của nhà sàn bị biến dạng, ảnh hưởng trực tiếp tới bản sắc hình thái.

- Xáo trộn trục thờ - khách - bếp: Các can thiệp như di dời gian thờ, bít kín hiên, đảo hướng/chuỗi giao thông, ngăn chia phòng tùy tiện làm đứt mạch trật tự nghi lễ-công năng. Trục linh thiêng vốn là “xương sống” tổ chức không gian bị suy yếu, kéo theo thay đổi hành vi và ý nghĩa sử dụng.

- Tiệm nghi hiện đại xâm lấn: Bố trí khối vệ sinh khép kín/phòng ngủ kín ngay trên trục thờ-khách-bếp và lắp đặt thiết bị che khuất thông gió-ánh sáng tự nhiên làm suy giảm tính cộng đồng và nhịp sinh hoạt mở. Việc thêm tiệm nghi thiếu kiểm soát làm mất cân bằng giữa nhu cầu hiện đại và cấu trúc không gian truyền thống.

- Đứt gãy truyền nghề: Số lượng thợ mộc/nghệ nhân am hiểu kỹ thuật mộng-chốt, chạm khắc truyền thống suy giảm, trong khi Bảng 2. Nguy cơ mai một kiến trúc nhà ở truyền thống dân tộc Thái

Thứ tự	Nhóm nguy cơ	Chỉ báo	Nguyên nhân
1	Vật liệu	Thay thế vật liệu bản địa (>50%) bằng BTCT/tường gạch/mái tôn gây mất cảm quan vật liệu truyền thống	Dễ thi công, bền hơn, chi phí thấp hơn
2	Kết cấu	Thay đổi kết cấu chính (cột-kèo-xà gỗ → khung BTCT/thép), phá vỡ hình thái tổng thể	Dễ thi công, bền hơn, chi phí thấp hơn
3	Công năng-bố cục	Phá vỡ trục thờ-khách-bếp; phòng ngủ kín; chuyển vị trí gian thờ; bít kín hiên/cầu thang; WC khép kín	Nhu cầu riêng tư, tăng cường tiện nghi
4	Công năng-bố cục	Tiệm nghi hiện đại xâm lấn (WC khép kín, phòng ngủ kín) làm đứt mạch nghi lễ/giao tiếp	Nhu cầu riêng tư, tiện nghi cá nhân
5	Tri thức nghề nghiệp	Thiếu thợ mộc/nghệ nhân kế tục; phụ thuộc thợ ngoài bản	Ngành nghề mai một, không người tiếp nối
6	Nghi lễ	Nghi lễ dựng nhà, nhập trạch bị giản lược thậm chí không thực hành	Xu hướng đời sống mới, giản lược hay bỏ qua các nghi lễ truyền thống
7	Chính sách	Mẫu nhà nông thôn mới áp đặt hình thức kiến trúc, tiệm nghi hóa mà không xem xét đặc trưng bản địa	Chính sách phát triển nông thôn mới
8	Du lịch	Áp lực du lịch, tạo thành homestay dẫn tới lai tạp chi tiết công nghiệp, mất bản sắc	Nhu cầu tối ưu khả năng phục vụ khách du lịch

4.3. Mô hình đề xuất: Hướng đến bảo tồn thích ứng và lấy cộng đồng làm trung tâm

Trong bối cảnh hiện nay, bảo tồn kiến trúc truyền thống của các dân tộc thiểu số không thể chỉ dừng lại ở việc duy trì nguyên trạng các công trình, mà cần hướng tới một mô hình *bảo tồn thích ứng*

việc thi công phụ thuộc thầu xây ngoài bản gia tăng. Hệ quả là chi tiết bị sai lệch, kỹ thuật bản địa không được kế tục, đe dọa tính xác thực của công trình.

- Giản lược nghi lễ gắn với dựng nhà: Các nghi lễ chọn đất, dựng cột, cất nóc, nhập trạch bị rút gọn hoặc bỏ qua; vai trò thầy mo giảm sút. Điều này làm suy yếu tính xác thực thực hành và tri thức nghi lễ đi kèm, vốn là nền tảng tinh thần của không gian ở.

- Chuẩn hóa hành chính và mẫu nhà nông thôn mới: Áp dụng các mẫu/tiêu chí “kiến cổ hóa” thiếu xét đến đặc trưng bản địa, thậm chí gắn hỗ trợ tài chính với kiểu mặt đứng phi truyền thống. Quá trình chuẩn hóa dẫn đến đồng dạng hình thức, làm lệch khỏi ngôn ngữ nhà sàn và xóa nhòa khác biệt địa phương.

- Áp lực du lịch/homestay: Xu hướng “sân khấu hóa” nội thất, bổ sung chi tiết công nghiệp “giả truyền thống” và nâng cấp tiệm nghi theo thị hiếu du khách khiến mô-típ bị lai tạp. Biểu tượng và tinh thần không gian phai nhạt, trong khi tính xác thực thẩm mỹ-văn hóa giảm sút.

Các nhóm nguy cơ chính dẫn đến sự mai một kiến trúc nhà sàn người Thái được trình bày tóm tắt trong Bảng 2.

Cần nhấn mạnh rằng mức độ biểu hiện của các nguy cơ tác động đến kiến trúc truyền thống không hoàn toàn đồng nhất giữa các nhóm địa phương của người Thái cũng như giữa các vùng cư trú khác nhau. Sự khác biệt này xuất phát từ nhiều yếu tố, bao gồm điều kiện tự nhiên - môi trường, mức độ phát triển kinh tế - xã hội, quá trình giao lưu - tiếp biến văn hóa và đặc thù trong phong tục tập quán sinh hoạt. Tuy nhiên, khi xem xét trên tổng thể, các nguy cơ ấy đều phản ánh một xu hướng chung đáng lo ngại: các yếu tố cốt lõi cấu thành bản sắc nhà sàn truyền thống của người Thái, từ hình thái kiến trúc, kỹ thuật dựng nhà, cho đến không gian sử dụng gắn với đời sống cộng đồng, đang dần suy giảm và bị mai một. Điều này đặt ra thách thức lớn đối với công tác bảo tồn và phát huy giá trị di sản kiến trúc trong bối cảnh hiện đại.

(adaptive conservation), vừa tôn trọng giá trị truyền thống, vừa đáp ứng nhu cầu sống đương đại. Đây là một định hướng tiếp cận mở, linh hoạt, nhấn mạnh sự kết hợp giữa tri thức bản địa và các giải pháp kỹ thuật - công nghệ mới, nhằm duy trì tính bền vững lâu dài cho không gian cư trú truyền thống.

Mô hình bảo tồn thích ứng và lấy cộng đồng làm trung tâm để xuất phát dựa trên ba trụ cột chính:

1. **Bảo tồn kiến trúc - văn hóa:** Giữ gìn những đặc điểm cơ bản của hình thái kiến trúc, kết cấu, tổ chức không gian và giá trị văn hóa - tâm linh. Các yếu tố này cần được xác định rõ thông qua điều tra, khảo sát và phân loại, nhằm xác định đâu là thành tố cốt lõi cần bảo tồn, đâu là thành tố có thể điều chỉnh linh hoạt để phù hợp với bối cảnh mới.

2. **Thích ứng với nhu cầu đương đại:** Nhà ở truyền thống cần được điều chỉnh để đáp ứng các tiêu chuẩn tiện nghi hiện nay như thông gió, chiếu sáng, vệ sinh, an toàn phòng cháy chữa cháy và khả năng chống chịu thiên tai, biến đổi khí hậu. Việc cải tạo có chọn lọc, kết hợp vật liệu địa phương với công nghệ xây dựng mới sẽ giúp nâng cao chất lượng sống mà vẫn giữ được tinh thần kiến trúc bản địa.

3. **Lấy cộng đồng làm trung tâm:** Bảo tồn chỉ có thể bền vững khi gắn liền với sự tham gia chủ động của cộng đồng. Người dân không chỉ là đối tượng thụ hưởng mà còn là chủ thể của quá trình bảo tồn - phát triển. Việc khuyến khích cộng đồng tham gia từ khâu thiết kế, lựa chọn vật liệu, đến xây dựng và quản lý sử dụng sẽ giúp duy trì tính bản sắc, tăng cường sự gắn kết và trách nhiệm chung. Đây cũng là cơ sở để phát triển du lịch cộng đồng, nâng cao thu nhập và cải thiện đời sống kinh tế - xã hội.

Từ ba trụ cột trên, mô hình bảo tồn thích ứng có thể được triển khai theo ba cấp độ:

- Cấp độ hộ gia đình: cải tạo không gian sống phù hợp nhu cầu hiện tại nhưng vẫn bảo lưu cấu trúc cơ bản.

- Cấp độ cộng đồng bản làng: giữ gìn cấu trúc định cư truyền thống, không gian sinh hoạt chung, lễ hội và phong tục tập quán.

- Cấp độ vùng và liên kết du lịch: phát triển sản phẩm văn hóa - du lịch gắn với không gian ở truyền thống, qua đó tạo động lực kinh tế cho công tác bảo tồn.

Như vậy, mô hình bảo tồn thích ứng, lấy cộng đồng làm trung tâm không chỉ bảo vệ các giá trị văn hóa - kiến trúc, mà còn góp phần tạo lập một hệ sinh thái phát triển bền vững, trong đó cộng đồng vừa là chủ thể bảo tồn, vừa là người hưởng lợi từ chính di sản của mình.

Bảng 3. Mô hình bảo tồn thích ứng và lấy cộng đồng làm trung tâm

Trụ cột	Nội dung
Bảo tồn kiến trúc - văn hóa	- Giữ nguyên hình thái nhà ở truyền thống - Phục dựng không gian truyền thống - Khôi phục nghi lễ dựng nhà
Thích ứng nhu cầu đương đại	- Cải tạo hệ thống vệ sinh, chiếu sáng và thông gió tự nhiên - Kết hợp vật liệu địa phương với công nghệ xây dựng mới - Ứng dụng kỹ thuật chống lũ, sạt lở
Lấy cộng đồng làm trung tâm	- Thành viên hộ gia đình tham gia trực tiếp vào thiết kế, xây dựng - Truyền nghề, truyền dạy nghi lễ dựng nhà - Phát triển du lịch cộng đồng gắn với bản sắc nhà ở

5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

5.1. Kết luận

Nghiên cứu đã hệ thống hóa các giá trị kiến trúc và văn hóa của nhà ở truyền thống dân tộc Thái vùng Tây Bắc thông qua phương pháp khảo sát thực địa, phân tích hình thái kiến trúc, và tiếp cận văn hóa - xã hội học. Kết quả cho thấy nhà sàn của người Thái không chỉ là một sản phẩm vật chất đơn thuần mà còn là không gian biểu đạt của thế giới quan, cấu trúc cộng đồng và tri thức bản địa được tích lũy qua nhiều thế hệ.

Tuy nhiên, trước tác động của quá trình hiện đại hóa, toàn cầu hóa và phát triển du lịch, kiến trúc truyền thống đang đối mặt với nguy cơ mai một nghiêm trọng, biểu hiện qua sự biến đổi vật liệu, chức năng không gian, và mất dần các kỹ thuật xây dựng cũng như nghi lễ truyền thống.

Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất **Mô hình bảo tồn thích ứng và lấy cộng đồng làm trung tâm**. Mô hình này được xây dựng trên ba trụ cột chính: (i) **Bảo tồn kiến trúc - văn hóa** bằng cách giữ gìn bản sắc cốt lõi; (ii) **Thích ứng nhu cầu đương đại** thông qua việc tích hợp các tiện nghi và công nghệ phù hợp; và (iii) **Lấy cộng đồng làm trung tâm** bằng cách trao quyền chủ thể cho người dân địa phương. Mô hình này hướng tới một cách tiếp cận bảo tồn "sống" thay vì "bảo tàng hóa" di sản.

5.2. Kiến nghị

Để đảm bảo các giải pháp bảo tồn kiến trúc nhà ở truyền thống dân tộc Thái phát huy hiệu quả và bền vững, nghiên cứu đưa ra một số kiến nghị chính sách sau:

1. **Lồng ghép bản sắc kiến trúc dân tộc vào quy hoạch xây dựng nông thôn mới:** Cần tích hợp các yếu tố hình thái kiến trúc bản địa vào các thiết kế nhà ở, trung tâm cộng đồng, trường học và nhà văn hóa, nhằm nâng cao tính nhận diện và bản sắc văn hóa không gian.

2. **Ban hành bộ tiêu chí bảo tồn kiến trúc truyền thống:** Xây dựng một bộ tiêu chí linh hoạt, cho phép sử dụng vật liệu hiện đại trong giới hạn, đồng thời yêu cầu bảo toàn các yếu tố đặc trưng như hình thức mái, không gian thờ và bố trí các gian chính.

3. **Thiết lập cơ chế hỗ trợ cộng đồng:** Tạo lập quỹ hỗ trợ cải tạo, duy tu nhà sàn cũ, cùng các chính sách miễn giảm thuế, phí xây dựng và hỗ trợ kỹ thuật cho các hộ gia đình có nguyện vọng bảo tồn.

4. **Khôi phục và phát triển tri thức bản địa:** Tổ chức các chương trình truyền nghề cho thợ mộc, nghệ nhân dân gian; tư liệu hóa các nghi lễ dựng nhà, cúng nhà mới; và phát triển các hoạt động này như một phần của di sản văn hóa phi vật thể.

5. **Quản lý phát triển du lịch cộng đồng:** Xây dựng bộ tiêu chuẩn hướng dẫn thiết kế homestay theo phong cách truyền thống, nhằm tránh tình trạng "mô hình hóa du lịch" làm biến dạng không gian sống và bản sắc văn hóa.

Như vậy, nghiên cứu khẳng định rằng bảo tồn kiến trúc truyền thống dân tộc Thái không chỉ nhằm giữ gìn một loại hình nhà ở, mà còn góp phần duy trì tri thức bản địa, củng cố bản sắc văn hóa, đồng thời mở ra cơ hội phát triển bền vững cho cộng đồng trong bối cảnh hội nhập và biến đổi hiện nay.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Rapoport, A. (1969). *House Form and Culture*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- [2]. Oliver, P. (1997). *Encyclopedia of Vernacular Architecture of the World*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [3]. UNESCO (2003). *Convention for the Safeguarding of the Intangible Cultural Heritage*. Paris: UNESCO.
- [4]. Loulanski, T. (2006). Revising the Concept for Cultural Heritage: The Argument for a Functional Approach. *International Journal of Cultural Property*, 13(2), 207-233.
- [5]. Jokilehto, J. (2006). Considerations on Authenticity and Integrity in World Heritage Context. *City & Time*, 2(1), 1-16.
- [6]. Nguyễn Văn Huyền (2006). Văn minh Việt Nam. Hà Nội: NXB Văn hóa Thông tin.
- [7]. Bùi Quang Thanh (2012). Kiến trúc truyền thống người Thái ở Việt Nam. *Tạp chí Dân tộc học*, (4), 45-53.
- [8]. Lê Quý Đức (2014). Kiến trúc dân gian và môi trường sống của người Thái. *Tạp chí Văn hóa Nghệ thuật*, (6), 20-27.
- [9]. Trần Hữu Sơn (2017). Nhà sàn và đời sống văn hóa của người Thái vùng Tây Bắc. *Tạp chí Văn hóa Dân gian*, (3), 15-22.

Tổ chức không gian cư trú dân tộc Thái tỉnh Thanh Hoá gắn với du lịch cộng đồng: Cơ sở thực tiễn và hệ thống tiêu chí đánh giá đề xuất

Spatial organization of Thai ethnic minority settlements in Thanh Hoa province in relation to community-based tourism: Practical bases and proposed evaluation criteria system

> LƯƠNG THỊ HIỂN*, NGUYỄN THANH TÚ

Khoa Kiến trúc & Quy hoạch, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

*Email: hienlt@huce.edu.vn

TÓM TẮT

Trong bối cảnh toàn cầu hóa và đô thị hóa, việc bảo tồn và phát huy giá trị bản sắc văn hóa của các dân tộc thiểu số ở Việt Nam, đặc biệt là trong tổ chức không gian cư trú (KGCT) đang trở thành một vấn đề cấp thiết. Cộng đồng người Thái tại tỉnh Thanh Hóa, với truyền thống lâu đời trong tổ chức bản làng và kiến trúc nhà sàn, hiện đang đối mặt với nhiều biến đổi sâu sắc dưới tác động của phát triển kinh tế và du lịch. Tổ chức KGCT truyền thống không chỉ mang giá trị văn hóa đặc sắc mà còn tiềm ẩn tiềm năng lớn trong phát triển du lịch cộng đồng (DLCĐ) theo hướng bền vững.

Tuy nhiên, thực tiễn cho thấy hệ thống hạ tầng và không gian dịch vụ hỗ trợ còn hạn chế, trong khi cơ chế quản lý và chia sẻ lợi ích cộng đồng chưa hoàn thiện, dẫn đến nhiều thách thức trong công tác bảo tồn và khai thác. Bài báo tập trung nghiên cứu thực trạng, nhận diện KGCT của dân tộc Thái, kết hợp khảo sát xã hội học và tham vấn chuyên gia để xây dựng hệ thống tiêu chí đánh giá (HTTCĐG). Hệ thống gồm bốn nhóm chính: (i) Tổ chức cấu trúc không gian bản, (ii) Tổ chức không gian khuôn viên ngôi nhà, (iii) Tổ chức không gian kiến trúc nhà ở, và (iv) Tổ chức quản lý với sự tham gia của cộng đồng. Mỗi nhóm tiêu chí được cụ thể hóa thành các tiêu chí, tiểu tiêu chí và khung điểm số nhằm phản ánh đầy đủ giá trị truyền thống, mức độ đáp ứng và tiềm năng khai thác du lịch.

Từ khóa: Tổ chức không gian cư trú, du lịch cộng đồng, hệ thống tiêu chí đánh giá, dân tộc Thái, tỉnh Thanh Hoá

ABSTRACT

In the context of globalization and urbanization, the preservation and promotion of ethnic minority identities in Vietnam, particularly concerning the organization of residential spaces, have become pressing issues. The Thai people in Thanh Hoa province - a community with a long-standing tradition of village organization and stilt house architecture - are currently facing numerous transformations due to economic development and tourism. The traditional organization of residential spaces not only possesses unique cultural values but also holds immense potential for sustainable community-based tourism development. However, practical implementation reveals limitations in infrastructure and supplementary service spaces, while management mechanisms and community benefit-sharing remain incomplete, leading to significant challenges in both preservation and exploitation. This paper focuses on investigating the current situation, identifying the values of the Thai ethnic group's residential spaces, combining sociological surveys with expert consultations to develop an evaluation criteria system. The system comprises four main groups: (i) Village structural organization, (ii) Compound space organization, (iii) Residential architectural organization, and (iv) Management organization with community participation. Each group of criteria is further detailed into specific criteria, sub-criteria, and scoring frameworks to comprehensively reflect traditional values, responsiveness, and tourism exploitation potential.

Keywords: Spatial organization of residential areas, community-based tourism, evaluation criteria system, Thai ethnic group, Thanh Hoa province

1. MỞ ĐẦU

Trong bối cảnh toàn cầu hóa và đô thị hóa ngày càng mạnh mẽ, việc bảo tồn và phát huy bản sắc văn hóa của các dân tộc thiểu số ở Việt Nam trở thành một nhiệm vụ cấp thiết, đặc biệt trong tổ chức không gian cư trú truyền thống. Người Thái - một cộng đồng dân tộc lớn ở miền núi phía Bắc, nổi bật với không gian cư trú gắn bó mật thiết với cảnh quan tự nhiên, đời sống cộng đồng và kiến trúc nhà sàn đặc trưng. Tại tỉnh Thanh Hóa, nơi đồng bào Thái tập trung đông tại các huyện Quan Hóa, Quan Sơn và Bá Thước, không gian cư trú truyền thống không chỉ mang giá trị văn hóa đặc sắc mà còn là nguồn lực quan trọng cho phát triển DLCĐ. Tuy nhiên, quá trình phát triển kinh tế - xã hội và sự gia tăng hoạt động du lịch đang đặt ra nhiều thách thức: nhà sàn bị thay thế bởi công trình hiện đại, cấu trúc bản làng biến đổi, và các giá trị văn hóa phi vật thể có nguy cơ mai một.

Trong bối cảnh đó, việc nghiên cứu nhằm nhận diện, bảo tồn và khai thác KGCT dân tộc Thái gắn với phát triển DLCĐ bền vững ở Thanh Hóa là rất cần thiết. Hiện nay, Việt Nam vẫn thiếu một hệ thống tiêu chí khoa học để đánh giá KGCT dân tộc Thái trong mối quan hệ với DLCĐ. Các nghiên cứu trước chủ yếu dừng ở mô tả thực trạng hoặc phân tích giá trị văn hóa, thiếu một khung tiêu chí toàn diện phục vụ quản lý, quy hoạch và phát triển. Trong khi đó, Thanh Hóa định hướng du lịch cộng đồng thành ngành kinh tế mũi nhọn ở miền núi, đòi hỏi công cụ khoa học xác định yếu tố cần bảo tồn, lựa chọn mô hình khai thác phù hợp và cân bằng giữa tăng trưởng kinh tế với gìn giữ bản sắc. Việc xây dựng hệ thống tiêu chí vì thế vừa bổ sung cơ sở lý luận về bảo tồn, phát triển KGCT dân tộc, vừa có tính ứng dụng cao, hỗ trợ quản lý nhà nước, doanh nghiệp và cộng đồng trong hoạch định, tổ chức và giám sát hoạt động DLCĐ.

Mục tiêu nghiên cứu của bài báo là đề xuất một HTTCĐG tổ chức KGCT dân tộc Thái tại tỉnh Thanh Hóa theo hướng phục vụ du lịch cộng đồng dựa trên tiếp cận đa chiều, kết hợp các khía cạnh kiến trúc - không gian, văn hóa - xã hội, môi trường - sinh thái và quản lý phát triển.

2. CÁC KHÁI NIỆM, ĐỊNH NGHĨA LIÊN QUAN

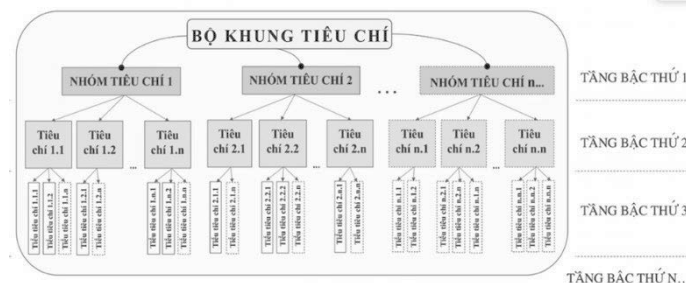
KGCT chỉ môi trường diễn ra các hoạt động tại nơi ở của mỗi cá nhân, mỗi gia đình - bao gồm nhà ở và không gian cận kề bên ngoài ngôi nhà [8]. Cụ thể hơn, KGCT là một tổ hợp các không gian chức năng sinh sống của con người, gồm không gian ăn, ở, sinh hoạt, diễn ra các hoạt động văn hoá và tâm linh, sản xuất... KGCT gồm các cấp độ: (i) Không gian bản, làng (bao gồm cả không gian sản xuất); (ii) Không gian khuôn viên ngôi nhà và (iii) Không gian nhà ở của mỗi gia đình. KGCT không chỉ đáp ứng nhu cầu ở và sinh hoạt hàng ngày mà còn phản ánh quan hệ văn hóa xã hội, bản sắc tộc người, tri thức bản địa và sự thích ứng của cộng đồng với điều kiện tự nhiên.

DLCĐ là loại hình du lịch được phát triển trên cơ sở các giá trị văn hóa của cộng đồng, do cộng đồng dân cư quản lý, tổ chức khai thác và hưởng lợi [10]. DLCĐ còn được hiểu là du lịch ba cùng: cùng ăn, cùng ở và cùng sinh hoạt chung với người dân địa phương - nhằm giúp người trải nghiệm (khách du lịch) có thể tìm hiểu và hiểu biết thêm về văn hóa của người dân bản địa.

Một bộ tiêu chí (BTC) hay còn gọi là "Hệ thống tiêu chí đánh giá" (HTTCĐG) cho môi trường xây dựng (như cho đánh giá KGCT) đều có mục tiêu, đối tượng đánh giá. HTTCĐG gồm hai thành phần cơ bản là khung tiêu chí và khung điểm số. [4]

Khung tiêu chí gồm các tầng bậc: Ở cấp cao nhất là Nhóm tiêu chí (*Group of Criteria*) đại diện cho các lĩnh vực hay khía cạnh trọng yếu. Mỗi nhóm bao gồm các Tiêu chí (*Criteria*) phản ánh các nhóm nội dung/ vấn đề cụ thể, chính yếu. Các Tiêu chí tiếp tục được chi

tiết hóa thành các Tiêu tiêu chí (*Sub-criteria*) - phản ánh những nội dung chi tiết hơn. Cuối cùng là các căn cứ đánh giá (*Indicators*) dưới dạng thông số định tính hoặc chỉ báo định lượng, dùng để đo lường trực tiếp [4].



Hình 1. Cấu trúc của khung tiêu chí trong HTTCĐG [4]

Mỗi khung tiêu chí đi kèm một khung điểm số, phản ánh mức độ quan trọng và mức độ đáp ứng của từng căn cứ. Điểm của một tiêu chí được xác định bằng tổng điểm các căn cứ thành phần; điểm của một nhóm tiêu chí được hình thành từ tổng điểm các tiêu chí trong nhóm. Cuối cùng, tổng hợp điểm của các nhóm tiêu chí sẽ cho ra điểm chung của khu vực, dự án hay KGCT được đánh giá.

Các khung tiêu chí, khung điểm số khi kết hợp với các khung phân hạng, khung hướng dẫn... sẽ trở thành một bộ công cụ có khả năng áp dụng thực tiễn cao.

Trong khuôn khổ bài báo này, HTTCĐG được nghiên cứu thiết lập với ba tầng bậc; và chưa đề xuất - bàn luận đến các căn cứ. Đối tượng đánh giá là KGCT của dân tộc Thái tỉnh Thanh Hóa. Mục tiêu đánh giá là xem xét và đo lường mức độ hiệu quả, tính bền vững trong tổ chức KGCT của các cộng đồng dân tộc Thái này khi gắn với phát triển DLCĐ.

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu tập trung trả lời ba câu hỏi: (i) KGCT của dân tộc Thái tại Thanh Hóa có đặc điểm gì và đang biến đổi thế nào dưới tác động của đô thị hóa, du lịch? (ii) Những yếu tố không gian đặc trưng nào cần được xác định làm nền tảng cho phát triển DLCĐ? (iii) Hệ thống tiêu chí đánh giá cần cấu trúc gồm nhóm tiêu chí, tiêu chí, tiểu tiêu chí và khung điểm số ra sao để vừa phản ánh, bảo tồn giá trị truyền thống, vừa hỗ trợ khai thác DLCĐ theo hướng bền vững?

Phạm vi nghiên cứu: Trong 3 bản người Thái gồm bản Hiêu, bản Bút và bản Năng Cát lần lượt tại huyện Bá Thước, Quan Hóa, Lang Chánh của tỉnh Thanh Hóa, nơi còn lưu giữ rõ nét đặc trưng kiến trúc, không gian và phong tục tập quán của họ.

Để thu thập dữ liệu, nghiên cứu sử dụng các phương pháp: Khảo sát thực địa, Phỏng vấn cộng đồng dân cư và Nghiên cứu tài liệu (lý thuyết, văn bản pháp lý). Dữ liệu sau đó được xử lý bằng phương pháp Phân tích tổng hợp và so sánh nhằm xây dựng khung tiêu chí sơ bộ dựa trên cơ sở lý thuyết.

Khung tiêu chí này tiếp tục được Tham vấn chuyên gia trong giai đoạn 8/2024 – 02/2025 với sự tham gia của 10 chuyên gia, bao gồm 2 chuyên gia về quy hoạch, 6 chuyên gia nghiên cứu về kiến trúc truyền thống và về nông thôn, 2 chuyên gia về văn hóa và du lịch. Mục tiêu của tham vấn là đánh giá mức độ đầy đủ, phù hợp của khung tiêu chí sơ bộ, đồng thời cung cấp ý kiến và chấm điểm để xây dựng khung điểm số (thang điểm) đi kèm.

Điểm đánh giá được tính theo công thức tính tỉ trọng số điểm cho nhóm tiêu chí/ thành phần như sau:

$$X1 + X2 + X3 + \dots Xn = \frac{Xi}{\sum_{i=1}^n Xi} \times 100\%$$

Trong đó: X là điểm của mỗi chuyên gia cho một nhóm tiêu chí/thành phần

Xi là tổng số điểm của các chuyên gia/ nhóm tiêu chí/ tiêu chí thành phần

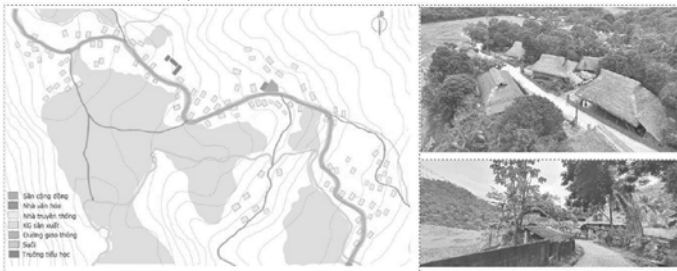
$\sum_{i=1}^n X_i$ là tổng số điểm của chuyên gia cho một nhóm tiêu chí/ tiêu chí thành phần

Mỗi nhóm tiêu chí cần được đánh giá dựa trên các chỉ số cụ thể và cho điểm theo thang điểm đã xác định. Tổng điểm sẽ phản ánh tiềm năng hoặc mức độ đáp ứng tiêu chí cho không gian cư trú các dân tộc phục vụ DLCD.

4. KHÁI QUÁT VỀ KGCT VÀ DLCD CỦA DÂN TỘC THÁI TỈNH THANH HOÁ

4.1. KGCT dân tộc Thái

Người Thái ở Thanh Hóa là một trong những cộng đồng dân tộc thiểu số có dân số đông đảo và lịch sử cư trú lâu đời, thuộc nhóm ngôn ngữ Tày - Thái [11]. KGCT của họ tập trung chủ yếu ở khu vực miền núi phía Tây tỉnh như Quan Hóa, Bá Thước, Quan Sơn, Mường Lát và Lang Chánh [3], nơi địa hình bị chia cắt mạnh, xen kẽ các thung lũng và đồng bằng nhỏ ven sông, đặc biệt là lưu vực sông Mã và sông Chu. Mối quan hệ khăng khít giữa người Thái với môi trường tự nhiên được thể hiện rõ qua tập quán canh tác lúa nước, ngan ngừ "Tày kin nậm" (Thái ăn theo nước) và nguyên tắc bố trí bản "dựa núi, nhìn sông", tạo nên cảnh quan văn hóa đặc trưng vừa thích ứng vừa hài hòa với tự nhiên [7]. Đặc biệt, nhà ở truyền thống là nhà sàn - loại hình kiến trúc thích ứng độc đáo với điều kiện tự nhiên miền núi, vừa đảm bảo công năng sinh hoạt vừa là không gian gắn kết gia đình và cộng đồng. Quá trình hình thành KGCT gắn liền với những cuộc thiên di lịch sử từ Tây Bắc Việt Nam và Lào, trong đó người Thái men theo các dòng sông lớn để định cư và xây dựng nên các trung tâm quyền lực sơ khai gọi là "mường". Tại miền núi Thanh Hóa từng tồn tại khoảng 40 mường, nổi bật là mường Ca Da (Quan Hóa), mường Khoong (Bá Thước), mường Chiềng Vạn (Thường Xuân) và mường Đeng (Lang Chánh) [6], tạo nền tảng cho sự tổ chức xã hội - lãnh thổ chặt chẽ. Đồng thời, trong quá trình cư trú và phát triển, người Thái cũng có sự giao lưu, tiếp biến với các tộc người láng giềng như Mường và Kinh, góp phần làm giàu bản sắc văn hóa cũng như duy trì sự bền vững của cộng đồng. Trải qua thời gian, KGCT của người Thái dần được ổn định và phát triển, hoàn thiện với một hệ thống cấu trúc chặt chẽ từ không gian vi mô của ngôi nhà sàn đến không gian cộng đồng của bản và không gian chính trị - xã hội của Mường. Trong bối cảnh đương đại, dưới tác động của quá trình phát triển kinh tế - xã hội, xây dựng cơ sở hạ tầng và giao lưu văn hóa, không gian cư trú truyền thống của người Thái đang trải qua những biến đổi sâu sắc. Sự thay đổi trong kiến trúc nhà ở, phương thức sản xuất và cấu trúc làng bản đang đặt ra những thách thức không nhỏ cho việc bảo tồn các giá trị di sản văn hóa gắn liền với không gian sinh tồn của dân tộc.



Hình 2. Cấu trúc bố cục theo tuyến và cảnh quan bản Bút

4.2. Không gian phục vụ DLCD

Có thể thấy, nhà văn hoá (100%), nhà ở (homestay) (77%), không gian sinh hoạt cộng đồng truyền thống (46%) là những không gian cơ bản được khai thác phục vụ du lịch cộng đồng tại hầu hết các bản làng. Trong khi đó, các không gian trải nghiệm, điểm bán đồ lưu

niệm mới chỉ xuất hiện ở một mức độ/ tỉ lệ khiêm tốn - (đều là 23%). Các hạ tầng như nhà vệ sinh công cộng, quán cà phê giải khát, hàng ăn, điểm check in, bãi đỗ xe đều rất thiếu, chỉ trong khoảng (8-15%).

Các thông số trên cho thấy không gian phục vụ DLCD tại các bản người Thái hiện mới tập trung vào những loại hình cơ bản, trong khi các dịch vụ hỗ trợ và hạ tầng thiết yếu còn rất hạn chế. Sự thiếu đồng bộ này vừa làm giảm trải nghiệm của du khách, vừa ảnh hưởng đến hiệu quả khai thác và tính bền vững của mô hình DLCD.



Hình 3. Biểu đồ về thực trạng các loại hình không gian phục vụ DLCD tại bản người Thái tại Thanh Hóa

5. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

5.1. Các giá trị cốt lõi của KGCT dân tộc Thái

Trong tổ chức không gian bản: Không gian bản của người Thái ở Thanh Hóa thể hiện rõ tư duy sinh thái và tính cộng đồng. Bản thường được đặt tại sườn đồi, chân núi, gần nguồn nước, phù hợp điều kiện tự nhiên và thuận lợi cho sản xuất. Cấu trúc bản bao gồm đất ở, đất canh tác, bãi chăn thả, rừng và khu mộ địa. Không gian cộng đồng được chú trọng như bãi đất đầu bản phục vụ lễ hội, khu "rừng ma" mang ý nghĩa tâm linh. Nhà ở bố trí thành cụm hoặc tuyến, lưng tựa núi, mặt hướng suối, hài hòa giữa khu vực ở - sản xuất - sinh hoạt, phản ánh sự gắn kết cộng đồng và lối sống thuận tự nhiên.

Trong tổ chức khuôn viên ngôi nhà: Khuôn viên ngôi nhà gắn với địa hình và cảnh quan, nhà chính đặt ở vị trí trung tâm, lưng tựa núi, mặt hướng nước hoặc cánh đồng. Hàng rào tre, cau trước nhà, bàn thờ thổ thần, vườn rau, cây ăn quả và dược liệu vừa mang giá trị văn hóa vừa phục vụ sinh hoạt. Không gian trong khuôn viên linh hoạt, kết hợp sinh hoạt gia đình, giao lưu cộng đồng và sản xuất thủ công, thể hiện sự hòa hợp giữa công năng, văn hóa và thiên nhiên.

Trong tổ chức kiến trúc cảnh quan: Cảnh quan tự nhiên miền núi Thanh Hóa phong phú với núi non, rừng, sông suối, ruộng bậc thang, hang động, góp phần hình thành cấu trúc cảnh quan giàu sinh thái và hấp dẫn du lịch. Cảnh quan nhân tạo như đường giao thông vòng quanh triển đồi, bản dọc thung lũng, ruộng bậc thang, cọn nước, cầu treo, sân lễ hội vừa đáp ứng sinh hoạt vừa tạo bản sắc, thúc đẩy du lịch cộng đồng gắn bảo tồn văn hóa.

Trong tổ chức không gian kiến trúc nhà ở: Nhà sàn người Thái là minh chứng tiêu biểu cho sự thích ứng tự nhiên và sáng tạo văn hóa. Sàn nhà được nâng cao giúp chống ẩm, tránh lũ, đảm bảo thông gió và chiếu sáng, tạo vi khí hậu mát mẻ mùa hè, ấm áp mùa đông. Vật liệu gỗ, tre, nứa, tranh thân thiện môi trường, phản ánh sự bền vững, gắn bó tự nhiên.

Về công năng, nhà thường có số gian lẻ, phân chia rõ khu vực thờ cúng, bếp, sinh hoạt, tiếp khách. Hai cầu thang phục vụ khách và gia đình. Không gian bếp giữ vai trò "linh hồn", vừa để nấu ăn vừa gắn kết sinh hoạt gia đình. Gác bếp, gác xếp tận dụng lưu trữ lương

thực. Sự bố trí này phản ánh nếp sống, phong tục và giá trị tinh thần lâu đời.

Về thẩm mỹ, ngôi nhà thể hiện sự cân đối về tỷ lệ giữa cột, thân và mái, tạo dáng vững chãi, giản dị mà tinh tế. Trang trí chi tiết chạm khắc ở cửa, lan can, hành lang... làm tăng giá trị thẩm mỹ và văn hóa.

Về kỹ thuật xây dựng, nhà sàn được dựng bằng phương pháp thủ công, dựa trên tinh thần cộng đồng hỗ trợ nhau. Bộ khung liên kết mộng khớp mà không dùng đinh, với hai kiểu vì “Khứ thẳng” và “Khay nghiêng”. Cột gỗ tốt được chôn hoặc kê trên đá, sàn bằng tre, nứa hoặc gỗ xẻ ghép khít, nhẹ và thoáng khí, chống ẩm hiệu quả.

5.2. Kết quả điều tra xã hội học và tham vấn chuyên gia

a. Kết quả điều tra xã hội học

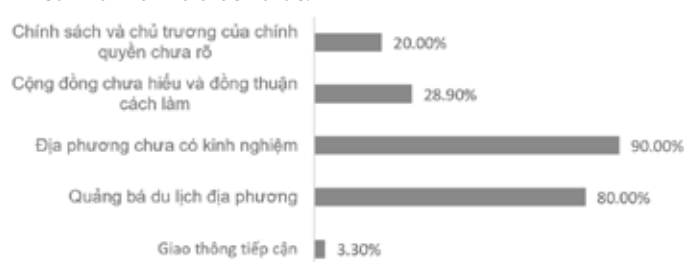
Những không gian, công trình, hạ tầng mà người dân mong muốn cần bổ sung thêm để phục vụ cho DLCĐ được tổng hợp trong biểu đồ dưới đây.



Hình 4. Biểu đồ về Những không gian, công trình, hạ tầng mà người dân mong muốn cần bổ sung thêm để phục vụ DLCĐ

Kết quả từ biểu đồ Hình 4 cho thấy, ngoài các công trình cơ bản như bãi đỗ xe (100%) hay khu vực chụp ảnh check-in (96,7%), người dân đặc biệt mong muốn bổ sung thêm các hạ tầng hỗ trợ như quán cà phê (93,3%), không gian văn hóa - lễ hội (91,7%), cũng như hệ thống xử lý rác thải, chất thải (90%). Các nhu cầu này phản ánh rõ xu hướng vừa đáp ứng trải nghiệm du khách, vừa nâng cao năng lực quản lý môi trường và tổ chức sự kiện cộng đồng. Như vậy, để phát triển du lịch cộng đồng bền vững tại các bản người Thái Thanh Hóa, cần ưu tiên đầu tư đồng bộ vào hạ tầng dịch vụ và các không gian văn hóa - sinh thái, nhằm dung hòa lợi ích kinh tế với bảo tồn bản sắc địa phương.

Trong quá trình cải tạo và chuyển đổi KGCT nhằm phục vụ phát triển du lịch cộng đồng, các bản làng người Thái phải đối mặt với nhiều khó khăn và thách thức.



Hình 5. Biểu đồ về Những khó khăn nổi bật trong phát triển DLCĐ tại các bản người Thái tỉnh Thanh Hóa

Biểu đồ tại Hình 5 phản ánh những khó khăn chính trong phát triển du lịch cộng đồng tại các bản làng người Thái ở Thanh Hóa. Kết quả cho thấy trở ngại lớn nhất là địa phương chưa có kinh nghiệm (90%), tiếp đến là thiếu hiệu quả trong quảng bá du lịch (80%). Đây là hai yếu tố cản trở trực tiếp việc thu hút khách và nâng cao chất lượng sản phẩm du lịch. Bên cạnh đó, chính sách và chủ trương của

chính quyền chưa rõ ràng (20%) và cộng đồng chưa thực sự hiểu, đồng thuận cách làm (28,9%) cho thấy sự thiếu gắn kết giữa quản lý nhà nước và sự tham gia của cộng đồng. Đáng chú ý, giao thông tiếp cận chỉ chiếm 3,3%, phản ánh rằng hạ tầng giao thông không còn là rào cản lớn so với các yếu tố về năng lực tổ chức và quản lý.

Như vậy, thách thức trọng tâm trong phát triển DLCĐ tại địa phương không nằm ở điều kiện vật chất mà ở yếu tố con người và thể chế: kinh nghiệm, năng lực quản lý, quảng bá và đồng thuận xã hội.

Cộng đồng địa phương cũng bày tỏ nhiều nguyện vọng khi tham gia vào mô hình DLCĐ. Nhu cầu trước hết là cải thiện sinh kế, nâng cao thu nhập một cách bền vững, song hành với việc bảo tồn và phát huy bản sắc văn hóa truyền thống, qua đó củng cố lòng tự hào dân tộc. Người dân mong muốn được Nhà nước và các tổ chức hỗ trợ về chính sách, nguồn vốn, cũng như các chương trình đào tạo kỹ năng quản lý, đón tiếp và tổ chức dịch vụ du lịch. Ngoài ra, phát triển du lịch được kỳ vọng gắn liền với việc nâng cấp cơ sở hạ tầng, cải thiện điều kiện sống, đồng thời bảo vệ cảnh quan và môi trường sinh thái – những yếu tố nền tảng cho phát triển DLCĐ bền vững.

b. Kết quả tham vấn chuyên gia

Trong giai đoạn đầu tiếp cận vấn đề tổ chức KGCT của đồng bào dân tộc Thái để phát triển du lịch cộng đồng, các chuyên gia từ các lĩnh vực khác nhau đã đưa ra những quan điểm nền tảng, tập trung vào các nguyên tắc cốt lõi dựa trên kinh nghiệm chuyên môn của mình.

Quan điểm của chuyên gia bảo tồn và văn hóa: Ưu tiên bảo vệ bản sắc văn hóa và không gian sống nguyên bản của đồng bào Thái, bao gồm cảnh quan, không gian tâm linh và kiến trúc nhà sàn. Tránh "sân khấu hóa" văn hóa để duy trì tính bền vững.

Quan điểm của kiến trúc sư: Thực hiện "bảo tồn thích ứng" bằng cách can thiệp tối thiểu vào cấu trúc chính của nhà sàn. Giữ nguyên không gian và vật liệu đặc trưng, bổ sung các chức năng mới như nhà vệ sinh hoặc phòng ngủ riêng tư bằng giải pháp linh hoạt (khối phụ trợ, vách ngăn nhẹ) và tận dụng không gian gầm sàn.

Quan điểm của chuyên gia quy hoạch: Phát triển bền vững đòi hỏi quy hoạch tổng thể cho toàn bản, đánh giá sức tải môi trường và xã hội. Phân định rõ các khu chức năng (ở, homestay, dịch vụ công cộng, tuyến tham quan) và đặc biệt ưu tiên hệ thống xử lý nước thải, rác thải, đảm bảo bảo vệ cảnh quan nông nghiệp.

Quan điểm của chuyên gia du lịch và các công ty lữ hành: Tổ chức không gian vật chất để tạo trải nghiệm tương tác chân thực cho du khách (ví dụ: học dệt, nấu ăn, cấy lúa...). Đảm bảo các yếu tố an toàn, vệ sinh và tiện nghi cơ bản là điều kiện tiên quyết, đồng thời nhấn mạnh tính chuyên nghiệp và đồng bộ trong dịch vụ để xây dựng uy tín điểm đến.

5.3. Đề xuất hệ thống tiêu chí đánh giá tổ chức KGCT dân tộc Thái tỉnh Thanh Hóa phục vụ DLCĐ

Nhóm tiêu chí và tiêu chí thành phần được hình thành dựa trên khái niệm KGCT, và dựa trên cơ sở ba nhóm giá trị không gian đã nhận diện, bao gồm: (1) Tổ chức cấu trúc không gian bản; (2) Tổ chức không gian khuôn viên ngôi nhà; (3) Tổ chức không gian kiến trúc nhà ở. Mỗi nhóm đều có các tiêu chí chính là không gian cư trú, không gian sinh hoạt, hạ tầng kỹ thuật, không gian / hạ tầng phục vụ DLCĐ. Nhóm (3) có thêm các tiêu chí chính về hình thức kiến trúc, xử lý vi khí hậu, kỹ thuật xây dựng và vật liệu để làm rõ hơn các khía cạnh khác nhau quan trọng trong kiến trúc.

Ngoài ra, các tác giả đề xuất nhóm tiêu chí về (4) Tổ chức quản lý với sự tham gia của cộng đồng - dựa trên các khung hướng dẫn từ UNWTO [5], GSTC [2], CBT-ASEAN [9], nguyên tắc 4A [12] và Bộ tiêu chí điểm đến du lịch bền vững của Bộ Văn hóa, thể thao và Du lịch Việt Nam [1] cũng như dựa trên kết quả điều tra xã hội học nêu trên. HTTCĐG gồm các nhóm tiêu chí, tiêu chí thành phần và khung điểm số tương ứng được thể hiện trong Bảng 1 dưới đây.

Bảng 1. Hệ thống tiêu chí đánh giá tổ chức KGCT dân tộc Thái tỉnh Thanh Hóa đáp ứng phục vụ DLCĐ

Nhóm tiêu chí	Tiêu chí thành phần	Điểm tối đa
1. Tổ chức cấu trúc không gian bản (A1): 30 điểm	1.1. Không gian bản, làng	10
	31) Cấu trúc không gian bản, làng gắn với địa hình tự nhiên	5,3
	32) Không gian ở gần với không gian sản xuất nông nghiệp và gần với không gian cảnh quan, thiên nhiên	4,7
	1.2. Không gian phục vụ du lịch	12
	33) Không gian lễ hội truyền thống/ tín ngưỡng	2,1
	34) Cảnh quan thiên nhiên núi, rừng, hang, đồng, suối, thác...	1,9
	35) Khu vực đón tiếp, không gian giới thiệu, trưng bày sản phẩm nghề thủ công, điểm checkin, điểm dừng chân nghỉ ngơi	1,7
	36) Cảnh quan nông nghiệp (trồng bậc thang, cánh đồng hoa màu, các điểm cón nước độc đáo...)	1,7
	37) Không gian trải nghiệm leo núi xuyên qua rừng, đạp xe qua bản làng hoặc các tuyến đường đặc biệt kết nối các điểm đến khác trong khu vực.	1,6
	38) Không gian trải nghiệm sản xuất nông nghiệp, ngư nghiệp hay trồng rừng	1,5
	39) Không gian chợ phiên vùng cao	1,5
	1.3. Hạ tầng kỹ thuật	5
	100) Đường giao thông lát đá, sỏi vật liệu tại chỗ	1,3
	111) Hệ thống cấp nước sạch	1,1
	122) Đường giao thông với vật liệu cứng hóa bê tông, trải nhựa.	0,9
	133) Hệ thống điện, chiếu sáng	0,9
	144) Hệ thống xử lý rác thải, nước thải	0,8
	1.4. Hạ tầng dịch vụ du lịch	3
	155) Bãi đỗ xe	1,2
	166) Nhà vệ sinh công cộng	1,1
	177) Hệ thống chỉ dẫn, sơ đồ, bản đồ	0,7
Tổng	A1	30
2. Tổ chức không gian khuôn viên ngôi nhà (A2): 20 điểm	2.1. Không gian khuôn viên	7
	188) Cảnh quan cây xanh được bố trí theo 3 lớp không gian (ốp ngoài cùng, lớp bên và lớp trung tâm)	2,1
	199) Có hàng rào tạo ranh giới khuôn viên	1,8
	200) Nhà ở chính đặt tại giữa khuôn viên khu đất, xung quanh có sân vườn	1,6
	211) Không gian tâm linh	1,5
	2.2. Không gian phục vụ du lịch	9
	222) Không gian trải nghiệm nghề truyền thống: dệt thổ cẩm, làm đồ thủ công mỹ nghệ, đan lát...	1,9
	233) Khu vực vệ sinh, nhà tắm đồ trang thiết bị cơ bản	1,7
	244) Không gian trải nghiệm ẩm thực truyền thống: học cách nấu cơm lam, cà nướng, thí nấu gác bếp, hoặc chế biến rượu cần ...	1,6
	255) Không gian thưởng thức và giao lưu hoạt động văn nghệ: trình diễn múa sạp, múa xòe, hát giao duyên hoặc chơi nhạc cụ dân tộc.	1,5
	266) Không gian giới thiệu, trưng bày sản phẩm nghề truyền thống	1,3
	277) Không gian checkin chụp ảnh	1
	2.3. Hạ tầng kỹ thuật	4
	288) Hệ thống cấp nước sạch và thu gom nước, rác thải	1,5
	299) Hệ thống điện	1,3
	300) Hệ thống chiếu sáng chiếu nuôi gia súc, gia cầm được bố trí hợp lý	1,2
Tổng	A2	20
3. Tổ chức không gian kiến trúc nhà ở (A3): 40 điểm	3.1. Không gian nhà ở	10
	311) Gắn giữ các không gian theo cấu trúc truyền thống, không gian đáp ứng nhu cầu ở và phục vụ du lịch	2,3
	322) Nhà của nghề nhàn, gia làng, trường bản	1,8
	333) Nhà còn bếp truyền lửa truyền thống	1,7
	344) Phần chia không gian hợp lý	1,5
	355) Nhà có niên đại cao	1,4
	366) Đảm bảo không gian ở, sản xuất thủ công và tâm linh	1,3
	3.2. Hình thức kiến trúc	5
	377) Mái giữ gìn được hình thức mái truyền thống	1,3
	388) Tỷ lệ mái so với chiều cao của ngôi nhà	1,1
	399) Thang: 2 thang với số bậc lẻ	0,9
	400) Lan can bằng gỗ được trang trí hoa văn	0,9
	411) Cửa sổ và cửa đi tổng là số lẻ	0,8
	3.3. Xử lý vi khí hậu thích ứng môi trường sống	5
	422) Loại hình nhà ở phù hợp địa hình - khí hậu	1,3
	433) Vị trí cư trú phù hợp khí hậu và phong tục của người dân	1,0
	444) Vật liệu xây dựng tự nhiên tại địa phương	1,0
	455) Khả năng tiết kiệm năng lượng & bảo vệ môi trường	0,9
	466) Hệ thống cửa sổ - thông gió linh hoạt tùy theo vùng cư trú	0,8
	3.4. Kỹ thuật xây dựng và vật liệu	6
	477) Sử dụng vật liệu khai thác tại chỗ	1,4
	488) Sử dụng vật liệu tự nhiên thân thiện môi trường	1,2
	499) Cột kê trên đá tảng	1,0
	500) Dựng nhà bằng phương pháp thủ công	0,9
	511) Hệ kết cấu vì kèo đặc trưng	0,8
	522) Cột chôn dưới đất	0,7
	3.5. Không gian phục vụ du lịch	10
	533) Không gian trải nghiệm sinh hoạt cùng người bản địa (nghỉ lễ, uống trà, nghe câu chuyện văn hóa, lịch sử...)	2,4
	544) Không gian trải nghiệm dịch vụ lưu trú	2,2
	555) Không gian thưởng thức ẩm thực truyền thống	1,9
	566) Không gian trải nghiệm nghề thủ công truyền thống	1,8
	577) Không gian trải nghiệm biểu diễn nghệ thuật dân tộc	1,7
	3.6. Hạ tầng kỹ thuật	4
	588) Hệ thống điện, cấp nước, thoát nước và rác thải	2,2
	599) Kết nối mạng viễn thông internet	1,8
Tổng	A3	40
4. Tổ chức quản lý với sự tham gia của cộng đồng (A4): 10 điểm	4.1. Sự tham gia của cộng đồng	6
	600) Tham gia lập kế hoạch phát triển	1,6
	611) Tham gia quản lý và vận hành	1,2
	622) Tham gia công tác bảo tồn bền vững giá trị không gian cư trú	1,1
	633) Tham gia học tập, tập huấn nâng cao năng lực cộng đồng	1,1
	644) Tham gia giám sát và phản hồi	1,0
	4.2. Chia sẻ lợi ích	4
	655) Người dân	1,3
	666) Khách du lịch	1,0
	677) Chính quyền	0,7
Tổng	A4	10
Điểm bản (TC)	Tổng số điểm	100

6. KẾT LUẬN

Các kết quả nghiên cứu khẳng định KGCT dân tộc Thái tại Thanh Hóa chứa đựng nhiều giá trị sinh thái, văn hóa và xã hội, đồng thời là nền tảng quan trọng cho phát triển du lịch cộng đồng bền vững. Việc đề xuất hệ thống tiêu chí đánh giá với cấu trúc bốn nhóm đã giúp lượng hóa các yếu tố cốt lõi, từ tổ chức bản làng, khuôn viên, kiến trúc nhà ở đến quản lý cộng đồng. Tuy nhiên, để công cụ này phát huy hiệu quả, cần gắn với cơ chế chính sách hỗ trợ, nâng cao năng lực cộng đồng và đảm bảo cân bằng giữa bảo tồn - khai thác. Kinh nghiệm từ Thanh Hóa cũng gợi mở khả năng áp dụng cho các cộng đồng dân tộc khác trong tiến trình phát triển DLCĐ bền vững ở Việt Nam.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (HUCE) trong khuôn khổ đề tài mã số: 02-2024/KHXD-TĐ. Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn sự hỗ trợ quý báu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Thể thao và Du lịch Bộ Văn hóa (2016), Bộ tiêu chí đánh giá điểm đến du lịch, ngày 28/12/2016 Quyết định số 4640/QĐ-BVHTTDL, chủ biên.

[2]. Hội đồng du lịch toàn cầu - GSTC (2019), "Các tiêu chí của điểm đến du lịch bền vững".

[3]. Mai Thị Hồng Hải (2009), "Người Mường ở Thanh Hóa và mối quan hệ Việt-Mường", Tạp Chí Khoa học trường Đại học Hồng Đức. 25(3).

[4]. Nguyễn Thanh Tú (2022), Kinh nghiệm quốc tế và những liên hệ tới Việt Nam trong nghiên cứu xây dựng bộ tiêu chí đánh giá khu đô thị xanh, Kỷ yếu hội thảo "Kiến trúc và quy hoạch bền vững tiếp nối giá trị truyền thống, hướng tới tương lai" NXB Phụ nữ Việt Nam, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, tr. 161-165.

[5]. Tổ chức du lịch thế giới - UNWTO (2023), "Tiêu chí đánh giá làng du lịch tốt nhất".

[6]. Ủy ban nhân dân tỉnh Thanh Hóa (2000), Địa chí Thanh Hóa, NXB Văn hóa thông tin, 1025.

[7]. Nguyễn Khắc Tụng (2023), Nhà ở cổ truyền các dân tộc Việt Nam, NXB Khoa học Xã hội, Hà Nội, 695.

[8]. Phạm Trọng Thuật (2021), Lý thuyết thiết kế kiến trúc nhà ở, NXB Xây dựng, Hà Nội.

[9]. Tổ chức du lịch thế giới (WTO) (1992), Phát triển bền vững.

[11.]. Ủy ban nhân dân huyện Bá Thước (2016), Địa chí huyện Bá Thước, NXB Lao động.

[12]. Alfitriani Alfutriani, Welly Andrika Putri và Ummasyroh %J Jurnal Aplikasi Manajeng dan Bisnis Ummasyroh (2021), "Pengaruh Komponen 4A Terhadap Minat Kunjung Ulang Wisatawan Pada Destinasi Wisata Bayt Al-Qur'an Al-Akbar Kota Palembang". 1(2), tr. 66-77.

Đánh giá hiệu quả sử dụng công viên công cộng tại khu vực trung tâm TP.HCM

Evaluation of the effectiveness of public parks in the center of Ho Chi Minh City

> NGUYỄN PHƯƠNG THẢO NGUYỄN^{1,2,*}, PHAN NHỰT DUY¹

¹Trường Đại học Kiến trúc TP.HCM

²Sở Xây dựng TP.HCM; *Tác giả chính, Email: nptn11@gmail.com

TÓM TẮT

Công viên công cộng (CVCC) ngày càng đóng vai trò quan trọng trong bối cảnh đô thị hóa diễn ra mạnh mẽ và dân cư tập trung ngày càng đông. Việc đánh giá hiệu quả khai thác và chất lượng dịch vụ tại các công viên là cần thiết nhằm duy trì sức hút đối với người dân, khuyến khích họ tham gia các hoạt động tại công viên, qua đó góp phần cân bằng môi trường sống cho cộng đồng. Tuy nhiên, mục tiêu này vẫn là một thách thức đối với chính quyền các thành phố lớn khi phải đối mặt với tình trạng khan hiếm quỹ đất dành cho phát triển đô thị, đặc biệt là tại các khu vực trung tâm, trong đó có TP.HCM. Theo đó, việc bố trí không gian cho các hoạt động tại các công viên ngày càng cần sự quan tâm của các nhà quy hoạch, thiết kế nhằm đảm bảo khai thác hiệu quả diện tích đất. Do đó, bài viết này trình bày một số kết quả khảo sát, đánh giá đối với 10 công viên được khảo sát tại khu vực trung tâm (930ha) của TP.HCM, dựa trên các tiêu chí từ các dự án đánh giá hiệu quả khai thác của một số công viên trên thế giới. Kết quả nghiên cứu cho thấy, tiêu chí đa chức năng hiện vẫn là một hạn chế đáng kể mà các công viên chưa đáp ứng được, và cần được định hướng phát triển theo hướng tích hợp chức năng. Trong đó, một mục tiêu quan trọng là góp phần giảm thiểu các tác động của biến đổi khí hậu (BĐKH) toàn cầu, chẳng hạn như tình trạng ngập lụt. Từ thực trạng đó, nhóm tác giả đã đề xuất một số giải pháp quản lý mang tính chủ động, chiến lược, nhằm định hướng cho công tác quy hoạch và thiết kế công viên theo hướng khai thác hiệu quả quỹ đất, đồng thời phù hợp với điều kiện thực tế của khu vực nghiên cứu.

Từ khóa: Công viên công cộng, đa chức năng, khả năng hấp thụ nước của đô thị, ngập lụt.

ABSTRACT

Public parks play an increasingly important role in the context of urban areas with increasing population concentration and urbanization. Accordingly, evaluating the effectiveness of service quality and spatial uses of these parks is always necessary to maintain an attraction of participants in park activities and maintain a balanced living environment for communities. This goal can be seen as a challenge to local governments in many major cities which are faced by insufficiency of land area for urban development, especially in central areas such in Ho Chi Minh City. Therefore, this paper reviews the results from a project of evaluating the effectiveness of parks in New South Wales, Australia, as a good basis for a quantitative assessment framework to be applied to 10 parks in the central area (930ha) in Ho Chi Minh City. The results show that the multi-functional is considered an important criterion which these parks have achieved, and not met an integration goal, particularly in contribution to potential reduction in the impacts of global climate change. The authors have proposed some solutions to organization and management of spaces in these parks to develop their effectiveness in practice.

Keywords: Urban parks, multi-function, urban water absorption, flooding.

1. TỔNG QUAN VỀ VAI TRÒ VÀ GIÁ TRỊ CỦA CVCC TẠI CÁC KHU VỰC ĐÔ THỊ

1.1. CVCC đối với sự phát triển của các thành phố

Hệ thống công viên là một phần thiết yếu cho sự phát triển bền vững của môi trường tự nhiên và kinh tế - xã hội của các thành phố. Để thu hút dân cư đến sinh sống, các khu vực đô thị cần có sức hấp dẫn với các dịch vụ, tiện ích, hạ tầng kỹ thuật đáp ứng về khả năng tiếp cận, sử dụng hiệu quả. Xét về khả năng ảnh hưởng và tầm quan trọng, không gian xanh đô thị trong đó có các CVCC là một trong những yếu tố ảnh hưởng đến giá trị bất động sản và sức sống kinh tế đô thị (Alberta Park and Recreation Association, 2022). Giá trị bất

động sản sẽ cao hơn nếu có vị trí nằm liền kề với các công viên hoặc có tầm nhìn về hướng công viên (ibid). Mặt khác, công viên cũng đóng vai trò trong nền kinh tế địa phương khi có thể tạo sự thu hút người tham gia hoặc tổ chức các sự kiện tại công viên; và ngược lại, sự đầu tư đa dạng về hình thức của bất động sản sẽ tăng tính hỗ trợ tiện ích giúp công viên thu hút, tăng số lượng du khách. Giá trị lợi ích về kinh tế của các công viên trong đô thị là đáng kể. Theo Hiệp hội Công nghiệp ngoài trời tại Mỹ, giá trị kinh tế ước tính hàng năm của hoạt động giải trí tại các công viên lên đến 730 tỷ đô la; ngoài ra giá trị bất động sản tăng khi ở gần công viên như San Francisco từ 500 triệu đô la đến 1 tỷ đô la.

Đối với các thành phố đang trong quá trình đô thị hóa nhanh, các không gian xanh như vườn hoa, công viên, là một trong những khu vực quan trọng; nhưng lại không được chú ý bởi “sức nặng” của các giá trị kinh tế của đô thị (Van de Bosch and Nieuwenhuijzen, 2017). Liên quan đến lợi ích kinh tế - xã hội, nhiều chuyên gia nhận định các không gian xanh trên thế giới được bố trí không đồng đều, thường tập trung tại các khu vực của người có thu nhập cao hơn so với các khu vực người thu nhập thấp (Ferguson et al., 2018). Thêm vào đó, đô thị hóa nhanh và tập trung dân cư ngày càng cao sẽ gây ra vấn đề về tỷ lệ mật độ cư trú so với diện tích mảng xanh; đồng thời tạo ra những rủi ro mức thiệt hại càng cao mà người dân tại các khu vực đô thị sẽ đối mặt (Fuller và Gaston, 2009).

1.2. CVCC đối với môi trường đô thị

Với vai trò cân bằng môi trường đô thị, công viên và mảng xanh có khả năng cung cấp bóng râm, giảm nhiệt độ bề mặt và tăng khả năng làm mát bằng lượng nước được bốc hơi, góp phần giảm hệ quả của hiệu ứng đảo nhiệt đô thị (nhiệt độ tại khu trung tâm tăng cao so với các khu vực xung quanh) (Oliveira et al., 2011). Theo dự báo, với hiện tượng nhiệt độ nóng lên tại các đô thị, một phần ba dân số toàn cầu có khả năng phải tiếp xúc với nhiệt độ giống như sa mạc trong vòng 50 năm tới (Xu et al., 2020). Hướng đến khả năng giảm thiểu các tác động, sự liên kết giữa các CVCC, mảng xanh đô thị có tác động lớn đến thảm thực vật và sinh học tại khu vực khi các mảng xanh (cây cối và thảm cỏ) có khả năng hấp thụ bức xạ mặt trời lớn (khoảng 65 đến 80%). Do kết quả của quá trình quang hợp, cộng thêm hiệu quả giảm nhiệt độ không khí do quá trình bay hơi nước trên mặt lá và mặt đất xung quanh (Easterling et al., 2000). Nghiên cứu của Dekay (2001) về hiệu quả làm mát của bề mặt phủ xanh tại Montreal, Canada cho thấy trong miền khí hậu nóng - ẩm, hiệu quả che nắng có vai trò quan trọng và làm giảm nhiệt lượng, làm mát từ 15% đến 35%. Đối với các vùng khí hậu khác nhau, nếu tăng 25% diện tích bề mặt cây xanh có thể tiết kiệm từ 17% đến 57% năng lượng làm mát khi nhiệt độ tăng cao, nắng nóng (Dekay, 2001). Thêm vào đó, không gian và mảng xanh có thể giúp đô thị giảm ảnh hưởng của BĐKH toàn cầu chẳng hạn như ngập lụt tại các khu vực đô thị thông qua quá trình thấm thấu nước và giảm tốc độ dòng chảy, cũng như các tác động khá có liên quan như mưa lớn thất thường; nhất là khi các hiện tượng biến đổi khí hậu đang diễn ra ngày càng rõ ràng với nhiệt độ môi trường ngày càng nóng hơn, khí hậu bị thay đổi khắc nghiệt hơn (Rocque et al., 2021).

Trên thực tế, người dân sinh sống tại nhiều khu vực đô thị có thể được hưởng lợi trực tiếp hoặc gián tiếp từ các công viên và mảng xanh - vốn đóng vai trò tích cực trong quá trình phát triển thể chất của cộng đồng. Không gian mảng xanh với vai trò giảm thiểu ô nhiễm không khí, tiếng ồn, tạo sự khuyến khích các hoạt động thể chất và tăng tính tương tác xã hội nhằm phục hồi chức năng nhận thức, giảm căng thẳng; ngược lại, việc thiếu các không gian xanh có thể gây ảnh hưởng đến sức khỏe, tinh thần của con người (Engemann et al, 2019). Lấy ví dụ, diện tích mảng xanh càng lớn sẽ giúp phát triển nhận thức của trẻ em và người lớn khi giảm nguy cơ suy nghĩ căng thẳng và các bệnh liên quan đến tinh thần (Bratman et al., 2015; Engemann et al., 2019).

Nhìn chung, khi các thành phố tiếp tục phát triển thì vai trò của công viên ngày càng quan trọng trong việc duy trì sự ổn định, bền vững về môi trường tự nhiên và kinh tế xã hội. Công viên không những góp phần duy trì sự cân bằng môi trường vật lý về nhiệt độ, độ ẩm, chất lượng không khí, mà còn giúp tạo môi trường sinh hoạt tinh thần, rèn luyện thể chất tốt cho cộng đồng. Bên cạnh đó, vai trò đóng góp về yếu tố cảnh quan góp phần tạo động lực phát triển kinh tế - giá trị đầu tư bất động sản càng khẳng định vai trò quan trọng của công viên công cộng. Tuy nhiên, một khi mật độ tập trung

dân cư ngày càng cao thì yêu cầu giải quyết về diện tích, chỉ tiêu công viên và các tiêu chí về chất lượng dịch vụ sẽ đặt ra một thách thức đối với chính quyền địa phương và các chuyên gia quy hoạch, nghiên cứu về đô thị.

2. LÝ THUYẾT VỀ PHÁT TRIỂN CVCC VÀ CÁC TIÊU CHÍ ĐÁNH GIÁ

2.1. Không gian công cộng và công viên công cộng

Không gian công cộng (KGCC) là những khu vực được chính phủ thay mặt người dân quản lý, chẳng hạn như đường phố, vỉa hè, công viên và thư viện, quảng trường - nơi tập trung số lượng người lớn có nhu cầu sử dụng chung một không gian (Koh, 2011). Không gian công cộng có giá trị vật thể, văn hóa, tinh thần; đồng thời còn là không gian biểu tượng của trung tâm đô thị, là nơi mọi người đều có quyền tiếp cận, tham gia quyền quyết định của mình (Habermas, 1962).

Công viên công cộng (CVCC), là một vùng đất (thường có nhiều diện tích cây xanh) dành cho công chúng vui chơi, với các tiện nghi để nghỉ ngơi và giải trí, chẳng hạn như sân bóng chày hoặc sân bóng rổ, do chính quyền đô thị sở hữu và quản lý. Nơi đây có các khu vực được quy hoạch và thiết kế cho cả hoạt động giải trí chủ động và thụ động của công chúng. Vai trò của CVCC trong xã hội ngày càng trở nên quan trọng và không thể thiếu cho sự phát triển của một đô thị như:

- *Tạo không gian cho các hoạt động văn hóa, vui chơi giải trí, kết nối cộng đồng;*
- *Duy trì môi trường tự nhiên - không gian để tái tạo sức khỏe, thể chất của con người;*
- *Góp phần phát triển kinh tế, giáo dục;*
- *Đầu mối kết nối giao thông đô thị.*

Tóm lại, hệ thống CVCC trong đô thị không chỉ dừng lại ở những mảng xanh đơn thuần mà còn đóng vai trò quan trọng trong nhiều lĩnh vực góp phần hỗ trợ, cộng sinh với nhau mang lại lợi ích cho cuộc sống của cộng đồng. Vai trò của các công viên công cộng được định hướng chính quyền địa phương và các nhà quy hoạch; theo đó, cần phát huy hiệu quả trong việc sử dụng quỹ đất tốt nhất để đáp ứng nhu cầu dịch vụ, tiện ích của cộng đồng.

2.2. Đánh giá mức độ đáp ứng các chức năng của công viên dựa trên các tiêu chí hướng dẫn về “Không gian Công cộng Tuyệt vời” (“Great Public Spaces Guide” - GPSG: Jan-Gehl, 2021) và các quy định về không gian công cộng tại New South Wales - NSW (Úc)

Theo quan điểm của các chuyên gia từ dự án “Great Public Spaces” - GPS (Jan-Gehl, 2021), một “không gian công cộng tuyệt vời” được xem xét qua 4 yếu tố:

- *Địa điểm (tọa độ) và quy mô của không gian:* Không chỉ là một vị trí đơn thuần mà đây là sự kết hợp độc đáo giữa hình thức vật chất, các sinh hoạt tại đó và cảm giác gắn bó với địa điểm, nghĩa là cách con người cảm nhận về địa điểm đó hay gọi cách khác là cảm nhận về một nơi thành nơi chốn mang đến cơ hội đa dạng cho các tương tác xã hội, có sắc thái mạnh mẽ và luôn sẵn sàng phục vụ mọi người;
- *Mục đích (nhận dạng và sắc thái):* Thể hiện bản sắc văn hóa của địa phương, việc nhận dạng và phát huy được tính độc đáo từ ý thức của người sử dụng; và quá trình khai thác của các nhà quản lý mang đến sự kết nối với văn hóa, bản sắc;
- *Nơi chốn (đặc điểm của vật thể):* KGCC đòi hỏi các giải pháp quy hoạch, thiết kế và quản lý hiệu quả, có chiều sâu để đảm bảo các địa điểm luôn thu hút và tạo cảm giác thích được trải nghiệm nhiều lần đối với người sử dụng;
- *Gắn bó với địa điểm (sinh hoạt và ý nghĩa):* Đời sống cộng đồng, các sinh hoạt xã hội tại KGCC - sự kết hợp giữa hàng xóm, gia đình, bạn bè và cộng đồng lớn hơn, tạo niềm vui và làm cho cuộc sống có ý nghĩa hơn.

Theo đó, chất lượng của KGCC sẽ được đánh giá theo các tiêu chí dựa vào kết quả của các câu hỏi khảo sát và phương pháp quy đổi sang giá trị định lượng (tham khảo Dự án GPS được Chính phủ Úc sử dụng đánh giá chất lượng các công viên thực tế, và triển khai bởi chính quyền địa phương NSW, từ năm 2000 - 2005) gồm các tiêu chí như sau:

i) Tiêu chí 1: Tính kết nối. Một trong những tiêu chí quan trọng đầu tiên để mọi người có thể tiếp cận dễ dàng. Để thuận lợi cho khả năng tiếp cận, phương tiện giao thông công cộng cần được ưu tiên có bến dừng, bến đón thuận tiện. Khu vực để xe đạp, xe máy, xe ô tô cần đảm bảo diện tích đậu khi cần thiết.

ii) Tiêu chí 2: Đa chức năng không gian sử dụng. Chức năng chính của công viên sẽ được tích hợp với nhiều chức năng khác như thể thao, cảnh quan, sinh hoạt cộng đồng, chơi trẻ em, dưỡng sinh... được vận hành bởi các nhà quản lý cùng với những chính sách tái tạo không gian hấp dẫn và mọi đối tượng đều được tham gia thoải mái nhưng vẫn đảm bảo các chỉ tiêu diện tích mảng xanh chung của toàn thành phố.

iii) Tiêu chí 3: Cảm nhận nơi chốn. Tính nơi chốn được cảm nhận từ việc mọi người sử dụng không gian công viên với tinh thần thoải mái, cảm thấy an toàn; và các yếu tố về cảnh quan, vật chất, tiện nghi, tạo nên một không gian công viên gần gũi. Đặc tính nơi chốn của CVCC có thể gắn liền với các yếu tố thiên nhiên như cây xanh, mảng xanh lớn tạo nên bóng mát, kết hợp với các không gian sinh hoạt thư giãn tạo cảm giác dễ chịu nhất.

iiii) Tiêu chí 4: Kết nối cộng đồng. Khi tham gia tại các CVCC, người tham gia được khuyến khích và tạo điều kiện thuận lợi cho kết nối thêm nhiều bạn bè, chia sẻ nhiều kiến thức... Ngoài ra, không gian này còn có thể được sử dụng để giới thiệu, quảng bá, tổ chức các hoạt động về văn hóa, nghệ thuật của địa phương.

3. THỰC TRẠNG VÀ ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ CỦA CÁC CÔNG VIÊN TẠI KHU TRUNG TÂM TP.HCM

3.1. Thực trạng phát triển các CVCC tại khu trung tâm (930ha)

Tại TP.HCM, khu trung tâm hiện hữu được hình thành theo các đồ án quy hoạch từ khoảng năm 1862 với dự án "Thành phố Sài Gòn 500.000 dân", với chỉ tiêu ban đầu khoảng 50m²/người gồm cả đường sá, công viên... Diện tích khu trung tâm 930ha được xác định từ đồ án quy hoạch chi tiết xây dựng đô thị tỷ lệ 1/2000 cho khu trung tâm hiện hữu TP.HCM, theo quyết định số 6708/QĐ-UBND ngày 29/12/2021. Với tốc độ phát triển như hiện nay, khu vực trung tâm cũng không tránh khỏi xu hướng đô thị hóa diễn ra nhanh khi dân số tăng cùng với các hoạt động kinh tế xã hội ngày càng nhiều (Cục thống kê TP.HCM, 2023, tr. 56); trong khi quỹ đất phát triển tại trung tâm có giới hạn. Do đó, việc ưu tiên dành quỹ đất cho công viên công cộng tại khu vực trung tâm được xem là một trong các mục tiêu trọng điểm, nhưng gặp nhiều khó khăn khi triển khai thực tế. Nhiều giải pháp về chính sách và cơ chế quản lý đã được chính quyền địa phương đề ra nhằm khắc phục thực trạng thiếu chỉ tiêu diện tích mảng xanh, công viên công cộng như:

- Chương trình phát triển công viên và cây xanh công cộng giai đoạn 2020-2030 (Quyết định số 2198/QĐ-UBND ngày 17/6/2021);
- Kế hoạch thực hiện chương trình phát triển công viên, cây xanh công cộng trên địa bàn TP.HCM, trước khi sáp nhập (theo Quyết định số 1540/QĐ-UBND ngày 10/5/2022).

Theo đó, chính quyền thành phố đã và đang đặt ra mục tiêu phát triển các mảng xanh CVCC nhằm đạt chỉ tiêu 1m²/người, tương đương diện tích công viên tăng thêm 510ha đến năm 2025 tập trung chủ yếu các khu vực ngoại thành. Đến nay, những chương trình và đề án liên quan đến phát triển công viên trong đô thị tuy đã

triển khai nhưng vẫn chưa đạt hiệu quả theo như kỳ vọng liên quan một số vấn đề chính như sau:

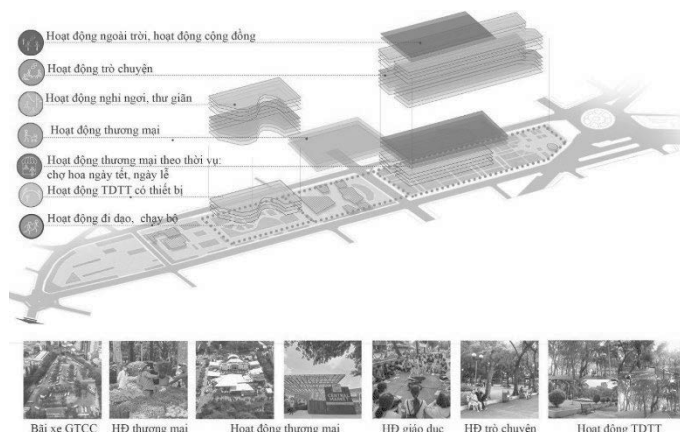
i) *Hiện trạng chưa đáp ứng tốt nhu cầu sử dụng - thiếu công cụ và quá trình đánh giá hiệu quả, đặc biệt là khu vực trung tâm hiện hữu với hơn 42ha diện tích công viên công cộng chưa được sự quan tâm về quy định quản lý, cải tạo, phát triển.*

ii) *Quỹ đất phát triển còn hạn chế trong khi các mảng xanh tại công viên đang có xu hướng từng bước bị thu nhỏ lại do nhiều yếu tố như đô thị hóa, công tác rà soát quy hoạch, khai thác; trong khi đó các chức năng hoạt động truyền thống chưa có những cải tiến mang tính tích hợp mục tiêu thích ứng BĐKH chẳng hạn như ngập, lụt, liên quan khả năng trữ nước của đô thị - diện tích mặt phủ thấm thấu...*

iii) *Các chính sách thu hút đầu tư và nguồn vốn chưa thật sự hấp dẫn.*

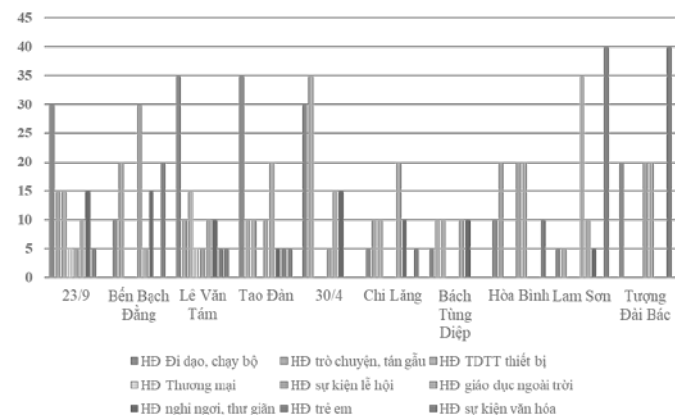
3.2. Đánh giá tính hiệu quả của 10 công viên tại khu trung tâm

Các hoạt động tại 10 công viên trong phạm vi nghiên cứu được đánh giá bằng phiếu khảo sát, và quan sát thực tế. Theo khảo sát thực tế, một số hoạt động được nhóm tác giả ghi nhận, tổng hợp dưới đây:

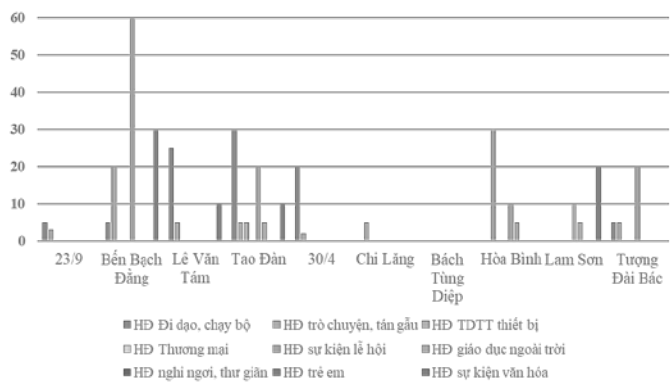


Hình 1. Hiện trạng các hoạt động diễn ra tại Công viên 23/9

Tần suất diễn ra các hoạt động tại công viên phản ánh các chức năng khác nhau mà mọi người thường xuyên sử dụng, hoặc các chức năng còn thiếu, chưa phù hợp với nhu cầu. Điển hình công viên 23/9, hoạt động đi dạo, đi bộ số lượng người tham gia với tỷ lệ 30% cao hơn các hoạt động còn lại (khoảng 15%) cho thấy chức năng, tính hiệu quả của các không gian trong công viên đang có vấn đề hạn chế về tính hấp dẫn - hiệu quả khai thác, dẫn đến mọi người không lựa chọn để tham gia.



Hình 2. Biểu đồ thể hiện tần suất tham gia các hoạt động của con người vào ban ngày tại 10 công viên



Hình 3. Biểu đồ thể hiện tần suất tham gia các hoạt động của con người vào ban đêm tại 10 công viên

3.3 Phân tích kết quả khảo sát và một số giải pháp đề xuất

Từ các kết quả của phân tích thực trạng và đặc điểm của 10 công viên trong phạm vi nghiên cứu tại khu trung tâm TP.HCM; kết hợp với các cơ sở khoa học liên quan đến các tiêu chí cho khả năng bố trí và quản lý một số hoạt động, nhóm tác giả đề xuất áp dụng phương pháp đánh giá hiệu quả sử dụng và khai thác các không gian chức năng dựa trên khung tiêu chí đánh giá từ dự án GPS (Jan-Gehl, 2021). Kết quả cho thấy có 6/10 công viên đạt dưới 10/20 điểm, khoảng 60% diện tích tổng cộng của 10 công viên (tương đương 225,39ha) khu chức năng được đánh giá còn kém hiệu quả khi chiếm dụng diện tích mặt đất. Áp dụng khung đo lường của các tiêu chí đã được trình bày, đối chiếu với các kết quả khảo sát ý kiến của 100 người tham gia tại 10 công viên thuộc khu vực nghiên cứu, kết quả được ghi nhận tại bảng dưới đây:

Bảng 1. Tổng hợp kết quả đánh giá mức độ đáp ứng các tiêu chí của 10 công viên tại khu trung tâm TP.HCM

Công viên	TC1: Tính kết nối	TC2: Đa chức năng	TC3: Nơi chốn	TC4: Kết nối cộng đồng	Tổng hợp (5<N<20)	Giải pháp đề xuất cải thiện
Công viên 23/9	2.4	2	2.3	2.3	9	- Tăng diện tích mảng xanh - KGHĐ cường độ thấp nên được đưa lên cao
Công viên Bến Bạch Đằng	2.8	3.2	2.6	3.77	12.37	- Tạo thêm nhiều cây xanh có tính trang trí, che bóng mát - Tạo tính tiện nghi khi sử dụng: nhà vệ sinh, tính an toàn
Công viên Lê Văn Tám	2.8	3.2	2.4	2.5	10.9	- Tạo cảnh quan đẹp, hấp dẫn để thu hút người tham gia - Tạo tính tiện nghi khi sử dụng: nhà vệ sinh, tính an toàn, chiếu sáng, nhận diện đặc trưng
Công viên Tao Đàn	2.8	2.8	2.5	2.5	10.6	- Tăng diện tích mảng xanh - Không gian dành cho hoạt động cường độ thấp nên được đưa lên cao - Tăng tính an toàn, hình ảnh đặc trưng, cảnh quan đẹp
Công viên 30/4	2.6	1.8	2.1	2.7	9.2	- Không gian dành cho hoạt động cường độ thấp nên được đưa lên cao.
Công viên Chi Lăng	2	2	2	2.4	8.4	- Tăng diện tích mảng xanh - Không gian dành cho hoạt động cường độ thấp nên được đưa lên cao - Tạo cảnh quan đẹp, hấp dẫn thu hút người tham gia - Tạo tính tiện nghi khi sử dụng: nhà vệ sinh, tính an toàn, chiếu sáng, hình ảnh nhận diện đặc trưng
Công viên Bách Tùng Diệp	1.4	1.3	1.4	1.3	5.4	- Tăng diện tích mảng xanh - Không gian dành cho hoạt động cường độ thấp nên được đưa lên cao - Tạo cảnh quan đặc trưng, hấp dẫn thu hút người tham gia
Công viên Hòa Bình	2.6	3	2.7	3.6	11.9	- Không gian dành cho các phương tiện tham gia: xe đạp ...
Công viên Lam Sơn	1.8	1.4	2	2.8	8	- Tăng diện tích mảng xanh - Tạo không gian nghệ thuật, văn hóa,
CV tượng đài Bác	3	1.8	2.5	2.5	9.8	- Tăng diện tích mảng xanh - Tạo không gian nghệ thuật, văn hóa
Tổng hợp	24.2	22.5	22.5	26.37	95.57	

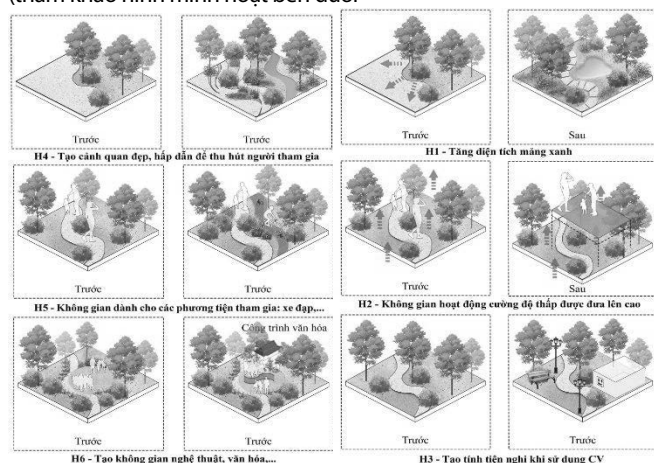
Ghi chú: Người thực hiện khảo sát đánh giá theo thang điểm trên vào từng nhóm câu hỏi cho 04 tiêu chí. Kết quả tổng mỗi tiêu chí (điểm số trung bình) được tính là tổng số điểm trả lời nhóm câu hỏi chia cho số câu hỏi đã trả lời. Điểm số trung bình cao nhất của mỗi tiêu chí là 5 điểm; Bảng khảo sát đánh giá tương ứng với 5 mức điểm: (1): Hoàn toàn không đồng ý; (2): Không đồng ý (3): Trung lập; (4): Đồng ý; (5): Hoàn toàn đồng ý

Việc đánh giá hiệu quả chức năng của 10 công viên tại khu vực trung tâm 930ha tại TP.HCM sẽ giúp cho chính quyền địa phương tiếp cận các giải pháp phát triển - nâng cao và cải tiến chất lượng dịch vụ. Bằng phương pháp tham khảo khung tiêu chí đánh giá từ dự án thực tế như đã trình bày và vận dụng thành công bộ 04 tiêu chí hướng dẫn đã trình bày, kết quả cho thấy:

- Có 06/10 công viên có điểm tiêu chí 2 (đa chức năng) thấp nhất so với các tiêu chí còn lại (công viên 23/9, công viên 30/4, công viên Chi Lăng, công viên Bách Tùng Diệp, công viên Lam Sơn, công viên tượng đài Bác); đây được xem là một hạn chế lớn nhất đối với các công viên được khảo sát tại khu vực 930ha.

- Đối với trường hợp công viên điển hình 23/9 với thực trạng chỉ có khoảng 45% diện tích là mảng xanh (thấp hơn nhiều so với các tiêu chí chung của công viên trên thế giới - khoảng 90% trở lên).

Dựa trên các kết quả khảo sát, phân tích đặc điểm hiện trạng của các công viên này, nghiên cứu đề xuất một số giải pháp quản lý và tổ chức các không gian chức năng còn nhiều điểm hạn chế, nhược điểm, nhằm *phát triển các chức năng truyền thống* của một số công viên như không gian sinh hoạt nhóm, hoạt động trẻ em, tham quan, thể dục... nhưng vẫn phát huy giá trị của mảng xanh đem lại đối với môi trường... (tham khảo hình minh họa bên dưới)



Hình 4. Sơ đồ minh họa cho các giải pháp quản lý mang tính định hướng tổ chức, tối ưu hóa không gian trong CVCC

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Trong bối cảnh dân cư ngày càng tập trung đông tại các khu vực trung tâm đô thị, việc tìm kiếm quỹ đất để phát triển diện tích công viên nhằm đáp ứng nhu cầu cộng đồng đang gặp nhiều khó khăn. Trước thực trạng "đất càng chật, người càng đông", các CVCC tích hợp đa chức năng được xem là giải pháp phù hợp giúp các đô thị lớn và siêu đô thị thích ứng với áp lực gia tăng dân số và hạn chế về không gian, đặc biệt tại các khu vực trung tâm. Bên cạnh mục tiêu đáp ứng các chức năng ngày càng hiệu quả - dựa trên các tiêu chí tham khảo từ các dự án đã nghiên cứu và áp dụng trên thế giới, việc quản lý các chức năng phát triển theo chiều cao được xem là giải pháp mang tính chiến lược thích ứng với BĐKH, trong đó có mục tiêu tăng khả năng hấp thụ nước bằng các mảng xanh và mặt nước trong công viên (thấm thấu và trữ nước trong khu vực nội đô). Theo đó, tiêu chí đa chức năng theo hướng tích hợp, chú trọng phát triển không gian theo chiều cao được các chuyên gia đề xuất là phù hợp, và nhóm tác giả chú trọng đề xuất áp dụng đối với các công viên tại khu trung tâm 930ha của TP.HCM.

Dựa trên các kết quả khảo sát, đánh giá định lượng theo khung tiêu chí đánh giá đã được trình bày, bài viết này trình bày một số kiến nghị đối với công tác quản lý CVCC góp phần nâng cao tính hiệu quả dài hạn như sau:

- Các CVCC cần thường xuyên được đánh giá rõ ràng theo các tiêu

chí đã đề ra và phù hợp với nhu cầu sử dụng, định hướng phát triển của thành phố;

- Việc quản lý quy hoạch đối với CVCC không đơn thuần là một bộ phận cơ quan mà là sự phối hợp của nhiều đơn vị cơ quan quản lý. Vì vậy, quá trình quản lý công viên công cộng sẽ phát sinh các vấn đề chồng chéo. Do đó, chính quyền nên thành lập hệ thống và cơ chế quản lý các CVCC trên toàn thành phố có tính thống nhất, đồng bộ và khai thác hiệu quả.

- Việc quản lý quy hoạch đối CVCC không chỉ thuộc trách nhiệm của một cơ quan mà là kết quả của sự phối hợp giữa nhiều đơn vị quản lý khác nhau. Do đó, quá trình này dễ phát sinh tình trạng chồng chéo và thiếu nhất quán. Vì vậy, chính quyền cần xây dựng một hệ thống và cơ chế quản lý thống nhất, đồng bộ nhằm nâng cao hiệu quả khai thác các CVCC trên toàn thành phố.

- Không gian CVCC là nơi diễn ra các hoạt động tự do, không tốn chi phí, góp phần nâng cao chất lượng sống cho cộng đồng. Để cả nhà đầu tư và cộng đồng nhận thức đầy đủ về giá trị kinh tế lẫn xã hội mà công viên mang lại, chính quyền đô thị cần xây dựng các chính sách phù hợp nhằm tạo cơ chế khai thác hiệu quả giữa dịch vụ công và dịch vụ có thu phí.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bosch V.D., Matilda, Nieuwenhuisen, Mark. (2017). No time to lose - Green the cities now. Environ. Int. 99,343-350; No time to lose - Green the cities now - ScienceDirect
- [2]. Engemann, K. (2019). Residential green space in childhood is associated with lower risk of psychiatric disorders from adolescence into adulthood. PNAS 116, 5188-5193.
- [3]. Bratman, G.N. (2015). Nature experience reduces rumination and subgenual prefrontal cortex activation. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 112, 8567-8572. <https://doi.org/10.1073/pnas.1510459112>.
- [4]. Ferguson, M., Roberts, H.E., McEachanc, R.R.C., Dallimer, M. (2018). Contrasting distributions of urban green infrastructure across social and ethno-racial groups. Landsc. Urban Plan. 175, 136-148.
- [5]. Fuller, R.A., Gaston, K.J. (2009). The scaling of green space coverage in European cities. Biol. Lett. 5 (3), 352-355. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2009.0010>.
- [6]. Alberta Parks and Recreation Association (2002). A Re-established Urban Parks Program.
- [7]. Witteman O. (2021). Health Effects of Climate Change: an Overview of Systematic Reviews.
- [8]. Oliveira, S., Andrade, H., Vaz, T. (2011). The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat: a case study in Lisbon. Build. Environ. 46 (11), 2186-2194. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.04.034>.
- [9]. Easterling, D.R., (2000). Climate extremes: observations, modeling, and impacts. Science 289, 2068-2074. <https://doi.org/10.1126/science.289.5487.2068>.
- [10]. Xu, C. et al., 2020. Future of the human climate niche. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 117 (21). doi: 10.1073/pnas.1910114117.
- [11]. deKay M. (2001). Sun, wind & light: Architectural Design Strategies, 2nd edition. https://www.researchgate.net/publication/301626264_SUN_WIND_LIGHT_Architectural_Design_Strategies_2nd_edition, ISBN: 858-9751052107
- [12]. Cục thống kê TP.HCM., 2023, Niên giám thống kê. 56
- [13]. Koh D. (2007), Modern Law, Traditional Ethics, and Contemporary Political Legitimacy in Vietnam. New York: Palgrave Macmillan.
- [14]. Habermas. J (1989), The Structural Transformation of the Public Sphere: An Inquiry into a Category of Bourgeois Society, translated by Thomas Burger with the assistance of Frederick Lawrence. Cambridge: Polity Press
- [15]. Lefebvre. J. M. (1991), Introduction to Landscape Design, Van Nostrand Reinhold.
- [16]. Gomez, E., Joshua W. R., Hill E., and Georgiev S. (2015). "Urban Parks and Psychological Sense of Community." Journal Of Leisure Research 47, no. 3: 388-398. SPORT Discuss with Full Text, EBSCOhost (accessed January 4, 2016).
- [17]. Cassidy, A. V., Wright, W. A., Streat, W. B., and Watson, G. L. (2015). The Interplay of Space, Place and Identity: Transforming Our
- [18]. Learning Experiences in an Outdoor Setting. Collected Essays on Learning and Teaching, 827-34.
- [19]. Statistics Canada. 2011. Commuting to Work. https://www12.statcan.gc.ca/nhs-enm/2011/as-sa/99-012-x/99-012-x2011003_1-eng.cfm

Phát triển đại học thông minh tại Việt Nam trong bối cảnh chuyển đổi số

Developing smart universities in Vietnam in the context of digital transformation

> NGUYỄN QUANG BẢO PHÚC

Đại học Quốc gia TP.HCM; Email: nqbphuc@vnuhcm.edu.vn

TÓM TẮT

Trong bối cảnh chuyển đổi số đang trở thành động lực chủ đạo của sự phát triển toàn cầu, việc chuyển đổi các cơ sở giáo dục đại học theo hướng đại học thông minh (Smart university) được xem là xu thế tất yếu nhằm nâng cao chất lượng đào tạo, hiệu quả quản trị và năng lực đổi mới sáng tạo trong giáo dục đại học. Bài báo này tập trung phân tích thực trạng và các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình phát triển mô hình đại học thông minh tại Việt Nam. Trên cơ sở phân tích các chính sách, nhu cầu học tập cá nhân hóa, mức độ ứng dụng công nghệ giáo dục và bối cảnh toàn cầu hóa, nghiên cứu cho thấy Việt Nam đang có nhiều điều kiện thuận lợi để thúc đẩy quá trình chuyển đổi. Tuy nhiên, những hạn chế về hạ tầng công nghệ, năng lực số của đội ngũ nhân lực, cùng với mô hình quản trị truyền thống vẫn là những rào cản đáng kể. Từ những phát hiện của nghiên cứu, bài báo đề xuất một số định hướng và giải pháp nhằm phát triển mô hình đại học thông minh tại Việt Nam theo hướng hiệu quả, bền vững, phù hợp với đặc thù bối cảnh trong nước và xu thế của giáo dục đại học hiện đại.

Từ khóa: Chuyển đổi số, công nghệ giáo dục, đại học thông minh, giáo dục đại học, phát triển bền vững.

ABSTRACT

In the era of rapid digital transformation, the transition of higher education institutions into smart universities has become an inevitable trend to enhance educational quality, governance efficiency, and innovation capacity. This study examines the current status and key factors influencing the development of smart university models in Vietnam. Through the analysis of policy frameworks, personalized learning demands, the adoption of educational technologies, and the broader context of globalization, the research identifies several favorable conditions for Vietnam to accelerate this transformation. However, challenges such as underdeveloped technological infrastructure, limited digital competence among academic staff, and outdated governance models remain significant obstacles. Based on these findings, the paper proposes strategic orientations and solutions to support the effective and sustainable development of smart universities in Vietnam, aligned with national contexts and global trends in higher education.

Keywords: Digital transformation, educational technology, higher education, smart university, sustainable development.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh chuyển đổi số toàn cầu, giáo dục đại học (GDĐH) cần đổi mới toàn diện nhằm nâng cao chất lượng đào tạo, hiệu quả quản trị, năng lực đổi mới sáng tạo và khẳng định vị thế của Việt Nam trên bản đồ giáo dục quốc tế (An, L., 2025). Sự phát triển mạnh mẽ của trí tuệ nhân tạo (AI), dữ liệu lớn (Big Data), Internet vạn vật (IoT) và các nền tảng học trực tuyến đang thúc đẩy quá trình xây dựng mô hình đại học thông minh, một mô hình tích hợp sâu công nghệ vào các hoạt động đào tạo, nghiên cứu và quản trị, hướng tới một hệ sinh thái giáo dục linh hoạt, cá nhân hóa và hiệu quả.

Trong mô hình này, hạ tầng vật lý và hạ tầng số giữ vai trò nền tảng: hạ tầng vật lý bảo đảm không gian, thiết bị, môi trường kết nối; hạ tầng số cung cấp mạng, phần mềm, cơ sở dữ liệu và năng lực điện toán để triển khai các chức năng thông minh. Ở Việt Nam, phát triển đại học thông minh là xu thế tất yếu và yêu cầu cấp bách nhằm đáp ứng nhu cầu nhân lực chất lượng cao (Bộ GD&ĐT, 2024). Tuy nhiên, quá trình này còn hạn chế về hạ tầng công nghệ, năng lực số của giảng viên, sự cứng nhắc trong quản trị và chênh lệch giữa các cơ sở GDĐH.

Do đó, nghiên cứu phát triển đại học thông minh tại Việt Nam là cần thiết để đề xuất định hướng và giải pháp, trong đó nhấn mạnh vai trò

hạ tầng vật lý và hạ tầng số như nền tảng không thể thiếu, góp phần xây dựng hệ thống GDĐH hiện đại, linh hoạt, thích ứng và hội nhập sâu rộng trong kỷ nguyên số.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Trong bài viết này, tác giả sử dụng phương pháp tổng hợp tài liệu thứ cấp từ các công trình khoa học trong và ngoài nước về đại học thông minh, kết hợp phân tích định tính nhằm đánh giá thực trạng và các yếu tố ảnh hưởng tại Việt Nam. Đồng thời, nghiên cứu áp dụng phương pháp tham vấn chuyên gia trong lĩnh vực quản lý và xây dựng để thu thập dữ liệu thực tiễn, từ đó đề xuất các giải pháp phù hợp cho phát triển đại học thông minh tại Việt Nam.

3. TỔNG QUAN VỀ ĐẠI HỌC THÔNG MINH

3.1. Các nghiên cứu liên quan

Trên thế giới, thuật ngữ “đại học thông minh - smart university” được hiểu là mô hình đại học ứng dụng rộng rãi các công nghệ hiện đại như AI, IoT, Big Data, điện toán đám mây (Cloud Computing) và hệ thống học tập thông minh vào toàn bộ hệ sinh thái giáo dục nhằm tối ưu hóa các hoạt động từ giảng dạy, nghiên cứu đến quản trị và phục vụ cộng đồng (Jong.cs., 2020).

Theo UNESCO (2019) trong sáng kiến “Futures of Education: Learning to Become”, thế giới đang bước vào giai đoạn biến đổi nhanh về công nghệ (AI, sinh học), môi trường và xã hội, đòi hỏi hệ thống giáo dục phải chuyển đổi mạnh mẽ để xây dựng môi trường học tập linh hoạt, bao trùm và hướng tới tương lai. Đại học thông minh là cơ sở GDĐH có tính thích ứng cao, công nghệ thông tin được tích hợp vào mọi chức năng nhằm thúc đẩy sự đổi mới và phát triển bền vững của GDĐH.

Theo hướng dẫn “Building the future intelligent campus” của JISC (2020), một đại học thông minh cần ba năng lực cốt lõi: (1) Lãnh đạo và quản trị số với chiến lược xuyên suốt và lãnh đạo số mạnh mẽ; (2) Hạ tầng công nghệ bền vững, tích hợp đồng bộ các hệ thống như mạng, cloud, dữ liệu trung tâm, IoT, cảm biến, bảo mật và nền tảng liên thông; (3) Năng lực số của cán bộ, giảng viên, sinh viên - coi con người là trung tâm, được trang bị kỹ năng sử dụng, sáng tạo và phân tích dữ liệu, cùng các chương trình đào tạo liên tục để thích ứng nhanh với thay đổi công nghệ, xã hội, tập trung vào trải nghiệm người học và học tập suốt đời.

OECD (2019) khẳng định đại học thông minh là nền tảng cho học tập cá nhân hóa, trải nghiệm thực tế và phát triển năng lực tư duy phản biện, sáng tạo, giải quyết vấn đề, các kỹ năng thiết yếu trong kỷ nguyên số. Báo cáo của UNESCO (2021) cũng nhấn mạnh vai trò trung yếu của đại học thông minh trong hệ thống giáo dục số hóa, thúc đẩy đổi mới quản trị và phương pháp đào tạo để nâng cao năng lực đổi mới sáng tạo của sinh viên.

Tại Việt Nam, dù đã có chính sách và nghiên cứu về đại học thông minh, nhưng vẫn tồn tại hạn chế về hạ tầng công nghệ, năng lực số của giảng viên, mô hình quản trị còn cứng nhắc và chênh lệch phát triển giữa các cơ sở. Điều này đặt ra yêu cầu nghiên cứu sâu hơn, tập trung vào vai trò cốt lõi của hạ tầng vật lý và hạ tầng kỹ thuật số như nền tảng thiết yếu cho phát triển đại học thông minh.

3.2. Các thành phần cấu thành đại học thông minh

Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra tầm quan trọng của việc xây dựng mô hình đại học thông minh để nâng cao chất lượng đào tạo và quản trị trong bối cảnh chuyển đổi số (Nguyen, Pham, & Le, 2024; Nguyen, Tran, & Le, 2024).

Dựa trên tổng hợp từ các nghiên cứu (Chou & Chan, 2016) và nghiên cứu của tác giả, đại học thông minh được đề xuất gồm các thành phần:

Bảng 1. Đề xuất về các tiêu chí đánh giá đại học thông minh

Thành phần	Mô tả
Smart Learning	Phát triển môi trường học tập linh hoạt, cá nhân hóa trên nền tảng số, ứng dụng AI và phân tích hành vi học tập để điều chỉnh nội dung, phương pháp và tiến độ phù hợp từng người học; hỗ trợ học tập mọi lúc, mọi nơi, trên đa thiết bị.
Smart Governance	Triển khai hệ thống quản trị đại học số ứng dụng Big Data, hỗ trợ ra quyết định theo thời gian thực, bảo đảm minh bạch, hiệu quả và linh hoạt, số hóa toàn diện các quy trình hành chính, tài chính, tuyển sinh, nhân sự và kiểm định chất lượng
Smart Campus	Phát triển hạ tầng số tích hợp IoT, cảm biến và hệ thống giám sát thông minh, tạo không gian học tập xanh, bền vững và an toàn, kết nối liên mạch không gian vật lý và số phục vụ học tập, nghiên cứu và sinh hoạt người học.
Smart Research	Ứng dụng công nghệ số và nền tảng mở trong nghiên cứu, AI hỗ trợ phân tích dữ liệu lớn, xử lý thông tin, tra cứu và hỗ trợ viết bài, quản lý và số hóa toàn diện dữ liệu nghiên cứu, công bố khoa học và kết nối nhà nghiên cứu trong nước và quốc tế.
Smart Community	Tăng cường kết nối số giữa đại học với cộng đồng, doanh nghiệp, chính quyền và tổ chức xã hội; đẩy mạnh chia sẻ tri thức, chuyển giao công nghệ và hoạt động phục vụ cộng đồng, phát huy vai trò hạt nhân sáng tạo trong hệ sinh thái địa phương và quốc gia của cơ sở GDĐH.

Smart Governance là việc ứng dụng công nghệ số, Big Data, AI và các hệ thống quản lý trực tuyến nhằm nâng cao hiệu quả quản

lý, minh bạch hóa hoạt động, đặc biệt trong đại học và cơ quan nhà nước. Đây là tiêu chí trọng tâm phản ánh năng lực lãnh đạo và quản trị số toàn diện.

Smart Campus là khuôn viên đại học ứng dụng công nghệ số và IoT để tạo môi trường học tập, nghiên cứu tiện nghi, an toàn, bền vững. Hạ tầng thông minh bao gồm mạng tốc độ cao, cảm biến IoT, hệ thống an ninh, quản lý năng lượng, tài sản và phòng học thông minh. Các tiện ích học tập, nghiên cứu, đời sống và giao thông đều được tích hợp, mang đến trải nghiệm hiện đại cho sinh viên, giảng viên và nhân viên nhằm cải thiện hiệu quả hoạt động giảng dạy, học tập và nghiên cứu (Sundorph & Mosseri-Marlio, 2016).

Smart Research ứng dụng công nghệ số trong quản lý dự án và nghiên cứu khoa học: theo dõi tiến độ, phân bổ nguồn lực, phân tích dữ liệu lớn, dự báo xu hướng, tự động hóa thiết bị và kết nối cộng đồng khoa học qua nền tảng trực tuyến. Mục tiêu là nâng cao hiệu quả và năng lực số trong nghiên cứu.

Smart Community hướng đến xây dựng cộng đồng đại học kết nối, hợp tác và sáng tạo thông qua các nền tảng số, diễn đàn trực tuyến, hoạt động trao đổi tri thức, văn hóa, phát triển kỹ năng đổi mới sáng tạo, đồng thời mở rộng liên kết với các đối tác bên ngoài.

Tổng thể, các tiêu chí trên nhấn mạnh sự tích hợp, tương tác và phát triển bền vững của đại học thông minh, với công nghệ số là trung tâm. Tuy nhiên, triển khai đồng bộ vẫn là thách thức lớn trong bối cảnh hạn chế về hạ tầng và năng lực số tại nhiều cơ sở GDĐH.

3.3. Mô hình quốc tế tiêu biểu

Dựa trên các thành phần đại học thông minh đã trình bày ở trên, các mô hình tiêu biểu được lựa chọn dựa trên mức độ đáp ứng nổi bật các tiêu chí này và tính khả thi trong ứng dụng công nghệ số hiện đại trong quản trị, giảng dạy, nghiên cứu và phục vụ cộng đồng.

3.3.1. Đại học Quốc gia Seoul, Hàn Quốc (SNU)

SNU nổi bật với mô hình “Smart Learning” cá nhân hóa học tập dựa trên AI. SNU là biểu tượng đổi mới giáo dục của Hàn Quốc, quốc gia đầu tư mạnh vào EdTech, AI, và giáo dục cá nhân hóa. SNU có mô hình “Smart+” không chỉ áp dụng AI mà còn liên kết Cloud - Big Data - LMS tích hợp để phân tích năng lực cá nhân. Bên cạnh đó, Hàn Quốc có chính sách quốc gia về “University 4.0”, trong đó SNU là đơn vị tiên phong thử nghiệm. Mô hình “AI-Integrated Education” được triển khai tại Khoa Giáo dục SNU, tài trợ bởi Sở Giáo dục Seoul. Trong đó, chương trình thạc sỹ chuyên sâu trang bị cho giảng viên kiến thức về AI và ứng dụng trong sư phạm, bao gồm kiến thức cơ bản về AI, công nghệ AI, cách tích hợp AI vào môn học, công cụ sư phạm AI và các vấn đề xã hội liên quan đến AI nhằm mục tiêu là phát triển năng lực đổi mới chương trình, tạo ra môi trường học tập cá nhân hóa bằng hỗ trợ AI, đúng với mô hình Smart Learning. Đây mô hình tiêu biểu của đại học thông minh trong chú trọng môi trường học tập linh hoạt, cá nhân hóa và đổi mới sáng tạo trong giảng dạy.

3.3.2. Đại học Quốc gia Singapore (NUS)

Singapore là quốc gia có chính sách giáo dục, công nghệ đồng bộ, giúp đại học triển khai mô hình số hóa toàn diện nhất khu vực ASEAN. Trong đó, NUS là đại học có vị trí top 1 châu Á về đổi mới giáo dục và ứng dụng chuyển đổi số. NUS thể hiện tiêu chí Smart Campus và Smart Governance vượt trội qua, là đại diện tiên phong mô hình “Digital Twin Campus” một hướng đi mới đang lan rộng toàn cầu, được phát triển tại Khoa Thiết kế và Kỹ thuật NUS. Mô hình “Digital Twin Campus” sử dụng dữ liệu theo thời gian thực để xây dựng bản sao số 3D của khuôn viên, bao gồm mô hình xây dựng, dữ liệu vi khí hậu, con người và hệ thống cơ sở hạ tầng. Digital twin hỗ trợ trong quy hoạch đô thị thông minh (ví dụ: lựa chọn vị trí trồng cây, hệ thống làm mát, ...), trong quản lý năng lượng, mô phỏng kịch bản CO₂ linh hoạt, tối ưu hóa hệ thống điện nhẹ, vi khí hậu. NUS triển khai và xây dựng “Digital Twin Campus” mô hình song song số

hóa toàn bộ hoạt động của trường, hỗ trợ ra quyết định từ dữ liệu thời gian thực. Khuôn viên NUS cũng được vận hành như một “trải nghiệm sống” (Living Lab) để thử nghiệm và triển khai các giải pháp bền vững như mạng lưới điện AC/DC hybrid, hệ thống. NUS là đại diện cho mô hình: Smart university dựa trên chuyển đổi số toàn diện và hạ tầng công nghệ mạnh.

3.3.3. Đại học Arizona State (ASU, Hoa Kỳ)

ASU được tạp chí U.S. News & World Report đánh giá là “sáng tạo nhất nước Mỹ” 8 năm liền, do họ tiên phong EdTech và học mở. ASU được xem là điển hình về “Smart Learning Ecosystem” (Educause, 2021). ASU là hình mẫu thành công của mô hình “Smart campus”, quy mô lớn, kết hợp công nghệ AI và Big Data trong quản trị học vụ và tài chính (với khả năng quy mô hóa đại học thông minh, tiếp cận hàng trăm ngàn sinh viên qua nền tảng trực tuyến. Tổ chức mô hình vận hành như một doanh nghiệp giáo dục số, dùng AI và dữ liệu lớn để điều hành học vụ - tài chính - hỗ trợ học tập. Tại ASU phát triển nền tảng Smart Learning Ecosystem với hệ thống học tập tương tác và cá nhân hóa. Và triển khai thông qua ASU Online - nền tảng học trực tuyến tương tác cao, trong đó: Hệ thống AI giúp ổn định nội dung, đề xuất chương trình học, điều phối giảng viên và kết nối giữa sinh viên theo thời gian thực. ASU có mạng lưới campus kết nối vật lý và số. Điểm nổi bật khác là Decision Theater môi trường mô phỏng trực quan (3D, hệ thống âm thanh bao quanh) hỗ trợ ra quyết định tập thể và mô phỏng kịch bản tương tác giữa giảng viên và sinh viên. Từ đó, ASU triển khai nền tảng học tập tương tác toàn diện, sử dụng AI để điều phối giảng viên - sinh viên - nội dung theo thời gian thực. ASU là đại diện cho mô hình: Smart university quy mô lớn, kết hợp công nghệ và đổi mới mô hình quản trị.

3.3.4. Đại học KU Leuven (Bỉ)

KU Leuven là một trong những đại học nghiên cứu hàng đầu châu Âu, nổi bật về ứng dụng dữ liệu trong giáo dục. Trường được xem là hình mẫu cho mô hình “Data-Driven Smart Learning” tại châu Âu (European Commission, 2020). KU Leuven triển khai mô hình học tập thông minh dựa trên học phân tích (learning analytics), thu thập dữ liệu hành vi học tập để điều chỉnh nội dung, phương pháp và hỗ trợ học cá nhân hóa. Trường sử dụng hệ thống cảm biến và phần mềm tương tác trong lớp học để theo dõi mức độ tham gia, nhịp độ tiếp thu và khó khăn học tập của từng sinh viên theo thời gian thực. Các dashboard học tập được phát triển dành cho cả người học và giảng viên nhằm đưa ra phản hồi tức thì, gợi ý học liệu và đề xuất phương pháp giảng dạy tương ứng. KU Leuven không chỉ đổi mới dạy - học mà còn áp dụng phân tích dữ liệu vào quản lý khóa học, tư vấn học tập và dự báo khả năng hoàn thành chương trình của từng sinh viên. KU Leuven là đại diện tiêu biểu cho mô hình Smart university chú trọng phân tích học tập và cá nhân hóa dạy - học dựa trên dữ liệu hành vi người học. KU triển khai hệ thống cảm biến và dashboard phản hồi tức thì, đồng thời ứng dụng phân tích dữ liệu trong quản lý học thuật, thể hiện sự đáp ứng tiêu chí Smart Learning và Smart Research.

3.3.5. Đại học Tampere (Phần Lan)

Tampere là một trong những trường đại học tiên phong tại Bắc Âu triển khai mô hình đại học thông minh toàn diện, trong đó trí tuệ nhân tạo là hạt nhân trong thiết kế chương trình, điều hành học vụ và phát triển học tập cá nhân hóa. Tampere áp dụng mô hình “AI-Driven Smart University” với định hướng lấy hiệu suất học tập và trải nghiệm người học làm trung tâm (OECD, 2022). Toàn bộ chu trình học tập - từ tuyển sinh, tư vấn học tập, cố vấn cá nhân, đến kiểm tra đánh giá, được tự động hóa và kết nối thông qua hệ thống AI. Hệ thống có khả năng đề xuất khóa học phù hợp, điều phối giảng viên, cảnh báo sớm rủi ro học tập, hỗ trợ sinh viên đưa ra lộ trình cá nhân. Tampere cũng ứng dụng AI trong nghiên cứu khoa học, quản lý học thuật và phân bổ nguồn lực đào tạo.

Trường đặc biệt chú trọng đến việc tạo ra một môi trường học tập thông minh gắn với tương tác xã hội, học tập mở và linh hoạt, phù hợp với tinh thần giáo dục khai phóng của Phần Lan. Tampere là đại diện tiêu biểu cho mô hình Smart university vận hành toàn diện dựa trên AI, tối ưu hiệu suất học tập và quản trị, chú trọng hiệu suất học tập và trải nghiệm người học, đồng thời ứng dụng AI trong quản lý học thuật và phân bổ nguồn lực, thể hiện sự tích hợp sâu giữa Smart Learning, Smart Governance và Smart Research.

Tóm lại, các mô hình này đại diện cho những hướng đi đặc trưng theo từng tiêu chí đại học thông minh, đồng thời phản ánh các mức độ áp dụng công nghệ số và đổi mới sáng tạo khác nhau phù hợp với bối cảnh và chiến lược quốc gia của từng trường và khu vực. Việc lựa chọn mô hình phù hợp với điều kiện cụ thể của Việt Nam là cần thiết để xây dựng đại học thông minh hiệu quả và bền vững.

4. THỰC TRẠNG TRIỂN KHAI ĐẠI HỌC THÔNG MINH TẠI VIỆT NAM

Để đánh giá các mô hình đại học thông minh tại Việt Nam, tác giả lựa chọn các trường đại diện, phân tích dựa trên các tiêu chí cốt lõi của đại học thông minh gồm: hạ tầng công nghệ số, quản trị số, học tập cá nhân hóa, nghiên cứu ứng dụng công nghệ và kết nối cộng đồng.

4.1. Một số mô hình đại học thông minh của Việt Nam

4.1.1. Đại học Quốc gia Hà Nội

Đại học Quốc gia Hà Nội (ĐHQGHN) phát triển mô hình đại học thông minh tích hợp với trọng tâm là xây dựng hạ tầng công nghệ số hiện đại với hệ thống quản lý học tập Learning Management System và hệ thống quản lý đào tạo; Áp dụng dịch vụ hành chính công trực tuyến giúp sinh viên và cán bộ thực hiện các thủ tục hành chính nhanh chóng; Phát triển thư viện số với hàng triệu tài liệu điện tử phục vụ học tập và nghiên cứu; Đẩy mạnh nghiên cứu khoa học dựa trên dữ liệu lớn và hợp tác quốc tế. Đặc điểm nổi bật của mô hình đại học này là tích hợp nhiều dịch vụ thông minh để hỗ trợ toàn diện từ quản lý đào tạo, nghiên cứu đến quản lý nhân sự và tài sản. Trong đó, hệ thống phòng thí nghiệm trọng điểm tại ĐHQGHN đã và đang được tăng cường, đặc biệt là chiến lược phát triển hệ thống phòng thí nghiệm liên ngành tại Hòa Lạc - Khu 22,9 ha để đổi mới việc tổ chức nghiên cứu gắn với nhu cầu của doanh nghiệp, hướng tới tạo ra các nghiên cứu tham gia giải quyết các vấn đề lớn của đất nước và các sản phẩm KH&CN ứng dụng trong thực tiễn. Đến nay, ĐHQGHN có 36 nhóm nghiên cứu mạnh, 10 phòng thí nghiệm trọng điểm và trung tâm nghiên cứu trọng điểm cấp ĐHQGHN và 01 phòng thí nghiệm trọng điểm cấp Nhà nước. Chiến lược phát triển phòng thí nghiệm trọng điểm liên ngành tại Khu công nghệ cao Hòa Lạc của ĐHQGHN tạo điều kiện thúc đẩy nghiên cứu gắn với nhu cầu thực tiễn và hợp tác doanh nghiệp, đáp ứng tiêu chí Smart Research và Smart Governance. Tuy nhiên, mức độ cá nhân hóa học tập và trải nghiệm người dùng trên nền tảng số còn cần cải thiện để đáp ứng tiêu chí Smart Learning toàn diện hơn.

4.1.2. Đại học Quốc gia TP.HCM

Đại học Quốc gia TP.HCM (ĐHQG-HCM) được thành lập năm 1995, định hướng trở thành đại học hàng đầu châu Á, trung tâm khoa học - công nghệ, đổi mới sáng tạo, văn hóa và tri thức Việt Nam. ĐHQG-HCM phát triển mô hình đại học hiện đại, tiên tiến trong quản lý, đào tạo, nghiên cứu và phục vụ cộng đồng.

ĐHQG-HCM đang triển khai Đại học thông minh: (1) Smart Campus với mạng không dây phủ rộng, camera an ninh, kiểm soát ra vào tự động; (2) Smart Services với ứng dụng di động hỗ trợ học tập, lịch thi, sự kiện, đặt phòng học, xe đưa đón; (3) Smart Learning với hệ sinh thái học tập trực tuyến, lab ảo, thư viện điện tử; (4) Smart Community thông qua phát triển kỹ năng số, khởi nghiệp sáng tạo, số hóa dịch vụ và ký túc xá. Theo báo cáo năm 2024, ĐHQG-HCM đã hoàn thành giai đoạn 1 chuyển đổi số:

tích hợp ký số với trực liên thông quốc gia, vận hành trung tâm dữ liệu gần 6.000 cán bộ, 21 môn học MOOC, 71 môn Blended Learning, mở rộng quản trị dữ liệu và hạ tầng số an toàn. Năm 2025, ĐHQG-HCM khởi công Trung tâm Nghiên cứu tiên tiến và Đổi mới sáng tạo (4,65 ha, vốn đầu tư 700 tỷ đồng), dự kiến đặt các phòng thí nghiệm, xưởng thử nghiệm và trung tâm R&D hợp tác doanh nghiệp, góp phần xây dựng Khu đô thị ĐHQG-HCM hiện đại. Việc triển khai Smart Campus, Smart Learning và Smart Community giúp nâng cao quản trị số, hỗ trợ giảng dạy, học tập hiệu quả. Tuy nhiên, các ứng dụng AI trong phân tích dữ liệu học tập và nghiên cứu vẫn đang được tiếp tục phát triển.

4.1.3. Trường Đại học FPT

Trường Đại học FPT xây dựng mô hình đại học thông minh với nền tảng công nghệ số mạnh mẽ, ứng dụng AI, Big Data và Cloud Computing trong quản lý đào tạo và nghiên cứu, đặc biệt chú trọng giáo dục số hóa toàn diện và liên kết doanh nghiệp, thể hiện rõ tiêu chí Smart Governance, Smart Research và Smart Learning. Trường Đại học FPT là trường đại học thế hệ mới được hình thành trong lòng doanh nghiệp, xây dựng mô hình đại học thông minh dựa trên công nghệ số và đổi mới sáng tạo, với ứng dụng mạnh mẽ công nghệ AI, Big Data và Cloud Computing trong quản lý đào tạo và nghiên cứu, xây dựng môi trường học tập được trang bị phòng học thông minh, hệ thống bài giảng trực tuyến đa phương tiện, triển khai tích hợp hệ thống hỗ trợ sinh viên tự học và tư vấn nghề nghiệp thông minh, phát triển các chương trình đào tạo gắn liền với nhu cầu thị trường lao động công nghệ cao. Mô hình đại học thông minh tại Trường Đại học FPT có đặc điểm nổi bật khi tập trung xây dựng mô hình giáo dục số hóa toàn diện, đổi mới sáng tạo và liên kết doanh nghiệp. Trường Đại học FPT phát triển campus xanh tọa lạc tại 05 tỉnh, thành phố lớn của cả nước bao gồm Hà Nội, TP Đà Nẵng, tỉnh Gia Lai, TP.HCM, và TP Cần Thơ. Các campus được xây dựng theo hướng hình thành khu đô thị toàn năng thu nhỏ, thiết kế không gian mở, xen kẽ thiên nhiên xanh, campus.

4.2. Phân tích thực trạng

Trong những năm gần đây, Nhà nước đã ban hành nhiều chủ trương quan trọng nhằm thúc đẩy chuyển đổi số trong giáo dục và phát triển mô hình đại học thông minh. Nghị quyết số 29-NQ/TW (2013) của Ban chấp hành Trung ương đã đặt nền tảng cho đổi mới căn bản và toàn diện giáo dục, hiện đại hóa hệ thống đào tạo, tăng cường ứng dụng công nghệ thông tin và hướng đến mô hình quản trị minh bạch, tự chủ. Tiếp đó, Quyết định số 749/QĐ-TTg (2020) của Thủ tướng Chính phủ phê duyệt Chương trình Chuyển đổi số quốc gia, xác định giáo dục là một trong tám lĩnh vực ưu tiên, với mục tiêu đến năm 2025: 100% trường phổ thông và đại học triển khai nền tảng học tập số, ít nhất 50% chương trình đào tạo được số hóa và tổ chức giảng dạy trực tuyến. Quyết định số 131/QĐ-TTg (2022) của Thủ tướng Chính phủ tiếp tục định hướng phát triển hệ sinh thái giáo dục số, bao gồm: hạ tầng công nghệ thông tin, học liệu số, kiểm tra đánh giá điện tử, và nâng cao năng lực số cho đội ngũ giảng viên và người học. Gần đây nhất, Nghị quyết số 57-NQ/TW (2024) của Bộ Chính trị nhấn mạnh vai trò của khoa học công nghệ, đổi mới sáng tạo và chuyển đổi số trong việc hình thành các đại học nghiên cứu mạnh, có khả năng hội nhập và hợp tác quốc tế sâu rộng.

Đến năm 2024, ngành GD&ĐT đã số hóa dữ liệu của 470 cơ sở GD&ĐT, 25.000 chương trình đào tạo, 100.000 hồ sơ cán bộ và gần 3 triệu hồ sơ người học, kết nối đồng bộ với CSDL quốc gia. 100% cơ sở GD&ĐT đã triển khai ít nhất một hình thức chuyển đổi số (tuyển sinh trực tuyến, học liệu số, LMS), khoảng 20-25% bước đầu áp dụng mô hình “smart university” (lớp học thông minh, dashboard, AI hỗ trợ học tập). Tuy nhiên, mới dưới 10% trường có chiến lược chuyển đổi số tổng thể; khoảng 65% dùng LMS (Canvas, Moodle), 12% thử nghiệm dashboard học vụ, 6-8% lớp học thông minh (AI, IoT), và chỉ ~3% ứng dụng chatbot/AI trong tư vấn học tập.

Đánh giá tổng quan đối với các trụ cột chính trong phát triển đại học thông minh

Bảng 2. Các trụ cột chính trong phát triển đại học thông minh

Trụ cột	Điểm tích cực	Hạn chế
Chính sách	Có định hướng chuyển đổi số rõ ràng từ Trung ương	Thiếu hướng dẫn cụ thể và thống nhất về tiêu chí “đại học thông minh”
Hạ tầng số	Một số trường đầu tư hệ thống công nghệ hiện đại	Chênh lệch lớn giữa các vùng; thiếu liên thông dữ liệu
Năng lực con người	Xuất hiện nhóm giảng viên, cán bộ tiên phong	Mật bằng chung còn thấp; thiếu kỹ năng AI, dữ liệu
Văn hóa đổi mới	Một số trường có môi trường mở, hợp tác quốc tế tốt	Đổi mới chậm trong hệ thống trường công lập
Quản trị số	Một số nơi triển khai Dashboard, ERP, tự chủ cao	Phần lớn vẫn sử dụng mô hình quản lý thủ công hoặc bán tự động

Về hạ tầng kỹ thuật và cơ sở vật chất (CSVC), yếu tố tiên quyết để xây dựng mô hình đại học thông minh, hiện nay vẫn tồn tại sự chênh lệch lớn về trình độ công nghệ và mức độ sẵn sàng giữa các nhóm trường đại học. Một số trường lớn, định hướng tự chủ rõ ràng đã đầu tư vào các thành phần của *Smart campus* như: lớp học thông minh, hệ thống giám sát tự động, IoT quản lý điện - nước - ánh sáng, trung tâm dữ liệu, mạng nội bộ tốc độ cao, phòng học tiêu chuẩn, máy chủ và hạ tầng kết nối thiết bị dạy - học. Tuy nhiên, khảo sát của Bộ GD&ĐT năm 2023 cho thấy chỉ khoảng 30% trường có nền tảng LMS vận hành ổn định và dưới 15% có hệ thống quản lý cơ sở vật chất tích hợp. Đầu tư còn dàn trải, thiếu chiến lược, nhiều trường triển khai cục bộ, thử nghiệm nhỏ lẻ, dẫn đến lãng phí nguồn lực, thiết bị nhanh lạc hậu và khó tích hợp với hệ thống quản trị chung. Phần lớn công trình, cơ sở vật chất được xây dựng trước thời kỳ chuyển đổi số, chưa chuẩn hóa cho việc tích hợp công nghệ; nhiều cơ sở gặp hạn chế về kết cấu, hạ tầng điện, mạng cáp và phủ sóng Wi-Fi. Ngoài ra, đội ngũ chuyên trách cho vận hành và bảo trì hệ thống thông minh còn thiếu. Các thiết bị như bảng tương tác, AI giám sát, điều hòa thông minh... thường do cán bộ kiêm nhiệm quản lý, dẫn đến hiệu quả sử dụng thấp. Kinh nghiệm từ các quốc gia có đại học hàng đầu cho thấy, việc phát triển *Smart university* cần quy hoạch tổng thể, đầu tư đồng bộ hạ tầng, công nghệ, nhân lực để tăng cường khả năng thích ứng trong bối cảnh chuyển đổi số.

5. GIẢI PHÁP KHUYẾN NGHỊ CHO VIỆT NAM

Phát triển đại học thông minh tại Việt Nam trong bối cảnh chuyển đổi số là xu hướng tất yếu, góp phần nâng cao chất lượng đào tạo, nghiên cứu và quản trị giáo dục, tác giả đề xuất các nhóm giải pháp chiến lược sau:

Thứ nhất là hoàn thiện thể chế và chính sách quản trị số thông qua việc ban hành, hoàn thiện khung pháp lý hỗ trợ chuyển đổi số trong GD&ĐT, bao gồm quy định về dạy - học trực tuyến, đánh giá, cấp bằng điện tử, quản lý dữ liệu, bảo vệ quyền riêng tư và tuân thủ luật an ninh mạng; Xây dựng chính sách quản trị số minh bạch, nhất quán về dữ liệu mở, bảo mật và trách nhiệm pháp lý; Thúc đẩy cơ chế phối hợp liên ngành nhằm đồng bộ hóa chính sách và chia sẻ nguồn lực; Tăng cường quản trị dựa trên dữ liệu, phát triển năng lực đọc hiểu và sử dụng dữ liệu cho cán bộ quản lý; Xây dựng và áp dụng bộ tiêu chí đánh giá mức độ trường thành số của các cơ sở GD&ĐT, gắn với giám sát và công khai kết quả.

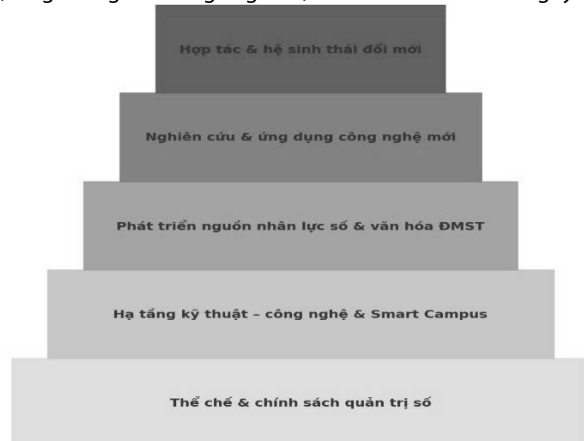
Thứ hai là đầu tư phát triển hạ tầng kỹ thuật - công nghệ và mô hình *Smart campus* với quy hoạch tổng thể khuôn viên đại học

thông minh, tích hợp công nghệ và phát triển bền vững, tối ưu không gian học tập, nghiên cứu và sinh hoạt, đồng thời kết nối linh hoạt với đô thị thông minh; Đầu tư hạ tầng mạng tốc độ cao, trung tâm dữ liệu, điện toán đám mây, hệ thống IoT, cảm biến và điều khiển thiết bị nhằm tối ưu vận hành và nâng cao trải nghiệm dạy - học; Phát triển Smart campus thông minh, xanh, an toàn, ứng dụng quản lý năng lượng và môi trường thông minh, gắn kết cộng đồng địa phương.

Thứ ba, ưu tiên phát triển nguồn nhân lực số và văn hóa đổi mới sáng tạo. Các cơ sở GDĐH cần đào tạo, bồi dưỡng kỹ năng số cho cán bộ, giảng viên, nhân viên từ cơ bản đến nâng cao (sử dụng hệ thống LMS, ERP, công cụ phân tích dữ liệu, AI, VR/AR, Digital Twin...); Triển khai chứng chỉ năng lực số và khung năng lực số cho từng nhóm đối tượng, tổ chức đào tạo liên tục để nâng cao khả năng thích ứng công nghệ. Đồng thời, xây dựng văn hóa đổi mới sáng tạo, khuyến khích học hỏi liên ngành và học tập suốt đời trong toàn hệ thống.

Thứ tư, đẩy mạnh nghiên cứu và ứng dụng công nghệ mới. Ưu tiên nghiên cứu và ứng dụng công nghệ mới (AI, VR/AR, Blockchain, Digital Twin) trong giảng dạy, quản lý và hỗ trợ học tập; tự động hóa hành chính. Kết nối nghiên cứu với nhu cầu thực tiễn thông qua cơ chế hợp tác ba bên (trường - doanh nghiệp - nhà nước) và chính sách sandbox cho thử nghiệm công nghệ giáo dục; Thúc đẩy chuyển giao R&D ra thị trường, hỗ trợ sáng kiến và khởi nghiệp đổi mới sáng tạo từ giảng viên, sinh viên, thành lập quỹ nghiên cứu nội bộ và xây dựng hệ sinh thái khởi nghiệp trong cơ sở GDĐH. Phát động cuộc thi, tài trợ ý tưởng, và kết nối sáng kiến với hệ sinh thái đổi mới sáng tạo quốc gia, vườn ươm và tập đoàn công nghệ.

Thứ năm, tăng cường hợp tác và xây dựng hệ sinh thái đổi mới. Thúc đẩy hợp tác “ba nhà” (trường - doanh nghiệp - nhà nước): Trường là trung tâm nghiên cứu và đào tạo; doanh nghiệp cung cấp công nghệ, tài chính và tham gia đào tạo; nhà nước tạo hành lang pháp lý, cơ chế khuyến khích và giám sát; Mở rộng hợp tác quốc tế: Xây dựng mạng lưới học thuật - công nghệ, tham gia dự án Smart campus, AI trong giáo dục; tăng cường trao đổi giảng viên, sinh viên và chia sẻ tài nguyên.



Hình 1. Kim tự tháp chiến lược, giải pháp phát triển đại học thông minh

Tầng thứ nhất, nền tảng ưu tiên là hoàn thiện thể chế và chính sách quản trị số, là điều kiện pháp lý, chính sách làm cơ sở để các giải pháp khác triển khai. Tầng thứ hai là đầu tư hạ tầng kỹ thuật, công nghệ và Smart campus với vai trò là công cụ để hiện thực hóa chính sách và tạo môi trường thực hành. Tầng thứ ba là phát triển nguồn nhân lực số và văn hóa đổi mới sáng tạo, trong đó xác định yếu tố con người là trung tâm để khai thác hiệu quả công nghệ và chính sách. Tầng thứ tư là nghiên cứu và ứng dụng công nghệ mới, đây là động lực tăng trưởng nhằm nâng cao năng lực cạnh tranh, chuyển giao tri thức. Đỉnh của tháp là hợp tác và xây dựng hệ sinh thái đổi mới, tạo nên sức mạnh tổng hợp để các cơ sở GDĐH hội nhập quốc tế.

6. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này tập trung phân tích xu hướng phát triển mô hình đại học thông minh trong bối cảnh chuyển đổi số toàn cầu, đồng thời khảo sát thực trạng và đề xuất giải pháp phát triển hệ thống đại học thông minh tại Việt Nam. Trên cơ sở phân tích các yếu tố then chốt cấu thành đại học thông minh, bao gồm công nghệ, con người và quản trị, nghiên cứu đánh giá mức độ đầu tư vào hạ tầng công nghệ hiện đại và không gian học tập thông minh tại các cơ sở GDĐH ở Việt Nam. Từ đó, các chính sách và lộ trình chuyển đổi phù hợp với đặc thù từng đơn vị được đề xuất, trong đó nhấn mạnh vai trò định hướng của Nhà nước về mặt thể chế và tài chính, cũng như vai trò chủ động, linh hoạt của các cơ sở GDĐH trong quá trình chuyển đổi.

Phát triển mô hình đại học thông minh là xu thế tất yếu và nhu cầu cấp thiết để nâng cao chất lượng đào tạo, hiệu quả quản trị và năng lực đổi mới sáng tạo trong GDĐH Việt Nam. Việc triển khai đồng bộ ba trụ cột công nghệ - con người - quản trị, đặc biệt là đầu tư hiện đại hóa cơ sở hạ tầng công nghệ và không gian học tập thông minh, được xác định là ưu tiên chiến lược. Nhà nước cần tiếp tục đóng vai trò định hướng và hỗ trợ về thể chế, tài chính, trong khi các cơ sở GDĐH cần xây dựng và thực hiện lộ trình chuyển đổi linh hoạt, phù hợp với đặc thù từng đơn vị. Kết quả nghiên cứu góp phần cung cấp cơ sở khoa học cho việc hoạch định chính sách và chiến lược phát triển đại học thông minh tại Việt Nam, qua đó nâng cao năng lực cạnh tranh, thúc đẩy hội nhập quốc tế và phát triển bền vững các cơ sở GDĐH trong kỷ nguyên số.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. An, L. (2025, April 4). Những con số biết nói về giáo dục đại học Việt Nam. Giáo dục Việt Nam. <https://giaoduc.net.vn/nhung-con-so-biet-noi-ve-giao-duc-dai-hoc-viet-nam-post250367.gd>, truy cập ngày 04/04/2025.
- [2]. Bộ GD&ĐT (2024), Báo cáo sơ kết công tác chuyển đổi số, cải cách hành chính năm 2024.
- [3]. Chou, P. N., & Chan, H. Y. (2016). Smart learning environments in higher education: Research and practice. Springer.
- [4]. Dong, B., Cao, Y., Li, H., & Wu, D. (2020). Smart campus: Definition, framework, technologies, and services. IET Smart Cities, 2(1), 43-54. <https://doi.org/10.1049/iet-smc.2019.0072>.
- [5]. JISC (2020). The Future of Smart Universities. UK Higher Education Report.
- [6]. Nguyen, T. H., Pham, M. T., & Le, V. D. (2024). Building and developing a smart university model: Current situation and solutions in Vietnam. Research Review International Journal of Multidisciplinary, 9(1), 43-56. <https://rjournals.com/index.php/rrijm/article/view/999>
- [7]. Nguyen, V. A., Tran, T. B., & Le, M. C. (2024). Xây dựng và phát triển mô hình đại học thông minh: Thực trạng và giải pháp tại Việt Nam. Research Review International Journal of Multidisciplinary, 9(1), 43-56. Truy cập từ <https://rjournals.com/index.php/rrijm/article/view/999>.
- [8]. Nguyễn, Q. (2025, July 14). Thúc đẩy chuyển đổi số trong giáo dục đại học. Nhân dân. <https://nhandan.vn/thuc-day-chuyen-doi-so-trong-giao-duc-dai-hoc-post850421.html>, truy cập ngày 14/7/2025.
- [9]. OECD (2021), OECD Digital Education Outlook 2021: Pushing the Frontiers with Artificial Intelligence, Blockchain and Robots, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/589b283f-en>.
- [10]. Pham, T. H., Nguyen, V. M., & Le, T. A. (2024). Opportunities and challenges of digital transformation in improving quality of higher education in Vietnam. International Journal of Advanced Multidisciplinary Research and Studies, 4(7), 80-88. <https://www.multiresearchjournal.com/arclist/list-2024.4.1/id-2222>.
- [11]. Sundorph, E., & Mosseri-Marlio, W. (2016). Smart campuses: How big data will transform higher education.
- [12]. UNESCO (2021). International Forum on Artificial Intelligence and the Futures of Education: Synthesis Report.

Tích hợp chức năng trong các đại học tại vùng Thủ đô dưới góc nhìn liên ngành trong đào tạo

The integrating - oriented design solution at universities in Capital region from an interdisciplinary perspectives

> KTS LÊ MỸ QUỐC

TÓM TẮT

Trong bối cảnh mô hình đại học đa ngành đang phát triển mạnh tại vùng Thủ đô Hà Nội, việc tích hợp chức năng giữa các trường đại học (TĐH) thành viên nhằm tối ưu hóa hiệu quả sử dụng cơ sở vật chất và nâng cao chất lượng đào tạo là rất cần thiết.

Bài viết này đề xuất giải pháp tổ chức không gian kiến trúc khối học tập và nghiên cứu tại các đại học vùng Thủ đô dưới góc nhìn liên ngành trong đào tạo, thông qua việc đánh giá mức độ tích hợp chức năng giữa các TĐH thành viên trong một Đại học. Nghiên cứu xác lập hệ sinh thái học tập và nghiên cứu theo hướng tích hợp chức năng, dựa trên các nhóm không gian kiến trúc bao gồm: trung tâm học thuật sáng tạo liên ngành (hub), trung tâm kỹ thuật cao, hệ thống phòng thí nghiệm tích hợp và các không gian học thuật linh hoạt. Từ đó, bài viết hệ thống hóa các kịch bản tích hợp chức năng liên ngành theo nhóm liên kết từ hai đến tất cả các TĐH thành viên trong một Đại học, tương ứng với các mô hình tổ chức không gian kiến trúc phù hợp. Đồng thời, kiến nghị xây dựng các cơ chế vận hành chia sẻ, các chính sách sử dụng linh hoạt và giải pháp tổ chức kiến trúc nhằm đáp ứng yêu cầu tích hợp chức năng tại các đại học vùng Thủ đô dưới góc nhìn liên ngành. Mục tiêu bài báo nhằm khẳng định, tổ chức không gian kiến trúc đại học theo hướng tích hợp, dưới góc nhìn liên ngành trong đào tạo, là một chiến lược phát triển đại học hiện đại. Điều này góp phần hình thành cộng đồng học thuật liên ngành, nâng cao hiệu suất sử dụng tài nguyên và định hình mô hình đại học bền vững trong tương lai.

Từ khóa: Đại học, tích hợp chức năng, liên ngành trong đào tạo, khối học tập và nghiên cứu.

ABSTRACT

In the context of rapid development of multidisciplinary university models in the Hanoi Capital Region, integrating functions among member universities to optimize the efficiency of facility utilization and enhance training quality is essential.

Therefore, this article proposes solutions for organizing the architectural space of learning and research clusters in capital region universities from an interdisciplinary training perspective, through evaluating the level of functional integration among member universities within a university system. The study established a learning and research ecosystem oriented towards functional integration, based on architectural space groups including: interdisciplinary creative academic hubs, integrated laboratory systems, and flexible academic spaces. Consequently, the article systematizes interdisciplinary functional integration scenarios based on linkage groups ranging from 02 to all member universities within a university system, corresponding to suitable architectural spatial organization models. Simultaneously, it recommends establishing a shared operational mechanism, flexible usage policies, and architectural organization solutions to achieve functional integration in capital region universities from an interdisciplinary perspective. The article's objective affirms that organizing university architectural space with an integration-oriented approach from an interdisciplinary training perspective is a modern university development strategy. This contributes to forming an interdisciplinary academic community, improving resource efficiency, and shaping a sustainable university model for the future.

Keywords: University, functional integration, interdisciplinary education, academic and research block.

1. DẪN NHẬP

Xu hướng tích hợp chức năng giữa các trường thành viên là một giải pháp chiến lược nhằm tối ưu tài nguyên, nâng cao hiệu quả sử dụng, và thúc đẩy các mô hình học tập - nghiên cứu sáng tạo. Theo đó, bài viết này đề xuất giải pháp tổ chức không gian kiến trúc khối học tập và nghiên cứu dưới góc nhìn tích hợp liên ngành, qua đó tối

ưu hóa việc sử dụng cơ sở vật chất và các công tác học tập - nghiên cứu trong các đại học vùng Thủ đô.

2. PHƯƠNG PHÁP LUẬN VÀ CƠ SỞ KHOA HỌC

2.1. Phương pháp luận

Phương pháp luận đòi hỏi phải xuất phát từ cấu trúc chức năng

của các TĐH thành viên, từ đó xác định các không gian đặc thù (tính riêng) và các không gian có thể dùng chung liên ngành (tính tích hợp). Vì vậy, bài viết sử dụng phương pháp so sánh - đối chiếu nhằm phân tích các điểm tương đồng giữa cấu trúc chức năng của các TĐH thành viên và đặt chúng dưới góc độ sử dụng tích hợp liên ngành. Cuối cùng, bài viết đề xuất giải pháp tích hợp sử dụng chung trong các đại học vùng Thủ đô dưới góc nhìn liên ngành trong đào tạo đại học. Cụ thể gồm các bước:



Hình 1. Phương pháp nghiên cứu
2.2.1. Lý thuyết về tích hợp liên ngành “Integrated Curriculum Models” (ICM) (Klein & Newell)

Lý thuyết Integrated Curriculum Models (ICM), do Julie Thompson Klein và William H. Newell phát triển dựa trên 04 nhóm không gian chính như sau :

1. Không gian học tập tích hợp (Integrated Learning Spaces)
Thiết kế không gian linh hoạt phục vụ nhiều loại hình học tập: tự học, làm việc nhóm, nghiên cứu và sáng tạo. Loại bỏ cấu trúc lớp học truyền thống tách biệt theo môn.

2. Không gian xuyên ngành (Interdisciplinary Collaboration Zones)
Các "Innovation Hubs" hoặc "Makerspaces" nơi sinh viên và giảng viên từ nhiều khoa có thể gặp gỡ, trao đổi và phát triển ý tưởng chung. Thiết kế không gian mở, kết hợp phòng họp nhanh, studio, phòng lab, thư viện chuyên đề,...

3. Không gian học thuật theo chủ đề thay vì theo khoa
Thay vì tổ chức theo khoa truyền thống (ví dụ: Khoa Kiến trúc, Khoa Công nghệ,...), tổ chức không gian xung quanh các lĩnh vực tích hợp, như: Đô thị thông minh, Bền vững, Truyền thông số,...

4. Không gian linh hoạt và chuyển đổi được
Những không gian này thường được tổ chức không theo phân khoa cố định, mà xoay quanh các chủ đề hoặc dự án liên ngành - như Công nghệ bền vững, Thành phố thông minh, hay Thiết kế xã hội - nơi sinh viên và giảng viên từ nhiều lĩnh vực khác nhau cùng làm việc, học hỏi và sáng tạo.

2.2.2. Bài học kinh nghiệm về quản lý không gian kiến trúc liên ngành trên thế giới

Tại Singapore, TĐH Công nghệ và Thiết kế Singapore (SUTD) đã phát triển quy hoạch tổng thể theo tư duy tích hợp giữa học thuật - sáng tạo - sinh hoạt [6]. Toàn bộ khuôn viên được tổ chức không theo cấu trúc khoa, mà theo trục không gian mở, nơi các khu vực học tập, phòng lab, Makerspaces và khu sinh hoạt được liên kết mạch lạc để tăng cường tương tác học thuật.

Tại Hoa Kỳ, hai mô hình nổi bật là Stanford d.school và MIT Media Lab đã trở thành biểu tượng toàn cầu của giáo dục liên ngành thông

Bảng 1. Khả năng tích hợp chức năng sử dụng chung dưới góc nhìn liên ngành trong đào tạo đại học

Chức năng / Trường	TĐH thành viên	Không gian	Tích liên ngành trong đào tạo (0-5)				Lý do lựa chọn mức độ tích hợp
			C	U	I	TBC	
KHỐI HỌC TẬP							
Phòng học, Giảng đường	TĐH Y Dược	Giảng đường lớn (VY2), phòng học lý thuyết tại các tòa nhà A, B, D	5	5	5	5	Các không gian này thể hiện khả năng tích hợp cao, với tần suất sử dụng thường xuyên và khả năng phục vụ đa ngành.
	TĐH Công nghệ thông tin	Hệ thống giảng đường, phòng học đa năng tại tòa nhà HT, Beta	5	5	5	5	
	TĐH Khoa học cơ bản	Nhiều giảng đường, phòng học tại các tòa nhà T1, T2, T3, T4, T5	5	5	5	5	

qua thiết kế không gian mở và linh hoạt. Stanford d.school tổ chức không gian không theo phòng học cố định [2], mà là tổ hợp của studio sáng tạo, xưởng chế tạo, không gian hội thảo và khu thí nghiệm.

Tại Hồng Kông, do quỹ đất hạn chế nên việc đưa ra giải pháp tích hợp với mô hình không gian liên ngành tại Innovation Tower thuộc Đại học Bách khoa Hong Kong (HK PolyU) là cần thiết. Công trình do kiến trúc sư Zaha Hadid thiết kế [7], sử dụng giải pháp tổ chức không gian mở theo chiều đứng, kết nối bằng hệ cầu thang, hành lang trao đổi và điểm nghỉ tích hợp.



Hình 2. Từ trái qua phải, STUD (Singapore), Stanford d. school (Mỹ) và Innovation tower (HK- Poly U). Nguồn: Internet

Từ ba trường hợp trên, có thể rút ra bài học chung: không gian kiến trúc đại học liên ngành cần được tổ chức như một hệ sinh thái mở - đáp ứng các chủ đề liên ngành, khuyến khích tương tác tự nhiên giữa các ngành, loại bỏ cấu trúc cứng nhắc theo khoa, đồng thời sử dụng các yếu tố linh hoạt - từ quy hoạch tổng thể đến giải pháp thiết kế chi tiết - để thích ứng với phương pháp giáo dục tích hợp trong thế kỷ 21.

3. GIẢI PHÁP TÍCH HỢP SỬ DỤNG CHUNG TRONG ĐẠI HỌC DƯỚI GÓC NHÌN LIÊN NGÀNH TRONG ĐÀO TẠO

3.1. Dữ liệu ma trận tích hợp chức năng các TĐH thành viên

Dữ liệu được xây dựng tại một Đại học đa ngành giả định gồm 05 TĐH thành viên, mỗi TĐH này sẽ được tham chiếu cơ cấu chức năng từ các TĐH tại Việt Nam tương ứng, bao gồm 05 lĩnh vực cơ bản: Trường ĐH Y Dược (lấy cơ cấu chức năng theo TĐH Y Dược - ĐHQGHN (VNU-UMP); Trường Xây dựng - Kiến trúc (lấy cơ cấu chức năng theo TĐH Xây dựng Hà Nội); TĐH Công nghệ thông tin (lấy cơ cấu chức năng theo TĐH Công nghệ - ĐHQGHN); TĐH Khoa học cơ bản (lấy cơ cấu chức năng theo TĐH KHTN và KH&NV - ĐHQGHN); TĐH Kinh tế (lấy cơ cấu chức năng theo TĐH Kinh tế - ĐHQGHN).

Tích hợp không gian kiến trúc đại học theo hướng liên ngành cần xuất phát từ bản chất chức năng đào tạo và nghiên cứu của từng ngành. Trên cơ sở đó, việc đánh giá cần dựa vào các tiêu chí thành phần như: tính kết nối, tần suất sử dụng và mức độ liên thông trong chương trình đào tạo. Đây là nền tảng để xây dựng chiến lược tích hợp không gian kiến trúc một cách hiệu quả và bền vững. Ba tiêu chí thành phần cụ thể bao gồm:

- **Tính kết nối (Connectivity - Viết tắt là C)** (tính điểm từ 0-5) ;
- **Tần suất sử dụng (Utilization Frequency - Viết tắt là U)** (tính điểm từ 0-5) ;
- **Liên thông trong đào tạo (Interdisciplinary - Viết tắt là I)** (tính điểm từ 0-5).

Từ đó, chúng ta có Bảng 1:

	TĐH Kinh tế	Hệ thống giảng đường, phòng học hiện đại tại tòa nhà E4, Giảng đường Lê Văn Thiêm	5	5	5	5	Đây là trung tâm học thuật, có kết nối thuận lợi, được sử dụng với tần suất cao, phục vụ mọi ngành và dễ dàng tích hợp hạ tầng.
	TĐH Xây dựng - Kiến trúc	Giảng đường lớn, phòng học chuyên ngành tại các tòa nhà G, H	5	5	5	5	
Không gian Thư viện	TĐH Y Dược	Thư viện điện tử, thư viện truyền thống	5	5	4	5	
	TĐH Công nghệ thông tin	Thư viện điện tử UIT-Lib, không gian đọc sách, tra cứu	5	5	4	5	
	TĐH Khoa học cơ bản	Thư viện Tạ Quang Bửu (dùng chung VNU), thư viện chuyên ngành KHTN	5	5	4	5	
	TĐH Kinh tế	Thư viện UEB-Lib với tài liệu kinh tế, quản lý	5	5	4	5	
	TĐH Xây dựng - Kiến trúc	Thư viện chuyên ngành Kiến trúc, Quy hoạch, Xây dựng	5	5	4	5	
Không gian Học tập nhóm	TĐH Y Dược	Khu vực tự học, phòng thảo luận nhóm trong thư viện & khu vực chung	5	5	5	5	Các không gian này thể hiện tính linh hoạt cao, dễ dàng tích hợp, có thể sử dụng chung để học tập và nghiên cứu theo chủ đề liên ngành
	TĐH Công nghệ thông tin	Không gian học tập mở (Open Space), phòng thảo luận tại Thư viện và tòa nhà HT	5	5	4	5	
	TĐH Khoa học cơ bản	Khu vực tự học, phòng học nhóm trong Thư viện Tạ Quang Bửu & các khu vực thiết kế trong tòa nhà	5	5	5	5	
	TĐH Kinh tế	Phòng học nhóm, không gian thảo luận tại Thư viện và khu vực chung tòa nhà E4	5	5	4	5	
	TĐH Xây dựng - Kiến trúc	Xưởng thiết kế (Studio)	5	5	4	5	Studio này có thể mang lại sự linh hoạt cao hơn so với các phòng học truyền thống do tính chất mô phỏng 3D của không chỉ ngành xây dựng, kiến trúc mà có thể mô phỏng cho các nhóm ngành khác như Y - Dược (khớp, chi 3d)
Không gian chuyên dụng - Multimedia	TĐH Y Dược	Phòng Lab Tin học, phòng học có trang bị máy chiếu, hệ thống nghe nhìn. Phòng Mô phỏng lâm sàng	3	2	4	3	Các không gian này đáp ứng nhu cầu học tập và nghiên cứu liên ngành khi dựa trên công nghệ đa phương tiện, thích hợp sử dụng để trình chiếu, triển lãm, thảo luận chuyên đề cho các nhóm ngành khác
	TĐH Công nghệ thông tin	Phòng Lab đa phương tiện, Studio ghi hình, phòng học được trang bị hiện đại	3	4	2	3	
	TĐH Khoa học cơ bản	Phòng Lab Máy tính, phòng học đa phương tiện	3	3	4	3	
	TĐH Kinh tế	Phòng học đa phương tiện, phòng Lab Máy tính ứng dụng	3	4	3	3	
	TĐH Xây dựng - Kiến trúc	Phòng Lab Đồ họa Máy tính, phòng học có trang bị máy chiếu, màn hình lớn. Studio đa phương tiện	3	3	3	3	
KHỐI NGHIÊN CỨU							
Phòng thí nghiệm (Lab)	TĐH Y Dược	Lab chuyên sâu: Lab Sinh học phân tử, Lab Dược lý, Lab Mô phỏng lâm sàng, Lab Hóa sinh, Lab Vi sinh	0	0	0	0	Yêu cầu tính riêng biệt bắt buộc.
		Lab Giải phẫu	0	0	0	0	Yêu cầu tính riêng biệt bắt buộc.
	TĐH Công nghệ thông tin	Lab Mạng, Lab Hệ thống Nhúng, Lab Trí tuệ Nhân tạo, Lab Phần mềm	2	4	0	2	Các không gian này có khả năng tích hợp cao hơn do tích hợp nền tảng trí tuệ nhân tạo, có thể sử dụng chung với các nhóm ngành khác.
		Lab An ninh mạng	0	0	0	0	Yêu cầu tính riêng biệt bắt buộc..
	TĐH Khoa học cơ bản	Lab Hóa học, Lab Vật lý, Lab Sinh học, Lab Công nghệ Sinh học, Lab Địa chất, Lab Môi trường	1	0	1	1	Các không gian này có yêu cầu về xử lý hóa chất, khí thải và thiết bị cố định, tuy nhiên một số khu vực có thể được sử dụng chung.
	TĐH Kinh tế	Lab Phân tích Dữ liệu Kinh tế, Lab Mô phỏng Kinh doanh/Tài chính	3	2	3	3	Các không gian này chủ yếu sử dụng máy tính và phần mềm, do đó có thể tích hợp tốt hơn so với các lab vật lý, nhưng vẫn cần hạ tầng công nghệ thông tin ổn định.
	TĐH Xây dựng - Kiến trúc	Xưởng Kiến trúc, Xưởng Mô hình, Lab Công nghệ CAD/GIS	5	4	5	5	Các không gian có khả năng tích hợp trong khu vực thiết kế chung khi không gian đạt được sự linh hoạt. Có thể sử dụng chung công nghệ mô phỏng in 3d cho các ngành khác
		Lab Vật liệu Xây dựng	0	0	0	0	Yêu cầu tính riêng biệt bắt buộc.
		Lab Địa kỹ thuật	0	0	0	0	Các không gian này liên quan đến mẫu đất, có thể gây bẩn, sử dụng thiết bị nặng và có tính linh hoạt thấp.
Văn phòng Nghiên cứu	Tất cả các trường	Văn phòng các Bộ môn, Trung tâm Nghiên cứu, nhóm nghiên cứu	5	4	5	5	Các không gian văn phòng tiêu chuẩn này thể hiện tính linh hoạt cao, dễ dàng tích hợp và chia sẻ.

Từ 02 bảng tổng hợp trên có thể thấy dựa trên tiêu chí "tính liên ngành trong đào tạo", các không gian học tập và nghiên cứu trong một Đại học có thể được phân loại thành hai nhóm: những không gian bắt buộc phải sử dụng riêng biệt (tính riêng) và những không gian có thể tích hợp chức năng để sử dụng chung (tính chung). Cụ thể:

1. Các không gian bắt buộc phải sử dụng riêng biệt

Điển hình như các Phòng thí nghiệm chuyên sâu (Lab) thuộc khối nghiên cứu. Ví dụ, các Lab chuyên sâu như Lab Sinh học phân tử, Lab Dược lý, Lab Mô phỏng lâm sàng, Lab Hóa sinh, Lab Vi sinh tại TĐH Y Dược là các không gian đòi hỏi tính riêng biệt cao [10]. Lý do vì các không gian này chịu ràng buộc nghiêm ngặt về các tiêu chí như an toàn sinh học, sử dụng thiết bị chuyên dụng, đòi hỏi hạ tầng độc lập và không có tính linh hoạt cho các hoạt động khác. Trong lĩnh vực công nghệ, Lab An ninh mạng tại TĐH Công nghệ cũng thuộc nhóm này, khi không gian này đòi hỏi sự cách ly vật lý, bảo mật dữ liệu tuyệt đối và với hạ tầng làm mát chuyên dụng, khiến việc tích hợp với các ngành khác là không khả thi. Đối với các ngành kỹ thuật, Lab Vật liệu Xây dựng và Lab Địa kỹ thuật tại TĐH Xây dựng - Kiến trúc cũng cần sử dụng riêng biệt. Lab Vật liệu Xây dựng phát thải bụi, khí, tiếng ồn và chứa các máy móc cồng kềnh, cố định, trong khi Lab Địa kỹ thuật liên quan đến mẫu đất, có thể gây bẩn và sử dụng thiết bị nặng, có tính linh hoạt thấp, do đó cần sử dụng riêng. Một số không gian chức năng trong đào tạo và nghiên cứu đòi hỏi mức độ riêng biệt cao, không thể tích hợp sử dụng với các ngành khác.

2. Các không gian có thể tích hợp chức năng sử dụng chung: Khai thác tiềm năng liên ngành

Các phòng học và giảng đường tại các trường đại học thành viên đều thể hiện khả năng tích hợp cao, tần suất sử dụng thường xuyên

và khả năng phục vụ đa ngành. Không gian thư viện được sử dụng với tần suất cao, phục vụ mọi ngành và dễ dàng tích hợp hạ tầng, khuyến khích việc tích hợp và là không gian cốt lõi cần được bố trí tại vị trí trung tâm để đảm bảo khả năng tiếp cận tối ưu. Trung tâm Thư viện và Tri thức số (VNU-LIC) còn cung cấp các dịch vụ quản trị tri thức đa dạng, hỗ trợ nghiên cứu và học tập cho nhiều đơn vị đào tạo trong ĐHQGHN [11]. Không gian học tập nhóm cũng thể hiện tính linh hoạt và liên ngành vượt trội, với tất cả các khu vực tự học, phòng thảo luận nhóm

Các không gian học tập chuyên dụng (Multimedia) như phòng Lab Tin học, phòng học có trang bị máy chiếu, hệ thống nghe nhìn (TĐH Công nghệ), Phòng Lab đa phương tiện, Phòng Lab Máy tính (TĐH Khoa học cơ bản), Phòng học đa phương tiện (UEB), và phòng lab đồ họa máy tính (Xây dựng - Kiến trúc) cũng đạt điểm 3 về tính liên ngành. Mặc dù yêu cầu thiết bị chuyên dụng và có thể cần cách âm, chúng vẫn tiềm ẩn khả năng liên ngành và có thể được chia sẻ để phục vụ nhiều môn học.

Trong khối nghiên cứu, một số phòng thí nghiệm (PTN) vẫn có khả năng tích hợp nhất định, như Xưởng Kiến trúc, Xưởng Mô hình, Lab Công nghệ CAD/GIS tại trường Xây dựng - Kiến trúc, các khu vực phục vụ mô phỏng 3D, phục vụ nhu cầu xây dựng mô hình hóa từ ngành Y - Dược, Khoa học tự nhiên. Đồng thời, các Lab Phân tích Dữ liệu Kinh tế, Lab Mô phỏng Kinh doanh/Tài chính tại TĐH kinh tế đạt điểm 3, chủ yếu sử dụng máy tính và phần mềm, do đó có thể tích hợp tốt với các nhóm ngành liên quan đến kinh tế thuộc ngành hẹp như Kinh tế xây dựng thuộc TĐH Xây dựng - Kiến trúc, hay các ngành khoa học xã hội tại TĐH Khoa học cơ bản.

Bảng 2. Cơ cấu chức năng trong các TĐH thành viên

TĐH thành viên	Chương trình liên ngành tiêu biểu	Lý do lựa chọn không gian tích hợp	Không gian tích hợp liên ngành
1. Y Dược	• Kỹ thuật y sinh (với TĐH Công nghệ)	Tương thích nghiên cứu chung với TĐH Khoa học cơ bản về gen/nano y sinh	• Lab sinh học phân tử
	• Dược lý môi trường (với TĐH Khoa học cơ bản)	Chia sẻ thiết bị y tế với TĐH Công nghệ thông tin	• Phòng in 3D y tế
2. Xây dựng – Kiến trúc	• Thiết kế đô thị bền vững (với TĐH Khoa học cơ bản)	Kết hợp kiến trúc + truyền thông (KHXXH&NV)	• Xưởng Kiến trúc, Xưởng Mô hình, Lab Công nghệ CAD/GIS
	• Vật liệu thông minh (với TĐH Công nghệ thông tin)	Nghiên cứu chung vật liệu xanh với TĐH Công nghệ thông tin và TĐH Khoa học cơ bản	• Lab vật liệu xanh
		Sử dụng chung với các TĐH Y – Dược để mô phỏng 3D	Phòng Lab Đồ họa Máy tính 3D, phòng học có trang bị máy chiếu, màn hình lớn. Studio đa phương tiện, xưởng in 3D
3. Công nghệ thông tin	• AI trong y tế (với TĐH Y Dược)	Phát triển thiết bị phẫu thuật với Y khoa	• Xưởng robot y sinh
	• IoT nông nghiệp (với TĐH Xây dựng - Kiến trúc)	Nghiên cứu vật liệu cấy ghép với KHTN	• Lab nano y học
		Sử dụng chung với các TĐH Xây dựng – Kiến trúc để mô phỏng thiết kế	• Lab trí tuệ nhân tạo, mô phỏng (VR/AR)
4. Kinh tế	• Kinh tế số (với TĐH Xây dựng - Kiến trúc)	Trung tâm dữ liệu kinh tế: Chia sẻ nền tảng Big Data với CNTT để phân tích thị trường	• Phòng Lab kinh tế hành vi
	• Logistic thông minh (với TĐH Xây dựng - Kiến trúc)	Không gian khởi nghiệp đa ngành: Kết nối doanh nghiệp với các ngành kỹ thuật để phát triển sản phẩm	• Studio mô phỏng thị trường ảo (VR/AR)
	• Kinh tế môi trường (với Khoa học Tự nhiên)	Phòng thí nghiệm chính sách: Đánh giá tác động kinh tế - môi trường từ các dự án liên ngành	• Trung tâm hợp tác doanh nghiệp - đại học
5. Khoa học cơ bản	• Vật liệu nano trong y sinh (với Y Dược)	Lab phân tích môi trường: Đánh giá ô nhiễm nước với Thủy lợi	• Lab phân tích môi trường
	• Hóa học môi trường (Xây dựng và Kiến trúc)	PTN vật liệu nano: Tổng hợp vật liệu y sinh với Y khoa	• Vườn sinh thái
	• Truyền thông khoa học (với Khoa học cơ bản)	Studio đa phương tiện: Sản xuất tài liệu khoa học với KHTN	• Studio đa phương tiện
	• Bảo tồn di tích kiến trúc (với Xây dựng và Kiến trúc)	Không gian bảo tồn ảo: Số hóa di sản kiến trúc với Xây dựng	• Không gian bảo tồn ảo
Cả 05 TĐH thành viên		Các không gian này thể hiện khả năng tích hợp cao, với tần suất sử dụng thường xuyên và khả năng phục vụ đa ngành. Việc điều chỉnh bố cục không gian cũng được thực hiện một cách thuận lợi.	• Phòng học, giảng đường • Phòng học chuyên dụng, Multimedia • Không gian thư viện • Không gian giao lưu, học nhóm

3.2. Ma trận tích hợp chức năng liên ngành trong đại học

Từ việc xác lập các không gian “**Riêng**” và không gian “**Tích hợp**”, cần tạo lập ma trận tích hợp không gian làm công cụ phân tích và quy hoạch các kịch bản tích hợp phù hợp trước khi đề xuất mô hình và giải pháp tổ chức không gian kiến trúc khối học tập và nghiên cứu theo hướng tích hợp chức năng (THCN) dựa trên góc nhìn liên ngành trong đào tạo.

Có thể thấy, trong bối cảnh công tác đào tạo STEM ngày càng

được chú trọng thì vai trò của các TĐH CNTT, Khoa học cơ bản và Kinh tế lại càng trở nên rõ nét, tạo nên những cầu nối vững chắc giữa các lĩnh vực khác trong hệ sinh thái học tập và nghiên cứu trong khuôn viên Đại học trên khía cạnh nghiên cứu. Tương tự ở khối học tập, các hệ thống không gian linh hoạt, không gian mở đóng vai trò là nơi sinh viên từ các TĐH đến giao lưu gặp gỡ, thúc đẩy học tập sáng tạo.

Bảng 3. Ma trận tích hợp dưới góc nhìn liên ngành giữa các TĐH thành viên

TĐH thành viên	Y Dược	Xây dựng - Kiến trúc	Công nghệ thông tin	Khoa học cơ bản (KHTN + KHXH&NV)	Kinh tế
Y Dược	—	●●●○○	●●●●●	●●●●○	●●○○○
Xây dựng - Kiến trúc	●●●○○	—	●●●●●	●●●○○	●●●●○
Công nghệ thông tin	●●●●●	●●●●●	—	●●●●●	●●●●●
Khoa học cơ bản	●●●●○	●●●○○	●●●●●	—	●●●○○
Kinh tế	●●○○○	●●●●○	●●●●●	●●●○○	—

3.3. Kịch bản tích hợp chức năng

Dựa trên ma trận tích hợp liên ngành giữa các TĐH thành viên, và căn cứ vào các cặp/ nhóm trường có khả năng đáp ứng tích hợp cao (từ 4 đến 5 điểm) có thể xác định được 04 kịch bản như sau :

- Kịch bản 1: Nhà học tích hợp

Nhà học khoa tích hợp được tổ chức ở quy mô khu học tập, phục vụ dưới 5.000 sinh viên. Không gian kiến trúc được thiết kế xoay quanh các khu vực học tập nhóm, không gian học tập linh hoạt, và khu vực giao lưu - gặp gỡ, thay vì lấy phòng học lý thuyết truyền thống làm trung tâm như trong mô hình đại học đơn ngành. Đây là nhóm không gian phục vụ hoạt động đào tạo liên ngành, có tần suất sử dụng cao và khả năng chia sẻ giữa sinh viên thuộc nhiều lĩnh vực khác nhau. Việc tổ chức không gian tại nhà học tích hợp cần tính đến mức độ modul hóa, nhằm tạo lập tính linh hoạt trong sử dụng, đáp ứng đa dạng các nhu cầu: học tập, nghiên cứu, thực hành.

Đối với các đại học có quy mô vừa đến lớn, có thể tổ hợp nhiều nhà học tích hợp theo các phương án liên kết đồng dạng, liên kết tuyến tính, hoặc liên kết hỗn hợp, tùy theo đặc điểm mặt bằng và định hướng phát triển đào tạo.

- Kịch bản 2: Trung tâm học thuật sáng tạo (Innovation Learning Hub)

Trung tâm học thuật sáng tạo được tổ chức từ quy mô TĐH đến ĐH, phục vụ dưới 15.000 sinh viên, bán kính phục vụ khoảng 500 m (xem hình dưới). Tại đây, xây dựng kịch bản tích hợp đáp ứng các nhu cầu học tập nhóm, các chương trình xuyên ngành, các tín chỉ học đại cương và các không gian học tập theo chủ đề nhằm thúc đẩy thiết kế mô phỏng, giảng dạy - hội thảo - chia sẻ học liệu gắn với đổi mới sáng tạo và đào tạo STEM.

- Kịch bản 3 : Trung tâm công nghệ cao

Trung tâm công nghệ cao đặt công nghệ là hạt nhân trong việc thúc đẩy nghiên cứu liên ngành, đặc biệt đối với các nhóm ngành liên quan đến nhu cầu sử dụng công nghệ cao như Y Dược, Hóa Sinh, Công nghệ Sinh học. Trung tâm phục vụ với quy mô toàn Đại học, từ 30.000 đến 50.000 sinh viên. Tại đây, hệ thống phòng thí nghiệm thực tế ảo (VR Lab) và phòng in - mô phỏng 3D được thiết lập, cho phép các ý tưởng nhanh chóng được mô hình hóa thành sản phẩm thực tế. Tương tự, kịch bản hub khoa học cơ bản (Kịch bản 3) bao gồm toàn bộ 05 trường thành viên, với các không gian như phòng học chung, giảng đường đa năng và thư viện số, nhằm giảng dạy các học phần chung, đại cương theo thể chế học tập tín chỉ, qua đó tạo nền tảng vững chắc cho các nghiên cứu ứng dụng.

Với quy mô tương tự như Trung tâm Hỗ trợ Sinh viên và Thực tập (TTHTST), để phục vụ đa phương, Trung tâm Kỹ thuật Công nghệ cao cần được tách khỏi độc lập và tích hợp vào mạng lưới nghiên cứu cấp vùng Thủ đô.

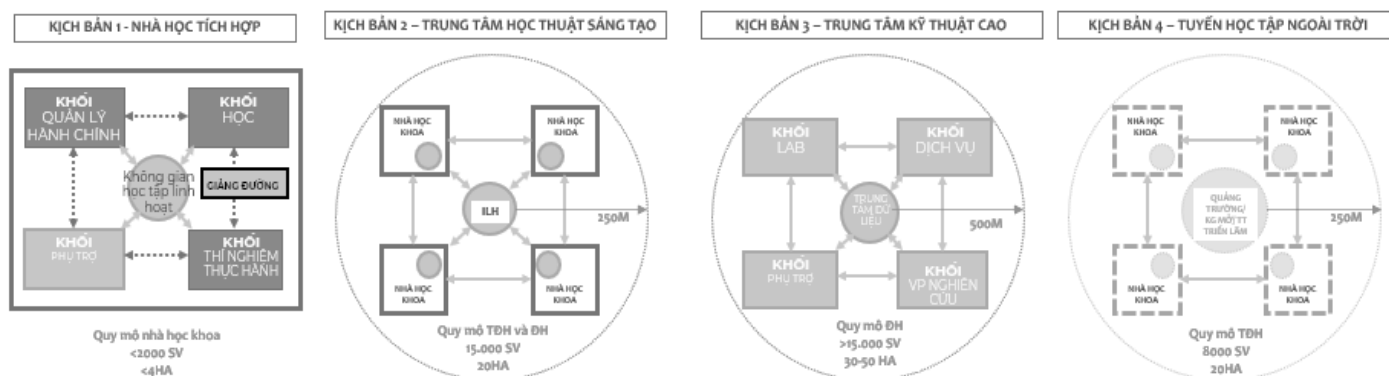
- Kịch bản 4: Các không gian mở, tuyến phố học tập linh hoạt

Kịch bản này được tổ chức gắn với hệ thống không gian mở và bán mở trong khuôn viên đại học, tích hợp với các không gian học tập phi chính thống. Không gian này đóng vai trò như một vùng đệm trong hệ sinh thái học tập và nghiên cứu liên ngành.

Các yếu tố kiến trúc chủ đạo có thể kể đến như: sảnh, hành lang, cầu kết nối giữa các tòa nhà học, sảnh thông tầng tại các nhà học, cùng với các không gian học tập ngoài trời nhằm thúc đẩy sáng tạo, phục vụ nhu cầu triển lãm, hội thảo (seminar), đồng thời tăng cường giao lưu và kết nối giữa sinh viên toàn trường. Lấy hạt nhân tổ chức là các quảng trường, các tuyến phố học tập làm hạt nhân trong tổ chức không gian kiến trúc.

Bảng 4: Kịch bản tích hợp chức năng

STT		Mức độ tích hợp	Hình thức tổ chức không gian kiến trúc				
			Tuyến	Hợp khối	Tách khối độc lập	Tổ hợp công trình	Mạng
1	Kịch bản 1	Khối HT - NC	x	x	x	x	
2	Kịch bản 2	TĐH			x		x
3	Kịch bản 3	ĐH, liên ĐH			x		x
4	Kịch bản 4	ĐH	x	x			



Hình 3. Kịch bản tích hợp chức năng tại các đại học vùng Thủ đô

3.4. Định hướng giải pháp tích hợp chức năng liên ngành

Những cấp ngành có mức độ tích hợp cao nên được ưu tiên bố trí trong các không gian tích hợp, hỗ trợ việc học tập và nghiên cứu chung. Trong khi đó, những cấp ngành có tính chuyên biệt cao chỉ nên chia sẻ các không gian công cộng hoặc phụ trợ, như: khu vực nghỉ ngơi, không gian triển lãm, hành lang giao lưu, v.v. Các giải pháp được định hướng như sau:

- Xây dựng các không gian mở, khuyến khích sự tương tác tự nhiên giữa sinh viên và giảng viên từ các ngành khác nhau, loại bỏ cấu trúc cứng nhắc theo khoa. Các khu vực chung như Learning Commons, không gian học tập mở (Open Space) nên được đặt ở vị trí trung tâm, để tiếp cận để tăng cường giao lưu và sử dụng liên tục.

- Tổ chức các trung tâm học thuật sáng tạo (ILH) ở vị trí trung tâm trong tổng mặt bằng nhằm tối ưu hóa tần suất sử dụng của sinh viên các TĐH thành viên. Đây là công trình mới được thiết kế đặc biệt để sinh viên và giảng viên từ nhiều khoa có thể gặp gỡ, trao đổi ý tưởng và phát triển các dự án chung, tích hợp phòng họp nhanh, studio, phòng lab và thư viện chuyên đề.

Tổ chức các trung tâm kỹ thuật cao (kịch bản 2) tích hợp tại một trong 2 trường Y- Dược, hoặc công nghệ hoặc có thể tích hợp vào trung tâm học thuật sáng tạo (ILH) với các ĐH có quy mô nhỏ (khoảng 15.000 sinh viên). Hoặc tách khỏi thành một công trình mới đối với các ĐH có quy mô trung bình (30.000 - 50.000 sinh viên). Hoặc có thể tổ chức thành một phân khu (như VNC2 tại ĐHQGHN) [11] tại các đại học vùng hoặc đại học quốc gia.

4. KẾT LUẬN

Trong bối cảnh phát triển nhanh chóng của giáo dục đại học đa ngành tại vùng Thủ đô, nhu cầu tổ chức không gian học tập và nghiên cứu đã vượt ra ngoài phạm vi kỹ thuật xây dựng đơn thuần. Không gian kiến trúc ngày càng trở thành một chiến lược thiết yếu, nhằm thúc đẩy tương tác liên ngành, tối ưu hóa tài nguyên, và đổi mới phương thức đào tạo - nghiên cứu. Việc xây dựng các kịch bản không gian - từ trung tâm sáng tạo, không gian học thuật linh hoạt, đến mô hình học tập qua dự án - không chỉ giúp xác định chính xác nhu cầu sử dụng thực tế, mà còn đóng vai trò định hướng cho công tác quy hoạch và tổ chức kiến trúc của các đại học đa ngành trong tương lai [9]. Cuối cùng, hướng tiếp cận theo mô hình không gian kiến trúc tích hợp chính là bước tiến quan trọng, giúp các đại học vùng Thủ đô tiệm cận các chuẩn mực đào tạo - nghiên cứu hiện đại, đồng thời kiến tạo một môi trường học thuật mở, liên kết và đổi mới mạnh mẽ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Klein, Julie Thompson. (2010). *Creating Interdisciplinary Campus Cultures: A Model for Strength and Sustainability*. Jossey-Bass.
- [2]. Oblinger, D. G. (Ed.). (2006). *Learning Spaces*. EDUCAUSE.
- [3]. Boyer Commission (1998). *Reinventing Undergraduate Education: A Blueprint for America's Research Universities*. Stony Brook University.
- [4]. MIT Media Lab - <https://www.media.mit.edu>
- [5]. Stanford d.school - <https://dschool.stanford.edu>
- [6]. Singapore University of Technology and Design (SUTD) - Campus Master Plan, UNStudio (2015).
- [7]. Zaha Hadid Architects (2013). *Jockey Club Innovation Tower - HK PolyU*.
- [8]. Bộ Giáo dục và Đào tạo (2022). *Chiến lược phát triển giáo dục đại học giai đoạn 2021-2030*.
- [9]. Viện Kiến trúc Quốc gia (2020). *Hướng dẫn tổ chức không gian đại học theo hướng sáng tạo và chia sẻ*.
- [10]. Bộ Xây dựng (2019). *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia QCVN 06:2019/BXD về công trình giáo dục*.
- [11]. Đại học Quốc gia Hà Nội (2021). *Đề án quy hoạch khu đô thị đại học Hòa Lạc - không gian liên thông liên ngành*.
- [12]. Nguyễn Hồng Thục (2017). *Không gian sáng tạo trong phát triển đô thị và đại học*. Viện Nghiên cứu Đô thị và Phát triển Hạ tầng.
- [13]. Đại học Quốc gia Hà Nội – Trường Quốc tế, Khoa Y Dược, Khoa Khoa học Ứng dụng.
- [14]. <https://ueb.edu.vn/Gioi-Thieu/UEB/co-cau-to-chuc/1839/2228>
- [15]. https://vi.wikipedia.org/wiki/Tr%C6%B0%E1%BB%9Dng_%C4%90%E1%BA%A1i_h%E1%BB%8Dc_Y_D%C6%B0%E1%BB%A3c_%C4%90%E1%BA%A1i_h%E1%BB%8Dc_Qu%E1%BB%91c_gia_H%C3%A0_N%E1%BB%99i#:~:text=C%C6%A1%20%E1%BA%A5u%20%E1%BB%95%20ch%E1%BB%A9c%20%20Khoa%20tr%E1%BB%B1c,d%E1%BA%A1y%20v%C3%A0%20vi%E1%BB%87n%20ngh%C3%AAn%20c%E1%BB%A9u%20tr%E1%BB%B1c%20th%E1%BB%99c

Tổ chức vận tải theo mô hình phát triển đô thị định hướng giao thông công cộng (TOD) tại khu vực nhà ga đường sắt tốc độ cao và đường sắt đô thị ở TP.HCM

Transport organization based on the transit-oriented development (TOD) model in the vicinity of high-speed rail and urban rail stations in Ho Chi Minh city

> PGS.TS NGUYỄN HỒNG THÁI¹, PGS.TS TRẦN QUANG PHÚ², THS BÙI QUỐC AN^{2*}

¹Trường Đại học Giao thông vận tải

²Trường Đại học Giao thông vận tải TP. Hồ Chí Minh; *Email: an.bui@ut.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo đánh giá thực trạng và đề xuất tổ chức vận tải theo mô hình phát triển đô thị định hướng giao thông công cộng (TOD) tại các khu vực nhà ga đường sắt tốc độ cao (ĐSTĐC) và đường sắt đô thị (ĐSĐT). Hiện nay, hệ thống giao thông kết nối một số nhà ga còn chưa hiệu quả, công tác quản lý còn phân mảnh. Trên cơ sở thực trạng và kết quả phân tích khảo sát các nhóm yếu tố ảnh hưởng đến hiệu quả tổ chức vận tải quanh ga, bài báo đề xuất các nhóm giải pháp gồm: tổ chức vận tải theo mô hình TOD một cách đồng bộ, nâng cao chất lượng dịch vụ và tiện ích, hoàn thiện hạ tầng kết nối đa phương thức. Các giải pháp được kỳ vọng sẽ góp phần nâng tỷ lệ sử dụng giao thông công cộng (GTCC), đồng thời tạo động lực phát triển không gian đô thị bền vững, nâng cao chất lượng sống cho người dân.

Từ khóa: Mô hình TOD, tổ chức vận tải, đường sắt đô thị, đường sắt tốc độ cao.

ABSTRACT

This paper assesses the status quo and proposes a transit-oriented development (TOD)-based framework for organizing transport services in the station areas of high-speed rail and urban rail transit. Despite ongoing investments, first-/last-mile connections at several stations remain inefficient and governance is fragmented. Building on a baseline audit of station-area conditions and a survey-based analysis of factor groups shaping the effectiveness of transport organization, we advance a set of solution packages: (i) coordinated, TOD-consistent service design and operations across modes; (ii) upgrades to service quality and passenger amenities; and (iii) completion of multimodal connectivity infrastructure. The proposed measures are expected to increase public transit mode share, catalyze compact and sustainable urban form, and ultimately improve residents' quality of life.

Keywords: TOD model, transport organization, urban rail, high-speed rail.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

TP.HCM là trung tâm kinh tế của Việt Nam, với quá trình đô thị hóa diễn ra mạnh mẽ. Cùng với đó, nhu cầu đi lại của người dân tăng lên nhanh chóng. Mặc dù trong những năm gần đây, Thành phố đã chú trọng đầu tư phát triển hạ tầng giao thông vận tải (GTVT), cải thiện hệ thống GTCC, nhưng tỷ lệ chuyển đi bằng phương tiện công cộng vẫn còn thấp, chỉ chiếm dưới 5% [1]. Mô hình phát triển đô thị định hướng GTCC (Transit Oriented Development - TOD) được xem là một trong những giải pháp hiệu quả nhằm giải quyết nhu cầu đi lại ngày càng gia tăng của cư dân đô thị, đặc biệt tại các thành phố có hệ thống metro phát triển [2].

Thành phố đang triển khai các tuyến ĐSTĐC và ĐSĐT là động lực trong việc thúc đẩy mô hình TOD. Tuy nhiên, thực tiễn cho thấy hiệu quả tổ chức vận tải tại các khu vực quanh nhà ga vẫn còn nhiều bất

cập. Hành khách gặp khó khăn trong tiếp cận; kết nối giữa các phương thức vận tải thiếu đồng bộ; chất lượng dịch vụ chưa đáp ứng nhu cầu; cơ sở hạ tầng còn hạn chế; và hành vi sử dụng phương tiện cá nhân vẫn chiếm ưu thế. Nghiên cứu nhằm xác định các yếu tố ảnh hưởng và đề xuất các giải pháp tổ chức vận tải (TCVT) theo mô hình TOD tại khu vực nhà ga ĐSTĐC và ĐSĐT trên địa bàn TP.HCM.

2. THỰC TRẠNG VÀ NHU CẦU TỔ CHỨC VẬN TẢI KHU VỰC NHÀ GA ĐSTĐC VÀ ĐSĐT TẠI TP.HCM

Mạng lưới giao thông của TP.HCM hiện nay chủ yếu dựa vào hệ thống đường bộ và thường xuyên ùn tắc nghiêm trọng [1]. Qua đánh giá các nhóm tiêu chí liên quan đến tổ chức vận tải, quản lý và kết nối giao thông trong mô hình TOD tại khu vực nhà ga đường sắt TP.HCM, có thể nhận thấy TOD đã bước đầu được quan tâm và định hướng

triển khai, nhưng vẫn còn nhiều bất cập về kết nối liên phương tiện, cơ sở hạ tầng hỗ trợ, thể chế quản lý và khai thác nguồn lực.

Bảng 1. Đánh giá thực trạng TCVT theo mô hình TOD tại khu vực nhà ga đường sắt

TT	Nội dung tổ chức vận tải	Thực trạng/ nhu cầu
1	Chính sách phát triển TOD	Nghị quyết 98/2023/QH15 của Quốc hội với cơ chế đặc thù và xác định định hướng phát triển TOD. Nghị quyết số 188/2025/QH15 của Quốc hội thí điểm một số cơ chế, chính sách đặc thù, đặc biệt để phát triển hệ thống ĐSĐT. Nghị quyết 172/2024/QH15 của Quốc hội về chủ trương đầu tư dự án ĐSTĐC trên trục Bắc - Nam.
2	Mạng lưới xe buýt gom khách	Chiến lược tổ chức mạng xe buýt gom khách từ khu dân cư đến ga metro chưa hiệu quả
3	Không gian trung chuyển quanh nhà ga	Việc tiếp cận và chuyển tiếp giữa các phương tiện gặp nhiều trở ngại
4	Hạ tầng hỗ trợ kết nối đa phương tiện	Thiếu bãi đỗ, vỉa hè cho người đi bộ, điểm đón trả khách thuận tiện quanh nhà ga
5	Tích hợp giữa các loại hình GTCC	Chưa có chiến lược tổng thể kết nối metro, buýt, taxi, xe cá nhân... theo mô hình TOD
6	Thanh toán vé điện tử liên thông	Chưa liên thông vé metro - buýt - phương tiện công cộng khác

Bảng 2. Hệ số hồi quy

Mô hình		Hệ số chưa chuẩn hóa		Hệ số chuẩn hóa		t	Sig.	Đa cộng tuyến	
		B	Sai số	Beta				Dung sai	VIF
1	(Constant)	,124	,216			,573	,567		
	HTGT	,150	,046	,187		3,298	,001	,501	1,996
	DVTI	,137	,028	,224		4,861	,000	,763	1,311
	KTDM	,107	,043	,147		2,491	,013	,463	2,161
	HVCN	,182	,038	,257		4,803	,000	,563	1,775
	CSMT	,121	,032	,180		3,776	,000	,710	1,408
	THVH	,124	,043	,153		2,889	,004	,576	1,735
	KNTC	,141	,038	,170		3,687	,000	,754	1,325

a. Dependent Variable: DGC

Việc đánh giá cho thấy hầu hết các tiêu chí đều ở mức trung bình, phản ánh nhu cầu cần có sự đầu tư đồng bộ hơn về quy hoạch, chính sách và cơ chế thực thi. Quá trình thực hiện TOD tại TP.HCM đang gặp nhiều thách thức, trong đó sự phân mảnh trong công tác quản lý giữa các cơ quan liên quan như quy hoạch đô thị, giao thông và đầu tư là một rào cản đáng kể [3].

3. MÔ HÌNH VÀ KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Yếu tố ảnh hưởng đến TCVT tại khu vực TOD xung quanh các ga ĐSTĐC và ĐSĐT tại TP.HCM

Nghiên cứu sử dụng phương pháp phân tích định lượng nhằm đánh giá các yếu tố ảnh hưởng đến TCVT tại khu vực phát triển TOD tại khu vực nhà ga ĐSTĐC và ĐSĐT tại TPHCM. Thu thập thông tin, kiểm định chất lượng thang đo, xem xét mối quan hệ giữa các yếu tố và giả thuyết nghiên cứu. Mô hình nghiên cứu của đề tài được đề xuất như Hình 1:



Hình 1. Mô hình nghiên cứu

Những yếu tố ảnh hưởng đến hiệu quả của hệ thống giao thông, sự phát triển đô thị, hành vi di chuyển của người dân và các chính sách quản lý [4]. Cơ sở hạ tầng giao thông được xây dựng thông qua các chỉ số như mức độ kết nối giữa nhà ga và các tuyến giao thông phụ trợ, chất lượng của hạ tầng kết nối (bao gồm đường, vỉa hè, trạm xe buýt), tính đồng bộ của quy hoạch giao thông trong khu vực [5] [6] [7]. Đối với yếu tố dịch vụ và tiện ích, các mục đo lường phản ánh chất lượng dịch vụ từ các bãi đỗ xe, khu vực chờ, hệ thống vệ sinh và các tiện ích phụ trợ như đèn chiếu sáng, điều hòa... trên cơ sở nghiên cứu của P. Calthorpe [8] và Parasuraman, Zeithaml và Berry [9].

Đối với yếu tố kỹ thuật và công nghệ, thang đo tập trung vào hiệu quả của hệ thống báo hiệu, hướng dẫn tại nhà ga, khả năng ứng dụng các hệ thống thanh toán không tiền mặt và việc áp dụng công nghệ hệ thống minh [10] [11]. Yếu tố hành vi đi lại và cá nhân được đánh giá thông qua thời gian chờ, tính đúng giờ, sự hưởng ứng của người dân, chi phí đi lại [8] [12].

3.2. Kết quả nghiên cứu

Trong mô hình nghiên cứu, tác giả đề xuất có 38 biến quan sát có thể được sử dụng, với số mẫu tối thiểu cần thiết là $38 \times 5 = 190$ mẫu [13]. Nghiên cứu đã tiến hành khảo sát 300 phiếu, với đối tượng trả lời là: người dân và hành khách sử dụng GTCC, cán bộ quản lý điều hành vận tải, và chuyên gia giao thông. Sau khi loại bỏ các mẫu không hợp lệ, số phiếu được đưa vào phân tích là 295.

Qua kiểm tra độ tin cậy của thang đo phân tích kiểm định Cronbach's Alpha và phân tích các nhân tố khám phá EFA cho thấy mô hình có 7 thang đo đảm bảo chất lượng với 38 biến đặc trưng đạt yêu cầu đưa vào phân tích tiếp theo [13].

Từ kết quả nghiên cứu bảng hệ số hồi quy **Error! Reference source not found.**, các biến HTGT, DVTI, KTDM, HVCN, CSMT, THVH, KNTC đều có Sig. nhỏ hơn 0,05 và ý nghĩa với tổ chức vận tải tại khu vực phát triển TOD tại khu vực nhà ga ĐSTĐC và ĐSĐT. Phương trình thể hiện mức độ ảnh hưởng như sau:

DGC = 0,187 *HTGT + 0,224* DVTI +0,147* KTDM + 0,257* HVCN + 0,180 * CSMT + 0,153* THVH + 0,117* KNTC

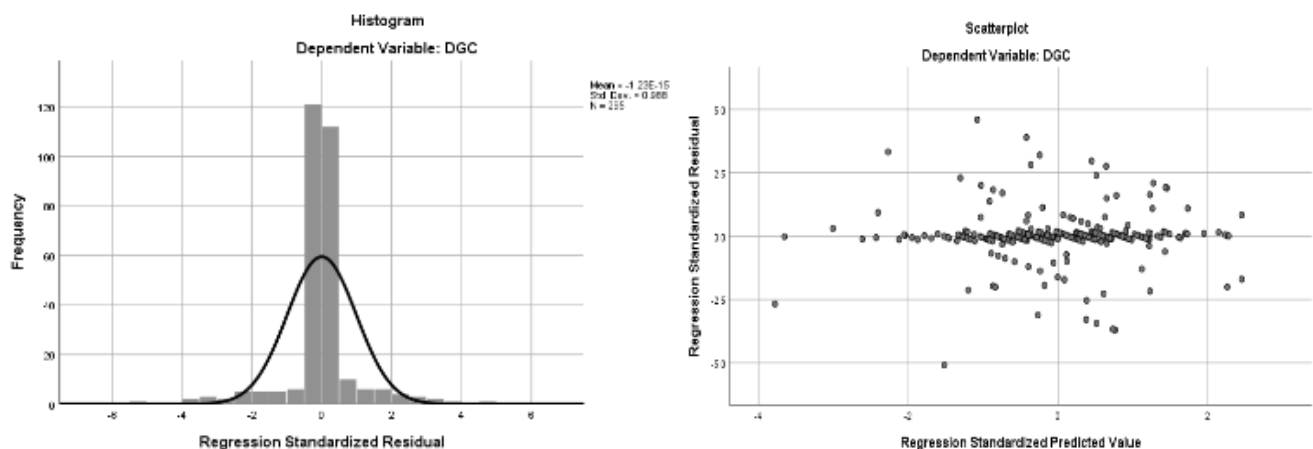
Kết quả phân tích cho thấy hành vi đi lại và yếu tố cá nhân (HVCN; 0,257) có tác động mạnh nhất đến tổ chức vận tải TOD, phản ánh vai trò quan trọng của thói quen di chuyển, mức độ quan tâm đến GTCC và chi phí đi lại. Chất lượng dịch vụ và tiện ích (DVTI; 0,224) là yếu tố quan trọng thứ hai, nhấn mạnh vai trò của các tiện ích như bãi đỗ xe, khu vực chờ, nhà vệ sinh sạch sẽ và dịch vụ thương mại trong việc thu hút hành khách. Cơ sở hạ tầng giao thông (HTGT; 0,187) và chính sách và môi trường (CSMT; 0,180) cũng có ảnh hưởng đáng kể, thể hiện vai

trò của chất lượng đường kết nối giao thông và các chính sách khuyến khích sử dụng GTCC. Khả năng tiếp cận và hỗ trợ phát triển khu vực xung quanh (KNTC; 0,170) và tích hợp vận hành và hệ thống thông tin (THVH; 0,153) có tác động thấp hơn nhưng vẫn quan trọng trong việc tạo điều kiện thuận lợi cho người dân sử dụng GTCC. Yếu tố kỹ thuật và công nghệ (KTDM; 0,147) cho thấy công nghệ hỗ trợ như thanh toán không tiền mặt hay hệ thống thông tin thời gian thực có ý nghĩa nhưng chưa mang tính quyết định.

Bảng 3. Tóm tắt mô hình hồi quy

Mô hình	Giá trị R^2	Giá trị R^2	R^2 hiệu chỉnh	Sai số chuẩn của ước lượng	Giá trị Durbin- Watson
1	,733 ^a	,537	,526	,39424	1,398

a. Biến độc lập: (Hằng số) HTGT, DVTI, KTDM, HVCN, CSMT, THVH, KNTC
b. Biến phụ thuộc : DGC



Hình 2. Kiểm tra vi phạm các giả định cần thiết

Kết quả hồi quy tuyến tính bội cho thấy R^2 điều chỉnh là 0,526, nghĩa là mô hình tuyến tính đã xây dựng phù hợp với tập dữ liệu đến mức 52,6% (hay mô hình đã giải thích được 52,6%). Kiểm tra hiện tượng tương quan với hệ số Durbin- Watson ($1 < 1,398 < 2$); kiểm tra hiện tượng đa cộng tuyến của mô hình bằng hệ số phóng đại phương sai VIF tác giả nhận thấy tất cả các hệ số phóng đại phương sai của các biến đều có giá trị $VIF = 1 < 10$. Như vậy, mô hình hồi quy tuyến tính bội đưa ra là phù hợp với mô hình và dữ liệu nghiên cứu phân tích hồi quy bội [13].

Phân dư chuẩn hóa phân bố tập trung xung quanh đường tung độ 0, do vậy giả định quan hệ tuyến tính không bị vi phạm và mô hình hồi quy là phù hợp. Đồ thị phần dư theo dạng phân phối chuẩn có giá trị trung bình xấp xỉ bằng 0 và độ lệch chuẩn Std.Dev = 0,988 tức là gần bằng 1. Do đó, nghiên cứu có thể kết luận rằng các biến HTGT, DVTI, KTDM, HVCN, CSMT, THVH, KNTC chấp nhận được.

4. ĐỊNH HƯỚNG TCVT THEO MÔ HÌNH TOD TẠI KHU VỰC NHÀ GA ĐSTĐC VÀ ĐSĐT TẠI TP.HCM

Nghiên cứu phân tích và đề xuất giải pháp cho từng nhóm yếu tố theo mức độ ảnh hưởng từ cao đến thấp:

Thứ nhất, cần điều chỉnh hành vi đi lại và thói quen sử dụng phương tiện của người dân. Yếu tố hành vi đi lại và đặc điểm cá nhân được xác định là có ảnh hưởng mạnh nhất đến hiệu quả tổ chức vận tải trong các khu vực phát triển theo định hướng TOD. Cần nâng cao tính đúng giờ và đồng bộ lịch trình vận hành nhằm giảm thời gian chờ đợi của hành khách đối với các phương tiện GTCC như metro, xe buýt. Bên cạnh đó, cần triển khai chính sách giá vé hợp lý, phù hợp với

thu nhập người dân, nhằm nâng cao tính cạnh tranh so với phương tiện cá nhân.

Ngoài ra, cần thực hiện các giải pháp truyền thông nhằm nâng cao nhận thức cộng đồng, đẩy mạnh các chiến dịch truyền thông về lợi ích kinh tế, xã hội và môi trường của việc sử dụng GTCC và mô hình phát triển TOD.

Thứ hai, cần nâng cao chất lượng dịch vụ và hệ thống tiện ích tại khu vực nhà ga. Để tổ chức vận tải hiệu quả, cần xây dựng một môi trường giao thông hấp dẫn, tiện nghi và thân thiện với người sử dụng. Các dịch vụ thiết yếu như bãi đỗ xe cần được quy hoạch một cách khoa học, đảm bảo an toàn, dễ tiếp cận và kết nối thuận tiện với nhà ga. Đồng thời, khu vực ga cần được trang bị đầy đủ các tiện ích phục vụ hành khách như: khu vực chờ, nhà vệ sinh, cửa hàng dịch vụ, hệ thống chiếu sáng và các điểm cung cấp thông tin. Ngoài ra, cần chú trọng đến dịch vụ dành cho người khuyết tật, đảm bảo có lối đi riêng, thang máy và các thiết bị hỗ trợ phù hợp.

Thứ ba, hoàn thiện và đồng bộ cơ sở hạ tầng giao thông. Hạ tầng giao thông giữ vai trò nền tảng trong mô hình TOD. Do đó, cần thiết kế mạng lưới giao thông kết nối hiệu quả giữa nhà ga và các tuyến xe buýt, tuyến đường bộ, đường dành cho xe đạp và người đi bộ. Việc nâng cấp mặt đường, vỉa hè, trạm xe buýt và các điểm kết nối cần được thực hiện đồng bộ, nhằm đảm bảo chất lượng, an toàn và tính tiện lợi cho người sử dụng. Ngoài ra, cần quy hoạch lại không gian giao thông trong khu vực TOD theo hướng hợp lý, ưu tiên diện tích cho giao thông công cộng

(GTCC) và kiểm soát phương tiện cá nhân, nhằm giảm ùn tắc và nâng cao hiệu quả vận hành hệ thống.

Thứ tư, tăng cường cơ chế chính sách hỗ trợ và cải thiện môi trường phát triển TOD. Chính quyền cần ban hành các chính sách ưu đãi cho doanh nghiệp đầu tư vào hạ tầng, dịch vụ và phát triển bất động sản quanh khu vực nhà ga. Đồng thời, cần đẩy mạnh công tác truyền thông để nâng cao nhận thức của người dân về những lợi ích lâu dài mà mô hình TOD mang lại trong việc cải thiện chất lượng sống, giảm ô nhiễm môi trường và thúc đẩy phát triển đô thị bền vững. Quy hoạch giao thông cần được tích hợp chặt chẽ với quy hoạch phát triển đô thị trong cùng một tầm nhìn chiến lược, nhằm tránh tình trạng phát triển thiếu đồng bộ, manh mún và kém hiệu quả.

Thứ năm, cải thiện khả năng tiếp cận và phát triển khu vực lân cận nhà ga. Khả năng tiếp cận của người dân đến nhà ga có ảnh hưởng trực tiếp đến quyết định sử dụng phương tiện GTCC. Do đó, cần phát triển các hành lang kết nối hợp lý từ nhà ga đến các khu dân cư, trung tâm thương mại, trường học và nơi làm việc. Việc hình thành các khu chức năng hỗn hợp quanh nhà ga - nơi tích hợp nhà ở, dịch vụ và giao thông, hỗ trợ mục tiêu phát triển đô thị theo định hướng TOD.

Thứ sáu, tích hợp vận hành hệ thống giao thông và cung cấp thông tin hành khách. Một hệ thống TOD hiệu quả cần có sự phối hợp chặt chẽ giữa các loại hình giao thông. Do đó, cần thiết kế lịch trình liên thông giữa metro, xe buýt, xe đạp công cộng và các phương tiện khác. Việc sử dụng vé liên thông, thẻ điện tử dùng chung cho nhiều phương tiện sẽ giúp hành khách tiết kiệm thời gian và chi phí. Đồng thời, các bảng thông tin điện tử, ứng dụng di động, bảng hướng dẫn âm thanh cần được trang bị đầy đủ tại nhà ga để cung cấp thông tin về lộ trình, thời gian chờ, kết nối phương tiện, giúp người dân dễ dàng tiếp cận và sử dụng hệ thống vận tải.

Thứ bảy, ứng dụng công nghệ kỹ thuật số và giải pháp thông minh. Mặc dù yếu tố kỹ thuật - công nghệ có mức tác động thấp nhất trong phân tích hồi quy, nhưng vẫn đóng vai trò hỗ trợ quan trọng. Cần triển khai hệ thống thanh toán không tiền mặt, cổng soát vé tự động, camera an ninh và hệ thống kiểm soát dòng hành khách thông minh. Công nghệ thông tin cũng có thể được ứng dụng để phân tích dữ liệu lớn dự báo lưu lượng hành khách, hỗ trợ quản lý vận hành hiệu quả và ra quyết định chính xác.

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đánh giá mô hình TOD là hướng tiếp cận phù hợp để nâng cao hiệu quả tổ chức vận tải quanh các ga ĐSTĐC và ĐSDT tại TP.HCM, song hiện còn nhiều hạn chế: kết nối liên phương thức và không gian trung chuyển chưa thuận tiện; chất lượng dịch vụ tiện ích chưa đáp ứng; hạ tầng đi bộ /bãi đỗ còn thiếu; cơ chế phối hợp quản trị phân tán; hành vi ưa dùng phương tiện cá nhân vẫn chi phối. Phân tích định lượng với 295 mẫu khảo sát thông qua mô hình hồi quy cho thấy: yếu tố hành vi cá nhân và chất lượng dịch vụ, tiện ích có tác động lớn nhất đến hiệu quả tổ chức vận tải TOD. Tiếp theo là các yếu tố liên quan đến hạ tầng và khung chính sách. Các yếu tố như khả năng tiếp cận, tích hợp vận hành và ứng dụng công nghệ tuy có tác động tích cực, nhưng mức độ ảnh hưởng thấp hơn.

Đề xuất các giải pháp theo bảy nhóm yếu tố: (1) thay đổi hành vi gắn với nâng cao chất lượng dịch vụ; (2) chuẩn hóa tiện ích nhà ga (bãi đỗ, khu chờ, vệ sinh, dịch vụ thương mại, hỗ trợ người khuyết tật); (3) hoàn thiện mạng buýt gom khách và hạ tầng kết nối "cửa đến cửa"; (4) cơ chế chính sách ưu đãi và điều

phối liên ngành để huy động nguồn lực; (5) tổ chức không gian hỗn hợp mật độ phù hợp bán kính đi bộ quanh ga; (6) tích hợp vận hành và thông tin thời gian thực; (7) ứng dụng công nghệ số cho thanh toán, kiểm soát dòng hành khách và phân tích dữ liệu lớn. Triển khai đồng bộ các nhóm giải pháp này là điều kiện tiên quyết để nâng tỷ lệ đi lại bằng GTCC, giảm phụ thuộc vào phương tiện cá nhân. Qua đó, góp phần cải thiện chất lượng sống đô thị và hiện thực hóa định hướng phát triển bền vững của TP.HCM.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Sở Giao thông vận tải TP.HCM, "Báo cáo tình hình hạ tầng giao thông TP.HCM pp. 1-3, Oct," 2022.
- [2]. Jing Guo et al, "Efficiency Assessment of Transit-Oriented Development by Data Envelopment Analysis: Case Study on the Den-en Toshi Line in Japan," 2018.
- [3]. UBND TP.HCM, Quy hoạch TP.HCM thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050, 2025.
- [4]. Hyungun Sung et al, "Transit-oriented development in a high-density city: Identifying its association with transit ridership in Seoul, Korea," Cities, Volume 28, Issue 1, February 2011, Pages 70-82, 2011.
- [5]. Aman Randhawa, "Challenges of Transit Oriented Development (TOD) in Indian Cities," 2021.
- [6]. R. Cervero, S. Murphy et al, "Transit-Oriented Development in the United States: Experiences, Challenges, and Prospects," Transportation Research Board, 2004.
- [7]. J. Jacobs, "The Death and Life of Great American Cities, New York: Random House," 1961.
- [8]. P. Calthorpe, "The Next American Metropolis: Ecology, Community, and the American Dream," Princeton Architectural Press, 1993.
- [9]. A. Parasuraman, V. Zeithaml, and L. Berry, "A conceptual model of service quality and its implications for future research," Journal of Marketing, vol. 49, no. 4, pp. 41-50, 1985.
- [10]. P. Newman and J. Kenworthy, "Sustainability and Cities: Overcoming Automobile Dependence," Island Press, 1999.
- [11]. M. Elassy et al., "Intelligent transportation systems for sustainable smart cities," Transportation Engineering, vol. 16, 2024, doi: 10.1016/j.treng.2024.100252.
- [12]. T. Litman, "Evaluating public transit benefits and costs: Best practices guidebook," Victoria Transport Policy Institute, 2017.
- [13]. Hoàng Trọng, & Chu Nguyễn Mộng Ngọc, Phương pháp nghiên cứu khoa học ứng dụng trong kinh tế, NXB Thống Kê, 2005.

Điều khiển và giám sát lưới điện hạ thế dựa trên nền tảng công nghệ IoT

IoT-based control and monitoring system for low-voltage power distribution networks

> TS NGUYỄN CHÍ KIÊN^{1*}, TS PHẠM XUÂN BÁCH², TS NGUYỄN DUY HƯNG³

¹Bộ môn Kỹ thuật điện, Trường Đại học Giao thông vận tải

²Trường Đại học Sư phạm kỹ thuật Nam Định

³Trường Đại học Công nghiệp Việt - Hung

*Email: kiennc@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Trong bối cảnh chuyển đổi số trong ngành điện và xu hướng xây dựng lưới điện thông minh (Smart Grid), việc áp dụng công nghệ Internet of Things (IoT) trong giám sát và điều khiển lưới điện hạ thế trở nên cần thiết và hứa hẹn nhiều tiềm năng. Trong lĩnh vực phân phối điện năng, đặc biệt là ở cấp điện áp hạ thế, việc ứng dụng IoT vào giám sát tủ điện phân phối đang mang lại hiệu quả rõ rệt trong việc nâng cao độ an toàn, tính linh hoạt và khả năng quản lý tập trung. Bài báo trình bày thiết kế và triển khai một mô hình tủ điện hạ thế tích hợp các cảm biến đo lường (dòng, điện áp, nhiệt độ) kết hợp với bộ vi điều khiển nhằm thu thập dữ liệu theo thời gian thực và truyền về nền tảng Web API thông qua giao thức MQTT. Hệ thống cho phép người dùng giám sát trạng thái hoạt động của tủ điện qua giao diện web, đồng thời hỗ trợ điều khiển từ xa thông qua mô-đun relay. Qua quá trình thử nghiệm, hệ thống cho thấy khả năng hoạt động ổn định, độ chính xác cao, phản hồi nhanh và dễ dàng triển khai với chi phí thấp. Mô hình này phù hợp để áp dụng tại các khu dân cư, tòa nhà thương mại hoặc nhà máy, góp phần xây dựng lưới điện thông minh và thúc đẩy chuyển đổi số trong lĩnh vực năng lượng.

Từ khóa: IoT; lưới điện hạ thế; Web API; MQTT; giám sát từ xa.

ABSTRACT

The rapid development of Internet of Things (IoT) technology is opening new approaches to monitoring and controlling electrical systems. In power distribution, especially at the low-voltage level, the application of IoT in monitoring distribution cabinets has proven effective in enhancing safety, flexibility, and centralized management. This paper presents the design and implementation of a low-voltage distribution cabinet model integrated with measurement sensors (current, voltage, temperature) and an microcontroller, which collects real-time data and transmits it to the Web API platform via the MQTT protocol. The system enables users to monitor the cabinet's operational status through a web interface and supports remote control using a relay module. Experimental results show that the system operates reliably, offers high accuracy, fast response time and is easy to deploy at low cost. This model is suitable for residential areas, commercial buildings or factories, contributing to the development of smart grids and promoting digital transformation in the energy sector.

Keywords: IoT; low-voltage grid; Web API; MQTT; remote monitoring.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sự phát triển mạnh mẽ của khoa học công nghệ trong những năm gần đây đã làm thay đổi cách thức quản lý và vận hành các hệ thống kỹ thuật, trong đó có lĩnh vực cung cấp và phân phối điện năng. Trong bối cảnh đó, việc ứng dụng các công nghệ hiện đại như Internet of Things (IoT) vào lưới điện hạ thế mang lại cơ hội lớn trong việc nâng cao chất lượng dịch vụ, tăng cường hiệu suất vận

hành, cũng như đảm bảo an toàn cho người và thiết bị. Việc ứng dụng công nghệ IoT trong lĩnh vực kỹ thuật điện đã được nghiên cứu trong một số công trình trước đây [1-3].

Tủ điện phân phối hạ thế là thành phần thiết yếu trong hệ thống điện, đóng vai trò điều phối và bảo vệ các nhánh phụ tải trong khu dân cư, tòa nhà hoặc xưởng sản xuất. Tuy nhiên, hầu hết các tủ điện hiện nay chỉ được kiểm tra định kỳ thủ công, gây khó

khẩn trong việc phát hiện sớm các sự cố như quá tải, sụt áp, nhiệt độ tăng bất thường hay mất pha.

Giải pháp ứng dụng IoT vào tủ điện phân phối hạ thế giúp thu thập và truyền tải dữ liệu từ các cảm biến đo điện áp, dòng điện, nhiệt độ về nền tảng đám mây. Người dùng có thể theo dõi trạng thái thiết bị theo thời gian thực thông qua dashboard trực quan, đồng thời thực hiện các thao tác điều khiển như đóng/ngắt phụ tải từ xa bằng relay. Điều này không chỉ giúp tối ưu hóa việc giám sát mà còn góp phần phòng tránh sự cố và giảm thiểu rủi ro vận hành. Công nghệ IoT cho phép thu thập dữ liệu liên tục từ các cảm biến, truyền dữ liệu qua mạng không dây và hiển thị thông tin trực quan trên nền tảng điện toán đám mây. Với khả năng tích hợp các thiết bị phần cứng giá rẻ và phần mềm mã nguồn mở, hệ thống IoT dễ dàng triển khai ở quy mô nhỏ như hộ gia đình, tòa nhà, nhà máy mà vẫn đảm bảo độ tin cậy và khả năng mở rộng [4].

2. NỘI DUNG

2.1. Tổng quan hệ thống

Hệ thống giám sát và điều khiển lưới điện hạ thế ứng dụng IoT được thiết kế dựa trên kiến trúc phân lớp gồm ba tầng chính:

- Tầng cảm biến và thu thập dữ liệu: Gồm các cảm biến dòng SCT013, cảm biến điện áp ZMPT101B và cảm biến nhiệt độ/độ ẩm DHT22. Các cảm biến này gắn trực tiếp vào tủ điện để thu thập dữ liệu vận hành của hệ thống.

- Tầng xử lý và truyền thông: Vi điều khiển ESP32 đóng vai trò trung tâm, nhận dữ liệu từ cảm biến, xử lý tín hiệu, sau đó truyền dữ liệu thông qua wifi đến nền tảng Web API sử dụng giao thức MQTT.

- Tầng hiển thị và điều khiển: Nền tảng Web API trực quan hóa dữ liệu dưới dạng biểu đồ, đồng hồ đo hoặc bảng số liệu. Đồng thời, hệ thống cho phép người dùng giám sát theo thời gian thực, gửi cảnh báo khi có sự cố và điều khiển thiết bị tải thông qua relay từ xa.

Với mô hình này, toàn bộ hoạt động của tủ điện được số hóa và có thể giám sát, điều khiển thông minh từ bất cứ đâu có kết nối

Internet, giúp tăng độ an toàn, nâng cao hiệu suất và giảm thiểu sự cố trong vận hành hệ thống điện. Từ nghiên cứu đánh giá trên cơ sở lý thuyết kết hợp đánh giá các phương pháp đo thực tế, nhóm tác giả đề xuất mô hình kiến trúc hệ thống như Hình 1.

2.2. Phần cứng hệ thống

Trong bài báo, nhóm tác giả thiết kế hệ thống điều khiển và giám sát điện năng cho mạng phân phối hạ thế một pha. Hệ thống đo các thông số để đánh giá độ tin cậy của tủ điện hạ thế có các tính năng cơ bản sau đây:

- Đo lường thông số điện để đánh giá độ tin cậy của tủ điện hạ thế, bao gồm:

+ Đo thông số điện lộ tổng: U , I , $\cos \varphi$, tần số;

+ Đo thông số điện lộ nhánh (tối đa 8 lộ nhánh): U , I , $\cos \varphi$, tần số.

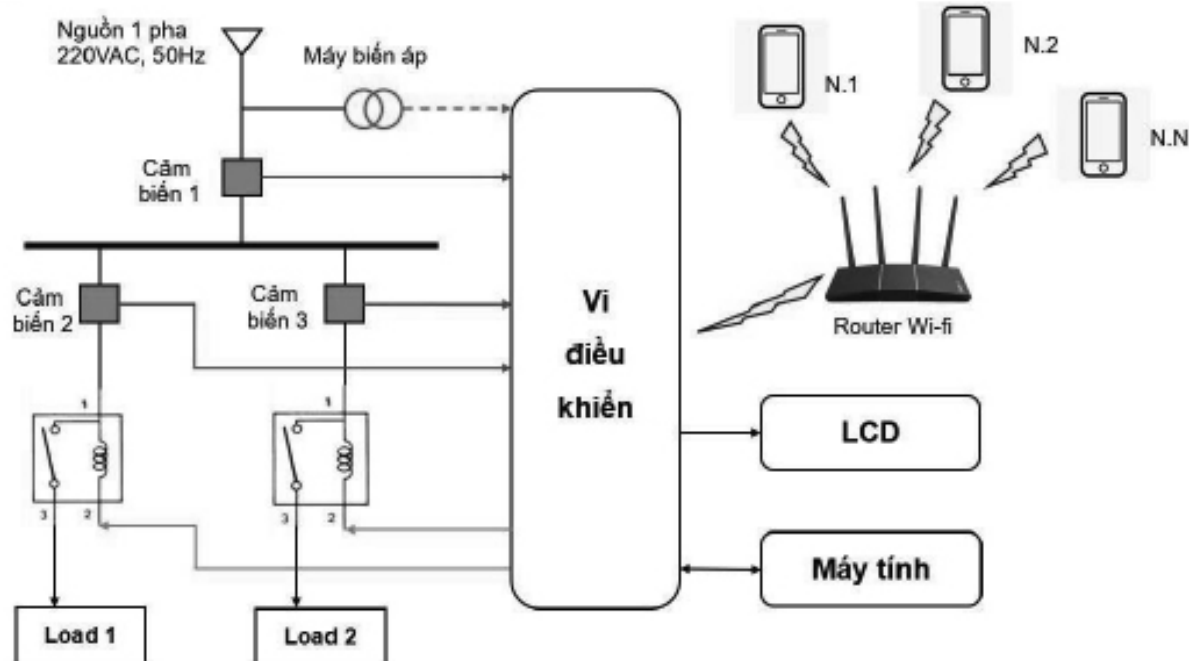
- Giám sát lưới điện phân phối thông qua các cảnh báo:

+ Cảnh báo mất điện các pha lộ tổng, lộ nhánh;

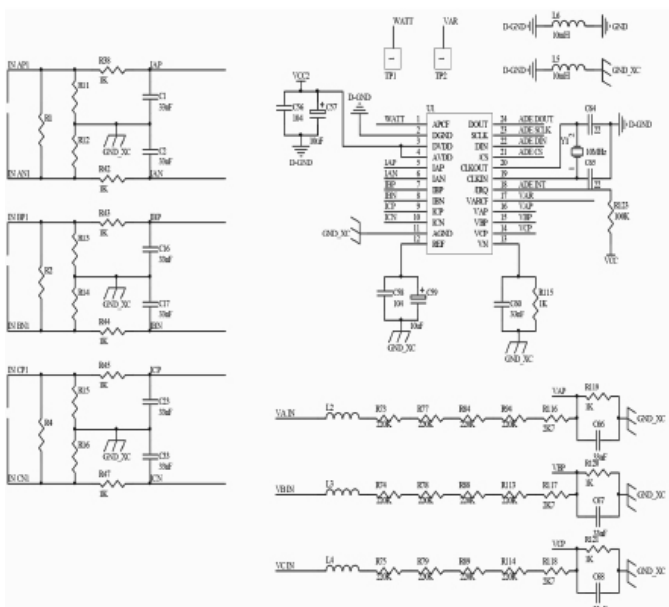
+ Cảnh báo quá áp, quá dòng lộ tổng, lộ nhánh;

- Truyền dữ liệu đo về trung tâm để đánh giá độ tin cậy của tủ điện hạ thế.

Bộ đo thông số về điện gồm khối đo dòng điện và khối đo điện áp. Hai khối này có nhiệm vụ biến đổi điện áp, dòng điện về giá trị tham chiếu để xử lý ADC và truyền kết quả đến bộ xử lý trung tâm tính toán, hiển thị ra giá trị của dòng điện và điện áp. Khối đo điện áp nguồn cấp của trạm biến áp có cấu tạo đơn giản bao gồm tụ điện, điện trở phân áp để đưa điện áp xoay chiều từ nguồn cấp của trạm biến áp vào biến đổi thành giá trị điện áp thích hợp. Các điện trở và tụ điện được tính toán lắp đặt sao cho với giá trị điện áp đo cực đại 300 VAC được đưa qua chúng cho giá trị đầu ra về mức điện áp tham chiếu 1VAC để đưa vào IC đo lường điện. Sau đó, tín hiệu điện áp được biến đổi ADC và gửi về bộ xử lý trung tâm để tính toán ra kết quả của điện áp đo. Khối đo dòng điện sử dụng cảm biến dòng SCT013 được sản xuất chuyên dùng cho đo lường các thông số về điện tích hợp công nghệ ADCs và DSP trên cùng một vi mạch [5, 6].

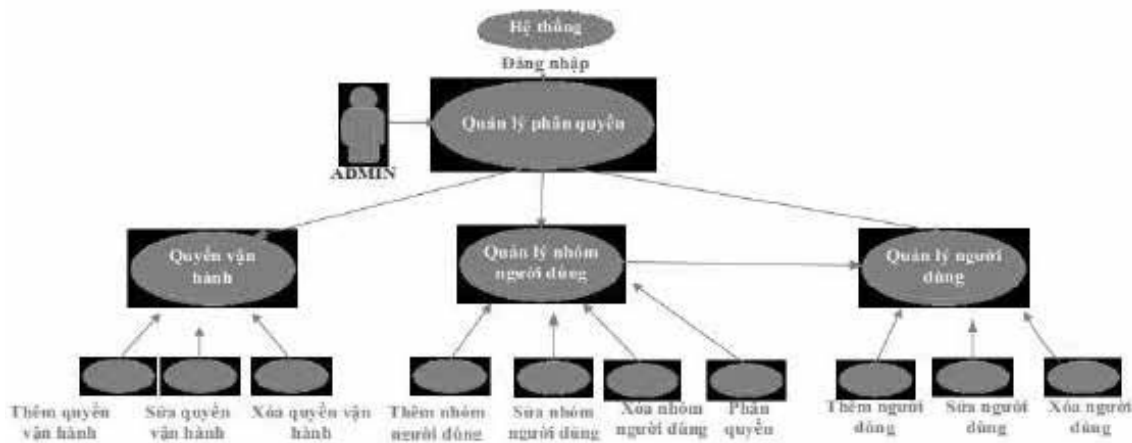


Hình 1. Sơ đồ khối của hệ thống



Hình 2. Sơ đồ nguyên lý khối đo thông số về điện

Quá trình trao đổi thông tin giữa trung tâm và thiết bị đo được thực hiện qua tập lệnh AT - tập lệnh chuẩn được hỗ trợ gửi và nhận tin qua mạng thông tin di động. Các thông tin cảnh báo giám sát và thông báo trạng thái được truyền giữa hai mạch sẽ đi qua khối giao tiếp theo chuẩn UART (truyền nhận nối tiếp đồng bộ và không đồng bộ). Việc điều khiển truyền tín hiệu được phối hợp giữa chip xử lý của cả hai mạch để quá trình truyền tín hiệu diễn ra một cách chính xác và hiệu quả. Tín hiệu qua UART sẽ được chuyển đổi qua IC MAX485 để truyền thông tín hiệu về bộ điều khiển trung tâm theo phương thức truyền thông công nghiệp RS485.



Hình 3. Sơ đồ Use-case tổng quát chức năng quản lý phân quyền

2.3. Xây dựng phần mềm tại trung tâm xử lý

Để xây dựng hệ thống giám sát điều khiển tủ điện trong lưới điện hạ thế, nhóm tác giả xây dựng trên cơ sở thỏa mãn các yêu cầu sau:

- Hệ thống sẽ được triển khai trên nền tảng website đáp ứng nhiều người dùng.
- Hệ thống sẽ được trang bị hạ tầng mạng, server mạnh đáp ứng nhiều người cùng truy cập và giao dịch vào cùng một thời điểm (giờ cao điểm) một cách nhanh chóng và chính xác.
- Website dễ dàng và thuận tiện cho người sử dụng. Tuy nhiên,

thiết kế giao diện người sử dụng vẫn phải đảm bảo các quy tắc và tiêu chuẩn thiết kế.

- Website ngôn ngữ tiếng Việt, đảm bảo hệ thống font chữ tiếng Việt theo chuẩn Unicode;
- Hệ thống bảo đảm tính an toàn, bảo mật thông tin về người sử dụng, thông tin về các thông số thu thập được từ các thiết bị; phân chia vai trò và quyền truy cập cho từng đối tượng sử dụng cụ thể.

Để tận dụng khả năng cài đặt ở một nơi và sử dụng ở nhiều nơi, giải pháp web-based sử dụng ASP.NET core, đó là một nền tảng ứng dụng web (web application framework) được phát triển và cung cấp bởi Microsoft, cho phép những người lập trình tạo ra những trang web động, những ứng dụng web và những dịch vụ web. Web API (Application Programming Interface) và Web service hoạt động như các phương tiện giao tiếp. Điểm khác biệt duy nhất giữa Web API và Web service chính là Web service tạo thuận lợi cho sự tương tác giữa hai máy qua mạng. Web API hoạt động như một giao diện giữa hai ứng dụng khác nhau để chúng có thể giao tiếp với nhau. Web API với khả năng hỗ trợ đầy đủ các chuẩn giao tiếp và mã nguồn mở hoàn toàn thích ứng khi xây dựng hệ thống [7]. Khi áp dụng phương pháp này sẽ có thể kết nối được các thiết bị cũ có chuẩn khác nhau đồng thời dễ dàng nâng cấp mở rộng.

Giải pháp truyền tin mà nhóm tác giả đề xuất là truyền thông theo API. Với giao diện lập trình ứng dụng này sẽ hỗ trợ việc xây dựng phương thức kết nối với phía back-end và ứng dụng khác trong hệ thống. Dữ liệu thu thập từ thiết bị giám sát truyền thông qua mạng thông tin di động về trung tâm sử dụng các hàm API. Cơ sở dữ liệu (CSDL) trực tuyến cho mục đích hiển thị và cảnh báo thông số, giám sát truyền thông. CSDL lưu trữ cho các tác vụ liên quan tới báo cáo, thống kê. Chức năng thiết lập nhanh cho hệ thống bằng các tập cấu hình thông qua dịch vụ web (tool service).

Quản lý người dùng là chức năng cho phép quản lý việc cấp mới, sửa, xóa người dùng. Để truy cập được vào hệ thống, người dùng cần được người sử dụng hệ thống cấp tài khoản trước và sử dụng tài khoản này để đăng nhập vào hệ thống.

2.4. Thực nghiệm và đánh giá kết quả

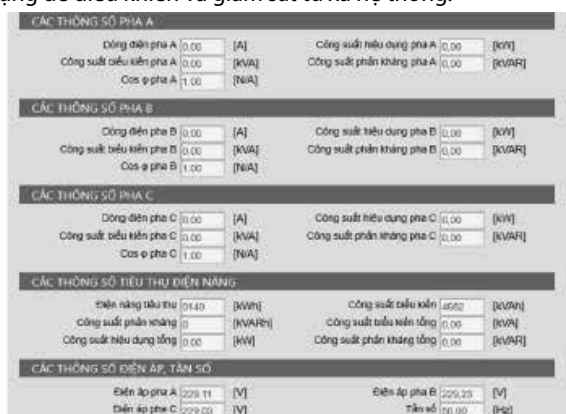
Dựa trên sơ đồ phân cứng, phần mềm đề xuất, các thiết bị lựa chọn nhóm tác giả thiết kế, chế tạo và phối ghép hoàn thiện mô hình giám sát điều khiển, đánh giá tính năng, khả năng đo của thiết bị đo và khả năng kết nối, truyền dữ liệu đo về trung tâm đánh giá độ tin cậy cung cấp điện. Thử nghiệm thiết bị đo đánh giá độ tin cậy cung cấp điện về tính năng và khả năng đo các thông số về điện, nhiệt

độ, độ ẩm, tiến hành hiệu chỉnh sử dụng bộ tạo điện áp, dòng điện chuẩn, đồng hồ đo điện, nhiệt kế, ẩm kế. Mô hình thử nghiệm thiết bị đo các thông số để đánh giá độ tin cậy cung cấp điện như Hình 4.

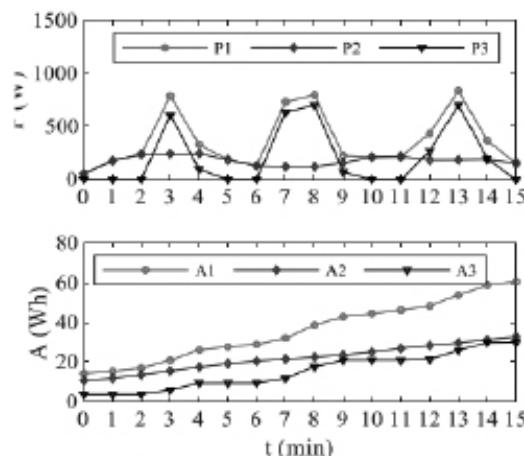
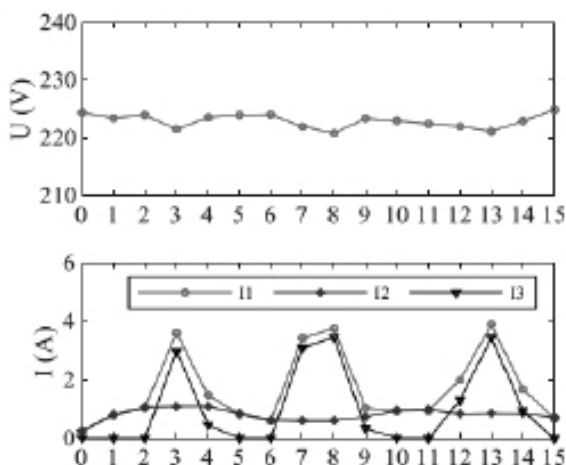


Hình 4. Mạch đo của thiết bị

Hệ thống được đề xuất được phát triển như thể hiện trong Hình 4. Màn hình LCD trong hệ thống này được sử dụng để hiển thị các thông số đo lường. Để tiến hành thí nghiệm, các thiết bị điện được sử dụng để đại diện cho các tải trong hệ thống. Cụ thể, giả định rằng tải 1 là 4 bóng đèn công suất 60 W và tải 2 là máy sấy tóc công suất 750 W. Ngoài ra, để truyền tất cả dữ liệu đo được lên CSDL đám mây, hệ thống cần được thiết lập kết nối với mạng wifi tại địa điểm cài đặt. Sau khi hệ thống thí nghiệm được lắp đặt hoàn chỉnh, ứng dụng Web API được thiết kế trên điện thoại thông minh sẽ được sử dụng để điều khiển và giám sát từ xa hệ thống.



Hình 5. Hình ảnh chụp màn hình hiển thị các thông số ở trung tâm



Hình 6. Kết quả thực nghiệm trong quá trình giám sát 15 phút

Trên các thiết bị thông minh, sau khi ứng dụng Web API được liên kết với hệ thống, tất cả các thông số đo lường sẽ được hiển thị dưới dạng số liệu như trong Hình 5. Điều này có nghĩa là hệ thống cho phép chúng ta dễ dàng giám sát các thông số đo lường theo thời gian thực. Ngoài ra, người dùng cũng có thể thực hiện hành động điều khiển thủ công các mạch trong hệ thống bằng cách nhấn nút điều khiển rơ-le trên giao diện.

3. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, nhóm tác giả đề xuất một hệ thống điều khiển và giám sát điện năng chi phí thấp cho mạng điện một pha 220 VAC dựa trên công nghệ IoT đã được thiết kế và thử nghiệm tại phòng thí nghiệm của các trường đại học nơi các tác giả công tác. Các thông số điện bao gồm điện áp hiệu dụng (RMS), dòng điện hiệu dụng, công suất thực và lượng điện năng tiêu thụ có thể được đo lường, điều khiển và giám sát từ xa thông qua máy tính hoặc điện thoại thông minh có kết nối Internet. Kỹ thuật quản lý phía nhu cầu (Demand-Side Management) cũng được tích hợp vào hệ thống nhằm quản lý hiệu quả việc tiêu thụ năng lượng tại một địa điểm. Kết quả thực nghiệm cho thấy hệ thống hoạt động chính xác và hiệu quả. Từ những kết quả này, có thể thấy rằng hệ thống đề xuất hoàn toàn có khả năng điều khiển và giám sát điện năng trong mạng phân phối hạ thế. Cuối cùng, hệ thống cũng có thể được phát triển thêm nhiều tính năng mới trong tương lai.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học GTVT trong Đề tài mã số T2025-DT-002.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. G. Bedi, R. Singh and K. C. Wang (2018), Review of Internet of Things (IoT) in Electric Power and Energy Systems, IEEE Internet of Things Journal, vol.5, no.2, pp.847-870.
- [2]. W. T. Hartman, A. Hansen, E. Vasquez, S. ElTawab and K. Altai (2018), Energy monitoring and control using Internet of Things (IoT) system, in Proc. 2018 Systems and Information Engineering Design Symposium, pp.13-18.
- [3]. A. R. Manuel, G. C. Aurora, M. G. Ricardo, M. M. Antonio and C. C. Eduardo (2018), Novel Internet of Things Platform for In-Building Power Quality Submetering, Applied Sciences, vol.8, p.1320.
- [4]. Lê Anh Ngọc, Nguyễn Khánh Tùng (2020), Thiết kế IoT gateway cho hệ thống giám sát và quản lý tải điện hạ thế, Tạp chí Khoa học và Công nghệ năng lượng, Trường Đại học Điện lực, số 24, tr.9-19.
- [5]. Mark, J. W. and Weihua, Zhuang (2003), Wireless Communications and Networking, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- [6]. Vijay K. Garg (2007), Wireless Communications and Networking, Morgan Kaufmann Publishers.
- [7]. Khaidir Ali1, Rama Okta Wiyagi, Ramadoni Syahputra (June 2017), Reliability Analysis of Power Distribution System, Journal of Electrical Technology UMY (JET-UMY), vol.1, no.2, ISSN 2550-1186, e-ISSN 2580-6823.

Kinh nghiệm đầu tư phát triển đường sắt tốc độ cao ở một số quốc gia

Investment experiences in high-speed rail development in selected countries

> TS ĐỖ VĂN THUẬN

Học viện Chiến lược, bồi dưỡng cán bộ xây dựng

Email: thuanqlcb@gmail.com

TÓM TẮT

Đường sắt tốc độ cao (ĐSTĐC) ngày nay đã trở thành một trong những biểu tượng của phát triển hạ tầng giao thông hiện đại. Kể từ khi tuyến Shinkansen đầu tiên ra đời tại Nhật Bản năm 1964, nhiều quốc gia, vùng lãnh thổ như Pháp, Đức, Ý, Tây Ban Nha, Trung Quốc, Hàn Quốc, Đài Loan, Hồng Kông... đã đầu tư xây dựng và vận hành hiệu quả mạng lưới ĐSTĐC với nhiều quy mô khác nhau. Bài báo tổng hợp, phân tích kinh nghiệm của một số quốc gia tiêu biểu trên thế giới về quá trình phát triển, công nghệ lựa chọn, tốc độ thiết kế cũng như mô hình tổ chức đầu tư phát triển ĐSTĐC, từ đó rút ra bài học tham khảo cho Việt Nam trong tiến trình nghiên cứu, chuẩn bị và triển khai đầu tư xây dựng ĐSTĐC.

Từ khóa: Đường sắt tốc độ cao; kinh nghiệm quốc tế; hình thức đầu tư; công nghệ lựa chọn.

ABSTRACT

High-speed rail has today become one of the symbols of modern transport infrastructure development. Since the inauguration of the first Shinkansen line in Japan in 1964, many countries such as France, Germany, Italy, Spain, China, South Korea, Taiwan and Hong Kong have invested in and efficiently operated high-speed rail networks of various scales. This article synthesizes and analyzes the experiences of several representative countries around the world in terms of development processes, technology choices, design speeds, as well as organizational models for investment and implementation of high-speed rail projects. On that basis, it draws relevant lessons for Vietnam in the process of researching, preparing and implementing high-speed rail development.

Keywords: High-speed rail; international experience; investment models; technology choices.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

ĐSTĐC với nhiều tính năng ưu việt, hiện nay đã trở thành xu hướng phát triển hạ tầng GTVT tại nhiều quốc gia trên thế giới. ĐSTĐC không chỉ gia tăng năng lực vận tải hành khách mà còn đóng vai trò như một công cụ chiến lược trong phát triển kinh tế - xã hội, góp phần định hình và tái cấu trúc không gian đô thị, thúc đẩy xu hướng phát triển bền vững thông qua tính thân thiện với môi trường, giảm phát thải khí nhà kính, đồng thời nâng cao năng lực cạnh tranh ở tầm quốc gia. Tại Việt Nam, ĐSTĐC đang trong giai đoạn chuẩn bị đầu tư trên trục Bắc - Nam, với chủ trương đầu tư đã được Quốc hội thông qua vào tháng 11/2024, dự kiến chiều dài toàn tuyến 1.541 km, tốc độ thiết kế 350 km/h, tổng mức đầu tư khoảng gần 70 tỷ USD, khởi công xây dựng năm 2026 và hoàn thành vào năm 2035. Việc nghiên cứu và đánh giá các thành công cũng như hạn chế trong quá trình triển khai đầu tư phát triển

ĐSTĐC tại một số quốc gia tiêu biểu như Nhật Bản, Pháp, Đức, Ý, Tây Ban Nha, Trung Quốc, Hàn Quốc, Đài Loan và Hồng Kông là cơ sở tham khảo quan trọng, cung cấp những bài học kinh nghiệm thiết thực cho các quốc gia đang ở giai đoạn chuẩn bị đầu tư, trong đó có Việt Nam.

2. CƠ SỞ LÝ LUẬN VÀ KINH NGHIỆM QUỐC TẾ VỀ PHÁT TRIỂN ĐSTĐC

ĐSTĐC (còn gọi là đường sắt cao tốc) được hiểu là một kiểu vận tải đường sắt hoạt động nhanh hơn rất nhiều so với tốc độ đường sắt thông thường, kết nối hiệu quả các đô thị lớn, thúc đẩy kinh tế - xã hội và là phương thức vận tải an toàn, thân thiện với môi trường. Đến nay, trên thế giới chưa có khái niệm thống nhất về ĐSTĐC.

Theo Liên minh châu Âu (Chỉ thị 96/48/EC về hệ thống ĐSTĐC xuyên châu Âu), đường sắt cao tốc là các hệ thống xe lửa và cơ sở

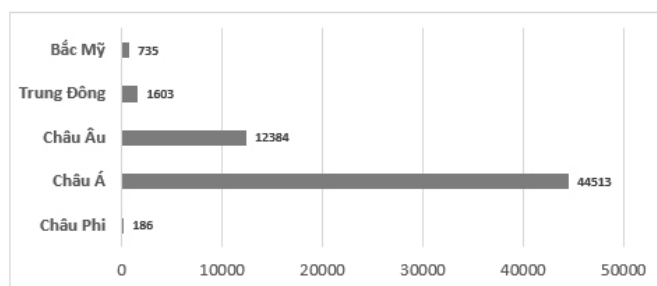
hạ tầng hoạt động thường xuyên với tốc độ 250 km/h trở lên trên các tuyến đường ray mới hay 200 km/h trên các tuyến đường ray có sẵn. Nhật Bản quy định ĐSTĐC với tốc độ thiết kế 210 - 320 km/h, xây dựng tuyến mới độc lập hoàn toàn với khổ đường riêng, không giao cắt đồng mức.

Tại Hoa Kỳ, hệ thống ĐSTĐC được phân thành ba cấp độ thiết kế: (i) HSR thật sự với tốc độ khai thác trên 240 km/h; (ii) HSR trung bình với tốc độ từ 200 - 240 km/h; (iii) HSR nâng cấp với tốc độ 145 - 200 km/h, chủ yếu dựa trên việc cải tạo, nâng cấp tuyến đường sắt hiện hữu. Ở Trung Quốc, ĐSTĐC được quy định là tuyến mới, khai thác thường xuyên với vận tốc từ 250 km/h trở lên, tốc độ thiết kế đạt tới 350 km/h. Đối với Việt Nam, ĐSTĐC được xác định là loại hình đường sắt quốc gia có tốc độ khai thác từ 200 km/h trở lên, được thiết kế với đường đôi, khổ tiêu chuẩn 1.435 mm, điện khí hóa và loại bỏ hoàn toàn giao cắt đồng mức, nhằm đảm bảo an toàn, hiệu quả khai thác cho cả vận tải hành khách và hàng hóa.

Quốc gia đầu tiên trên thế giới đưa vào khai thác ĐSTĐC là Nhật Bản (tuyến Shinkansen 1964, bắt đầu được triển khai xây dựng năm 1957), đây là bước ngoặt quan trọng đối với vận tải đường sắt, đóng góp to lớn vào sự phát triển thần kỳ của đất nước này thông qua việc phát triển đô thị, phân bố dân cư, giao thông an toàn, thuận tiện, đem lại việc làm và phát triển kinh tế - xã hội của đất nước. ĐSTĐC có thể được xem như một biểu tượng tiêu biểu của Nhật Bản về sự đổi mới trong phát triển hạ tầng giao thông. Thành công của Nhật Bản trong đầu tư và vận hành hệ thống này đã trở thành động lực thúc đẩy nhiều quốc gia khác như Pháp, Đức, Ý, Tây Ban Nha, Hàn Quốc, Đài Loan, đặc biệt là Trung Quốc.

Chỉ trong vòng chưa đầy một thập kỷ, kể từ năm 2008, Trung Quốc đã triển khai xây dựng hơn 46.000 km ĐSTĐC, chiếm trên 2/3 tổng chiều dài mạng lưới toàn cầu. Đáng chú ý, ngay cả các quốc gia có ngành công nghiệp dầu mỏ phát triển, vốn duy trì truyền thống sử dụng phương tiện chạy bằng nhiên liệu hóa thạch (xăng, dầu), với đặc điểm diện tích rộng lớn và mật độ dân số thấp, hiện nay cũng đã quan tâm và định hướng phát triển hệ thống ĐSTĐC. Hiện nay, tại Mỹ, tuyến ĐSTĐC Boston - New York - Washington D.C. với chiều dài 735 km đang được khai thác, có tốc độ thiết kế 240 km/h. Song song đó, Mỹ đang triển khai xây dựng tuyến Las Vegas - California dài 275 km, tốc độ thiết kế 350 km/h và dự kiến sẽ tiếp tục mở rộng đầu tư thêm hơn 3.000 km ĐSTĐC trong thời gian tới. Nga đang khai thác tuyến đường sắt cao tốc Moscow-Saint Petersburg, với tốc độ tối đa khoảng 250 km/h, đang đầu tư xây dựng tuyến thứ 2 trên trục hành lang này với chiều dài khoảng 680 km, tốc độ thiết kế 360 km/h và dự kiến sẽ tiếp tục đầu tư khoảng 1.000 km. Theo số liệu thống kê của UIC năm 2023, tính đến tháng 10/2023 có 22 quốc gia, vùng lãnh thổ sở hữu ĐSTĐC với chiều dài khoảng 59.421 km, trong đó các nước châu Á chiếm chủ yếu.

Chiều dài (km) ĐSTĐC tại các khu vực tính đến thời điểm tháng 10/2023



Nguồn: UIC (Atlas High - Speed Rail 2023)

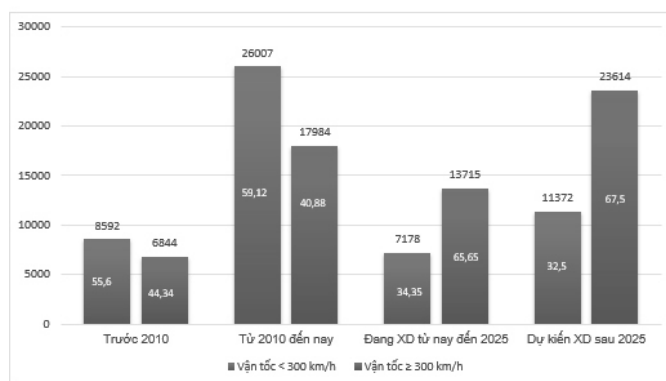
2.1. Kinh nghiệm về thời điểm đầu tư ĐSTĐC

Trung Quốc quyết định xây dựng tuyến ĐSTĐC đầu tiên (Bắc Kinh - Thiên Tân) năm 2005 khi thu nhập bình quân đầu người 1.753 USD và quy mô nền kinh tế 2.250 tỷ USD; Indonesia quyết định xây dựng tuyến đường sắt cao tốc đầu tiên vào năm 2015 khi thu nhập bình quân đầu người 3.288 USD và quy mô nền kinh tế 860,59 tỷ USD; Uzbekistan khai thác ĐSTĐC đầu tiên năm 2011 khi thu nhập bình quân 1.926 USD và quy mô nền kinh tế 42,2 tỷ USD; Nhật Bản quyết định xây dựng tuyến ĐSTĐC đầu tiên (Tokyo - Osaka) năm 1950 khi thu nhập bình quân khoảng 250 USD; Pháp, Đức và Hàn Quốc đã triển khai đầu tư, khai thác hệ thống ĐSTĐC tại thời điểm mà thu nhập bình quân đầu người lần lượt đạt 11.106 USD (năm 1981), 23.435 USD (năm 1991) và 16.493 USD (năm 2004). Như vậy, thời điểm quyết định đầu tư ĐSTĐC thì các quốc gia không có sự tương đồng về quy mô nền kinh tế, thu nhập bình quân đầu người. Theo nghiên cứu của Ngân hàng Thế giới (WB), đây là thời điểm thích hợp để Việt Nam đầu tư ĐSTĐC khi thu nhập bình quân đầu người năm 2023 đạt 4.284 USD/người, cao hơn nhiều nước khi quyết định đầu tư ĐSTĐC và dự kiến đạt 7.500 USD vào năm 2030.

2.2. Kinh nghiệm về lựa chọn tốc độ thiết kế

Theo quy định của Hiệp hội Đường sắt quốc tế, ĐSTĐC xây dựng mới có tốc độ khai thác từ 250 km/h. Trên thực tế, tốc độ khai thác đường sắt của các quốc gia không ngừng tăng lên theo thời gian và hiện đang tiếp tục nghiên cứu nâng tốc độ lên trên 360 km/h. Thống kê cho thấy, giai đoạn trước năm 2010, tỷ lệ tốc độ thiết kế dưới 300 km/h chiếm chủ yếu (khoảng 8.592/15.435 km, chiếm 56%). Giai đoạn từ 2010 đến nay, xu hướng tỷ lệ tốc độ thiết kế từ 300 km/h trở lên chiếm chủ yếu (thống kê đến năm 2023 thì các tuyến đường sắt tốc độ từ 300 km/h trở lên đang khai thác, đang xây dựng hoặc đã quy hoạch khoảng 55.313/99.870 km, chiếm khoảng 55%). Vài năm gần đây, cơ bản các dự án đầu tư ĐSTĐC đều lựa chọn tốc độ thiết kế 350 km/h hoặc cao hơn (tuyến Jakarta-Bandung của Indonesia, tốc độ thiết kế 350 km/h; tuyến Moscow-Saint Petersburg của Nga, tốc độ thiết kế 360 km/h. Tại Nhật Bản, một số tuyến ĐSTĐC dự kiến sẽ được đưa vào vận hành trong thời gian tới, với tốc độ tối đa thiết kế lên tới 581 km/h.

Thống kê chiều dài ĐSTĐC trên thế giới theo dải tốc độ thiết kế



Nguồn: Liên danh Tư vấn TEDI-TRICC-TEDIS 2024

Xét ở góc độ kinh tế, theo tính toán, tổng chi phí đầu tư ĐSTĐC 350 km/h cao hơn tốc độ 250 km/h khoảng 9% (trong đó chi phí hạ tầng cao hơn khoảng 7%, chi phí phương tiện thiết bị cao hơn

khoảng 17%). Tuy nhiên, nếu đầu tư với tốc độ 250 km/h thì việc nâng cấp lên tốc độ 350 km/h sẽ khó thực hiện và không hiệu quả.

2.3. Kinh nghiệm về kết hợp vận tải hành khách và hàng hóa

Thống kê cho thấy, các quốc gia có mạng lưới đường sắt phát triển đều dùng đường sắt cũ, hiện hữu để vận chuyển hàng hóa, ĐSTĐC chủ yếu vận chuyển hành khách. Đường biển, đường thủy, đường sắt trên cùng trục hành lang thường được kết hợp để vận chuyển hàng hóa (như Nhật Bản, Italia, Indonesia...). Trung Quốc có mạng lưới đường sắt phát triển nhưng vẫn thực hiện vận chuyển hàng hóa bằng đường biển (hiện Trung Quốc đang xây dựng kênh đào Bình Lục với chiều dài 134 km cho cỡ tàu 5.000 tấn, tổng kinh phí trên 10 tỷ USD, dự kiến sẽ vận chuyển 108 triệu tấn hàng hóa vào năm 2035). Một số nước như Úc, Lào xây dựng tuyến đường sắt khai thác chung tàu khách và tàu hàng với vận tốc tàu khách khoảng 160 km/h, tàu hàng khoảng 80 - 100 km/h chỉ là đường sắt thông thường, không phải ĐSTĐC.

Đa số các quốc gia đồng thời với việc đầu tư tuyến ĐSTĐC mới thì vẫn duy trì khai thác hiệu quả các tuyến hiện hữu (Nhật Bản, Đài Loan - Trung Quốc khổ 1.067 mm; Tây Ban Nha khổ 1.668 mm, 1.000 mm; Trung Quốc khổ 1.435 mm, 1.000 mm; Đức khổ 1.435 mm, 1.000 mm, 900 mm, 750 mm). Đối với các quốc gia đã có mật độ đường sắt dày đặc (như Đức là 93/1.000 km², Nhật Bản là 72,3/1.000 km², Tây Ban Nha là 31,2/1.000 km², Trung Quốc là 16,2/1.000 km²), còn rất ít không gian để phát triển các tuyến đường sắt mới thì đa số được nâng cấp từ đường sắt hiện có. Trên thế giới hiện có một số tuyến đồng thời tổ chức chạy tàu khách tốc độ cao (tốc độ 300 km/h) và tàu hàng (tốc độ 120 - 160 km/h), cơ bản tàu khách chạy ban ngày, tàu hàng chạy ban đêm, điển hình như: Tuyến Barcelona Perpignan dài 175,5 km, đưa vào khai thác từ năm 2013, với tốc độ thiết kế cho tàu khách 350 km/h (khai thác thực tế 310 km/h) và tốc độ thiết kế cho tàu hàng 160 km/h; tuyến Stuttgart-Mannheim (Đức) dài 99 km, tốc độ thiết kế 300 km/h chạy chung với tàu hàng tốc độ 120 - 160 km/h (tàu khách chạy ban ngày, tàu hàng chạy ban đêm); các tuyến đường sắt tại Italia như Rome-Naple dài 205 km, Firenze-Bologna, Bologna-Milano đều có tốc độ khai thác 300 km/h có thể kết hợp tổ chức chạy tàu hàng khi cần thiết.

2.4. Kinh nghiệm về hình thức đầu tư

ĐSTĐC mang lại hiệu quả kinh tế - xã hội rất lớn như tiết kiệm thời gian đi lại, giảm tai nạn giao thông và ô nhiễm môi trường, tái cấu trúc không gian phát triển, thúc đẩy phát triển công nghiệp, đô thị, du lịch... nhưng xét về hiệu quả tài chính thì rất khó hoàn vốn từ kinh doanh đường sắt nên các quốc gia cơ bản đều đầu tư công; một số quốc gia đầu tư công kết hợp kêu gọi các doanh nghiệp đầu tư mua sắm phương tiện để vận hành, khai thác. Hình thức PPP đường sắt cao tốc đã được một số quốc gia triển khai, nhưng chưa nhiều thành công, phải quốc hữu hóa (Ý, Tây Ban Nha) hoặc phải nâng hỗ trợ của Nhà nước lên rất cao như Đài Loan (giảm lãi vay từ 8% xuống 1,8%, tăng tỷ lệ vốn nhà nước từ 20% lên 64% và kéo dài hợp đồng BOT từ 35 năm lên 70 năm).

Tại Đức, các dự án ĐSTĐC chủ yếu được triển khai theo hình thức đầu tư công, sử dụng kết hợp nhiều nguồn vốn khác nhau, bao gồm ngân sách Liên bang, ngân sách địa phương và hỗ trợ từ Ủy ban châu Âu. Chẳng hạn, tuyến Nuremberg - Ingolstadt được xây dựng năm 2006 có cơ cấu vốn như sau: Chính phủ Liên bang chiếm 58%, Deutsche Bahn đóng góp 32%, ngân sách địa phương

5% và Ủy ban châu Âu hỗ trợ 5%. Đức đã xây dựng các khung pháp lý để đầu tư theo phương thức PPP, tuy nhiên đến nay cũng chưa áp dụng được đối với các dự án đường sắt. Trung Quốc cũng chủ yếu sử dụng theo hình thức đầu tư công với ngân sách Trung ương 70%, ngân sách địa phương 30%, gần đây tỷ lệ này đang ngày càng được đảo ngược lại do các địa phương mong muốn được đầu tư ĐSTĐC để phát triển kinh tế - xã hội. Chính phủ Trung Quốc vẫn giữ quan điểm đầu tư các tuyến ĐSTĐC trên tuyến huyết mạch phải do Nhà nước thực hiện để bảo đảm sự chủ động cho phát triển kinh tế - xã hội, quốc phòng - an ninh.

Cũng có một số quốc gia thành công với mô hình PPP đường sắt cao tốc, nhưng chủ yếu tập trung vào đầu tư phát triển công nghiệp đường sắt, cơ sở hạ tầng kết nối, các khu thương mại, nhà ga, bến bãi. Hồng Kông là ví dụ điển hình với mô hình "rail + property". Công ty MTR không chỉ xây dựng và vận hành hệ thống metro và đường sắt, mà còn phát triển bất động sản thương mại, dịch vụ và nhà ở dọc theo tuyến đường. Nguồn lợi nhuận từ bất động sản trở thành công cụ tài chính quan trọng để bù đắp chi phí xây dựng hạ tầng giao thông. Đây là kinh nghiệm có thể tham khảo cho Việt Nam trong việc gắn kết phát triển đường sắt cao tốc với quy hoạch đô thị và khai thác quỹ đất.

2.5. Kinh nghiệm về tiếp nhận công nghệ, đào tạo, phát triển công nghiệp đường sắt

Các nước đều có chương trình phát triển quốc gia về nguồn nhân lực, công nghiệp đường sắt để sẵn sàng cho việc đầu tư, phát triển ĐSTĐC. Trong đó, điểm chung của các nước phát triển là tự phát triển, làm chủ hoàn toàn (Nhật, Pháp, Đức, Ý) hoặc nhận chuyển giao và tiến tới làm chủ (Trung Quốc, Hàn Quốc, Tây Ban Nha). Trung Quốc đã tiếp nhận và mua lại hầu hết các công nghệ ĐSTĐC trên thế giới để nghiên cứu, ứng dụng, đồng thời phát triển và hình thành hệ thống công nghệ riêng của mình. Để tiếp nhận, làm chủ và phát triển công nghệ, Trung Quốc đã huy động một lực lượng nhân lực khổng lồ lên tới 25 trường đại học, 11 viện nghiên cứu và 51 trung tâm nghiên cứu kỹ thuật (với khoảng 500 giáo sư, viện sĩ và hơn 10.000 kỹ sư). Hàn Quốc tiếp nhận công nghệ từ Pháp, sau đó đã thành lập một cơ quan nghiên cứu bao gồm các trường đại học và các công ty tư nhân để nghiên cứu, phát triển các loại tàu cao tốc. Tây Ban Nha sử dụng công nghệ nước ngoài (của Pháp đối với phần phương tiện, của Đức đối với phần thông tin tín hiệu theo khung tiêu chuẩn, kỹ thuật của châu Âu) và sau hơn 10 năm, Tây Ban Nha đã làm chủ công nghệ ĐSTĐC và đến nay đã xuất khẩu, chuyển giao sang nhiều nước. Một số quốc gia khác chỉ nhận chuyển giao để làm chủ công nghệ vận hành bảo trì, sản xuất một số vật tư, phụ tùng thay thế, đặt mục tiêu nâng cao tỷ lệ nội địa hóa và từng bước làm chủ công nghệ đường sắt thông thường.

Kinh nghiệm phát triển công nghiệp đường sắt trên thế giới cho thấy, để phát triển công nghiệp đường sắt tiến tới làm chủ hoàn toàn công nghệ cần thời gian dài, qua nhiều giai đoạn và có hệ thống các ngành công nghiệp phụ trợ phát triển (luyện kim, cơ khí chế tạo, tự động hóa...), nhưng quan trọng nhất là cần phải có bệ đỡ về quy mô thị trường. Trung Quốc là một minh chứng điển hình, với quy mô thị trường đường sắt rất lớn (khoảng 165.000 km) nên Trung Quốc có điều kiện để đầu tư, ứng dụng, thử nghiệm, phát triển và làm chủ hoàn toàn công nghệ, mỗi năm Trung Quốc dành 2,2 tỷ USD cho nghiên cứu đường sắt.

Tập đoàn Trung Sa (Trung Quốc) sản xuất tàu tốc độ cao có tới 6.900 doanh nghiệp trong hệ sinh thái, trong đó có những doanh nghiệp nằm trong Top đầu thế giới và phát triển công nghiệp đường sắt đến nay qua 5 giai đoạn: Giai đoạn nghiên cứu trước năm 1949; giai đoạn hợp tác với các doanh nghiệp nước ngoài để nghiên cứu và bắt đầu chuyển giao công nghệ từ năm 1949 đến 1990; giai đoạn tìm hiểu, sáng chế, làm chủ công nghệ và bắt đầu sản xuất các toa xe đặc dụng tốc độ 160 - 200 km/h từ năm 1990 đến 2003; giai đoạn tiếp tục tiếp thu, làm chủ công nghệ thông qua hợp tác với các doanh nghiệp nước ngoài và đã thiết kế, sản xuất, chế tạo, chạy thử các đoàn tàu từ năm 2004 đến 2021; từ năm 2022 đến nay đã tự chủ hoàn toàn.

3. BÀI HỌC RÚT RA CHO VIỆT NAM

Qua phân tích kinh nghiệm đầu tư, phát triển ĐSTĐC ở các quốc gia châu Âu và một số quốc gia phát triển ở châu Á, có thể rút ra một số bài học chính:

Thứ nhất, xác định ĐSTĐC không chỉ mang ý nghĩa một dự án giao thông mà phải là bước đột phá trong việc tạo động lực phát triển kinh tế - xã hội, tái cấu trúc không gian đô thị, thân thiện với môi trường, thúc đẩy chuyển đổi xanh và tăng cường năng lực cạnh tranh quốc gia. Thời gian chuẩn bị, quá trình đầu tư xây dựng kéo dài, vốn đầu tư lớn, công nghệ phức tạp, giai đoạn đầu thường có rất nhiều khó khăn, cần có tầm nhìn chiến lược dài hạn, quyết tâm chính trị mạnh mẽ, cụ thể hóa thành chiến lược, quy hoạch, kế hoạch phù hợp với đặc điểm, điều kiện tự nhiên, kinh tế - xã hội của Việt Nam.

Thứ hai, kết hợp các loại hình vận tải là cần thiết để tăng hiệu quả, giảm chi phí và đáp ứng nhu cầu đa dạng vận chuyển hàng hóa, hành khách. Các quốc gia có đặc điểm địa hình trải dài, trên cùng một hành lang có đường biển, đường thủy song song với đường sắt (như Việt Nam) thì kết hợp vận chuyển hàng hóa bằng đường biển, đường thủy với đường sắt là phương án tối ưu.

Thứ ba, việc khai thác riêng hoặc khai thác chung tàu khách và tàu hàng được quyết định trên cơ sở nhu cầu vận tải, điều kiện địa kinh tế, hạ tầng đường sắt hiện hữu, nhưng về cơ bản ĐSTĐC chủ yếu phục vụ vận chuyển hành khách, có thể kết hợp vận chuyển một số hàng hóa khi cần thiết.

Thứ tư, không có quy định cụ thể, bắt buộc về lựa chọn tốc độ thiết kế, nhưng xu hướng lựa chọn tốc độ thiết kế ngày càng lớn dần. Việt Nam cần xác định tốc độ thiết kế ở mức bảo đảm tính đồng bộ, hiện đại và phù hợp với xu thế phát triển toàn cầu. Trong đó, tốc độ thiết kế không nên dưới 350 km/h, mặc dù lựa chọn này có thể làm gia tăng đáng kể chi phí đầu tư so với phương án tốc độ thiết kế 250 km/h.

Thứ năm, cần phải có chiến lược, chương trình quốc gia về phát triển nguồn nhân lực đường sắt, thúc đẩy phát triển ngành công nghiệp đường sắt, các ngành công nghiệp phụ trợ; xây dựng lộ trình cụ thể cho các bước nội địa hóa công nghệ, tiến tới chủ động, tránh lệ thuộc hoàn toàn vào bên ngoài.

Thứ sáu, huy động vốn cho đầu tư xây dựng ĐSTĐC là một thách thức lớn, đòi hỏi phải có cơ chế, chính sách phù hợp và đủ sức hấp dẫn nhằm đa dạng hóa, đồng thời khai thác tối đa các nguồn lực để phục vụ phát triển kết cấu hạ tầng đường sắt, trong đó ngân sách nhà nước giữ vai trò chủ đạo, đẩy mạnh thu hút các thành phần kinh tế tham gia kinh doanh đường sắt, đặc biệt là đầu tư vào các

lĩnh vực: Công nghiệp đường sắt, cơ sở hạ tầng kết nối, khu thương mại, nhà ga, bến bãi...

4. KẾT LUẬN

ĐSTĐC là xu thế tất yếu trong tiến trình hiện đại hóa hạ tầng giao thông, mang lại nhiều lợi ích về kinh tế, xã hội và môi trường. Kinh nghiệm từ các quốc gia đã đầu tư và vận hành hiệu quả hệ thống này cho thấy những yếu tố quan trọng gồm: Quyết tâm chính trị ở mức cao nhất gắn với chiến lược tổng thể quốc gia; lựa chọn mô hình đầu tư, công nghệ, công năng khai thác và tốc độ thiết kế phù hợp; đa dạng hóa nguồn lực đầu tư, đồng thời chú trọng nghiên cứu, đào tạo nhân lực và làm chủ công nghệ. Đây là bài học kinh nghiệm chung cho các nước đang ở giai đoạn chuẩn bị đầu tư xây dựng ĐSTĐC trong đó có Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. International Union of Railways (UIC) (2023), High-Speed Rail Developments Worldwide.
- [2]. Campos, J., & de Rus, G. (2009), Some stylized facts about high-speed rail: A review of HSR experiences around the world.
- [3]. Kỳ quan công nghệ của Nhật Bản, <https://nhandan.vn/ky-quan-cong-nghe-cua-nhat-ban-post834674.html>.
- [4]. Trung Quốc chiếm hơn 70% tổng số chiều dài đường sắt cao tốc thế giới (<https://www.vietnamplus.vn/trung-quoc-chiem-hon-70-tong-so-chieu-dai-duong-sat-cao-toc-the-gioi-post980414.vnp>).
- [5]. Phạm Quốc Quân (2024), Phát triển ĐSTĐC của Nhật Bản, Trung Quốc và kinh nghiệm cho Việt Nam, Tạp chí Quản lý nhà nước.
- [6]. Báo cáo nghiên cứu tiền khả thi dự án ĐSTĐC trên trục Bắc - Nam do liên danh tư vấn Tedi - Tricc - Tedis lập 2024.

Thực trạng và giải pháp phát triển chuỗi cung ứng hàng thủy sản Đồng bằng sông Cửu Long

Current situation and solutions for the development of the fisheries supply chain in the Mekong delta

> **THS.NCS NGÔ MINH QUANG^{1*}, PGS.TS NGUYỄN HOÀNG PHƯƠNG²**

¹Trường Đại học Giao thông vận tải TP.HCM

²Học viện Chính trị khu vực II

*Email: minhquang8910@gmail.com

TÓM TẮT

Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) chiếm hơn 50% sản lượng thủy sản cả nước và là nguồn cung xuất khẩu chủ lực. Chuỗi cung ứng tại đây đã hình thành khá rõ, với nhiều kết quả nổi bật như cá tra, tôm, giữ vị thế hàng đầu thế giới và sự tham gia của doanh nghiệp ứng dụng công nghệ số. Tuy vậy, năng suất lao động thấp, liên kết lỏng lẻo, hạ tầng logistics yếu và yêu cầu khắt khe từ thị trường quốc tế vẫn là thách thức. Nghiên cứu này phân tích thực trạng và đề xuất giải pháp phát triển chuỗi cung ứng thủy sản vùng theo hướng bền vững, hiện đại.

Từ khóa: Chuỗi cung ứng thủy sản; đồng bằng sông Cửu Long; cách mạng công nghiệp 4.0; nuôi trồng thủy sản; logistics.

ABSTRACT

The Mekong Delta contributes over 50% of Vietnam's seafood output and serves as a key source for exports. Its supply chain has taken shape with notable achievements, such as catfish and shrimp holding leading global positions and the adoption of digital technologies by pioneering firms. However, low labor productivity, weak linkages, underdeveloped logistics and strict international market requirements remain major challenges. This study analyzes the current situation and proposes solutions for developing the region's seafood supply chain toward sustainability and modernization.

Keywords: Fisheries supply chain; mekong delta; fourth Industrial revolution; logistics.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngành Thủy sản Việt Nam là ngành kinh tế mũi nhọn, góp phần quan trọng vào xuất khẩu và an ninh lương thực. Năm 2022, kim ngạch xuất khẩu đạt gần 11 tỷ USD, chiếm 8,3% tổng xuất khẩu

cả nước (Bộ Công thương, 2023). ĐBSCL giữ vai trò trung tâm, chiếm 71% diện tích nuôi trồng và 56% sản lượng thủy sản, với các sản phẩm chủ lực như tôm và cá tra xuất khẩu sang Hoa Kỳ, EU, Nhật Bản, Trung Quốc, Hàn Quốc (Tổng cục Thống kê, 2023).

Tuy nhiên, chuỗi cung ứng thủy sản vùng này còn nhiều hạn chế: Hạ tầng logistics và kho lạnh chưa đồng bộ, liên kết tác nhân lỏng lẻo, nhân lực thiếu kỹ thuật, ứng dụng công nghệ số còn manh mún, đồng thời chịu tác động của biến đổi khí hậu, làm giảm năng lực cạnh tranh và chất lượng sản phẩm.

Trước bối cảnh hội nhập và CMCN 4.0, việc xây dựng chuỗi cung ứng thủy sản hiện đại, bền vững là cấp thiết. Các nghị quyết và chính sách của Đảng, Nhà nước như Nghị quyết số 36-NQ/TW (2018), Nghị quyết số 13-NQ/TW (2022), Quyết định số 339/QĐ-TTg (2021) đều định hướng củng cố, số hóa chuỗi cung ứng. Do đó, nghiên cứu tập trung phân tích thực trạng và đề xuất giải pháp nâng cao giá trị, năng lực cạnh tranh và phát triển bền vững.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

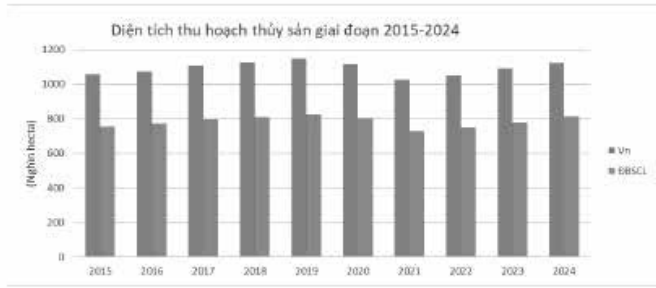
Chuỗi cung ứng thủy sản được hiểu là tập hợp các tác nhân từ sản xuất, thu hoạch, chế biến, lưu trữ, vận chuyển đến phân phối sản phẩm cho người tiêu dùng (Van der Vorst, 2007; Akhtaruzzaman Khan, 2022). Hiệu quả của chuỗi chịu tác động bởi nhiều yếu tố, trong đó quan trọng nhất là khoa học - công nghệ, đặc biệt ứng dụng CMCN 4.0 trong quản lý, logistics và truy xuất nguồn gốc (Vitasek, 2013; Christopher, 2005); chất lượng nguồn nhân lực với kỹ năng nghề và năng lực quản lý (Heiner Lasi, 2014; IMF, 2018); hạ tầng logistics như cảng cá, kho lạnh, phương tiện vận tải (Lummus & Vokurka, 1999; Sunoko & Huang, 2014); chính sách và thể chế quản lý liên quan đến quy hoạch, đầu tư, hỗ trợ sản xuất - xuất khẩu (Nguyễn Thị Thanh Huyền, 2020; Trần Tiến Khai, 2011) cũng như mức độ hợp tác giữa nông/ngư dân, doanh nghiệp, hiệp hội và chính quyền (Heiner Lasi, 2014; IMF, 2018). Những yếu tố này gắn bó chặt chẽ, quyết định chất lượng, chi phí và sức cạnh tranh của sản phẩm thủy sản.

Về phương pháp, nghiên cứu kết hợp định tính và định lượng. Phần định tính dựa trên tổng hợp lý thuyết, phân tích chính sách, phỏng vấn chuyên gia và khảo sát các tác nhân trong chuỗi, trong khi định lượng sử dụng dữ liệu từ Cục Thống kê, Cục Thủy sản, VASEP và báo cáo địa phương để phân tích thực trạng, nhận diện nút thắt và các yếu tố ảnh hưởng đến chuỗi cung ứng thủy sản vùng ĐBSCL.

3. THỰC TRẠNG CHUỖI CUNG ỨNG THỦY SẢN ĐBSCL

3.1. Thực trạng chuỗi cung ứng ngành Thủy sản vùng ĐBSCL trong bối cảnh CMCN 4.0

Giai đoạn 2015 - 2024, diện tích thu hoạch thủy sản ở ĐBSCL duy trì khoảng 800 nghìn ha, chiếm tỷ trọng lớn nhất cả nước và giữ vai trò trung tâm sản xuất thủy sản quốc gia (Biểu đồ Hình 1). Với điều kiện tự nhiên thuận lợi và hệ thống sông ngòi dày đặc, vùng này trở thành “vựa thủy sản” của Việt Nam, thường xuyên đóng góp trên 50% sản lượng cả nước và giữ vị trí then chốt trong xuất khẩu, đặc biệt với hai sản phẩm chủ lực là tôm và cá tra - những mặt hàng đã khẳng định thương hiệu trên thị trường quốc tế.

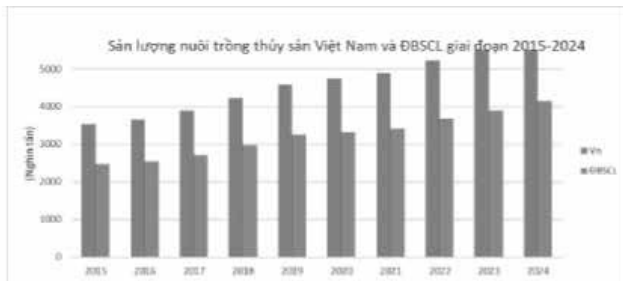


Hình 1. Biểu đồ 1 - Biểu đồ diện tích thu hoạch thủy sản ĐBSCL giai đoạn 2015 - 2024

Nguồn: Cục Thống kê (2025)

Mặc dù giữ vai trò hạt nhân trong chuỗi giá trị thủy sản toàn cầu, ĐBSCL đang đối diện nhiều thách thức trong bối cảnh CMCN 4.0. Các thị trường nhập khẩu ngày càng khắt khe về truy xuất nguồn gốc, chứng nhận bền vững và kiểm soát IUU, buộc ngành Thủy sản vùng phải đẩy mạnh số hóa và chế biến sâu. Đây vừa là cơ hội gia tăng giá trị, vừa là áp lực buộc chuỗi cung ứng đổi mới toàn diện.

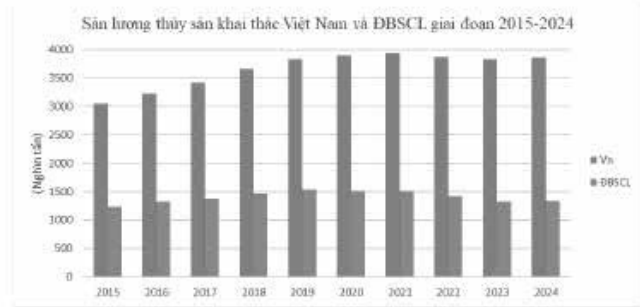
Về nuôi trồng thủy sản (Biểu đồ Hình 2), vùng có thế mạnh nổi bật ở tôm sú, tôm thẻ chân trắng và cá tra. Sản lượng tăng đều, đưa Việt Nam trở thành nước xuất khẩu cá tra hàng đầu thế giới và nằm trong nhóm quốc gia xuất khẩu tôm lớn nhất, với cá tra hiện đã có mặt tại hơn 140 quốc gia (Cục Thống kê - 2023, 2025). Chuỗi giá trị tôm cũng đã hình thành khá đầy đủ, với sự tham gia của hộ nuôi, hợp tác xã, doanh nghiệp chế biến và nhà xuất khẩu. Tuy nhiên, giá trị gia tăng còn hạn chế do khâu chế biến sâu và ứng dụng công nghệ hiện đại chưa đồng bộ, sản phẩm vẫn chủ yếu dừng ở sơ chế và xuất khẩu thô.



Hình 2. Biểu đồ 2 - Sản lượng nuôi trồng thủy sản Việt Nam và ĐBSCL giai đoạn 2015 - 2024

Nguồn: Cục Thống kê (2025)

Ngành khai thác thủy sản (Biểu đồ Hình 3): Giai đoạn 2015 - 2024, sản lượng khai thác ở ĐBSCL duy trì tương đối ổn định, đóng góp quan trọng vào tổng sản lượng cả nước (Cục Thống kê - 2023, 2025). Tuy nhiên, sự ổn định này che giấu nhiều thách thức, như khai thác quá mức làm suy giảm nguồn lợi tự nhiên, cạn kiệt ngư trường ven bờ và buộc ngư dân vươn khơi xa với chi phí nhiên liệu, nhân công cao, dẫn đến rủi ro tăng và hiệu quả kinh tế giảm.

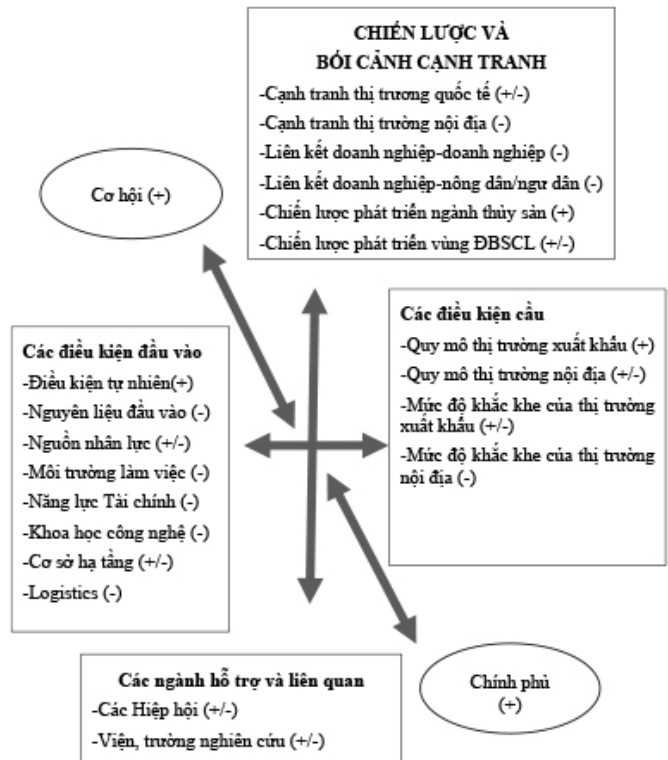


Hình 3. Biểu đồ 3 - Sản lượng khai thác thủy sản vùng ĐBSCL giai đoạn 2015 - 2024

Nguồn: Cục Thống kê (2023, 2025)

Ngoài áp lực về nguồn lợi và chi phí, ngành khai thác còn phải đáp ứng yêu cầu khắt khe từ thị trường quốc tế về khai thác bền vững, truy xuất nguồn gốc và tuân thủ quy định chống khai thác bất hợp pháp (IUU). Việc chậm thích ứng với các chuẩn mực này đã ảnh hưởng trực tiếp đến xuất khẩu, khiến vai trò khai thác trong cơ cấu ngành dần thu hẹp, nhường chỗ cho nuôi trồng - lĩnh vực kiểm soát chất lượng và truy xuất nguồn gốc tốt hơn, phù hợp định hướng phát triển bền vững của vùng.

Tổng thể, chuỗi cung ứng thủy sản ĐBSCL đã hình thành khá toàn diện từ sản xuất, thu hoạch, vận chuyển, chế biến đến xuất khẩu, giữ vai trò trụ cột của ngành. Tuy vậy, chuỗi vẫn đối diện nhiều thách thức: Tiêu chuẩn quốc tế ngày càng khắt khe, chi phí logistics cao, yêu cầu ứng dụng công nghệ số (IoT, blockchain, AI) trong quản lý và truy xuất, cùng với sự thiếu gắn kết giữa các tác nhân. Để phân tích năng lực cạnh tranh trong bối cảnh này, nghiên cứu vận dụng mô hình của Michael Porter nhằm đánh giá ảnh hưởng của 5 nhóm nhân tố: Nhà cung ứng, khách hàng, đối thủ hiện tại, đối thủ tiềm năng và sản phẩm thay thế.



Hình 4. Biểu đồ 4 - Mô hình Porter ngành Thủy sản vùng ĐBSCL

Nguồn: Tác giả tổng hợp, 2024

3.2. Đánh giá thực trạng phát triển chuỗi cung ứng thủy sản vùng ĐBSCL trong bối cảnh CMCN 4.0

Trên cơ sở khung phân tích Michael Porter, có thể khái quát những kết quả đạt được và hạn chế chính của chuỗi cung ứng thủy sản vùng ĐBSCL như sau:

3.2.1. Kết quả đạt được và nguyên nhân

Giai đoạn 2015 - 2024, ĐBSCL tiếp tục giữ vai trò trung tâm thủy sản lớn nhất cả nước, thường xuyên chiếm trên 50% sản lượng quốc gia. Các sản phẩm chủ lực như cá tra và tôm không chỉ mang lại kim ngạch xuất khẩu cao mà còn khẳng định vị thế toàn cầu: Cá tra chiếm hơn 90% sản lượng xuất khẩu thế giới, còn tôm Việt Nam nằm trong nhóm 5 quốc gia xuất khẩu hàng đầu (Cục Thống kê - 2023, 2025).

Chuỗi cung ứng thủy sản vùng đã hình thành khá rõ nét với sự tham gia từ hộ nuôi, hợp tác xã, doanh nghiệp chế biến đến xuất khẩu. Hệ thống logistics tuy còn hạn chế nhưng đã có bước cải thiện nhờ đầu tư vào kho lạnh và vận tải chuyên dụng, góp phần giảm nguy cơ đứt gãy chuỗi trong giai đoạn cao điểm xuất khẩu.

** Nguyên nhân chính dẫn tới những kết quả tích cực này bao gồm:*

ĐBSCL với khí hậu thuận lợi, thổ nhưỡng đa dạng, sông ngòi dày đặc và bờ biển dài, tạo lợi thế nổi bật cho nuôi trồng thủy sản (Nguyễn Hữu Tịnh, 2020; Trần Văn Hào, 2022).

Chính sách phát triển nuôi trồng thủy sản: Nhà nước đã ban hành nhiều chủ trương khuyến khích đầu tư, cải tạo hạ tầng nuôi trồng, phát triển vùng nguyên liệu tập trung (Cục Thống kê, 2022).

Chính sách hội nhập quốc tế: Việc tham gia các hiệp định thương mại tự do (CPTPP, EVFTA, RCEP...) đã mở rộng cơ hội tiếp cận thị trường, tạo thêm động lực cho ngành Thủy sản vùng phát triển (Huỳnh Văn Hiến, 2020), (VCCI và Fulbright, 2023).

Nhu cầu thị trường quốc tế: Sự gia tăng mạnh mẽ về tiêu dùng thủy sản toàn cầu, đặc biệt tại Mỹ, EU và Trung Quốc, đã tạo động lực cho vùng mở rộng quy mô nuôi trồng và chế biến (Borges, 2015), (Chinthala, 2021).

Ứng dụng công nghệ 4.0 bước đầu: Một số doanh nghiệp tiên phong áp dụng hệ thống truy xuất nguồn gốc bằng Blockchain, quản lý ao nuôi qua IoT và phần mềm giám sát chuỗi cung ứng đã tạo hiệu ứng lan tỏa, góp phần nâng cao tính minh bạch và hiệu quả.

Những kết quả này cho thấy chuỗi cung ứng thủy sản vùng ĐBSCL đã và đang khẳng định vị thế trung tâm trong chuỗi giá trị thủy sản toàn cầu.

3.2.2. Hạn chế và nguyên nhân

Dù đạt nhiều thành tựu, chuỗi cung ứng thủy sản ĐBSCL vẫn bộc lộ hạn chế. Năng suất lao động thấp do hộ nuôi nhỏ lẻ dựa vào kinh nghiệm, thiếu kỹ thuật hiện đại (Liao et al., 2017).

Khoảng cách số lớn: Doanh nghiệp ứng dụng IoT, AI, Blockchain và đạt chứng nhận quốc tế, trong khi nhiều hộ nuôi và hợp tác xã nhỏ khó tiếp cận vốn, công nghệ và tiêu chuẩn toàn cầu (Khan et al., 2022). Hạ tầng logistics còn yếu, chi phí vận tải - kho lạnh chiếm 20 - 25% giá thành, cao hơn Thái Lan và Ấn Độ (10 - 15%). Liên kết chuỗi lỏng lẻo, hợp đồng bao tiêu ít, dễ "đứt gãy" khi giá biến động.

** Nguyên nhân của những hạn chế trên xuất phát từ nhiều yếu tố:*

Chất lượng nguồn nhân lực còn hạn chế, phần đông lao động thủy sản có trình độ học vấn và kỹ năng công nghệ thấp (Cục Thống kê, 2021).

Chính sách hỗ trợ triển khai chậm và thiếu nhất quán, đặc biệt trong khâu quy hoạch vùng nuôi, cấp phép khai thác và khuyến khích ứng dụng công nghệ mới (VCCI và Fulbright, 2023).

Hợp tác doanh nghiệp - nông dân chưa bền chặt: Thiếu cơ chế pháp lý rõ ràng để bảo vệ quyền lợi đôi bên, khiến quan hệ hợp đồng dễ bị phá vỡ (Huỳnh Văn Hiến, 2020).

Đầu tư hạ tầng logistics chưa tương xứng: Hệ thống cảng nước sâu, trung tâm logistics và chuỗi kho lạnh trong vùng chưa đáp ứng nhu cầu thực tế, làm giảm lợi thế cạnh tranh của thủy sản ĐBSCL (VLA & VLI, 2023).

Những hạn chế trên cho thấy chuỗi cung ứng vẫn còn nhiều "điểm nghẽn", đặc biệt ở nhân lực, công nghệ và hạ tầng logistics.

3.3. Các vấn đề đặt ra

Trong bối cảnh CMCN 4.0, chuỗi cung ứng thủy sản ĐBSCL vừa có cơ hội gia tăng giá trị và mở rộng thị trường, vừa đối diện nhiều thách thức chiến lược. Một số vấn đề nổi bật gồm:

- *Thứ nhất, nâng cao chất lượng nhân lực:* Lao động thủy sản chủ yếu có trình độ và kỹ năng công nghệ thấp. Khi số hóa và công nghệ cao (IoT, AI, Blockchain) ngày càng phổ biến, cần đào tạo đội ngũ đủ năng lực vận hành, tránh khoảng cách ngày càng lớn giữa hộ nuôi nhỏ lẻ và doanh nghiệp tiên phong.

- *Thứ hai, mở rộng ứng dụng công nghệ số:* Một số doanh nghiệp đã thành công với IoT, Blockchain, tự động hóa, nhưng việc áp dụng vẫn chưa lan tỏa toàn chuỗi. Chính sách hỗ trợ và khuyến khích rộng rãi hơn là cần thiết để nâng cao năng suất, chất lượng và giảm chi phí.

- *Thứ ba, tăng cường liên kết chuỗi giá trị:* Quan hệ nông dân - Hợp tác xã - Doanh nghiệp - Nhà nước còn lỏng lẻo, dễ "đứt gãy" khi giá biến động. Cần cơ chế hợp đồng minh bạch, ràng buộc trách nhiệm, chia sẻ lợi ích và rủi ro, đồng thời phát huy vai trò điều phối của Nhà nước.

- *Thứ tư, phát triển hạ tầng logistics:* Đây là "điểm nghẽn" lớn với chi phí cao, thiếu cảng nước sâu, kho lạnh và vận tải lạnh đồng bộ. Đầu tư hạ tầng logistics hiện đại sẽ giảm chi phí, rút ngắn thời gian giao hàng và nâng cao năng lực cạnh tranh quốc tế.

Những vấn đề trên cho thấy chuỗi cung ứng thủy sản vùng cần đổi mới toàn diện để đáp ứng yêu cầu chuyển đổi số và củng cố vị thế trên thị trường toàn cầu.

4. GIẢI PHÁP PHÁT TRIỂN CHUỖI CUNG ỨNG THỦY SẢN VÙNG ĐBSCL

Trong bối cảnh CMCN 4.0, phát triển chuỗi cung ứng thủy sản vùng ĐBSCL không chỉ nhằm đáp ứng nhu cầu thị trường trong nước và quốc tế mà còn hướng tới mục tiêu nâng cao năng lực cạnh tranh và phát triển bền vững. Để đạt được điều này, cần triển khai đồng bộ nhiều nhóm giải pháp, từ khoa học công nghệ, nguồn nhân lực, logistics, hợp tác giữa các tác nhân cho đến cơ chế chính sách quản lý. Đây chính là những trụ cột quan trọng để đưa thủy sản vùng trở thành ngành kinh tế mũi nhọn, thích ứng linh hoạt với yêu cầu hội nhập toàn cầu.

4.1. Phát triển khoa học công nghệ

Ứng dụng khoa học công nghệ được xem là "đòn bẩy" then chốt để nâng cao hiệu quả chuỗi cung ứng thủy sản. Trong bối cảnh CMCN 4.0, cần đẩy mạnh đầu tư vào các công nghệ giám sát môi trường nuôi, hệ thống IoT quản lý ao nuôi, tự động hóa trong chế biến và công nghệ Blockchain để truy xuất nguồn gốc. Việc hình thành quỹ đổi mới sáng tạo và khuyến khích doanh nghiệp công nghệ tham gia phát triển các giải pháp số chuyên biệt cho thủy sản sẽ góp phần gia tăng tính minh bạch, giảm rủi ro và nâng cao sức cạnh tranh của sản phẩm trên thị trường toàn cầu.

4.2. Phát triển nguồn nhân lực

Nguồn nhân lực chất lượng cao là điều kiện quyết định sự thành công của chuyển đổi số trong chuỗi cung ứng. Do đó, cần nâng cao đào tạo nghề và kỹ năng số cho lao động ngành Thủy sản, gắn đào tạo với thực tiễn sản xuất và nhu cầu thị trường. Sự liên kết giữa các cơ sở giáo dục - đào tạo với doanh nghiệp và hợp tác xã có thể hình thành các chương trình "học đi đôi với hành", giúp lực

lượng lao động tại chỗ làm chủ công nghệ mới thay vì chỉ dựa vào kinh nghiệm truyền thống.

4.3. Phát triển logistics

Hệ thống logistics giữ vai trò nền tảng để giảm chi phí, rút ngắn thời gian lưu thông và mở rộng thị trường xuất khẩu. ĐBSCL cần được đầu tư đồng bộ về cảng nước sâu, trung tâm logistics và hệ thống kho lạnh hiện đại. Bên cạnh đó, việc ứng dụng công nghệ quản lý logistics thông minh sẽ tối ưu hóa vận tải đa phương thức, hạn chế tình trạng ách tắc và giảm thiểu tổn thất sau thu hoạch. Hợp tác với các doanh nghiệp logistics quốc tế cũng là hướng đi quan trọng để kết nối trực tiếp thủy sản của vùng với thị trường toàn cầu.

4.4. Phát triển sự hợp tác của các tổ chức

Một trong những hạn chế lớn hiện nay là sự thiếu gắn kết giữa các tác nhân trong chuỗi giá trị. Để khắc phục, cần thúc đẩy sự hợp tác dài hạn dựa trên cơ sở chia sẻ lợi ích và rủi ro, đồng thời củng cố vai trò trung gian của hợp tác xã kiểu mới. Hợp tác xã không chỉ hỗ trợ nông dân trong đàm phán với doanh nghiệp, mà còn hỗ trợ kết nối tín dụng, công nghệ và tiêu thụ sản phẩm. Ngoài ra, việc hình thành trung tâm liên kết vùng sẽ tạo nền tảng phối hợp hiệu quả giữa sản xuất - chế biến - tiêu thụ, hạn chế tình trạng cạnh tranh cục bộ và gia tăng giá trị sản phẩm.

4.5. Phát triển cơ chế chính sách

Nhà nước cần hoàn thiện cơ chế, chính sách nhằm tạo môi trường thuận lợi cho phát triển chuỗi cung ứng thủy sản bền vững. Trọng tâm là ưu tiên chính sách tín dụng cho các dự án ứng dụng công nghệ cao, chế biến sâu và đầu tư logistics. Đồng thời, cần tăng cường giám sát chất lượng, kiểm dịch và thực thi nghiêm quy định chống khai thác bất hợp pháp IUU để đảm bảo uy tín quốc tế. Sự phối hợp đồng bộ giữa các bộ, ngành và chính quyền địa phương sẽ tạo hành lang pháp lý thông thoáng, khuyến khích doanh nghiệp mạnh dạn đầu tư, đổi mới công nghệ và nâng cao giá trị xuất khẩu.

5. KẾT LUẬN

Chuỗi cung ứng thủy sản ĐBSCL giữ vai trò trung tâm của ngành Thủy sản Việt Nam, chiếm trên 50% sản lượng cả nước và nhiều sản phẩm chủ lực đạt vị thế hàng đầu thế giới. Hệ thống đã hình thành khá rõ với sự tham gia của nông hộ, hợp tác xã, doanh nghiệp và bước đầu ứng dụng công nghệ số. Tuy vậy, vẫn tồn tại hạn chế về chất lượng nhân lực, hạ tầng logistics, chi phí cao, liên kết chuỗi lỏng lẻo và ứng dụng công nghệ 4.0 chưa đồng đều, đòi hỏi phải đổi mới để nâng cao năng lực cạnh tranh và phát triển bền vững.

Nghiên cứu khuyến nghị: (i) Nhà nước hoàn thiện chính sách và đầu tư logistics; (ii) Doanh nghiệp đi đầu trong đổi mới công nghệ và gắn kết với nông dân, hợp tác xã; (iii) Hiệp hội ngành hàng phát huy vai trò cầu nối, thúc đẩy liên kết công - tư và nâng cao vị thế thủy sản vùng trên thị trường quốc tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Akhtaruzzaman Khan (2022), ShrimpChain: A blockchain-based transparent and traceable framework to enhance the export potentiality of Bangladeshi shrimp, Smart Agricultural Technology, vol.2.
- [2]. Borges, M. A. V. (2015), An evaluation of supply chain management in a global perspective, Independent journal of management & Production, 6(1), 1-29.
- [3]. Chinthala, L. K. (2021), Future of supply chains: Trends in automation, globalization and sustainability, International Journal of Scientific Research & Engineering Trends, 7(6), 1-10.
- [4]. Christopher (2005), Logistics and Supply Chain Management: Creating Value-adding Networks, FT Prentice Hall.

- [5]. Heiner Lasi (2014), Industry 4.0. Business & Information Systems Engineering, vol.6, doi: DOI 10.1007/s12599-014-0334-4.
- [6]. Huỳnh Văn Hiến (2020), Phân tích các yếu tố ảnh hưởng của các mô hình liên kết trong nuôi cá tra (Pangasianodon hypophthalmus) ở đồng bằng sông Cửu Long, Việt Nam, Tạp chí của Đại học Cần Thơ, tập 3, số 56, tr.204-212.
- [7]. IMF (2018), Statistics Dept, Measuring the digital economy.
- [8]. LeMay, S., Helms, M. M., Kimball, B., & McMahon, D. (2017), Supply chain management: the elusive concept and definition, The International Journal of Logistics Management, 28(4), 1425-1453, DOI 10.1108/IJLM-10-2016-0232.
- [9]. Khan, M. A., Hossain, M. E., Shahaab, A., & Khan, I. (2022), ShrimpChain: A blockchain-based transparent and traceable framework to enhance the export potentiality of Bangladeshi shrimp, Smart Agricultural Technology, 2, 100041.
- [10]. Liao, Y., Deschamps, F., Loures, E. d. F. R., & Ramos, L. F. P. (2017), Past, present and future of Industry 4.0-a systematic literature review and research agenda proposal, International journal of production research, 55(12), 3609-3629.
- [11]. Lummus, R. R., & Vokurka, R. J. (1999), Defining supply chain management: A historical perspective and practical guidelines, Industrial management & data systems, 99(1), 11-17.
- [12]. Sunoko, R., & Huang, H.-W. (2014), Indonesia tuna fisheries development and future strategy. Marine Policy, 43, 174-183.
- [13]. Van der Vorst (2007), Agro-industrial supply chain management: concepts and applications, FAO.
- [14]. Bộ Công thương (2023), Báo cáo xuất nhập khẩu Việt Nam năm 2022, NXB. Hồng Đức.
- [15]. Nghị quyết 36-NQ/TW (2018), Chiến lược phát triển bền vững kinh tế biển Việt Nam đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045.
- [16]. Nghị quyết 78/NQ-CP (2022), Chương trình hành động của Chính phủ thực hiện Nghị quyết số 13-NQ/TW ngày 02/4/2022 của Bộ Chính trị về phương hướng phát triển kinh tế - xã hội và bảo đảm quốc phòng, an ninh vùng đồng bằng sông Cửu Long.
- [17]. Nghị quyết số 13-NQ/TW (2022), Phương hướng phát triển kinh tế - xã hội và bảo đảm quốc phòng, an ninh vùng đồng bằng sông Cửu Long đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045.
- [18]. Nguyễn Hữu Tịnh (2020), Nghiên cứu phát triển chuỗi cung ứng hạt điều vùng Đông Nam Bộ, Luận án Tiến sĩ, Đại học Cần Thơ, Cần Thơ.
- [19]. Nguyễn Thị Thanh Huyền (2020), Phát triển mô hình chuỗi cung ứng theo tiếp cận nâng cao giá trị gia tăng mặt hàng rau quả trên địa bàn TP Hà Nội, Luận án Tiến sĩ, Trường Đại học Thương mại.
- [20]. Quyết định số 339/QĐ-TTg (2021), Định hướng phát triển ngành Thủy sản Việt Nam đến năm 2030 và định hướng đến năm 2045 đã đưa ra những quan điểm phát triển của ngành Thủy sản Việt Nam.
- [21]. Tổng cục Thống kê (2021), Điều tra lao động và việc làm năm 2020, NXB. Thống kê.
- [22]. Tổng cục Thống kê (2022), Tư liệu kinh tế - xã hội 63 tỉnh, thành phố trực thuộc Trung ương 2015 - 2021, NXB. Thống kê.
- [23]. Tổng cục Thống kê (2023), Niên giám thống kê 2022, NXB. Thống kê.
- [24]. Tổng cục Thống kê (2025), Niên giám thống kê 2024, NXB. Thống kê.
- [25]. Trần Tiến Khai (2011), Báo cáo nghiên cứu phân tích chuỗi giá trị dưa Bền Tre, Dự án Phát triển kinh doanh với người nghèo Bến Tre.
- [26]. Trần Văn Hào (2022), Các yếu tố ảnh hưởng đến sự hợp tác trong chuỗi cung ứng ngành Nông nghiệp: Trường hợp nghiên cứu tại khu vực Bắc Trung Bộ, Luận án Tiến sĩ, Trường Đại học Kinh tế Quốc dân.
- [27]. VCCI & Fulbright (2023), Báo cáo Kinh tế thường niên đồng bằng sông Cửu Long năm 2023 với chủ đề "Các nút thắt thể chế, quản trị và liên kết vùng", NXB. Đại học Cần Thơ.
- [28]. VLA & VLI (2023), Báo cáo Chỉ số năng lực cạnh tranh logistics (LCI) cấp tỉnh của Việt Nam năm 2022.

Các rào cản đối với chuyển đổi số tại cảng biển Hải Phòng: Phân tích dựa trên khung PESTLE

Barriers to digital transformation at Hai Phong seaport: A PESTLE-based analysis

> TS NGUYỄN PHONG NHÃ¹, TS PHẠM THỊ YẾN^{2*}

¹Bộ môn Quản trị Kinh doanh, Trường Đại học FPT

²Khoa Kinh tế, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email: phamyen@vimaru.edu.vn

TÓM TẮT

Chuyển đổi số mang lại cơ hội nâng cao hiệu quả và năng lực cạnh tranh cho các cảng biển, nhưng quá trình triển khai tại cảng Hải Phòng vẫn gặp nhiều rào cản. Nghiên cứu sử dụng phương pháp định tính, kết hợp phân tích tài liệu thứ cấp và ý kiến chuyên gia theo khung PESTLE để xác định các thách thức như tâm lý e ngại thay đổi, thiếu kỹ năng số, hạ tầng công nghệ hạn chế, chi phí đầu tư cao và khung pháp lý chưa đồng bộ. Từ đó, nghiên cứu đề xuất các giải pháp về đào tạo nhân lực, đầu tư hạ tầng, hoàn thiện chính sách và tăng cường hợp tác công - tư nhằm thúc đẩy quá trình số hóa tại cảng.

Từ khóa: Chuyển đổi số; cảng thông minh; Hải Phòng; rào cản; phân tích PESTLE.

ABSTRACT

Digital transformation presents opportunities to improve efficiency and competitiveness in seaports, yet its implementation at Hai Phong Port faces several challenges. This study adopts a qualitative approach, combining secondary data analysis and expert insights within the PESTLE framework to identify key barriers, including resistance to change, digital skill shortages, outdated infrastructure, high investment costs, and an inconsistent legal environment. Based on these findings, the study proposes targeted solutions such as workforce training, infrastructure investment, policy reform and enhanced public-private collaboration to support the port's digital transition.

Keywords: Digital transformation; smart port; Hai Phong; barriers; PESTLE analysis.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh nền kinh tế toàn cầu hóa, chuyển đổi số đang trở thành động lực then chốt thúc đẩy hiệu quả hoạt động và nâng cao năng lực cạnh tranh của ngành Hàng hải. Nhiều cảng biển tiên tiến như Rotterdam, Singapore hay Hamburg đã ứng dụng các công nghệ hiện đại như trí tuệ nhân tạo (AI), Internet vạn vật (IoT), Blockchain và tự động hóa nhằm tối ưu hóa quy trình vận hành, giảm thiểu chi phí và tăng cường khả năng phục hồi chuỗi cung ứng. Theo Lu và Xu (2024), các giải pháp kỹ thuật số giúp giảm thời gian xử lý hàng hóa trung bình tới 25%, đồng thời cải thiện đáng kể hiệu suất vận hành.

Tuy nhiên, tại các quốc gia đang phát triển như Việt Nam, việc triển khai chuyển đổi số trong lĩnh vực cảng biển còn gặp nhiều khó khăn do hạn chế về cơ sở hạ tầng, thiếu nguồn lực tài chính, chính sách chưa đồng bộ và rào cản văn hóa tổ chức. Là trung tâm hàng hải quan trọng ở miền Bắc, cảng Hải Phòng đóng vai trò kết nối chiến lược trong chuỗi cung ứng quốc gia và quốc tế. Dù đã có một số bước tiến nhất định trong ứng dụng công nghệ, quá trình số hóa tại cảng vẫn đối mặt với nhiều trở ngại lớn.

Nhằm nhận diện một cách hệ thống các rào cản chính trong quá trình chuyển đổi số tại cảng biển Hải Phòng, bài báo này sử dụng cách tiếp cận phân tích định tính kết hợp khung phân tích PESTLE (chính trị, kinh tế, xã hội, công nghệ, pháp lý, môi trường).

Dữ liệu được thu thập từ các nguồn tài liệu thứ cấp đáng tin cậy như báo cáo ngành, chiến lược phát triển logistics quốc gia và các công trình học thuật liên quan. Đồng thời, nhóm tác giả cũng tham khảo ý kiến chuyên gia trong lĩnh vực cảng biển, logistics và công nghệ thông tin thông qua các trao đổi chuyên sâu bán cấu trúc nhằm tăng tính thực tiễn cho phân tích. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất các định hướng chiến lược nhằm khắc phục những rào cản hiện tại, góp phần thúc đẩy quá trình số hóa và nâng cao năng lực cạnh tranh của cảng Hải Phòng trong ngành Hàng hải toàn cầu.

2. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU

2.1. Chuyển đổi số trong lĩnh vực hàng hải và hoạt động cảng

Ngành Hàng hải - một trụ cột quan trọng của thương mại toàn cầu đang được cách mạng hóa bởi chuyển đổi số nhằm nâng cao hiệu quả, tính minh bạch và bền vững. Với hơn 80% thương mại toàn cầu được vận chuyển bằng đường biển (UNCTAD, 2021), các cảng biển đóng vai trò thiết yếu. Truyền thống dựa vào lao động thủ công không còn phù hợp với nhu cầu ngày càng phức tạp của chuỗi cung ứng và thương mại quốc tế. Chuyển đổi số giúp các cảng áp dụng các công nghệ tiên tiến như trí tuệ nhân tạo (AI), Internet vạn vật (IoT), chuỗi khối (Blockchain), phân tích dữ liệu lớn và tự động hóa. Những công nghệ này cải thiện hiệu suất, kết nối chuỗi cung ứng và giảm chi phí cũng như sự chậm trễ. Heilig và cộng sự (2017)

nhấn mạnh rằng chuyển đổi số không chỉ đơn thuần là áp dụng công nghệ mà còn đòi hỏi thay đổi tổ chức, điều chỉnh mô hình kinh doanh và nâng cao kỹ năng lao động.

IoT là một trong những tiến bộ công nghệ nổi bật, cho phép theo dõi hàng hóa và thiết bị trong thời gian thực. Các cảm biến IoT như thẻ RFID cải thiện khả năng hiển thị chuỗi cung ứng, giảm nguy cơ chậm trễ và thất lạc. Alzate và cộng sự (2024) chứng minh rằng dữ liệu thời gian thực từ IoT hỗ trợ bảo trì dự đoán và tối ưu hóa nguồn lực. Cảng Rotterdam triển khai IoT để giám sát cần cẩu và container, giảm thời gian chết, tăng thông lượng và nâng cao tính an toàn (Lu và Xu, 2024). Dữ liệu từ IoT còn giúp tối ưu hóa hoạt động, giảm tiêu thụ năng lượng và nâng cao hiệu quả.

2.2. Trí tuệ nhân tạo (AI) và tự động hóa

AI đã cách mạng hóa hoạt động cảng, đặc biệt trong tự động hóa và phân tích dự đoán. Hệ thống AI điều khiển cần cẩu và xe tự hành đã tự động hóa xử lý hàng hóa, giảm lao động thủ công, đồng thời tăng độ chính xác và tốc độ (Heilig và cộng sự, 2017). AI còn hỗ trợ phân tích dự đoán, giúp các cảng dự báo nhu cầu, tối ưu hóa lịch trình tàu và giảm tắc nghẽn. Almeida (2023) cho biết tự động hóa nhà ga container giảm chi phí và tăng cường an toàn. Ví dụ, nhà ga tự động tại cảng Long Beach sử dụng cần cẩu AI, nâng cao hiệu quả xử lý container và giảm thời gian quay vòng tàu.

2.3. Blockchain và trao đổi dữ liệu an toàn

Blockchain cung cấp giải pháp khắc phục sự phân mảnh và kém hiệu quả trong chia sẻ dữ liệu cảng. Ngành Hàng hải gồm mạng lưới các bên liên quan, từ hãng tàu, hải quan đến nhà giao nhận, cần chia sẻ thông tin an toàn. Blockchain tạo ra sổ cái phi tập trung và chống giả mạo để ghi lại giao dịch, hợp đồng và tài liệu, nâng cao tính minh bạch và giảm rủi ro gian lận (Almeida, 2023). Tại Cảng Antwerp, Blockchain giúp thông quan nhanh hơn và giảm giấy tờ, đồng thời hỗ trợ hợp đồng thông minh tự động kích hoạt thanh toán khi điều kiện xác định được đáp ứng (Liu và cộng sự, 2024). Những ứng dụng này tăng cường lòng tin giữa các bên liên quan và tối ưu hóa quy trình thương mại.

2.4. Tác động của chuyển đổi số đến hiệu quả cảng

Chuyển đổi số mang lại hiệu quả đáng kể, cải thiện tốc độ xử lý hàng hóa, giảm chi phí và tăng độ tin cậy chuỗi cung ứng. Dữ liệu thời gian thực từ IoT và phân tích dữ liệu giúp cảng đưa ra quyết định tốt hơn về lịch trình tàu, phân bổ biển và bảo trì thiết bị. Almeida (2023) chỉ ra rằng điều này giúp giảm tắc nghẽn và tối ưu hóa tài nguyên. Cảng Hamburg, với giải pháp kỹ thuật số, dự đoán tốt thời gian tàu đến và tối ưu hóa hoạt động, giúp giảm thời gian quay vòng tàu và nâng cao thông lượng (Heilig và cộng sự, 2017).

Công nghệ kỹ thuật số còn cải thiện khả năng hiển thị chuỗi cung ứng. Thiết bị IoT, GPS và phân tích dữ liệu hỗ trợ theo dõi hàng hóa trong suốt hành trình, giúp các cảng phối hợp tốt hơn với hãng tàu, nhà vận chuyển và kho bãi (Nguyen và cộng sự, 2023). Tự động hóa giúp tiết kiệm chi phí, giảm phụ thuộc vào lao động thủ công và tăng năng suất. Phân tích dự đoán nhờ AI giảm chi phí bảo trì thông qua nhận diện sớm lỗi thiết bị, giảm thiểu thời gian chết và chi phí sửa chữa (Heilig và cộng sự, 2017). Nhìn chung, chuyển đổi số không chỉ nâng cao hiệu quả hoạt động mà còn tăng khả năng cạnh tranh toàn cầu của các cảng.

3. RÀO CẢN KHI THỰC HIỆN CHUYỂN ĐỔI SỐ TẠI CẢNG BIỂN HẢI PHÒNG

3.1. Rào cản chính trị

Môi trường chính trị đóng vai trò cốt lõi trong định hình quá trình chuyển đổi số tại các cảng biển Hải Phòng. Các chính sách của Chính phủ Việt Nam như Chiến lược logistics quốc gia (2021 - 2030) và Chiến lược quốc gia về công nghiệp 4.0 đã thể hiện cam kết đối với hiện đại hóa ngành hậu cần. Tuy nhiên, trọng tâm ưu tiên trong

triển khai vẫn chủ yếu tập trung vào các khu vực phía Nam, đặc biệt là TP.HCM, dẫn đến sự phân bố nguồn lực không đồng đều giữa các khu vực. Điều này khiến Hải Phòng gặp nhiều khó khăn trong việc tiếp cận các nguồn lực tài chính và hỗ trợ cần thiết để thúc đẩy các sáng kiến chuyển đổi số.

Mặc dù đối mặt với nhiều thách thức, Hải Phòng đã bắt đầu có những bước tiến nhất định trong việc thử nghiệm và áp dụng các công nghệ hiện đại trong hoạt động cảng. Một số sáng kiến trong xử lý hàng hóa tự động và ứng dụng công nghệ số đang được nghiên cứu và triển khai nhằm nâng cao hiệu quả vận hành, tuy nhiên quy mô và tốc độ triển khai vẫn còn hạn chế.

Ngoài ra, khuôn khổ pháp lý tại Việt Nam vẫn còn tồn tại nhiều bất cập, gây cản trở đáng kể cho các nỗ lực chuyển đổi số. Việc thiếu các quy định rõ ràng và đồng bộ về chia sẻ dữ liệu, quyền truy cập thông tin và an ninh mạng tạo ra sự không chắc chắn cho doanh nghiệp và nhà đầu tư, làm chậm quá trình áp dụng các công nghệ tiên tiến như Blockchain và các nền tảng dữ liệu số. Để giải quyết vấn đề này, cần có các điều chỉnh chính sách hướng đến việc xây dựng một hành lang pháp lý minh bạch, nhất quán và phù hợp với định hướng phát triển cảng thông minh.

3.2. Rào cản kinh tế

Khả năng chuyển đổi số tại cảng Hải Phòng chịu tác động mạnh mẽ từ nguồn lực tài chính. Sự hạn chế về ngân sách đầu tư làm giảm khả năng triển khai các công nghệ tiên tiến, dẫn đến khoảng cách đáng kể về năng lực tự động hóa so với các cảng lớn trong khu vực.

Tuy nhiên, Hải Phòng vẫn ghi nhận một số kết quả tích cực nhờ các sáng kiến chuyển đổi số. Việc triển khai hệ thống xử lý container tự động đã góp phần cải thiện thời gian quay vòng tàu và nâng cao hiệu quả xử lý hàng hóa, đồng thời giảm chi phí vận hành. Các hệ thống theo dõi tiên tiến cũng giúp hạn chế sự cố thất lạc hàng hóa, từ đó cải thiện đáng kể chất lượng dịch vụ.

Dù vậy, chi phí ban đầu cho việc áp dụng công nghệ mới vẫn là một trở ngại lớn, đặc biệt đối với các nhà khai thác có biên lợi nhuận hạn chế. Điều này đặt ra yêu cầu cấp thiết về các chính sách hỗ trợ tài chính và đầu tư chiến lược từ cả khu vực công và tư nhằm đảm bảo tiến trình số hóa được triển khai hiệu quả và bền vững, góp phần duy trì năng lực cạnh tranh của cảng Hải Phòng trong ngành Hàng hải toàn cầu.

3.3. Rào cản xã hội

Yếu tố xã hội giữ vai trò quan trọng trong tiến trình chuyển đổi số tại cảng biển Hải Phòng, đặc biệt là mức độ sẵn sàng của lực lượng lao động và thái độ của tổ chức đối với đổi mới công nghệ. Một trong những rào cản chủ yếu là sự thiếu hụt kỹ năng số, thể hiện qua năng lực hạn chế của nhân sự trong việc tiếp cận và vận hành các hệ thống công nghệ hiện đại. Bên cạnh đó, tâm lý e ngại thay đổi và sự hoài nghi đối với công nghệ vẫn tồn tại trong một bộ phận lao động, thường xuất phát từ lo lắng về an toàn nghề nghiệp và chưa nhận thức đầy đủ về những lợi ích lâu dài của số hóa. Để vượt qua các rào cản này, cần thiết lập các chương trình đào tạo và nâng cao kỹ năng phù hợp, đồng thời phát triển một môi trường làm việc khuyến khích đổi mới và chấp nhận thay đổi. Việc chuyển đổi nhận thức một cách có hệ thống, kết hợp với minh chứng thực tế từ quá trình ứng dụng công nghệ sẽ góp phần tạo nền tảng xã hội thuận lợi cho quá trình chuyển đổi số tại cảng Hải Phòng.

3.4. Rào cản công nghệ

Hạ tầng công nghệ lạc hậu là một trong những rào cản đáng kể đối với tiến trình chuyển đổi số tại cảng biển Hải Phòng. Việc phụ thuộc vào hệ thống cơ sở hạ tầng truyền thống làm hạn chế khả năng xử lý hàng hóa một cách hiệu quả, đồng thời cản trở việc triển khai các giải pháp công nghệ tiên tiến như giám sát thời gian thực, tối ưu hóa tài nguyên và bảo trì dự đoán. So với các cảng hàng đầu đã tích hợp thành công trí tuệ nhân tạo và hệ thống tự động hóa

trong vận hành, cảng Hải Phòng vẫn chưa có chiến lược tổng thể rõ ràng cho việc hiện đại hóa hạ tầng công nghệ. Thiếu vắng định hướng chiến lược không chỉ làm chậm quá trình số hóa mà còn ảnh hưởng đến khả năng đáp ứng các tiêu chuẩn quốc tế về hiệu quả và năng lực cạnh tranh. Do đó, việc xây dựng một lộ trình công nghệ rõ ràng, kết hợp giữa đầu tư hạ tầng, lựa chọn giải pháp phù hợp và phát triển năng lực triển khai là điều thiết yếu nhằm nâng cao hiệu suất hoạt động và vị thế của cảng trong bối cảnh ngành Hàng hải toàn cầu đang chuyển dịch mạnh mẽ theo hướng số hóa.

3.5. Thách thức pháp lý

Môi trường pháp lý tại Việt Nam vẫn còn nhiều bất cập, đặc biệt trong lĩnh vực bảo vệ dữ liệu và an ninh mạng - những yếu tố có ảnh hưởng trực tiếp đến quá trình chuyển đổi số trong ngành cảng biển. Việc thiếu các quy định rõ ràng và đồng bộ về chia sẻ dữ liệu, quyền truy cập thông tin và bảo mật hệ thống đã tạo ra sự không chắc chắn pháp lý, gây tâm lý e ngại cho các nhà khai thác và làm chậm quá trình triển khai các công nghệ số tiên tiến như Blockchain, IoT và hệ thống tự động hóa.

Bên cạnh đó, sự phụ thuộc ngày càng lớn vào nền tảng số cũng làm gia tăng nguy cơ tấn công mạng. Mặc dù một số giải pháp bảo mật đã được áp dụng thông qua các quan hệ đối tác công nghệ, năng lực ứng phó với các mối đe dọa an ninh mạng vẫn còn hạn chế. Điều này ảnh hưởng đến mức độ tin cậy của hệ thống thông tin và có thể gây gián đoạn chuỗi dịch vụ cảng nếu không được kiểm soát hiệu quả.

Việc thiết lập một khuôn khổ pháp lý minh bạch, nhất quán và định hướng tương lai là điều kiện tiên quyết để đảm bảo môi trường thuận lợi cho đổi mới. Một hệ thống pháp lý hiện đại sẽ không chỉ bảo vệ các tài sản kỹ thuật số và quyền lợi của các bên liên quan mà còn góp phần nâng cao niềm tin của nhà đầu tư, từ đó tăng cường năng lực cạnh tranh của cảng Hải Phòng trong bối cảnh hội nhập số và toàn cầu hóa.

3.6. Thách thức về môi trường

Chuyển đổi số đóng vai trò quan trọng trong việc thúc đẩy phát triển bền vững môi trường tại các cảng biển, trong đó cảng Hải Phòng là một trường hợp tiêu biểu. Việc tích hợp các công nghệ xanh và hệ thống tự động hóa tiết kiệm năng lượng góp phần giảm thiểu phát thải khí nhà kính và nâng cao hiệu quả sử dụng tài nguyên. Tuy nhiên, các chiến lược hiện tại tại cảng vẫn chưa thật sự ưu tiên khía cạnh môi trường trong lộ trình chuyển đổi số. Thiếu vắng các định hướng cụ thể và dài hạn đối với công nghệ thân thiện với môi trường có thể làm suy giảm năng lực cạnh tranh, đặc biệt trong bối cảnh các tiêu chuẩn môi trường ngày càng được xem là yếu tố then chốt trong hoạt động logistics toàn cầu.

Thực tiễn quốc tế cho thấy, việc ứng dụng các hệ thống giám sát môi trường và kiểm soát phát thải có thể nâng cao hiệu quả vận hành, đồng thời củng cố hình ảnh của cảng như một mắt xích bền vững trong chuỗi cung ứng toàn cầu. Vì vậy, việc phát triển một chiến lược số hóa tích hợp mục tiêu bảo vệ môi trường là cần thiết để đảm bảo sự phát triển hài hòa giữa hiệu quả kinh tế và trách nhiệm xã hội - môi trường, qua đó nâng cao năng lực cạnh tranh của cảng Hải Phòng trong dài hạn.

4. THẢO LUẬN VÀ KẾT LUẬN

Chuyển đổi số đóng vai trò then chốt trong việc nâng cao năng lực cạnh tranh và hiệu quả vận hành của cảng biển Hải Phòng trong bối cảnh hội nhập kinh tế toàn cầu. Tuy nhiên, để hiện thực hóa tiềm năng này, cảng cần vượt qua hàng loạt rào cản về tổ chức, kỹ thuật và thể chế. Một trong những thách thức quan trọng là tâm lý e ngại thay đổi trong nội bộ doanh nghiệp vốn bắt nguồn từ sự thiếu hiểu biết về lợi ích dài hạn của công nghệ số cũng như lo ngại về nguy cơ mất việc làm. Để khắc phục tình trạng này, cần thiết lập một môi trường làm việc cởi mở với đổi mới, trong đó truyền thông

nội bộ đóng vai trò dẫn dắt thay đổi nhận thức, kết hợp với các mô hình thử nghiệm công nghệ có quy mô nhỏ nhằm tạo dựng niềm tin trước khi triển khai trên diện rộng.

Song song với thay đổi văn hóa tổ chức, nâng cao năng lực nhân sự là yếu tố nền tảng giúp đảm bảo tính bền vững của quá trình chuyển đổi. Việc thiết kế các chương trình đào tạo chuyên sâu về kỹ năng số, bao gồm ứng dụng IoT, phân tích dữ liệu lớn, an ninh mạng và vận hành hệ thống cảng thông minh cần được phối hợp giữa doanh nghiệp, các cơ sở giáo dục và đơn vị cung cấp công nghệ. Những chương trình này không chỉ trang bị kiến thức mà còn thúc đẩy khả năng thích nghi nhanh chóng với các công cụ và quy trình làm việc hiện đại.

Bên cạnh yếu tố con người, hạ tầng công nghệ cũng là điều kiện tiên quyết. Quá trình tích hợp công nghệ mới vào hoạt động cảng đòi hỏi đầu tư chiến lược và dài hạn, với sự tham gia của cả khu vực công và tư. Việc triển khai hệ thống quản lý cảng thông minh, ứng dụng dữ liệu thời gian thực và các giải pháp bảo trì dự đoán có thể giúp nâng cao hiệu quả khai thác thiết bị, tối ưu hóa luồng hàng và giảm thiểu thời gian dừng tàu. Sự đầu tư đồng bộ này không chỉ cải thiện năng suất mà còn là tiền đề để nâng cao chất lượng dịch vụ và đáp ứng yêu cầu của các chuỗi cung ứng hiện đại.

Trong khi đó, khuôn khổ pháp lý hiện hành vẫn còn nhiều khoảng trống, đặc biệt liên quan đến bảo mật thông tin, chia sẻ dữ liệu và giao dịch điện tử. Một môi trường pháp lý minh bạch, ổn định và khuyến khích đổi mới sẽ tạo ra động lực mạnh mẽ để doanh nghiệp yên tâm đầu tư vào công nghệ. Việc xây dựng các cơ chế hỗ trợ tài chính và chính sách ưu đãi cho những sáng kiến công nghệ thân thiện môi trường cũng là bước đi quan trọng để hướng tới phát triển bền vững.

Bên cạnh các hàm ý thực tiễn, nghiên cứu này cũng đóng góp về mặt học thuật khi ứng dụng khung phân tích PESTLE để hệ thống hóa một cách toàn diện các rào cản trong quá trình chuyển đổi số tại cảng biển, đặc biệt trong bối cảnh của một nền kinh tế mới nổi như Việt Nam. Cách tiếp cận này không chỉ tập trung vào khía cạnh công nghệ mà còn làm rõ vai trò của các yếu tố chính trị, xã hội, pháp lý và môi trường - những khía cạnh thường bị bỏ sót trong các nghiên cứu kỹ thuật thuần túy. Tuy nhiên, nghiên cứu chủ yếu dựa trên phương pháp định tính và phân tích tài liệu thứ cấp nên còn hạn chế về kiểm chứng thực nghiệm. Các nghiên cứu tiếp theo có thể mở rộng theo hướng định lượng, so sánh liên cảng hoặc xây dựng mô hình chuyển đổi số phù hợp hơn với điều kiện thực tiễn tại các cảng Việt Nam và các quốc gia đang phát triển.

Với cách tiếp cận toàn diện từ con người, công nghệ đến thể chế và hợp tác, Hải Phòng hoàn toàn có thể khai thác hiệu quả cơ hội từ chuyển đổi số, qua đó nâng cao vị thế trong chuỗi giá trị hàng hải khu vực và toàn cầu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Lu, B., & Xu, X. (2024), Digital transformation and port operations: Optimal investment under incomplete information, *Transport Policy*, 151, 134-146.
- [2]. Almeida, F. (2023), Challenges in the digital transformation of ports. *Businesses*, 3(4), 548-568.
- [3]. Nguyen, H.-S., Huynh, C.-D., & Bui, N.-Q. (2023), Digital transformation for shipping container terminals using automated container code recognition, *Telecommunication Computing Electronics and Control*, 21(3), 535.
- [4]. Heilig, L., Lalla-Ruiz, E., & Voß, S. (2017), Digital transformation in maritime ports: Analysis and a game theoretic framework, *NETNOMICS: Economic Research and Electronic Networking*, 18(2-3), 227-254.
- [5]. Alzate, P., Martinez, R., Chen, Y., & Wong, K. (2024), Operational efficiency and sustainability in smart ports: A comprehensive review, *Marine Systems & Ocean Technology*, 19(1-2), 120-131.
- [6]. Su, Z., Liu, Y., Gao, Y., Park, K.-S., & Su, M. (2024), Critical success factors for green port transformation using digital technology, *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(12), 2128.

Nghiên cứu các công nghệ xử lý nền móng mặt đường cứng sân bay trong điều kiện bất lợi trên thế giới và ở Việt Nam

Research on treatment technologies for base, subbase and subgrade of airport rigid pavement under adverse conditions in the world and in Vietnam

> **THS.NCS NGÔ VĂN QUÂN^{1*}, THS TRẦN TRỌNG SƠN², GS.TS PHẠM HUY KHANG³**
PGS.TS NGUYỄN TRỌNG HIỆP³, THS.NCS PHẠM QUANG THÔNG³

¹Học viện Hàng không Việt Nam

²Cảng Hàng không quốc tế Tân Sơn Nhất (TIA)

³Trường Đại học Giao thông vận tải

*Email: quannv@vaa.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu các giải pháp công nghệ đang áp dụng, liên quan tới xử lý nền móng mặt đường cứng sân bay trong điều kiện bất lợi trên thế giới và ở Việt Nam để đảm bảo điều kiện khai thác thường xuyên và liên tục tại cảng hàng không (CHK), sân bay. Các giải pháp chính, đó là hạn chế nước xâm nhập vào nền móng mặt đường cứng sân bay; giải pháp công nghệ xử lý nền móng của mặt đường cứng sân bay; xử lý hư hỏng cấu trúc của mặt đường cứng sân bay trong điều kiện bất lợi trên thế giới và ở Việt Nam.

Từ khóa: Móng; móng dưới; nền đường; cảng hàng không; mặt đường cứng sân bay.

ABSTRACT

The article research the technological solutions currently applied, related to the treatment technologies for base, subbase and subgrade of airport rigid pavement under adverse conditions in the world and Vietnam. The main solution is to limit water intrusion into the base, subbase and subgrade of airport rigid pavement; technological solutions for the treatment of base, subbase and subgrade of airport rigid pavement treatment of structural damage to airport rigid pavement in adverse conditions in the world and in Vietnam.

Keywords: Base; subbase; subgrade; airport; airport rigid pavement.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Kết cấu mặt đường (KCMĐ) của mặt đường cứng sân bay tại các CHK, sân bay trên thế giới và ở Việt Nam có nhiều khu vực được xây dựng từ rất lâu. Dù đã trải qua nhiều đợt cải tạo, sửa chữa nhưng trong quá trình khai thác, dưới sự tác động thường xuyên của tàu bay ngày càng tăng về trọng tải và tần suất hoạt động cùng với các điều kiện thủy nhiệt bất lợi đã làm cho một số tấm bê tông xi măng (BTXM) không đáp ứng yêu cầu, xuất hiện những hư hỏng cấu trúc của mặt đường cứng sân bay như: Nứt dọc, ngang chéo; nứt khe ngang; nứt ở góc tấm; bị lún thụt (cập kênh - bậc); phôi bùn; tấm BTXM bị mẻ, bong bật bề mặt [1] gây mất an toàn cho các hoạt động của tàu bay. Nếu không có biện pháp xử lý kịp thời, những hư hỏng sẽ có mức độ trầm trọng ngày càng lớn, gây tốn kém chi phí bảo dưỡng, sửa chữa cũng như kéo dài thời gian đóng cửa sân bay khi cải tạo hoặc nâng cấp [2].

Bài báo đề cập đến việc nghiên cứu các giải pháp công nghệ xử lý nền móng mặt đường cứng sân bay trong điều kiện bất lợi

trên thế giới và ở Việt Nam, để đảm bảo điều kiện khai thác thường xuyên và liên tục tại CHK, sân bay. Đó là các giải pháp: Hạn chế nước xâm nhập vào nền móng mặt đường cứng sân bay; giải pháp xử lý nền móng của mặt đường cứng sân bay; công nghệ xử lý hư hỏng cấu trúc của mặt đường cứng sân bay.

2. THỰC TRẠNG HƯ HỎNG CỦA KCMĐ CỨNG SÂN BAY

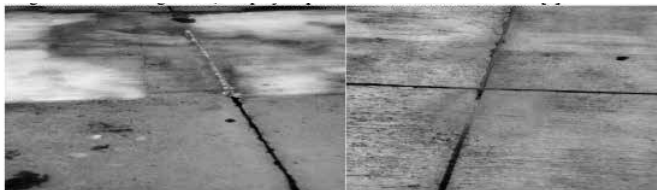


Hình 1. Tấm BTXM hư hỏng nứt vỡ tại đầu 25L/07R tại CHK quốc tế Tân Sơn Nhất [3]

Trải qua nhiều năm khai thác với tần suất ngày càng cao, tàu bay mới với tải trọng và áp suất bánh lớn cùng với các điều kiện

thủy nhiệt bất lợi nên KCMĐ cứng tại các CHK, sân bay đã xuất hiện nhiều hư hỏng như Hình 1: Nứt vỡ, nứt dọc, nứt chéo ở góc và cạnh, nứt ngang tấm BTXM; lão hóa, bào mòn, trơ cốt liệu; nứt, rạn chân chim [3].

Trên khu vực có mật độ giao thông lớn, KCMĐ cứng sân bay xuất hiện các hư hỏng chủ yếu nằm trên các vết lằn Hình 2, các tấm BTXM có nhiều vết nứt rộng, hư hỏng bề mặt trên diện tích lớn; tấm BTXM bị lún và hiện tượng phình bunn do lớp nền phía dưới xảy ra trên nhiều hàng tấm. Các hư hỏng trên trực tiếp uy hiếp đến an toàn khai thác của CHK [3].



Hình 2. Tấm BTXM hư hỏng khu vực đường lằn NS tại CHK quốc tế Tân Sơn Nhất [3]

Đối với khu vực có hoạt động thường xuyên của tàu bay và phương tiện hàng không, sau thời gian CHK đưa vào sử dụng nước thấm xuống qua các kẽ nứt, lỗ rỗng sẽ làm hư hỏng nền móng gây nên tình trạng tấm BTXM bị lún, sụt, gây ngàm, đất nền yếu gây phình bunn và bị nén ép trôi lên mặt BTXM qua khe tấm, tạo các hố lõm gây mất an toàn cho tàu bay [1] (Hình 3).



Hình 3. Tấm BTXM bị nén ép trôi trên đường công vụ A3 tại CHK quốc tế Tân Sơn Nhất [1]

Những dấu hiệu hư hỏng nêu trên xuất hiện nhiều tại các CHK, sân bay trên thế giới và ở Việt Nam, đòi hỏi cần phải có các giải pháp công nghệ để xử lý hư hỏng KCMĐ cứng sân bay tại các CHK, sân bay một cách triệt để; đảm bảo vật liệu sửa chữa có độ bền cao, tuổi thọ lâu dài với thời gian sửa chữa nhanh để sớm đưa CHK vào khai thác, tránh được phí tổn lớn và thất thoát về sau do việc chậm trễ khai thác bay bị ảnh hưởng.

3. GIẢI PHÁP HẠN CHẾ NƯỚC XÂM NHẬP VÀO NỀN MÓNG CỦA MẶT ĐƯỜNG CỨNG SÂN BAY

3.1. Thực trạng hệ thống thoát nước tại CHK, sân bay

Hiện nay, nhiều CHK, sân bay trên thế giới và ở Việt Nam gặp phải các thách thức nghiêm trọng liên quan đến hệ thống thoát nước, ảnh hưởng đến an toàn bay và vận hành hạ tầng CHK, sân bay như sau:

a) Hệ thống thoát nước cũ kỹ, không đáp ứng yêu cầu hiện tại: Hệ thống lỗi thời, chưa được nâng cấp; khả năng thoát nước kém trong điều kiện thời tiết khắc nghiệt; việc bảo trì cơ sở hạ tầng CHK chưa hiệu quả. Một số CHK, sân bay nằm trong khu vực có lượng mưa lớn, hệ thống thoát nước hiện chưa đáp ứng được, dẫn đến tình trạng ngập úng nghiêm trọng, thường xuyên bị quá tải vào mùa mưa [4] (Hình 4).

b) Xói mòn và hư hỏng hệ thống thoát nước: Một số công trình thoát nước bị xói mòn do mưa lớn, nứt vỡ cống thoát nước do tác dụng tải trọng lớn từ máy bay và phương tiện vận hành; do mưa

bão và tác động môi trường; vật liệu bị lão hóa. Một số CHK, sân bay hệ thống thoát nước bị ảnh hưởng do bão và triều cường, gây khó khăn trong việc duy trì hoạt động ổn định.



Hình 4. Sân đỗ CHK quốc tế Tân Sơn Nhất ngập trung trận mưa lớn [4]

c) Thiết kế chưa tối ưu, gây đọng nước trên mặt đường sân bay: Thiết kế độ dốc để thoát nước chưa đảm bảo yêu cầu thiết kế; hệ thống rãnh thu nước và cống không đồng bộ; thiếu hệ thống cảnh báo ngập úng.

3.2. Giải pháp công nghệ cải thiện hệ thống thoát nước tại CHK, sân bay

Để nâng cao hiệu quả hệ thống thoát nước, tại các CHK, sân bay trên thế giới và ở Việt Nam đi vào 3 nhóm giải pháp công nghệ, đó là:

a) Nâng cấp, cải tạo hạ tầng thoát nước: Nâng cấp, bố trí đầy đủ các công trình thoát nước trong CHK, sân bay [4] (Hình 5), trong đó sử dụng bê tông cốt sợi hoặc polyme chống xói mòn, chịu tải tốt; sử dụng cống có khả năng thấm thấu; kênh thoát nước có độ dốc tối ưu; có lớp phủ chống ăn mòn bảo vệ đường ống, giếng thu trong môi trường nước hóa chất.



Hình 5. Hình ảnh cải tạo rãnh thoát nước tại CHK quốc tế Nội Bài [4]

b) Ứng dụng công nghệ thông minh: Cảm biến theo dõi mực nước và lưu lượng dòng chảy, cảnh báo tắc nghẽn, ngập úng; hệ thống bơm thông minh để phân tích dữ liệu thời tiết, tự động điều chỉnh công suất bơm tối ưu; công nghệ cống tự làm sạch, sử dụng nước áp lực cao để loại bỏ bùn cát, rác thải; bơm tiết kiệm năng lượng để giảm tiêu thụ điện, tăng tuổi thọ thiết bị.

c) Bảo trì và kiểm tra định kỳ: Thường xuyên bảo dưỡng để làm sạch, loại bỏ cặn bẩn trong cống, rãnh, kênh, giếng thu nước; lập kế hoạch bảo trì định kỳ để kiểm tra toàn bộ hệ thống thoát nước, kịp thời phát hiện và khắc phục sự cố.

4. CÔNG NGHỆ XỬ LÝ NỀN MÓNG CỦA MẶT ĐƯỜNG CỨNG SÂN BAY TRÊN THẾ GIỚI VÀ Ở VIỆT NAM

4.1. Công nghệ xử lý nền móng của mặt đường cứng sân bay bằng phương pháp phun vữa polymer

Đối với việc xử lý nền móng của mặt đường cứng sân bay, trên thế giới và ở Việt Nam đã sử dụng phương pháp phun vữa polymer trên cơ sở vật liệu Uretek [5]. Giải pháp này rất phù hợp khi gia cố, sửa chữa đối với các tấm BTXM bị hư hỏng cấu trúc khi bị lún thụt (cấp kênh - bậc) và phình bunn [1].

Nguyên lý hình thành cường độ của vật liệu Uretek là sau khi bơm vữa xuống nền móng, khối lượng của vật liệu tăng theo tỷ lệ 20:1, thể tích của nó trương nở đến 30 lần và có thể tạo ra áp suất khoảng 50 tấn/m² - 170 tấn/m². Trong vòng 15 phút sau khi bơm, vữa Uretek có thể đạt 90% cường độ của nó và cho phép các phương tiện lưu thông bình thường [6] (Hình 6).



Hình 6. Mô hình nền móng mặt đường cứng sân bay khi được gia cố vữa Uretek [1]

Quy trình công nghệ Uretek xử lý nền móng mặt đường cứng sân bay, trải qua các bước [1]:

- Công tác khoan lỗ: Bước 1: Định vị, đánh dấu vị trí lỗ khoan (các lỗ khoan cho phép sai số 5cm do tấm bê tông có cốt thép và thanh truyền lực) (Hình 7); Bước 2: Khoan lỗ đường kính 16 mm - 32 mm xuyên qua toàn bộ chiều dày tấm BTXM; Bước 3: Khoan lỗ đường kính 12 mm - 16 mm xuyên qua chiều dày tấm BTXM tới nền đất sao cho lỗ khoan đạt chiều sâu tối thiểu 1,0 m.



Hình 7. Khoan tạo lỗ bơm vữa Uretek để gia cố nền móng mặt đường cứng sân bay [1]

- Công tác bơm vữa URETEK: Bước 1: Sau khi kiểm tra vị trí, chiều sâu lỗ khoan đúng bản vẽ thiết kế tiến hành bơm vữa Uretek xuống nền đất thông qua các ống dẫn có đường kính 16 mm, dài khoảng 25 cm; Bước 2: Dùng súng bơm vữa nối với máy trộn bằng ống cao su cao áp đưa vữa Uretek xuống nền đất; Bước 3: Sau khi khối lượng vữa Uretek trong lỗ khoan đạt định mức thiết kế hoặc cao độ các tấm BTXM đạt yêu cầu thì kết thúc quá trình bơm. Tháo gỡ các ống dẫn vật tư và trám các lỗ bơm bằng keo silicon hoặc vữa xi măng và chuyển qua vị trí tiếp theo; Bước 4: Vệ sinh sạch sẽ bề mặt trước khi chuyển qua xử lý các tấm BTXM khác hoặc kết thúc ca thi công [1].

Kết quả sau khi xử lý: Các khoảng trống, lỗ hổng, hốc rỗng phía dưới tấm BTXM đã được lấp đầy, tàu bay có thể khai thác thường xuyên, liên tục tại CHK. Vì vậy, đây là giải pháp rất phù hợp trong điều kiện khai thác tại CHK, sân bay. Tuy nhiên, giải pháp này hiện có giá thành ở mức cao, ở Việt Nam phụ thuộc nhiều vào đơn vị cung cấp vật liệu ở nước ngoài.

4.2. Công nghệ xử lý nền móng của mặt đường cứng sân bay bằng phương pháp phụt vữa Silica siêu mịn

Độ siêu mịn cho phép silica fume lấp đầy các lỗ rỗng vi mô

giữa các hạt xi măng và hiệu quả của vi chất lấp đầy này là làm giảm mạnh khả năng thấm nước và tăng liên kết giữa cốt liệu với hồ xi măng, từ đó giúp cho bê tông silica fume tăng độ dính kết và tạo ra tính ổn định của vật liệu và đạt cường độ lớn hơn. Công nghệ này có thể áp dụng theo hướng gia cố nền móng mặt đường cứng sân bay, giúp cải thiện sức chịu tải của nền đất và các lớp móng [6] (Hình 8).



Hình 8. Gia cố nền móng mặt đường cứng sân bay bằng công nghệ phụt vữa silica siêu mịn [6]

Quy trình công nghệ phụt vữa Silica siêu mịn được thực hiện tùy loại đất nền có thể thực hiện theo phương pháp sau [7]: Phụt thẩm thấu, nén ép, điện đẩy, từ đó sẽ làm đẩy các kẽ nứt và cải thiện độ bền của các lớp nền móng. Sử dụng vật liệu phụt là hạt silica siêu mịn (13,000 cm²/g) tạo ra sức chịu tải tăng lên đến 30~50 tấn/m² (Hình 9).

Phụt thẩm thấu (Permeation)	Phụt nén ép (Compaction)	Phụt điện đẩy (Fracture)
- Điền đầy các lỗ rỗng trong đất - Liên kết phân tử đất và vật liệu phụt (soil cement) - Sử dụng với loại đất có lỗ rỗng lớn như đất cát - Đất nền khác: Yêu cầu hạt siêu mịn	- Phụt lặp lại trong 2 ~ 3 giây vật liệu phụt có thời gian keo hoá nhanh - Tạo thành thể gia có hình thái gần gần đường ống phụt - Sử dụng với đất sét / đất lóng lẻo hoặc đất có tính thấm - Sử dụng với cường độ cao hoặc vật liệu keo hoá nhanh	- Phụt lặp lại trong 2 ~ 3 giây vật liệu phụt có thời gian keo hoá trung bình / nhanh - Hình thành mạch phụt trong đất - Sử dụng với đất sét / đất bùn - Yếu tố không ổn định: không đáng kể (ổn định tốt)

Hình 9. Các phương thức phụt vữa silica siêu mịn gia cố nền móng [7]

Việc gia cố đất nền bằng phương pháp phụt hóa chất được thực hiện như sau:

- Đối với nền đất cát: Cải thiện cường độ của nền đất ban đầu thông qua việc gia tăng độ kết dính ở nền đất yếu có mật độ tương đối ở mức trung bình hoặc yếu; với nền đất cứng có mật độ tương đối lớn, thực hiện đưa hóa chất vào các lỗ rỗng và làm cho nền đất cứng hơn nhưng không làm biến đổi phân bố của các phân tử đất để không làm ảnh hưởng và làm mềm hóa đất.

- Đối với nền đất kết dính: Nền kết dính hay nền đất yếu có chỉ số N từ 5 trở xuống, tạo thành mạch trong nền đất rồi đưa hóa chất vào để tạo hiệu quả cố kết đất nền, từ đó giúp gia cố đất. Tuy nhiên, cách làm này có thể không có hiệu quả cao ở nền đất có giá trị N vượt quá 5.

Đặc điểm giải pháp công nghệ này là có độ chính xác cao, phụt tại nhiều điểm với thời gian thi công ngắn, thi công được trong không gian hẹp, không làm tổn hại đến công trình, có thể thi công khi công trình đang được sử dụng, phù hợp với điều kiện khai thác tại CHK, sân bay.

5. CÁC CÔNG NGHỆ XỬ LÝ HƯ HỎNG CẤU TRÚC CỦA MẶT ĐƯỜNG CỨNG SÂN BAY TRONG ĐIỀU KIỆN BẤT LỢI TRÊN THẾ GIỚI VÀ Ở VIỆT NAM

5.1. Công nghệ xử lý hư hỏng tấm BTXM bằng phương pháp truyền thống

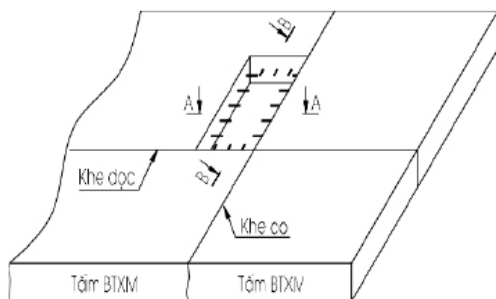
Tùy thuộc vào tấm BTXM có vết nứt ở cạnh hay góc tấm, bị đập, bị mẻ, bong bề mặt ở các mức độ nào thì sẽ có biện pháp xử lý phù hợp. Phương pháp xử lý truyền thống thường trải qua các công đoạn sau [8]:

- Làm sạch diện tích quanh vết nứt, đập, mẻ, bong bề mặt bằng chổi sắt hay hơi nén;
- Loại bỏ phần mặt đường bị nứt gãy, đập, mẻ, bong bề mặt bằng dụng cụ cưa cắt; dùng búa, khoan hơi để bóc tách bộ lớp BTXM hỏng, sau đó dùng khí nén thổi sạch chỗ đã bóc tách;
- Tiến hành phủ một lớp kết dính kết dính chuyên dụng để bảo đảm độ kết dính giữa lớp móng, mặt đường hiện hữu với lớp bê tông mới. Quét vật liệu lót kết dính chuyên dụng của từng loại vật liệu rồi dùng bàn chải hay chổi quét đều trước khi đổ chất kết dính xuống như Sika Grout hay BTN;
- Dùng máy đầm đầm chặt tạo độ phẳng và độ liên kết, sau thời gian hợp chất đủ cường độ thì cho phép tàu bay và các phương tiện đi qua.

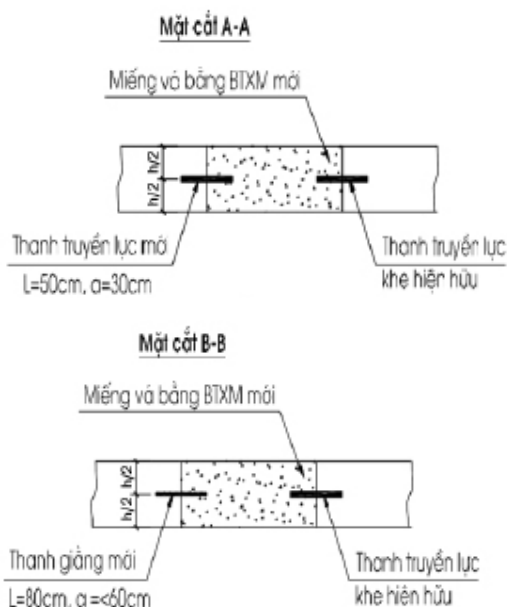
5.2. Công nghệ xử lý trám vá mặt đường BTXM bằng bê tông DOM 1-17

Một giải pháp công nghệ xử lý mới cũng đã được đề xuất và áp dụng tại một số CHK, sân bay ở Việt Nam đó là bê tông DOM1-17. Quy trình công nghệ trải qua các bước sau [8]:

- Xác định phần bê tông nứt vỡ, xử lý bề mặt cũ: Cào bóc các mảnh vỡ, cắt đục tẩy phần hư hỏng, vệ sinh làm khô và sạch sẽ bề mặt bằng chổi, máy thổi bụi hoặc nén khí (Hình 10).
- Công tác trám và bằng bê tông DOM 1-17: Trộn và rải bê tông polymer DOM 1-17 vào vị trí đã được cào bóc, đục tẩy. Tiếp theo, san bằng theo kích thước và độ bằng phẳng của tấm BTXM (Hình 11); dùng đầm bàn hoặc lu nhẹ hoặc con lăn tạo độ chặt cho lớp rải; tạo nhám bề mặt bằng máy cắt tạo nhám; cắt khe bằng máy cắt; cuối cùng, vệ sinh mặt bằng, dụng cụ thiết bị thi công và bảo vệ bề tông trong thời gian 2 giờ từ khi kết thúc quá trình trộn rải để bề tông hình thành cường độ trước khi thông xe hoặc cho tàu bay vận hành.



Hình 10. Mặt bằng sửa chữa vết nứt ở góc tấm BTXM bằng bê tông DOM 1-17 [8]



Hình 11. Mặt cắt sửa chữa vết nứt ở góc tấm BTXM bằng bê tông DOM 1-17 [8]

5.3. Công nghệ xử lý trám vá tấm BTXM bị hư hỏng trên mặt đường cứng sân bay bằng Uretek Rigid Ground

Một giải pháp công nghệ xử lý trám vá tấm BTXM đã được áp dụng tại một số CHK, sân bay trên thế giới và ở Việt Nam đó là sử dụng công nghệ vật liệu Uretek Rigid Ground. Quy trình công nghệ trải qua các bước sau [1]:

- Bước 1: Làm ổn định nền đất dưới tấm BTXM để chịu được tải.
- Bước 2: Cắt khe mặt đường BTXM sâu trung bình 5 cm cho đến 15 cm nếu có ngàm, để bỏ đi phần tấm BTXM bị hư hỏng.
- Bước 3: Đục bỏ phần tấm BTXM hỏng cho đến lớp tốt.
- Bước 4: Vệ sinh bề mặt: BTXM được trám vá cần có bề mặt sạch và nhám, không có dầu mỡ, tạp chất. Dùng máy thổi hay khí nén để vệ sinh.
- Bước 5: Tạo liên kết cơ học bằng các bu-lông kết nối trên lớp BTXM cũ (Hình 12).



Hình 12. Cây bu-lông liên kết vào bề mặt tấm BTXM [1]

- Bước 6: Gắn tấm ván khuôn tạo khe.
- Bước 7: Phủ lớp kết dính Structural Rimer.
- Bước 8: Chuẩn bị vữa Rigid Ground Structural HT theo hướng dẫn: Trộn thêm chất đóng rắn vào phần Structural HT đã đông theo tỷ lệ rồi khuấy đều bằng máy khuấy trong 30 - 60 giây; trộn thêm 4 lần thể tích cát khô.
- Bước 9: Đổ vữa Rigid Ground Structural HT: Đổ vào chỗ cần trám và sau khi lớp kết dính đã khô hoặc khô đến khi bám da mà không dính. Dụng cụ để ép chặt vữa vào các cạnh, góc. Tạo rung để khử bọt không khí. Không rung quá nhiều để tránh phân tầng lớp vữa Structural HT.
- Bước 10: Dùng lưới thép đường kính 6 mm, bước 150 mm để gia cường sự liên kết của vữa.
- Bước 11: Để sửa chữa lỗ sâu 5 cm - 10 cm hay sâu hơn, dùng đá dăm trộn thêm với vữa Rigid Ground Structural HT để trám gần đầy bề mặt đến còn khoảng 1,5 - 2,5 cm rồi dùng cùng vữa Structural HT trám lên bề mặt.



Hình 13. Đổ vữa và thi công Rigid Ground Structural HT vào vị trí trám vá [1]

- Bước 12: Làm phẳng và làm tốt bề mặt vữa, không vượt lạng bề mặt quá nhiều.
- Bước 13: Hoàn thiện công trình có thể được đưa vào sử dụng sau 120 phút.

Giải pháp công nghệ vật liệu Uretek Rigid Ground cho thấy hiệu quả cao với nhiều ưu điểm vượt trội, khắc phục được các nhược điểm của phương pháp sửa chữa truyền thống, đặc biệt cường độ vật liệu trám vá hình thành nhanh đã làm giảm thời gian sửa chữa các tẩm BTXM, cho phép đưa CHK, sân bay vào khai thác nhanh chóng [1]. Tuy nhiên, đây cũng là giải pháp có giá thành vật liệu cao và chưa chủ động được nguồn vật liệu.

6. KẾT LUẬN

Hiện nay, trong điều kiện bất lợi trên thế giới và ở Việt Nam

có 3 nhóm giải pháp công nghệ xử lý nền móng mặt đường cứng sân bay:

- Giải pháp hạn chế nước xâm nhập vào nền móng của mặt đường cứng sân bay, trong đó chú trọng về khảo sát và kiểm tra thực trạng hệ thống thoát nước tại CHK, sân bay. Từ đó, có các biện pháp công nghệ cải thiện hệ thống thoát nước tại CHK, sân bay.

- Công nghệ gia cố nền móng của mặt đường cứng sân bay để cập tới phương pháp phun vữa polymer và phương pháp phun vữa Silica siêu mịn, phù hợp với điều kiện khai thác tại CHK, sân bay.

- Công nghệ xử lý hư hỏng cấu trúc của mặt đường cứng sân bay, để cập tới phương pháp trám và tẩm BTXM hư hỏng bằng phương pháp truyền thống; trám và tẩm BTXM bằng bê tông DOM 1-17 và trám và bằng công nghệ vật liệu Uretek Rigid Ground.

Trong đặc điểm riêng tại các CHK, sân bay ở Việt Nam, khi nền móng mặt đường cứng sân bay thường gặp điều kiện bất lợi chính là bão hòa nước, nhận thấy phương pháp phun vữa polymer bằng vật liệu Uretek để xử lý là rất phù hợp. Tuy nhiên, giải pháp này hiện có giá thành cao và phụ thuộc nguồn vật liệu ở nước ngoài; cần xem xét nghiên cứu công nghệ này bằng vật liệu mới có nguyên lý hoạt động tương tự, để giảm thiểu chi phí thi công và chủ động cho nguồn vật liệu, thúc đẩy phát triển khoa học công nghệ trong nước.

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả cảm ơn tới Trung tâm Khai thác Khu bay - Cảng Hàng không quốc tế Tân Sơn Nhất đã cung cấp số liệu và tạo điều kiện cho các tác giả trong quá trình nghiên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. TCCS 06:2009/CHK (2009), Quy trình bảo dưỡng duy tu sân bay dân dụng Việt Nam, Cục Hàng không Việt Nam.
- [2]. Trần Trọng Sơn (2016), Nghiên cứu ứng dụng công nghệ Uretek Rigid Ground vào sửa chữa mặt đường BTXM tại Cảng Hàng không quốc tế Tân Sơn Nhất, Luận văn Thạc sĩ kỹ thuật, Trường Đại học GTVT.
- [3]. Công ty TNHH MTV Thiết kế và Tư vấn Xây dựng Công trình Hàng không (ADCC) (2021), Báo cáo khảo sát hiện trạng công trình "Sửa chữa các vị trí hư hỏng đường CHK 25L/07R-Cảng HKQT Tân Sơn Nhất".
- [4]. <https://cafef.vn/de-xuat-chong-ngap-san-bay-tan-son-nhat-bang-may-bom-sieu-khung-20180619140945581.chn>.
- [5]. URETEK, Uretek Ground Engineering, URETEK Worldwide.
- [6]. Ngô Văn Quân, Phạm Huy Khang, Nguyễn Trọng Hiệp, Ngô Văn Tĩnh (2024), Nghiên cứu phương pháp đánh giá sự suy giảm cường độ và giải pháp xử lý nền móng mặt đường cứng sân bay trong điều kiện bất lợi ở Việt Nam, Tạp chí Xây dựng, số tháng 9.
- [7]. Báo cáo thực nghiệm của Công ty TNHH CS GEOTECH VINA về công nghệ phun silica và thực nghiệm tại Cà Mau.
- [8]. Bộ GTVT (14/11/2023), Quyết định số 1469/QĐ-BGTVT về việc phê duyệt Quy trình bảo trì công trình đường cất hạ cánh 25R/07L, đường lăn song song, các đường lăn nối và các hạng mục công trình phụ trợ đồng bộ - Dự án cải tạo, nâng cấp đường cất hạ cánh, đường lăn Cảng Hàng không quốc tế Tân Sơn Nhất.

Phân tích ổn định mái dốc nền đường sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo và thuật toán di truyền

Slope stability analysis of road embankments using artificial neural network and genetic algorithm

> TS HUỖNH VĂN QUÂN¹, KS TRƯỞNG MINH THIÊN¹,
PGS.TS LÊ VĂN PHÚC¹, TS NGUYỄN VĂN DU^{1*}, THS PHẠM HOÀNG AN²

¹Trường Đại học Giao thông vận tải

²Công ty Cổ phần Kiểm định Xây dựng Cửu Long

*Email: dunv_ph@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Theo tiêu chuẩn hiện hành của Việt Nam, mái dốc nền đường phải được kiểm tra tính ổn định, bất kể có hay không sử dụng các giải pháp gia cường. Gần đây, Việt Nam đang nỗ lực xây dựng và hoàn thiện các tuyến đường bộ cao tốc kết nối các vùng kinh tế trọng điểm quốc gia. Khi nền đường đi qua các khu vực địa hình hiểm trở, sự xuất hiện của các mái dốc cao với địa chất phức tạp là không tránh khỏi. Tính toán ổn định mái dốc bằng các phương pháp thủ công hoặc sử dụng phần mềm thương mại thường tốn nhiều thời gian và công sức, trong khi độ chính xác phụ thuộc vào kinh nghiệm và kỹ năng của kỹ sư. Do đó, việc ứng dụng trí tuệ nhân tạo và máy vi tính để xác định nhanh hệ số ổn định mái dốc hoặc cung cấp phương án kiểm chứng là hết sức cần thiết. Bài báo đề xuất sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo (ANN) kết hợp thuật toán di truyền (GA) mô phỏng bằng MATLAB/M-file để xác định nhanh mặt trượt nguy hiểm. Kết quả tính toán số cho thấy, sai lệch giữa phương pháp đề xuất và phương pháp Fellenius không vượt quá 2%.

Từ khóa: Ổn định mái dốc; nền đường đắp; mạng nơ-ron nhân tạo; thuật toán di truyền; hệ số an toàn.

ABSTRACT

This study examines the stability of road embankment slopes in Vietnam, where highway construction through steep terrain often creates high slopes with weak soil. Current standards require slope stability to be checked regardless of reinforcement. Traditional methods, including manual calculations or commercial software, are time-consuming and depend on the engineer's experience. To improve efficiency, a method combining Artificial Neural Network (ANN) and Genetic Algorithm (GA) is proposed to quickly identify the most critical slip surface and estimate the factor of safety (FoS). The ANN is trained using FoS data computed by the classical Fellenius method, while the GA searches for optimal slip surface parameters based on ANN predictions. A case study shows that the FoS from the ANN-GA method differs by less than 2% from the classical Fellenius result. This confirms that the proposed method is fast, accurate and suitable for practical slope stability assessment.

Keywords: Slope stability; road embankment; artificial neural network; genetic algorithm; factor of safety.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong giai đoạn hiện nay, Việt Nam đang triển khai xây dựng hàng loạt tuyến cao tốc xuyên quốc gia và kết nối các vùng kinh tế trọng điểm. Các tuyến đường này thường đi qua địa hình phức tạp như vùng núi hoặc thung lũng, nơi có khối lượng đào sâu, đắp cao lớn, làm gia tăng nguy cơ mất ổn định mái dốc. Đây là mối nguy hiểm tiềm ẩn đối với công trình đường bộ, đòi hỏi phải được xem xét và tính toán ổn định một cách kỹ lưỡng ngay từ giai đoạn thiết kế.

Mái dốc nền đường thường có chiều dài lớn hơn nhiều so với chiều ngang, do đó trong tính toán ổn định mái dốc, bài toán thường được đưa về bài toán phẳng hai chiều. Sự mất ổn định thường xảy ra do hiện tượng trượt, bắt nguồn từ sự thay đổi bất lợi của trạng thái ứng suất, làm giảm khả năng kháng trượt của mái đất. Các yếu tố gây bất lợi có thể kể đến như: Động đất, rung động do hoạt tải, tải trọng đắp thêm trên đỉnh mái, cũng như những thay đổi địa chất - thủy văn như độ ẩm, mực nước ngầm hoặc mưa lớn kéo dài [1].

Phân tích ổn định mái dốc là nội dung quan trọng trong thiết kế và đảm bảo an toàn cho các công trình xây dựng và giao thông. Hiện nay có nhiều phương pháp được áp dụng, phổ biến nhất là phương pháp phân tích giới hạn (Limit Equilibrium Method-LEM), bên cạnh các phương pháp hiện đại như phương pháp phần tử hữu hạn (Finite Element Method-FEM). Trong đó, LEM vẫn được ưa chuộng nhờ tính đơn giản, hiệu quả và khả năng cung cấp hệ số an toàn một cách rõ ràng. Các biến thể như phương pháp mặt trượt trụ tròn, Fellenius, Bishop, Janbu và Morgenstern-Price đều thuộc nhóm này, với các giả định khác nhau về phân bố ứng suất và lực giữa các lát cắt. Việc lựa chọn phương pháp cụ thể phụ thuộc vào đặc điểm địa chất, điều kiện nền đất, yêu cầu thiết kế của từng công trình [2], cũng như khả năng tính toán của kỹ sư.

Trong thực hành tính toán cần thiết phải xác định mặt trượt nguy hiểm nhất, tương ứng với đó là hệ số an toàn về ổn định của mái dốc là nhỏ nhất (FoS_{min}). Việc xác định giá trị FoS_{min} có thể được thực hiện bằng thủ công truyền thống theo phương pháp do W. Fellenius đề xuất với độ chính xác thấp và tốn khá nhiều công sức [3]. Ngoài ra, FoS_{min} cũng có thể xác định bằng các công cụ tính toán thương mại viết bằng FEM như PLAXIS, GEO-SLOPE, ABAQUS... Tuy nhiên, việc xác định khác phức tạp, tốn nhiều thời gian phân tích mô hình và độ chính xác phụ thuộc vào năng lực khai báo của kỹ sư.

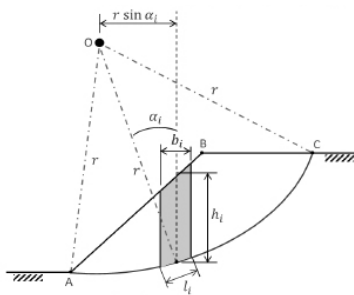
Gần đây, các kỹ thuật trí tuệ nhân tạo như ANN và GA đã được nghiên cứu ứng dụng vào phân tích ổn định mái dốc [4-6]. Những công cụ này có khả năng xử lý dữ liệu phức tạp, rút ngắn thời gian tính toán và hỗ trợ ra quyết định nhanh chóng. Tuy vậy, để đảm bảo độ tin cậy, đặc biệt trong các điều kiện địa chất không đồng nhất hoặc thiếu dữ liệu thực nghiệm, việc kết hợp với các phương pháp truyền thống vẫn là cần thiết.

Từ những phân tích trên, có thể thấy việc tích hợp giữa phương pháp truyền thống và trí tuệ nhân tạo là một hướng tiếp cận đầy tiềm năng nhằm nâng cao hiệu quả và độ chính xác trong phân tích ổn định mái dốc. Do đó, nghiên cứu này bước đầu đề xuất kết hợp mô hình ANN và GA, từ đó xác định hệ số an toàn và dự đoán mặt trượt nguy hiểm của mái dốc một cách hiệu quả, tự động và có thể mở rộng cho các điều kiện phức tạp trong thực tế.

2. PHƯƠNG PHÁP ĐỀ XUẤT

2.1. Lý thuyết tính ổn định theo Fellenius

Theo [3], mặt trượt của mái đất dính, đồng nhất, có dạng cong gần như mặt trụ. Tại đỉnh mái, phương của mặt trượt gần như thẳng đứng, sau đó, càng xuống phía dưới thì càng thoải dần và tại chân mái thì tiếp xúc với mặt nằm ngang. Từ nhận xét đó, người ta ra giải thiết mặt trượt có dạng mặt trụ tròn để tính toán. Bằng cách phân khối trượt giả định thành những mảnh nhỏ bằng những mặt phẳng đứng song song, có thể dùng phương pháp trụ tròn để giải quyết nhiều trường hợp phức tạp của mái đất. Chính vì vậy, phương pháp này hiện nay được ứng dụng rộng rãi.

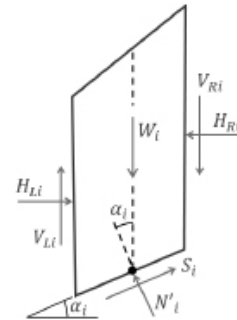


Hình 1. Mặt trượt trụ tròn với các lát cắt thẳng đứng

Trong Hình 1, cung trượt được chia thành n lát cắt thẳng đứng. Điểm O là tâm của cung trượt tròn có bán kính r , đồng thời cũng

được chọn làm điểm tính mô-men nhằm đơn giản hóa việc tính toán mô-men cản và mô-men gây trượt.

Với lát cắt thứ i : gọi b_i , h_i và l_i lần lượt là chiều rộng, chiều cao theo đường tâm và chiều dài đáy của lát cắt. Góc nghiêng α_i xác định phương của đáy lát cắt thứ i so với phương nằm ngang, xem Hình 2.



Hình 2. Sơ đồ lực tác dụng lên lát cắt thứ

Trong đó: W_i - Trọng lượng của lát cắt thứ i , $N_i = W_i \cos \alpha_i$ - Lực pháp tuyến; u_i - Áp lực nước lỗ rỗng; $N'_i = N_i - u_i$ - Lực pháp tuyến có hiệu tại đáy lát cắt; S_i - Lực kháng trượt tại đáy lát cắt; H_{Ti} và H_{Pi} - Lần lượt là lực pháp tuyến, nằm ngang, bên trái và bên phải của lát cắt. Tương tự, V_{Ti} và V_{Pi} - Các lực tiếp tuyến, thẳng đứng, bên trái và bên phải của lát cắt.

Hệ số an toàn (Factor of Safety, FoS) là tham số chính để đánh giá ổn định mái dốc. Tham số này phản ánh các bất định trong điều kiện đất, tải trọng và kinh nghiệm thiết kế, đóng vai trò như một công cụ thực tiễn để đảm bảo độ tin cậy trong điều kiện không chắc chắn hoặc thay đổi. FoS thường được xác định theo phương pháp cân bằng giới hạn, dựa trên cân bằng ứng suất, cân bằng lực hoặc cân bằng mô-men.

Đối với mặt trượt dạng hình trụ tròn, phương pháp Fellenius thường được áp dụng vì tính giản đơn và dễ áp dụng. Khi đó, FoS được tính bằng tỷ số giữa tổng mô-men cản M_c và tổng mô-men gây trượt M_t trên mặt trượt, công thức như sau [1-3]:

$$FoS = \frac{M_c}{M_t} = \frac{\sum_{i=1}^n [c'_i l_i + (W_i \cos \alpha_i - u_i l_i) \tan \phi'_i]}{\sum_{i=1}^n (W_i \sin \alpha_i)} \quad (1)$$

Trong đó: c'_i - Cường độ lực dính có hiệu và ϕ'_i - Góc ma sát trong có hiệu, xác định theo điều kiện xét đến áp lực nước lỗ rỗng.

Mái dốc được coi là ổn định nếu $FoS > 1$, ở trạng thái giới hạn khi $FoS = 1$ và không ổn định nếu $FoS < 1$. Trong thực hành thiết kế, hệ số an toàn thường được yêu cầu nằm trong khoảng 1,25 đến 1,5 đối với điều kiện tĩnh [3]. Theo TCVN 13346:2021 [7], hệ số an toàn tối thiểu yêu cầu phụ thuộc vào phân loại đường. Hệ số an toàn tối thiểu là 1,3 đối với đường cao tốc, 1,25 cho đường cấp I-II, 1,2 cho đường cấp III-VI, 1,15 cho đường cấp tỉnh và 1,1 cho đường nông thôn.

2.2. Ứng dụng trí tuệ nhân tạo

Phương pháp Fellenius đã trình bày ở công thức (1) giúp xác định được hệ số an toàn của mái dốc đối với cung trượt đã được xác định trước: Tâm trượt O tại tọa độ (x_o, y_o) và bán kính r . Trong thực hành tính toán, cần thiết phải xác định mặt trượt nguy hiểm nhất, tương ứng với đó là hệ số an toàn về ổn định của mái dốc nhỏ nhất (FoS_{min}). Như đã trình bày ở trên, việc xác định FoS_{min} tốn khá nhiều thời gian và công sức. Do đó, bài báo đề xuất sử dụng ANN-GA để dự đoán và tìm mặt trượt nguy hiểm. Quy trình này được thực hiện thông qua lưu đồ như Hình 3, mô phỏng bằng công cụ MATLAB/M-file với các bước cụ thể như sau:

* Bước 1: Tạo dữ liệu huấn luyện cho ANN:

- Sinh ngẫu nhiên một tập hợp lớn các mặt trượt tròn, mỗi mặt được mô tả bằng tọa độ tâm (x_o, y_o) và bán kính r ;
- Xác định cho từng mặt trượt bằng phương pháp Fellenius,

công thức (1);

- Tập dữ liệu huấn luyện bao gồm: Đầu vào là $[x_0, y_0, r]$ và đầu ra là FoS.

* **Bước 2: Huấn luyện mạng nơ-ron:**

- Sử dụng hàm fitness trong MATLAB để xây dựng mạng nơ-ron nhiều lớp;

- Dữ liệu đầu vào là 3 đặc trưng hình học của mặt trượt, đầu ra là giá trị FoS tương ứng;

- Sau khi huấn luyện, mạng ANN có khả năng ước lượng nhanh FoS cho bất kỳ mặt trượt tròn mới nào mà không cần tính toán theo phương pháp cổ điển.

* **Bước 3: Áp dụng GA để tìm mặt trượt nguy hiểm:**

GA được sử dụng để tìm ra tổ hợp (x_0, y_0, r) sao cho FoS là nhỏ nhất, bằng cách tối ưu hóa hàm mục tiêu (fitness function);

GA hoạt động qua ba bước như sau:

- **Bước 3.1: Mã hóa cá thể:**

+ Mỗi cá thể trong quần thể GA đại diện cho một mặt trượt và được mã hóa dạng:

$$\text{Individual} = [x_0, y_0, r] \quad (2)$$

- **Bước 3.2: Hàm mục tiêu:**

+ Với mỗi cá thể, FoS được ước lượng nhanh thông qua ANN;

+ Hàm mục tiêu tối ưu:

$$\text{Fitness} = \frac{1}{\text{FoS}} \quad (3)$$

+ Tối ưu hóa hàm fitness tương đương với việc tìm mặt trượt có $\text{FoS}_{\min}$.

- **Bước 3.3: Quá trình tiến hóa GA:**

+ Khởi tạo quần thể ban đầu gồm nhiều mặt trượt tròn ngẫu nhiên;

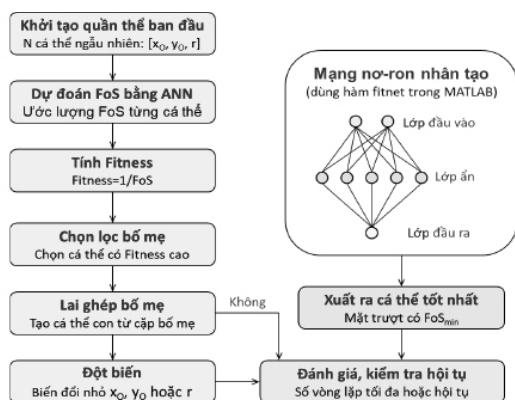
+ Đánh giá cho mỗi cá thể thông qua mạng ANN đã huấn luyện;

+ Chọn lọc các cá thể tốt nhất ($\text{FoS}_{\min}$) để làm bố mẹ;

+ Lai ghép: Kết hợp thông tin của hai cá thể bố mẹ để tạo cá thể con;

+ Đột biến: Biến đổi ngẫu nhiên nhỏ vào tọa độ hoặc bán kính để đảm bảo tính đa dạng;

+ Quá trình lặp lại qua nhiều thế hệ đến khi hội tụ hoặc đạt số vòng lặp tối đa.



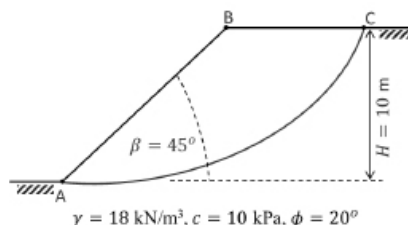
Hình 3. Quy trình ANN-GA tìm mặt trượt nguy hiểm

3. TÍNH TOÁN SỐ VÀ SO SÁNH KẾT QUẢ

Tiến hành kiểm chứng kết quả số bằng cách áp dụng phương pháp đề xuất ANN-GA và phương pháp truyền thống Fellenius để tìm hệ số ổn định nhỏ nhất tương ứng với cung trượt nguy hiểm nhất. Quá trình thực hiện tính toán được thực hiện thông qua công cụ MATLAB/M-file.

Giả thiết rằng mái dốc nền đường có địa chất đất nền là đồng nhất, một lớp địa chất, mực nước ngầm thấp nên không ảnh hưởng đến mái dốc. Số liệu cụ thể như sau: Mái dốc có độ cao $H = 10$ m, góc nghiêng $\beta = 45^\circ$; địa chất đất nền có trọng lượng thể tích $\gamma =$

18 kN/m^3 , cường độ lực dính kết $c = 10 \text{ kPa}$, góc ma sát trong $\phi = 20^\circ$, xem Hình 4.



Hình 4. Các thông số đặc trưng về kích thước và tính chất của mái dốc nền đường
Khi đó, các tham số ANN và GA được sử dụng trong mô phỏng MATLAB/M-file như sau:

- Mạng nơ-ron nhân tạo ANN:

+ Cấu trúc: 3 đầu vào (x_0, y_0, r) , 1 lớp ẩn với 10 nơ-ron, 1 đầu ra;

+ Dữ liệu huấn luyện: 1.000 mẫu sinh ngẫu nhiên, FoS tính bằng phương pháp Fellenius.

- Thuật toán di truyền GA:

+ Kích thước quần thể: 50 cá thể; số thế hệ: 30; tỉ lệ đột biến: 0,1;

+ Giới hạn tham số: $x \in [1, L-1]$, $y \in [0,5, L-0.1]$, $r \in [3,10]$. Chiều dài mái dốc, m.

Kết quả thu được: Giá trị hệ số an toàn nhỏ nhất $\text{FoS}_{\min}$ ứng với mặt trượt tròn nguy hiểm nhất thu được từ phương pháp ANN-GA do bài báo đề xuất là 1,213. Trong khi đó, thực hiện tính toán theo phương pháp truyền thống do Fellenius đề xuất là 1,198. Suy ra, độ lệch giữa hai phương pháp là (%). Có thể nhận thấy độ lệch giữa hai phương pháp là rất bé, dưới 2%.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã đề xuất phương pháp kết hợp ANN-GA để xác định nhanh hệ số an toàn mái dốc nền đường ứng với mặt trượt nguy hiểm. Quá trình mô phỏng được thực hiện qua công cụ MATLAB/M-file. Kết quả tính toán cho ví dụ minh họa cho thấy, hệ số an toàn ước lượng bằng ANN-GA gần với phương pháp Fellenius truyền thống, với sai lệch giữa hai phương pháp ứng với ví dụ số chỉ là 1,25%. Phương pháp này giúp rút ngắn thời gian tính toán và giảm phụ thuộc vào kinh nghiệm của kỹ sư.

Kiểm nghiệm, các nghiên cứu tiếp theo nên tiến hành kiểm chứng phương pháp do bài báo đề xuất với nhiều bài toán khác nhau, so sánh với kết quả từ FEM. Mở rộng phương pháp để xử lý các bài toán với điều kiện địa chất mái dốc phức tạp, hệ nhiều lớp, xét đến ảnh hưởng của nước ngầm hoặc mái dốc có các giải pháp gia cường. Mục tiêu là phát triển một công cụ tính toán nhanh, chính xác và tin cậy, hỗ trợ thiết kế an toàn cho các công trình giao thông.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Abramson, L. W., Lee, T. S., Sharma, S., & Boyce, G. M. (2001), Slope stability and stabilization methods, John Wiley & Sons.
- [2]. Cheng, Y. M., & Lau, C. K. (2008), Slope stability analysis and stabilization: new methods and insight. CRC press.
- [3]. Bùi Anh Định (2006), Cơ học đất, NXB. Xây dựng.
- [4]. Lê, T. N., Mai, C. H., Nguyễn, H. T. H., Trần, C. A., Trương, V. N., Phan, T. K., & Nguyễn, M. T. (2025), Đánh giá ổn định mái dốc dựa trên phương pháp phần tử hữu hạn và các mô hình nơ-ron nhân tạo, Tạp chí Vật liệu và Xây dựng - Bộ Xây dựng, 15(03), 201tr.
- [5]. Khoa, N. Đ., Du, N. Đ., Tùng, T. H. D., Danh, N. C., & Bình, N. Đ. (2023), Áp dụng mô hình ANN trong mái dốc hình nón không chống đỡ trên nền sét không đồng nhất và không đẳng hướng, Tạp chí Khoa học Lạc Hồng, 1(15), 84-90.
- [6]. Tuấn, V. V. (2020), Lựa chọn cấu trúc mạng nơ-ron nhân tạo (ANN) dự báo chỉ số nén của đất, Tạp chí Khoa học công nghệ Xây dựng, 3, 67-75.
- [7]. Bộ GTVT (2021), TCVN 13346:2021 - Công trình phòng chống đất sụt trên đường ô tô - Yêu cầu khảo sát và thiết kế.

Nghiên cứu bộ tiêu chí đánh giá thương hiệu cảng biển: Trường hợp cảng biển Hải Phòng

Research on criteria for evaluating seaport brands: The case of Hai Phong seaport

> PGS.TS HỒ THỊ THU HÒA

Trường Đại học Quốc tế, Đại học Quốc gia TP.HCM

Email: htthoa@hcmiu.edu.vn

TÓM TẮT

Trong bài báo này, bộ tiêu chí nhằm đánh giá thương hiệu cảng biển Hải Phòng được xây dựng căn cứ cơ sở lý luận kết hợp với nghiên cứu thực tiễn về thương hiệu và thương hiệu cảng biển của các nghiên cứu trước đó trên thế giới cũng như xem xét tính chất đặc trưng của khu vực cảng biển tại TP Hải Phòng. Phương pháp chính thức được sử dụng trong nghiên cứu là phân tích thứ bậc theo chỉ số mờ (Fuzzy Analytic Hierarchy Process - FAHP). Theo đó, bộ tiêu chí bao gồm 13 nhóm tiêu chí được sắp xếp theo thứ tự giảm dần về mức độ quan trọng, góp phần quan trọng trong quá trình xây dựng chiến lược phát triển thương hiệu cảng biển Hải Phòng hướng tới chuyển đổi số và chuyển đổi xanh cũng như khẳng định vị thế ở tầm khu vực và quốc tế.

Từ khóa: Cảng biển; Fuzzy; logistics và quản lý chuỗi cung ứng; phân tích thứ bậc; thương hiệu.

ABSTRACT

In this paper, the set of criteria for evaluating the brand of Hai Phong seaport will be developed based on theoretical foundations combined with practical research on branding and seaport branding by renowned authors worldwide, as well as the specific characteristics of the seaport area in Hai Phong city. The main method used in the study is the Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP). Accordingly, the set of criteria includes 13 groups, ranked in descending order of importance, which were found to be crucial in the process of building the Hai Phong seaport brand development strategy aiming towards digital transformation and green transition, while affirming its position at the regional and international levels.

Keywords: Seaport; Fuzzy; logistics and supply chain management; analytic hierarchy Process; branding.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cảng biển Hải Phòng với vị trí chiến lược quan trọng trong hệ thống logistics quốc gia đóng vai trò then chốt trong việc kết nối Việt Nam với các thị trường quốc tế. Để nâng cao năng lực cạnh tranh và thu hút đầu tư, thương hiệu của cảng biển này cần được xây dựng và phát triển một cách bài bản, có chiến lược rõ ràng. Tuy nhiên, việc đánh giá thương hiệu cảng biển gặp phải nhiều thách thức do tính chất phức tạp và đa dạng của các yếu tố ảnh hưởng, từ cơ sở hạ tầng, chất lượng dịch vụ đến yếu tố môi trường và sự hội nhập quốc tế. Mặc dù Hải Phòng đã có những bước tiến lớn trong việc nâng cao chất lượng dịch vụ cảng biển, cơ sở hạ tầng và quy mô hoạt động, nhưng việc xây dựng một bộ tiêu chí đánh giá thương hiệu rõ ràng, đồng bộ và phù hợp với xu hướng phát triển bền vững của ngành Logistics vẫn chưa được thực hiện một cách khoa học và có hệ thống. Điều này tạo ra sự thiếu hụt trong việc đánh giá đúng giá trị thương hiệu của cảng Hải Phòng, từ đó ảnh hưởng đến việc xây dựng chiến lược phát triển thương hiệu trong tương lai. Vì vậy, “Nghiên cứu bộ tiêu chí đánh giá thương hiệu cảng biển: Trường hợp cảng biển Hải Phòng” nhằm cung cấp cơ sở khoa

học và thực tiễn cho việc xây dựng chiến lược phát triển thương hiệu cảng biển Hải Phòng trong giai đoạn 2023 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050. Bộ tiêu chí này sẽ xem xét các khía cạnh quan trọng như cơ sở hạ tầng, chất lượng dịch vụ, năng lực cạnh tranh và các khía cạnh đặc thù khác của cảng biển Hải Phòng tác động đến sự phát triển của thương hiệu cảng biển của thành phố này.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Trong bài báo này, phương pháp phân tích thứ bậc theo logic mờ (Fuzzy Logic) sẽ được áp dụng. Logic mờ được hiểu đơn giản là một phương pháp lập luận, nó khá giống với khả năng lý luận của con người. Bên cạnh đó, hệ thống này có một cách tiếp cận để ra quyết định tương tự như con người, dựa vào tất cả các khả năng trung gian giữa các giá trị kỹ thuật số CÓ và KHÔNG. Hệ thống Logic mờ được phát minh bởi Lotfi Zadeh làm việc với các sự kiện không chính xác vì khi ra quyết định, chúng ta sẽ có một loạt khả năng trung gian giữa CÓ và KHÔNG. Phương pháp lập luận này không đưa ra lý luận chính xác 100%, nhưng lý luận từ Fuzzy Logic đưa ra

sẽ nằm ở mức chấp nhận được đối với việc giải quyết các vấn đề liên quan đến sự không chắc chắn. Đối với hoạt động liên quan đến cảng biển, Fuzzy Logic được áp dụng trong Đánh giá chất lượng dịch vụ cảng [1]; Đánh giá nhân tố lựa chọn cảng container [2]; Xác định các khía cạnh liên quan đến cảng biển thông minh [3] và một số vấn đề khác.

Các tiêu chí sau đó sẽ được tổng hợp và phân tích theo phương pháp phân tích thứ bậc Buckley dưới chỉ số Fuzzy (The Fuzzy analytic hierarchy process Buckley - Buckley's FAHP). Thuật toán Fuzzy-AHP Buckley được sử dụng để xác định trọng số tiêu chí vì nó thực tế hơn trong việc mở rộng sang các trường hợp mờ và đảm bảo một giải pháp duy nhất cho việc so sánh ma trận. Trong phương pháp Buckley, các phần tử định giá âm được coi là chuỗi đảo ngược của các số mờ từ các phần tử định giá dương tương ứng [4]. Thật dễ dàng để tính trọng số bằng cách sử dụng kỹ thuật lấy trung bình hình học bằng cách mở rộng nó thành ma trận mờ nghịch đảo dương Λ^+ . Cho ma trận phản hồi dương $A = [a_{ij}]$. Sau đây là các bước xếp hạng từng tiêu chí bằng phương pháp này:

Tính giá trị trung bình hình học của mỗi dòng theo công thức (1):

$$r_i = \left(\prod_{j=1}^n a_{ij} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (1)$$

Trong đó: $\tilde{a}_{ij}$ - Điểm so sánh mờ của tiêu chí i với tiêu chí j , do đó, $\tilde{r}_i$ là trung bình hình học từ điểm so sánh mờ của tiêu chí i cho từng tiêu chí. Kết quả trung bình hình học mờ $\tilde{r}_i$, như công thức (2):

$$\tilde{r}_i = (l_{ri}, m_{ri}, u_{ri}) = \left[\left(\prod_{j=1}^n l_{ij} \right)^{\frac{1}{n}}, \left(\prod_{j=1}^n m_{ij} \right)^{\frac{1}{n}}, \left(\prod_{j=1}^n u_{ij} \right)^{\frac{1}{n}} \right] \quad (2)$$

Nói cách khác, để xác định mức độ quan trọng bằng cách tính trung bình hình học ở mỗi hàng, cụ thể là bằng cách lấy căn n của phép nhân các giá trị trong các ô chứa trong hàng của ma trận, n là số tiêu chí/phương án thay thế. Khi đó, $w_i = r_i / (r_1 + \dots + r_m)$, nếu A nhất quán thì trung bình của phương pháp hình học luôn cho kết quả có cùng trọng số với kỹ thuật $\lambda_{\max}$ Saaty và nếu $m = 3$, cả hai phương pháp đều tính trọng số như nhau. Người ta thấy rằng $m > 3$, các kết quả bằng số về trọng số trong cả hai quy trình đều gần nhau.

Sau đó, tính trọng số mờ cho từng tiêu chí theo công thức (3):

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i * (\tilde{r}_1 + \tilde{r}_2 + \dots + \tilde{r}_n)^{-1} \quad (3)$$

Hay nói cách khác, cộng theo chiều dọc giá trị dưới (l), giá trị giữa (m) và giá trị trên (u) của tất cả các mức độ quan trọng của tiêu chí. Đối với mỗi tiêu chí: Điểm dưới chia cho tổng điểm cao nhất, điểm ở giữa chia cho tổng điểm ở giữa, điểm cao nhất chia cho tổng điểm cuối.

Sau đó thực hiện giải mờ, đây là một quá trình thay đổi đầu ra ở dạng mờ $\tilde{w}_i$ thành một đầu ra duy nhất (sắc nét) w_i . Sau khi biết giá trị rõ ràng của từng tiêu chí, trọng số cuối cùng của từng tiêu chí có thể được xác định bằng cách chuẩn hóa giá trị rõ ràng bằng cách cộng tất cả các giá trị rõ ràng và từng giá trị rõ ràng của từng tiêu chí chia cho tổng các giá trị rõ ràng.

3. PHÂN TÍCH VÀ KẾT QUẢ

3.1. Xây dựng tiêu chí ban đầu

Dựa trên kết quả khảo sát và phỏng vấn từ bảng câu hỏi được nhóm nghiên cứu xây dựng từ quá trình lược khảo các tài liệu trong và ngoài nước và nội dung phỏng vấn các chuyên gia (được lựa chọn căn cứ các tiêu chí như chuyên môn, kinh nghiệm, lĩnh vực hoạt động...) theo định hướng so sánh mức độ tác động theo từng cặp tiêu chí dưới chỉ số Fuzzy (Fuzzy Logic), các mô hình nghiên cứu về cảng và kết quả đúc kết được từ kinh nghiệm thành công của các cảng biển lớn trên thế giới. Qua quá trình lược khảo các tài liệu có liên quan đến thương hiệu và cảng biển của thế giới và của Việt Nam, nhóm nghiên cứu đã xác định được các tiêu chí tác động đến

việc phát triển thương hiệu cảng biển có thể phù hợp khi phân tích thực trạng hoạt động của cảng biển Hải Phòng và được tổng hợp ở Bảng 1.

Bảng 1. Tổng hợp các tiêu chí tác động đến việc phát triển thương hiệu cảng biển

TT	Tiêu chí	Tác giả
1	Mức độ hài hòa trong mối quan hệ quản lý - lao động - chính quyền	[5];[6]
2	Thủ tục hải quan, quy định chung và của cảng	[5]; [7]
3	Chính sách phát triển và hệ thống logistics hỗ trợ của Nhà nước	[5]
4	Phí, giá và chính sách giá	[5]; [8]; [9]
5	Khả năng phục vụ tàu lớn và siêu lớn	[9]; [10]
6	Khả năng vận hành, khai thác cảng	[10]
7	Mức độ chất lượng dịch vụ	[11]
8	Các dịch vụ hỗ trợ	[5]; [12]
9	Khả năng đáp ứng công nghệ	[6]; [7]
10	Khả năng kết nối luồng hàng hải quốc tế	[6]; [7]
11	Khả năng kết nối hạ tầng giao thông nội địa	[5]; [6].
12	Khả năng chuyển đổi xanh, phát triển bền vững	[13]; [14]

Cảng biển Hải Phòng với hơn 130 năm hình thành và phát triển, đã chuyển mình từ bãi lầy thành cảng biển sầm uất. Thời phong kiến, khu vực này chỉ là bến Ninh Hải, thuộc tỉnh Hải Dương (cũ). Đến năm 1874, Hoàng Diệu - bến cảng đầu tiên của Hải Phòng được xây dựng trên khu đất ven sông Cấm và có đường sắt kết nối trực tiếp đến cảng. Đây là một đặc điểm nổi bật, được các chuyên gia đề xuất tiêu chí "Truyền thống cảng biển", trở thành yếu tố quan trọng trong việc đánh giá thương hiệu cảng Hải Phòng. Từ đó, các tiêu chí chính được xem xét đánh giá bao gồm 13 tiêu chí với 12 tiêu chí từ lược khảo tài liệu và 1 tiêu chí đặc biệt đối với cảng biển Hải Phòng - Truyền thống cảng biển.

Sau khi thực hiện phân tích theo phương pháp Buckley's FAHP được mô tả phía trên, kết quả mức độ trọng số sẽ được tìm thấy và kết quả sau cùng sẽ được thể hiện ở Bảng 2.

Bảng 2. Trọng số của các tiêu chí chính sau khi áp dụng phương pháp Buckley's FAHP

TT	Tiêu chí chính	Ký hiệu	Trọng số
1	Khả năng kết nối luồng hàng hải quốc tế	TC10	0,259
2	Thủ tục hải quan và quy định chung và của cảng	TC2	0,143
3	Khả năng chuyển đổi xanh, phát triển bền vững	TC12	0,122
4	Khả năng phục vụ tàu biển lớn và siêu lớn	TC5	0,105
5	Truyền thống cảng biển	TC13	0,085
6	Chính sách phát triển cảng và hệ thống logistics hỗ trợ của Nhà nước	TC3	0,078

TT	Tiêu chí chính	Ký hiệu	Trọng số
7	Khả năng vận hành, khai thác cảng	TC6	0,059
8	Mức độ hài hòa trong mối quan hệ quản lý - lao động - chính quyền	TC1	0,039
9	Khả năng đáp ứng về công nghệ	TC9	0,030
10	Khả năng kết nối hạ tầng giao thông nội địa	TC11	0,029
11	Mức độ chất lượng dịch vụ cảng biển	TC7	0,024
12	Các dịch vụ hỗ trợ	TC8	0,015
13	Phí, giá và chính sách giá	TC4	0,013

Từ Bảng 2, các tiêu chí quan trọng nhất trong việc đánh giá thương hiệu cảng biển Hải Phòng, với trọng số trên 10%, bao gồm: Khả năng kết nối luồng hàng hải quốc tế (0,259), Thủ tục hải quan và quy định chung của cảng (0,143), Khả năng chuyển đổi xanh, phát triển bền vững (0,122) và Khả năng phục vụ tàu biển lớn và siêu lớn (0,105). Các tiêu chí tiếp theo, với mức độ quan trọng từ 5% đến 10%, gồm: Truyền thống cảng biển (0,085), Chính sách phát triển cảng và hệ thống logistics hỗ trợ của Nhà nước (0,078) và Khả năng vận hành, khai thác cảng (0,059). Cuối cùng, các tiêu chí có trọng số dưới 5% có thể được xem xét trong đánh giá ngắn hạn hoặc dài hạn. Do đó, để đảm bảo hiệu quả trong việc đánh giá thương hiệu cảng biển Hải Phòng, cần ưu tiên lựa chọn các chuyên gia có chuyên môn phù hợp với 4 tiêu chí quan trọng đầu tiên.

4. KẾT LUẬN

Bài báo tập trung phân tích và xây dựng bộ tiêu chí đánh giá thương hiệu cảng biển Hải Phòng đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050. Thông qua thu thập dữ liệu sơ cấp và thứ cấp theo yêu cầu từ phương pháp phân tích thứ bậc dưới logic mờ (Fuzzy AHP), bằng các công cụ xử lý định lượng mạnh, nghiên cứu đã chỉ ra các tiêu chí giữ vai trò then chốt tác động đến kết quả của quá trình đánh giá thương hiệu cảng biển Hải Phòng. Kết quả từ bài báo này được kỳ vọng góp phần tạo nên những thay đổi tích cực về nhận thức cũng như về tầm quan trọng của các nghiên cứu chuyên sâu với mục tiêu thúc đẩy phát triển hệ thống cảng biển tại Việt Nam theo hướng chuyển đổi số và chuyển đổi xanh gắn kết với bối cảnh sáp nhập tỉnh, thành phố trong cả nước.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Quý, N. T., & Hưng, N. B. (2020), Đánh giá chất lượng dịch vụ cảng có ứng dụng FUZZY AHP và mô hình IAP, Tạp chí Phát triển bền vững vùng, 3(9).

[2]. Thắng, N. Q., Tuyết Lan, N. T., Nguyễn, H. T., Dâng, P. D., & Hạnh Tâm, V. T. (2024), Đánh giá nhân tố lựa chọn cảng container: Ứng dụng phương pháp Fuzzy AHP, Tạp chí khoa học và Công nghệ, Đại học công nghệ Đồng Nai, 01.

[3]. Karlı, H., Celikey, H., & Öztaş Karlı, R. (2021), Fuzzy AHP approach to the determination of smart port dimensions: A case study on Filyos Port. Marine Policy, 9, 322-336.

[4]. Pan, N. F. (2008), Fuzzy AHP approach for selecting the suitable bridge construction method, Automation in Construction, 17(8), 958-965.

[5]. Kaliszewski, A., Kozłowski, A., Dąbrowski, J., & Klimek, H. (2020), Key factors of container port competitiveness: A global shipping lines perspective, Marine Policy, 103896, <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.103896>.

[6]. Mwenda, M. J., & Zhihong, J. (2020), SWOT-AHP combined model analysis of the factors affecting sustainable development of Dar es Salaam Seaport in Tanzania,

International Research Journal of Advanced Engineering and Science, 5(4), 39-46.

[7]. Kammoun, R., & Abdennadher, C. (2023), Determinants of seaport efficiency: An analysis of European container ports, Journal of Maritime Research, 20(1).

[8]. Ghiara, H., & Tei, A. (2021), Port activity and technical efficiency: Determinants and external factors, Maritime Policy & Management, 48(5), 711-724.

[9]. Caldas, P., Pedro, M. I., & Marques, R. C. (2024), An assessment of container seaport efficiency determinants, Sustainability, 16(11), 4427.

[10]. Nwokedi, T., Ndikom, O., Okoroji, L., & Nwaorgu, J. (2021), Determinant port-related factors affecting the flow of shipping trade and logistics in Nigerian seaports, LOGI - Scientific Journal on Transport and Logistics, 12, 261-270.

[11]. Samarah, T., Bayram, P., Aljuhmani, H. Y., & Elrehail, H. (2021), The role of brand interactivity and involvement in driving social media consumer brand engagement and brand loyalty: The mediating effect of brand trust, Journal of Research in Interactive Marketing (Print), 16(4), 648-664.

[12]. Puspita, M., & Pardede, R. (2023), The influence of brand awareness and electronic word of mouth on purchase decisions with TikTok social media marketing live stream as mediation: A study on brand cosmetic product consumers; Skintific in Indonesia, Jurnal Indonesia Sosial Sains, 4(11), 1142-1153.

[13]. Cui, L., Chen, L., & Yang, X. (2024), Evaluation and analysis of green efficiency of China's coastal ports under the "double carbon" goal: Two improved DEA models with CO₂ emissions, Environment, Development and Sustainability, 26(11), 29099-29128.

[14]. Alipour, S., MinbashRazgah, M. M., Feiz, D., Zarei, A., & Sorooshian, S. (2024), Strategic Sustainability in Branding: A Grounded Theory Approach to Developing a Sustainable Branding Model in Ports, Journal of Sustainable Marketing, 5(2), 177-195.

Các yếu tố ảnh hưởng đến công tác quy hoạch không gian ngầm trong phát triển giao thông đô thị tại TP.HCM

Factors influencing underground space planning for urban transportation development in Ho Chi Minh City

> PGS.TS TRẦN QUANG PHÚ¹, THS TRẦN MINH CƯỜNG^{2*}

¹Trường Đại học Giao thông vận tải TP.HCM

²Đại học Quốc gia TP.HCM

*Email: tmcuong@vnuhcm.edu.vn

TÓM TẮT

Trong bối cảnh đô thị hóa, việc quy hoạch và phát triển không gian ngầm đang trở thành một yêu cầu cấp thiết đối với TP.HCM. Bài báo tập trung phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến công tác quy hoạch không gian ngầm trong giao thông đô thị thông qua khảo sát 244 chuyên gia và người lao động trong lĩnh vực quy hoạch, xây dựng, giao thông. Nghiên cứu đã xác định 7 nhóm yếu tố chính tác động đến công tác quy hoạch không gian ngầm, bao gồm: Hạ tầng giao thông (HTGT), kinh tế - tài chính (KTTC), kỹ thuật - công nghệ (KTCN), môi trường - xã hội (MTXH), pháp lý - chính sách (PLCS), tổ chức bộ máy (TCBM) và công cụ quản lý (CCQL). Trên cơ sở đó, bài báo đề xuất các định hướng để hoàn thiện công tác quy hoạch không gian ngầm, hướng đến mục tiêu phát triển giao thông đô thị hiện đại, hiệu quả và bền vững.

Từ khóa: Không gian ngầm; giao thông đô thị; TP.HCM.

ABSTRACT

In the context of rapid urbanization, the planning and development of underground space has become an urgent requirement for Ho Chi Minh City. This paper focuses on analyzing the factors influencing the planning of underground space in urban transportation through a survey of 244 experts and workers in the fields of urban planning, construction and transportation. The study identifies seven key groups of factors affecting underground space planning, including: Transportation infrastructure, economic-financial aspects, technical-technological factors, environmental-social considerations, legal-policy frameworks, organizational structure and management tools. Based on these findings, the paper proposes strategic directions to improve underground space planning, aiming toward the development of a modern, efficient and sustainable urban transport system.

Keywords: Underground space; urban transportation; Ho Chi Minh City.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Quy hoạch không gian ngầm là một xu hướng tất yếu trong tiến trình phát triển đô thị hiện đại. Trong bối cảnh quỹ đất ngày càng thu hẹp, mật độ dân cư tăng cao và áp lực hạ tầng ngày một lớn, không gian ngầm trở thành giải pháp khả thi nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng đất, giảm thiểu ùn tắc giao thông và cải thiện chất lượng sống đô thị [1]. Nhiều đô thị phát triển như Tokyo, Seoul đã

triển khai hiệu quả các hệ thống giao thông và dịch vụ ngầm như tàu điện ngầm, bãi đỗ xe, trung tâm thương mại dưới lòng đất phát [2, 3]. Những công trình này không chỉ góp phần giải quyết các vấn đề về giao thông và không gian mà còn đóng vai trò quan trọng trong kiến tạo một hệ thống hạ tầng đồng bộ, hiện đại và linh hoạt.

Việc phát triển không gian ngầm cần một cách tiếp cận tích hợp và liên ngành, cần phải đánh giá đồng thời nhiều yếu tố như

đặc điểm địa chất, hiện trạng và khả năng đáp ứng của hệ thống hạ tầng kỹ thuật, tính khả thi tài chính - kinh tế, cũng như mức độ chấp nhận của cộng đồng cư dân. Sự thiếu phối hợp giữa các yếu tố này có thể dẫn đến lãng phí tài nguyên, khó khăn trong thi công và vận hành, thậm chí ảnh hưởng đến an toàn đô thị [4].

TP.HCM đang phải đối mặt với tốc độ đô thị hóa, việc phát triển không gian ngầm đã được quan tâm, đề cập trong các quy hoạch, các khu chức năng ngầm bước đầu đã được triển khai. Mặc dù đã có một số dự án lớn như tuyến metro số 1, các hầm chui tại các nút giao song hiệu quả tổng thể trong việc sử dụng không gian ngầm vẫn còn hạn chế. Tình trạng quá tải HTGT và hệ thống kỹ thuật ngầm hiện hữu như cấp thoát nước, điện lực, viễn thông, cùng với sự thiếu hụt các bãi đỗ xe ngầm đang là những vấn đề trong quản lý đô thị.

Việc nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến công tác quy hoạch không gian ngầm là cần thiết nhằm xác định rõ các nhóm nhân tố

chủ yếu tác động quá trình lập quy hoạch và triển khai không gian ngầm trong đô thị, từ đó đề xuất các giải pháp hoàn thiện về mặt kỹ thuật, chính sách và tổ chức quản lý.

2. THỰC TRẠNG QUY HOẠCH CÔNG TRÌNH NGẦM GIAO THÔNG ĐÔ THỊ TẠI TP.HCM

2.1. Đánh giá hiện trạng quy hoạch công trình ngầm

TP.HCM hiện đang đối mặt với nhiều thách thức về cơ sở hạ tầng, đặc biệt là trong lĩnh vực GTVT. Các dự án đường sắt đô thị ngầm vẫn đang trong quá trình xây dựng và chưa hoàn thiện, điều này làm tăng áp lực lên hệ thống giao thông nổi. Với tốc độ đô thị hóa nhanh và dân số ngày càng tăng, nhu cầu về một hệ thống giao thông hiệu quả và hiện đại trở nên cấp thiết. Việc phát triển giao thông ngầm giúp giảm tải cho hệ thống giao thông trên mặt đất, tạo không gian cho các hoạt động kinh tế và sinh hoạt đô thị.

Bảng 1. Các tuyến đường sắt đô thị tại TP.HCM theo quy hoạch [7]

STT	Tên dự án	Chiều dài (km)	Đoạn trên cao (km)	Đoạn đi ngầm (km)	Số ga	Ga trên cao	Ga ngầm
1	Tuyến metro số 1 (Bến Thành - Suối Tiên)	19,7	17,1	2,6	14	11	3
2	Tuyến metro số 2 giai đoạn 1 (Bến Thành - Tham Lương)	11,0	1,9	9,1	10	1	9
3	Tuyến metro số 2 giai đoạn 2 (đoạn Bến Thành - Thủ Thiêm và đoạn Tham Lương - Tây Ninh)	9,1	4,9	4,2	9	3	6
4	Tuyến metro số 3a giai đoạn 1 (Bến Thành - Bến xe Miền Tây)	9,89	2,42	7,47	10	2	8
5	Tuyến metro số 3a giai đoạn 2 (Bến xe Miền Tây - Ga Tân Kiên)	9,69	9,69	-	7	7	-
6	Tuyến metro số 3b (ngã 6 Cộng Hòa - Hiệp Bình Phước)	12,1	3,1	9	10	2	8
7	Tuyến metro số 4 (Thanh Xuân - Khu đô thị Hiệp Phước)	35,75	19,57	16,18	32	18	14
8	Tuyến metro số 4b (Công viên Gia Định - Lăng Cha Cả)	3,5	-	3,5	3	-	3
9	Tuyến metro số 5 giai đoạn 1 (Ngã tư Bảy Hiền - Cầu Sài Gòn)	8,9	1,4	7,5	9	1	8
10	Tuyến metro số 5 giai đoạn 2 (Bến xe Cần Giuộc mới - Ngã tư Bảy Hiền)	14,5	5,6	8,9	13	5	8
11	Tuyến metro số 6 (Bà Quẹo - Vòng xoay Phú Lâm)	6,8	-	6,8	7	-	7

Quy hoạch chung TP.HCM đến năm 2040, tầm nhìn đến năm 2060 [5] xác định công trình ngầm đóng vai trò quan trọng trong việc cung cấp các dịch vụ và tiện ích cho cư dân, đồng thời tạo điều kiện thuận lợi cho hoạt động kinh doanh và phát triển kinh tế. Việc tích hợp giao thông ngầm vào quy hoạch tổng thể giúp đảm bảo tính đồng bộ và hiệu quả trong phát triển hạ tầng đô thị [6]. Chính quyền Thành phố cũng đã và đang triển khai nhiều chính sách hỗ trợ phát triển giao thông ngầm, bao gồm việc huy động vốn đầu tư từ các nguồn lực trong và ngoài nước.

Thành phố đã có các chủ trương tận dụng tối đa không gian ngầm nhằm giảm thiểu chi phí giải phóng mặt bằng, đặc biệt hạn chế xung đột với các công trình cao tầng hiện hữu. Tuy nhiên, sự chậm trễ trong việc triển khai hệ thống đường sắt đô thị gây ra không chỉ làm gián đoạn kế hoạch phát triển hệ thống giao thông của TP.HCM mà còn làm giảm đi hiệu quả trong việc giảm ùn tắc giao thông và cải thiện chất lượng cuộc sống của người dân.

Quyết định số 56/2021/QĐ-UBND về quy chế quản lý kiến trúc trên địa bàn, định hướng khuyến khích kết nối các không gian công cộng, không gian ngầm đô thị, tạo ra mạng lưới đi bộ liên hoàn trong Thành phố [8]. Một số không gian ngầm đã được xác định nhằm phát triển cơ sở HTGT và tiện ích công cộng như: Dưới đường Lê Lợi, giữa Ga Bến Thành và Ga Nhà hát Thành phố sẽ được sử dụng để xây dựng các hạ tầng ngầm phục vụ giao thông đô thị.

2.2. Phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến công tác quy hoạch công trình ngầm giao thông đô thị tại TP.HCM

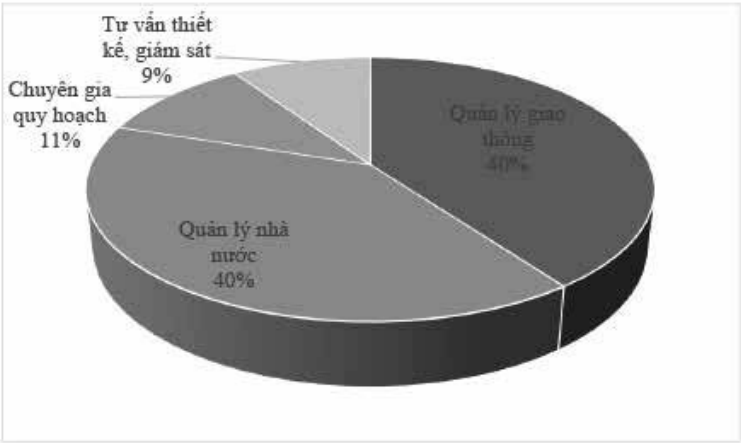
Nghiên cứu đề xuất mô hình có 7 biến độc lập và 1 biến phụ thuộc với 34 biến quan sát nhằm phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến công tác quy hoạch không gian ngầm trong phát triển giao thông đô thị tại TP.HCM [9]. Điều tra 250 phiếu khảo sát với đối tượng trả lời là chuyên gia quản lý giao thông, quản lý nhà nước, tư

vấn thiết kế, quy hoạch, giám sát, người lao động..., số phiếu hợp lệ thu về được đưa vào phân tích là 244 phiếu.

Bảng 2. Kết quả thống kê mô tả theo các biến đặc trưng của mẫu nghiên cứu

TT	Chỉ tiêu	Số lượng	Tỷ lệ (%)
1	Giới tính		
-	Nam	157	64,3%
-	Nữ	87	35,7%
2	Nhóm tuổi		
-	18 - 24 tuổi	3	1,2%
-	25 - 34 tuổi	99	40,6%
-	35 - 49 tuổi	124	50,8%
-	Trên 50 tuổi	18	7,4%
3	Lĩnh vực công tác		
-	Quản lý giao thông	76	31,1%
-	Quản lý nhà nước	76	31,1%
-	Chuyên gia quy hoạch	20	8,2%
-	Tư vấn thiết kế, giám sát	18	7,4%
-	Khác	54	22,1%
4	Thâm niên		
-	< 5 năm	57	23,4%
-	5-9 năm	42	17,2%
-	10-20 năm	121	49,6%
-	> 20 năm	24	9,8%

Các đối tượng tham gia khảo sát về quy hoạch không gian ngầm trong phát triển giao thông đô thị bao gồm sự tham gia của các chuyên gia, người lao động tập trung ở độ tuổi trung niên, kinh nghiệm và chuyên môn phù hợp trong các lĩnh vực quản lý giao thông.



Hình 1. Chuyên môn của các đối tượng tham gia khảo sát

Qua kiểm tra độ tin cậy của thang đo phân tích kiểm định Cronbach's Alpha và phân tích các nhân tố khám phá EFA cho thấy mô hình có 7 thang đo đảm bảo chất lượng tốt với 34 biến đặc trưng đạt yêu cầu đưa vào phân tích tiếp theo [10].

Bảng 3. Hệ số hồi quy

Coefficients ^a							
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
	Std. Error	Beta				VIF	
B							

1	(Constant)	-.464	.217		-2.138	.034		
	HTGT	.188	.032	.251	5.876	.000	.799	1.251
	KTTC	.181	.037	.220	4.854	.000	.707	1.415
	KTCN	.059	.041	.069	1.429	.154	.625	1.599
	MTXH	.163	.032	.215	5.047	.000	.802	1.246
	PLCS	.174	.038	.220	4.527	.000	.618	1.617
	TCBM	.169	.042	.179	3.987	.000	.719	1.391
	CCQL	.199	.043	.218	4.633	.000	.660	1.515
a. Dependent Variable: KGN								

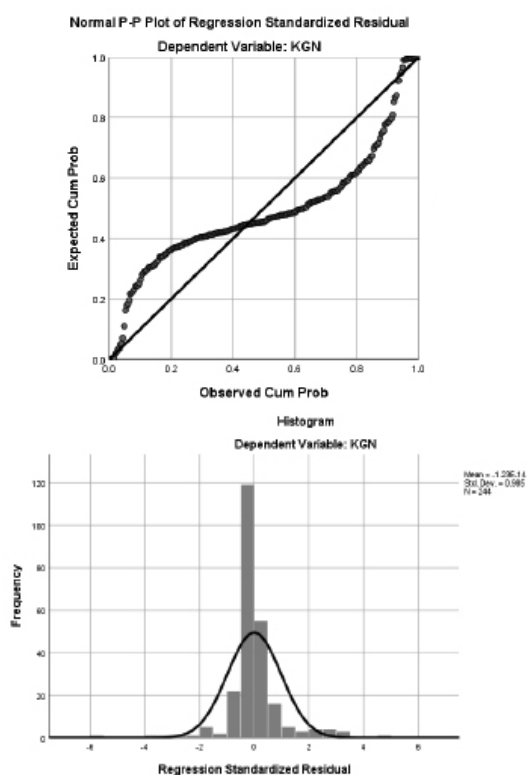
Theo kết quả, phương trình thể hiện mức độ ảnh hưởng của các biến độc lập lên biến phụ thuộc công tác quy hoạch không gian ngầm trong phát triển giao thông đô thị tại TP.HCM (KGN) như sau:

Phương trình thể hiện mức độ ảnh hưởng của 7 nhóm yếu tố chính tác động đến công tác quy hoạch không gian ngầm, bao gồm: HTGT, KTTC, KTCN, MTXH, PLCS, TCBM và CCQL:

$$KGN = 0,251 \times HTGT + 0,22 \times KTTC + 0,069 \times KTCN + 0,215 \times MTXH +$$

$$0,22 \times PLCS + 0,179 \times TCBM + 0,218 \times CCQL$$

Mô hình thể hiện mức độ ảnh hưởng tương đối của từng biến đến không gian ngầm. Cụ thể, HTGT (0,251) có tác động mạnh nhất, nghĩa là khi HTGT tăng thêm 1 đơn vị (và các yếu tố khác giữ nguyên), KGN sẽ tăng 0,251 đơn vị, trong khi KTCN (0,069) có hệ số thấp nhất, phản ánh khả năng công nghệ chưa được ứng dụng một cách hiệu quả.



Hình 2. Kiểm tra vi phạm các giả định cần thiết

Bảng 4. Tóm tắt mô hình hồi quy

Model Summary ^b					
Model	R	R ²	R ² hiệu chỉnh	Lỗi tiêu chuẩn	Mức ý nghĩa
1	.810a	.657	.646	.37326	1.783
a. Predictors: (Constant), CCQL, KTCN, HTGT, MTXH, TCBM, KTTC, PLCS					
b. Dependent Variable: KGN					

Chỉ số R^2 hiệu chỉnh = 0,646 lớn hơn 0,5, có nghĩa là 7 biến độc lập được đưa vào phân tích có ảnh hưởng đến 64,6% công tác quy hoạch không gian ngầm trong phát triển giao thông đô thị tại TP.HCM, 35,4% còn lại do các biến khác ngoài mô hình và sai số ngẫu nhiên [10].

Phần dư chuẩn hóa phân bố tập trung xung quanh đường tung độ 0, do vậy giả định quan hệ tuyến tính không bị vi phạm và mô hình hồi quy là phù hợp.

3. ĐỊNH HƯỚNG QUY HOẠCH CÔNG TRÌNH NGẦM GIAO THÔNG ĐÔ THỊ TẠI TP.HCM

Nhằm tổng hợp kết quả đánh giá và làm cơ sở để xuất các giải pháp, nghiên cứu phân tích và đề xuất giải pháp cho từng nhóm yếu tố theo thứ tự ảnh hưởng từ cao đến thấp:

Yếu tố HTGT hiện hữu và tiềm năng phát triển có hệ số tác động cao nhất ($\beta = 0,251$). Trong bối cảnh HTGT mật đất ở Thành phố đang dẫn trở nên quá tải, nhu cầu phát triển không gian ngầm trở nên cấp thiết nhằm giảm tải áp lực lưu thông, tối ưu hóa sử dụng đất và cải thiện hiệu suất vận hành của toàn bộ mạng lưới giao thông đô thị. Do đó, việc định hình và triển khai quy hoạch không gian ngầm cần được đặt trong mối quan hệ hữu cơ với chiến lược phát triển HTGT đô thị tổng thể, bảo đảm tính đồng bộ, tính kết nối và định hướng phát triển bền vững.

Yếu tố KTTC có hệ số tác động $\beta = 0,220$, nhóm yếu tố này thể hiện rõ tầm quan trọng trong việc xác lập tính khả thi của dự án ngay từ giai đoạn khởi đầu. Đặc điểm nổi bật của các công trình ngầm là chi phí đầu tư ban đầu lớn, thời gian thu hồi vốn dài và rủi ro tài chính cao hơn so với các dự án trên mặt đất. Các cơ chế tài chính linh hoạt như hợp tác công - tư hoặc chính sách ưu đãi đầu tư đóng vai trò như công cụ kích thích đầu tư hiệu quả. Việc thiết lập các hành lang tài chính rõ ràng, dựa trên các tiêu chuẩn quốc tế,

cũng cần được thực hiện để TP.HCM thu hút nguồn vốn đầu tư nước ngoài vào các dự án không gian ngầm.

MTXH phản ánh tầm quan trọng của trong việc hiện thực hóa các mục tiêu phát triển đô thị bền vững. Yếu tố xã hội nhấn mạnh vai trò của quy hoạch không gian ngầm và sự đồng thuận cộng đồng trong quá trình triển khai dự án. Chính quyền đô thị cần ưu tiên các công trình có giá trị cộng đồng cao và lồng ghép yếu tố xã hội vào quy hoạch không gian ngầm nhằm tạo lập sự đồng thuận và bền vững trong phát triển.

Các quy định chuyên ngành cho không gian ngầm còn thiếu và phân tán, tiêu chuẩn kỹ thuật chưa được thống nhất, dẫn đến sự lúng túng trong quản lý và thực thi. Cần xây dựng hệ thống pháp lý riêng biệt cho lĩnh vực không gian ngầm như thí điểm cho phép thử nghiệm các mô hình thể chế mới, đồng thời chuẩn hóa các bộ tiêu chuẩn kỹ thuật quốc gia và cải thiện năng lực quản lý, giám sát ở các cấp chính quyền nhằm tạo lập một môi trường pháp lý minh bạch, hiệu quả và ổn định cho các dự án ngầm trong tương lai.

Nhóm yếu tố TCBM và cơ chế quản lý phản ánh rõ mức độ sẵn sàng của hệ thống hành chính đối với việc hiện thực hóa các định hướng quy hoạch không gian ngầm. Sự phân tán về chức năng quản lý dẫn đến tình trạng thiếu phối hợp, chồng chéo trong thẩm định, phê duyệt và giám sát triển khai, làm giảm hiệu quả tổng thể của dự án. Để khắc phục, cần thành lập một cơ quan chuyên trách có chức năng điều phối toàn diện từ giai đoạn quy hoạch đến vận hành, có quyền lực hành chính và chuyên môn đủ mạnh để giải quyết các vấn đề liên ngành. Đồng thời, cơ chế quản lý cần được cải tiến theo hướng minh bạch, linh hoạt và ứng dụng công nghệ trong giám sát - đánh giá, nhằm đảm bảo tính hiệu quả cho các dự án không gian ngầm đô thị.

Các công trình ngầm yêu cầu trình độ kỹ thuật cao, khả năng thi công trong điều kiện địa chất - thủy văn phức tạp, cùng hệ thống công nghệ giám sát, vận hành chuyên biệt. Việc ứng dụng các công nghệ tiên tiến TBM (Tunnel Boring Machine), mô hình BIM (Building Information Modeling) trong thiết kế và quản lý dự án trong vận hành công trình ngầm sẽ giúp kiểm soát tốt hơn tiến độ, chi phí và chất lượng công trình.

4. KẾT LUẬN

Quy hoạch không gian ngầm là một xu hướng tất yếu trong chiến lược phát triển đô thị bền vững tại TP.HCM, đặc biệt trong lĩnh vực GTVT. Nghiên cứu đã chỉ ra rằng, việc tổ chức và triển khai quy hoạch không gian ngầm chịu tác động của nhiều yếu tố về kỹ thuật, tài chính, chính sách và xã hội. Trong đó, yếu tố về HTGT hiện hữu và tiềm năng phát triển giữ vai trò quan trọng, thể hiện mối quan hệ hữu cơ giữa phát triển ngầm và sự đồng bộ của mạng lưới giao thông đô thị.

Để quy hoạch không gian ngầm thật sự trở thành một cấu phần hiệu quả trong hạ tầng đô thị, TP.HCM cần xây dựng chiến lược tổng thể, đa ngành, đồng bộ giữa các cấp chính quyền và các bên liên quan. Định hướng tích hợp quy hoạch không gian ngầm với quy hoạch tổng thể đô thị, thiết lập các cơ chế tài chính linh hoạt, tăng cường phối hợp giữa các cơ quan chuyên môn, đẩy mạnh ứng dụng công nghệ hiện đại trong khảo sát - thiết kế - quản lý và đảm bảo tính minh bạch, liên thông trong toàn bộ quá trình quy hoạch và triển khai. Đây là nền tảng để không gian ngầm

trở thành động lực mới cho phát triển HTGT đô thị bền vững tại TP.HCM trong tương lai.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. International Tunneling Association (ITA) (2000), Planning and Mapping of Underground Space - An Overview.
- [2]. S. Tanaka and M. Nishida (May 2019), Underground infrastructure and urban transportation system in Tokyo, Journal of Urban Infrastructure Development, vol.38, no.5, pp.112-125.
- [3]. J. Lee and K. Kim (July 2022), Underground infrastructure development in Seoul: A model for modern urban mobility, Journal of Urban Infrastructure, vol.42, no.7, pp.58-70.
- [4]. Cục Quản lý đô thị (2022), Báo cáo phát triển công trình ngầm đô thị - Hiện trạng và xu hướng, tr.15-18.
- [5]. Chính phủ (2022), Quyết định số 1528/QĐ-TTg về điều chỉnh quy hoạch chung TP.HCM đến năm 2040, tầm nhìn đến năm 2060.
- [6]. Nguyễn Ngọc Hiếu (2016), Quy hoạch TP.HCM trong thời kỳ mới - thách thức và phương án chiến lược, Hội thảo Diễn đàn Thành phố châu Á tại Thượng Hải.
- [7]. Ban Quản lý Đường sắt đô thị TP.HCM (2024), Báo cáo kết quả thực hiện nhiệm vụ năm 2024.
- [8]. UBND TP.HCM, Quyết định số 56/2021/QĐ-UBND ngày 28/12/2021 Ban hành quy chế quản lý kiến trúc TP.HCM.
- [9]. Hair, J. F., Black, W. C., Babin (2006), Multivariate Data Analysis (6th ed.), Pearson Prentice Hall.
- [10]. Hoàng Trọng và Chu Nguyễn Mộng Ngọc (2005), Phương pháp nghiên cứu khoa học ứng dụng trong kinh tế, NXB. Thống kê.

Thực nghiệm và mô phỏng phân tích ứng xử dính bám của cốt thanh GFRP trong bê tông nhẹ sử dụng sỏi keramzit

Experimental and numerical analysis of the bond behavior of GFRP bars in lightweight concrete using expanded clay (keramzit) aggregate

> THS PHẠM VĂN HÙNG¹, KS NGUYỄN ÁNH DƯƠNG¹, THS ĐÀO QUANG HUY^{2*},
TS TỬ SỸ QUÂN¹, PGS.TS TRẦN THẾ TRUYỀN¹

¹Trường Đại học Giao thông vận tải

²Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải; *Email: huydq@utt.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày nghiên cứu thực nghiệm và mô phỏng phân tích ứng xử dính bám của cốt thanh GFRP trong bê tông nhẹ sử dụng cốt liệu sỏi keramzit. Các thí nghiệm kéo tụt được tiến hành trên 18 mẫu bê tông với 3 loại đường kính cốt thanh (16 mm, 18 mm, 20 mm) và chiều dài neo tương ứng là 3d, 5d và 7d. Tính toán số được thực hiện với phần mềm Midas FEA để mô phỏng ứng xử dính bám giữa thanh GFRP và bê tông nhẹ. Kết quả mô phỏng được so sánh với dữ liệu thực nghiệm, từ đó đánh giá ảnh hưởng của chiều dài dính bám giữa bê tông nhẹ và cốt thanh GFRP và đưa ra khuyến nghị thiết kế phù hợp. Kết quả cho thấy mô phỏng số cho sai số nhỏ hơn 10% so với thực nghiệm và có thể sử dụng như một công cụ hiệu quả thay thế thử nghiệm trong giai đoạn thiết kế.

Từ khóa: Thực nghiệm; mô phỏng; dính bám; ứng xử; GFRP; bê tông nhẹ; keramzit.

ABSTRACT

The paper presents an experimental and numerical study on the bond behavior of GFRP bars embedded in lightweight concrete using expanded clay (keramzit) aggregate. Pull-out tests were conducted on 18 concrete specimens with three bar diameters (16 mm, 18 mm and 20 mm) and corresponding embedment lengths of 3d, 5d and 7d. Numerical simulations were performed using Midas FEA software to model the bond interaction between the GFRP bars and the lightweight concrete. The simulation results were compared with the experimental data to evaluate the influence of bond length on the bond behavior between lightweight concrete and GFRP bars, thereby providing design recommendations. The results showed that the numerical simulations had an error of less than 10% compared to the experimental results, indicating that they can serve as an effective alternative to physical testing during the design phase.

Keywords: Experimental; numerical modeling; bond; behavior; GFRP; light weight concrete; keramzit.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bê tông nhẹ sử dụng cốt liệu keramzit có khối lượng thể tích từ 1.600 - 1.800 kg/m³ và cường độ chịu nén đạt 30 - 40 MPa đang ngày càng được áp dụng trong các công trình kết cấu nhờ khả năng giảm trọng lượng bản thân từ 25 - 35%, qua đó giảm tải trọng nền móng và chi phí thiết bị thi công [1, 2]. Cốt thanh polymer sợi thủy tinh (GFRP) có mô-đun đàn hồi khoảng 45.000 MPa và cường độ kéo đến 800 MPa là lựa chọn thay thế hiệu quả cho cốt thép trong môi trường có nguy cơ ăn mòn cao [3].

Cơ chế dính bám giữa cốt và bê tông là yếu tố cốt lõi quyết định khả năng truyền lực trong cấu kiện bê tông cốt thép. Trong khi bê tông chủ yếu chịu lực nén và cốt chịu kéo, việc thiếu liên kết hiệu

quả giữa hai vật liệu sẽ khiến thanh cốt có nguy cơ bị trượt ra khỏi khối bê tông khi chịu tải [6]. Một số nghiên cứu đã chỉ ra rằng ứng xử dính bám giữa GFRP và bê tông nhẹ suy giảm đáng kể, với cường độ dính bám chỉ đạt khoảng 65% - 88% so với bê tông thường [4, 5]. Các tiêu chuẩn hiện hành như ACI 440.1R-15 (Hoa Kỳ) [7], CSA S806-02 (Canada) [8] và JSCE 1997 (Nhật Bản) [9] đã đề xuất các công thức tính toán lý thuyết, tuy nhiên thường thiên về an toàn, với kết quả lớn hơn từ 1,4 đến 1,6 lần so với thực nghiệm [10].

Các nghiên cứu thực nghiệm bằng phương pháp thí nghiệm kéo tụt (pull-out test) [11] thường được thực hiện để xác định ứng xử dính bám giữa cốt thép và bê tông nói chung; với bê tông nhẹ và cốt thanh GFRP cũng đã có nhiều nghiên cứu thực nghiệm trong và

ngoài nước phân tích ứng xử dính bám giữa hai vật liệu này [4, 5]. Kết quả phân tích thực nghiệm được tham chiếu với các tính toán giải tích nhằm làm rõ các hệ số dính bám, chiều dài dính bám giữa cốt thanh GFRP và bê tông cốt liệu nhẹ.

Nghiên cứu này sẽ bổ sung phần phân tích dính bám giữa bê tông nhẹ và cốt thanh GFRP bằng phương pháp mô phỏng số. Phần mềm MIDAS FEA cho phép mô hình hóa tiếp xúc giữa hai vật liệu thông qua điều kiện tiếp xúc có trượt giới hạn. Nghiên cứu này sẽ đánh giá ảnh hưởng của chiều dài triển khai (3d, 5d, 7d) đến ứng xử dính bám của thanh GFRP trong bê tông nhẹ thông qua thí nghiệm và mô phỏng bằng MIDAS FEA, từ đó so sánh với các kết quả phân tích bằng thực nghiệm nhằm đánh giá kết quả mô phỏng số.

2. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

Thí nghiệm được tiến hành trên bê tông nhẹ cấp cường độ C30 sử dụng cốt liệu sỏi nhẹ keramzit. Thành phần cấp phối được thiết kế theo hướng dẫn của tiêu chuẩn ACI 211.4R-08 [1], với tỷ lệ pha trộn đã được hiệu chỉnh để đảm bảo khối lượng thể tích trong khoảng 1.600 - 1.800 kg/m³ và cường độ nén trung bình lớn hơn 30 MPa. Xi măng sử dụng là loại PC40 Bút Sơn, cát sông Đà và phụ gia siêu dẻo hiệu quả cao. Cốt liệu sỏi nhẹ keramzit có kích thước hạt từ 10 - 20 mm. Cốt thanh GFRP sử dụng gồm 3 loại đường kính danh định: 16 mm, 18 mm và 20 mm. Các đặc trưng cơ lý của bê tông nhẹ được thí nghiệm bao gồm mô-đun đàn hồi, cường độ chịu nén, cường độ chịu uốn, khối lượng thể tích ấn lượt là 16.937 MPa, 36,61 MPa, 3,98 MPa và 1.753 kg/m³. Các đặc trưng cơ lý của cốt thanh GFRP theo nhà cung cấp có được bao gồm mô-đun đàn hồi, cường độ chịu kéo ấn lượt là 45.000 MPa và 800 MPa [4].



Hình 1. Thí nghiệm xác định ứng xử dính bám giữa cốt thanh GFRP và bê tông nhẹ [4]

Các mẫu thí nghiệm được chế tạo để thực hiện thí nghiệm kéo đứt. Trong mỗi mẫu, một đoạn thanh GFRP được neo với chiều dài tương ứng 5 lần đường kính danh định (5d), phù hợp với quy định trong tiêu chuẩn ACI 440.3R-04 [7]. Thí nghiệm kéo đứt được thực hiện tại phòng thí nghiệm của Trường Đại học GTVT. Các thông số ghi nhận bao gồm: Lực kéo tối đa, chuyển vị tương đối và quan sát bề mặt phá hoại [4].

3. MÔ PHỎNG SỐ

Nhằm hỗ trợ đánh giá chiều dài triển khai của thanh GFRP trong bê tông nhẹ, mô hình phần tử hữu hạn ba chiều được xây dựng trong phần mềm MIDAS FEA. Mô hình cho phép mô phỏng ứng xử dính bám giữa cốt và bê tông thông qua tiếp xúc phi tuyến tại vùng tiếp giáp, trong đó ứng suất cắt được giới hạn bởi một giá trị trượt cực đại. Phương pháp này cho phép tái hiện quá trình truyền lực và phá hoại dính bám cục bộ, phù hợp với đặc điểm liên kết yếu giữa GFRP và bê tông nhẹ [12]. Liên kết giữa cốt và bê tông được thiết lập bằng tiếp xúc loại surface-to-surface, với giới hạn ứng suất trượt cài đặt trước. Mô hình không sử dụng liên kết toàn phần (perfect bond) nhằm phản ánh chính xác hơn điều kiện làm việc thực tế của cấu kiện.

Mô hình hình học tương ứng với mẫu thí nghiệm: Khối bê tông dạng lập phương kích thước (200×200×200)mm, cốt thanh GFRP dạng trụ tròn được nhúng vào với chiều dài neo 5d, tương ứng với

ba đường kính danh định 16 mm, 18 mm và 20 mm.



Hình 2. Mô hình mô phỏng trên phần mềm phần tử hữu hạn

Lưới phần tử sử dụng phần tử khối 8 nút (linear hexahedral solid element). Mật độ lưới được tinh chỉnh tăng dần tại vùng lân cận tiếp xúc giữa bê tông và cốt thanh nhằm đảm bảo độ chính xác trong việc thu nhận ứng suất tiếp xúc. Các mặt bên của khối bê tông được cố định theo ba bậc tự do chính để hạn chế chuyển vị, trong khi đầu trên của thanh GFRP được kéo với tải trọng tăng dần theo phương trục, đầu còn lại cố định hoàn toàn. Thông số vật liệu được sử dụng trong mô hình tính toán được lấy giống như các thông số vật liệu đã có từ các kết quả thí nghiệm. Mô hình ứng xử cho bê tông nhẹ là mô hình đàn dẻo có xét nứt, cốt thanh GFRP là mô hình đàn hồi tuyến tính; ứng xử của mặt tiếp xúc được mô tả bằng mô hình mặt giáp mặt.

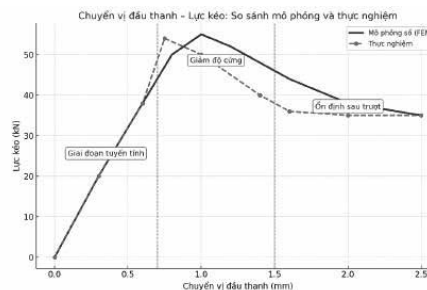
4. PHÂN TÍCH KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM VÀ MÔ PHỎNG

Kết quả mô phỏng số và thí nghiệm kéo đứt được tổng hợp trong Bảng 1. Cả hai phương pháp đều cho thấy xu hướng tương tự về sự phân bố ứng suất dính bám và khả năng chịu lực kéo của thanh GFRP. Sai số tương đối giữa lực kéo cực đại thu được từ mô phỏng và thực nghiệm dao động trong khoảng 6,1% đến 9,7%, cho thấy mô hình phần tử hữu hạn có độ chính xác chấp nhận được.

Bảng 1. So sánh kết quả mô phỏng và thí nghiệm kéo đứt

Đường kính thanh (mm)	Lực kéo cực đại - Thực nghiệm (kN)	Lực kéo cực đại - Mô phỏng (kN)	Sai số tương đối (%)
16	41,1	38,6	6,1
18	46,2	42,7	7,6
20	50,8	45,9	9,7

Bên cạnh lực kéo, ứng suất dính bám trung bình được trích xuất từ mô hình FEM cũng cho kết quả tương đương với thực nghiệm, dao động từ 3,6 - 4,1 MPa. Phân bố ứng suất theo chiều dài triển khai từ mô hình MIDAS FEA cho thấy ứng suất dính bám đạt giá trị cực đại tại vùng đầu neo, sau đó giảm dần - hoàn toàn phù hợp với các kết luận thực nghiệm trước đó [1, 2]. Mặc dù mô hình trong MIDAS FEA không áp dụng mô hình dính bám mềm dần (CZM), việc sử dụng tiếp xúc có giới hạn trượt đã mô phỏng được tương đối chính xác cơ chế phá hoại dính bám cục bộ.



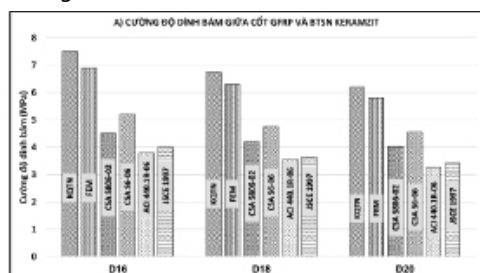
Hình 3. Biểu đồ mối quan hệ giữa chuyển vị đầu thanh với lực kéo

Dựa trên Hình 3, có thể nhận thấy đường cong lực kéo - chuyển vị thu được từ mô phỏng số bằng phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) thể hiện tương đối đầy đủ ba giai đoạn điển hình trong quá trình làm việc của cốt thanh GFRP neo trong bê tông nhẹ: (i) Giai

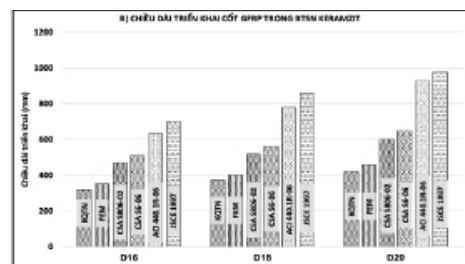
đoạn tuyến tính ban đầu, phản ánh khả năng truyền lực dính bám hiệu quả giữa hai vật liệu; (ii) giai đoạn giảm độ cứng sau khi đạt đỉnh lực kéo (~55 kN tại chuyển vị ~1,0 mm), cho thấy quá trình phá hoại cục bộ khởi phát tại vùng tiếp xúc và (iii) giai đoạn ổn định sau trượt, trong đó lực kéo giảm nhẹ và tiến tới trạng thái cân bằng.

So sánh với kết quả thực nghiệm, đường cong từ mô phỏng cho thấy độ tương đồng cao về xu hướng, với sai số cực đại dưới 10% tại điểm đỉnh và các đoạn chuyển tiếp. Sự khác biệt nhỏ về độ dốc trong giai đoạn sau đỉnh có thể bắt nguồn từ đặc trưng vật liệu không hoàn toàn được lý tưởng hóa trong mô hình số, đặc biệt là tại khu vực xuất hiện trượt tương đối và phá hoại dính bám. Những kết quả này cho thấy mô hình mô phỏng số không chỉ có khả năng dự báo ứng xử cơ học toàn diện của cốt thanh GFRP trong bê tông nhẹ mà còn là công cụ hữu hiệu phục vụ việc đánh giá và tối ưu chiều dài triển khai trong thiết kế kết cấu gia cường bằng vật liệu composite.

Chiều dài triển khai tính toán theo các tiêu chuẩn thiết kế quốc tế hiện hành như ACI 440.1R-15, CSA S806-02 và JSCE 1997 thường cho kết quả lớn hơn thực nghiệm và mô phỏng từ 40% đến 60%, phản ánh xu hướng bảo thủ trong thiết kế. Cụ thể, các công thức theo ACI và JSCE cung cấp giá trị dài hơn đáng kể và có hệ số an toàn cao, trong khi công thức của CSA (Canada) cho kết quả sát hơn với giá trị thu được từ thí nghiệm và mô phỏng. Điều này cho thấy sự khác biệt trong cách tiếp cận giữa các tiêu chuẩn - một bên hướng đến độ tin cậy cực đại, còn một bên ưu tiên tính kinh tế và phù hợp thực tế thi công.



a) - Cường độ dính bám trung bình



b) - Chiều dài triển khai

Hình 4. So sánh cách tính theo thực nghiệm, mô phỏng và tiêu chuẩn của 3 loại đường kính thanh GFRP 16 mm, 18 mm và 20 mm

Đáng chú ý, sai lệch đáng kể giữa chiều dài triển khai theo tiêu chuẩn và chiều dài thực tế cần thiết từ mô phỏng số cho thấy tiềm năng của phân tích FEM như một công cụ hiệu chỉnh thiết kế. Việc ứng dụng mô hình số không chỉ giúp kiểm chứng các công thức hiện có mà còn mở ra hướng nội địa hóa hoặc cập nhật các tiêu chuẩn thiết kế sao cho phù hợp với đặc điểm vật liệu, công nghệ sản xuất và điều kiện thi công tại Việt Nam.

5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Nghiên cứu đã thực hiện đánh giá chiều dài triển khai và ứng xử dính bám của cốt thanh GFRP trong bê tông nhẹ thông qua thí nghiệm kéo đứt và phân tích số bằng phương pháp phần tử hữu

hạn. Kết quả thí nghiệm cho thấy lực kéo cực đại đạt 54,2 kN tại chuyển vị 0,96 mm, với ba giai đoạn làm việc đặc trưng: Tuyến tính (0 - 0,7 mm), giảm độ cứng (0,7 - 1,5 mm) và ổn định sau trượt (trên 1,5 mm). Mô phỏng số với các tham số vật liệu tương đương đã tái hiện được đường cong chuyển vị - lực kéo với sai số cực đại nhỏ hơn 9,1% tại vùng đỉnh và sai số trung bình theo chuẩn RMSE là 3,6 kN.

Khi so sánh với các công thức thiết kế trong tiêu chuẩn ACI 440.1R-15, CSA S806-02 và JSCE 1997, chiều dài triển khai tính toán dao động từ 390 mm đến 470 mm, lớn hơn chiều dài cần thiết thu được từ mô phỏng (320 mm) và thí nghiệm (305 mm) từ 40% đến 60%. Trong đó, JSCE cho kết quả lớn nhất (470 mm), trong khi CSA S806-02 cho kết quả gần nhất với thực nghiệm (340 mm). Điều này cho thấy các tiêu chuẩn quốc tế có xu hướng bảo thủ nhằm đảm bảo an toàn, nhưng có thể dẫn tới sử dụng vật liệu không tối ưu trong một số trường hợp. Các công thức thiết kế chiều dài triển khai đối với cốt thanh GFRP nên được hiệu chỉnh theo điều kiện thực tế của từng khu vực, đặc biệt khi sử dụng bê tông nhẹ hoặc vật liệu mới. Mô hình mô phỏng số, nếu được hiệu chuẩn tốt bằng số liệu thực nghiệm có thể là công cụ hỗ trợ hiệu quả cho việc rà soát và điều chỉnh các hệ số thiết kế, đồng thời tiết kiệm chi phí vật liệu mà vẫn đảm bảo độ tin cậy. Cần thực hiện thêm các nghiên cứu với đa dạng loại bê tông và cốt thanh FRP để xây dựng nền dữ liệu thực nghiệm đủ mạnh, từ đó đề xuất cập nhật cho hệ thống tiêu chuẩn trong nước. Ngoài ra, nên thực hiện phân tích độ nhạy với thông số vật liệu, hệ số ma sát và điều kiện biên nhằm tăng độ tin cậy của mô hình.

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]. Nguyễn Tiến Đức, Nguyễn Đăng Do (2001), Nghiên cứu sử dụng vật liệu nhẹ cho nhà và công trình, Báo cáo đề tài mã số RDN 06-01, Bộ Xây dựng.
- [2]. Trần Thế Truyền, Phạm Văn Hùng, Từ Sỹ Quân và cộng sự (2021), Phân tích ứng xử bản bê tông nhẹ cốt GFRP thay thế tà vẹt gỗ, Tạp chí GTVT, số 3.
- [3]. Cheng Por Eng. (2017), Nghiên cứu ứng xử uốn của dầm bê tông cường độ cao cốt FRP để xây dựng cầu ở Campuchia, Luận án Tiến sĩ.
- [4]. Từ Sỹ Quân, Nguyễn Văn Tươi, Lê Văn Dương, Nguyễn Thành Tâm, Trần Thế Truyền (12/2021), Nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm xác định chiều dài triển khai của cốt thanh GFRP trong kết cấu bê tông nhẹ, Tạp chí Khoa học GTVT, tập 72, số 9.
- [5]. Nguyễn Anh Tuấn, Đào Quang Huy, Phạm Ngọc Tường (2025), Thí nghiệm nghiên cứu khả năng dính bám giữa cốt thanh GFRP và bê tông trong dầm, Tạp chí Xây dựng, số tháng 7.
- [6]. ACI Committee 408 (2003), Bond and Development of Straight Reinforcing Bars in Tension (ACI 408R-03), American Concrete Institute.
- [7]. ACI Committee 440 (2015), Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars (ACI 440.1R-15), ACI.
- [8]. Canadian Standards Association (2002), Design and Construction of Building Components with Fibre-Reinforced Polymers (CAN/CSA-S806-02).
- [9]. Japan Society of Civil Engineers (JSCE) (1997), Recommendations for Design and Construction of Concrete Structures Using Continuous Fibre Reinforcing Materials, Concrete Engineering Series.
- [10]. Cosenza, E., Manfredi, G., Realfonzo, R. (2002), Development Length of FRP Straight Rebars, Composites Part B: Engineering, vol.33, no.7, pp.493-504, [https://doi.org/10.1016/S1359-8368\(02\)00051-3](https://doi.org/10.1016/S1359-8368(02)00051-3).
- [11]. Achillides, Z., Pilakoutas, K. (2004), Bond Behaviour of Fibre Reinforced Polymer Bars under Direct Pull-out Conditions, Journal of Composites for Construction, vol.8, no.2, pp.173-181, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0268\(2004\)8:2\(173\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0268(2004)8:2(173)).
- [12]. Dassault Systèmes (2020), ABAQUS 2020 Documentation - Cohesive Behavior and Surface Interactions.

Kết quả kinh doanh của doanh nghiệp bưu chính trong điều kiện chuyển đổi số

The business performance of postal enterprises in the context of digital transformation

> PGS.TS NGUYỄN ĐĂNG QUANG, PGS.TS DƯƠNG HỮU TUYẾN*

Trường Đại học Giao thông vận tải

*Email: dhtuyen@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Chuyển đổi số (CĐS) tại Việt Nam đang diễn ra rất mạnh mẽ, đặc biệt trong các ngành như: Giao thông vận tải, du lịch, tài chính... và các doanh nghiệp bưu chính cũng không nằm ngoài xu thế và yêu cầu bắt buộc đó. Tuy nhiên, để chuyển đổi số thành công và đóng góp vào sự phát triển chung của từng doanh nghiệp đòi hỏi các doanh nghiệp phải có chiến lược, lộ trình cụ thể và phù hợp. Trong điều kiện chuyển đổi số đang diễn ra nhanh và toàn diện, từ hoạt động cung cấp dịch vụ đến quản trị, quản lý và điều hành doanh nghiệp của các doanh nghiệp bưu chính, kết quả kinh doanh của doanh nghiệp là thước đo để đánh giá sự đóng góp của chuyển đổi số trong hoạt động của doanh nghiệp. Mục tiêu của bài báo là nhằm phân tích, đánh giá các yếu tố cơ bản ảnh hưởng đến kết quả kinh doanh của doanh nghiệp bưu chính trong bối cảnh chuyển đổi số.

Từ khóa: Chuyển đổi số; dịch vụ bưu chính; kết quả kinh doanh.

ABSTRACT

Digital transformation in Vietnam is taking place very strongly, especially in sectors such as transportation, tourism and finance and postal enterprises are no exception to this trend and mandatory requirement. However, for digital transformation to be successful and contribute to the overall development of each enterprise, businesses must have a clear, specific and appropriate strategy and roadmap. In the context where digital transformation is rapidly and comprehensively occurring-from service delivery to management and business operations in postal enterprises-the business performance of enterprises serves as the key measure to evaluate the contribution of digital transformation to their activities. The objective of this paper is to analyze and assess the fundamental factors influencing the business performance of postal enterprises in the context of digital transformation.

Keywords: Digital transformation; postal services; business performance.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

CĐS là quá trình thay đổi tổng thể và toàn diện của cá nhân và tổ chức về cách sống, cách làm việc và phương thức sản xuất dựa trên các công nghệ số. CĐS không chỉ giúp tăng năng suất, giảm chi phí mà còn mở ra không gian phát triển mới tạo ra các giá trị mới ngoài các giá trị truyền thống vốn có. CĐS cũng là quá trình thay đổi tổng thể và toàn diện, là cuộc cách mạng của toàn dân.

Trong bưu chính, CĐS bao gồm số hóa quy trình lõi (chấp nhận - khai thác - vận chuyển - phát/nhận), tích hợp nền tảng số (theo dõi hành trình, định tuyến tối ưu, định danh số, ví/thanh toán) và phát triển dịch vụ số hóa mới (omni-channel, tiếp thị số gắn mail, logistics TMĐT, data-driven).

Trong bối cảnh CĐS đang diễn ra mạnh mẽ, ngành Bưu chính toàn cầu đối mặt với nhiều cơ hội và thách thức mới. Báo cáo của Liên minh Bưu chính Thế giới (UPU) cho thấy, từ năm 2013 đến 2022, sản lượng thư nội địa toàn cầu giảm 30%, trong khi sản lượng bưu kiện tăng 176% nhờ sự phát triển của thương mại điện tử. Bên cạnh đó, dịch vụ bưu chính phổ cập cũng đang suy giảm. Những xu hướng này đòi hỏi ngành Bưu chính không chỉ thay đổi mà còn phải

mở rộng hệ sinh thái và không gian hoạt động để trở thành hạ tầng thiết yếu quốc gia, đóng vai trò quan trọng trong kinh tế số, thương mại điện tử và Chính phủ số. Ngành Bưu chính cần tích cực thúc đẩy Chính phủ số, trở thành đối tác đáng tin cậy của các cơ quan chính phủ nhằm phục vụ người dân hiệu quả hơn.

Do đó, ngành Bưu chính cần tham gia sâu vào phát triển xã hội số, đảm bảo dòng chảy vật chất được duy trì bên cạnh dòng chảy dữ liệu, đáp ứng các nhu cầu của xã hội hiện đại. Để đạt được điều này, các doanh nghiệp bưu chính và cơ quan xây dựng chính sách cần phối hợp chặt chẽ nhằm nâng cấp môi trường pháp lý, khuyến khích đổi mới và thúc đẩy CĐS trong lĩnh vực bưu chính. Mục tiêu của bài báo là nhằm phân tích, đánh giá các yếu tố cơ bản ảnh hưởng đến kết quả kinh doanh của doanh nghiệp bưu chính trong bối cảnh chuyển đổi số. Kết quả nghiên cứu cho thấy, quản trị nội bộ (ORG) là có tính quyết định đến kết quả kinh doanh của doanh nghiệp bưu chính trong điều kiện chuyển đổi số. Nghiên cứu đã có đóng góp thêm về vai trò và tầm quan trọng của nguồn nhân lực CĐS tại các doanh nghiệp bưu chính, thông qua việc đánh giá và phân tích đóng góp của 3 nhóm nhân tố đến kết quả kinh doanh.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ MÔ HÌNH NGHIÊN CỨU

2.1. Cơ sở lý thuyết về chuyển đổi số trong ngành Bưu chính

Cho đến nay vẫn chưa có cách hiểu thống nhất về CDS (Digital transformation). Gartner, Inc cho rằng CDS là việc sử dụng các công nghệ số để thay đổi mô hình kinh doanh, tạo ra những cơ hội, doanh thu và giá trị mới. Theo Microsoft, CDS là việc tư duy lại cách thức các tổ chức tập hợp mọi người, dữ liệu và quy trình để tạo những giá trị mới. Siebel (2019) định nghĩa bản chất CDS là sự hội tụ của 4 công nghệ đột phá sau: Công nghệ điện toán đám mây (Cloud computing), dữ liệu lớn (Big Data), Internet vạn vật (IoT) và trí tuệ nhân tạo (AI). Sự hội tụ này khiến cho phạm vi hoạt động và ảnh hưởng của CDS hết sức rộng lớn, do đó có nhiều cách nhìn và cách tiếp cận chuyển đổi số khác nhau.

Theo cách tiếp cận về dịch vụ bưu chính trong điều kiện CDS, nghiên cứu của (Mikavica, Blagojević et al. 2022) cho thấy, với những tiến bộ trong công nghệ thông tin và truyền thông và việc áp dụng rộng rãi các dịch vụ kỹ thuật số với tốc độ ngày càng tăng, các nhà khai thác bưu chính đang phải đối mặt với quá trình chuyển đổi kinh doanh kỹ thuật số không thể tránh khỏi. Việc đưa công nghệ kỹ thuật số vào ngành Bưu chính trong những thập kỷ qua đã mang lại vô số cơ hội mới nhưng cũng đặt ra một số mối đe dọa. Để khắc phục tình trạng mất doanh thu do dịch vụ chuyển phát thư giảm đáng kể và những thay đổi trong thị trường dịch vụ bưu chính, các nhà khai thác bưu chính đã nhận ra nhu cầu chuyển đổi kỹ thuật số trong các hoạt động kinh doanh cốt lõi của họ. Các cải tiến kỹ thuật số, thương mại điện tử, thu thập dữ liệu và nhận dạng kỹ thuật số đã đẩy nhanh nỗ lực của các nhà khai thác bưu chính nhằm cung cấp các dịch vụ mới, cải thiện hiệu quả và điều chỉnh các chiến lược kinh doanh theo yêu cầu của nền kinh tế kỹ thuật số. Do đó, chuyển đổi kỹ thuật số đã trở thành ưu tiên chiến lược đối với các nhà khai thác bưu chính. Các trụ cột công nghệ chính của các cải tiến kỹ thuật số trong mạng lưới bưu chính được nêu bật. Hơn nữa, các yếu tố tạo nên thành công chính và khả năng cải thiện việc cung cấp dịch vụ bưu chính kỹ thuật số được trình bày.

Tương tự nghiên cứu của (Mokgohloa, Kanakana-Katumba et al. 2023) cho thấy, các nhà khai thác bưu chính trên toàn thế giới đang phải đối mặt với sự gián đoạn mô hình kinh doanh không thể tránh khỏi do kỷ nguyên số thúc đẩy. Kết quả nghiên cứu chỉ ra sự tương tác phức tạp của các biến số này, kìm hãm và thúc đẩy quá trình CDS và khả năng cạnh tranh của ngành Bưu chính. Bằng cách nắm bắt những phức tạp này, những người ra quyết định và hoạch định chính sách có thể khai thác những hiểu biết sâu sắc được tiết lộ bởi nghiên cứu này để định hướng ngành Bưu chính hướng tới một tương lai bền vững.

2.2. Giả thuyết và mô hình nghiên cứu

CDS là một quá trình phức tạp, nhiều bước và công đoạn, kèm theo nhiều rào cản, khó khăn gây ra những hạn chế nhất định trong ngắn hạn. Nhiều doanh nghiệp bưu chính vẫn gặp khó khăn trong việc nhận ra tiềm năng của CDS, các rào cản có thể cản trở hoặc ngăn chặn việc thực hiện thành công CDS. Vì vậy, các doanh nghiệp bưu chính cũng cần nhận ra các yếu tố thúc đẩy CDS, trong đó các yếu tố cấu thành của nguồn nhân lực có vai trò quan trọng.

Theo Mikavica et al. (2022), CDS trong ngành Bưu chính chịu ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố tác động qua lại lẫn nhau, bao gồm: Năng lực công nghệ hiện có; cấu trúc tổ chức và định hướng quản trị; nhận thức và kỹ năng của nhân sự; mức độ đầu tư tài chính; khung pháp lý - chính sách hỗ trợ và mức độ kỳ vọng, chấp nhận của khách hàng. Các yếu tố này không chỉ tác động riêng lẻ mà còn có mối liên kết hệ thống, tạo nên các chuỗi phản hồi trong toàn bộ tiến trình chuyển đổi.

Tương tự, nghiên cứu của Mokgohloa et al. (2023) xây dựng mô hình động lực hệ thống cho thấy CDS không phải là một quá

trình tuyến tính mà là một hệ thống phức tạp với nhiều vòng phản hồi tích cực - tiêu cực. Cụ thể, các quyết định đầu tư vào công nghệ, đào tạo nhân sự hay cải tiến quy trình sẽ dẫn đến thay đổi trong năng suất, mức độ hài lòng của khách hàng và hiệu quả tài chính. Những thay đổi này lại tiếp tục ảnh hưởng đến năng lực tổ chức và mức độ sẵn sàng áp dụng công nghệ trong tương lai. Do đó, hiểu được các yếu tố ảnh hưởng đến CDS và cách chúng tương tác với nhau là điều kiện tiên quyết để đề xuất các giải pháp CDS khả thi và hiệu quả trong lĩnh vực bưu chính.

Theo các kết quả nghiên cứu trước ở trên, nhóm tác giả đề xuất các giả thuyết nghiên cứu sau:

- *Giả thuyết H1: Yếu tố công nghệ (TECH) có tác động đến nâng cao kết quả kinh doanh của doanh nghiệp bưu chính trong CDS.*

Công nghệ là "điều kiện tiên quyết" để thực hiện quá trình số hóa trong doanh nghiệp bưu chính. Nghiên cứu phân tích hệ thống (system dynamics) tại châu Phi của Mokgohloa và cộng sự (2023) chỉ ra rằng văn hóa số, năng lực vận hành và khả năng tiếp nhận công nghệ tương tác mạnh mẽ và thúc đẩy hiệu quả tài chính trong ngành Bưu chính.

- *Giả thuyết H2: Yếu tố tổ chức - quản trị nội bộ (ORG) có tác động đến nâng cao kết quả kinh doanh của doanh nghiệp bưu chính trong CDS.*

Tổ chức linh hoạt và lãnh đạo sáng tạo giúp doanh nghiệp điều chỉnh nhanh chính sách, tổ chức bộ phận CDS và thúc đẩy thực hiện nhanh. Nghiên cứu trong lĩnh vực y tế (Poland, Hà Lan) khẳng định rằng lãnh đạo số (digital transformational leadership) đóng vai trò quyết định, tăng cường agility tổ chức, qua đó thúc đẩy mức độ số hóa (digital intensity). Mặc dù nghiên cứu diễn ra ở ngành Y tế, tuy nhiên logic tổ chức tương đồng với bưu chính, nơi cần tái cấu trúc nhanh để ứng dụng công nghệ mới.

- *Giả thuyết H3: Yếu tố tài chính (FIN) có tác động đến nâng cao kết quả kinh doanh của doanh nghiệp bưu chính trong CDS.*

CDS đòi hỏi khoản đầu tư lớn vào hạ tầng, nhân lực, đào tạo và phần mềm chuyên sâu. Mokgohloa et al. (2023) phát hiện rằng vòng phản hồi giữa năng lực vận hành và tài chính đóng vai trò then chốt để duy trì động lực phát triển số hóa trong bưu chính. Nếu không có nguồn lực tài chính đủ và ổn định, quá trình số hóa dễ trở thành dự án nhỏ lẻ, không thể tạo tác động lan tỏa.

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Trong nghiên cứu này, để thu thập các dữ liệu sơ cấp, bảng khảo sát được thiết kế trên cơ sở kế thừa các nghiên cứu trước, gồm nghiên cứu của Otsetova (2019), nghiên cứu của Mikavica, Blagojević et al. (2022), Chủ Báo Quyết (2021) và Bùi Thị Hương (2023), chi tiết như trong Bảng 1. Bộ câu hỏi được gửi đến các đối tượng khảo sát (lãnh đạo, cán bộ quản lý) tại các doanh nghiệp bưu chính. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả thu được 125 câu trả lời đáp ứng yêu cầu và được sử dụng trong phân tích.

Đo lường các biến: Trong nghiên cứu này, thang đo likert 5 cấp độ được sử dụng cho các câu hỏi liên quan đến các biến nghiên cứu. Trong đó, 1 - Hoàn toàn không quan trọng, 5 - Hoàn toàn quan trọng.

4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

Theo sách trắng về Bưu chính viễn thông và Công nghệ thông tin, tính đến hết năm 2022, tổng doanh thu ngành Bưu chính đạt khoảng trên 90 nghìn tỷ đồng, với số lượng doanh nghiệp đạt 655 doanh nghiệp, với số lao động khoảng trên 94 nghìn người.

4.1. Mẫu nghiên cứu

Với 125 câu trả lời từ các lãnh đạo doanh nghiệp (lãnh đạo các chi nhánh, điểm giao dịch) và người lao động tại các doanh nghiệp bưu chính, kết quả cho thấy, có 19,4%, tức 24 người là lãnh đạo doanh nghiệp, còn lại là nhân viên.

4.2. Kiểm định độ tin cậy thang đo

Với phương pháp khảo sát bằng bảng hỏi sử dụng thang đo 5 cấp độ, để đảm bảo độ tin cậy của thang đo, nghiên cứu sử dụng các hệ số Cronbach's, hệ số tương quan biến tổng, hệ số KMO. Kết quả cho trong bảng sau:

Bảng 1. Kết quả kiểm tra độ tin cậy của các thang đo

Mã	Nội dung câu hỏi	Cronbach's alpha	KMO
1. Yếu tố công nghệ		0,879	0,823
TEC1	Doanh nghiệp có hạ tầng công nghệ thông tin hiện đại, phục vụ cho CĐS.		
TEC2	Hệ thống phần mềm và nền tảng số được tích hợp tốt trong vận hành.		
TEC3	Hệ thống dữ liệu số đầy đủ, đồng bộ và dễ khai thác.		
TEC4	Ứng dụng công nghệ mới như AI, IoT, Big Data được triển khai hiệu quả.		
2. Yếu tố tổ chức - quản trị nội bộ		0,751	0,861
ORG1	Doanh nghiệp có chiến lược rõ ràng về CĐS.		
ORG2	Có sự phối hợp hiệu quả giữa các phòng, ban trong quá trình CĐS.		
ORG3	Cơ cấu tổ chức linh hoạt, sẵn sàng thích nghi với công nghệ mới.		
ORG4	Văn hóa doanh nghiệp ủng hộ thay đổi và sáng tạo.		
3. Yếu tố tài chính		0,786	0,723
FIN1	Doanh nghiệp có đủ nguồn lực tài chính để đầu tư cho CĐS.		
FIN2	Các dự án số hóa nhận được ngân sách phù hợp.		
FIN3	Doanh nghiệp sẵn sàng đầu tư vào công nghệ mới.		
4. Kết quả CĐS		0,726	0,754
RES1	Năng suất lao động đã cải thiện nhờ ứng dụng công nghệ số.		
RES2	Chất lượng dịch vụ khách hàng được nâng cao.		
RES3	Doanh thu từ các dịch vụ số gia tăng rõ rệt.		
RES4	Quá trình xử lý đơn hàng nhanh hơn và hiệu quả hơn.		

Nguồn: Tác giả tổng hợp từ phân tích dữ liệu khảo sát

4.3. Kiểm định giả thuyết và mô hình nghiên cứu

Để phân tích mô hình và các giả thuyết nghiên cứu, tác giả sử dụng phần mềm SPSS 20.0. Kết quả phân tích được thể hiện trong bảng sau:

Bảng 2. Kết quả phân tích hệ số hồi quy đa biến

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		Std. Error	Beta			
1	(Constant)	5.111E-016	.038		.000	1.000
	TEC	.143	.040	.143	3.558	.000
	FIN	.113	.046	.113	2.471	.014
	ORG	.231	.046	.231	5.010	.000

a. Dependent Variable: RES

Kết quả tại Bảng 2 cho thấy, ba nhân tố về nguồn nhân lực trong hoạt động chuyển đổi số tại các doanh nghiệp bưu chính đều

tác động trực tiếp đến kết quả kinh doanh. Trong đó, nhân tố tổ chức, quản trị nội bộ (ORG) có tác động lớn hơn với hệ số hồi quy = 0,231, sig = 0,000, tiếp đến là nhân tố về công nghệ (TEC) với hệ số hồi quy là 0,143 và nhân tố tài chính là cuối cùng. Như vậy, tất cả các giả thuyết đặt ra của nghiên cứu đều được xác nhận và có ý nghĩa, đồng thời mô hình nghiên cứu được xác nhận và có ý nghĩa.

5. KẾT LUẬN

Chuyển đổi số là yêu cầu bắt buộc và cũng là điều kiện để phát triển kinh doanh, giảm chi phí hoạt động cho mọi doanh nghiệp. Trong đó, để đạt được mục tiêu kinh doanh, các doanh nghiệp bưu chính cần không ngừng hiện đại hóa thông qua quá trình chuyển đổi số toàn diện, trong đó yếu tố tổ chức, quản trị nội bộ (ORG) là có tính quyết định. Nghiên cứu đã có đóng góp thêm về vai trò và tầm quan trọng của nguồn nhân lực CĐS tại các doanh nghiệp bưu chính, thông qua việc đánh giá và phân tích đóng góp của 3 nhóm nhân tố đến kết quả kinh doanh. Kết quả kiểm định giả thuyết nghiên cứu cho phép kết luận rằng, với các doanh nghiệp bưu chính, để CĐS thúc đẩy kết quả kinh doanh thì cần chú trọng đến vấn đề tổ chức và quản trị nội bộ, đầu tư đổi mới công nghệ áp dụng tại doanh nghiệp.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Giao thông vận tải trong Đề tài mã số T2025-KT-014.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bùi Thị Hương (2023), Các yếu tố ảnh hưởng đến chuyển đổi số của các doanh nghiệp tại tỉnh Bình Dương, Tập san Khoa học và kỹ thuật, Trường Đại học Bình Dương.
- [2]. Chử Bá Quyết (2021), Nghiên cứu khám phá các nhân tố ảnh hưởng đến chuyển đổi số thành công của doanh nghiệp ở Việt Nam, Tạp chí Khoa học và Đào tạo ngân hàng 233: 57-70.
- [3]. Luu Thi Thanh Mai, Dang Thanh Liem and Trinh Xuan Hoan (2022), Factors affecting the digital transformation of telecommunication enterprises in Ho Chi Minh city, International Journal of Applied Science and Engineering Review (IJASER) 3 (3): 59-74.
- [4]. Mikavica, Branka, Mladenka Blagojević and Aleksandra Kostić-Ljubisavljević (2022), Digital transformation of postal services—key success triggers, FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN TRAFFIC AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES.
- [5]. Otsetova, A. (2019), Postal Sector Transformation in Digital Economy, International Journal, Information Models and Analyses 8(2): 110-130.
- [6]. Siebel, T. M. (2019), Digital transformation: survive and thrive in an era of mass extinction, RosettaBooks.
- [7]. Gregory, R., Wagner, H. T., Tumbas, S., & Drechsler, K. (2019), At the crossroads between digital innovation and digital transformation.

Nghiên cứu sự vận động của các chỉ tiêu lập kế hoạch vốn đầu tư công xây dựng công trình giao thông tại Việt Nam

Study on the dynamics of public investment capital planning indicators for transport infrastructure projects 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 lập kế hoạch vốn đầu tư công xây dựng công trình giao thông tại Việt Nam. Thông qua khảo sát 136 đối tượng là các cơ quan quản lý và ban quản lý dự án, nghiên cứu đánh giá 8 chỉ tiêu phản ánh công tác lập kế hoạch vốn. Kết quả cho thấy các chỉ tiêu đạt mức trung bình khá, phản ánh sự hoàn thành nhiệm vụ theo quy định pháp luật. Tuy nhiên, vẫn còn tồn tại những hạn chế về khả năng dự báo nguồn lực, huy động vốn ngoài ngân sách và tính cụ thể trong giải pháp thực thi. Nghiên cứu đề xuất cần tiếp tục hoàn thiện khung thể chế, nâng cao năng lực lập kế hoạch và xây dựng các kịch bản điều hành linh hoạt, nhằm nâng cao chất lượng công tác lập kế hoạch vốn đầu tư công trong lĩnh vực GTVT.

Từ khóa: Lập kế hoạch vốn đầu tư công; công trình giao thông; chỉ tiêu lập kế hoạch; huy động vốn, quản lý đầu tư công.

ABSTRACT

This paper analyzes the dynamics of public investment capital planning indicators for transport infrastructure projects in Vietnam. A survey of 136 participants from management agencies and project management units was conducted to assess eight core planning indicators. The results indicate that most indicators are rated at an above-average level, reflecting compliance with legal requirements. However, limitations remain in resource forecasting, mobilizing non-budget capital and detailing implementation solutions. The study recommends improving institutional frameworks, enhancing planning capacity, and developing flexible execution scenarios to improve the quality of public investment capital planning in the transportation sector.

Keywords: Public investment capital planning; transport infrastructure projects; planning indicators; capital mobilization; public investment management.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Lập kế hoạch vốn đầu tư công là một trong những công đoạn quan trọng, quyết định hiệu quả triển khai các dự án đầu tư công nói chung và công trình giao thông nói riêng. Trong bối cảnh Việt Nam đang đẩy mạnh đầu tư phát triển kết cấu hạ tầng giao thông nhằm thúc đẩy tăng trưởng kinh tế và phát triển bền vững, việc lập kế hoạch vốn đầu tư công ngày càng được chú trọng để đảm bảo tính khả thi, hiệu quả sử dụng vốn và phù hợp với các mục tiêu chiến lược.

Lập kế hoạch là một quá trình quan trọng nhằm xác định rõ các mục tiêu cần đạt được, xây dựng các kế hoạch hành động cụ thể, xác lập trách nhiệm thực hiện cho từng hành động, đồng thời tiến hành rà soát và điều chỉnh các chỉ tiêu hiệu năng trong suốt quá trình thực hiện [4]. Một bản kế hoạch tốt không chỉ giúp tổ chức xác định rõ phương hướng phát triển mà còn cho biết tổ chức đang tập

trung vào những nỗ lực gì, ưu tiên nguồn lực cho những nhiệm vụ nào và cách thức thực hiện để đạt được các mục tiêu đã đề ra [1, 2]. Trong lĩnh vực đầu tư, lập kế hoạch đầu tư được hiểu là việc thiết lập một tập hợp các hành động đủ chi tiết để tất cả các thành viên trong tổ chức có thể biết chính xác mình phải làm gì, thực hiện vào thời điểm nào và sử dụng nguồn lực ra sao nhằm đảm bảo hoàn thành các mục tiêu của hoạt động đầu tư [3].

Quá trình lập kế hoạch vốn đầu tư công không chỉ đơn thuần là việc lên danh mục dự án hay phân bổ ngân sách mà còn là sự tổng hợp các bước đánh giá, lựa chọn dự án, cân đối nguồn lực, sắp xếp thứ tự ưu tiên và mô tả các giải pháp thực hiện. Đặc biệt, trong lĩnh vực GTVT, công tác lập kế hoạch vốn đầu tư công còn mang tính chất đặc thù do liên quan đến nhiều chủ thể tham gia quản lý, từ các cơ quan lập kế hoạch, cơ quan tài chính, chủ đầu tư cho đến các đơn vị kiểm toán, giám sát.

Thực tế triển khai lập kế hoạch vốn đầu tư công trong ngành GTVT thời gian qua cho thấy, dù đã tuân thủ các nguyên tắc theo quy định của Luật Đầu tư công và các hướng dẫn liên quan, vẫn còn tồn tại nhiều hạn chế như: Sự phù hợp giữa kế hoạch vốn và mục tiêu phát triển ngành chưa cao; tính liên kết giữa kế hoạch trung hạn và hàng năm còn thiếu chặt chẽ; việc huy động vốn ngoài ngân sách chưa đạt kỳ vọng; thứ tự ưu tiên, phân bổ vốn đôi khi chưa tối ưu so với khả năng cân đối nguồn lực.

Xuất phát từ thực tiễn đó, nghiên cứu này tập trung vào việc phân tích sự vận động của các chỉ tiêu lập kế hoạch vốn đầu tư công xây dựng công trình giao thông tại Việt Nam. Thông qua việc khảo sát, đánh giá 8 chỉ tiêu cốt lõi mô tả công tác lập kế hoạch vốn, nhóm tác giả mong muốn làm rõ mức độ thực hiện, các điểm mạnh, điểm yếu và các vấn đề cần cải thiện trong công tác này. Kết quả nghiên cứu không chỉ giúp phản ánh thực trạng mà còn là cơ sở tham khảo cho việc nâng cao chất lượng công tác lập kế hoạch vốn đầu tư công, phục vụ cho việc quản lý và phát triển hạ tầng giao thông hiệu quả hơn trong tương lai.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Khung chỉ tiêu lập kế hoạch vốn đầu tư công

Quản lý vốn đầu tư công trong lĩnh vực xây dựng công trình giao thông, cũng như trong các hoạt động quản lý khác, đều cần tuân thủ các nguyên tắc cơ bản của khoa học quản lý. Những nguyên tắc này được thể hiện thông qua 4 chức năng cốt lõi: Lập kế hoạch, tổ chức thực hiện, điều hành thực hiện và kiểm soát quá trình thực hiện kế hoạch [4]. Tuy nhiên, trong mỗi lĩnh vực kinh tế - xã hội cụ thể, các chức năng quản lý này sẽ được vận hành và điều chỉnh sao cho phù hợp với đặc điểm vận động, điều kiện thực tế và bối cảnh pháp lý riêng biệt của từng lĩnh vực.

Đối với quản lý vốn đầu tư công xây dựng công trình giao thông tại Việt Nam, ngoài việc tuân thủ các nguyên tắc quản lý chung, hoạt động này còn chịu sự điều chỉnh chặt chẽ bởi các quy định pháp luật liên quan đến đầu tư công, ngân sách nhà nước và đầu tư xây dựng. Đặc biệt, quản lý vốn đầu tư công trong lĩnh vực GTVT mang tính chất "đa tổ chức", khi có sự tham gia của nhiều cơ quan, đơn vị ở các cấp khác nhau trong suốt quá trình lập, thực hiện và giám sát kế hoạch vốn đầu tư công.

Do đó, khi áp dụng các nguyên tắc quản lý vào thực tiễn quản lý vốn đầu tư công xây dựng công trình giao thông, cần xem xét đến các đặc thù vận hành cũng như sự phối hợp giữa các chủ thể tham gia vào quá trình này. Để đánh giá đầy đủ công tác lập kế hoạch vốn đầu tư công trong lĩnh vực GTVT, nghiên cứu này kế thừa và sử dụng khung chỉ tiêu đã được nhóm tác giả xây dựng trước đây, bao gồm 8 chỉ tiêu cụ thể được trình bày tại Bảng 1.

Bảng 1. Chỉ mô tả hoạt động lập kế hoạch vốn đầu tư công xây dựng [5]

STT	Mã CT	Nội dung
1	PL1	Mức độ phổ biến rõ ràng, đầy đủ hướng dẫn lập kế hoạch vốn đầu tư công tới các chủ thể liên quan.
2	PL2	Sự phù hợp của kế hoạch vốn đầu tư công với quy hoạch, mục tiêu phát triển ngành và kế hoạch tài chính, nợ công 5 năm.
3	PL3	Sự phù hợp của kế hoạch vốn đầu tư công với khả năng huy động, cân đối nguồn lực và đảm bảo an toàn nợ công.
4	PL4	Sự phù hợp của kế hoạch vốn hàng năm với kế hoạch trung hạn và điều kiện phê duyệt dự án.
5	PL5	Mức độ phù hợp của kế hoạch phân bổ vốn với nguyên tắc, tiêu chí và định mức đã được phê duyệt cho từng giai đoạn.
6	PL6	Sự phù hợp của việc ưu tiên danh mục dự án và phân bổ vốn trung hạn với khả năng huy động nguồn lực và mục tiêu phát triển 5 năm.

7	PL7	Sự phù hợp của quyết định chủ trương đầu tư với khả năng huy động vốn và kiểm soát nợ công.
8	PL8	Mức độ cụ thể trong mô tả giải pháp điều hành, tổ chức thực hiện và dự kiến kết quả của kế hoạch vốn trung hạn và hàng năm.

2.2. Thu thập số liệu

Để tiến hành thu thập thông tin khảo sát cho các chỉ mô tả các nội dung lập kế hoạch vốn đầu tư công xây dựng công trình giao thông, thang đo Likert được sử dụng với thang điểm đánh giá từ 1 đến 5 được áp dụng, trong đó: (1) - Rất không đồng ý; (2) - Không đồng ý; (3) - Trung lập; (4) - Đồng ý; (5) - Rất đồng ý.

Khảo sát số liệu sơ cấp được tiến hành và thu thập được 136 mẫu hợp lệ, trong đó bao gồm 74 mẫu thuộc các ban quản lý dự án các công trình giao thông thuộc cơ quan chủ trì, 29 mẫu thuộc cơ quan chủ trì về quản lý vốn đầu tư xây dựng công trình giao thông, 13 mẫu thuộc cơ quan kế hoạch về quản lý vốn đầu tư xây dựng công trình giao thông, 7 mẫu thuộc cơ quan tài chính về quản lý vốn đầu tư xây dựng công trình giao thông và 13 mẫu thuộc cơ quan kiểm toán nhà nước về vốn đầu tư xây dựng công trình giao thông.

Phân bố lĩnh vực hoạt động nghề nghiệp của đối tượng khảo sát cho thấy phần lớn đối tượng khảo sát hoạt động có liên quan trực tiếp đến quản lý vốn đầu tư công xây dựng công trình giao thông, chiếm 64% và 33,8% liên quan gián tiếp, còn lại 2,2% là không liên quan. Phân bố này là điều kiện thuận lợi đảm bảo độ tin cậy của thông tin được thu thập, đồng thời đảm bảo tính khách quan liên quan đến quan điểm của các đối tượng liên quan khác nhau.

Phân bố thông tin bề dày kinh nghiệm nghề nghiệp của đối tượng được khảo sát cho thấy đa số đối tượng được khảo sát có kinh nghiệm nghề nghiệp hơn 10 năm (chiếm 65,4%) và từ 5 - 10 năm (chiếm 21,3 %), còn lại 13,2% có kinh nghiệm dưới 5 năm. Phân bố này đảm bảo điều kiện thuận lợi và độ tin cậy cho các thông tin khảo sát được thu thập.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ BÀN LUẬN

Phân tích thực trạng vận động của các chỉ tiêu lập kế hoạch vốn đầu tư công xây dựng công trình giao thông tại Việt Nam được thực hiện dựa trên 8 chỉ tiêu đo lường đã xây dựng. Kết quả khảo sát cho thấy các chỉ tiêu đều đạt mức trung bình khá, phản ánh công tác lập kế hoạch vốn đầu tư công trong ngành GTVT cơ bản hoàn thành nhiệm vụ theo yêu cầu của pháp luật và các quy định hiện hành. Tuy nhiên, mức điểm trung bình chưa cao cho thấy vẫn còn nhiều hạn chế cần tiếp tục cải thiện để nâng cao chất lượng lập kế hoạch vốn trong các giai đoạn tới.

Kết quả chi tiết được thể hiện ở Bảng 2, trong đó chỉ tiêu PL2 và PL4 (mức độ phù hợp của kế hoạch vốn với quy hoạch, mục tiêu phát triển ngành và sự phù hợp giữa kế hoạch vốn hàng năm với kế hoạch trung hạn) có giá trị trung bình cao nhất (lần lượt là 3,5221 và 3,5662). Điều này cho thấy, các cơ quan quản lý đã có sự quan tâm nhất định đến việc đảm bảo tính đồng bộ giữa kế hoạch vốn đầu tư công với định hướng phát triển ngành và quy hoạch ngành GTVT. Tuy nhiên, mức độ này vẫn chỉ ở mức "khá đồng thuận", chưa đạt mức độ "rất đồng thuận", phản ánh vẫn còn những bất cập nhất định trong quá trình triển khai.

Đáng chú ý, chỉ tiêu PL3 (sự phù hợp của kế hoạch với khả năng huy động và cân đối nguồn lực) và PL6 (sự phù hợp của thứ tự ưu tiên và danh mục dự án với khả năng huy động vốn và mục tiêu phát triển 5 năm) đều có điểm trung bình thấp hơn (lần lượt là 3,2206 và 3,1691). Điều này cho thấy việc lập kế hoạch vốn hiện nay còn chưa sát với thực tế khả năng cân đối nguồn lực, đặc biệt là nguồn vốn ngoài ngân sách. Kế hoạch vẫn mang nặng tính "kỳ vọng", trong khi nguồn lực thực tế huy động được còn hạn chế.

Bảng 2. Phân tích thống kê mô tả các chỉ tiêu liên quan lập kế hoạch vốn đầu tư

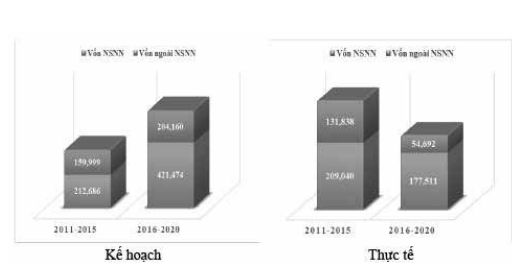
Chỉ tiêu (Criteria)	Số lượng mẫu (N)	Giá trị nhỏ nhất (Minimum)	Giá trị lớn nhất (Maximum)	Giá trị trung bình (Mean)	Độ lệch chuẩn (Std. Deviation)
PL1	136	1,00	5,00	3,3309	,71030
PL2	136	1,00	5,00	3,5221	,74004
PL3	136	1,00	5,00	3,2206	,57980
PL4	136	2,00	5,00	3,5662	,65209
PL5	136	2,00	5,00	3,2059	,84431
PL6	136	1,00	5,00	3,1691	,87395
PL7	136	1,00	5,00	3,5221	,75979
PL8	136	1,00	5,00	3,2794	,67430

Kết quả phân tích ở Bảng 3 và Hình 1 về tình hình huy động vốn trong hai giai đoạn 2011 - 2015 và 2016 - 2020 cho thấy, mức vốn huy động thực tế từ cả hai nguồn vốn NSNN và vốn ngoài NSNN đều không đạt được kế hoạch đề ra, thậm chí còn sụt giảm mạnh trong giai đoạn sau. Cụ thể, giai đoạn 2016 - 2020, tổng số vốn huy động thực tế chỉ đạt khoảng 37% kế hoạch (232.203/625.634 tỷ đồng). Nguồn vốn ngoài ngân sách đạt tỷ lệ rất thấp (chỉ 27% so với kế hoạch), cho thấy khả năng huy động vốn xã hội hóa còn nhiều khó khăn. Nguyên nhân chủ yếu do ảnh hưởng của các yếu tố vĩ mô như sự sụt giảm đầu tư nước ngoài, ảnh hưởng của dịch bệnh, suy giảm kinh tế và các rào cản về thể chế thu hút đầu tư tư nhân.

Bảng 3. Tình hình huy động vốn qua hai giai đoạn 2011 - 2015 và 2016 - 2020

Giai đoạn	Tổng số			Vốn NSNN			Vốn ngoài NSNN		
	Kế hoạch	Thực tế	Chênh lệch	Kế hoạch	Thực tế	Chênh lệch	Kế hoạch	Thực tế	Chênh lệch
2011-2015	372.685	340.878	-31.807	212.686	209.040	-3.646	159.999	131.838	-28.161
2016-2020	625.634	232.203	-393.431	421.474	177.511	-243.963	204.160	54.692	-149.468
Chênh lệch	252.949	-108.675	-	208.788	-31.529	-	44.161	-77.146	-

ĐVT: Tỷ đồng



Hình 1. Tình hình huy động vốn đầu tư cơ sở hạ tầng giao thông qua hai giai đoạn

Độ lệch chuẩn ở các chỉ tiêu PL5 và PL6 khá cao (lần lượt là 0,84431 và 0,87395), phản ánh mức độ phân tán lớn trong các câu trả lời của đối tượng khảo sát. Điều này cho thấy nhận thức và thực hành về phân bổ vốn theo nguyên tắc, tiêu chí, định mức và về ưu tiên danh mục dự án vẫn chưa thống nhất giữa các cơ quan, đơn vị. Sự khác biệt về quan điểm có thể đến từ đặc thù vai trò, vị trí công tác và mức độ tham gia vào quá trình lập kế hoạch vốn ở các cấp quản lý khác nhau.

Chỉ tiêu PL8 (mức độ mô tả cụ thể giải pháp điều hành, tổ chức thực hiện và dự kiến kết quả đạt được) có điểm trung bình 3,2794. Kết quả này phản ánh thực trạng các kế hoạch vốn tuy đã được lập nhưng vẫn còn mang tính định hướng chung, chưa mô tả rõ cách thức thực hiện hay các phương án điều hành khi có biến động nguồn vốn. Điều này dễ dẫn đến việc chậm trễ hoặc lúng túng trong quá trình triển khai khi tình hình thực tế không đúng với kịch bản dự kiến.

Nhìn chung, kết quả nghiên cứu cho thấy công tác lập kế hoạch vốn đầu tư công trong lĩnh vực GTVT tại Việt Nam đang từng bước được hoàn thiện, đã có những chuyển biến tích cực về quy trình, hệ thống chỉ tiêu và sự phù hợp với chiến lược phát triển ngành. Tuy nhiên, còn tồn tại các vấn đề về năng lực dự báo nguồn vốn, tính khả thi của các chỉ tiêu phân bổ, sự thiếu gắn kết giữa kế hoạch và thực tế cân đối nguồn lực, cũng như việc thiếu cụ thể trong các giải pháp điều hành thực hiện kế hoạch.

Những kết quả này đặt ra yêu cầu cần tiếp tục hoàn thiện thể chế, tăng cường năng lực lập kế hoạch tại các cơ quan quản lý, đồng thời nâng cao năng lực dự báo và huy động nguồn lực đầu tư công,

đặc biệt là vốn ngoài ngân sách. Ngoài ra, cần chú trọng xây dựng các kịch bản thực thi linh hoạt, có tính dự phòng để đảm bảo tính khả thi trong quá trình triển khai kế hoạch vốn đầu tư công cho ngành GTVT.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã đánh giá thực trạng vận động của các chỉ tiêu lập kế hoạch vốn đầu tư công xây dựng công trình giao thông tại Việt Nam, thông qua khảo sát 136 đối tượng thuộc các cơ quan quản lý và ban quản lý dự án. Kết quả cho thấy, công tác lập kế hoạch vốn đầu tư công đã cơ bản tuân thủ quy định pháp luật và đáp ứng các chỉ tiêu quan trọng, đặc biệt là tính đồng bộ giữa kế hoạch trung hạn và hàng năm cũng như sự phù hợp với quy hoạch ngành GTVT.

Tuy nhiên, nghiên cứu cũng chỉ ra một số hạn chế như khả năng dự báo và huy động nguồn vốn ngoài ngân sách còn thấp, sự phân bổ vốn chưa thật sự sát với khả năng cân đối nguồn lực và việc xây dựng giải pháp thực thi trong kế hoạch còn thiếu cụ thể. Để khắc phục, cần hoàn thiện thể chế lập kế hoạch vốn, nâng cao năng lực dự báo tài chính, đồng thời xây dựng các kịch bản điều hành linh hoạt nhằm tăng tính khả thi và hiệu quả trong triển khai kế hoạch vốn đầu tư công cho ngành GTVT.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Nguyễn Lương Hải (2019), Nghiên cứu sự ảnh hưởng của công tác lập kế hoạch đến hiệu quả hoạt động quản lý nhà nước trong đầu tư công xây dựng hạ tầng đường bộ tại Việt Nam, Tạp chí Khoa học công nghệ Xây dựng, 13(3V): 108-115.
[2]. Charles W.L.Hill and Steven L.McShane (2006), Principles of Management. McGraw-Hill, Irwin.
[3]. Jack R. Meredith and Samuel J. Mantel (2009), Project Management - A Managerial Approach, 7th edition, John Wiley & Sons, Inc.
[4]. Pinto J. K. and Slevin D. P. (1987), Critical Factors in Successful Project Implementation, IEEE Transactions on Engineering Management, 34(1): 22-27.
[5]. Trần Tuấn Phong và Nguyễn Lương Hải (2024), Nghiên cứu các chỉ tiêu đánh giá hoạt động lập kế hoạch vốn đầu tư công xây dựng công trình giao thông tại Việt Nam, Tạp chí GTVT, tập 64, số tháng 3, tr.145-148.

Phân tích hiệu quả cảng biển container phía Nam Việt Nam: Phương pháp phân tích đường bao dữ liệu (DEA)

An efficiency analysis of container ports in Southern Vietnam: A Data Envelopment Approach (DEA)

> TS TRẦN THỊ ANH TÂM^{1*}, TS TRẦN NGUYỄN KHÔI²

¹Trường Kinh doanh - Đại học Kinh tế TP.HCM

²Trường Đại học Ngân hàng TP.HCM

*Email: tamtta@ueh.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo áp dụng phương pháp phân tích đường bao dữ liệu (DEA) để định lượng mức độ hiệu quả trong hoạt động của các cảng container quốc tế ở khu vực phía Nam. Các mô hình DEA khác nhau đã được sử dụng để đánh giá mức hiệu quả của các cảng khách quan. Cảng Cát Lái được đánh giá hiệu quả tuyệt đối trên mọi mô hình DEA. So với Cát Lái, những cảng khác đang hoạt động kém hiệu quả hơn ở nhiều mức độ khác nhau. Trong bối cảnh cảng biển cạnh tranh gay gắt hiện nay, hiểu về hiệu quả hoạt động của cảng và có những quyết định phù hợp khi đầu tư thiết bị, mở rộng cảng, hay thiết kế dịch vụ sản phẩm cảng để thu hút khách hàng đều rất quan trọng đối với từng doanh nghiệp cảng.

Từ khóa: Quản lý cảng container; phân tích đường bao dữ liệu (DEA); điểm hiệu suất.

ABSTRACT

This study applies the Data Envelopment Analysis (DEA) method to quantify the operational efficiency of international container ports in Southern Vietnam. Various DEA models-CRS, VRS, SE and DEA-CRS-SBM with both input and output-orientations-are employed to objectively assess port performance. Cat Lai Port is consistently identified as fully efficient across all DEA models. In comparison, other ports operate at varying degrees of inefficiency relative to Cat Lai. In the context of increasingly intense port competition, understanding port efficiency and making informed decisions regarding equipment investment, terminal expansion, or service design to attract customers are crucial for each port operator.

Keywords: Container port management; data envelopment analysis (DEA); efficiency rating.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Việt Nam đã nhanh chóng nổi lên như một quốc gia đóng vai trò then chốt trong thương mại hàng hải toàn cầu, được thúc đẩy bởi nền công nghiệp đang mở rộng và vị thế ngày càng hội nhập trong các chuỗi cung ứng quốc tế. Các cảng container của Việt Nam đóng vai trò trung tâm trong quá trình chuyển mình này. Theo Lloyd's List (2024)[1], Cảng TP.HCM xếp thứ 25 và Cảng Cái Mép (tại Bà Rịa - Vũng Tàu cũ) xếp thứ 34 trong danh sách 100 cảng container bận rộn nhất thế giới.

Các cảng container, với vai trò là mắt xích quan trọng trong chuỗi cung ứng toàn cầu giữ vai trò nền tảng trong việc nâng cao năng lực cạnh tranh thương mại. Tuy vậy, vẫn còn rất ít nghiên cứu hiệu quả cảng sử dụng phương pháp định lượng. Vì vậy, việc đề xuất các chính sách phát triển cảng cho khu vực này còn gặp nhiều khó khăn.

Bài báo có 3 mục tiêu chính: Thứ nhất, đo lường hiệu quả của

cảng bằng công cụ đường bao dữ liệu (DEA); thứ hai, phân tích các yếu tố gây ra kém hiệu quả và thứ ba là đề xuất các khuyến nghị cụ thể phục vụ công tác quản lý cảng.

2. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU

Hiệu quả cảng biển tiếp tục là chủ đề cốt lõi trong nghiên cứu logistics hàng hải, phản ánh nhu cầu đánh giá cách các cảng sử dụng nguồn lực nhằm đạt được mục tiêu vận hành và chiến lược. Theo Sherman và Zhu, hiệu quả có thể được định nghĩa đơn giản là tỷ lệ giữa đầu ra và đầu vào [2]. Đầu ra cao hơn trên mỗi đơn vị đầu vào phản ánh mức độ hiệu quả cao hơn. Phân tích bao dữ liệu (DEA), do Charnes, Cooper và Rhodes giới thiệu, là một phương pháp phi tham số và toàn diện để đo lường hiệu quả. DEA đánh giá hiệu quả tương đối của các đơn vị ra quyết định (DMU) - trong trường hợp này là các cảng [3].

Roll và Hayuth là những người đầu tiên ứng dụng DEA vào lĩnh vực hàng hải, chuyển hướng nghiên cứu từ các chỉ số đơn lẻ sang

đánh giá hiệu quả tương đối dựa trên phương pháp biên [4]. Tiếp đó, Tongzon mở rộng phạm vi bằng cách áp dụng kỹ thuật kinh tế lượng như phương pháp bình phương hai giai đoạn để chứng minh rằng hiệu quả hoạt động của cảng, đặc biệt là thời gian neo đậu và độ tin cậy trong quay vòng tàu, ảnh hưởng đến sức hấp dẫn của cảng đối với các hãng tàu [5].

Tại Việt Nam, các nghiên cứu dựa trên phương pháp DEA Nguyễn & Trần, Nông và Nguyễn cùng cộng sự (2021) [6, 7, 8] chọn lựa đối tượng cảng phân tích không tập trung vào nhóm cảng chuyên xếp dỡ container hoặc là dàn trải các vùng miền khác nhau. Sự khác nhau nhiều về cách thức chọn mẫu mà không xét đến vai trò, chức năng hay vị trí địa lý khu vực của cảng làm cho bài viết trên không giải thích được mức độ hiệu quả các cảng trên hiện trạng cơ sở hạ tầng sẵn có.

3. PHƯƠNG PHÁP

3.1. Mô hình

Nghiên cứu này áp dụng một phương pháp lập trình tuyến tính để tìm được tập hợp các hệ số (u và v) sao cho đạt được tỷ lệ hiệu quả đầu ra trên đầu vào cao nhất cho từng đơn vị cảng đánh giá. Trong mô hình này, j là số lượng cảng (P) sử dụng để so sánh trong phân tích DEA; biết các thông tin:

P - Cảng thứ j ;

θ - Hệ số hiệu quả đang được đánh giá theo DEA;

y_{rj} - Giá trị đầu ra thứ r của cảng thứ j ;

x_{ij} - Giá trị đầu vào thứ i của cảng thứ j ;

i - Số biến đầu vào của cảng;

r - Số biến đầu ra của cảng.

Công thức tối đa hóa chỉ số hiệu quả θ cho cảng o như sau:

Maximize

$$\theta = \frac{u_1 y_{1o} + u_2 y_{2o} + \dots + u_r y_{ro}}{v_1 x_{1o} + v_2 x_{2o} + \dots + v_m x_{mo}} = \frac{\sum_{r=1}^R u_r y_{ro}}{\sum_{i=1}^M v_i x_{io}} \quad (1)$$

Công thức (1) có các điều kiện kèm theo khi áp dụng cùng một tập hợp hệ số u và v cho tất cả các đơn vị cảng khác khi được so sánh, thì phải thỏa mãn điều kiện (2) sau:

$$P_j \frac{u_1 y_{1j} + u_2 y_{2j} + \dots + u_r y_{rj}}{v_1 x_{1j} + v_2 x_{2j} + \dots + v_m x_{mj}} = \frac{\sum_{r=1}^R u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^M v_i x_{ij}} \leq 1 \quad (2)$$

$$u_1, \dots, u_r > 0; v_1, \dots, v_m \geq 0$$

Đầu tiên, chúng tôi thực hiện tính toán mô hình DEA với giả định hiệu quả không đổi theo quy mô (CRS), dựa trên mô hình CCR do Charnes, Cooper và Rhodes đề xuất năm 1978, giả định rằng sản lượng đầu ra tăng tỷ lệ thuận với đầu vào [3]. Mô hình này ước lượng chỉ số hiệu quả kỹ thuật chung, nhưng không phân biệt giữa hiệu quả kỹ thuật thuần túy và hiệu quả theo quy mô.

Thứ hai là mô hình DEA với giả định hiệu quả biến đổi theo quy mô (VRS), được Banker, Charnes và Cooper phát triển vào năm 1984, bổ sung điều kiện giả định để cho phép hiệu quả thay đổi theo quy mô [9].

Thứ ba, mô hình nhận diện chênh lệch giữa kết quả CRS và VRS (hiệu quả theo quy mô - SE) giúp xác định mức độ kém hiệu quả của cảng do vận hành không đúng quy mô. Công thức như sau:

$$SE = \frac{\text{Hiệu quả CRS}}{\text{Hiệu quả VRS}} \quad (3)$$

Trong nghiên cứu này, mô hình DEA theo hướng đầu vào và theo hướng đầu ra đều được sử dụng để đánh giá hiệu quả hoạt động cảng.

Thứ tư, mô hình DEA phụ trợ dựa vào độ trễ Slack-Based Model (SBM) đặc biệt có giá trị vì nó trực tiếp tích hợp các biến độ trễ (slack), cho phép đo lường cả mức độ kém hiệu quả theo tỷ lệ và phần dư thừa của đầu vào/đầu ra. Mô hình SBM đặc biệt quan trọng

trong bối cảnh các cảng có sự khác biệt lớn về quy mô hạ tầng và mức độ sử dụng tài sản, như tại khu vực miền Nam Việt Nam.

Để phân tích mô hình DEA trên số liệu thực nghiệm theo các lập trình tuyến tính tiêu chuẩn như trên, người ta hay sử dụng các phần mềm miễn phí như DEA Frontier (gói cơ bản), Max DEA hay R-gói DEA.

3.2. Dữ liệu

Chúng tôi lựa chọn 13 cảng container nằm ở các lưu vực sông khác nhau tại khu vực miền Nam Việt Nam. Các lưu vực sông chính có cảng bao gồm: (1) Sông Sài Gòn và sông Đồng Nai: Cát Lái, VICT, SP-ITC, Bến Nghé, Lotus, Đồng Nai; (2) sông Cái Mép - Thị Vải: Gemalink, CMIT, TCCT & TCIT, TCTT, SSIT và (3) sông Soài Rạp: SG Hiệp Phước và TC Hiệp Phước. Các cảng thuộc nhóm 2 (sông Cái Mép - Thị Vải) và nhóm 3 (sông Soài Rạp) có vị trí gần tuyến hàng hải quốc tế hơn, có mớn nước sâu và được thành lập gần đây từ năm 2012.

Chúng tôi lựa chọn các yếu tố cơ sở hạ tầng cứng làm đầu vào cho quá trình hoạt động sản xuất của cảng. Năm biến đầu vào được lựa chọn bao gồm chiều dài cầu bến (mét), diện tích cảng (m^2), độ sâu trước bến (mét) và số lượng cần cẩu bốc xếp container từ tàu (còn gọi là gantry crane). Một biến đầu vào đại diện cho vốn con người là số lượng lao động toàn thời gian tại cảng trong năm 2023. Một biến đầu ra là sản lượng container (TEU).

Dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu này là dữ liệu thứ cấp, được thu thập từ trang web chính thức của Hiệp hội Cảng biển Việt Nam, các trang web chính thức của cảng và các báo cáo thường niên công khai của cảng.

4. KẾT QUẢ

Phân tích hiệu quả của cảng container tại khu vực miền Nam Việt Nam dựa trên nhiều mô hình DEA cho thấy khoảng cách đáng kể về hiệu suất cảng (Bảng 1).

Theo mô hình CRS hướng đầu vào (CRS-I, cột 2), chỉ có cảng Cát Lái đạt điểm hiệu quả tuyệt đối 1,0, khẳng định vai trò là cảng chuẩn mực. Các cảng còn lại đều không đạt hiệu quả toàn phần, trong đó các cảng có hiệu suất thấp nhất là Lotus (0,055), SP-ITC (0,285) và SG Hiệp Phước (0,524). Kết quả đồng nhất với mô hình DEA CRS hướng đầu ra (CRS-O).

Chỉ số hiệu quả theo quy mô (SE) cho thấy sự chênh lệch rõ rệt giữa các cảng. Cát Lái tiếp tục đạt điểm 1,0 ở cả hai mô hình, xác nhận cảng này đang hoạt động tại quy mô sản xuất tối ưu. TCCT&TCIT và VICT có điểm SE trên 0,93, phản ánh việc tận dụng quy mô gần đạt hiệu quả tối đa. Gemalink và Bến Nghé có hiệu suất trung bình. Ngược lại, cảng ở khu vực Cái Mép như CMIT, SSIT và TCTT có điểm SE từ 0,55 đến 0,68, cho thấy còn nhiều dư địa để tăng quy mô hoạt động. Đáng chú ý, SE của cảng SP-ITC có sự chênh lệch rõ rệt giữa hiệu quả đầu vào và đầu ra (0,354 so với 0,743), phản ánh sự lãng phí trong sử dụng đầu vào. Các cảng Đồng Nai, SG Hiệp Phước và TC Hiệp Phước có điểm SE dưới 0,55, thể hiện mức độ kém hiệu quả nghiêm trọng hơn. Lotus là cảng có hiệu quả thấp nhất với điểm SE chỉ đạt 0,055.

Sự giống nhau giữa các điểm hiệu quả CRS-I,O (cột 2,3 trong Bảng 1) cho thấy rằng giả định về hiệu suất không đổi theo quy mô (CRS) không làm sai lệch các ước lượng hệ số hiệu quả trong bài viết này. Vấn đề tiềm ẩn về cảng kém hiệu quả quy mô, có thể xuất phát từ tình trạng cảng đang dư thừa công suất hoặc phân bổ nguồn lực chưa hợp lý [9].

Hơn thế nữa, chúng tôi áp dụng tính toán mô hình DEA - SBM CRS (trong Bảng 2) làm rõ thêm các kết luận hiệu suất hoạt động cảng bằng cách chỉ ra các yếu tố dư thừa (non-radial slacks) trong nguồn lực đầu vào cảng đang sử dụng để sản xuất. Kết quả cho thấy cảng Cát Lái tiếp tục là cảng duy nhất đạt điểm hiệu suất bằng 1,0 ở cả hai hướng (đầu vào và đầu ra), không có tình trạng dư thừa đầu vào hay thiếu hụt đầu ra ở Cát Lái.

Tiến bộ hơn kết quả từ CRS, VRS, SE (Bảng 1), mô hình SBM-CRS phân loại được hiệu quả các cảng khác rõ rệt: Ví dụ, TCCT&TCIT chỉ đạt 0,672, Gemalink 0,554 và VICT 0,508. Đặc biệt, Lotus, SP-ITC và SG Hiệp Phước là ba cảng có điểm hiệu quả DEA-SBM thấp nhất, lần lượt là 0,029, 0,211 và 0,220. Những con số này cho thấy tình trạng sử dụng nguồn lực đầu vào kém hiệu quả nghiêm trọng.

Bảng 1. Tổng hợp điểm hiệu quả các cảng theo 6 mô hình DEA biến thể

Cảng	CRS-I	CRS-O	VRS-I	VRS-O	SE-I	SE-O
Cát Lái	1	1	1	1	1	1
TCCT&TCIT	0,976	0,976	1	1	0,976	0,976
Gemalink	0,834	0,834	1	1	0,834	0,834
SP-ITC	0,285	0,285	0,802	0,383	0,354	0,743
CMIT	0,681	0,681	1	1	0,681	0,681
Bến Nghé	0,821	0,821	1	1	0,821	0,821
Lotus	0,055	0,055	1	1	0,055	0,055
Đồng Nai	0,430	0,430	1	1	0,430	0,430
SSIT	0,668	0,668	1	1	0,668	0,668
TCTT	0,558	0,558	1	1	0,558	0,558
TC Hiệp Phước	0,315	0,315	1	1	0,315	0,315
VICT	0,933	0,933	1	1	0,933	0,933
SG Hiệp Phước	0,524	0,524	1	1	0,524	0,524

Bảng 2. Kết quả mô hình DEA SBM-CRS hướng đầu vào

Cảng	Điểm hiệu quả	Xếp hạng	Chỉ số đối sánh (lambda λ)	Mức dư thừa biến đầu vào				
				Diện tích (m ²)	Chiều dài bến (m)	Độ sâu bến (m)	Số cầu gantry (chiếc)	Lao động (người)
Bến Nghé	0,291	8	Cat Lai(0.063)	161.867	1.229	9	0	226
Cát Lái	1	1	Cat Lai(1)	0	0	0	0	0
Lotus	0,029	13	Cat Lai(0.005)	0	12	0,5	0,03	11
Đồng Nai	0,271	9	Cat Lai(0.082)	180.271	70	1,9	0	38
SP-ITC	0,211	11	Cat Lai(0.085)	0	50	2,3	0,05	45
VICT	0,507	4	Cat Lai(0.101)	24.527	426	9	4	0
TCCT+TCIT	0,672	2	Cat Lai(0.366)	0	395	12	0,25	182
TCTT	0,385	6	Cat Lai(0.121)	130.879	154	13	1,3	0
CMIT	0,458	5	Cat Lai(0.157)	110.769	129	13	0	126
SSIT	0,354	7	Cat Lai(0.102)	353.864	287	15	0	96
Gemalink	0,554	3	Cat Lai(0.256)	227.692	172	12	0	182
TC Hiệp Phước	0,155	12	Cat Lai(0.033)	0	515	9	3	76
SG Hiệp Phước	0,220	10	Cat Lai(0.029)	450,651	685	9.8	0,5	0

Như vậy, để cải thiện hiệu quả sử dụng nguồn lực hạ tầng, cảng nhóm (1): Bến Nghé, Lotus, Đồng Nai, SP-ITC, VICT nên tăng cường hoạt động tiếp thị đến các hãng tàu chính và mạng lưới vận tải nội địa, đồng thời đưa ra mức phí cạnh tranh so với cảng Cát Lái.

Đối với nhóm cảng nước sâu (2) Cái Mép, Thị Vải như TCCT+TCIT, TCTT, CMIT, SSIT, Gemalink cần tập trung mạnh vào việc mở rộng thị phần trung chuyển, tận dụng lợi thế nước sâu để thu hút tàu lớn và đẩy mạnh tích hợp dọc với các liên minh vận tải biển tạo ra các tuyến xuyên Á - Âu, Thái Bình Dương.

Nhóm cảng (3) gần khu công nghiệp Hiệp Phước đang có hiệu quả đầu ra thấp nhất, trong khi hạ tầng chưa được khai thác tối ưu. Các cảng có thể chuyển hướng sang phục vụ logistics nội địa, hỗ trợ mạng lưới feeder hoặc phát triển dịch vụ logistics giá trị gia tăng.

5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Nghiên cứu này đã áp dụng phương pháp phân tích đường bao dữ liệu (DEA) với rất nhiều biến thể khác nhau để định lượng và xếp hạng hiệu quả hoạt động cảng container quốc tế tại khu vực phía Nam. Việc sử dụng nhiều mô hình DEA biến thể để tính toán giúp tác giả khẳng định lại độ tin cậy của hệ số hiệu quả cảng ở khu vực phía Nam.

Kết quả phân tích cho thấy, dù khu vực phía Nam cảng biển thông qua hơn 60% tổng sản lượng container cả nước, tuy nhiên,

chỉ số hiệu quả của các cảng container quốc tế ở khu vực này đang chênh lệch nhau rất nhiều. Các nhà quản lý cảng cần lưu ý về mức độ sử dụng hiệu quả cơ sở vật chất hạ tầng của cảng ở khu vực. Cảng Cát Lái vẫn giữ vai trò chuẩn tham chiếu với điểm hiệu quả 1,0 và không có dư thừa nào ở tất cả các yếu tố, các cảng còn lại trong nhóm (1) đều có mức dư thừa nguồn lực đáng kể.

Trong bối cảnh cạnh tranh ngày càng gay gắt với các cảng biển trong khu vực, các cảng đô thị TP.HCM cần tái cấu trúc linh hoạt và chuyển môn hóa dịch vụ; các cảng nước sâu tại Cái Mép nên tập trung vào tăng sản lượng và liên minh chiến lược, còn các cảng mới hình thành tại Hiệp Phước cần đa dạng hóa chức năng để đảm bảo tính ổn định sản lượng. Việc giải quyết bất hiệu quả thông qua điều chỉnh quy mô, tối ưu vận hành và định vị thị trường khác biệt sẽ góp phần nâng cao sức cạnh tranh và phát triển bền vững của hệ thống cảng miền Nam. Đối với cơ quan chức năng quản lý, các cảng đang có chỉ số hiệu quả rất thấp ở Hiệp Phước rất nên quan tâm tái định vị lại chiến lược thu hút hàng hóa trong nước và khu vực.

Lời cảm ơn: Bài báo này là sản phẩm của đề tài nghiên cứu khoa học công nghệ cấp Trường có mã số [CS-COB-2023-46] được tài trợ bởi Đại học Kinh tế TP.HCM.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. One Hundred Container Ports 2024, Lloyd's List, Accessed: Jun. 19, 2025. [Online]. Available: <https://www.lloydslist.com/one-hundred-container-ports-2024>.
[2]. H. D. Sherman and J. Zhu (2006), Service Productivity Management: Improving Service Performance using Data Envelopment Analysis (DEA), Boston, MA: Springer US, doi: 10.1007/0-387-33231-6.
[3]. A. Charnes, W. W. Cooper and E. Rhodes (Nov., 1978), Measuring the efficiency of decision making units, European Journal of Operational Research, vol.2, no.6, pp.429-444, doi: 10.1016/0377-2217(78)90138-8.
[4]. Y. Roll and Y. Hayuth (Jan., 1993), Port performance comparison applying data envelopment analysis (DEA), Maritime Policy & Management, vol.20, no.2, pp.153-161, doi: 10.1080/03088839300000025.
[5]. J. L. Tongzon (May, 1995), Determinants of port performance and efficiency, Transportation Research Part A: Policy and Practice, vol.29, no.3, pp.245-252, doi: 10.1016/0965-8564(94)00032-6.
[6]. T. L. H. Nguyen, S.-H. Park, Y. Kim and G.-T. Yeo (Dec., 2021), An efficiency analysis of container terminals in Southern Vietnam using DEA dynamic efficiency evaluation, The Asian Journal of Shipping and Logistics, vol.37, no.4, pp.329-336, doi: 10.1016/j.ajsl.2021.09.003.
[7]. N.-T. Nguyen and T.-T. Tran (Nov., 2019), Raising opportunities in strategic alliance by evaluating efficiency of logistics companies in Vietnam: A case of Cat Lai Port, Neural Comput & Applic, vol.31, no.11, pp.7963-7974, doi: 10.1007/s00521-018-3639-2.
[8]. T. N.-M. Nong (Mar., 2023), Performance efficiency assessment of Vietnamese ports: An application of Delphi with Kamet principles and DEA model, The Asian Journal of Shipping and Logistics, vol.39, no.1, pp.1-12, doi: 10.1016/j.ajsl.2022.10.002.
[9]. R. D. Banker, A. Charnes and W. W. Cooper (Sep., 1984), Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis, Management Science, vol.30, no.9, pp.1078-1092, doi: 10.1287/mnsc.30.9.1078.

Công tác quản lý và khai thác đường cao tốc - Tuần đường và xử lý sự cố trên đường cao tốc trong kỷ nguyên đột phá về phát triển khoa học công nghệ, đổi mới sáng tạo và chuyển đổi số

Expressway management and operation - Road patrol and incident response in the era of breakthroughs in science and technology development, innovation and digital transformation

> **THS.NCS BÙI VIỆT CƯỜNG^{1*}, THS NGUYỄN THỊ DIỄM HẰNG¹, PGS.TS TRẦN THỊ KIM ĐĂNG²**

¹Cục Đường bộ Việt Nam

²Trường Đại học Giao thông vận tải

*Email: buivietcuong568@gmail.com

TÓM TẮT

Sự phát triển mạnh mẽ mạng lưới đường bộ cao tốc thời gian qua và trong tương lai đã đặt ra yêu cầu cấp thiết đổi mới công tác quản lý và khai thác đường cao tốc, đặc biệt trong bối cảnh cả nước đang bước vào kỷ nguyên đột phá về phát triển khoa học công nghệ, đổi mới sáng tạo và chuyển đổi số.

Từ khóa: Mạng lưới đường bộ cao tốc; tuần đường và xử lý sự cố trên đường cao tốc; hệ thống giao thông thông minh; chuyển đổi số.

ABSTRACT

The rapid expansion of the expressway network, both in recent years and in the near future, highlights the urgent need to modernize expressway management and operations, especially as the country steps into a new era of technological development, innovation and digital transformation.

Keywords: The expressway network; traffic patrol and incident treatment; ITS; digital transformation.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong thời gian qua, việc phát triển mạng đường bộ cao tốc đã góp phần không nhỏ trong phát triển kinh tế - xã hội của các địa phương có đường bộ cao tốc đi qua nói riêng và các vùng miền trong cả nước nói chung. Từ tuyến cao tốc đầu tiên được đầu tư xây dựng năm 2004, sau 20 năm phát triển, đến nay cả nước có 35

tuyến/đoạn tuyến với chiều dài khoảng 2.021 km. Quy hoạch mạng lưới đường bộ thời kỳ 2021 - 2030 và tầm nhìn đến năm 2050 (được Thủ tướng Chính phủ ký ban hành tại Quyết định số 1454/QĐ-TTg ngày 01/9/2021 và điều chỉnh tại Quyết định số 12/QĐ-TTg ngày 03/01/2025) để ra mục tiêu "Phấn đấu đến năm 2030 đưa vào khai thác trên 5.000 km đường bộ cao tốc, đến năm 2050 sẽ đưa vào khai thác khoảng hơn 10.000 km". Sự phát triển mạnh mẽ mạng lưới đường bộ cao tốc thời gian qua và trong tương lai đã đặt ra yêu cầu cấp thiết đổi mới công tác quản lý và khai thác đường cao tốc, đặc biệt trong bối cảnh cả nước đang bước vào kỷ nguyên đột phá về phát triển khoa học công nghệ, đổi mới sáng tạo và chuyển đổi số.

2. HIỆN TRẠNG VÀ TIÊU CHUẨN VỀ CÔNG TÁC TUẦN ĐƯỜNG VÀ XỬ LÝ SỰ CỐ TRÊN ĐƯỜNG CAO TỐC

Tăng cường công tác quản lý và khai thác đường cao tốc - Tuần đường và xử lý sự cố trên đường cao tốc là xu hướng tất yếu theo yêu cầu thực tế. Quản lý và khai thác đường cao tốc - Tuần đường và xử lý sự cố trên đường cao tốc giúp đảm bảo điều kiện khai thác đường cao tốc được an toàn, đảm bảo mức độ phục vụ cao của đường cao tốc, qua đó thu hút và duy trì được nhu cầu vận tải ổn định, góp phần đảm bảo hiệu quả đầu tư cũng như phân bổ phương thức vận tải hợp lý trên toàn hệ thống GTVT.

Hiện nay, công tác tuần đường và xử lý sự cố trên đường cao tốc đang áp dụng TCCS 16:2016/TCĐBVN - Tiêu chuẩn quản lý và khai thác đường cao tốc - Tuần đường và xử lý sự cố trên đường cao tốc được Tổng cục Đường bộ Việt Nam (nay là Cục Đường bộ Việt Nam) tiến hành xây dựng từ năm 2013 và công bố năm 2016 trên cơ sở tài liệu là sản phẩm của Dự án hỗ trợ tăng cường năng lực về quản lý, vận hành và khai thác đường cao tốc của Nhật Bản cho Việt Nam. Tại thời điểm xây dựng TCCS 16:2016/TCĐBVN, Việt Nam

mới xây dựng và đưa vào khai thác một số đoạn tuyến cao tốc (Cầu Giẽ - Ninh Bình, TP.HCM - Trung Lương; TP.HCM - Long Thành - Dầu Giây...). Các tài liệu viện dẫn trong TCCS 16:2016/TCĐBVN đều đã cũ, được chỉnh sửa, bổ sung nhiều lần.

Nội dung TCCS 16:2016/TCĐBVN được xây dựng phù hợp với thực trạng giao thông và cơ sở hạ tầng tại Việt Nam thời điểm đó, thiết kế phù hợp với đặc thù khí hậu, địa hình và nhu cầu giao thông tại Việt Nam, nhất là các khu vực có địa hình phức tạp. TCCS 16:2016/TCĐBVN đã đề cập đến nhiều khía cạnh kỹ thuật, từ tổ chức tuần đường, bảo trì đến xử lý sự cố, đảm bảo toàn diện cho công tác quản lý đường cao tốc, quy định rõ ràng các bước thực hiện, giúp các đơn vị vận hành dễ dàng áp dụng.

Tuy nhiên, TCCS chỉ có hiệu lực trong phạm vi các đơn vị thuộc Cục Đường bộ Việt Nam, không áp dụng rộng rãi trên toàn quốc, dẫn đến thiếu sự đồng bộ; chưa có hướng dẫn cụ thể về ứng phó với các sự cố nghiêm trọng như tai nạn liên hoàn, thiên tai lớn hoặc các tình huống khẩn cấp đặc biệt. Tiêu chuẩn chưa đề cập đầy đủ đến việc ứng dụng công nghệ giao thông thông minh (ITS), trí tuệ nhân tạo (AI) hay cảm biến IoT trong quản lý tuần đường và xử lý sự cố. Cơ chế giám sát và kiểm tra thực hiện TCCS 16 chưa được quy định chi tiết, dẫn đến khó khăn trong việc đánh giá hiệu quả áp dụng.

3. XU HƯỚNG PHÁT TRIỂN CÔNG NGHỆ, ỨNG DỤNG HỆ THỐNG GIAO THÔNG THÔNG MINH TRONG QUẢN LÝ, KHAI THÁC ĐƯỜNG CAO TỐC

Cùng với sự phát triển của mạng lưới đường cao tốc, hệ thống quản lý, điều hành giao thông cũng đã được đầu tư trên một số đoạn tuyến. Đến nay, 11/35 tuyến đường cao tốc đã được đầu tư hệ thống giao thông thông minh (ITS) để quản lý, vận hành tuyến.

Nhằm thực hiện Quyết định số 923/QĐ-TTg ngày 30/6/2020 của Thủ tướng Chính phủ, trong đó đặt ra mục tiêu đến năm 2025 “100% các tuyến đường bộ cao tốc có triển khai lắp đặt hệ thống quản lý, điều hành giao thông thông minh (ITS)”, Bộ GTVT (nay là Bộ Xây dựng) đã chỉ đạo chủ đầu tư các dự án đầu tư xây dựng cao tốc, trước mắt là dự án đầu tư xây dựng cao tốc Bắc - Nam phía Đông giai đoạn 2017 - 2020 và giai đoạn 2021 - 2025 đầu tư đồng bộ hệ thống giao thông thông minh để đưa vào khai thác. Đồng thời, Bộ GTVT đã gửi văn bản đến Ủy ban Quản lý vốn Nhà nước, UBND các tỉnh, thành phố về việc triển khai đầu tư xây dựng hệ thống ITS tại các tuyến cao tốc trực ngang. Bộ GTVT (nay là Bộ Xây dựng) cũng đã ban hành Đề án “Định hướng trong đầu tư, vận hành khai thác hệ thống giao thông thông minh trên đường bộ cao tốc” (Văn bản số 15209/BGTVT-KCHT ngày 29/12/2023 về việc chấp thuận nội dung Đề án “Định hướng trong đầu tư, vận hành khai thác hệ thống giao thông thông minh trên đường bộ cao tốc”), trong đó đã xác định lộ trình nghiên cứu để xuất mô hình tổng thể quản lý, vận hành khai thác và bảo trì hệ thống giao thông thông minh cho các tuyến đường cao tốc; đề xuất lộ trình triển khai thực hiện phù hợp với điều kiện Việt Nam, đảm bảo khai thác hiệu quả đường cao tốc.

Tháng 6/2024, Luật Đường bộ số 35/2024/QH15 được Quốc hội thông qua, cùng với Quy chuẩn quốc gia QCVN 117:2024/BGTVT quy định đường cao tốc phải được đầu tư xây dựng đồng bộ với các công trình trung tâm quản lý, điều hành giao thông tuyến, hệ thống thu phí điện tử không dừng và công trình kiểm soát tải trọng xe. Các tuyến cao tốc hiện hữu chưa được đầu tư trung tâm quản lý, điều hành giao thông, hệ thống thu phí không dừng và công trình kiểm soát tải trọng xe sẽ phải đầu tư theo lộ trình được quy định tại Nghị định số 165/2024/NĐ-CP ngày 26/12/2024 của Chính phủ.

Như vậy, cùng với một số tuyến cao tốc đã đầu tư, vận hành hệ thống giám sát, điều hành giao thông, trong năm 2025, trên tuyến cao tốc Bắc - Nam phía Đông sẽ có 5 đoạn tuyến thuộc dự án đầu tư giai đoạn 2017 - 2020 và 12 đoạn tuyến giai đoạn 2021 - 2025 đưa hệ thống giám sát, điều hành giao thông vào quản lý, khai thác đường cao tốc. Các tuyến cao tốc đang đầu tư xây dựng và các tuyến hiện hữu đều sẽ được đầu tư hoàn chỉnh hệ thống giám sát, điều hành giao thông và trung tâm quản lý, điều hành giao thông tuyến để thực hiện quản lý và vận hành giao thông trên tuyến cao tốc.

Hệ thống giám sát, điều hành giao thông được đầu tư xây dựng trên tuyến cao tốc Bắc - Nam phía Đông và các tuyến cao tốc khác bao gồm các hệ thống thành phần chính:

- Hệ thống camera giám sát (CCTV): Giúp quan sát trực quan dòng giao thông trên tuyến đường; sử dụng công nghệ AI để phân tích hình ảnh, tình hình giao thông trên tuyến, tự động phát hiện tai nạn, sự cố, sự kiện bất thường và xác minh tình hình giao thông trên tuyến, sự cố, sự kiện bất thường. Các camera CCTV được bố trí với khoảng cách trung bình 2 km/vị trí, với tầm quét 1 km, đảm bảo quan sát toàn tuyến.

- Hệ thống phát hiện xe (VDS): Giúp thu thập tự động dữ liệu giao thông; kiểm soát lưu lượng xe ra vào tuyến đường cao tốc; xác định tốc độ lưu thông dòng phương tiện, tình trạng tắc nghẽn của từng đoạn trên cao tốc; tự động nhận diện định danh phương tiện thông qua nhận dạng quang học biển số xe, có khả năng ghi hình ban đêm.

- Hệ thống biển báo điện tử (VMS, LCS): Cung cấp cho người sử dụng đường thông tin về tình trạng giao thông, sự cố, sự kiện, điều kiện thời tiết trên đường cao tốc; cung cấp phương án tuyến thay thế trong trường hợp tắc đường hoặc có tai nạn trên cao tốc. Biển báo thông tin điện tử được điều khiển tại phòng điều hành trung tâm, cung cấp thông tin kịp thời đến người sử dụng đường.

- Hệ thống thu phí điện tử không dừng ETC; hệ thống kiểm tra tải trọng xe; hệ thống thông tin vô tuyến (Radio); hệ thống điện thoại nội bộ, SOS và các hệ thống truyền dẫn cáp quang, kỹ thuật số (DTS).

- Trung tâm quản lý, điều hành giao thông tuyến (TMC): Trực tiếp vận hành, giám sát, điều khiển hoạt động của các thiết bị ITS trên tuyến; tiếp nhận thông tin, dữ liệu sự kiện giao thông để giám sát, điều hành, tổ chức giao thông đường cao tốc trong phạm vi quản lý; thu thập thông tin giao thông trên tuyến, hiển thị, xử lý, lưu trữ và chia sẻ các thông tin quản lý điều hành giao thông với hệ thống kết nối chia sẻ dữ liệu ITS dùng chung và các đơn vị liên quan theo quy định.

4. NHU CẦU ĐỔI MỚI VÀ ĐIỀU CHỈNH, BỔ SUNG TIÊU CHUẨN KỸ THUẬT VỀ CÔNG TÁC TUẦN ĐƯỜNG VÀ XỬ LÝ SỰ CỐ TRÊN ĐƯỜNG CAO TỐC TRONG TÌNH HÌNH MỚI

Cùng với quá trình đẩy mạnh đầu tư và hình thành nhiều tuyến đường cao tốc, xác suất xuất hiện các sự cố sẽ có xu hướng gia tăng trong thời gian tới do gia tăng lưu lượng trên các tuyến cùng với quá trình xuống cấp của công trình. Quá trình này cũng dẫn đến tăng tần suất các hoạt động gây trở ngại đến lưu thông trên các tuyến cao tốc như: Bảo trì, sửa chữa, kiểm tra công trình...

Việc ra đời của một loạt các văn bản quy phạm pháp luật mới như Luật Đường bộ; Luật Trật tự an toàn giao thông; Nghị định 165/2024/NĐ-CP ngày 26/12/2024 của Chính phủ quy định chi tiết, hướng dẫn thi hành một số điều Luật Đường bộ, Điều 77 Luật trật tự, an toàn giao thông đường bộ; Thông tư số 72/2024/TT-BCA

ngày 13/11/2024 của Bộ Công an quy định quy trình điều tra, giải quyết tai nạn giao thông đường bộ của Cảnh sát giao thông; QCVN 117:2024/BGTVT cùng với việc các quy chuẩn, tiêu chuẩn bao gồm QCVN 41:2019/BGTVT, TCVN 5279:2012, TCCS 07:2013/TCĐBVN... đang được điều chỉnh, cập nhật, dẫn đến yêu cầu cấp thiết phải cập nhật tiêu chuẩn TCCS 16:2016/TCĐBVN - Tiêu chuẩn quản lý và khai thác đường cao tốc - Tuần đường và xử lý sự cố trên đường cao tốc cho phù hợp.

Các nội dung cần được ưu tiên nghiên cứu, cập nhật và điều chỉnh, bổ sung: Mở rộng phạm vi áp dụng của tiêu chuẩn; đối chiếu và cập nhật nội dung tiêu chuẩn dựa trên các tiêu chuẩn quốc tế như MUTCD (Mỹ), RAS-Q (Đức) hoặc Japan Highway Standards; tích hợp mô hình quản lý thông minh; bổ sung quy định về vận hành công nghệ giao thông thông minh (ITS): Tích hợp các yêu cầu về ứng dụng ITS trong tuần đường và xử lý sự cố, bao gồm camera AI, cảm biến giao thông, bảng LED thông báo; áp dụng các công nghệ mới trong giám sát và điều hành giao thông như drone, AI và hệ thống cảnh báo tự động; quy định cụ thể việc quản lý và sử dụng dữ liệu từ các thiết bị giao thông thông minh để phân tích và hỗ trợ ra quyết định; đưa vào tiêu chuẩn các hướng dẫn về ứng phó với thiên tai lớn (ngập lụt, động đất) và tai nạn nghiêm trọng (cháy nổ, tai nạn liên hoàn); thiết lập quy định cụ thể về kiểm tra định kỳ việc thực hiện tiêu chuẩn, bao gồm các chỉ tiêu đánh giá hiệu quả; xây dựng cơ chế tài chính bền vững, tạo điều kiện cho các đơn vị quản lý hạ tầng có nguồn tài chính ổn định thông qua mô hình PPP và phí sử dụng đường cao tốc...

Qua các nội dung đánh giá nêu trên, chúng ta thấy rằng nhu cầu đổi mới và điều chỉnh, bổ sung tiêu chuẩn kỹ thuật về công tác tuần đường và xử lý sự cố trên đường cao tốc trong tình hình mới là hết sức cần thiết. Việc cập nhật, chuyển đổi TCCS 16:2016/TCĐBVN sang TCVN là cần thiết để đảm bảo phù hợp với hệ thống văn bản quy phạm pháp luật mới ban hành, tính pháp lý và hiệu lực áp dụng, đồng thời đáp ứng yêu cầu phát triển giao thông hiện đại. Đây là một bước đi chiến lược nhằm nâng cao hiệu quả quản lý, khai thác đường cao tốc tại Việt Nam. TCVN sẽ không chỉ giúp thống nhất các quy trình, tăng cường hiệu lực pháp lý mà còn hỗ trợ hội nhập quốc tế, hiện đại hóa hệ thống giao thông và đáp ứng nhu cầu phát triển bền vững của đất nước.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Luật Đường bộ số 35/2024/QH15.
- [2]. Luật Trật tự, an toàn giao thông đường bộ số 36/2024/QH15.
- [3]. 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 Luật Đường bộ, Điều 77 Luật Trật tự, an toàn giao thông đường bộ.
- [4]. Thông tư số 72/2024/TT-BCA ngày 13/11/2024 của Bộ Công an quy định quy trình điều tra, giải quyết tai nạn giao thông đường bộ của Cảnh sát giao thông.
- [5]. QCVN 117:2024/BGTVT về đường bộ cao tốc.
- [6]. TCVN 5279:2012 - Tiêu chuẩn thiết kế đường ô tô cao tốc, Bộ Khoa học và Công nghệ, 2012.
- [7]. TCVN 4054:2005 - Đường ô tô: Yêu cầu thiết kế, Bộ Khoa học và Công nghệ, 2005.
- [8]. TCCS 16:2016/TCĐBVN - Tiêu chuẩn quản lý và khai thác đường cao tốc - Tuần đường và xử lý sự cố trên đường cao tốc.
- [9]. Federal-Aid Highway Act, United States Congress, ban hành lần đầu năm 1956.
- [10]. Highways Act, Ministry of Transport, Anh Quốc, 1980 (cập nhật nhiều lần).
- [11]. Viện Tiêu chuẩn Đức (DIN) (2006), DIN EN 13108 - Bituminous mixtures: Material specifications.
- [12]. Bộ Giao thông Nhật Bản (2015), Japan Highway Design Standards.

[13]. Hội đồng Giao thông đường bộ Quốc tế (IRF) (2018), Innovations in Road Maintenance: Current Practices and Future Directions.

[14]. World Bank (2020), Road Asset Management for Sustainable Development.

[15]. Journal of Transport and Infrastructure (2021), Integrated Traffic Management Systems in Highways, vol.36.

[16]. Journal of Infrastructure Management (2015), Lessons Learned from Japan's Highway Maintenance Practices, Hiroshi Tanaka.

[17]. Journal of Civil Engineering (2020), Impact of Weather on Highway Infrastructure in Coastal Areas, vol.29.

Phân tích hiệu ứng tĩnh có xét đến hệ số động lực phát sinh trong cầu dầm giản đơn trên đường sắt tốc độ cao do tải trọng của các mô hình đoàn tàu thiết kế khác nhau

Analysis of static effects considering dynamic coefficients generated in simple girder bridges on high-speed railways due to loads of different designed train models

> PGS.TS HOÀNG HÀ

Trường Đại học Giao thông vận tải

Email: hoangha.utc2020@gmail.com

TÓM TẮT

Tùy theo mục đích sử dụng vận tải hành khách, hàng hóa hay dùng chung cho cả vận tải hành khách và hàng hóa mà các tuyến đường sắt tốc độ cao (ĐSTĐC) ở các nước khác nhau được thiết kế để đáp ứng nhu cầu chịu tải trọng của các mô hình đoàn tàu cao tốc khác nhau. Hiệu ứng phát sinh trong các kết cấu cầu dưới tác động của các mô hình đoàn tàu theo tiêu chuẩn thiết kế của các nước khác nhau sẽ có sự khác biệt đáng kể. Bài báo nghiên cứu hiệu ứng tĩnh và động lực do tác động của mô hình đoàn tàu trên ĐSTĐC theo tiêu chuẩn của một số nước ngoài đối với kết cấu nhịp cầu dầm giản đơn nhằm phục vụ công tác lựa chọn mô hình tải trọng trong thiết kế các công trình cầu trên ĐSTĐC ở Việt Nam.

Từ khóa: Đường sắt tốc độ cao; mô hình đoàn tàu cao tốc; hiệu ứng tĩnh và động lực; cầu dầm giản đơn.

ABSTRACT

Depending on the purpose of using passenger and freight transport or for both passenger and freight transport, high-speed railways (HSR) in different countries are designed to meet the load-bearing requirements of different high-speed train models. The effects arising in bridge structures under the impact of train models according to the Design Standards of different countries will have significant differences. This article studies the static and dynamic effects due to the impact of train models on HSR according to the standards of some foreign countries on simple girder bridge span structures to serve the work of selecting load models in the design of bridge works on HSRs in Vietnam.

Keywords: High speed railway; high speed train model; static and dynamic effects; simple girder bridge.

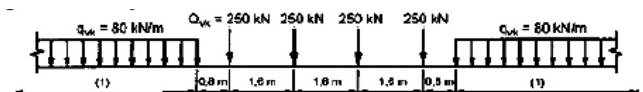
1. GIỚI THIỆU VỀ MÔ HÌNH TẢI TRỌNG ĐOÀN TÀU THIẾT KẾ DÙNG CHO CẦU TRÊN ĐSTĐC

Mô hình hoạt tải thiết kế đoàn tàu là một thông số đầu vào quan trọng, có ảnh hưởng trực tiếp đến nội lực và biến dạng phát sinh trong kết cấu cầu trên ĐSTĐC. Mô hình hoạt tải đoàn tàu thiết kế phải đáp ứng nhu cầu về năng lực vận chuyển của tuyến và xu thế đổi mới của các phương tiện đoàn tàu trên ĐSTĐC [6].

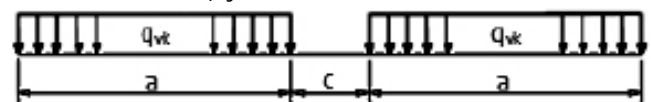
1.1. Mô hình đoàn tàu đường sắt theo Tiêu chuẩn châu Âu

Theo Tiêu chuẩn EN1991-2 Eurocode1- Phần 2: Tải trọng và tác động có 5 mô hình tải trọng đoàn tàu được đưa ra để xác định các hoạt động giao thông đường sắt ở châu Âu gồm:

- 3 mô hình tải trọng đoàn tàu tiêu chuẩn là LM71 (Hình 1) và SW/0, SW/2 (Hình 2) khi có liên quan. Trong đó, SW/0 sử dụng trong trường hợp dầm liên tục, SW/2 cho đoàn tàu hàng nặng nếu có trên tuyến.



Hình 1. Mô hình tải trọng đoàn tàu thiết kế tiêu chuẩn LM71 theo Eurocode



Hình 2. Mô hình tải trọng SW/0, SW/2 Eurocode

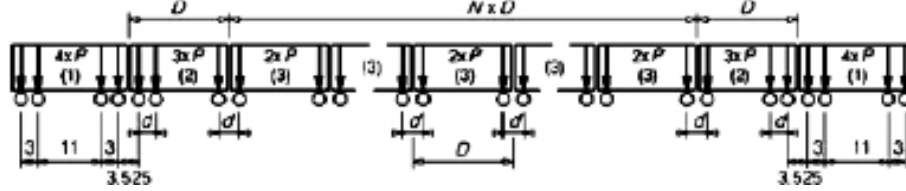
Bảng 1. Số liệu cho các mô hình SW/0 và SW/2

Mô hình tải	q_{kk} [kN/m]	a (m)	c (m)
SW/0	133	15,0	5,3
SW/2	150	25,0	7,0

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 Quốc gia của mỗi nước.

- Mô hình tải trọng đoàn tàu đại diện cho các đoàn tàu khách dự kiến di chuyển với tốc độ trên 200 km/h có ký hiệu HSLM-A (gồm 10 loại) và HSLM-B thể hiện trên Hình 3, Hình 4 và Bảng 2.

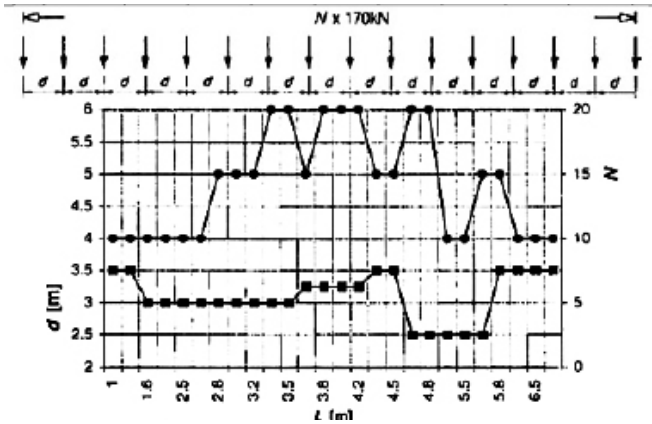
- Mô hình “đoàn tàu rỗng” gồm tải trọng thẳng đứng phân bố đều với giá trị đặc trưng 10,0 kN/m.



Hình 3. Mô hình đoàn tàu tốc độ cao HSLM-A

Bảng 2. Các thông số kỹ thuật của mô hình HSLM-A

Kí hiệu đoàn tàu vận năng	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 trục P (kN)	170	200	180	190	170	180	180	190	210	210



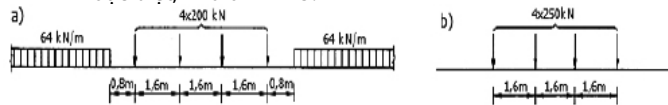
Hình 4. Mô hình đoàn tàu tốc độ cao HSLM-B

1.2. Mô hình đoàn tàu ĐSTĐC theo tiêu chuẩn của một số nước

Mô hình tải trọng đoàn tàu theo tiêu chuẩn châu Âu được áp dụng phổ biến ở nhiều nước trên thế giới bao gồm cả Hoa Kỳ 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-x-2022. Tuy nhiên, bên cạnh đó, một số nước khác có những sự phát triển mô hình tải trọng đoàn tàu có những khác biệt đáng kể.

1.2.1. Mô hình đoàn tàu ĐSTĐC theo tiêu chuẩn Trung Quốc

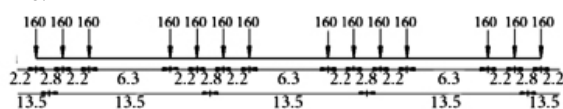
Theo Tiêu chuẩn TB10621:2014, Trung Quốc sử dụng Mô hình đoàn tàu Z-K có giá trị bằng 0,8.LM71 của tiêu chuẩn châu Âu và mô hình Z-K đặc biệt, như ở Hình 5.



Hình 5. a) - Mô hình đoàn tàu ZK; b) - Mô hình đoàn tàu đặc biệt ZK

1.2.2. 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.



a) - Mô hình hoạt tải đoàn tàu cao tốc loại N



b) - Mô hình hoạt tải đoàn tàu cao tốc loại P

Hình 6. Các mô hình tải trọng đoàn tàu ĐSTĐC của Nhật Bản

Vì lý do này cần có sự nghiên cứu so sánh hiệu ứng phát sinh trong kết cấu cầu, tập trung vào dạng kết cấu nhịp cầu tiêu chuẩn là dầm giản đơn dưới tác dụng của các mô hình tải trọng đoàn tàu cao tốc khác nhau để làm cơ sở lựa chọn mô hình đoàn tàu thực tế khi xây dựng của tuyến ĐSTĐC ở Việt Nam.

3. SO SÁNH HIỆU ỨNG TÍNH PHÁT SINH TRONG KẾT CẤU NHỊP CẦU DẦM GIẢN ĐƠN TRÊN ĐSTĐC DO TÁC ĐỘNG CỦA CÁC MÔ HÌNH ĐOÀN TÀU THEO CÁC TIÊU CHUẨN THIẾT KẾ KHÁC NHAU

Đối tượng nghiên cứu chọn kết cấu nhịp cầu giản đơn bằng bê tông dự ứng lực, mặt cắt hình hộp với chiều dài nhịp là 20 m, 24 m và 32 m có thông số kỹ thuật ghi trong Bảng 3.

Bảng 3. Cấu tạo và kích thước cơ bản của một số loại dầm giản đơn bê tông dự ứng lực cho ĐSTĐC

Nhịp	Dài toàn bộ (m)	Chiều cao (m)	Rộng bản nắp (m)	Rộng bản đáy (m)	Dày bản nắp (m)	Dày bản đáy (m)	Dày sườn bên (m)
20	20,6	2,45	13,4/12	5,80	0,30	0,28	0,45
24	24,6	2,45/3,05	13,4/12	5,80/5,50	0,30	0,28	0,45
32	32,6	3,05	13,4/12	5,50	0,30	0,28	0,45

Tham chiếu Tiêu chuẩn EN1991-2 Eurocode1 (TCVN 13594-3 2022), mô hình tải trọng đoàn tàu thiết kế cần sử dụng cả 2 mô hình HSLM-A và HSLM-B. Kết quả so sánh hiệu ứng tính do mô hình tải trọng đoàn tàu thiết kế do các mô hình HSLM với các mô hình ZK (Trung Quốc), N và P (Nhật Bản) ghi trên Bảng 4.

Lưu ý mô hình HSLM-B được áp dụng theo chú thích e Bảng 16 của [2].

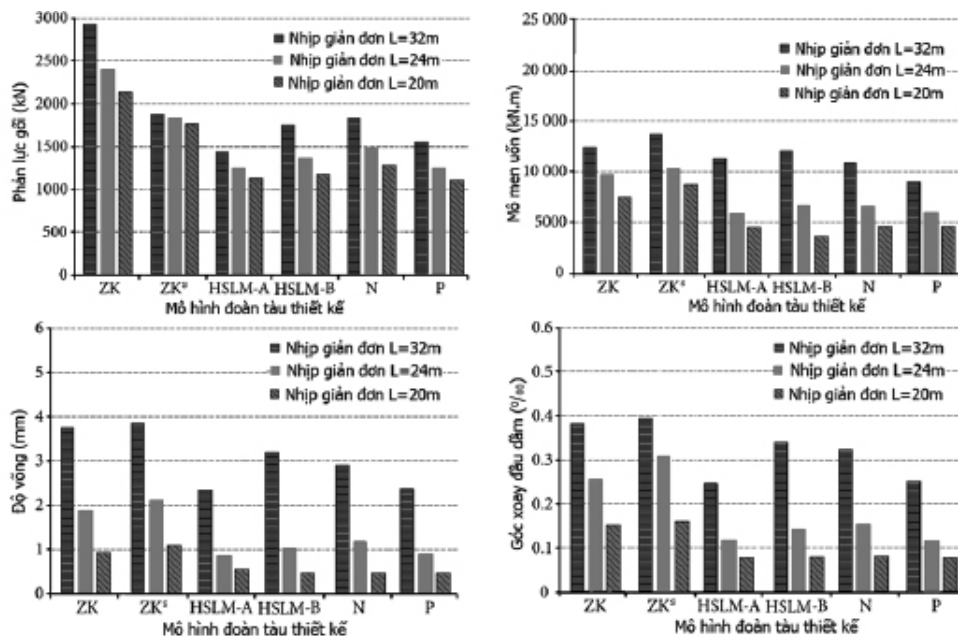
Nhận xét: Kết quả phân tích ở Bảng 4 cho thấy:

- Hiệu ứng tính do các mô hình tải trọng đoàn tàu cao tốc theo Tiêu chuẩn châu Âu (EN) hoặc TCVN 13594-x-2022 loại (HSLM-A1 và HSLM-B (với d=3,5 m) tác dụng lên kết cấu nhịp giản đơn có chiều dài 20 m, 24 m và 32 m nhìn chung nằm giữa hiệu ứng do mô hình tải trọng đoàn tàu cao tốc của Trung Quốc và Nhật Bản.

Bảng 4. So sánh hiệu ứng tĩnh phát sinh trong kết cấu nhịp dầm giản đơn do tác động của các mô hình tải trọng đoàn tàu ĐSTĐC

Nhịp	Hiệu ứng phát sinh trong kết cấu	Do tác động của mô hình tải trọng đoàn tàu					
		T/c Trung Quốc		T/c EN và Việt Nam		T/c Nhật Bản	
		ZK	ZK [*] đ/biệt	HSLM-A	HSLM-B	N	P
L=20m	Phản lực gối (kN)	2.071,6	1.760,0	1.053,15	1.147,5	1.049,6	1.091,4
	Mô-men uốn (kN.m)	7.311,9	8.400,0	4.751,5	4.335,0	4.800,0	4.862,0
	Độ võng δ (mm)	0,922	1,046	0,533	0,499	0,522	0,577
	Góc xoay (°/° ₀₀)	0,157	0,172	0,096	0,092	0,104	0,157
L=24m	Phản lực gối (kN)	2.342,8	1.800,0	1.135,8	1.338,7	1.456,0	1.222,5
	Mô-men uốn (kN.m)	9.145,8	10.400,0	6.111,5	6.885,0	6.752,6	6.222,0
	Độ võng δ (mm)	1,889	2,176	0,892	1,098	0,998	0,876
	Góc xoay (°/° ₀₀)	0,258	0,301	0,118	0,138	0,153	0,122
L=32m	Phản lực gối (kN)	2.873,9	1.850,0	1.364,5	1.726,6	1.810,0	1.593,8
	Mô-men uốn (kN.m)	12.830,7	14.400,0	11.223,5	12.325,0	10.592,0	8.942,0
	Độ võng δ (mm)	4,781	4,866	2,430	3,032	2,908	2,338
	Góc xoay (°/° ₀₀)	0,382	0,398	0,251	0,334	0,309	0,256

- Hiệu ứng do mô hình tải trọng đoàn tàu cao tốc của EN (tương đồng TCVN 13594-x-2022 gần sát với hiệu ứng mô hình tải trọng đoàn tàu cao tốc của Nhật Bản hơn: Nơi các chiều dài nhịp 20 m và 24 m các hiệu ứng tính theo mô hình EN chênh lệch khoảng 5%; với nhịp 32 m mô-men uốn lớn hơn khoảng 16,3%.



Hình 7. Biểu đồ so sánh hiệu ứng tĩnh phát sinh trong kết cấu nhịp dầm giản đơn do các mô hình tải trọng đoàn tàu ĐSTĐC khác nhau

- Mô hình tải trọng đoàn tàu cao tốc ZK và ZK^{*} của Trung Quốc do dựa trên mô hình đoàn tàu LM71 của châu Âu nên gây ra hiệu ứng lớn hơn hiệu ứng do mô hình tải trọng đoàn tàu cao tốc của EN. Với các chiều dài nhịp 20 m và 24 m, phản lực gối do mô hình ZK lớn hơn 80,5% so với mô hình HSLM-B; mô-men uốn do mô hình ZK^{*} lớn hơn 76,8% so với mô hình HSLM-B. Tuy nhiên, độ chênh lệch hiệu ứng trong dầm giản đơn nhịp 32 m lại giảm đi, phản lực gối lớn hơn 37,5%; mô-men uốn chỉ lớn hơn 16,8%.

- Độ võng rất nhỏ, tỷ lệ độ võng δ/chiều dài nhịp L lớn nhất chỉ là 1/6.693 (nhịp 32 m), nhỏ hơn rất nhiều so với yêu cầu của tiêu chuẩn Trung Quốc là 1/1.900 và tiêu chuẩn EN là 1/1.800.

- Các góc xoay đầu nhịp đều nhỏ hơn yêu cầu của tiêu chuẩn Trung Quốc là 1,0°₀₀.

Trên Hình 7 giới thiệu biểu đồ so sánh hiệu ứng tĩnh phát sinh

trong kết cấu nhịp dầm giản đơn do các mô hình tải trọng đoàn tàu ĐSTĐC khác nhau.

4. SO SÁNH HỆ SỐ ĐỘNG LỰC PHÁT SINH TRONG KẾT CẤU NHỊP CẤU DẦM GIẢN ĐƠN TRÊN ĐSTĐC DO TÁC ĐỘNG CỦA CÁC MÔ HÌNH ĐOÀN TÀU THEO CÁC TIÊU CHUẨN THIẾT KẾ KHÁC NHAU

4.1. Phương pháp tính hệ số động lực (DAF)

Hiệu ứng động lực (Dynamic Amplification Factor-DAF) được đưa vào các tổ hợp tải trọng trong tính toán thiết kế cùng với các hiệu ứng tĩnh để xét đến sự gia tăng hiệu ứng trong kết cấu do dao động dưới tác dụng của tải trọng và các tác động. DAF của hoạt tải đoàn tàu đường sắt được chỉ dẫn trong các tiêu chuẩn thiết kế theo nhiều công thức khác nhau.

Theo Tiêu chuẩn EN và TCVN 13594-x-2022, hệ số động lực của

tải trọng đoàn tàu cao tốc khi thiết kế cầu, ký hiệu ϕ được quy định ở Điều 11.4.4.5.2, theo công thức:

$$\phi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\phi - 0,2}} + 0,73 \quad (1)$$

Theo Tiêu chuẩn TB10621:2014 của Trung Quốc (Điều 7.2.8) hệ số động lực tính theo công thức:

$$(1+\mu) = 1 + \left(\frac{1,44}{\sqrt{L_\phi - 0,2}} - 0,18 \right) \quad (2)$$

Trong (1) và (2), L_ϕ - Chiều dài nhịp (m), dầm giản đơn là khoảng cách 2 gối đỡ dọc cầu.

Theo Tiêu chuẩn Nhật Bản (H16RC), hệ số động lực được tính theo công thức:

$$(1+i) = (1+i_a)(1+i_c) \quad (3)$$

Trong công thức (3): i_a - Hệ số xét đến sự gia tăng hiệu ứng động do yếu tố tốc độ, phụ thuộc vào tham số tốc độ α và tỷ lệ giữa chiều dài nhịp cầu L_ϕ và chiều dài toa xe của đoàn tàu đường sắt cao tốc L_v .

$$\alpha = (v/7,2 n_0 L_\phi) \quad (4)$$

Ở đây: v - Tốc độ thiết kế của đoàn tàu (km/h); n_0 - Tần số dao động tự nhiên của kết cấu tương ứng với dạng thức (mode) dao động thứ 1 (Hz); L_ϕ - Chiều dài nhịp (m).

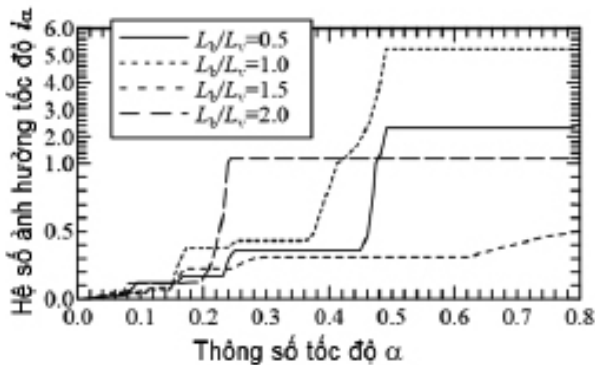
$$n_0 = \frac{K^2}{2\pi L_\phi^2} \sqrt{\frac{EI}{m}} \quad (5)$$

E - Mô-đun đàn hồi MPa; I - Mô men quán tính chống uốn (m^4); m - Khối lượng phân bố (kg/m); K - Hệ số không thứ nguyên, với dầm giản đơn $K=\pi$.

i_c - Hệ số xét đến sự gia tăng hiệu ứng động do yếu tố rung động của toa xe đường sắt.

$$i_c = 10/(65+L_\phi) \quad (6)$$

Các tham số dùng để tính toán hệ số động lực của đoàn tàu theo tiêu chuẩn Nhật Bản ghi trong Bảng 3. Hệ số i_a được xác định căn cứ vào α và tỷ lệ L_ϕ/L_v theo biểu đồ trên Hình 8.



Hình 8. Biểu đồ quan hệ giữa α , α_1 và L_ϕ/L_v

Sử dụng các công thức từ (1) đến (6) cùng với các thông số trong Bảng 5 sẽ xác định được hệ số động lực của đoàn tàu theo các tiêu chuẩn thiết kế khác nhau ghi trong Bảng 6.

Nhận xét:

- Từ các công thức từ (1) đến (6) thể hiện triết lý tính toán hệ số động lực của tải trọng đoàn tàu theo tiêu chuẩn thiết kế cầu trên ĐSTĐC của các nước khác nhau. Theo các tiêu chuẩn của Trung Quốc, EN và TCVN, hệ số động lực thể hiện dưới dạng là một hàm của chiều dài nhịp, trong khi đó hệ số động lực theo tiêu chuẩn Nhật Bản ngoài việc xét chiều dài nhịp (thông qua tỷ lệ giữa L_ϕ/L_v còn xét

thêm các yếu tố do dao động của toa xe và yếu tố vận tốc di chuyển, qua đó cho thấy phương pháp tính toán hệ số động lực theo tiêu chuẩn Nhật Bản gần hơn với mô hình thực tế có xét tương tác kết cấu - đường ray - đoàn tàu.

Bảng 5. Các thông số tính toán hệ số động lực $(1+i)$ cho các dầm giản đơn có chiều dài nhịp 20 m, 24 m và 32 m theo tiêu chuẩn Nhật Bản

Chiều dài nhịp L_ϕ (m)	Vận tốc thiết kế v (km/h)	Chiều dài toa xe L_v (m)	Tỷ lệ L_ϕ/L_v	Tần số dao động n_0 (Hz)	Hệ số α	Hệ số i_a	Hệ số i_c
20	350	20	1,00	11,95	0,20339	0,1740	0,11765
24	350	20	1,20	8,30	0,24403	0,1880	0,11236
32	350	20	1,60	4,67	0,32529	0,3020	0,10309

Bảng 6. Hệ số động lực của đoàn tàu theo các tiêu chuẩn thiết kế khác nhau

Chiều dài nhịp (m)	Hệ số động lực (DAF)		
	T/c TB10621:2014	T/c EN và TCVN 13594	T/c Nhật Bản
20	1,157236	1,213222	1,3456506
24	1,126057	1,170367	1,3437309
32	1,082736	1,111625	1,4362232

- Trong phạm vi các đối tượng được khảo sát, giá trị của hệ số động lực tính theo tiêu chuẩn Nhật Bản là lớn nhất và lớn hơn 29,20% so với tiêu chuẩn EN và TCVN, lớn hơn 32,65% so với hệ số động lực tính theo tiêu chuẩn Trung Quốc.

4.2. Hiệu ứng tĩnh phát sinh trong kết cấu cầu có xét đến hệ số động lực

Tùy theo các trạng thái giới hạn được phân tích trong bài toán thiết kế, hiệu ứng động lực thường được đưa vào dưới dạng làm gia tăng tỷ lệ % của hiệu ứng tĩnh. Giá trị mô-men và lực cắt trong lớn nhất phát sinh trong kết cấu nhịp cầu dầm giản đơn có xét đến hệ số động lực do tải trọng của các mô hình đoàn tàu cao tốc theo các tiêu chuẩn thiết kế khác nhau được ghi trong Bảng 7.

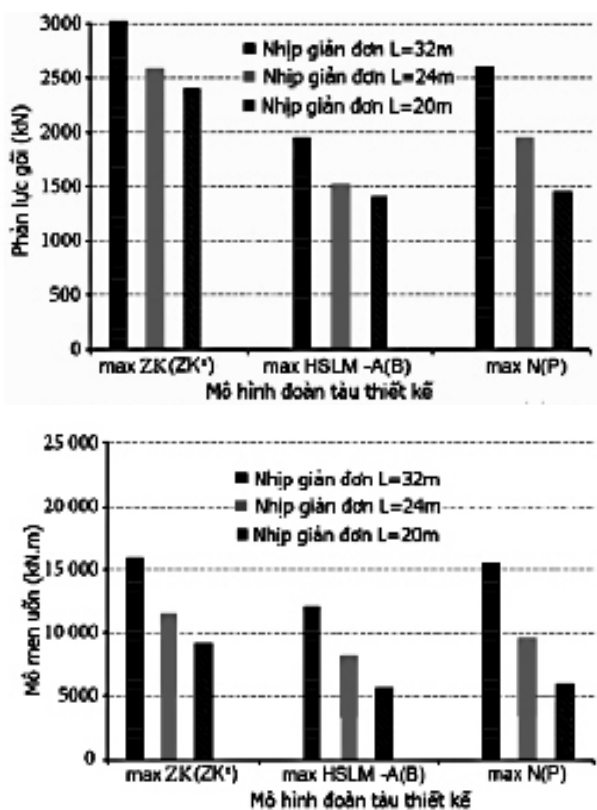
Bảng 7. So sánh hiệu ứng tĩnh lớn nhất, có xét đến hệ số động lực $(1+\mu)$ phát sinh trong kết cấu nhịp dầm giản đơn do tác động của các mô hình tải trọng đoàn tàu ĐSTĐC

Nhịp	Hiệu ứng phát sinh trong kết cấu	Do tác động của mô hình tải trọng đoàn tàu				
		T/c Trung Quốc		T/c EN và TCVN	T/c Nhật Bản	
		Giá trị max	S/s với EN và TCVN	Giá trị max	Giá trị max	S/s với EN và TCVN
20m	Phản lực gối (kN)	2.397,3	+ 72,20%	1.392,2	1.468,6	+ 5,49%
	Mô-men uốn (kN.m)	9.720,8	+ 68,63%	5.764,6	6.542,6	+ 13,50%
24m	Phản lực gối (kN)	2.638,1	+ 63,38%	1.566,8	1.956,5	+ 24,87%
	Mô-men uốn (kN.m)	11.711,0	+ 45,33%	8.058,0	9.073,7	+ 12,61%

32m	Phản lực gối (kN)	3.111,7	+ 62,13%	1.919,3	2.599,5	+ 35,44%
	Mô-men uốn (kN.m)	15.591,4	+ 13,80%	13.700,8	15.212,5	+ 11,03%

Kết quả tổng hợp ở Bảng 7 cho thấy, sau khi đưa vào hệ số động lực thì hiệu ứng mô-men uốn và phản lực gối lớn nhất trong các kết cấu nhịp cầu giản đơn do mô hình tải trọng đoàn tàu đường sắt tính theo Tiêu chuẩn EN và TCVN trở nên nhỏ hơn so với các giá trị tương ứng tính theo các tiêu chuẩn Trung Quốc và Nhật Bản. Tuy nhiên, sự chênh lệch so với tiêu chuẩn Nhật Bản không quá lớn, chỉ từ 11,03% đến 13,50% theo mô-men và từ 5,49% đến 35,44% với phản lực gối. Tuy nhiên, tính theo tiêu chuẩn Trung Quốc lớn hơn từ 13,8% đến 68,63% với mô-men và từ 62,13% đến 72,20% theo phản lực gối.

Kết quả nghiên cứu cho thấy triết lý về công năng của hệ thống ĐSTĐC của Trung Quốc có hướng tới sự phát triển trong tương lai. Biểu đồ so sánh giá trị lớn nhất của phản lực gối và mô-men thể hiện trên Hình 9.



Hình 9. Biểu đồ so sánh hiệu ứng tĩnh lớn nhất có xét đến $(1+\mu)$ phát sinh trong kết cấu nhịp dầm giản đơn do các mô hình tải trọng đoàn tàu ĐSTĐC khác nhau

5. KẾT LUẬN VÀ ĐỀ XUẤT

Nghiên cứu hiệu ứng phát sinh trong kết cấu nhịp cầu giản đơn trên ĐSTĐC do tác động của các mô hình tải trọng đoàn tàu khác nhau đã làm sáng tỏ một số vấn đề sau:

- Các mô hình đoàn tàu đường sắt cao tốc được nghiên cứu có sự tương đồng cơ bản về mô hình tải trọng, trong đó mô hình đoàn tàu theo tiêu chuẩn Trung Quốc là một trường hợp riêng được lựa chọn từ các loại mô hình tải trọng đoàn tàu theo tiêu chuẩn châu Âu EN 1991-2. Mô hình tải trọng đoàn tàu theo tiêu chuẩn Nhật Bản cũng có cấu tạo không khác biệt nhiều so với các mô hình đoàn tàu

cao tốc theo tiêu chuẩn châu Âu.

- Hiệu ứng tĩnh có xét hệ số động lực (mô-men, phản lực gối, độ võng, góc xoay) phát sinh trong kết cấu nhịp cầu giản đơn 20 m, 24 m và 32 m do tác động của các mô hình tải trọng đoàn tàu cao tốc theo tiêu chuẩn EN và TCVN gần sát với tác động của mô hình tải trọng đoàn tàu của Nhật Bản với chênh lệch không quá 13,5% theo mô-men và 33,44% theo phản lực gối. Với mô hình tải trọng đoàn tàu theo tiêu chuẩn Trung Quốc, mô-men lớn hơn đến 68,63% với nhịp 20 m nhưng giảm khi tăng chiều dài nhịp, với nhịp 32 m, chỉ lớn hơn hiệu ứng tĩnh theo EN và TCVN 13,8% và xấp xỉ với hiệu ứng theo tiêu chuẩn Nhật Bản. Tuy nhiên, phản lực gối lại lớn hơn khá nhiều từ 62,13% đến 72,2%.

- Cách tính hệ số động lực theo tiêu chuẩn Nhật Bản thể hiện sự xem xét các yếu tố tác động một cách rõ ràng hơn.

* *Kiến nghị:* Trong thiết kế các công trình cầu trên tuyến ĐSTĐC ở Việt Nam có thể tham khảo mô hình tải trọng đoàn tàu của Trung Quốc và Nhật Bản khi tính toán các giá trị phản lực gối để đáp ứng nhu cầu chịu tải trọng trục lớn hơn khi cần thiết.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. TCVN 13594-1:2022, Thiết kế cầu đường sắt khổ 1.435 mm, vận tốc đến 350 km/h - Phần 1: Yêu cầu chung.
- [2]. TCVN 13594-4:2022, Thiết kế cầu đường sắt khổ 1.435 mm, vận tốc đến 350 km/h - Phần 4: Phân tích và đánh giá kết cấu.
- [3]. EN 1990+A2, Basic of Structure Design, EN 1991-2, Action on Bridge - Traffic loads on Bridges.
- [4]. California High-Speed Train Project Design Criteria (CHSTDC), 2014.
- [5]. TB 10621, Code for Design of High Speed railway.
- [6]. Gonglian Dai, Miao Su, Y.Frank Chen, Design and Construction of simple beam bridge for Hight-Speed Rails in China: Standardization and Industrialization, The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering 2016, vol.11(4): 274-282.
- [7]. Yoshinori Shindo, Shinichi Tamai, Tatsuya Shimotsu (2016), Xem xét kết quả đo độ võng của dầm PC trên tuyến Shinkansen giữa Nagano và Kanazawa, Báo cáo thiết kế, Cục Đường sắt và Vận tải Nhật Bản (Bản tiếng Nhật).
- [8]. Hoàng Hà (1998), Xác định hệ số động lực của hoạt tải trong tính toán công trình cầu, Chuyên đề Luận án Tiến sỹ, Trường Đại học GTVT.

Các giải pháp phát triển hệ thống ga hành khách đường sắt tốc độ cao Việt Nam trên cơ sở nghiên cứu kinh nghiệm của đường sắt Trung Quốc

Solutions to develop the passenger station system of Vietnam high-speed railway on the basis of researching the experience of Chinese railway

> PGS.TS LÊ QUÂN^{1*}, TS LÊ BÁ TUẤN²

¹Trường Đại học Giao thông vận tải

²Cục Đường sắt Việt Nam

*Email: lequan@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Ga hành khách là ga đường sắt chủ yếu làm các tác nghiệp liên quan đến vận chuyển hành khách và hành lý. Ga hành khách có ý nghĩa đặc biệt quan trọng trên hệ thống đường sắt tốc độ cao (ĐSTĐC): Là điểm phân giới để điều tiết năng lực thông qua (NLTK) tuyến đường sắt; là nơi trực tiếp thực hiện các tác nghiệp vận chuyển hành khách và hành lý, tác nghiệp tổ chức chạy tàu và đầu máy toa xe, tác nghiệp hàng hóa (nếu có). Công tác của ga hành khách ảnh hưởng quan trọng đến các chỉ tiêu số lượng và chất lượng của công tác vận chuyển hành khách, đồng thời phát triển hệ thống ga hành khách ĐSTĐC có tác động mạnh mẽ đến sự phát triển và kết nối chuỗi đô thị.

Thực tế, các dự án ĐSTĐC và tuyến mới của đường sắt Việt Nam (ĐSVN) mới ở mức độ nêu "vị trí" các ga hành khách, chưa cụ thể về loại hình; quy mô, phân công nhiệm vụ, phương án kết nối với tuyến đường sắt hiện tại cũng như liên kết đô thị, khu công nghiệp, trung tâm logistics đường sắt như thế nào? Chính vì vậy, nghiên cứu, xem xét kinh nghiệm phát triển hệ thống ga hành khách của đường sắt Trung Quốc (ĐSTQ) để đề ra các giải pháp phù hợp là rất hữu ích khi hoạch định và thiết kế các tuyến ĐSTĐC của Việt Nam.

Từ khóa: Hệ thống ga hành khách; đường sắt tốc độ cao; phát triển hệ thống.

ABSTRACT

The passenger station is a railway station that mainly does operations related to the transportation of passengers and luggage. Passenger stations have a special significance on the high-speed railway system: Is a demarcation point to regulate capacity through (DPRCT) railway lines; is a place to directly carry out passenger and baggage transportation operations, the business of organizing train and locomotives, cargo operations (if any). The work of the passenger station has a significant impact on the quantity and quality targets of passenger transportation; at the same time, the development of the passenger terminal system in the East China has a strong impact on the development and connection of urban chains.

In fact, the new Vietnam Railways and new routes of Vietnam Railways (VNR) are at the level of stating the "location" of passenger stations, not specific in terms of type; scale, task assignment, connection plan with the current railway as well as urban links, industrial parks, railway logistics centers? Therefore, researching and considering the experience of developing the passenger station system of China Railways (CNR) to propose suitable solutions is very useful when planning and designing Vietnam's railways railways.

Keywords: Passenger station system; high-speed railway; system development.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Chỉ sau 15 năm khai thác đường sắt cao tốc (ĐSCT), Trung Quốc đã vươn lên vị trí dẫn đầu thế giới về chiều dài khai thác, hình thành mạng lưới vận tải hành khách "Bốn dọc - Bốn ngang", bao phủ 97% các thành phố có dân số trên 500.000 người, chiếm trên 67% chiều dài ĐSCT của tổng cộng trên 20 quốc gia đang vận hành

ĐSCT. Năm 2024, tổng chiều dài khai thác của ĐSTQ là 162.000 km với 5.470 ga, trong đó có:

- 48.000 km ĐSCT (20.000 km tốc độ 300 - 350 km/h; 26.000 km tốc độ 200 - 250 km/h) với trên 13.000 ga;

- 83.000 km đường đôi và 100.000 km đường điện khí hóa.

ĐSTQ nói chung và hệ thống ga hành khách ĐSCT đóng góp

tích cực vào sự phát triển của Trung Quốc, thể hiện qua một số thành tựu cơ bản sau:

- Tác động mạnh mẽ đến sự phát triển và kết nối chuỗi đô thị: ĐSTC làm nổi rõ “Hiệu ứng đồng thành” của các cụm đô thị, đặc biệt là ở các khu vực kinh tế phát triển, mật độ dân số cao như Bắc Kinh - Thiên Tân, đồng bằng châu thổ sông Trường Giang, Châu Giang..., nhiều người lựa chọn đi tàu cao tốc hàng ngày thay vì mua/thuê nhà gần nơi làm việc;

- Nâng cao mức độ an toàn và tin cậy, thoải mái trong vận tải hành khách nhờ áp dụng các giải pháp tiên tiến, mang tính đột phá như: Công nghệ “điều khiển đám mây” tự lái tàu dựa trên 5G và Bắc Đẩu; công nghệ bán vé tự động tại ga hành khách...;

- Phát triển đô thị theo định hướng giao thông công cộng (Transit-Oriented Development (TOD), tạo ra động lực phát triển kinh tế - xã hội;

- Ga của hệ thống ĐSTC Trung Quốc đóng vai trò là nút giao thông chiến lược, thường đặt tại các thành phố lớn hoặc trung tâm vùng/liên vùng; kích hoạt phát triển định hướng giao thông công cộng (TOD) và thường trở thành trung tâm thương mại - dịch vụ - văn phòng - khách sạn, hình thành khu vực TOD; kết nối đa phương thức, liên thông với metro, BRT, sân bay, taxi, xe buýt, bãi đỗ xe lớn để đảm bảo hành khách di chuyển nhanh chóng.

Chính vì vậy, nghiên cứu kinh nghiệm phát triển hệ thống ga trên ĐSTC và ĐSTQ là rất cần thiết nhằm đúc rút được những bài học kinh nghiệm quý báu, có thể áp dụng cho việc quy hoạch, xây dựng và khai thác các tuyến ĐSTĐC của Việt Nam.

2. CÁC BÀI HỌC KINH NGHIỆM PHÁT TRIỂN HỆ THỐNG GA ĐSTC CỦA TRUNG QUỐC

2.1. Bài học thứ nhất: Phát triển đồng bộ hệ thống ga đường sắt thường và ĐSTC định hướng cho cả giai đoạn hiện tại và tương lai

ĐSTQ phân biệt 3 loại hình ga:

- Ga ĐSTC: Là những ga hiện đại nhất, phục vụ các tuyến ĐSTC (CNR) kết nối các thành phố lớn và trung tâm kinh tế quan trọng. Ga ĐSTC có quy mô lớn, nhiều tầng và trang bị đầy đủ các tiện nghi hiện đại, các khu vực (khu chờ, khu tiện ích ăn uống, khu làm thủ tục).

- Ga tàu thường: Phục vụ các chuyến tàu chậm hơn, kết nối các khu vực nông thôn hoặc thành phố nhỏ hơn. Dù không hiện đại bằng các ga ĐSTC nhưng vẫn được trang bị đầy đủ các tiện ích cơ bản cho hành khách.

- Ga tàu hàng: Chuyên biệt phục vụ hàng hóa và thường đặt ở ngoại ô thành phố hoặc các khu công nghiệp có nhu cầu vận chuyển hàng hóa lớn.

Trên cơ sở định dạng như vậy, khi đầu tư xây dựng mới hoặc nâng cấp các tuyến đường sắt, các nhà hoạch định chính sách sẽ xác định loại ga hợp lý. Mặt khác, thông qua khảo sát, dự báo nhu cầu vận chuyển trong các giai đoạn khác nhau có tính đến trình độ phát triển kinh tế, xã hội chung của quốc gia và địa phương sẽ quyết định quy mô của ga phù hợp giai đoạn trước mắt và dự trữ cho giai đoạn phát triển tương lai trung hạn và xa hơn nữa.

2.2. Bài học thứ hai: Phân loại ga hành khách theo các tiêu chí khác nhau làm cơ sở cho việc xây dựng ga

Cùng với sự phát triển mạnh mẽ công nghệ xây dựng và vận tải, một số loại hình ga hành khách mới cũng xuất hiện và ĐSTQ nhanh chóng chuẩn hóa các loại hình này. Ví dụ, [6] đã phân loại ga theo cao độ so với mặt đất tự nhiên (ga trên cao, ga bằng, ga ngầm); theo công nghệ xây dựng (ga kiểu tích hợp cầu-ke...; ga nhiều tầng); theo cách bố trí đường ray - ke...

ĐSTQ cũng phân loại ga hành khách thành 4 loại (đặc biệt lớn, lớn, vừa và nhỏ) căn cứ vào số lượng hành khách và vị trí của ga trong các đô thị. Đây là căn cứ mẫu chốt giúp cho các nhà quy hoạch và thiết kế ga để xuất vị trí, quy mô ga, trang thiết bị kỹ thuật kèm

theo khi đầu tư xây dựng.

2.3. Bài học thứ ba: Ban hành tiêu chuẩn, quy phạm làm cơ sở cho công tác thiết kế, vận hành nhà ga một cách khoa học, phù hợp với thực tế đường sắt và xã hội Trung Quốc

Đường sắt là một hệ thống hoàn chỉnh, đồng bộ giữa các bộ phận cấu thành, suốt từ giai đoạn quy hoạch thiết kế, thi công xây dựng cho đến khai thác vận tải. Chính vì vậy, xây dựng và ban hành các quy phạm, quy chuẩn, tiêu chuẩn để thống nhất tất cả các yếu tố trong quá trình vận chuyển là yêu cầu then chốt. Nghiên cứu kinh nghiệm của ĐSTQ cho thấy, ĐSTQ đã ban hành số lượng rất lớn các văn bản pháp quy này để hướng dẫn và làm căn cứ cho hoạt động vận tải ĐSTC, đặc biệt về nội dung thiết kế ga hành khách nói riêng và ga và đầu mối đường sắt nói chung, trong đó nổi bật 2 quy phạm sau:

- Quy phạm Thiết kế ga và Đầu mối đường sắt Trung Quốc do Cục Đường sắt Quốc gia ban hành năm 2017, gồm 16 Chương, 48 Điều và 317 khoản;

- Quy phạm Thiết kế ga hành khách do Cục Đường sắt Quốc gia ban hành năm 2018 gồm 12 Chương, 51 Điều và 345 khoản.

Các quy phạm này được xây dựng và ban hành rất khoa học và chặt chẽ:

- Các quy phạm do Cục Đường sắt quốc gia Trung Quốc phê duyệt và ban hành;

- Thành lập tập thể các nhà khoa học và quản lý tham gia ban soạn, giao cho 1 cá nhân cụ thể chịu trách nhiệm;

- Dựa trên các quy phạm, văn bản đã có, loại bỏ những nội dung không còn phù hợp và điều chỉnh theo hướng hiện đại, tiếp cận trình độ thế giới và sự tiến bộ của khoa học công nghệ. Ví dụ điển hình là đã nâng tiêu chuẩn ĐSTC từ tốc độ kỹ thuật 160 km/h lên 200 km/h;

- Khảo sát hiện trạng để đúc rút quy luật, ví dụ tiêu chuẩn chiều rộng ke khách, khoảng cách đi lại... có liên quan trực tiếp tới chiều cao người dân, phương tiện xếp dỡ hành lý sử dụng phổ biến tại các ga...;

- Tiến hành các nghiên cứu độc lập cấp Nhà nước với những nội dung cụ thể, ví dụ độ nghiêng/dốc ke khách, lưu lượng sưởi ấm/làm mát các ga thuộc các vùng khác nhau (nóng mùa hè, lạnh mùa đông; nóng mùa hè, ẩm mùa đông...);

- Khảo sát các văn bản có liên quan của Nhà nước, địa phương, lĩnh vực có liên quan, ví dụ: Quy định về quy mô, độ cao, vị trí treo bảng hiệu, quy định phục vụ người khuyết tật trong ga, phương pháp thi công công trình ga, độ bền nền móng...;

- Các yếu tố trong quy phạm vừa mang tính định tính (ví dụ, ga đặc biệt lớn thì phải có đầy đủ các bộ phận chức năng khu vực hành lý, nhưng ga loại nhỏ không cần có phòng nghỉ cho nhân viên, kho chứa xe kéo đẩy, cửa giao nhận hành lý, phòng tổng hợp) vừa mang tính định lượng (ví dụ, xác định diện tích căn cứ vào định mức người tập trung giờ cao điểm; thiết kế cách âm căn cứ vào độ âm vang tại các khu vực khác nhau của ga, lượng nước cung cấp cho ga căn cứ vào lượng nước sinh hoạt cho mỗi người...).

2.4. Bài học thứ tư: Quy định và phân công nhiệm vụ cho ga hành khách, liên kết chặt chẽ với các ga khác trong khu đầu mối

Đường sắt Trung Quốc hiểu rõ vai trò của khu đầu mối trong hệ thống vận tải đường sắt, vì vậy đã xây dựng và ban hành văn bản hướng dẫn việc quy hoạch, thiết kế và khai thác các khu đầu mối theo các nội dung:

- Phân loại khu đầu mối theo các tiêu chí khác nhau như tầm quan trọng, loại hình, tính chất của khu đầu mối trên mạng lưới đường sắt cũng như trong khu đô thị, cảng/mỏ...;

- Nêu rõ số lượng và phân công nhiệm vụ, vai trò của các ga hành khách; mối liên hệ với các bộ phận khác (ga đường sắt đô thị, ga hàng hóa, ga lập tàu, trung tâm logistics đường sắt) thuộc khu đầu mối;

- Định hướng bố trí liên kết luồng khách và luồng xe giữa các

ga hành khách trong khu đầu mối trong các giai đoạn trước mắt, trung hạn và tương lai xa.

2.5. Bài học thứ năm: Lựa chọn vị trí xây dựng ga hành khách ĐSTC

Vị trí ga ĐSTC có vai trò rất quan trọng vì chúng cung cấp khả năng tiếp cận cho hành khách, đóng vai trò như các trung tâm trung chuyển đa phương thức, kết nối giao thông khu vực và địa phương, đồng thời là những điểm trọng yếu cho phát triển TOD. Việc bố trí nhiều ga hơn giúp tăng khả năng tiếp cận đến các vị trí trung gian, từ đó tăng lượng hành khách đi tàu. Tuy nhiên, điều này cũng đồng thời làm tăng tổng thời gian và khoảng cách di chuyển. Ngược lại, số lượng ga hoặc điểm dừng ít hơn sẽ làm giảm tổng thể lượng hành khách đi tàu. Do vậy, cần đạt được một sự cân bằng, trong đó tiềm năng hành khách yêu cầu phải đạt được mà không làm tăng đáng kể thời gian và khoảng cách di chuyển.

Vị trí ga hành khách ĐSTC Trung Quốc được lựa chọn căn cứ vào các tiêu chí sau:

- Vai trò nhiệm vụ của ga trên mạng lưới đường sắt;
- Điều kiện bố trí mặt bằng và phối hợp với đô thị/nơi đặt ga. ĐSTQ không chỉ phát triển phục vụ riêng vận chuyển hành khách mà còn làm nhiệm vụ kết hợp “đường sắt + du lịch + xóa đói giảm nghèo”;
- Lấy nhu cầu để dẫn hướng, xây dựng mô hình chuyên chở luồng khách đa dạng, kết hợp chạy suốt và trung chuyển sang toa, kinh tế hợp lý để xác định khoảng cách bố trí ga khu đoạn hành khách. Ví dụ, các đoàn tàu chạy từ Bắc Kinh đến Thượng Hải của tuyến cao tốc Bắc Kinh - Thượng Hải, bố trí 10 đôi tàu nhanh chỉ dừng tại các ga lớn như Tế Nam Tây, Nam Kinh Nam..., các tàu khác bố trí dừng tại các ga dọc đường nhỏ hơn, các đoàn tàu này có thời gian chạy khoảng từ 5,5 - 6 tiếng đồng hồ.

3. PHƯƠNG HƯỚNG PHÁT TRIỂN HỆ THỐNG GA HÀNH KHÁCH ĐSTĐC VIỆT NAM

3.1. Thống nhất tiêu chuẩn kỹ thuật ga hành khách trên cơ sở xây dựng các quy phạm liên quan đến việc thiết kế ga

Hạn chế lớn nhất hiện nay là ĐSVN chưa ban hành quy phạm thiết kế ga nói chung và ga hành khách ĐSTĐC nói riêng. Việc nhanh chóng nghiên cứu xây dựng và ban hành các quy phạm này cho phép thống nhất và chuẩn hóa các loại hình ga, quy mô trang thiết bị kỹ thuật cũng như sự liên hệ giữa ga với các ga/khu đầu mối đường sắt.

Các quy phạm cần có tính khoa học, phù hợp điều kiện kinh tế - văn hóa - xã hội Việt Nam và có tính hiện đại, tiệm cận trình độ các tuyến ĐSTC, ĐSTĐC khu vực và thế giới.

3.2. Phát triển đồng bộ ga hành khách trên tuyến ĐSTĐC

- Số lượng ga: Căn cứ theo quy mô và hướng tuyến ĐSTĐC (phân bố các thành phố, đô thị dọc tuyến);
- Vị trí cụ thể của ga: Phù hợp với nơi phát sinh luồng hành khách, kết nối đô thị và giao thông đô thị; khoảng cách giữa các ga hợp lý theo phương án tổ chức chạy tàu trên tuyến;
- Loại hình ga được xem xét theo tất cả các tiêu chí có liên quan nhằm thỏa mãn yêu cầu: Phù hợp khối lượng tác nghiệp, bảo đảm NLTK yêu cầu, an toàn cho quá trình khai thác và trên cơ sở so sánh kinh tế;
- Phân công cụ thể các ga lập tàu khách, ga kỹ thuật hành khách, ga khu đoạn hành khách và ga hành khách dọc đường. Trên cơ sở đó để xuất phương án bố trí và quy mô trang thiết bị kỹ thuật của ga theo các giai đoạn hiện tại và tương lai;
- Kết nối với các loại hình phương tiện GTVT khác và với đô thị. Theo kinh nghiệm ĐSTQ, ga hành khách ĐSTĐC nên đặt cách trung tâm thành phố/đô thị trong khoảng 2 - 4 km tùy theo loại đô thị. Mặt khác, do ga hành khách ĐSTĐC thực hiện nhiệm vụ vận chuyển hành khách đường dài nên rất cần thiết phải liên kết với các loại hình giao thông đô thị như đường sắt đô thị, tuyến buýt... để hành

khách đi/đến và trung chuyển ở ga thuận tiện

3.3. Xây dựng và hoàn chỉnh các khu đầu mối đường sắt trên cơ sở kết hợp giữa các tuyến hiện có và tuyến ĐSTC

Hiện tại, trên mạng lưới ĐSVN có các khu đầu mối sau:

- Khu đầu mối 1 ga, với ga hành khách và hàng hóa dùng chung là: Đầu mối Đồng Đăng, Lào Cai (ga làm cả nhiệm vụ liên vận đường sắt quốc tế và nội địa);
- Khu đầu mối 1 ga loại hình ga cảng (ga Hải Phòng);
- Khu đầu mối kiểu nối tiếp Sài Gòn - Sóng Thần, trong đó ga Sài Gòn là ga lập tàu/kỹ thuật tàu khách, Ga Sóng Thần làm nhiệm vụ ga hàng hóa và lập tàu hàng;
- Khu đầu mối hình vành khuyên đường sắt Hà Nội với ga hành khách/lập tàu khách/kỹ thuật hành khách Hà Nội và hành khách/lập tàu khách Gia Lâm, ga lập tàu hàng là Giáp Bát và Yên Viên, trung tâm logistics đặt tại Đông Anh và Yên Viên...;
- Khu đầu mối đường sắt công nghiệp Apatite Lào Cai.

Khi xây dựng mới các tuyến ĐSTĐC cần nghiên cứu kết nối các ga của tuyến với các ga trong đầu mối hiện có để mở rộng và hoàn chỉnh, ví dụ:

- + Khu đầu mối Hà Nội: Bổ sung Ga Ngọc Hồi lập tàu khách tốc độ cao và kết nối với tuyến đường sắt hiện tại, đường sắt đô thị trong tương lai; đặt thêm trung tâm logistics đường sắt tại Ga Thường Tín;
- + Khu đầu mối Sài Gòn: Bổ sung Ga Thủ Thiêm có vai trò tương tự Ngọc Hồi.

3.4. Huy động nguồn lực xã hội để xã hội hóa phát triển hệ thống ga hành khách ĐSTĐC

- Đề ra chính sách thu hút hợp lý, đảm bảo lợi ích lâu dài của các bên tham gia;
- Phân định rõ ràng các lĩnh vực thuộc phạm vi Nhà nước đầu tư, quản lý, lĩnh vực; lĩnh vực ngoài Nhà nước tham gia, hình thức tham gia.

4. KẾT LUẬN

Thông qua nghiên cứu những thành tựu đạt được của đường sắt Trung Quốc trong lĩnh vực vận tải hành khách bằng ĐSTC (HSR), các tác giả rút ra được 5 bài học kinh nghiệm làm cơ sở để xuất 5 giải pháp áp dụng vào ĐSVN nhằm phát triển đồng bộ và toàn diện mạng lưới ĐSTĐC theo Nghị quyết số 172/QH15 về chủ trương Đầu tư tuyến ĐSTĐC Bắc - Nam và Dự án tiến khả thi tuyến đường sắt Lào Cai - Hà Nội - Hải Phòng được Chính phủ phê duyệt năm 2025, đồng thời đảm bảo sự kết nối, khai thác hiệu quả mạng lưới đường sắt hiện tại.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bộ GTVT, Báo cáo nghiên cứu tiến khả thi Dự án đầu tư xây dựng tuyến ĐSTĐC trên trục Bắc - Nam, Liên danh tư vấn TEDI-TRICC-TEDIS.
- [2]. Bộ GTVT, Báo cáo nghiên cứu tiến khả thi Dự án đầu tư xây dựng tuyến đường sắt Hà Nội - Lào Cai - Hải Phòng, 2024_TEDI_059 P.D.
- [3]. Lê Quân (2004), Quy hoạch hệ thống ga kỹ thuật hành khách trên ĐSVN, Tạp chí GTVT, số tháng 12, tr.52-53.
- [4]. Lê Quân (2016), Bài học Xã hội hoá kết cấu hạ tầng giao thông vận tải và áp dụng cho ngành Đường sắt Việt Nam, Tạp chí GTVT, số tháng 10, tr.77-79.
- [5]. Lê Quân, Phát triển hệ thống ga hành khách ĐSTĐC - Kinh nghiệm từ đường sắt Trung Quốc, Hội thảo Quốc tế tháng 8 năm 2025 tại Trường Đại học GTVT.
- [6]. Cục Đường sắt quốc gia Trung Quốc (2018), Tiêu chuẩn ngành CHND Trung Hoa TB 10100-2018 (J2582-2018) - Quy phạm thiết kế ga hành khách đường sắt.
- [7]. Cục Đường sắt quốc gia Trung Quốc (2017), Tiêu chuẩn ngành CHND Trung Hoa TB 10099-2017 (J2398-2017): Quy phạm thiết kế ga và đầu mối đường sắt.
- [8]. https://www.mot.gov.cn/jiaotongyaowen/202412/t20241205_4160648.html.
- [9]. 国家铁路局发布 "2024年铁道统计公报".

Thiết kế điều khiển cân bằng con lắc ngược hai bậc tự do sử dụng mô hình động học logic hỗn hợp kết hợp với điều khiển dự báo mô hình

Design of a balancing controller for a two degrees of freedom inverted pendulum using a mixed logical dynamical model combined with model predictive control

> THS PHẠM THANH TÙNG, THS ĐỖ THÁI GIANG*

Viện Thiết kế Tàu quân sự, Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng

*Email: giangvt6666@gmail.com

TÓM TẮT

Bài báo trình bày một phương pháp điều khiển cân bằng cho hệ thống con lắc ngược hai bậc tự do sử dụng mô hình động học logic hỗn hợp (MLD). Hệ con lắc ngược là hệ phi tuyến với đầu vào là lực điều khiển. Hai tín hiệu đầu ra là góc lệch của con lắc và vị trí của xe đẩy. Trong bài báo, mô hình phi tuyến của hệ con lắc ngược được tuyến tính hóa thành mô hình MLD điển hình, sau đó kết hợp bộ điều khiển dự báo mô hình (MPC) để tối ưu hóa hàm mục tiêu cho hệ thống con lắc ngược hai bậc tự do. Kết quả mô phỏng được thực hiện bằng việc ngôn ngữ lập trình HYSDEL và Matlab/simulink nhằm minh họa hiệu quả của phương pháp này.

Từ khóa: Điều khiển dự báo mô hình; con lắc ngược hai bậc tự do; mô hình động học logic hỗn hợp.

ABSTRACT

This paper presents a balancing control method for a two degrees of freedom inverted pendulum system using a Mixed Logical Dynamical (MLD) model. The inverted pendulum is a nonlinear system with the control input being the applied force. The two output signals are the pendulum's angular deviation and the cart position. In this work, the nonlinear model of the inverted pendulum system is linearized into a standard MLD model. Subsequently, a Model Predictive Controller (MPC) is incorporated to optimize the objective function for the two degrees of freedom inverted pendulum system. Simulation results are implemented using the HYSDEL programming language and Matlab/Simulink to illustrate the effectiveness of the proposed approach.

Keywords: Model predictive control; two degrees of freedom inverted pendulum; mixed logic dynamics.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hệ thống con lắc ngược là hệ thống phức tạp, không ổn định, có tính phi tuyến cao. Việc điều khiển giữ cho con lắc cân bằng tại một vị trí xác định là vấn đề kinh điển trong lĩnh vực điều khiển tự động. Bên cạnh đó, nếu hệ thống được chế tạo với độ chính xác và tin cậy cao thì đây là mô hình lý tưởng để thực hiện các thí nghiệm với các giải thuật điều khiển cũng như nhận dạng hệ thống.

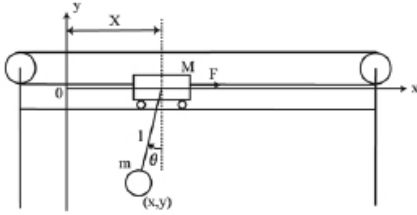
Hiện nay, có rất nhiều nhà nghiên cứu đã sử dụng các thuật toán điều khiển khác nhau để điều khiển cân bằng hệ thống con lắc ngược như thuật toán PID, điều khiển tối ưu LQR, điều khiển trượt và điều khiển Logic mờ (Fuzzy), đã thu được một số thành công đáng kể. Tuy nhiên, con lắc còn bị dao động dẫn đến vị trí của xe cũng không ổn định.

Việc sử dụng mô hình MLD [4] là một phương pháp mới nhằm tuyến tính hóa hệ phi tuyến của hệ thống con lắc ngược thành các

phương trình động học tuyến tính trong thời gian rời rạc dưới các ràng buộc được biểu thị bằng các bất đẳng thức tuyến tính. Sau đó, tối ưu hóa hàm mục tiêu bằng việc sử dụng điều khiển dự đoán mô hình MPC thông qua phương pháp quy hoạch tuyến tính số nguyên hỗn hợp (MILP) hoặc phương pháp quy hoạch toàn phương số nguyên hỗn hợp (MIQP).

2. MÔ HÌNH TOÁN HỌC CỦA HỆ THỐNG CON LẮC NGƯỢC

Mô hình hệ thống con lắc ngược gồm hai phần: Xe đẩy và con lắc. Con lắc không ổn định, nó luôn ngã xuống trừ khi có lực tác động thích hợp vào hệ. Bài toán đặt ra là điều khiển con lắc cân bằng tại một vị trí xác định. Vì vậy, cần phải thiết kế một bộ điều khiển thích hợp để giữ con lắc ổn định. Mô hình hệ con lắc ngược như trên Hình 1.

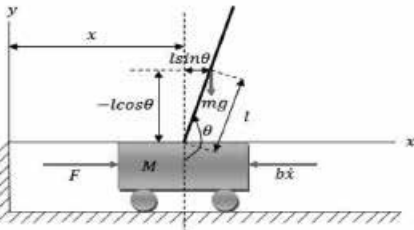


Hình 1. Mô hình hệ con lắc ngược

Hệ phương trình mô tả đặc tính phi tuyến của hệ thống con lắc ngược được mô tả bởi hệ phương trình sau:

$$\ddot{x} = \frac{(J + ml^2)(F - b\dot{x} - ml\ddot{\theta} \sin \theta \cos \theta) + m^2 l^2 g \sin \theta}{(J + ml^2)(M + m) - m^2 l^2 \cos^2 \theta} \quad (1)$$

$$\ddot{\theta} = \frac{ml[b\dot{x} \cos \theta - F \cos \theta - ml\ddot{\theta} \sin \theta \cos \theta + (M + m)g \sin \theta]}{(J + ml^2)(M + m) - m^2 l^2 \cos^2 \theta} \quad (2)$$



Hình 2. Mô hình tác dụng lực lên hệ con lắc ngược

Trong đó:

- M - Khối lượng xe đẩy (kg);
- m - Khối lượng con lắc (kg);
- g - Gia tốc trọng trường (m/s²);
- θ - Góc lệch của con lắc với phương thẳng đứng (rad);
- b - Hệ số ma sát của xe đẩy (N);
- F - Lực tác động vào xe (N);
- l - Chiều dài con lắc (m);
- J - Mô-men quán tính (N.m²);
- x - Vị trí xe đẩy (m).

3. MÔ HÌNH MLD CỦA HỆ CON LẮC NGƯỢC

Giả sử góc θ đủ nhỏ để lấy có thể lấy xấp xỉ θ ≈ 0, khi đó phương trình (1) và (2) được biến đổi theo sin θ sẽ trở thành:

$$\ddot{x} = \frac{(J + ml^2)(F - b\dot{x}) + m^2 l^2 g \sin \theta}{(J + ml^2)(M + m) - m^2 l^2} \quad (3)$$

$$\ddot{\theta} = \frac{ml[b\dot{x} - F + (M + m)g \sin \theta]}{(J + ml^2)(M + m) - m^2 l^2} \quad (4)$$

Phương trình (3), (4) có chứa sin θ nên có tính phi tuyến do đó có thể tuyến tính hóa từng phần như trong (Bemporad, 2012a [1]) như sau:

$$\sin \theta = \begin{cases} -\beta\theta - \gamma & , \theta \leq -\frac{\pi}{2} \\ \beta\theta & , -\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2} \\ -\beta\theta + \gamma & , \theta \geq \frac{\pi}{2} \end{cases} \quad (5)$$

$$\text{Với: } \beta = \frac{24}{\pi^3}, \gamma = \frac{24}{\pi^2}$$

Không giống như nghiên cứu được công bố của Bemporad (2012a) [1], trong đó con lắc ngược được mô tả bởi hai biến trạng thái (góc lệch con lắc và vận tốc góc lệch), trong bài báo này, con lắc ngược được mô tả bằng 4 biến trạng thái lần lượt là góc lệch của con lắc, vận tốc góc lệch của con lắc, vị trí của xe đẩy và vận tốc của nó, do đó biến trạng thái sẽ là:

$$X(t) = \begin{pmatrix} \theta(t) \\ \dot{\theta}(t) \\ x(t) \\ \dot{x}(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \\ x_4(t) \end{pmatrix}$$

Với mỗi một vùng trong số 4 vùng trên thì biến trạng thái và đầu ra được mô tả như sau:

$$\dot{X}(t) = A_i X(t) + B_i u(t) + f_i, \quad i = \{1, 2, 3, 4\} \quad (6)$$

$$Y(t) = C_i X(t) \quad (7)$$

Mà theo Euler có thể thay thế $\dot{x}_i$ bằng $x_i(k+1) - x_i(k)/T$ với $T=0,02s$ là thời gian lấy mẫu. Bằng cách lấy các giá trị thông số được giới thiệu trong [1] hệ con lắc ngược được rời rạc hóa thành như sau:

$$\begin{cases} x_1(k+1) = x_1(k) + T x_2(k) \\ x_2(k+1) = x_2(k) + 10T x_3(k) - 1667TF + 11445T \sin \theta \\ x_3(k+1) = x_3(k) + T x_4(k) \\ x_4(k+1) = (1-4T)x_4(k) + 40TF + 58,4T \sin \theta \end{cases} \quad (8)$$

Để thiết lập mô hình MLD cho hệ thống đầu tiên ta giới thiệu các biến logic phụ trợ sau đây:

$$[\delta_1(k) = 1] \leftrightarrow \left[\theta(k) \leq -\frac{\pi}{2} \right] \quad (9)$$

$$[\delta_2(k) = 1] \leftrightarrow \left[\theta(k) \leq \frac{\pi}{2} \right] \quad (10)$$

Tiếp theo các biến liên tục phụ được giới thiệu là z_i với $i = \{1, 2, 3\}$, khi đó ta có các trường hợp xảy ra như sau:

$$z_i = [z_{i1} \ z_{i2} \ z_{i3}]^T \quad (11)$$

Trường hợp 1: $[\delta_1(k) = 1] \leftrightarrow \left[\theta(k) \leq -\frac{\pi}{2} \right]$ thì $\sin \theta = -\beta\theta - \gamma$, khi đó:

$$z_{11} = T x_2(k) \quad (12)$$

$$z_{12} = 10T x_3(k) - 1667TF - 8869,36T x_1(k) - 27854,47T \quad (13)$$

$$z_{13} = T x_4(k) \quad (14)$$

$$z_{14} = -4T x_4(k) + 40TF - 45,27T x_1(k) - 142,17T \quad (15)$$

Trường hợp 2: $[\delta_1(k) = 0] \& [\delta_2(k) = 1] \leftrightarrow \left[-\frac{\pi}{2} \leq \theta(k) \leq \frac{\pi}{2} \right]$ thì $\sin \theta = \beta\theta$, khi đó ta có:

$$z_{21} = T x_2(k) \quad (16)$$

$$z_{22} = 10T x_3(k) - 1667TF + 8869,36T x_1(k) \quad (17)$$

$$z_{23} = T x_4(k) \quad (18)$$

$$z_{24} = -4T x_4(k) + 40TF + 45,27T x_1(k) \quad (19)$$

Trường hợp 3: $[\delta_2(k) = 0] \leftrightarrow \left[\theta(k) \geq \frac{\pi}{2} \right]$ thì $\sin \theta = -\beta\theta + \gamma$, khi đó ta có:

$$z_{31} = T x_2(k) \quad (20)$$

$$z_{32} = 10T x_3(k) - 1667TF - 8869,36T x_1(k) + 27854,47T \quad (21)$$

$$z_{33} = T x_4(k) \quad (22)$$

$$z_{34} = -4T x_4(k) + 40TF - 45,27T x_1(k) + 142,17T \quad (23)$$

Từ đây mô hình MLD được hình thành biểu diễn thông qua ngôn ngữ HYSDEL (Torrisi et al, 2002 [5]). 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 con lắc ngược với 4 đầu ra có thể được biểu diễn như sau:

$$\begin{aligned} x_1(k+1) &= z_{11}(k) + z_{21}(k) + z_{31}(k) \\ x_2(k+1) &= z_{12}(k) + z_{22}(k) + z_{32}(k) \\ x_3(k+1) &= z_{13}(k) + z_{23}(k) + z_{33}(k) \\ x_4(k+1) &= z_{14}(k) + z_{24}(k) + z_{34}(k) \\ Y(k+1) &= [x_1(k) \ x_2(k) \ x_3(k) \ x_4(k)] \\ E_2 \delta(k) + E_3 z(k) &\leq E_1 u(k) + E_4 x(k) + E_5 \end{aligned} \quad (24)$$

4. ĐIỀU KHIỂN DỰ BÁO KẾT HỢP MÔ HÌNH MLD

Hiện nay, điều khiển dự báo đã được xây dựng kết hợp với các mô hình MLD. Đối với loại dạng này, điều khiển dự báo được xác định bằng cách tối ưu hóa thời gian thực, trong đó các phương pháp quy hoạch số nguyên hỗn hợp được sử dụng (Bemporad và Morari, 1999 [4]). Liên quan đến phương pháp này, theo tiêu chuẩn tối ưu hóa (toàn phương hoặc tuyến tính), kết quả bài toán tối ưu hóa được giải bằng phương pháp quy hoạch toàn phương số nguyên hỗn hợp (MIQP). Đối với một hệ thống được mô hình hóa ở dạng MLD (24) 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:

$$J = \sum_{k=0}^{N-1} \|y(k+i/k) - y_{eq}\|_{Q_y}^p + \|u(k+i) - u_{eq}\|_{Q_u}^p + \|x(k+i/k) - x_{eq}\|_{Q_x}^p + \|z(k+i/k) - z_{eq}\|_{Q_z}^p + \|\delta(k+i/k) - \delta_{eq}\|_{Q_\delta}^p \quad (25)$$

Với:

$$\begin{cases} x(k+i+1/k) = Ax(k+i/k) + Bu(k+i) + B_\delta \delta(k+i/k) + B_z z(k+i/k) \\ y(k+i+1/k) = Cx(k+i/k) + Du(k+i) + D_\delta \delta(k+i/k) + D_z z(k+i/k) \\ E_y \delta(k+i/k) + E_z z(k+i/k) \leq E_\delta x(k+i/k) + E_u u(k+i) + E_y \\ x(k+N/k) = x_{eq} \\ x(k=0) = x_0 \\ y_{min} \leq y_{k+i} \leq y_{max} \\ u_{min} \leq u_{k+i} \leq u_{max} \end{cases} \quad (26)$$

- Q_i - Các ma trận trọng số 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;
- $P = \{2, \infty\}$ - Tùy thuộc vào bài toán;
- $y_{min}, y_{max}, u_{min}, u_{max}$ - Tương ứng lần lượt là giới hạn đầu ra và đầu vào.

Hệ thống ổn định theo MPC khi:

$$\begin{aligned} \lim_{k \rightarrow \infty} x(k) &= x_{eq} \\ \lim_{k \rightarrow \infty} u(k) &= u_{eq} \\ \lim_{k \rightarrow \infty} \|\delta(k) - \delta_{eq}\|_{Q_\delta} &= 0 \\ \lim_{k \rightarrow \infty} \|z(k) - z_{eq}\|_{Q_z} &= 0 \\ \lim_{k \rightarrow \infty} \|y(k) - y_{eq}\|_{Q_y} &= 0 \end{aligned}$$

5. MÔ PHỎNG SỐ

Giả sử rằng ban đầu con lắc đặt ở vị trí $\varphi = -\pi/6$, mục tiêu là xác định hàm mục tiêu nhỏ nhất cho phép của hệ thống để đạt đến trạng thái cân bằng trong khi vẫn thỏa mãn các điều kiện ràng buộc.

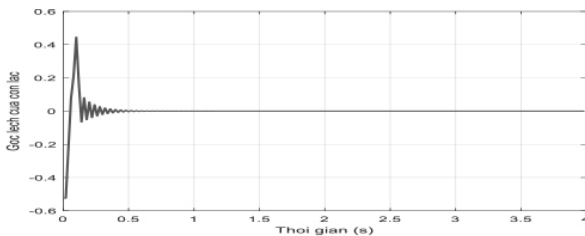
Bảng 1. Tham số MPC

Tham số	Giá trị
P	Infinite
Cửa sổ dự báo N	6
Ma trận trọng số Q_y	1
Ma trận trọng số Q_u	10

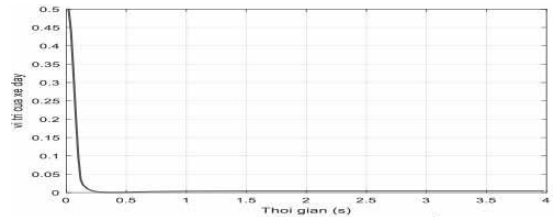
Kết quả mô phỏng thu được bằng cách sử dụng hộp công cụ Hybrid Toolbox (Bemporad, 2012b [3]). Với các điều kiện ràng buộc sau:

$$\begin{cases} -10 \leq F \leq 10 \\ -\pi/2 \leq x_1 \leq \pi/2 \\ -15 \leq x_2 \leq 15 \\ 0 \leq x_3 \leq 1.53 \\ -15 \leq x_4 \leq 15 \end{cases} \quad (27)$$

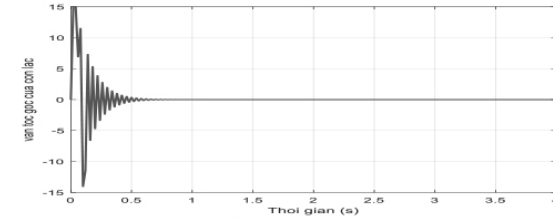
Các kết quả mô phỏng được hiển thị trong Hình 3 - Hình 7. Như có thể thấy, giá trị của chúng không vượt quá giới hạn ràng buộc cho phép (27).



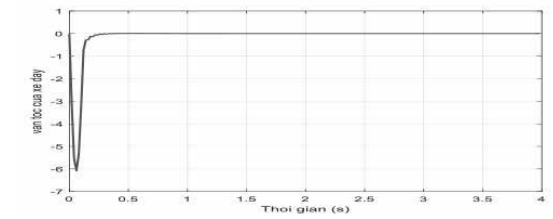
Hình 3. Góc lệch của con lắc



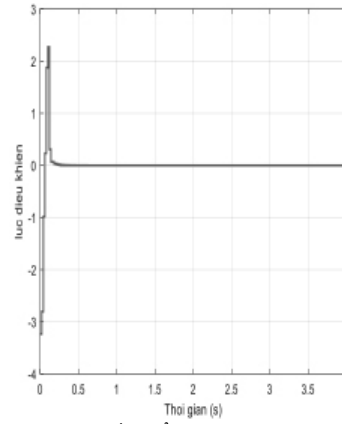
Hình 4. Vị trí của xe đẩy



Hình 5. Vận tốc góc lệch của con lắc



Hình 6. Vận tốc của xe đẩy



Hình 7. Lực điều khiển

6. KẾT LUẬN

Như vậy, bài báo đã trình bày một phương pháp nghiên cứu về mô hình động học của hệ thống con lắc ngược hai bậc tự do nhằm đưa ra một luật điều khiển mới để duy trì con lắc ở vị trí cân bằng.

Việc sử dụng mô hình MLD để tiếp cận bài toán như một hướng đi phù hợp cho hệ thống con lắc ngược có nhiều ràng buộc. Mặt khác, điều khiển dự báo MPC được sử dụng để xác định góc lệch của con lắc bằng cách tối ưu hóa hàm mục tiêu, trong khi vận tốc và vị trí xe đẩy vẫn tuân theo các ràng buộc đã cho sẵn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. PGS.TS Trần Anh Dũng, Nghiên cứu xây dựng hệ thống điều khiển mô hình con lắc ngược, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.
- [2]. Bemporad, A. (2012a), Hybrid MPC of an Inverted Pendulum.
- [3]. Bemporad, A. (2012b), Hybrid Toolbox - User's Guide.
- [4]. Bemporad, A. and Morari, M. (1999), Control of systems integrating logic, dynamics and constraints, Automatica, vol.35, no.3, pp.407-427.
- [5]. 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.

Biến động giá vật liệu xây dựng tại Việt Nam: Nguyên nhân, tác động và giải pháp quản lý

Price volatility of construction materials in Vietnam: Drivers, impacts, and policy responses

> **NGUYỄN THỊ MỸ HẠNH¹, NGUYỄN QUỐC TOÀN^{1*}, PHẠM MẠNH TÂN²**

¹Khoa Kinh tế và Quản lý xây dựng, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

²Sở Công Thương, tỉnh Ninh Bình

*Tác giả liên hệ, Email: toannq@huce.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo tập trung phân tích biến động giá vật liệu xây dựng tại Việt Nam giai đoạn 2022-2025 trong bối cảnh nhu cầu gia tăng mạnh từ đầu tư công, đô thị hóa nhanh và sự phục hồi sau đại dịch. Nghiên cứu làm rõ sự cần thiết phải kiểm soát biến động giá do ảnh hưởng trực tiếp đến chi phí dự án, tiến độ thi công, hiệu quả đầu tư công và ổn định kinh tế vĩ mô. Phương pháp nghiên cứu dựa trên tổng hợp dữ liệu thực tế từ các báo cáo của cơ quan quản lý, doanh nghiệp và thị trường, kết hợp phân tích định lượng và định tính để đánh giá xu hướng giá, nguyên nhân và tác động. Kết quả cho thấy giá thép, xi măng, cát và đá xây dựng đều tăng mạnh, chủ yếu do mất cân đối cung cầu, chi phí đầu vào tăng, cơ chế quản lý giá chậm cập nhật và tác động từ thị trường quốc tế. Tình trạng này đã làm gia tăng chi phí đầu tư, làm chậm tiến độ dự án, ảnh hưởng đến chỉ số giá tiêu dùng và suy giảm sức cạnh tranh của các doanh nghiệp nhỏ và vừa. Trên cơ sở đó, bài báo đề xuất một hệ thống giải pháp bao gồm: cải cách cơ chế quản lý và minh bạch hóa thông tin giá, kiểm soát hoạt động đầu cơ, phát triển nguồn cung bền vững, ứng dụng công nghệ số và nâng cao năng lực quản trị chi phí. Các giải pháp này nhằm kiểm soát hiệu quả biến động giá, đảm bảo sự phát triển bền vững của ngành Xây dựng và đóng góp tích cực vào tăng trưởng kinh tế Việt Nam.

Từ khóa: Biến động giá vật liệu xây dựng, quản lý chi phí xây dựng, cung cầu thị trường xây dựng, phát triển bền vững ngành Xây dựng, chuỗi cung ứng vật liệu.

ABSTRACT

This paper analyzes the fluctuations in construction material prices in Vietnam during 2022-2025, within the context of rising demand driven by public investment, rapid urbanization, and post-pandemic recovery. The study highlights the necessity of controlling price volatility, given its direct impacts on project costs, construction schedules, public investment efficiency, and overall macroeconomic stability. The research employs a mixed-methods approach, combining official reports, industry data, and market surveys with both quantitative and qualitative analyses to assess price trends, underlying causes, and economic consequences. Findings indicate that prices of steel, cement, sand, and stone have significantly increased, mainly due to supply-demand imbalances, higher production inputs, delays in price management mechanisms, and external international influences. These price fluctuations have led to higher construction costs, project delays, increased consumer price indices, and reduced competitiveness for small and medium-sized enterprises. Based on these results, the paper proposes a set of integrated solutions, including institutional reforms and greater price transparency, tighter control of speculation, development of sustainable supply chains, adoption of digital technologies, and enhanced cost management capabilities. These measures are expected to effectively mitigate price volatility, ensure the sustainable development of the construction sector, and contribute positively to Vietnam's economic growth.

Keywords: Construction material price fluctuation, construction cost management, supply-demand imbalance in construction, sustainable construction development, material supply chain.

1. MỞ ĐẦU

Ngành Xây dựng giữ vai trò then chốt trong nền kinh tế Việt Nam, không chỉ là động lực thúc đẩy tăng trưởng GDP mà còn là lĩnh vực chiếm tỷ trọng lớn trong tổng đầu tư xã hội và góp phần giải quyết việc làm. Theo World Bank [1], Việt Nam duy trì tốc độ tăng trưởng kinh tế ổn định trong giai đoạn 2022–2024, trong đó khu vực

xây dựng và bất động sản chiếm khoảng 11-13% tổng đầu tư toàn xã hội. Đặc biệt, chương trình phục hồi kinh tế hậu COVID-19 (2022–2025) cùng với kế hoạch đầu tư công trung hạn 2021-2025 với tổng vốn gần 2,87 triệu tỷ đồng đã khiến nhu cầu vật liệu xây dựng gia tăng đột biến. Tuy nhiên, song song với đà phục hồi và phát triển, giá vật liệu xây dựng tại Việt Nam có nhiều biến động phức tạp, ảnh

hưởng nghiêm trọng đến hiệu quả đầu tư công, tiến độ các dự án hạ tầng và ổn định kinh tế vĩ mô. Từ năm 2022 đến nay, thị trường vật liệu xây dựng ghi nhận mức tăng giá cao chưa từng có trong nhiều năm, đặc biệt đối với các nhóm vật liệu chủ đạo như thép xây dựng, xi măng, cát san lấp và đá xây dựng. Tình trạng này không chỉ tạo áp lực lớn lên chi phí đầu tư xây dựng mà còn dẫn đến các hệ lụy như chậm tiến độ, vượt chi phí dự án, đồng thời gián tiếp tác động đến chỉ số giá tiêu dùng (CPI) và gia tăng áp lực lạm phát. Trong bối cảnh đó, việc nhận diện rõ thực trạng, nguyên nhân của biến động giá vật liệu xây dựng và đề xuất các giải pháp quản lý phù hợp trở thành yêu cầu cấp thiết cả về lý luận lẫn thực tiễn.

Mục tiêu của nghiên cứu này là phân tích thực trạng biến động giá vật liệu xây dựng tại Việt Nam trong giai đoạn 2022–2025; xác định các nguyên nhân chủ yếu gây ra biến động; đánh giá tác động của hiện tượng này đối với nền kinh tế và hoạt động đầu tư xây dựng; từ đó đề xuất các nhóm giải pháp quản lý hiệu quả nhằm kiểm soát biến động giá và đảm bảo sự phát triển bền vững của ngành xây dựng. Nghiên cứu không chỉ có ý nghĩa đối với các nhà hoạch định chính sách, mà còn cung cấp thông tin quan trọng cho doanh nghiệp xây dựng, nhà đầu tư và các cơ quan quản lý chuyên ngành.

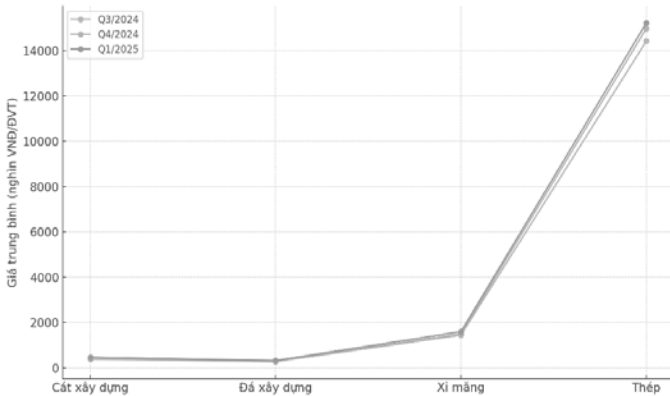
2. THỰC TRẠNG BIẾN ĐỘNG GIÁ VẬT LIỆU XÂY DỰNG TẠI VIỆT NAM

Trong nửa đầu năm 2025, thị trường vật liệu xây dựng tại Việt Nam ghi nhận sự biến động mạnh mẽ ở nhiều nhóm vật liệu cơ bản, phản ánh xu thế gia tăng chi phí đầu vào của toàn ngành Xây dựng. Báo cáo của Bộ Xây dựng cho thấy giá một số vật liệu chủ lực đã tăng từ 5% đến hơn 20% so với cùng kỳ năm trước, trong khi chi phí xây dựng tổng thể tăng trung bình 0,1-0,15% mỗi tháng [2, 3].

Bảng 1. So sánh giá vật liệu xây dựng chính tại Hà Nội (2024-2025) (chưa bao gồm VAT)

Vật liệu	Đơn vị tính (ĐVT)	Q3/2024 (nghìn đ/ĐVT)	Q4/2024 (nghìn đ/ĐVT)	Q1/2025 (nghìn đ/ĐVT)	Ghi chú
Cát xây dựng	m ³	179-584	183-599	230-697	Tăng 10-15 %
Đá xây dựng	m ³	222-331	230-343	266-377	Tăng nhẹ 5-10 %
Xi măng	Tấn	1.400-1.500	1.450-1.550	1.550-1.650	Tăng ~7-10 %
Thép (kg)	kg	13.200-15.650	13.416-16.550	13.500-16.950	Tăng 5-7 %

(Nguồn: Tổng hợp từ các Công bố giá Vật liệu xây dựng của Sở Xây dựng TP Hà Nội [7])



Hình 1. Xu hướng biến động giá vật liệu xây dựng chính tại Hà Nội

(Nguồn: Tổng hợp từ các Công bố giá Vật liệu xây dựng của Sở Xây dựng TP Hà Nội [7])

Ngoài ra, vật liệu hoàn thiện như gạch, ngói cũng có sự tăng nhẹ, giá gạch xây dựng dao động từ 980 - 26.500 đồng/viên tùy loại; giá ngói lợp cũng tăng nhẹ, với ngói đất nung, giá từ 10.000 - 30.000 đồng/viên, còn ngói màu từ 15.000 - 50.000 đồng/viên [6]. Nhựa đường có xu hướng giảm nhẹ nhờ giá dầu quốc tế hạ nhiệt, tuy nhiên vẫn chịu ảnh hưởng bởi chi phí vận chuyển tăng [3].

Xi măng là một trong những vật liệu nền tảng có mức giá dao động từ 69.000 đến 220.000 đồng mỗi bao vào quý II/2025, tăng khoảng 50.000 đồng/tấn so với cuối năm 2024. Mặc dù sản lượng xi măng nội địa đạt gần 50 triệu tấn trong 6 tháng đầu năm, tương đương mức tăng 18% so với cùng kỳ [4], giá vẫn duy trì ở mức cao do áp lực chi phí sản xuất.

Thép xây dựng là nhóm vật liệu có sự biến động giá rõ rệt nhất. Giá thép cuộn D10 CB300 và CB400 trong tháng 5-6/2025 đạt mức 13.380-14.200 đồng/kg, tương đương mức tăng 150.000-200.000 đồng/tấn so với tháng 4/2025 [5]. Sự tăng giá này đến từ việc giá quặng sắt và than luyện cốc trên thị trường quốc tế tăng, cùng với việc điều chỉnh giá điện trong nước. Do đặc thù chiếm tỷ trọng lớn trong chi phí kết cấu của công trình, biến động giá thép ảnh hưởng trực tiếp đến tổng dự toán công trình xây dựng.

Nhóm cát và đá xây dựng, đóng vai trò quan trọng trong san lấp và nền móng - ghi nhận xu hướng tăng giá đáng kể. Giá cát xây dựng tăng 5-10% so với cuối năm 2024, trong khi cát san lấp tại nhiều khu vực tăng mạnh hơn, từ 8-15%, dao động trong khoảng 140.000 - 400.000 đồng/m³, tùy thuộc vào loại cát (cát vàng, cát đen, cát san lấp) và địa phương [6]. Giá đá xây dựng tăng nhẹ hơn, với mức tăng trung bình 0,3-1,3% mỗi tháng, nhưng vẫn tạo áp lực chi phí đáng kể khi áp dụng cho các công trình quy mô lớn.

Sự tăng giá của cát và đá xây dựng lớn hơn so với xi măng và thép là do xi măng và thép được đảm bảo bởi nguồn cung nội địa dồi dào, trong khi nguồn cung cát và đá xây dựng đối mặt với tình trạng khan hiếm do các chính sách hạn chế cấp phép khai thác và tăng cường kiểm soát bảo vệ môi trường. Ngoài ra, giá cát và đá xây dựng có sự chênh lệch lớn giữa các địa phương, chủ yếu do nhu cầu khác nhau tại từng khu vực và khoảng cách từ các mỏ khai thác đến địa điểm thi công, dẫn đến chi phí vận chuyển không đồng đều.

3. NGUYÊN NHÂN VÀ TÁC ĐỘNG CỦA BIẾN ĐỘNG GIÁ VẬT LIỆU XÂY DỰNG

Biến động giá vật liệu xây dựng tại Việt Nam là kết quả của tổng hòa nhiều yếu tố có tính hệ thống, có thể phân thành bốn nhóm nguyên nhân chủ đạo: (i) mất cân đối cung - cầu thị trường, (ii) tăng chi phí đầu vào, (iii) hạn chế trong cơ chế quản lý giá, và (iv) tác động từ thị trường quốc tế.

Trước hết, mất cân đối cung - cầu là nguyên nhân căn bản dẫn đến tăng giá. Sự gia tăng mạnh mẽ nhu cầu vật liệu đến từ việc đẩy mạnh triển khai đầu tư công trong các lĩnh vực giao thông, đô thị, công nghiệp, đặc biệt là các dự án hạ tầng quy mô lớn như đường vành đai 3, vành đai 4, cao tốc Bắc - Nam, sân bay Long Thành [4, 8] và nhà ở xã hội được thúc đẩy, đặc biệt từ cuối năm 2024 sau khi Luật Đất đai sửa đổi có hiệu lực. Trong khi đó, nguồn cung một số loại vật liệu như cát, đá bị thu hẹp do hạn chế cấp phép khai thác mỏ mới và tăng cường kiểm soát khai thác trái phép, dẫn đến khan hiếm cục bộ tại nhiều địa phương, đặc biệt là khu vực phía Nam. Sự mất cân đối giữa cung và cầu này đã tạo áp lực đẩy giá vật liệu tăng, đặc biệt là trong các giai đoạn cao điểm thi công.

Thứ hai, chi phí các yếu tố đầu vào tăng đã góp phần đẩy giá vật liệu xây dựng lên cao. Việc điều chỉnh giá điện (tăng 4,8% từ

tháng 5/2025) tác động trực tiếp đến chi phí sản xuất xi măng, thép và vật liệu nung [5]. Đồng thời, giá nguyên liệu đầu vào toàn cầu tăng (như quặng sắt, than, clinker, dầu mỏ), giá nhiên liệu và chi phí logistic có xu hướng tăng do căng thẳng địa chính trị và đứt gãy chuỗi cung ứng hậu COVID-19. Những yếu tố này cộng hưởng làm chi phí sản xuất và vận chuyển vật liệu tăng cao, ảnh hưởng lan tỏa đến giá bán vật liệu cuối cùng.

Thứ ba, cơ chế quản lý giá vật liệu xây dựng tại Việt Nam vẫn còn chậm trễ và thiếu linh hoạt. Việc cập nhật đơn giá, định mức và bộ giá vật liệu của địa phương thường có độ trễ so với thị trường thực tế, khiến chủ đầu tư và nhà thầu gặp khó khăn trong lập hoặc điều chỉnh dự toán phù hợp với thực tế. Bên cạnh đó, thiếu minh bạch về thông tin giá trên các sàn giao dịch vật liệu và dữ liệu thị trường tạo điều kiện cho đầu cơ, găm hàng và thao túng giá cục bộ [9].

Cuối cùng, giá vật liệu xây dựng tại Việt Nam không thể tách rời bối cảnh biến động thị trường quốc tế. Xu hướng bảo hộ thương mại và các rào cản kỹ thuật từ các quốc gia nhập khẩu đã khiến hoạt động xuất khẩu clinker, xi măng, thép gặp khó khăn, dẫn đến tồn kho trong nước và gây áp lực lên giá nội địa. Đồng thời, lạm phát, biến động tỷ giá VND/USD và gián đoạn chuỗi cung ứng toàn cầu cũng làm tăng chi phí nhập khẩu nguyên vật liệu và thiết bị sản xuất [10].

Về tác động, biến động giá vật liệu xây dựng ảnh hưởng sâu rộng đến toàn bộ nền kinh tế. Đầu tiên là gia tăng chi phí đầu tư, ảnh hưởng trực tiếp đến tiến độ triển khai, thậm chí tạm hoãn dự án, tăng chi phí bồi thường, phát sinh tranh chấp hợp đồng. Thứ hai, biến động giá vật liệu làm tăng chi phí đầu vào cho nhóm hàng hóa nhà ở và xây dựng, dẫn đến chỉ số giá tiêu dùng (CPI) bị ảnh hưởng - theo Vietnam Briefing [11], CPI nhóm “nhà ở và vật liệu” tăng hơn 5% trong 6 tháng đầu năm 2025, đóng góp đáng kể vào lạm phát chung và ảnh hưởng đến ổn định kinh tế vĩ mô. Cuối cùng, biến động giá vật liệu ảnh hưởng đến tâm lý thị trường và tác động đến cấu trúc đầu tư xây dựng, khi doanh nghiệp nhỏ và vừa khó duy trì chuỗi cung ứng ổn định và khó đảm bảo tiến độ dự án, dẫn khó tiếp cận với các dự án dẫn đến sự tập trung nguồn lực vào các doanh nghiệp lớn.

Có thể so sánh với một số quốc gia trong khu vực. Tại Thái Lan, chỉ số giá xây dựng giai đoạn 2024–2028 được dự báo tăng theo lạm phát [18]. Trong khi đó, Trung Quốc ghi nhận chỉ số giá mua vật liệu xây dựng năm 2024 đạt 94,3, giảm nhẹ so với năm trước [19]. So sánh cho thấy Việt Nam đang đối diện mức tăng giá đáng kể hơn, phản ánh áp lực lớn từ cung cầu nội địa và quản lý thị trường.

Biến động giá vật liệu xây dựng tại Việt Nam là kết quả tổng hợp của nhiều yếu tố từ cả trong nước và quốc tế, và có tác động đa chiều lên nền kinh tế. Việc nhận diện đúng nguyên nhân và hệ quả là cơ sở để đề xuất các giải pháp quản lý giá vật liệu xây dựng hiệu quả, nhằm ổn định thị trường và hỗ trợ doanh nghiệp xây dựng vượt qua giai đoạn biến động.

4. GIẢI PHÁP QUẢN LÝ GIÁ VẬT LIỆU XÂY DỰNG

Trong bối cảnh giá vật liệu xây dựng tại Việt Nam biến động mạnh, việc ban hành các giải pháp quản lý đồng bộ, hiệu quả và có tính dự báo là hết sức cần thiết nhằm đảm bảo ổn định thị trường, kiểm soát chi phí đầu tư công và bảo vệ năng lực cạnh tranh của ngành Xây dựng. Trên cơ sở phân tích nguyên nhân và tác động đã nêu, nhóm giải pháp sau đây được đề xuất theo hướng tích hợp giữa cải cách thể chế, quản trị dữ liệu, kiểm soát cung cầu, và ứng dụng công nghệ.

4.1. Cải cách cơ chế quản lý giá vật liệu xây dựng

Thứ nhất, cải thiện thể chế và minh bạch hóa thông tin giá:

Một trong những tồn tại lớn nhất hiện nay là độ trễ trong cập nhật và công bố giá vật liệu tại các địa phương. Do vậy, cần thiết lập một hệ thống dữ liệu giá vật liệu xây dựng quốc gia theo thời gian thực, tích hợp thông tin từ các sở xây dựng, nhà sản xuất, đơn vị vận chuyển và sàn giao dịch vật liệu. Dữ liệu này sẽ là cơ sở để xây dựng bộ đơn giá, định mức chính xác và linh hoạt cho công tác dự toán đầu tư phù hợp với thị trường. Để đảm bảo minh bạch, cần quy định bắt buộc các doanh nghiệp sản xuất và phân phối lớn công bố giá bán định kỳ, báo cáo tồn kho và biến động giá [12].

Bên cạnh đó, cần hoàn thiện hành lang pháp lý để đưa vào vận hành các sàn giao dịch vật liệu xây dựng trực tuyến, cho phép kết nối trực tiếp giữa nhà sản xuất, đơn vị logistics và nhà thầu, giảm thiểu khâu trung gian, minh bạch hóa giá và hạn chế tình trạng găm hàng. Kết hợp giữa cơ chế thị trường và công cụ quản lý giá hành chính có chọn lọc trong một số trường hợp đặc biệt (ví dụ khi giá vật liệu tăng đột biến) cũng là cần thiết.

Thứ hai, kiểm soát hành vi đầu cơ và chính sách bình ổn thị trường:

Trong điều kiện giá vật liệu xây dựng tăng mạnh, nguy cơ đầu cơ, thao túng thị trường là hiện hữu. Do đó, cần tăng cường năng lực thanh tra chuyên ngành xây dựng tại các địa phương, đồng thời phối hợp với cơ quan quản lý thị trường, thuế và công an kinh tế để phát hiện hành vi găm hàng, đẩy giá, liên kết độc quyền. Trường hợp cần thiết, có thể sử dụng biện pháp trích lập Quỹ bình ổn giá hoặc yêu cầu doanh nghiệp nhà nước tham gia bình ổn theo chỉ đạo của Chính phủ.

4.2. Giảm chi phí sản xuất đầu vào

Khi giá nguyên liệu đầu vào nhập khẩu (quặng sắt, than, clinker) tăng cao, Chính phủ có thể áp dụng các chính sách trợ giá hoặc miễn giảm thuế nhập khẩu trong ngắn hạn. Đầu tư xây dựng kho dự trữ chiến lược cho các nguyên liệu quan trọng như quặng sắt và than để giảm rủi ro biến động giá quốc tế. Đồng thời, đầu tư vào công nghệ sản xuất tiết kiệm năng lượng để giảm chi phí sản xuất xi măng, thép, và gạch.

Phát triển hệ thống logistics nội địa, ưu tiên vận chuyển đường thủy và đường sắt để giảm chi phí vận chuyển vật liệu xây dựng. Song song đó, chính sách giá điện, xăng dầu-yếu tố ảnh hưởng đến giá vật liệu-cũng cần điều hành ổn định và linh hoạt. Khi giá nhiên liệu thế giới tăng bất thường, cần sử dụng Quỹ bình ổn xăng dầu, hoặc tạm thời điều chỉnh mức thuế bảo vệ môi trường để giảm áp lực đầu vào.

4.3. Phát triển nguồn cung ổn định và bền vững

Phát triển nguồn cung vật liệu xây dựng ổn định và bền vững là yếu tố then chốt để kiểm soát biến động giá và đảm bảo sự phát triển lâu dài của ngành Xây dựng [16]. Trong bối cảnh nhu cầu vật liệu xây dựng tại Việt Nam tiếp tục tăng mạnh do tốc độ đô thị hóa và đầu tư công cao, vấn đề thiếu hụt hoặc gián đoạn nguồn cung đã trở thành một điểm nghẽn nghiêm trọng, đặc biệt đối với các vật liệu như cát san lấp, đá xây dựng và đất đắp nền. Do đó, việc quy hoạch lại, phân bổ lại và hiện đại hóa chuỗi cung ứng vật liệu là cần thiết.

Trước hết, cần xây dựng và thực thi hiệu quả Quy hoạch thăm dò, khai thác, chế biến và sử dụng khoáng sản làm vật liệu xây dựng thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050. Quy hoạch này cần bám sát các nguyên tắc: (i) phát triển hài hòa giữa nhu cầu và bảo vệ môi trường. Tăng cường giám sát để ngăn chặn khai thác trái phép, đồng thời cấp phép có chọn lọc cho các mỏ đạt tiêu chuẩn môi trường; (ii) phân vùng khai thác theo địa bàn có tiềm năng cao và nhu cầu lớn. Ưu tiên khai thác tại các khu vực

có trữ lượng khoáng sản lớn và gần các trung tâm tiêu thụ vật liệu xây dựng, như các dự án hạ tầng lớn (cao tốc Bắc - Nam, sân bay Long Thành) hoặc các vùng đô thị hóa nhanh (Đồng bằng sông Cửu Long, Đồng Nam Bộ, vùng ven Hà Nội); (iii) khuyến khích khai thác tập trung, công nghệ cao, quản lý minh bạch; và (iv) có cơ chế dự phòng cung ứng trong điều kiện khẩn cấp. Đặc biệt, tại các vùng đô thị hóa nhanh như Đồng bằng sông Cửu Long, miền Đông Nam Bộ, và vùng ven Hà Nội, việc thiết lập các cụm khai thác vật liệu xây dựng liên vùng, kết hợp trung tâm phối trữ vật liệu sẽ góp phần ổn định thị trường và giảm chi phí vận chuyển.

Ngoài ra, cần kết hợp điều phối tiến độ các dự án hạ tầng lớn (vành đai 3, vành đai 4, cao tốc) để tránh tập trung nhu cầu vật liệu xây dựng vào các giai đoạn cao điểm, từ đó giảm áp lực tăng giá.

Thứ hai, cần đẩy mạnh phát triển các loại vật liệu thay thế, tái chế và thân thiện môi trường. Vật liệu không nung (gạch block xi măng, gạch nhẹ AAC), vật liệu từ tro xỉ, cát nhân tạo (cát nghiền từ đá), phế thải công nghiệp, hoặc tái sử dụng phế liệu từ công trình tháo dỡ là những giải pháp phù hợp với định hướng kinh tế tuần hoàn và giảm áp lực lên tài nguyên thiên nhiên. Tuy nhiên, để sử dụng phổ biến, Nhà nước cần ban hành các quy chuẩn kỹ thuật rõ ràng, có chính sách khuyến khích sử dụng vật liệu mới trong công trình công cộng, kết hợp với tín dụng ưu đãi, thuế, hỗ trợ chuyển đổi công nghệ cho doanh nghiệp sản xuất [13].

Thứ ba, việc đầu tư vào hạ tầng logistics ngành vật liệu xây dựng cũng là yếu tố quan trọng để bảo đảm nguồn cung ổn định. Cần phát triển hệ thống cảng vật liệu chuyên dụng, kho liên vùng, tuyến vận tải kết nối giữa mỏ - nhà máy - công trình, từ đó giảm chi phí logistics, đặc biệt tại các địa phương xa trung tâm khai thác. Đồng thời, việc ứng dụng công nghệ số trong quản lý tồn kho, phân phối và đặt hàng vật liệu qua sàn giao dịch điện tử sẽ góp phần tối ưu hóa cung ứng và tăng tính chủ động cho nhà thầu.

Cuối cùng, để đảm bảo tính bền vững dài hạn, cần thiết lập hệ thống đánh giá tác động môi trường chiến lược (SEA) đối với các khu vực có mật độ khai thác cao; tích hợp yếu tố khí hậu, đa dạng sinh học và sinh kế cộng đồng vào quy trình cấp phép khai thác. Điều này không chỉ giúp duy trì ổn định nguồn tài nguyên khoáng sản mà còn phù hợp với các cam kết quốc tế của Việt Nam về phát triển xanh và giảm phát thải carbon trong ngành Xây dựng.

Phát triển nguồn cung vật liệu xây dựng ổn định và bền vững không chỉ là bài toán cung ứng vật lý, mà còn là một chiến lược tổng hợp bao gồm quy hoạch hợp lý, phát triển vật liệu mới, cải thiện logistics và lồng ghép yêu cầu bảo vệ môi trường - nhằm hỗ trợ ngành xây dựng phát triển hiệu quả và an toàn trong dài hạn.

4.4. Ứng dụng công nghệ và nâng cao năng lực quản trị trong quản lý giá vật liệu xây dựng

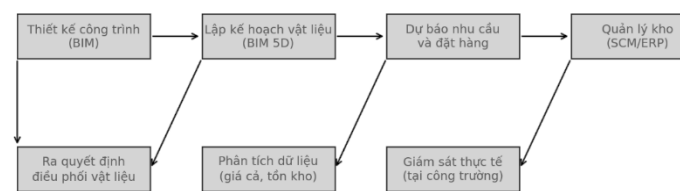
Trong bối cảnh thị trường vật liệu xây dựng liên tục biến động và chuỗi cung ứng ngày càng phức tạp, việc ứng dụng công nghệ và nâng cao năng lực quản trị chi phí trở thành giải pháp cốt lõi nhằm kiểm soát hiệu quả rủi ro giá, tối ưu hóa nguồn lực đầu tư, nâng cao tính minh bạch trong ngành Xây dựng.

Công nghệ đóng vai trò quan trọng trong việc số hóa các hoạt động dự toán, đấu thầu, vận hành và giám sát quá trình mua sắm, phân phối vật liệu xây dựng.

Một trong những công nghệ quan trọng cần được thúc đẩy là mô hình thông tin công trình (Building Information Modeling

- BIM). Với khả năng mô phỏng toàn bộ vòng đời công trình trên nền tảng số, BIM cho phép các chủ đầu tư và nhà thầu ước lượng chính xác khối lượng vật liệu, xác định thời điểm đặt hàng tối ưu, và điều chỉnh thiết kế nhằm giảm lãng phí [14, 17]. Ngoài ra, việc tích hợp BIM với các mô-đun quản trị tài chính, lập tiến độ (4D, 5D) và quản lý rủi ro giúp doanh nghiệp xây dựng tăng cường khả năng dự báo biến động giá vật liệu trong từng giai đoạn thi công. Tại Việt Nam, Thông tư 03/2021/TT-BXD của Bộ Xây dựng đã bắt đầu yêu cầu áp dụng BIM đối với các dự án đầu tư công có quy mô lớn, tuy nhiên tỷ lệ triển khai thực tế còn thấp, chủ yếu do hạn chế về năng lực nhân sự và hệ sinh thái dữ liệu chưa đầy đủ.

Song song với BIM, các giải pháp quản trị chuỗi cung ứng số (digital supply chain management) và hệ thống quản lý tồn kho tự động (inventory management system) cũng cần được đẩy mạnh trong ngành vật liệu xây dựng. Việc số hóa quá trình đặt hàng, vận chuyển, lưu kho và phân phối thông qua nền tảng quản lý tập trung không chỉ giúp giảm chi phí logistics mà còn liên kết nguồn cung ổn định, tăng khả năng thích ứng với các biến động cung - cầu đột xuất. Các doanh nghiệp lớn đã áp dụng hệ thống ERP tích hợp kho thông minh (smart warehouse), cho phép cập nhật tồn kho thời gian thực và đưa ra quyết định điều phối vật tư theo dữ liệu phân tích [15].



Hình 2. Tích hợp BIM và SCM trong quản lý vật liệu xây dựng
(Nguồn: Tác giả)

Bên cạnh đó, cần phát triển và khai thác hiệu quả các nền tảng giao dịch vật liệu xây dựng điện tử (e-marketplace). Những nền tảng này giúp kết nối trực tiếp nhà sản xuất - nhà thầu - nhà đầu tư, giảm vai trò trung gian, tăng tính cạnh tranh và minh bạch hóa giá cả. Một số mô hình tiêu biểu có thể kể đến như Vật giá, Vật liệu xây dựng Online... Tuy nhiên, hiện chưa có hệ thống giao dịch vật liệu xây dựng ở cấp quốc gia, được vận hành và giám sát theo cơ chế chính sách rõ ràng.

Ngoài ra, việc thiết lập hệ thống cảnh báo sớm (early warning system) về giá vật liệu cũng là một xu hướng cần thiết. Hệ thống này sẽ sử dụng dữ liệu lớn (big data) và trí tuệ nhân tạo (AI) để thu thập, phân tích và đưa ra cảnh báo về xu hướng biến động giá, khan hiếm vật liệu, hoặc rủi ro trong chuỗi cung ứng. Việc kết hợp hệ thống cảnh báo này với dữ liệu từ cổng thông tin giá vật liệu xây dựng quốc gia để cung cấp cảnh báo kịp thời về biến động giá vật liệu, tích hợp các phần mềm đấu thầu, quản lý dự án và kho vật tư sẽ giúp nhà thầu chủ động hơn trong hoạch định và điều chỉnh kế hoạch mua sắm vật liệu xây dựng.

Về mặt quản trị, một hạn chế phổ biến tại các doanh nghiệp xây dựng Việt Nam là năng lực lập kế hoạch chi phí chưa thích ứng với thị trường có độ biến động cao. Phần lớn các dự án vẫn sử dụng đơn giá cố định, thiếu các kịch bản chi phí linh hoạt, chưa có công cụ mô phỏng biến động giá và phân tích rủi ro. Do đó, cần thúc đẩy nâng cao năng lực quản lý chi phí và tài chính xây dựng thông qua: (i) đào tạo cán bộ chuyên trách về quản lý rủi ro vật liệu thông qua tổ chức các chương trình đào tạo chuyên sâu, chương trình đào tạo liên ngành kết hợp kỹ thuật xây dựng, tài chính, và công nghệ số, để nâng cao năng lực lập

kế hoạch chi phí linh hoạt, (ii) sử dụng phần mềm phân tích mô phỏng (@Risk, Crystal Ball,...) để dự báo biến động giá, và (iii) xây dựng bộ công cụ tài chính để ứng phó với các tình huống tăng giá ngoài kiểm soát, bao gồm kịch bản chi phí linh hoạt, quỹ dự phòng giá và cơ chế điều chỉnh hợp đồng khi giá vật liệu xây dựng tăng vượt ngưỡng. Áp dụng mô hình hợp đồng chia sẻ rủi ro (risk-sharing contract) giữa chủ đầu tư và nhà thầu để phân bổ rủi ro giá vật liệu xây dựng, đặc biệt trong các dự án đầu tư công.

Ứng dụng công nghệ và nâng cao năng lực quản trị không chỉ giúp giảm tác động tiêu cực của biến động giá vật liệu mà còn nâng cao tính hiệu quả, minh bạch và khả năng cạnh tranh của toàn ngành Xây dựng. Để hiện thực hóa điều này, cần có sự phối hợp giữa chính sách nhà nước, đầu tư công nghệ, đóng góp vốn của doanh nghiệp và phát triển nguồn nhân lực chất lượng cao.

5. KẾT LUẬN

Biến động giá vật liệu xây dựng tại Việt Nam trong giai đoạn 2022-2025 đặt ra những thách thức lớn cho toàn ngành Xây dựng, tác động trực tiếp đến hiệu quả đầu tư công, chỉ số giá tiêu dùng và tính ổn định kinh tế vĩ mô. Giá thép, xi măng, cát và các nhóm vật liệu chủ lực đã tăng đáng kể do tác động kết hợp của nhu cầu tăng mạnh, nguồn cung bị siết chặt, chi phí sản xuất đầu vào gia tăng và những hạn chế trong cơ chế quản lý giá hiện hành.

Trước tình hình đó, việc xây dựng hệ thống quản lý giá vật liệu xây dựng hiện đại, minh bạch và có tính dự báo là yêu cầu cấp thiết. Các nhóm giải pháp gồm cải cách thể chế, nâng cao minh bạch thông tin, kiểm soát đầu cơ, phát triển nguồn cung bền vững, ứng dụng công nghệ và tăng cường năng lực quản lý chi phí cần được triển khai đồng bộ. Thành công trong việc kiểm soát và bình ổn giá vật liệu không chỉ tạo điều kiện cho ngành Xây dựng phát triển bền vững mà còn đóng góp tích cực vào quá trình hiện đại hóa cơ sở hạ tầng và nâng cao năng lực cạnh tranh của nền kinh tế Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. World Bank, "Vietnam Overview," 2025. [Online]. Available: <https://www.worldbank.org/en/country/vietnam/overview>
- [2]. Báo Xây dựng, "6 tháng đầu năm 2025: Giá vật liệu leo thang," Jul. 2025. [Online]. Available: <https://baomoi.com/6-thang-dau-nam-2025-san-xuat-va-tieu-thu-vat-lieu-xay-dung-khoi-sac-gia-ca-leo-thang-c52700014.epi>
- [3]. Delco Construction, "Construction material prices in 2025," Apr. 2025. [Online]. Available: <https://delco-construction.com/en/construction-material-prices-in-2025>
- [4]. Báo Đầu tư, "Diễn biến giá vật liệu tháng 4/2025," Apr. 2025. [Online]. Available: <https://baodautu.vn/dien-bien-gia-vat-lieu-thang-4-2025-thep-cat-xay-dung-tang-gia-xi-mang-on-dinh-d269287.html>
- [5]. SCG VLXD, "Giá vật liệu xây dựng," Jun. 2025. [Online]. Available: <https://scgvld.com/gia-vat-lieu-xay-dung>
- [6]. Thời báo Tài chính Việt Nam, "Giá vật liệu xây dựng quý II/2025," Jun. 2025. [Online]. Available: <https://thoibaotaichinhvietnam.vn>
- [7]. Sở Xây dựng TP Hà Nội, "Công bố giá vật liệu," Jun. 2025. [Online]. Available: <https://soxaydung.hanoi.gov.vn/vi-vn/chuyen-muc/cong-bo-gia-xay-dung/449130-704512>
- [8]. Hunganh Groups, "Dự báo VLXD," Jul. 2025. [Online]. Available: <https://hunganhgroups.vn/gia-vat-lieu-xay-dung>
- [9]. ReportLinker, "Vietnam Construction Market Report- Q1 2025," Apr 20th 2025. Available: <https://www.reportlinker.com/dlp/9633d0a6bebfa1d20aac15cd324662c8>

- [10]. Business Wire, "Vietnam Construction Industry Report 2025," Jun. 2025. Available: <https://www.businesswire.com/news/home/20250626121981/en/Vietnam-Construction-Industry-Report-2025-Output-to-Grow-by-6-in-Real-Terms-This-Year-Supported-by-PPI-in-Housing-and-Power-Construction-Projects---Forecast-to-2029---ResearchAndMarkets.com>
- [11]. Vietnam Briefing, "Vietnam's Economic Performance in H1 2025: Inflation, Trade, FDI, and Business Trends," Jul. 2025. [Online]. Available: <https://www.vietnam-briefing.com/news/vietnams-economic-performance-in-h1-2025-inflation-trade-fdi.html/>
- [12]. Koscheyev, V., Rappog, V., & Vinogradova, V. (2019, March). Digital transformation of construction organizations. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 497, No. 1, p. 012010). IOP Publishing. DOI 10.1088/1757-899X/497/1/012010
- [13]. Wang, K., Xu, X., Mao, P., Deng, X., & Cao, D. (2025). Digital transformation and organizational readiness: evidence from Chinese construction SMEs with a dynamic managerial capabilities lens. Engineering, Construction and Architectural Management. DOI: <https://doi.org/10.1108/ECAM-01-2025-0069>
- [14]. Thanh, P. N., Anh, T. N., & Trần, T. A. (2023). Các yếu tố rủi ro ảnh hưởng chi phí triển khai các dự án đầu tư xây dựng theo định hướng phát triển bền vững. Tạp chí Vật liệu và Xây dựng-Bộ Xây dựng, 13(03), 82-Trang. DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.03.2023.499>
- [15]. RTC Technology, Tích hợp ERP cho nhà kho thông minh: Kết nối dữ liệu - Tối ưu chuỗi cung ứng. Available: <https://rtc.edu.vn/tich-hop-erp-cho-nha-kho-thong-minh-ket-noi-du-lieu-toi-uu-chuoi-cung-ung/>
- [16]. Van, T. N., Quoc, T. N., & Le Dinh, L. (2021). An analysis of value chain in the Vietnam construction industry. International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology, 12(3), 12-23. DOI: <https://doi.org/10.30880/ijscet.2021.12.03.002>
- [17]. Toan, N. Q., Hang, N. T. T., Duyen, D. H., & Nam, T. P. (2020, June). Application of Building Information Modeling (BIM) for automatic integration of construction costs management information into 3D models in consideration of Vietnamese regulations. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 869, No. 6, p. 062007). IOP Publishing. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/869/6/062007>
- [18]. Maqsoom, A., Prasittisopin, L., Musarat, M. A., Ullah, F., & Alqahtani, F. K. (2024). Construction price index prediction through ARMA with inflation effect: case of Thailand construction industry. Buildings, 14(5), 1243. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings14051243>
- [19]. CEIC (2024), China Purchasing Price Index: Building Material, truy cập: <https://www.ceicdata.com/en/china/purchasing-price-index/purchasing-price-index-building-material?>

Đánh giá tiềm năng giảm phát thải khí nhà kính từ việc sử dụng vật liệu thay thế trong sản xuất xi măng

Assessing the potential for greenhouse gas emission reduction by using alternative materials in cement production

> TẠ THỊ YẾN^{1*}, CHU CÔNG CẦN²,

¹Khoa Môi trường, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

*Email: ttyen@hunre.edu.vn

²Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng

TÓM TẮT

Nghiên cứu này đánh giá tiềm năng giảm phát thải khí nhà kính (KNK) thông qua việc sử dụng vật liệu thay thế trong sản xuất xi măng, với nghiên cứu điển hình tại Công ty TNHH MTV Xi măng Trung Sơn, Phú Thọ. Kết quả kiểm kê cho thấy tổng phát thải KNK của nhà máy là 758.507,41 tấn CO_{2e}, trong đó phát thải trực tiếp (phạm vi 1) chiếm 92,67% (702.907,63 tấn CO_{2e}) và phát thải gián tiếp từ điện năng (phạm vi 2) chiếm 7,33% (55.599,78 tấn CO_{2e}). Hoạt động nung clanhke được xác định là nguồn phát thải chính của nhà máy. Nghiên cứu đã thiết kế 14 kịch bản sản xuất xi măng sử dụng xỉ hạt lò cao làm vật liệu thay thế clanhke với các tỷ lệ khác nhau, bao gồm một kịch bản nền (chưa sử dụng xỉ hạt lò cao và phụ gia khoáng) và 13 kịch bản sử dụng xỉ hạt lò cao với các tỷ lệ phối giả định khác nhau. Kết quả phân tích cho thấy mối tương quan nghịch rõ ràng giữa tỷ lệ sử dụng xỉ hạt lò cao tăng và lượng phát thải KNK giảm đáng kể. Những phát hiện này không chỉ cung cấp giải pháp hiệu quả cho Công ty TNHH MTV Xi măng Trung Sơn mà còn đóng góp quan trọng vào việc thực hiện mục tiêu kinh tế tuần hoàn. Việc tái sử dụng xỉ hạt lò cao giúp giảm thiểu lượng phế thải, tiết kiệm chi phí nguyên liệu và giảm áp lực lên môi trường. Nghiên cứu khẳng định tiềm năng lớn của việc ứng dụng vật liệu thay thế trong sản xuất xi măng nhằm hướng tới các mục tiêu phát triển bền vững và giảm thiểu tác động của biến đổi khí hậu.

Từ khóa: Xi măng, kinh tế tuần hoàn, xỉ hạt lò cao, KNK, kiểm kê.

ABSTRACT

This study evaluates the potential for greenhouse gas (GHG) emission reduction by using alternative materials in cement production, with a case study at Trung Son Cement Company in Phu Tho. The inventory results show that the factory's total GHG emissions are 758,507.41 tons of CO_{2e}, of which direct emissions (Scope 1) account for 92.67% (702,907.63 tons of CO_{2e}) and indirect emissions from electricity consumption (Scope 2) account for 7.33% (55,599.78 tons of CO_{2e}). This confirms that clinker firing is the factory's main source of emissions. The study designed 14 cement production scenarios using ground granulated blast furnace slag (GGBFS) as a clinker substitute at various replacement ratios, including one baseline scenario (without slag) and 13 scenarios using GGBFS with different assumed mix proportions. The analysis results show a clear inverse relationship: as the ratio of ground granulated blast furnace slag (GGBFS) increases, the factory's GHG emissions decrease significantly. These findings not only provide an effective emission reduction solution for Trung Son Cement Company but also contribute to the implementation of a circular economy. The reuse of ground granulated blast furnace slag (GGBFS) helps reduce waste, save on raw material costs, and lessen the environmental burden. The study affirms the great potential of applying alternative materials in cement production to achieve sustainable development goals and mitigate the impacts of climate change.

Keywords: Cement, circular economy, ground granulated blast furnace slag, GHG, inventory.

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Ngành công nghiệp xi măng đóng vai trò then chốt trong phát triển kinh tế và cơ sở hạ tầng toàn cầu. Tuy nhiên, sản xuất xi măng là một

trong những nguồn phát thải KNK lớn nhất, chiếm khoảng (7 - 8)% tổng lượng phát thải CO₂ toàn cầu (IEA, 2018). Phần lớn lượng phát thải này đến từ quá trình nung clanhke, một thành phần chính của xi măng, đòi

hồi nhiệt độ rất cao, khoảng (1.450 - 1.500)°C để phân hủy nguyên liệu chính là đá vôi (CaCO_3) thành vôi sống (CaO) và giải phóng CO_2 . Ngoài ra, việc sử dụng nhiên liệu hóa thạch để cung cấp nhiệt cho lò nung cũng là một nguồn phát thải CO_2 đáng kể (Andrew, 2019). Với bối cảnh biến đổi khí hậu đang diễn ra phức tạp và các cam kết quốc tế về giảm phát thải, việc tìm kiếm và áp dụng các giải pháp giảm thiểu tác động môi trường của ngành xi măng là một yêu cầu cấp bách.

Nhằm đối phó với thách thức này, ngành công nghiệp xi măng đã và đang nỗ lực phát triển nhiều giải pháp khác nhau. Có thể phân loại các giải pháp này thành các nhóm chính sau: i) Nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng là một trong những cách để giảm phát thải KNK được đánh giá cao. Các biện pháp trong nhóm này bao gồm tối ưu hóa quy trình sản xuất, sử dụng các công nghệ lò nung hiệu suất cao, tận dụng nhiệt thải để phát điện hoặc sấy khô nguyên liệu (WBCSD & IEA, 2018). Việc cải tiến này không chỉ giúp giảm lượng nhiên liệu tiêu thụ mà còn giảm lượng CO_2 phát thải trực tiếp từ quá trình đốt nhiên liệu. Thay thế nhiên liệu hóa thạch truyền thống (như than đá) bằng các loại nhiên liệu có nguồn gốc từ chất thải hoặc phế thải của ngành khác là một giải pháp có tiềm năng lớn. Việc này không chỉ giúp giảm phát thải CO_2 mà còn góp phần giải quyết vấn đề xử lý chất thải (Andrew, 2019). Tuy nhiên, việc sử dụng nhiên liệu thay thế cần được kiểm soát chặt chẽ để đảm bảo không phát sinh các chất ô nhiễm khác như dioxin, furan. ii) Sử dụng vật liệu thay thế (phụ gia) trong sản xuất clanhke và xi măng là giải pháp trọng tâm của nhiều nghiên cứu hiện nay. Thay thế một phần clanhke bằng các vật liệu có tính chất tương tự, như xỉ lò cao (blast furnace slag), tro bay (fly ash), hoặc các loại phụ gia pozzolanic tự nhiên hoặc nhân tạo, có thể giảm đáng kể lượng CO_2 phát thải. Lượng CO_2 phát thải từ quá trình nung clanhke sẽ giảm tương ứng với tỷ lệ thay thế. Đồng thời, việc sử dụng các vật liệu này còn giúp tận dụng các phế phẩm công nghiệp, giải quyết vấn đề rác thải và tiết kiệm tài nguyên thiên nhiên (De La Torre et al., 2016).

Trong số các giải pháp trên, việc sử dụng vật liệu thay thế đang được xem là một trong những phương pháp hiệu quả và khả thi nhất để giảm phát thải KNK của ngành xi măng (Izumi et al., 2021). Các vật liệu thay thế clanhke phổ biến hiện nay bao gồm tro bay - là sản phẩm phụ của các nhà máy nhiệt điện đốt than. Tro bay có tính chất pozzolanic, khi trộn với clanhke và nước sẽ tham gia phản ứng thủy hóa, tạo thành các sản phẩm có tính chất kết dính, tăng cường độ bền và giảm tính thấm của bê tông (De La Torre et al., 2016). Xỉ lò cao là sản phẩm phụ của quá trình sản xuất gang thép. Xỉ lò cao nghiền mịn có tính chất tương tự như xi măng, có thể thay thế một lượng lớn clanhke trong sản xuất xi măng (Andrew, 2019). Xi măng xỉ lò cao đã được sử dụng rộng rãi trên thế giới nhờ các ưu điểm về độ bền, khả năng chống ăn mòn và giảm phát thải KNK. Phụ gia pozzolanic tự nhiên bao gồm tro núi lửa, đá pozzolanic, đá diệp thạch nung... Các vật liệu này có thể được sử dụng làm phụ gia khoáng để cải thiện tính chất của xi măng và giảm lượng clanhke cần thiết. Khi sử dụng các vật liệu này, lượng clanhke trong sản phẩm xi măng được giảm xuống, đồng nghĩa với việc giảm lượng CO_2 phát thải từ quá trình nung clanhke. Ví dụ, việc thay thế 20% clanhke bằng tro bay có thể giảm 20% lượng phát thải CO_2 từ quá trình nung clanhke cho mỗi tấn xi măng sản xuất ra (Andrew, 2019). Bên cạnh đó, việc sử dụng các vật liệu này cũng giúp tận dụng hiệu quả các phế phẩm công nghiệp, giảm thiểu việc khai thác tài nguyên thiên nhiên và góp phần vào nền kinh tế tuần hoàn (Izumi et al., 2021), (Renforth, 2019), (Scrivener et al., 2018).

Tại Việt Nam, ngành công nghiệp xi măng đang phát triển mạnh mẽ để đáp ứng nhu cầu xây dựng. Tuy nhiên, lượng phát thải KNK từ ngành này cũng đang ở mức cao. Theo thống kê của Trung tâm thông tin và dữ liệu xi măng- CIDC (CIDC, 2025) thì kết quả kiểm kê KNK ngành Xây dựng năm 2022 sản xuất xi măng phát thải hơn 80 triệu tấn CO_{2e} , với ước tính hệ số phát thải là 718 kg

CO_{2e} /tấn xi măng và 897 kg CO_{2e} / tấn clanhke. Trong đó nguồn phát thải từ quá trình phân hủy thành phần cacbonat (CO_3^{2-}) trong nguyên liệu thô chiếm hơn 60%. Sau nguyên liệu là phát thải từ nhiên liệu chiếm 30% và phát thải gián tiếp từ điện chiếm khoảng 10%. Trước bối cảnh đó, các nhà máy xi măng ở Việt Nam đang dần tiếp cận và áp dụng các công nghệ tiên tiến để giảm thiểu tác động môi trường. Việc sử dụng các vật liệu thay thế như tro bay từ các nhà máy nhiệt điện hay xỉ lò cao từ các nhà máy thép đang là một hướng đi quan trọng và phù hợp với chủ trương phát triển bền vững của quốc gia. Công ty TNHH MTV Xi măng Trung Sơn, Phú Thọ là một doanh nghiệp sản xuất xi măng thực hiện đầy đủ các công đoạn trong quy trình sản xuất từ khai thác nguyên liệu, sản xuất clanhke tới sản xuất sản phẩm xi măng. Công ty áp dụng công nghệ lò quay trong sản xuất xi măng tương đồng với mặt bằng chung trong sản xuất xi măng và chưa chính thức sử dụng xỉ hạt lò cao thay thế clanhke trong sản xuất xi măng. Công thức sản xuất hiện tại của nhà máy được sử dụng là công thức đối chứng để đánh giá tiềm năng giảm phát thải khi sử dụng vật liệu thay thế clanhke trong sản xuất xi măng là xỉ hạt lò cao với các giá định tỷ lệ sử dụng khác nhau.

Mục tiêu của bài báo này là phân tích thực trạng và tiềm năng giảm phát thải KNK tại Công ty TNHH MTV Xi măng Trung Sơn. Nghiên cứu đánh giá tác động của việc sử dụng các vật liệu thay thế clanhke lên lượng phát thải CO_2 thông qua các kịch bản sản xuất xi măng khác nhau trong đó có sử dụng vật liệu xỉ hạt lò cao để thay thế clanhke. Từ đó, xác định xu hướng và lượng giảm phát thải KNK khi sử dụng vật liệu thay thế này, hướng tới phát triển bền vững. Nghiên cứu này sẽ cung cấp những số liệu và phân tích cụ thể, làm cơ sở khoa học cho việc đề xuất các chính sách và giải pháp kỹ thuật nhằm giảm thiểu tác động môi trường của ngành xi măng, không chỉ tại Công ty TNHH MTV xi măng Trung Sơn mà còn cho các nhà máy sản xuất xi măng khác tại Việt Nam.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Phương pháp thu thập dữ liệu

Nghiên cứu sử dụng số liệu thứ cấp kết hợp với số liệu sơ cấp nhằm: Thu thập dữ liệu về sản lượng clanhke và xi măng, loại và lượng nhiên liệu tiêu thụ, lượng điện năng tiêu thụ từ báo cáo sản xuất, báo cáo kiểm kê năng lượng của Công ty TNHH MTV Xi măng Trung Sơn trong năm 2024. Các hệ số phát thải và nhiệt trị nhiên liệu được lấy từ các văn bản quy phạm pháp luật và hướng dẫn của Bộ Xây dựng, Bộ Công Thương và IPCC, cùng với kết quả đo nhiệt trị nhiên liệu của nhà máy. Kết hợp với phỏng vấn và khảo sát các cán bộ kỹ thuật, quản lý của Công ty để thu thập các thông tin chi tiết về quy trình sản xuất, công nghệ hiện đang áp dụng.

2.2. Xác định phạm vi kiểm kê

Nghiên cứu tập trung vào việc tính toán lượng phát thải KNK tại Công ty TNHH MTV Xi măng Trung Sơn trong năm 2024. Phạm vi nghiên cứu bao gồm toàn bộ quá trình sản xuất xi măng, từ khâu khai thác nguyên liệu, vận hành lò nung clanhke, nghiền xi măng cho đến các hoạt động phụ trợ. Theo quy định trong Nghị định số 06/2022/NĐ-CP ngày 07/01/2022 của Chính phủ quy định về giảm nhẹ phát thải KNK và bảo vệ tầng ôzôn, và các quy định pháp lý hiện hành về kiểm kê KNK yêu cầu các cơ sở bắt buộc phải thực hiện kiểm kê KNK ở phạm vi 1 và 2, phạm vi 3 thì không phải bắt buộc. Và do Công ty là đơn vị sản xuất vật liệu xây dựng (xi măng) nên theo Thông tư 13/2024/TT-BXD ngày 20/12/2024 của Bộ Xây dựng quy định về quy trình, kỹ thuật kiểm kê KNK và đo đạc, báo cáo, thẩm định giảm nhẹ phát thải KNK trong ngành Xây dựng thì Công ty sẽ chỉ phải kiểm kê các nguồn phát thải thuộc phạm vi 1 và 2.

- Phát thải trực tiếp (Scope 1): Lượng phát thải từ quá trình phân hủy đá vôi, đá sét (Calcination) để sản xuất clanhke và quá trình đốt nhiên liệu hóa thạch trong lò nung.

- Phát thải gián tiếp từ năng lượng tiêu thụ (Scope 2): Lượng phát thải từ việc tiêu thụ điện năng mua từ bên ngoài.

2.3. Phương pháp tính toán phát thải KNK

• Ước tính phát thải KNK trực tiếp từ hoạt động đốt nhiên liệu
Ước tính phát thải KNK từ hoạt động đốt nhiên liệu được thực hiện thông qua công thức (1) sau đây:

$$E_{NL} = \sum_j \sum_i Q_j \times NCV_j \times EF_{i,j} \times GWP_j \times 10^{-6} \quad (1)$$

Trong đó:

- E_{NL} : Phát thải từ đốt nhiên liệu, tấn CO_{2e}
- i : loại KNK được kiểm kê (khí CO_2 , CH_4 , N_2O)
- j : loại nhiên liệu sử dụng
- Q_j : khối lượng nhiên liệu j tiêu thụ, tấn hoặc nghìn lít
- NCV_j : giá trị nhiệt trị ròng của nhiên liệu j , TJ/ngày tấn hoặc TJ/triệu lít
- $EF_{i,j}$: Hệ số phát thải KNK i của nhiên liệu j , kg/TJ
- GWP_i : Hệ số tiềm năng nóng lên toàn cầu của KNK i .
- Ước tính phát thải KNK trực tiếp từ quá trình công nghiệp
Phát thải KNK từ quá trình chuyển hóa nguyên liệu chứa gốc cacbonat (CO_3^{2-}) được ước tính qua công thức (2):

$$E_{NG,CLK} = E_{DV} + E_{SE} \quad (2)$$

$$E_{DV} = Q_{DV} \times \frac{C_{DV, CaO} \times 0,785 + C_{DV, MgO} \times 1,092}{100}$$

$$E_{SE} = Q_{SE} \times \frac{C_{SE, CaO} \times 0,785 + C_{SE, MgO} \times 1,092}{100}$$

Trong đó:

- $E_{NG,CLK}$: Phát thải từ nung nguyên liệu sản xuất clanhke, tấn CO_2
- E_{DV} : Phát thải từ đá vôi sử dụng sản xuất clanhke, tấn CO_2
- E_{SE} : Phát thải từ đá sét sử dụng sản xuất clanhke, tấn CO_2
- Q_{DV} : Lượng đá vôi sử dụng sản xuất clanhke, tấn
- Q_{SE} : Lượng đá sét sử dụng sản xuất clanhke, tấn
- $C_{DV, CaO}$: Hàm lượng CaO bình quân gia quyền của đá vôi, %
- $C_{DV, MgO}$: Hàm lượng MgO bình quân gia quyền của đá vôi, %
- $C_{SE, CaO}$: Hàm lượng CaO bình quân gia quyền của đá sét, %
- $C_{SE, MgO}$: Hàm lượng MgO bình quân gia quyền của đá sét, %
- 0,785: Hệ số phát thải của CaO, tấn CO_2 /tấn $CaCO_3$
- 1,092: Hệ số phát thải của MgO, tấn CO_2 /tấn $MgCO_3$

$$C = \frac{\sum C_i \times Q_i}{\sum Q_i}$$

Trong đó:

- C : Hàm lượng bình quân gia quyền CaO, MgO trong đá vôi, đất sét, %
- i : Thời điểm phân tích hàm lượng CaO, MgO
- C_i : Hàm lượng CaO, MgO trong đá vôi, đất sét tại thời điểm i , %
- Q_i : Lượng nguyên liệu đá vôi, đất sét tại thời điểm i , %
- Ước tính phát thải KNK gián tiếp từ sử dụng điện

$$E_{DL} = (Q_{MV} - Q_{BR}) \times EF_{DL} \times 10^{-3} \quad (4)$$

Trong đó:

- E_{DL} : Phát thải từ sử dụng điện lưới, tấn CO_2
- Q_{MV} : Lượng điện lưới, điện mua vào có nguồn gốc hóa thạch, kWh
- Q_{BR} : Lượng điện bán ra, kWh

- EF_{DL} : Hệ số phát thải lưới điện quốc gia (tCO_2/MWh)

- EF_{DL} được áp dụng là Hệ số phát thải của lưới điện Việt Nam năm 2023 là 0,6592 tCO_2/MWh được công bố theo Công văn số 1726/BĐKH- PTCBT ngày 03/12/2024 của Cục Biến đổi khí hậu, Bộ TN&MT.

2.4. Hệ số phát thải

Dữ liệu về hệ số phát thải (HSPT) sử dụng để tính toán của báo cáo kiểm kê này được sử dụng tham chiếu theo dữ liệu HSPT có trong phần phụ lục của TT13/2024/TT-BXD ngày 20/12/2024 của Bộ Xây dựng về quy trình, quy định kỹ thuật kiểm kê KNK, đo đạc, báo cáo, thẩm định giảm nhẹ phát thải KNK ngành Xây dựng; Quyết định 2626/QĐ-BTNMT của Bộ TN&MT ban hành ngày 10/10/2022 về danh mục hệ số phát thải phục vụ kiểm kê KNK; hệ số phát thải theo Hướng dẫn kiểm kê KNK của Ban liên Chính phủ về biến đổi khí hậu (IPCC 2006).

2.5. Đánh giá độ không chắc chắn của kết quả kiểm kê KNK

Trong điều kiện số liệu hiện tại, trên cơ sở hướng dẫn của IPCC trong việc đánh giá độ không chắc chắn, phương pháp lựa chọn để đánh giá độ không chắc chắn về kết quả kiểm kê phát thải KNK của Công ty là phương pháp lỗi lan truyền và được xác định bằng công thức sau:

$$U_{total} = \frac{\sqrt{(U_1 \bullet x_1)^2 + (U_2 \bullet x_2)^2 + \dots + (U_n \bullet x_n)^2}}{|x_1 + x_2 + \dots + x_n|}$$

Trong đó:

- U_{total} : tỷ lệ phần trăm không chắc chắn trong kết quả kiểm kê của Công ty;
- x_i và U_i : lần lượt là các lượng phát thải KNK của nguồn i và phần trăm độ không chắc chắn của nguồn phát thải i .
- Trong đó, độ không chắc chắn tổng hợp về kết quả kiểm kê năm 2024 được xác định bằng công thức sau:

$$U_i = \sqrt{A_i^2 + E_i^2}$$

Trong đó:

- U_{total} : phần trăm độ không đảm bảo trong tích của các đại lượng;
- A : tỷ lệ phần trăm không chắc chắn liên quan đến số liệu hoạt động của nguồn i ;
- E : tỷ lệ phần trăm không chắc chắn liên quan đến hệ số phát thải của nguồn i .

2.6. Phương pháp phân tích tiềm năng giảm phát thải KNK từ sử dụng vật liệu thay thế

Phân tích tiềm năng giảm phát thải KNK từ việc sử dụng vật liệu thay thế được thực hiện bằng cách so sánh lượng phát thải thực tế của Nhà máy Trung Sơn (không sử dụng vật liệu thay thế) với các kịch bản giả định (có sử dụng vật liệu thay thế theo các tỷ lệ cấp phối vật liệu thay thế khác nhau).

• **Kịch bản nền (KBN):** Dựa trên dữ liệu thực tế tại Công ty TNHH MTV Xi măng Trung Sơn, sản xuất clanhke và xi măng mà không sử dụng bất kỳ vật liệu thay thế nào.

• **Kịch bản giả định:** Dựa trên dải tỷ lệ sử dụng xi hạt lò cao được nêu trong tiêu chuẩn BS EN 197-Part 1:2011 (Cement - Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements), kết hợp với giả định rằng các kịch bản sản xuất xi măng với các tỷ lệ sử dụng xi hạt lò cao khác nhau đã đáp ứng được yêu cầu về chất lượng của xi măng, từ đó nghiên cứu đã xây dựng 13 kịch bản giả định với tỷ lệ sử dụng xi hạt lò cao khác nhau. Các dải tỷ lệ cấp phối cụ thể như sau:

Từ kết quả nghiên cứu cho thấy tỷ lệ đóng góp phát thải cao nhất tới từ quá trình nung nguyên liệu có chứa gốc cacbonat (CO_3^{2-}). Kết quả kiểm kê có sự tương đồng với các nghiên cứu kiểm kê phát thải KNK của các nhà máy xi măng (Talaie et al., 2019).

Do đó, nếu muốn giảm phát thải cho nhà máy xi măng một cách hiệu quả thì cần chú trọng tới việc chuyển đổi từ sử dụng các vật liệu chứa gốc cacbonat sang sử dụng các vật liệu thay thế là các phế phẩm/chất thải từ các ngành khác như xỉ hạt lò cao, tro bay... Đây cũng đang là xu hướng của các nhà máy xi măng ở trên thế giới.

Trên cơ sở kết quả ước tính độ không chắc chắn về số liệu hoạt động và hệ số phát thải KNK lựa chọn, kết quả đánh giá độ không chắc chắn về kết quả kiểm kê KNK năm 2024 của Công ty được thể hiện trong bảng 3.2.

Bảng 3.2. Giá trị độ không chắc chắn về kết quả kiểm kê KNK năm 2024

Độ không chắc chắn về kết quả kiểm kê	
1. Phát thải từ đốt nhiên liệu cho phương tiện di động	7,08%
2. Phát thải từ đốt nhiên liệu than	8,56%
3. Phát thải từ quá trình công nghiệp và tiêu thụ sản phẩm (IPPU)	8,60%
4. Phát thải gián tiếp từ tiêu thụ điện năng	8,60%
Độ không chắc chắn tổng hợp kết quả kiểm kê	5,91%

3.3. Đánh giá tiềm năng giảm phát thải từ vật liệu thay thế

Nhận thấy tiềm năng của mô hình kinh tế tuần hoàn giữa hai ngành công nghiệp lớn là thép và xi măng, nhóm nghiên cứu đã tập trung giải quyết vấn đề xử lý xỉ hạt lò cao (slag) - một phế phẩm của ngành thép. Nếu không được tái sử dụng, lượng xỉ này sẽ phải chôn lấp, gây ô nhiễm môi trường và tốn kém chi phí. Vì vậy, bài báo này sử dụng xỉ hạt lò cao làm vật liệu thay thế một phần clanhke trong sản xuất xi măng. Tỷ lệ sử dụng xỉ hạt lò cao giả định được tham khảo quy định về hàm lượng xỉ quy định trong tiêu chuẩn BS EN 197-Part 1:2011, nghiên cứu đã xây dựng kịch bản giả định và tính toán được tiềm năng giảm phát thải KNK khi áp dụng giải pháp này.

Kết quả giảm lượng khí thải nhà kính của xi măng truyền thống (KBN) và xi măng có sử dụng vật liệu thay thế là xỉ lò cao hóa theo các tỷ lệ khác nhau (KBGD) được thể hiện ở hình 3.3.

Biểu đồ cho thấy mối tương quan nghịch giữa tỷ lệ xỉ hạt lò cao thay thế clanhke và tổng lượng phát thải KNK. Khi tỷ lệ xỉ lò cao càng tăng cao, thì lượng phát thải KNK càng giảm mạnh. Tại kịch bản nền KBN (không sử dụng xỉ lò cao), tổng lượng phát thải KNK của nhà máy hiện tại khi chưa sử dụng xỉ hạt lò cao thay thế clanhke là 758.507,4 tấn CO_2e . Khi thay thế xỉ hạt lò cao với tỷ lệ sử dụng xỉ hạt lò cao giả định theo tiêu chuẩn BS EN 197-Part 1:2011 nhóm A với dải tỷ lệ thay thế là 36 - 65% thì lượng phát thải KNK của nhà máy giảm từ 758.507,4 tấn CO_2e về 335.631,7 tấn CO_2e (tương ứng giảm 55,75% so với mức phát thải hiện tại của nhà máy). Tại dải tỷ lệ 66 - 80% theo nhóm B thì lượng phát thải tiếp tục giảm về 201.998,2 tấn CO_2e (tương ứng giảm 73,37% so với mức phát thải hiện tại của nhà máy). Và dải tỷ lệ 81 - 95% theo nhóm C thì lượng phát thải của nhà máy giảm về 68.364,7 tấn CO_2e (tương ứng giảm 90,98% so với mức phát thải hiện tại của nhà máy). Như vậy, có thể thấy lượng giảm phát thải KNK của nhà máy sẽ rất lớn nếu thay xỉ hạt lò cao với dải tỷ lệ cao. Hiệu quả của các giải pháp giảm thiểu phát thải liên quan tới sử dụng vật liệu thay thế có sự tương đồng với các nghiên cứu trên thế giới (Izumi et al., 2021), (Renforth, 2019), (Hong et al., 2020).

Kết quả nghiên cứu này chỉ ra cơ hội thực hiện kinh tế tuần hoàn cho ngành xi măng khi sử dụng xỉ hạt lò cao (phế liệu ngành thép) vào sản xuất xi măng. Tuy nhiên, kết quả này chỉ phản ánh ước tính giảm phát thải của nhà máy khi thay thế clanhke bằng xỉ hạt lò cao, chưa xem xét được tính khả thi về mặt kinh tế khi thay thế clanhke bằng xỉ

hạt lò cao, và nghiên cứu cũng chưa xem xét sự khả thi về mặt kỹ thuật, điều kiện thiết bị máy móc của nhà máy có đáp ứng được khi sử dụng xỉ hạt lò cao thay thế clanhke hay không, và chất lượng của xi măng sẽ thay đổi như thế nào khi sử dụng xỉ hạt lò cao với các tỷ lệ thay thế khác nhau. Do đó, để khuyến nghị thực hiện sử dụng xỉ hạt lò cao vào trong sản xuất xi măng để thay thế vật liệu có chứa gốc cacbonat (CO_3^{2-}), và sử dụng tỷ lệ xỉ hạt lò cao như thế nào với tỷ lệ

bao nhiêu là phù hợp trong sản xuất xi măng tại các nhà máy cần có những đánh giá tổng thể trên cả ba phương diện kinh tế - kỹ thuật - môi trường để có bức tranh toàn diện hơn khi khuyến nghị chuyển đổi từ xi măng thường sang xi măng xanh có sử dụng vật liệu thay thế.

KẾT LUẬN

Nghiên cứu thực hiện kiểm kê phát thải KNK của Nhà máy Trung Sơn với tổng lượng phát thải năm 2024 là 758.507,41 tấn CO_2e . Trong đó phát thải phát thải trực tiếp (phạm vi 1) là 702.907,63 tấn CO_2e (chiếm 92,67%); và phát thải gián tiếp từ tiêu thụ điện năng (phạm vi 2) là 55.599,78 tấn CO_2e (chiếm 7,33%). Đồng thời nghiên cứu cũng đã xây dựng được 13 kịch bản thay thế clanhke bằng xỉ hạt lò cao với các tỷ lệ thay thế khác nhau. Kết quả cho thấy mối tương quan nghịch giữa tỷ lệ xỉ hạt lò cao thay thế clanhke và tổng lượng phát thải KNK. Khi thay thế clanhke từ 36% tới 95% thì lượng phát thải KNK của nhà máy có thể giảm từ 55,75% đến 90,98% so với hiện tại. Đây là cơ hội để thực hiện chuyển đổi từ xi măng thông thường sang xi măng xanh, thúc đẩy thực hiện kinh tế tuần hoàn khi cộng sinh công nghiệp giữa ngành thép và ngành xi măng. Tuy nhiên, để có bức tranh đầy đủ cho việc chuyển đổi này cần có những nghiên cứu sâu hơn khi xem xét trên cả ba yếu tố kinh tế - kỹ thuật - môi trường của việc thực hiện chuyển đổi từ vật liệu xi măng thông thường sang xi măng xanh.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Andrew, R. (2019). Global CO_2 emissions from cement production. *Earth System Science Data*, 11(4), 1675-1705.
- [2]. Arachchige, U. S. P. R., Kawan, D., Tokheim, L. A., & Melaen, M. C. (2013). Model Development for CO_2 capture in the cement industry. *International Journal of Modeling and Optimization*, 3(6).
- [3]. Bộ Xây dựng (2024) Thông tư 13/2024/TT-BXD ngày 20/12/2024 của Bộ Xây dựng quy định về quy trình, kỹ thuật kiểm kê KNK và đo đạc, báo cáo, thẩm định giảm nhẹ phát thải KNK trong ngành Xây dựng.
- [4]. De La Torre, G., et al. (2016). Sustainable Cement Production. In: *Concrete and Cementitious Materials*. IntechOpen.
- [5]. Hong, S., Huang, H.D., Rim, G., Park, Y., Park, A.H.A., 2020. Integration of two waste streams for carbon storage and utilization: enhanced metal extraction from steel slag using biogenic volatile organic acids. *ACS Sustain. Chem. Eng.* 8, 18519–18527. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c06355>.
- [6]. IEA (International Energy Agency). (2018). *Technology Roadmap: Low-Carbon Transition in the Cement Industry*. IEA, Paris.
- [7]. IPCC. Guidelines for National Greenhouse gas inventories. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme; 2006. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>
- [8]. Izumi, Y., Izuka, A., & Ho, H. J. (2021). Calculation of greenhouse gas emissions for a carbon recycling system using mineral carbon capture and utilization technology in the cement industry. *Journal of Cleaner Production*, 312, 127618
- [9]. National Cement Association of Vietnam. (2020). Report on the development of Vietnam's cement industry.
- [10]. Renforth, P., 2019. The negative emission potential of alkaline materials. *Nat. Commun.* 10, 1401. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-09475-5>
- [11]. Scrivener, K.L., John, V.M., Gartner, E.M., 2018. Eco-efficient cements: potential economically viable solutions for a low- CO_2 cement-based materials industry. *Cement Concr. Res.* 114, 2-26. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.03.015>
- [12]. Talaie, A., Pier, D., Iyer, A. V., Ahiduzzaman, M., & Kumar, A. (2019). Assessment of long-term energy efficiency improvement and greenhouse gas emissions mitigation options for the cement industry. *Energy*, 170, 1051-1066
- [13]. Trung tâm thông tin và dữ liệu xi măng- CIDC (2025). Tính toán hệ số phát thải đặc trưng quốc gia cho sản xuất xi măng tại Việt Nam. <https://ximang.vn/tinh-toan-he-so-phat-thai-dac-trung-quoc-gia-cho-san-xuat-xi-mang-tai-viet-nam>.
- [14]. WBCSD (World Business Council for Sustainable Development) & IEA (International Energy Agency). (2018). *Low-carbon transition in the cement industry: The global scenario*. WBCSD & IEA, Geneva & Paris.

Đánh giá tình trạng và nguyên nhân gây nứt của bê tông khối lớn - Trường hợp móng điện gió

Evaluation of conditions and causes of cracks in large concrete blocks - Case study of wind turbine foundations

> NGUYỄN THẾ HOÀNG GIA¹, NGUYỄN DUY HƯNG²

¹HVCH Viện Xây dựng, Trường Đại học Giao thông vận tải TP.HCM; Email: hoanggiaksxd@gmail.com

²GV Đại học Giao thông vận tải TP.HCM; Email: hung.nguyen@ut.edu.vn

TÓM TẮT

Phân tích trường nhiệt độ và ứng suất trong kết cấu bê tông khối lớn là một phần không thể thiếu trong việc kiểm soát và ngăn ngừa hiện tượng nứt bê tông. Tuy nhiên, đây là một quá trình phức tạp, đặc biệt đối với các kết cấu có khối tích lớn như móng nhà siêu cao tầng, móng điện gió, đập thủy lợi... do số lượng phần tử nhiều và các điều kiện biên phức tạp cần được tính toán. Bài báo này giới thiệu quy trình lập và giải bài toán phân tích trường nhiệt độ và ứng suất trong bê tông khối lớn bằng phương pháp phần tử hữu hạn. Thông qua kết quả phân tích, có thể dự đoán được quy luật và mức độ phát triển của trường nhiệt độ cũng như ứng suất trong giai đoạn đầu của quá trình đóng rắn bê tông. Từ đó, đề xuất các giải pháp thi công thích hợp nhằm kiểm soát và ngăn ngừa hiện tượng nứt do nhiệt thủy hóa xi măng.

Từ khóa: Bê tông khối lớn, trường nhiệt độ, ứng suất nhiệt, nứt nhiệt, phân tích phần tử hữu hạn.

ABSTRACT

The analysis of temperature and stress fields in mass concrete structures is an essential part of controlling and preventing concrete cracking. However, this is a complex process, especially for large-volume structures such as high-rise building foundations, wind turbine foundations, and hydraulic dams, due to the large number of elements and complex boundary conditions involved. This paper presents a procedure for formulating and solving the problem of analyzing temperature and stress fields in mass concrete using the finite element method. Through the analysis results, we can predict the patterns and development levels of temperature and stress fields during the early stages of concrete hardening. Based on this, suitable construction solutions can be proposed to control and prevent cracking caused by cement hydration heat.

Keyword: Mass concrete blocks, temperature fields, thermal stress, thermal cracking, finite element analysis.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Điện gió là nguồn năng lượng tái tạo quan trọng, trong đó móng điện gió giữ vai trò truyền tải tải trọng, đảm bảo ổn định và tuổi thọ công trình. Tuy nhiên, thi công móng gặp thách thức do nứt nhiệt từ thủy hóa xi măng trong bê tông khối lớn, ảnh hưởng đến độ bền và an toàn. Do đó, kiểm soát nhiệt và hạn chế nứt là yếu tố then chốt để đảm bảo hiệu quả và độ bền công trình.

Tình trạng nứt trong bê tông khối lớn ngày càng được cơ quan quản lý, đơn vị thiết kế và các nhà nghiên cứu quan tâm, do có thể ảnh hưởng nghiêm trọng đến chất lượng, tuổi thọ và chi phí công trình. Nguyên nhân phổ biến là nhiệt thủy hóa, vì vậy nhiều nghiên cứu đã tập trung để xuất giải pháp kiểm soát hiệu quả và tiết kiệm. [1].

Phân tích ứng suất nhiệt trong bê tông là bài toán phức tạp, chịu ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố như điều kiện và tiến độ thi công, nhiệt độ ban đầu, cấp phối, sự phát triển cường độ, modul đàn hồi, biến thiên nhiệt môi trường, khả năng tích nhiệt và giãn nở vật liệu. Với móng điện gió, việc kiểm soát càng khó khăn do điều kiện khí hậu khắc nghiệt và vị trí thi công hẻo lánh.

Nghiên cứu sử dụng Midas/Civil 2019 để mô phỏng nhiệt và ứng suất nhiệt trong móng điện gió, xét đến các điều kiện môi trường, vật liệu và biện pháp thi công ở Việt Nam. Kết quả được so sánh với các nghiên cứu trước và một công trình thực tế tại Bình Thuận.

Phân tích phần tử hữu hạn xác định biến đổi nhiệt độ, ứng suất tại các giai đoạn đóng rắn và so sánh với số liệu thực nghiệm. Từ đó, nghiên cứu đánh giá và điều chỉnh thông số thiết kế, cấp phối và biện pháp thi công nhằm kiểm soát nứt, đảm bảo chất lượng bê tông khối lớn.

2. LÝ THUYẾT VỀ QUÁ TRÌNH TRUYỀN NHIỆT VÀ ỨNG SUẤT DO HIỆU ỨNG NHIỆT

2.1. Phương trình vi phân chủ đạo của quá trình truyền nhiệt

Theo nghiên cứu của Benjamin Gebhart và J.E Akin và [2, 3], quá trình truyền nhiệt ba chiều trong môi trường bất đẳng hướng được mô tả bởi phương trình:

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) + q \quad (1)$$

Trong đó:

ρ : Khối lượng thể tích của bê tông, (kg/m³)

C: Tỷ nhiệt của bê tông, (kcal/kg.°C)

T (x,y,z,t) : Nhiệt độ tại tọa độ (x,y,z) tại thời điểm t (°C)

$\lambda_x, \lambda_y, \lambda_z$: Hệ số dẫn nhiệt của vật liệu theo các phương x, y, z

q: Nhiệt sinh ra trong một đơn vị thể tích (kcal/m³)

Các điều kiện biên:

Tại biên nhiệt độ không đổi $T = T_0$, $T(x, y, z, t) = T_0$ với $t > 0$

Tại biên truyền nhiệt : $\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} n_x + \lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} n_y + \lambda_z \frac{\partial T}{\partial z} n_z + q(t) = 0$

với $t > 0$

Tại biên đối lưu : $\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} n_x + \lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} n_y + \lambda_z \frac{\partial T}{\partial z} n_z + h_c(T - T_\infty) = 0$

với $t > 0$

Trong đó:

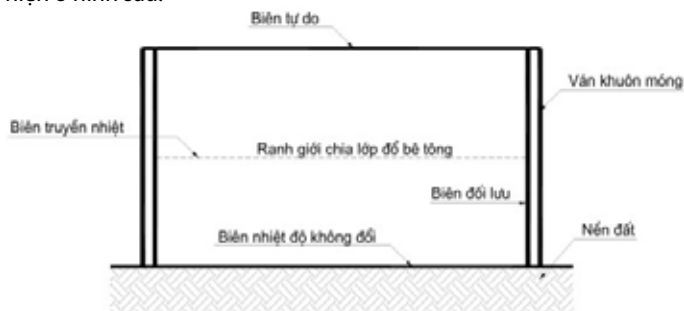
n_x, n_y, n_z : Cosin chỉ phương của mặt truyền nhiệt đang xét

q(t): Nhiệt sinh ra trong một đơn vị thể tích tại thời điểm t (kcal/m³)

h_c : Hệ số đối lưu (kcal/m².h.°C)

T_∞ : Nhiệt độ tại mặt đối lưu (°C)

Các điều kiện biên trên mô hình đài móng bê tông khối lớn thể hiện ở hình sau:



Hình 1. Các biên truyền nhiệt trong kết cấu móng bê tông khối lớn

2.2. Các thông số tính toán nhiệt

2.2.1. Nguồn nhiệt và tăng nhiệt độ đoạn nhiệt của bê tông

Nguồn nhiệt trong bê tông là từ phản ứng hóa học giữa xi măng và nước gọi là phản ứng thủy hóa của xi măng.

Quá trình này tỏa nhiệt và làm tăng mạnh nhiệt độ của bê tông trong giai đoạn đầu mới đổ. Tùy theo hàm lượng xi măng và thành phần của từng khoảng trong hỗn hợp mà tốc độ phản ứng và lượng nhiệt phát ra khác nhau [4, 5]. Bê tông dẫn nhiệt kém nên nhiệt thoát chậm và tích tụ trong khối, khiến quá trình thủy hóa xi măng và đóng rắn diễn ra gần như đoạn nhiệt, với nhiệt tỏa ra chính là năng lượng phản ứng thủy hóa.

Nhiệt độ đoạn nhiệt tăng có thể gây giãn nở không đều, làm ứng suất kéo vượt giới hạn và gây nứt bê tông. Năm 1985 tại Tokyo, Tanabe đưa ra công thức xác định nguồn nhiệt và quy luật tăng nhiệt độ đoạn nhiệt, sau đó được ASCE công nhận vào năm 1986. [6]

$$q = \frac{1}{24} \rho \times C \times K \times e^{\frac{-\alpha t}{24}} \quad (2)$$

$$T_{ad} = K \times (1 - e^{-\alpha t}) \quad (3)$$

Trong đó:

q : Nhiệt sinh ra trong một đơn vị thể tích (kcal/m³)

ρ : Khối lượng thể tích của bê tông (kg/m³)

C: Tỷ nhiệt của bê tông, (kcal/kg.°C)

t: Thời gian (ngày)

α : Hệ số thể hiện mức độ thủy hóa

K : Nhiệt độ tối đa của bê tông trong điều kiện đoạn nhiệt (°C)

T_{ad} : Nhiệt độ của bê tông trong điều kiện đoạn nhiệt ở tuổi t (ngày), (°C)

Tính toán K, α rất phức tạp vì quá trình sinh nhiệt diễn ra trong thời gian dài và phụ thuộc vào nhiều yếu tố. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm chỉ ra K, α phụ thuộc vào hàm lượng xi măng, loại xi măng sử dụng và nhiệt độ vữa bê tông khi đổ. Cùng một loại xi măng, khi hàm lượng xi măng và nhiệt độ vữa bê tông khi đổ tăng thì K, α đều tăng. Nhiệt độ trong khối bê tông giảm thì giảm hàm lượng xi măng và nhiệt độ ban đầu của vữa bê tông. Theo Japan Concrete Institute - JCI [7], nhiệt độ tại tâm khối bê tông trong điều kiện đoạn nhiệt được xác định bằng phương pháp thực nghiệm theo công thức sau:

$$Q(t) = Q_\infty \times \left[1 - e^{-r_{AT} \times (t - t_{0,Q})^{S_{AT}}} \right] \quad (4)$$

Trong đó:

t: Tuổi bê tông, (ngày)

$Q(t) \equiv T_{ad}$: Nhiệt độ đoạn nhiệt của bê tông ở tuổi t (ngày) (°C)

Q_∞ : Nhiệt độ tối đa của bê tông trong điều kiện đoạn nhiệt (°C)

r_{AT}, S_{AT} : Các thông số thể hiện tốc độ thay đổi nhiệt độ

$t_{0,Q}$: Tuổi bê tông bắt đầu nâng nhiệt (ngày)

$Q_\infty, r_{AT}, S_{AT}, t_{0,Q}$: được thiết lập là hàm số của nhiệt độ bê tông

khi đổ và hàm lượng xi măng tùy theo loại xi măng sử dụng.

2.2.2. Nhiệt độ bê tông khi đổ (nhiệt độ ban đầu)

Nhiệt độ ban đầu được xác định từ nhiệt độ trung bình của xi măng, nước, cốt liệu tại thời điểm đổ bê tông. Theo P. P. Bamforth, D. Chisholm, J. Gibbs, T. Harrison và Japan Society of Civil Engineers [6, 8] nhiệt độ bê tông sau khi được trộn với các vật liệu đã làm mát theo công thức sau:

$$T_m = \frac{C_s \times (T_g \times W_g + T_c \times W_c) + T_m \times W_m}{C_s \times (W_g + W_c) + W_m} \quad (5)$$

Trong đó:

T_m : Nhiệt độ bê tông sau khi được trộn với các vật liệu đã làm mát (°C)

C_s : Tỷ nhiệt của xi măng và cốt liệu có tính đến nước (lấy $C_s = 0,2$)

T_g, W_g : Khối lượng (kg/m³) và nhiệt độ (°C) của cốt liệu

T_c, W_c : Khối lượng (kg/m³) và nhiệt độ (°C) của xi măng

T_m, W_m : Khối lượng (kg/m³) và nhiệt độ (°C) của nước

Lưu ý nhiệt độ đo thực tế có thể cao hơn giá trị tính toán do ảnh hưởng nhiệt thủy hóa xi măng, nhiệt ma sát trộn bê tông, hiện tượng nóng cơ học của máy trộn,...

2.2.3. Nhiệt độ đầu vào

Nhiệt độ môi trường ảnh hưởng trực tiếp tới nhiệt độ tối đa và sự giảm nhiệt độ bê tông khi đổ. Nhiệt độ môi trường được tính toán bằng cách lấy nhiệt độ trung bình trong ba năm tại công trường hoặc sử dụng số liệu quan trắc khí tượng tại khu vực thi công [7, 8].

Nhiệt độ tại biên không thay đổi, nhiệt độ được lấy theo nhiệt độ trung bình cố định tại mặt tiếp xúc đó. Ví dụ: Tại biên đối lưu, nhiệt độ phụ thuộc vào loại ván khuôn, thời gian tháo ván khuôn, phương pháp và thời gian bảo dưỡng [2].

2.3. Quan hệ giữa trường ứng suất và nhiệt độ

Theo J.E Akin [3], quan hệ giữa trường ứng suất và nhiệt độ thể hiện qua công thức sau:

$$\{\sigma\} = [R] \times E \times \beta \times \{\Delta T\} \quad (6)$$

Trong đó:

$\{\sigma\}$: véc tơ ứng suất tại thời điểm khảo sát (kg/m^2)

$[R]$: Ma trận dạng cân biến của bê tông

E : Modul đàn hồi của bê tông (kg/m^2)

β : Hệ số giãn nở nhiệt của bê tông

$\{\Delta T\}$: Véc tơ gradient nhiệt độ

Qua công thức trên cho ta thấy $\{\Delta T\}$ càng lớn thì ứng suất nhiệt trong bê tông càng lớn, dễ xảy ra nứt nhiệt trong khối bê tông do ứng suất vượt quá giới hạn bền kéo của bê tông. Vì vậy để chống nứt phải kiểm soát chênh lệch nhiệt độ $\{\Delta T\}$ trong giới hạn cho phép.

3. PHÂN TÍCH NHIỆT ĐỘ VÀ ỨNG SUẤT TRONG BÊ TÔNG KHỐI LỚN BẰNG PHẦN MỀM MIDAS/CIVIL 2019

3.1. Các giả thiết

Trong quá trình phân tích nhiệt độ và ứng suất nhiệt trong bê tông khối lớn, một số giả thiết quan trọng đã được đặt ra để đơn giản hóa mô hình tính toán.

Bê tông được giả định là vật liệu đồng chất, đẳng hướng, truyền nhiệt và chịu lực đồng đều. Nhiệt chủ yếu tỏa ra môi trường theo dạng mặt phẳng, với hệ số dẫn nhiệt và tỷ nhiệt C không đổi theo tuổi bê tông. Nhiệt phát sinh phụ thuộc loại xi măng và biến đổi theo thời gian, trong khi đặc trưng tỏa nhiệt biên được coi là không đổi.

Khi xác định ứng suất nhiệt, bê tông được xem xét làm việc trong giới hạn đàn hồi, nghĩa là không có biến dạng dư hoặc nứt gãy ngoài phạm vi đàn hồi. Các đặc trưng đàn hồi và tính chất tỏa nhiệt của bê tông, bao gồm mô đun đàn hồi (E) và hệ số giãn nở nhiệt, được giả định không thay đổi theo thời gian.

Những giả thiết này giúp đơn giản hóa quá trình mô phỏng và tính toán, đồng thời tạo điều kiện để đánh giá và kiểm soát các yếu tố ảnh hưởng đến sự phát triển ứng suất nhiệt trong bê tông khối lớn.

Bảng 1. Cấp phối C35 (45Mpa) (R28)

Stt	Vật liệu	Nguồn gốc	Đơn vị	Lượng vật liệu	Thể tích	Tỷ lệ theo lượng xi măng
1	Cát sông	Concrete mixing plant	kg	494	0.360	1.28
2	Cát nghiền	Concrete mixing plant	kg	266	0.168	0.69
3	Đá	Concrete mixing plant	kg	1080	0.726	2.81
4	Xi măng	Ha Tien Type V	kg	385		1.00
5	Tro bay	Duyen Hai 1	kg	69		0.18
6	Nước	Concrete mixing plant	Lít	168		0.44
7	Phụ gia	Sika Plast 319	Lít	4.24		0.011
8	Tỷ lệ nước/xi măng + tro bay					0.37

4.2. Tính chất vật liệu và nhiệt

Tính chất vật liệu và nhiệt đóng vai trò quan trọng trong việc đánh giá và thiết kế các cấu kiện bê tông khối lớn. Các tính chất vật liệu và nhiệt thường được xem xét bao gồm:

1. Nhiệt dung riêng: Đây là khả năng lưu trữ nhiệt của vật liệu. Bê tông có nhiệt dung riêng cao hơn lớp đất dưới, cho thấy khả năng lưu giữ nhiệt tốt hơn.

2. Khối lượng riêng: Thông số này quyết định mật độ và trọng lượng của vật liệu. Bê tông với khối lượng riêng lớn hơn thể hiện tính chắc chắn, trong khi lớp đất dưới nhẹ hơn nhưng có thể đóng vai trò nền móng hỗ trợ.

3. Hệ số dẫn nhiệt: Bê tông dẫn nhiệt tốt hơn so với lớp đất dưới, một yếu tố cần xem xét trong điều kiện nhiệt độ môi trường thay đổi.

3.2. Mô phỏng trong phần mềm Midas/Civil 2019

Phần mềm Midas/Civil 2019 được sử dụng để mô phỏng quá trình phát triển nhiệt và ứng suất nhiệt trong bê tông khối lớn theo điều kiện thi công thực tế (tiến độ, nhiệt độ ban đầu, cấp phối, biến thiên nhiệt môi trường). Ưu điểm nổi bật là khả năng so sánh nhiệt độ, ứng suất và sự phát triển cường độ bê tông theo thời gian, qua đó đánh giá chính xác ảnh hưởng nhiệt độ và đề xuất biện pháp kiểm soát nhằm hạn chế nứt nhiệt khi thi công.



Hình 2. Quy trình thực hiện mô phỏng

Quy trình mô phỏng bắt đầu với việc xác định đặc tính vật liệu (modul đàn hồi, dẫn nhiệt, giãn nở, trọng lượng riêng, từ biến và co ngót). Tiếp đó, thiết lập điều kiện nhiệt gồm nhiệt độ môi trường, biên và quá trình đổ lưu. Sau khi xây dựng mô hình 3D và chia lưới, các thuộc tính vật liệu, thông số nhiệt và ứng suất nhiệt được gán cho phần tử. Kết quả phân tích cho thấy phân bố nhiệt độ, ứng suất, chênh lệch nhiệt và chỉ số nứt, cung cấp cơ sở đánh giá, cải thiện thiết kế và nâng cao độ bền kết cấu.

4. NGHIÊN CỨU TRƯỜNG HỢP DỰ ÁN NHÀ MÁY ĐIỆN GIÓ QUỐC VINH - SÓC TRĂNG

4.1. Mẫu thí nghiệm và mô hình phân tích

Dự án Nhà máy điện gió Quốc Vinh - Sóc Trăng góp phần phát triển năng lượng bền vững.

Hạng mục quan trọng là thiết kế và thi công đài móng chịu tải tuabin.

Mẫu thí nghiệm bê tông có kích thước 3000×3000×2800 mm.

Kích thước lớn giúp mô phỏng chính xác biến đổi nhiệt độ, ứng suất và biến dạng. Cấp phối bê tông bằng 1 gồm xi măng, nước, cốt liệu và phụ gia, quyết định tính chất cơ học và nhiệt học.

4. Hệ số trao đổi nhiệt tiếp xúc môi trường: là tham số quan trọng trong việc xác định tốc độ mà vật liệu trao đổi nhiệt với môi trường xung quanh.

5. Hệ số trao đổi nhiệt với ván khuôn gỗ phản ánh tốc độ truyền nhiệt từ bê tông ra ngoài. Do có hệ số thấp, ván khuôn gỗ giúp giảm thất thoát nhiệt, giữ nhiệt ổn định trong giai đoạn bê tông đông cứng và hạn chế nứt nhiệt.

6. Nhiệt độ môi trường: Nhiệt độ môi trường là yếu tố quan trọng, ảnh hưởng trực tiếp đến quá trình đông cứng và phát triển cường độ bê tông.

7. Nhiệt độ đổ bê tông: Đây là nhiệt độ khởi đầu của bê tông khi được đưa vào khuôn, đóng vai trò quan trọng trong quá trình đông cứng và phát triển cường độ.

8. Cường độ chịu nén ở 28 ngày tuổi: Đây là thông số quan trọng để đánh giá khả năng chịu lực của bê tông sau khi đã trải qua quá trình đông cứng và phát triển cường độ trong 28 ngày.

9. Hàm số phát triển cường độ nén: Hàm số này là một phần quan trọng trong mô hình dự đoán của tiêu chuẩn ACI (American Concrete Institute), được áp dụng rộng rãi để thiết kế và kiểm soát chất lượng bê tông.

10. Modul đàn hồi: là thông số quan trọng biểu thị khả năng chống biến dạng của vật liệu dưới tác động của tải trọng.

11. Hệ số giãn nở nhiệt: Đây là một thông số vật lý biểu thị mức độ thay đổi kích thước của vật liệu khi nhiệt độ thay đổi.

12. Hệ số poisson's: Hệ số poisson's mô tả mối quan hệ giữa biến dạng theo chiều ngang và chiều dọc khi vật liệu chịu lực nén hoặc kéo.

13. Hàm lượng xi măng: Hàm lượng xi măng là thông số quyết định thành phần, cường độ và chất lượng bê tông.

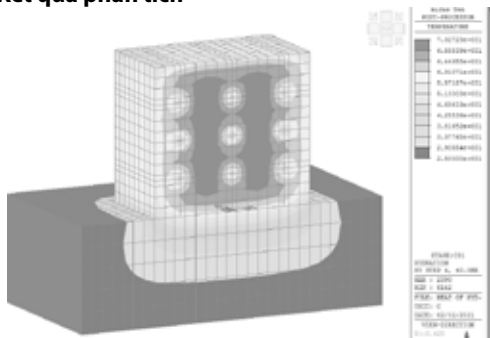
14. Hệ số hàm nguồn nhiệt: là một thông số quan trọng để tính toán lượng nhiệt sinh ra trong bê tông khi các phản ứng hóa học (đặc biệt là phản ứng hydrat hóa của xi măng) xảy ra.

Các tính chất vật liệu và nhiệt được sử dụng trong nghiên cứu này được trình bày chi tiết trong Bảng 2.

Bảng 2. Tính chất vật liệu và nhiệt

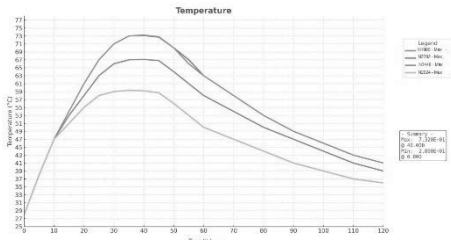
Đặc điểm	Bê tông	Lớp đất dưới	Diễn giải
Nhiệt dung riêng (kcal/kg ⁰ C)	0,25	0,2	1
Khối lượng riêng (kgf/m ³)	2400	1800	2
Hệ số dẫn nhiệt (kcal/m.h. ⁰ C)	2.3	1.7	3
Hệ số trao đổi nhiệt khi tiếp xúc với môi trường (kcal/m ² .h. ⁰ C)	4,5	12	4
Hệ số trao đổi nhiệt khi tiếp xúc với ván khuôn gỗ (kcal/m ² .h. ⁰ C)	4,5	-	5
Nhiệt độ môi trường (°C)	28	-	6
Nhiệt độ bê tông khi đổ (°C) (<i>Tính theo công thức 5</i>)	30	-	7
Cường độ chịu nén ở 28 ngày tuổi (kg/m ²)	350	-	8
Hệ số hàm phát triển cường độ nén (ACI)	a=4; b=0,85	-	9
Modul đàn hồi (kg/m ²)	2.9910x10 ⁵	1x10 ⁴	10
Hệ số giãn nở nhiệt	1x10 ⁻⁵	1x10 ⁻⁵	11
Hệ số poisson's	0,18	0,2	12
Hàm lượng xi măng (kg/m ³)	395	-	13
Hệ số hàm nguồn nhiệt (<i>Tính theo công thức 3</i>)	K=55,57 $\alpha =1,13$	-	14

4.3. Kết quả phân tích



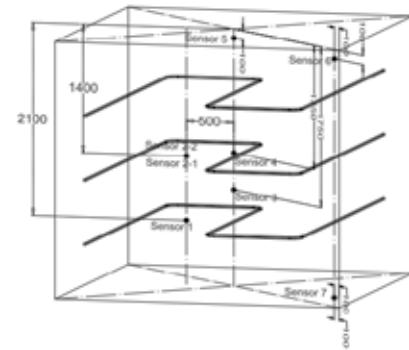
Hình 3. Phân bố nhiệt độ trong khối móng ở tuổi 40 giờ

Hình 3 cho thấy ở tuổi 40 giờ, nhiệt độ tại tâm móng đạt cực đại 73,3°C, sau đó giảm dần. Hình 4 thể hiện sự chênh lệch nhiệt độ giữa tâm khối và mặt hở giảm theo thời gian. Đến 120 giờ, nhiệt độ tại tâm gần bằng nhiệt độ ban đầu và gần như không khác biệt so với môi trường.



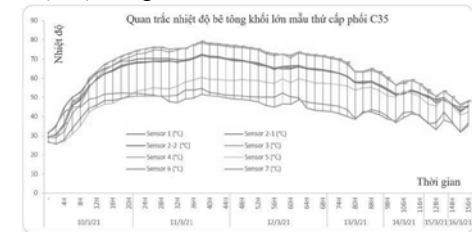
Hình 4. Thay đổi nhiệt độ tại tâm khối đổ và mặt hở ở các thời điểm khác nhau

Hình 4 còn chỉ ra, tại thời điểm 40 giờ sau khi đổ bê tông, nhiệt độ tại tâm khối bê tông đạt 73,3°C, trong khi nhiệt độ tại bề mặt thoát nhiệt tự do là 57,3°C, dẫn đến chênh lệch nhiệt độ khoảng 16°C.



Hình 5. Bản vẽ vị trí cảm biến trong Mockup

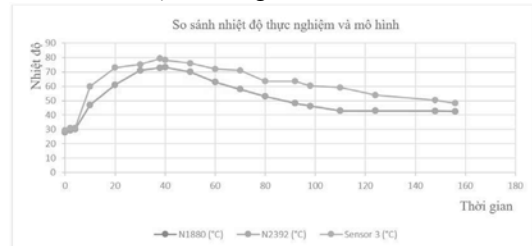
Hình 5 mô tả sơ đồ bố trí cảm biến nhiệt trong mô hình Mockup. Bảy cảm biến được lắp đặt tại các vị trí khác nhau theo phương đứng và ngang để đo nhiệt độ tại tâm, các vị trí trung gian và bề mặt khối bê tông. Cách bố trí này giúp đánh giá chính xác sự phân bố và chênh lệch nhiệt độ trong toàn khối đổ.



Hình 6. Biểu đồ quan trắc bê tông thực nghiệm

Sau khi tiến hành đo nhiệt độ thực tế tại từng vị trí, biểu đồ quan trắc được xây dựng để đánh giá sự biến đổi nhiệt độ trong quá trình thủy hóa bê tông (Hình 6). Kết quả cho thấy nhiệt độ ban đầu của bê tông trước khi đúc là khoảng 28,9°C. Nhiệt độ cực đại đo được trong quá trình thủy hóa đạt 79,2°C, thấp hơn giới hạn kỹ thuật 85°C, cho thấy sự gia tăng nhiệt độ của bê tông vào khoảng 50,3°C.

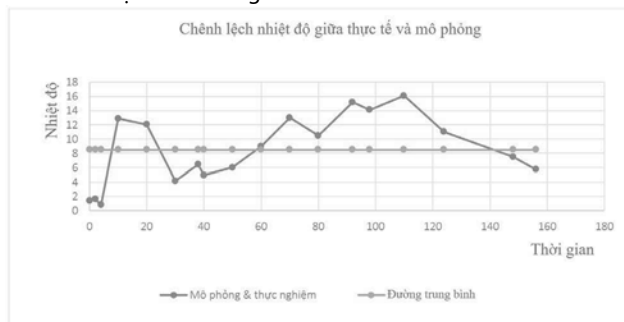
Dùng ống thép D27 đặt cách ngang 1000 mm, đứng 700 mm, bơm nước liên tục 7 ngày, giúp kiểm soát nhiệt hiệu quả. Sau 7 ngày dùng bơm, tháo ván khuôn; kiểm soát nhiệt giai đoạn đầu giúp hạn chế nứt và đảm bảo độ bền công trình.



Hình 7. Biểu đồ nhiệt độ thực nghiệm và mô hình

Kết quả phân tích (Hình 7) cho thấy mô hình và thực nghiệm có xu hướng nhiệt độ tương đồng, mô hình dự đoán khá chính xác quá

trình thủy hóa và chênh lệch tâm bề mặt. Tuy nhiên, vẫn có sai lệch do điều kiện môi trường, thông số đầu vào và biện pháp thi công. Điều này khẳng định cần hiệu chỉnh mô hình bằng dữ liệu thực nghiệm để nâng cao độ chính xác dự báo, hỗ trợ kiểm soát nứt nhiệt và đảm bảo độ bền bề tông khối lớn.



Hình 8. Biểu đồ sai số giữa thực nghiệm và mô hình

Hình 8 thể hiện sai số nhiệt độ giữa mô hình mô phỏng và thực nghiệm theo thời gian. Sai số dao động từ 2°C đến 16°C, với giá trị trung bình khoảng 8,4°C. Kết quả cho thấy mô hình mô phỏng có độ chính xác phù hợp cho bài toán phân tích nhiệt độ bề tông khối lớn.

Đánh giá định lượng sai số nhiệt độ: Sai số dao động $\pm 2-16^{\circ}\text{C}$ ($\sim 3,4-26,8\%$), sai số trung bình 14,1%, với nhiệt độ thực nghiệm trung bình $59,67^{\circ}\text{C}$ (Sensor 3, Hình 7). Sai lệch trong khoảng 10-25% thường được coi là chấp nhận được trong các mô phỏng kỹ thuật có tính phức tạp cao hoặc mục tiêu chính là mô phỏng xu hướng thay vì giá trị tuyệt đối [9].

Sai số mô phỏng vượt nhẹ 25% nhưng vẫn chấp nhận được do tính phi tuyến của bài toán và điều kiện thực tế khó kiểm soát. Mục tiêu chính là dự báo xu hướng và kiểm soát nứt nhiệt, không yêu cầu chính xác tuyệt đối. Với khí hậu Việt Nam ít biến thiên khắc nghiệt, kết quả nghiên cứu vẫn đảm bảo an toàn và phù hợp cho thiết kế móng trụ điện gió. Ngoài ra, các tiêu chuẩn hiện hành (TCVN 2737, TCVN 10304, TCVN 10687-1/IEC 61400-1) chưa quy định rõ về sai số mô phỏng, nên kỹ sư có thể linh hoạt đánh giá nếu có cơ sở luận chứng, đồng thời vẫn có thể hiệu chỉnh mô hình để tăng độ chính xác khi cần.

4.4. Thảo luận về kết quả

Kết quả so sánh cho thấy nhiệt độ thực nghiệm cao hơn mô phỏng khoảng 6°C , chủ yếu do khác biệt về môi trường, thủy hóa hoặc khả năng giữ nhiệt của bề tông. Tuy có chênh lệch giá trị cực đại, nhưng thời gian đạt đỉnh khá tương đồng, chứng tỏ mô hình phản ánh đúng xu hướng. Sai lệch này cần được xem xét qua các thông số đầu vào (nhiệt thủy hóa, truyền nhiệt, điều kiện biên) để hạn chế nguy cơ nứt nhiệt trong khối bề tông lớn.

Nghiên cứu đã xây dựng mô hình mô phỏng sự phát triển nhiệt độ và ứng suất nhiệt trong bề tông khối lớn bằng Midas/Civil 2019, tích hợp yếu tố môi trường, vật liệu và biện pháp thi công. Phương pháp phần tử hữu hạn cho kết quả phù hợp với thực nghiệm, khẳng định độ chính xác của mô hình và tầm quan trọng của kiểm soát nhiệt độ. Mô hình này là công cụ hữu hiệu hỗ trợ thiết kế, thi công móng trụ điện gió trong điều kiện khí hậu nhiệt đới, nơi nguy cơ nứt nhiệt luôn hiện hữu.

Kết quả nghiên cứu có thể áp dụng cho công trình thực tế, hỗ trợ dự báo và điều chỉnh biện pháp thi công nhằm giảm nguy cơ nứt, tiết kiệm chi phí. Mô hình Midas/Civil 2019 giúp xác định chính xác vị trí, thời điểm nứt, từ đó đề xuất giải pháp như cách nhiệt, làm mát bằng ống nước lạnh, điều chỉnh cấp phối và bổ sung cốt thép. Nhờ vậy, công trình được tối ưu về vật liệu, nhân công, thiết bị và rút ngắn thời gian thi công, nâng cao hiệu quả kinh tế.

Các thông số nhiệt như dẫn nhiệt, truyền nhiệt và giãn nở được tích hợp vào Midas/Civil 2019, nhưng do hạn chế dữ liệu thực nghiệm tại Việt Nam nên vẫn có sai lệch giữa mô phỏng và thực tế. Điều này cho thấy cần nghiên cứu bổ sung để hiệu chỉnh, nâng cao độ chính xác mô hình. Nghiên cứu khẳng định tầm quan trọng của kiểm soát nhiệt độ và ứng suất nhiệt nhằm đảm bảo chất lượng, độ bền bề tông khối lớn trong điều kiện thi công thực tế.

Những ý kiến trên nhấn mạnh vai trò quan trọng của việc kiểm soát nhiệt độ và ứng suất nhiệt trong thi công bề tông khối lớn, từ đó nâng cao chất lượng và độ bền của các công trình xây dựng tại Việt Nam.

5. KẾT LUẬN

Nứt trong bề tông khối lớn là một yếu tố quan trọng ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng và tuổi thọ của công trình. Do đó, việc áp dụng mô hình dự đoán vết nứt là cần thiết nhằm hỗ trợ dự báo và điều chỉnh kịp thời các phương án thi công trước khi triển khai chính thức. Từ phân tích mô hình, có thể mở rộng ứng dụng cho các kết cấu thực tế, giúp tối ưu hóa quá trình thi công và giảm thiểu nguy cơ nứt do ứng suất nhiệt.

Nghiên cứu đã mô phỏng nhiệt độ và ứng suất nhiệt trong bề tông khối lớn bằng phần mềm Midas/Civil 2019. Mô hình tích hợp yếu tố môi trường (nhiệt độ, độ ẩm), vật liệu (xi măng, phụ gia) và biện pháp thi công thực tế tại Việt Nam. Kết quả có thể áp dụng cho nhiều loại cấu kiện bề tông khối lớn với kích thước, điều kiện khác nhau. Nghiên cứu góp phần tối ưu chất lượng công trình và tăng tính bền vững trước biến đổi khí hậu, thi công phức tạp.

Các thông số nhiệt như dẫn nhiệt, truyền nhiệt, trao đổi nhiệt và giãn nở được lấy từ tài liệu và tích hợp vào Midas/Civil 2019. Do hạn chế dữ liệu thực nghiệm, vẫn có sai lệch giữa kết quả mô phỏng và đo đạc thực tế. Nghiên cứu tiếp theo cần xác định chính xác hơn các hệ số nhiệt để cải thiện độ tin cậy mô hình. Ứng dụng vi sợi thứ cấp có thể là giải pháp tiềm năng tăng khả năng chịu kéo và độ bền của bề tông khối lớn.

Đề xuất quy trình mô phỏng nhiệt: thu thập dữ liệu đầu vào, mô phỏng sơ bộ bằng Midas/Civil 2019, thiết kế biện pháp thi công, hiệu chỉnh mô hình bằng dữ liệu thực nghiệm, và ứng dụng để giám sát, tối ưu thi công. Ngoài ra, đề xuất tăng cường thí nghiệm thực tế, cải thiện cơ sở dữ liệu vật liệu trong nước, và nghiên cứu giải pháp làm mát, phụ gia giảm nhiệt để nâng cao hiệu quả kiểm soát nứt nhiệt.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bộ Xây dựng, Nứt bề tông khối lớn: Căn định lượng nguy cơ và có giải pháp phù hợp. Khoa học - Công nghệ, 2021.
- [2]. B. Gebhart (1993), Heat Condition and Mass Diffusion. McGraw-Hill.
- [3]. J.E Akin (1994), Finite Element for Analysis and Design. Academic Press.
- [4]. Bazenov, Bạch Đình Thiên, Trần Ngọc Tính, Công nghệ bề tông. NXB Xây dựng, Hà Nội, 2004.
- [5]. Nguyễn Tiến Đích, Công tác bề tông trong điều kiện khí hậu nóng ẩm Việt Nam. NXB Xây dựng, Hà Nội, 2010.
- [6]. P. P. Bamforth, D.C., J.Gibbs, T.Harrison, Bamforth, D.Chisholm, J.Gibbs, Properties of Concrete for use in Eurocode 2. The Concrete centre.
- [7]. JCI, VCA, Hướng dẫn kiểm soát nứt trong bề tông khối lớn - phiên bản 2008. VCA, Hà Nội, 2011.
- [8]. nJSCE (2007), Standard specifications for concrete structures, Materials and Construction
- [9]. Versteeg, H.K., Malalasekera,, An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method (2nd ed.). Pearson Education. 2007.

Xây dựng mô hình tối ưu hóa trong thiết kế và phân tích cọc barrette có phụt vữa

An optimized approach for performance enhancement of grouted barrette piles

> TS VÕ NGUYỄN PHÚ HUÂN

Bộ môn Kỹ thuật công trình xây dựng, Trường Đại học Mở Thành phố Hồ Chí Minh
Email: huan.vnp@ou.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo phân tích và phát triển mô hình tối ưu hóa nhằm tính toán sức chịu tải của cọc barrette có phụt vữa. Trong các công trình cao tầng hiện nay, phương án sử dụng cọc barrette thường được lựa chọn do khả năng phát huy sức chịu tải lớn, trong khi công nghệ phụt vữa giúp cải thiện sự tiếp xúc giữa cọc và đất nền xung quanh. Tuy nhiên, việc thiết kế chi tiết móng cọc barrette có phụt vữa hiện nay vẫn chủ yếu dựa trên các công thức giải tích và phương pháp kinh nghiệm, chưa tận dụng được đầy đủ ưu điểm của các công cụ tối ưu hóa tiên tiến hiện có. Trong nghiên cứu này, mô hình tối ưu hóa được xây dựng dựa trên sự kết hợp giữa giải thuật tiến hóa và phương pháp phần tử hữu hạn, nhằm xác định các thông số thiết kế tối ưu cho cọc barrette có phụt vữa. Kết quả cho thấy mô hình đề xuất giúp cải thiện đáng kể sức chịu tải của cọc. Mô hình này có tiềm năng ứng dụng thực tiễn trong công tác tính toán và thi công móng cho các công trình sử dụng cọc barrette phụt vữa.

Từ khóa: Mô hình giải thuật tiến hóa, phụt vữa cọc, sức chịu tải cọc barrette, phương pháp phần tử hữu hạn.

ABSTRACT

This study analyzes and develops an optimization model for calculating the bearing capacity of barrette piles with grout injection. In current high-rise building projects, barrette piles are often selected due to their high load-bearing capacity, while grout injection technology enhances the interface between the pile and the surrounding soil. However, detailed design of grouted barrette piles has mostly relied on analytical formulas and empirical approaches, without fully leveraging the advantages of modern optimization tools. In this paper, an optimization model is developed based on the integration of evolutionary algorithms and the finite element method to identify the optimal parameters of barrette piles. The results show that the optimization model not only improves the bearing capacity of the piles but also shortens construction time and reduces material costs for the project. This model demonstrates strong potential for practical application in the design and construction of projects employing grouted barrette piles.

Keyword: Evolutionary algorithm model, pile grouting, bearing capacity of barrette piles, finite element method.

1. GIỚI THIỆU

Trong các phương án móng cọc hiện nay, móng cọc barrette được ứng dụng rộng rãi nhờ các ưu điểm như hình dạng mặt cắt linh hoạt, sức chịu tải lớn và độ cứng tương đối cao. So với các loại cọc khác, cọc barrette có thể thi công ở chiều sâu lớn, phù hợp với các công trình nhà cao tầng, cầu có tải trọng lớn hoặc trong điều kiện thi công chật hẹp. Ngoài ra, phương pháp thi công cọc barrette cho phép kiểm soát chất lượng bê tông tốt hơn. Nhờ những đặc điểm này, cọc barrette còn có thể được kết hợp với các hệ kết cấu khác, chẳng hạn như tường vây, trong thi công hố đào sâu.

Tuy nhiên, một số vấn đề phương án cọc barrette gặp phải khi áp dụng đó là sức chịu tải cọc sẽ suy giảm khá nhiều trong điều kiện làm việc với nền đất có tính nén lún lớn, ma sát thành bên của cọc và đất yếu khá thấp. Giải pháp được đưa ra là phụt vữa xi măng quanh thân cọc trong quá trình thi công để tăng diện tích tiếp xúc với đất nền xung quanh, đồng thời giúp các lỗ rỗng trong đất xung quanh được lấp đầy làm cho mật độ của đất tăng lên. Điều này đã nâng cao đáng

kể sức chịu tải cọc cũng như tăng việc ổn định tổng thể của móng cọc barrette. Mặc dù đã có nhiều nghiên cứu khẳng định hiệu quả của kỹ thuật phụt vữa, phần lớn các phương pháp thiết kế chi tiết hiện nay vẫn chủ yếu dựa trên công thức giải tích kinh nghiệm hoặc sử dụng các hệ số hiệu chỉnh đơn giản. Điều này chưa phản ánh đầy đủ cơ chế làm việc thực tế của cọc barrette có áp dụng phụt vữa trong điều kiện nền đất phức tạp. Trong hoàn cảnh phát triển về mặt kỹ thuật tối ưu hiện nay, các thuật toán tối ưu hóa được áp dụng khá nhiều trong các bài toán kỹ thuật để nâng cao hiệu quả tính toán. Đặc biệt, sự kết hợp giữa thuật toán tối ưu hóa với mô hình phần tử hữu hạn đã gợi ý một hướng tiếp cận thực sự có hiệu quả trong việc tính toán. Tuy nhiên, hiện nay việc áp dụng các công cụ này trong nghiên cứu liên quan đến cọc barrette có phụt vữa vẫn còn rất hạn chế và chưa được quan tâm đúng mức.

Mục tiêu chính của bài là xây dựng một mô hình tối ưu hóa có kết hợp với phương pháp phần tử hữu hạn được xác định từ các thông số thiết kế cơ bản như: chiều sâu cọc, phạm vi phụt vữa, đất

nào nên phụt vữa, tiết diện cọc, phạm vi lan truyền vữa,... đồng thời xem xét các mối quan hệ giữa đặc trưng nền đất và tải trọng bên trên. Mô hình đề xuất cho phép lựa chọn phương án tối ưu, vừa đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật, vừa góp phần giảm chi phí vật liệu và nâng cao hiệu quả sử dụng trong thực tế.

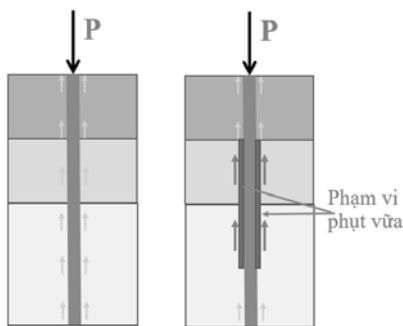
2. TỔNG QUAN

2.1. Nguyên lý làm việc của cọc barrette

Cọc barrette thực tế là một biến thể của cọc khoan nhồi nhưng có hình dạng mặt cắt tiết diện ngang hình chữ nhật, chữ thập hoặc chữ T. Hồ cọc được thi công bằng cách sử dụng gầu ngoạm hoặc một số máy đào chuyên dụng, dung dịch bentonite được sử dụng nhằm mục đích ổn định thành, vách cọc. Với ưu thế tiết diện mặt cắt lớn và chiều dài cọc sâu dẫn đến khả năng chịu tải dọc trục cao, độ cứng đáng kể. Khi hoạt động, tải trọng bên trên được truyền qua đất nền bởi 2 yếu tố (Hình 1) đó là:

- **Sức kháng ma sát thân cọc** (tương tác giữa bề mặt chu vi cọc và đất nền xung quanh).

- **Sức kháng mũi cọc** (tính nén lún của lớp đất tại mũi tương ứng với tiết diện mũi cọc).



Hình 1. Cơ chế sức chịu tải cọc không phụt vữa (trái) và có phụt vữa (phải)

2.2. Ảnh hưởng của công nghệ phụt vữa

Công nghệ phụt vữa bao quanh thân cọc barrette (hình 1) có các đặc điểm sau:

- Đất nền được cải thiện cường độ thông qua sự gia tăng mật độ khi có phụt vữa. Vữa được sử dụng ở đây thông thường là vữa xi măng kết hợp với silica hoặc đơn thuần là vữa xi măng được nén vào nền đất dưới áp lực lớn.

- Sức kháng ma sát được tăng đáng kể do sự tăng cường bề mặt tiếp xúc giữa đất và cọc barrette.

- Độ lún của nền xung quanh công trình có thể giảm nhờ đất được gia cố cục bộ, ứng suất tập trung giảm.

- Sức kháng ma sát tăng lên do phạm vi ảnh hưởng của cọc được mở rộng.

3.2. Các tham số ảnh hưởng chính trong thiết kế cọc barrette có phụt vữa

Các đặc trưng có khả năng tác động đến việc tính toán sức chịu tải của cọc barrette được liệt kê dưới đây:

- Tiết diện mặt cắt ngang cọc; chiều dài cọc.
- Các chỉ tiêu cơ lý của nền đất: lực dính c , góc ma sát trong φ , mô đun biến dạng E .

- Thông số của quá trình phụt vữa: chiều dài và bề rộng đoạn phụt vữa; độ sệt của vữa, áp lực bơm vữa, loại vữa.

- Điều kiện khác: hướng tác dụng tải trọng; phụ tải trong quá trình thi công.

Các đặc trưng có mối quan hệ phức tạp, thông thường là quan hệ phi tuyến điều này làm cho các công thức truyền thống khó có thể giải quyết được.

3. DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

3.1. Giới thiệu công trình

Nghiên cứu sử dụng số liệu tại công trình cụ thể là công trình tòa nhà Eximbank tại TP.HCM. Trong giai đoạn thử cọc có áp dụng cho cọc thử TP1 với chiều dài cọc là 65.3m với các đoạn phụt vữa khác nhau.



Hình 2. Vị trí công trình tòa nhà Eximbank, TP.HCM

3.2. Phương pháp nghiên cứu

Nội dung nghiên cứu của bài báo được thực hiện theo trình tự 4 bước sau:

- Tổng hợp và phân loại các giá trị đầu vào; xác định hàm mục tiêu cho nội dung nghiên cứu.

- Sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn để mô hình cọc barrette có phụt vữa trong nền đất, đảm bảo giống như thực tế thi công.

- Kết hợp thuật toán tối ưu là thuật toán di truyền (Genetic Algorithm - GA) để tập hợp các thông số thiết kế tối ưu.

- So sánh kết quả từ thực nghiệm với kết quả từ mô hình để xuất, phân tích độ nhạy.

a. Xác định biến thiết kế và tham số đầu vào

- Hình dạng hình học của cọc: tiết diện ($B \times L$), chiều sâu (D).
- Thông số của việc phụt vữa cọc: áp lực bơm (P), chiều dài phụt vữa (L_g), bề rộng phụt vữa (B_g).
- Thông số cơ lý nền đất: lực dính (c), góc ma sát trong (φ), mô đun biến dạng (E).

b. Xây dựng mô hình phần tử hữu hạn

- Mô hình nền đất: sử dụng mô hình Hardening Soil trong phần mềm Plaxis 2D để mô phỏng biến dạng và phi tuyến của nền đất.

- Mô hình cọc barrette: sử dụng mô hình Linear Elastic và phần tử plate.

- Mô hình vùng phụt vữa: sử dụng mô hình Linear Elastic, như một lớp bao quanh cọc có mô đun biến dạng lớn.

- Điều kiện biên: đặt biên cố định ở đáy, tải trọng phân bố dọc trục.

c. Thuật toán di truyền (GA) áp dụng trong nghiên cứu

- Mã hóa biến thiết kế: Các thông số (tiết diện cọc, chiều sâu, áp lực phụt, bề rộng phụt, chiều dài vùng phụt, v.v.) được biểu diễn dưới dạng vector. Mỗi vector biểu diễn một "cá thể" trong quần thể, miến tìm kiếm và chuẩn hóa.

- Khởi tạo quần thể ban đầu: trong phạm vi của biến thiết kế, các nghiệm ban đầu sẽ được gom lại, tạo thành một tập hợp để phân tích.

- Đánh giá hàm thích nghi: Mỗi cá thể được đưa vào mô hình phần tử hữu hạn (FEM) để tính sức chịu tải. Và giá trị hàm thích nghi được tính theo mục tiêu tối ưu hóa.

- Chọn lọc: Các cá thể có giá trị thích nghi tốt hơn được chọn để tham gia vào quá trình lai ghép.

- Lai ghép: Hai cá thể được kết hợp để tạo ra thế hệ con, nhằm kế thừa đặc điểm tốt từ thế hệ trước. Xác suất lai ghép được chọn là 0.8.

- Cập nhật quần thể: Thế hệ mới thay thế một phần hoặc toàn bộ quần thể cũ. Quá trình chọn lọc - lai ghép được lặp lại qua nhiều thế hệ.

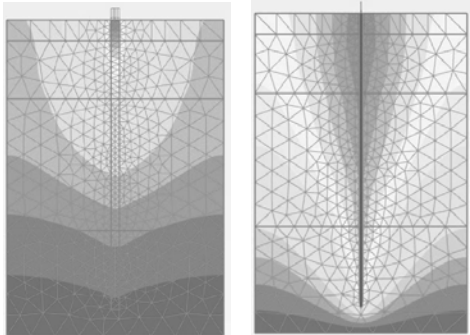
- Tiêu chí dừng: thuật toán dừng khi đạt số vòng lặp tối đa hoặc khi sự cải thiện giá trị hàm mục tiêu giữa các thế hệ liên tiếp nhỏ hơn một ngưỡng định trước.

- Kết quả: cá thể có giá trị thích nghi tốt nhất trong thế hệ cuối được xem là nghiệm thiết kế tối ưu.

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

a. Kết quả

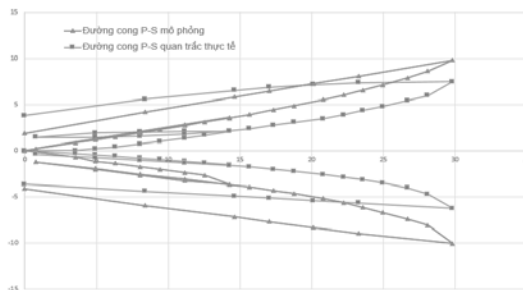
Hình 3 là kết quả mô phỏng của cọc barrette khi làm việc trong 2 trường hợp giả thiết: mô hình cọc là lớp đất đẳng hướng đồng nhất (sử dụng mô hình Linear elastic) và mô hình phần tử Plate cho cọc.



Hình 3. Kết quả mô phỏng phần tử hữu hạn: bên trái cọc sử dụng Linear elastic; bên phải cọc chọn phần tử Plate

Dựa vào kết quả hình trên, tác giả sẽ chọn phần tử Plate để mô phỏng cọc barrette khi làm việc bởi vì trong trường hợp này mô tả ứng xử của cọc sát với thực tế hơn

Hình 4 là kết quả quá trình tối ưu hóa dựa trên tập dữ liệu mô phỏng bao gồm: kích thước cọc barrette, chiều sâu cọc, thông số cơ lý của nền đất: E, c, ϕ và thông số phụt vữa, chiều dài đoạn phụt vữa. Thuật toán di truyền được áp dụng với kích thước quần thể 80 cá thể, tỷ lệ lai ghép 0.8 và số thế hệ tối đa 150. Kết quả cho thấy hàm mục tiêu (tối đa hóa giữa chuyển vị và tải trọng) hội tụ nhanh chóng sau khoảng 110 thế hệ, với giá trị tối ưu ổn định.



Hình 4. Kết quả đường cong quan hệ giữa tải trọng và chuyển vị trong 2 trường hợp: quan trắc hiện trường và mô phỏng phần tử hữu hạn

Bảng 1. Bảng so sánh kết quả tính toán cọc barrette

Trường hợp	Sức chịu tải cọc (MN)	Chuyển vị đầu cọc (mm)
Không phụt vữa	41.8	8.0
Có phụt vữa	52.6	10.0
Có phụt vữa + tối ưu GA	62.1	11.2

Kết quả so sánh từ Bảng 1 cho thấy:

✓ Khi so sánh với thiết kế cọc không phụt vữa: sức chịu tải cọc cực hạn tăng lên khoảng 25%. Điều này khẳng định ưu điểm của việc phụt vữa khi sử dụng phương án cọc barrette.

✓ Khi áp dụng mô hình tối ưu hóa bằng GA, sức chịu tải tiếp tục tăng thêm ~18% so với trường hợp phụt vữa chưa tối ưu. Đi kèm theo đó chuyển vị đầu cọc tăng không đáng kể.

b. Phân tích độ nhạy của các tham số trong mô hình tối ưu

• Chiều sâu cọc có mức độ ảnh hưởng lớn nhất, chiếm trọng số khoảng 35% trong mô hình.

• Bề dày của lớp vữa ảnh hưởng khá lớn trong việc nâng cao ma sát thành bên, chiếm trọng số 20%.

• Phạm vi phụt vữa cũng ảnh hưởng khá lớn: chiều dài phụt vữa càng lớn và vị trí phụt vữa càng sâu thì khả năng chịu tải cọc càng tăng.

• Thông số nền đất cũng ảnh hưởng tương đối với khả năng chịu tải của cọc. Đất có góc ma sát và lực dính càng lớn thì khả năng chịu tải của cọc càng được nâng cao.

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã phát triển thuật toán di truyền (GA) kết hợp vào phương pháp phần tử hữu hạn để tối ưu hóa việc phân tích, đánh giá khả năng chịu tải của cọc barrette có phụt vữa. Các kết quả chính có thể tóm tắt như sau:

• Hiệu quả của phụt vữa: khi áp dụng phụt vữa, đặc biệt là phụt vữa càng sâu, bề rộng phụt vữa càng lớn thì hiệu quả gia tăng khả năng chịu tải cọc barrette càng rõ rệt. Khả năng chịu tải cọc tăng khoảng 25% so với trường hợp không áp dụng phụt vữa.

• Tối ưu hóa bằng GA: Thuật toán di truyền đã thể hiện ưu điểm trong việc tìm kiếm thông số tối ưu, đi kèm theo đó là tốc độ hội tụ tương đối nhanh. Giá trị hàm mục tiêu đạt trạng thái ổn định sau chỉ khoảng 110 thế hệ.

• Cải thiện hiệu quả thiết kế: khi áp dụng mô hình tối ưu hóa + phụt vữa thì khả năng chịu tải cọc lại tăng lên khoảng 18%. Điều này khẳng định vai trò quan trọng của tối ưu hóa trong việc khai thác triệt để hiệu quả kỹ thuật của phụt vữa.

• Ý nghĩa thực tiễn: Dựa theo kết quả nghiên cứu, các thông số lựa chọn về cấu hình cọc barrette, chi tiết phụt vữa là một yếu tố quan trọng trong công tác thiết kế, góp phần đảm bảo mức độ an toàn công trình mà có thể tiết kiệm chi phí xây dựng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Chu, J., Bo, M. W., & Choa, V. (2004). Improvement of soft soils using vacuum and surcharge preloading. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Ground Improvement, 8(1), 49-58. <https://doi.org/10.1680/grim.2004.8.1.49>
- [2]. Goldberg, D. E. (1989). Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. Addison-Wesley, Reading, MA.
- [3]. Han, J., & Ye, S. L. (2006). Simplified method for consolidation rate of composite foundation with both vertical and horizontal drainage. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 132(5), 597-605. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2006\)132:5\(597\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2006)132:5(597))
- [4]. Kitiyodom, P., & Matsumoto, T. (2002). A simplified analysis method for piled raft foundations in non-homogeneous soils. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 26(13), 1349-1369. <https://doi.org/10.1002/nag.248>
- [5]. Poulos, H. G. (2001). Piled raft foundations: Design and applications. Géotechnique, 51(2), 95-113. <https://doi.org/10.1680/geot.2001.51.2.95>
- [6]. Yang, X. S. (2010). Engineering Optimization: An Introduction with Metaheuristic Applications. Wiley, Hoboken, NJ.
- [7]. Huan, V.N.P & Nghia, P.D.T, (2025) Phát triển mô hình dự báo sức chịu tải cọc dựa trên dữ liệu thí nghiệm O-cell bằng phương pháp học máy ANN. Tạp chí Xây Dựng 03.
- [8]. Bengt H. Fellenius, (2015) Analysis of results of an Instrumented Bidirectional-cell test. Analysis of results of an Instrumented Bidirectional-cell test.
- [9]. H. M. Nguyen, B. H. Fellenius, A. J. Puppala, P. Aravind, Q. T. Tran, (2016) 360 Bidirectional Tests on Two Shaft Grouted Barrette Piles (Vietnam). Geotechnical Engineering Journal.
- [10]. L.M.Zhang and L.F Chu, (2009) Calibration of method for designing large-diameter bored piles: ultimate limit state.

Phương pháp ước lượng tuổi thọ mỏi của sàn cầu thép bằng mô hình số

Method of estimating fatigue life of steel bridge deck using numerical models

> MÃ CHÍ HIỂU^{1,2*}

¹Khoa Kỹ thuật xây dựng, Trường Đại học Bách khoa TP.HCM

²Đại học Quốc gia TP.HCM

*Corresponding author's, Email: chihieuma@hcmut.edu.vn

TÓM TẮT

Sàn cầu thép trục hướng thường xuất hiện các vết nứt mỏi do chịu ứng suất cục bộ lớn từ tải trọng xe cộ. Việc đánh giá chính xác tuổi thọ kết cấu sàn cầu thép dưới tác động của tải trọng mỏi, đặc biệt tại các vị trí mối hàn, là yêu cầu cần thiết hiện nay. Bên cạnh đó, phương pháp gia cường bằng lớp phủ UHPFRC ngày càng được quan tâm nhờ hiệu quả trong việc kéo dài tuổi thọ của kết cấu sàn cầu thép. Trong nghiên cứu này, phương pháp ứng suất điểm nóng kết hợp với phân tích phần tử hữu hạn phi tuyến được đề xuất nhằm đánh giá ứng xử và dự đoán tuổi thọ mỏi của sàn cầu thép, trước và sau khi gia cường bằng UHPFRC. Kết quả cho thấy lớp phủ UHPFRC giúp nâng tuổi thọ mỏi của tấm sàn thép từ 12,34 năm lên hơn 100 năm, và tại vị trí mối hàn nguy hiểm nhất, từ 8,54 năm lên 34,8 năm. Ngoài ra, nghiên cứu cũng khẳng định rằng phương pháp ứng suất điểm nóng kết hợp với mô hình phần tử hữu hạn là công cụ hiệu quả trong việc đánh giá tuổi thọ sàn cầu thép trong điều kiện thực tế.

Từ khóa: UHPFRC, sàn cầu thép trục hướng, tải trọng bánh xe, phương pháp phần tử hữu hạn, phương pháp ứng suất điểm nóng (hot spot).

ABSTRACT

Orthotropic steel bridge decks usually appear fatigue cracks due to high local stresses from vehicle loads. Accurate assessment of the service life of steel bridge deck structures under fatigue loads, especially at weld locations, is an essential issue nowadays. On the other hand, the strengthening method using UHPFRC coating has also received attention recently, due to its effectiveness in extending the service life of steel bridge deck structures. In this study, the hot spot stress method combined with nonlinear finite element analysis were proposed to evaluate the behavior and predict the fatigue life of steel bridge decks before and after strengthening with UHPFRC. The results showed that UHPFRC could increase the fatigue life of steel decks from 12.34 years to over 100 years, and of the most dangerous weld from 8.54 years to 34.8 years. The current research show that the hot spot stress method combined with finite element modeling is an effective tool to evaluate the service life of steel bridge decks in practice.

Keywords: UHPFRC, Orthotropic steel bridge decks, wheel load, finite element method, hot spot stress method.

1. GIỚI THIỆU

Sàn cầu thép trục hướng là kết cấu phổ biến trong nhiều công trình cầu nhịp lớn nhờ các ưu điểm nổi bật như khối lượng nhẹ, khả năng chịu lực cao và thuận lợi trong lắp dựng. Tuy đáp ứng tốt các yêu cầu về khả năng chịu tĩnh tải ở giai đoạn thiết kế ban đầu, kết cấu sàn thép thường bị suy giảm tuổi thọ sớm do ảnh hưởng của tải trọng động từ phương tiện giao thông. Các khảo sát thực tế cho thấy các vết nứt mỏi xuất hiện nhiều tại các mối hàn trên mặt cầu thép, làm giảm đáng kể hiệu suất khai thác của công trình cầu [1]. Vì vậy, việc đánh giá chính xác tuổi thọ của kết cấu sàn cầu thép dưới tác dụng của tải trọng xe cộ, đặc biệt tại các vị trí mối hàn trên sàn cầu, là công việc cấp thiết hiện nay. Dựa trên tiêu chuẩn thiết kế mỏi khuyến nghị bởi International Institute of Welding (IIW) [2], hiện tại có bốn phương pháp dự đoán tuổi thọ mỏi được sử dụng rộng rãi, đó là phương pháp ứng suất danh nghĩa (nominal stress), phương

pháp ứng suất điểm nóng (hot spot stress), phương pháp ứng suất notch (notched stress) và phương pháp cơ học nứt gãy (fracture mechanics). Phương pháp ứng suất danh nghĩa dựa trên dải ứng suất danh nghĩa và đường cong S-N chuẩn hóa từ các thí nghiệm mỏi hàn điển hình. Đây là phương pháp đơn giản và phổ biến nhưng khá hạn chế khi áp dụng cho các kết cấu phức tạp. Phương pháp ứng suất điểm nóng tập trung vào việc xác định ứng suất cực đại tại các vị trí nguy hiểm như chân mối hàn. Phương pháp này phản ánh khá tốt ảnh hưởng của hình dạng kết cấu và điều kiện tải, đồng thời có thể sử dụng kết hợp với các phân tích phần tử hữu hạn. Phương pháp ứng suất tại notch xét toàn bộ nguồn tập trung ứng suất, kể cả do hình học và mối hàn, cho phép dự đoán chính xác hơn các phương pháp khác trong một số trường hợp đặc biệt, nhưng không phù hợp cho các mối hàn giáp mối.

Ngoài việc đánh giá được tuổi thọ của sàn cầu thép hiện hữu, thì

việc áp dụng các giải pháp gia cường hiệu quả để kéo dài tuổi thọ môi cho kết cấu này cũng là vấn đề đáng quan tâm. Nhiều nghiên cứu đã chứng minh rằng lớp phủ bê tông cốt sợi cường độ cao (UHPFRC) có tác dụng rõ rệt trong việc giảm ứng suất mỏi tại các cấu kiện của sàn cầu thép [3-4], nhờ các đặc tính cơ học vượt trội như cường độ chịu kéo-nén cao và độ cứng lớn hơn rất nhiều so với bê tông tiêu chuẩn.

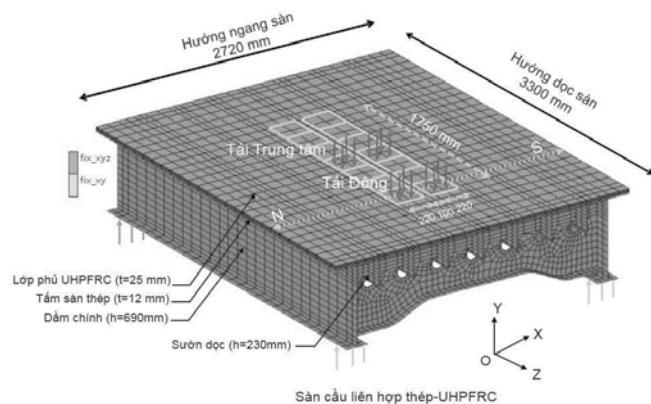
Trong nghiên cứu này, phương pháp ứng suất điểm nóng kết hợp với các phân tích phi tuyến trong mô hình phần tử hữu hạn được thực hiện nhằm phân tích các ứng suất tập trung trong sàn cầu thép trực hướng chịu tác động của tĩnh tải bánh xe. Dựa trên kết quả phân tích, tuổi thọ của sàn cầu thép trước và sau khi được gia cường sẽ được dự đoán, và hiệu quả của lớp phủ UHPFRC sẽ được đánh giá chi tiết trong bài báo.

2. TỔNG QUAN PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

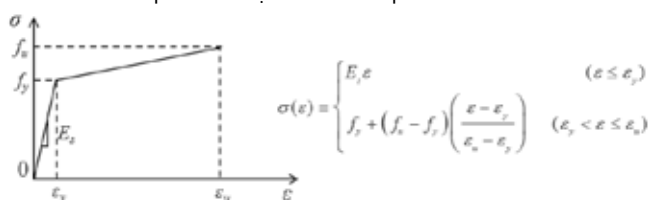
2.1. Mô hình phần tử hữu hạn

Trong nghiên cứu này, phần mềm phần tử hữu hạn MSC/Marc được sử dụng để phân tích ứng xử kết cấu của sàn cầu thép với lớp phủ UHPFRC. Mô hình tính toán với các kích thước tổng thể và điều kiện tải trọng của sàn cầu được trình bày trong Hình 1. Sàn cầu thép trực hướng có kích thước là 2720 mm × 3300 mm; bao gồm lớp phủ UHPFRC dày 25 mm, tấm mặt cầu thép dày 12 mm, hai dầm chính cao 690 mm, ba dầm ngang và các thanh sườn dọc (kích thước là 230 mm × 11 mm × 30 mm). Khoảng cách giữa các dầm ngang là 1500 mm. Khoảng cách giữa các sườn dọc là 320 mm.

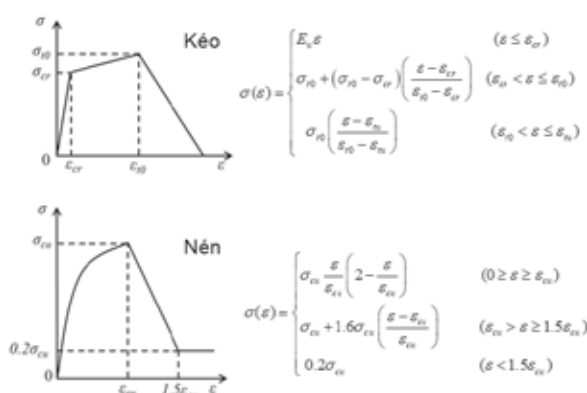
Quá trình mô phỏng sử dụng phần tử khối tám nút cho sàn cầu liên hợp. Chiều dày lớp phủ UHPFRC được chia thành ba lớp. Về điều kiện biên, bốn cạnh dưới bản cánh dầm chính được gán gối cố định, với chiều dài nhô là 3000 mm. Tải trọng tác dụng do bánh xe cao su được áp dụng theo điều kiện thí nghiệm. Kích thước vùng tải tác dụng là 220 mm × 250 mm, và khoảng cách giữa hai vùng tải là 100 mm (tương ứng với khoảng cách giữa hai lớp xe trong thí nghiệm). Trong phân tích số, tải trọng bánh xe được lý tưởng hóa và giả định là tải phân bố đều trên vùng tiếp xúc với độ lớn là 100 kN. Trong nghiên cứu này, hai trường hợp tải sẽ được xem xét, bao gồm tải phía Đông và tải Trung tâm, như được thể hiện trên Hình 1.



Hình 1. Mô hình phần tử hữu hạn của sàn cầu thép-UHPFRC



Hình 2. Mối quan hệ ứng suất-biến dạng của thép



Hình 3. Mối quan hệ ứng suất-biến dạng của UHPFRC

Về mặt vật liệu, mối quan hệ ứng suất - biến dạng của vật liệu thép và UHPFRC được thể hiện lần lượt ở Hình 2 và Hình 3. Các thông số vật liệu cụ thể của thép và UHPFRC được tổng hợp và thể hiện trong Bảng 1. Đối với vật liệu thép, mô-đun đàn hồi và hệ số Poisson được chọn lần lượt là 200 GPa và 0.3. Tiêu chuẩn chảy dẻo Von Mises được áp dụng trong mô hình hiện tại. Đối với UHPFRC, hệ số Poisson và mô-đun đàn hồi trong miền đàn hồi được chọn lần lượt là 0,22 và 31,3 GPa.

2.2. Phương pháp ứng suất điểm nóng (hot spot stress)

Phương pháp ứng suất điểm nóng thường được áp dụng cho các chi tiết mối hàn hoặc các chi tiết kết cấu thép chịu ứng suất tập trung do dạng hình học như góc bo của tấm thép cắt lỗ, mối nối bulông,... Trong đó, giá trị ứng suất kết cấu cực đại tại vị trí nguy hiểm nhất được định nghĩa là ứng suất điểm nóng (hot spot stress). Đối với các liên kết hàn, ứng suất kết cấu tại vị trí chân đường hàn chính là ứng suất điểm nóng. Giá trị này phụ thuộc vào hình dạng tổng thể của chi tiết kết cấu thép và mối hàn, cũng như thông số tải trọng tác động lên tổng thể kết cấu. Trong thực tế, chân đường hàn chính là vị trí dễ xảy ra phá hoại nhất.

Trong phương pháp này, tính toán được giá trị ứng suất điểm nóng là việc quan trọng nhất. Để xác định được ứng suất điểm nóng tại mối hàn, có hai phương pháp chính đó là ngoại suy từ các kết quả ứng suất thu được từ đo đạc thực nghiệm; hoặc ngoại suy từ các kết quả thu được từ mô hình phần tử hữu hạn. Đầu tiên, ta sẽ chọn hai hoặc ba điểm cách bề mặt chân mối hàn một khoảng cách nhất định (điểm tham chiếu). Sau đó, ta thực hiện phép tính ngoại suy tuyến tính hoặc ngoại suy bậc hai trên kết quả ứng suất kết cấu tại các điểm tham chiếu, để xác định giá trị ứng suất điểm nóng tại chân mối hàn. Phương pháp ngoại suy kết quả này nhằm tránh hiện tượng kỳ dị của ứng suất (stress singularity) tại điểm chân mối hàn, đặc biệt ở những vị trí chịu uốn cục bộ lớn như mặt hồ của dầm ngang (trục HS trong Hình 4).

Theo khuyến nghị của IIW, hai điểm tham chiếu tại vị trí cách chân mối hàn lần lượt 0,4t và 1,0t (với t là chiều dày tấm thép) được sử dụng làm cơ sở ngoại suy tuyến tính nhằm xác định ứng suất điểm nóng tại chân mối hàn [2]. Ứng suất điểm nóng thu được được tính theo phương trình sau [2]:

$$\sigma_{hs} = 1.67 \times \sigma_{0.4t} - 0.67 \times \sigma_{1.0t} \quad (1)$$

Trong đó, σ_{hs} là ứng suất điểm nóng (hot spot stress) tại chân đường hàn; $\sigma_{0.4t}$ và $\sigma_{1.0t}$ lần lượt là ứng suất tại hai điểm tham chiếu cách chân đường hàn một khoảng là 0.4t và 1.0t.

Đối với các trường hợp ứng suất kết cấu tăng phi tuyến tính rõ rệt về phía điểm nóng (khi hướng lực tác dụng thay đổi đột ngột hoặc đối với kết cấu có thành dày,...) thì phương pháp ngoại suy bậc hai cho ba điểm tham chiếu (0.4t, 0.9t và 1.4t) được khuyến nghị sử dụng. Kết quả ứng suất điểm nóng theo phương pháp này được thể

hiện qua phương trình sau đây [2]:

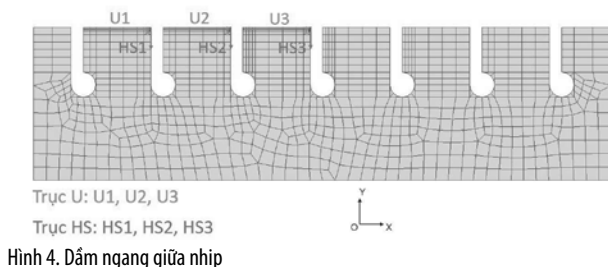
$$\sigma_{hs} = 2.52 \times \sigma_{0.4t} - 2.24 \times \sigma_{0.9t} + 0.72 \times \sigma_{1.4t} \quad (2)$$

Trong đó, σ_{hs} là ứng suất điểm nóng (hot spot stress) tại chân đường hàn; $\sigma_{0.4t}$, $\sigma_{0.9t}$ và $\sigma_{1.4t}$ lần lượt là ứng suất tại ba điểm tham chiếu cách chân đường hàn một khoảng là 0.4t, 0.9t và 1.4t.

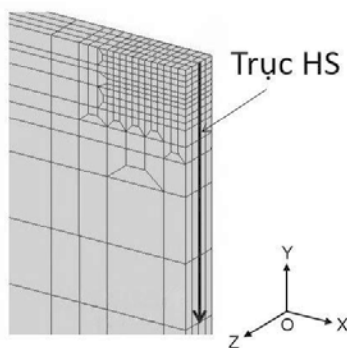
Trong nghiên cứu hiện tại, phương pháp ngoại suy ba điểm được sử dụng để xác định ứng suất điểm nóng tại chân đường hàn. Để cải thiện độ chính xác của kết quả phân tích tại các vùng điểm nóng trên các dầm ngang, lưới mịn tại vùng điểm nóng được sử dụng trong mô hình phần tử hữu hạn (Hình 5). Vùng chuyển tiếp lưới giữa lưới thô và lưới mịn được đặt cách xa vùng điểm nóng và không nằm trong vùng có biến thiên ứng suất lớn để tránh các dị thường ứng suất cục bộ. Kích thước trung bình của các phần tử lưới mịn tại vùng điểm nóng được mô phỏng bằng hoặc nhỏ hơn khoảng cách tối thiểu giữa các điểm tham chiếu được sử dụng trong phép ngoại suy ba điểm.

Bảng 1. Thông số vật liệu của thép và UHPFRC

Vật liệu	Thông số vật liệu	Ký hiệu	Giá trị (đơn vị)
Thép	Cường độ chảy	f_y	365 (MPa)
	Cường độ tới hạn	f_u	490 (MPa)
	Biến dạng tới hạn	ϵ_u	20%
UHPFRC	Cường độ nứt (kéo)	σ_{cr}	6 (MPa)
		ϵ_{cr}	0.00019
	Cường độ chịu kéo	σ_{t0}	9 (MPa)
		ϵ_{t0}	0.00175
	Biến dạng kéo tới hạn	ϵ_{tu}	0.01200
		σ_{cu}	133 (MPa)
	Cường độ chịu nén	ϵ_{cu}	0.00850



Hình 4. Dầm ngang giữa nhịp



Hình 5. Lưới mịn tại vùng điểm nóng (hot spot) trên dầm ngang giữa nhịp

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Tổng quan

Trong phần này, các kết quả ứng suất tại những vị trí nguy hiểm sẽ được tập trung thảo luận, như sau:

- Ứng suất dọc theo Trục NS (Hình 1), dưới tác dụng của Tải phía Đong.

- Ứng suất dọc theo đường hàn giữa dầm ngang và tấm sàn thép (trục U), dưới tác dụng của Tải trung tâm.

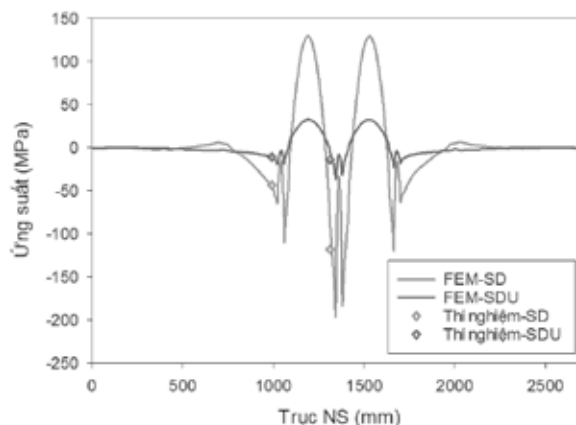
- Ứng suất tiếp giáp vùng điểm nóng (trục HS) tại các mặt hồ của dầm ngang giữa nhịp, dưới tác dụng của Tải trung tâm.

Các kết quả mô phỏng từ hai mô hình sàn thép SD và sàn liên hợp SDU (sàn thép với lớp phủ UHPFRC) sẽ được so sánh với nhau và được kiểm chứng với các kết quả thực nghiệm từ [5].

Cuối cùng, các tính toán để ước lượng tuổi thọ chịu mỏi của các tấm sàn sẽ được thực hiện dựa trên ứng suất uốn lớn nhất trên tấm sàn cũng như ứng suất điểm nóng tại các mối hàn giữa dầm ngang và tấm sàn thép.

3.2. Kết quả ứng suất

3.2.1 Giá trị ứng suất trên tấm sàn thép



Hình 6. Đường phân bố ứng suất theo phương X dọc theo trục NS

Hình 6 trình bày các đường phân bố ứng suất theo phương X dọc theo trục NS từ hai mô hình phần tử hữu hạn (FEM) SD và SDU. Có thể thấy rằng, kết quả đường phân bố ứng suất trên tấm sàn thép từ hai mô hình số hiện tại thể hiện độ chính xác khá tốt khi so sánh với các kết quả thu được từ thí nghiệm. Cũng từ Hình 6, ta có thể thấy rằng giá trị ứng suất trên tấm sàn thép trong mô hình SDU nhỏ hơn rõ rệt so với các giá trị từ mô hình SD, cả trong vùng kéo và vùng nén. Cụ thể hơn, giá trị ứng suất cực đại trong tấm sàn thép bên trên sườn dọc chính giữa đã giảm từ -196.1 MPa xuống -37.6 MPa (xấp xỉ 80.8%). Điều này chứng tỏ tính hiệu quả cao của việc sử dụng lớp phủ UHPFRC trên mặt sàn cầu thép như một biện pháp gia cường.

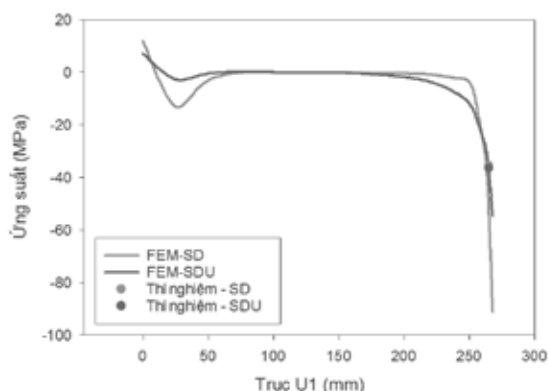
3.2.2. Giá trị ứng suất điểm nóng trên dầm ngang giữa nhịp

Hình 7-9 trình bày các đường phân bố ứng suất theo phương đứng (phương Y) dọc theo ba trục U1, U2 và U3 từ hai mô hình SDU và SD. Chiều dài mỗi trục là 270mm. Ta có thể thấy rằng, giá trị ứng suất nén theo phương đứng từ trục bánh xe tác dụng lên dầm ngang giữa nhịp có xu hướng tăng dần khi tiến gần tới mặt hồ trên dầm, và đạt đến giá trị cực đại tại vị trí biên mặt hồ (trục HS). So sánh ứng suất tại biên mặt hồ trên ba trục U1, U2 và U3, ta thấy rằng giá trị ứng suất tại trục U2 là lớn nhất (đạt -91.75 MPa). Trong Hình 8, giá trị ứng suất cực đại tại biên mặt hồ thu được từ mô hình SD lớn hơn khá nhiều so với giá trị ứng suất từ mô hình SDU (-67.37 MPa). Những ghi nhận tương tự cũng được quan sát thấy trên trục U1 (Hình 7), nơi có các giá trị ứng suất xấp xỉ gần bằng trên trục U2. Điều này một lần nữa chứng minh hiệu quả gia cường lớp phủ UHPFRC trong mô hình SDU.

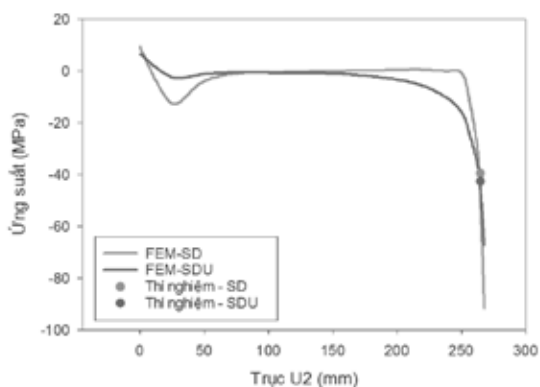
Từ các kết quả bên trên, ta có thể suy luận rằng giá trị ứng suất điểm nóng HSS cực đại có thể xuất hiện ở biên mặt hồ HS1 hoặc HS2, tương ứng với các đường hàn gần trục U1 và U2. Hình 10 và 11 lần lượt trình bày các đường phân bố ứng suất theo phương đứng (phương Y) dọc theo ba trục HS1 và HS2 thu được từ hai mô hình phần tử hữu hạn. Ta có thể thấy rằng, các kết quả phân tích số khi tiến gần đến vị trí đường hàn đã giảm giá trị một

cách đột ngột. Điều này có thể được lý giải là mô hình phần tử hữu hạn hiện tại không thể mô phỏng được đặc tính kỳ dị của ứng suất tại mặt hồ của dầm ngang, nơi có sự tập trung ứng suất cục bộ lớn. Vì lý do đó, phương pháp ngoại suy ứng suất trình bày ở mục 2.2 sẽ được áp dụng trong tình huống này.

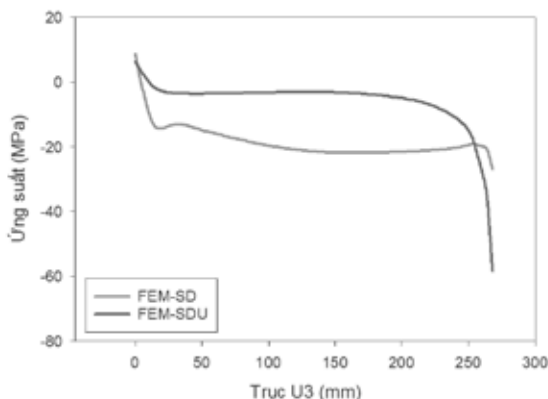
Dựa vào đường phân bố ứng suất dọc trên các trục HS bên trên, các giá trị ứng suất tại ba điểm tham chiếu dọc theo trục HS (lần lượt cách chân đường hàn 0.4t, 0.9t và 1.4t) được đưa vào phép tính toán hồi quy bậc 2. Các đường hồi quy của phân bố ứng suất qua 3 điểm tham chiếu trên trục HS1 và HS2 được thể hiện trên Hình 12 và 13. Dựa vào các phương trình hồi quy bậc 2 trên hoặc dựa vào công thức (2), ta có thể tính toán được giá trị ứng suất điểm nóng (σ_{ns}) tại các vị trí mối hàn nguy hiểm HS1 và HS2. Các kết quả tính toán trên được tổng hợp trong Bảng 2.



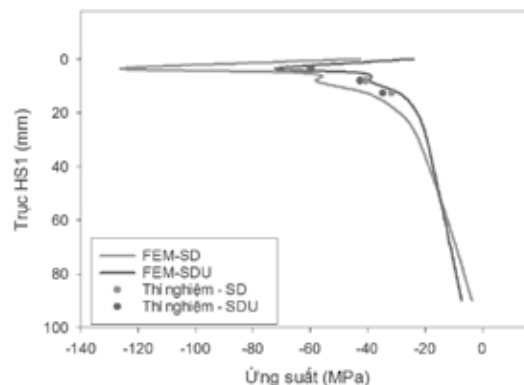
Hình 7. Đường phân bố ứng suất theo phương đứng (phương Y) dọc theo trục U1



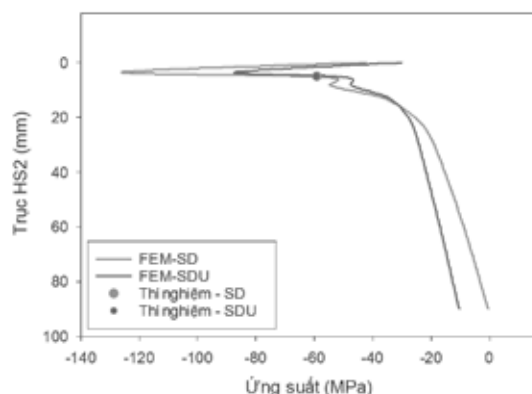
Hình 8. Đường phân bố ứng suất theo phương đứng (phương Y) dọc theo trục U2



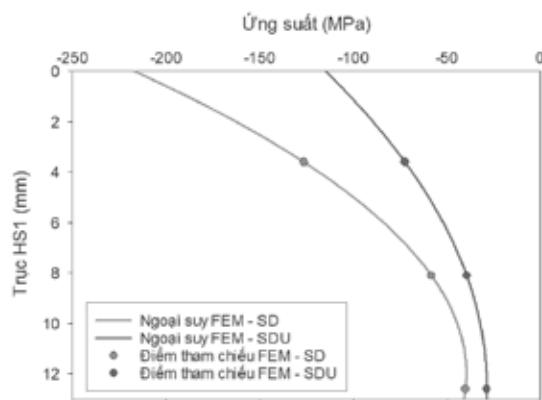
Hình 9. Đường phân bố ứng suất theo phương đứng (phương Y) dọc theo trục U3



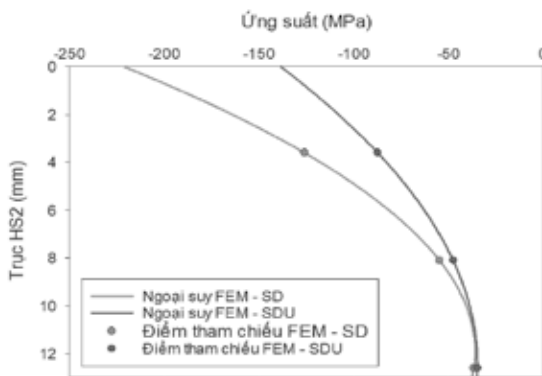
Hình 10. Đường phân bố ứng suất theo phương đứng (phương Y) dọc theo trục HS1



Hình 11. Đường phân bố ứng suất theo phương đứng (phương Y) dọc theo trục HS2



Hình 12. Đường hồi quy của phân bố ứng suất theo phương đứng (phương Y) trên trục HS1



Hình 13. Đường hồi quy của phân bố ứng suất theo phương đứng (phương Y) trên trục HS2

Bảng 2. Kết quả ứng suất điểm nóng tại các trục HS

Vị trí	Mô hình	Ứng suất tại điểm tham chiếu (MPa)			Ứng suất điểm nóng (MPa)
		$\sigma_{0.4t}$	$\sigma_{0.9t}$	$\sigma_{1.4t}$	
HS1	SD	-126.42	-58.24	-40.15	-217.0
	SDU	-72.36	-39.42	-28.83	-114.8
HS2	SD	-126.23	-54.90	-36.84	-221.7
	SDU	-87.52	-47.69	-34.88	-138.8

Từ Bảng 2, có thể thấy rằng, ứng suất điểm nóng HSS tại vị trí trục HS2 là giá trị cực đại trong cấu kiện dầm ngang giữa nhịp. Đây cũng chính là vị trí nguy hiểm mà ta cần xem xét để ước lượng tuổi thọ mỏi của sàn cầu thép.

3.3. Ước lượng tuổi thọ mỏi của sàn cầu thép

Như đã trình bày ở mục 3.2, giá trị ứng suất cực đại trên tấm sàn thép và dầm ngang giữa nhịp được xác định là lần lượt nằm trên trục NS dưới tác dụng của tải Đồng và trục HS2 (hot spot) dưới tác động của tải trung tâm.

Nói cách khác, hai vị trí trên là hai vị trí nguy hiểm nhất trên sàn cầu thép khi chịu mỏi.

Ứng suất cực đại của tấm sàn thép là -196.1 MPa nằm trên trục NS cách điểm nút S 1340 mm trong mô hình SD. Theo đó, tại cùng vị trí trong mô hình SDU, ứng suất cực đại là -37.6 MPa.

Ứng suất điểm nóng cực đại được xác định bằng phép ngoại suy bậc hai 3 điểm. Tại chân đường hàn HS2, ứng suất cực đại trong mô hình SD là -221.7 MPa trong khi ứng suất tương ứng trong mô hình SDU là -138.8 MPa.

Các giá trị ứng suất cực đại được sử dụng trong dự đoán tuổi thọ chịu mỏi (T) của sàn cầu thép, như các phương trình sau [2]:

$$N = \frac{C}{\sigma_k^m} = \frac{(FAT)^m \times (2 \times 10^6)}{\sigma_k^m} \quad (3)$$

$$T = \frac{N \times 100}{1,100,000} \quad (4)$$

Trong đó σ_k^m là biên độ ứng suất tương đương, N là tổng số chu kỳ, FAT là cường độ mỏi cơ bản tại 2 triệu chu kỳ của thép. Đối với sàn cầu thép hiện tại, các giá trị m và FAT lần lượt được chọn là 3 và 80 MPa. Giá trị 1,100,000 chu kỳ là tương đương với tuổi thọ mỏi 100 năm của sàn cầu thép, theo thiết kế thí nghiệm dưới tải trọng trục là 100 kN.

Các kết quả dự đoán tuổi thọ mỏi cho tấm sàn thép và mối hàn trên dầm ngang giữa nhịp được trình bày trong Bảng 3. Trong cả hai trường hợp cấu kiện, sàn cầu thép không có lớp gia cường UHPFRC (mô hình SD) đều không thể vượt qua tuổi thọ sử dụng 100 năm. Còn trong mô hình SDU với lớp phủ gia cường UHPFRC, tuổi thọ sử dụng của kết cấu chính là tấm thép sàn được tính toán là vượt quá 100 năm. Trong khi đó, tuổi thọ sử dụng của vị trí điểm nóng tại mối hàn trên dầm ngang được kéo dài đáng kể, từ 8.54 năm lên đến 34.8 năm.

Bảng 3. Ước lượng tuổi thọ của sàn cầu thép

Cấu kiện	Mô hình	Ứng suất σ_k^m (MPa)	N (chu kỳ)	Tuổi thọ mỗi T (năm)
Tấm sàn thép	SD	196.1	135,790	12.34
	SDU	37.6	19,263,554	1,751.23
Mối hàn trên dầm ngang	SD	221.7	93,973	8.54
	SDU	138.8	382,941	34.8

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu hiện tại, phương pháp ứng suất điểm nóng kết hợp với phân tích phần tử hữu hạn phi tuyến được sử dụng để đánh giá các ứng suất tập trung và dự đoán tuổi thọ mỏi của sàn cầu thép trong hai trường hợp: có và không có gia cường bằng lớp phủ UHPFRC. Phương pháp ứng suất điểm nóng cho phép xác định chính xác giá trị ứng suất tại các vị trí nguy hiểm nhất của kết cấu, đặc biệt là tại chân mối hàn - nơi thường xảy ra phá hoại mỏi. Những kết quả chính của nghiên cứu được tóm tắt như sau:

1) Trên tấm sàn thép, lớp phủ UHPFRC làm giảm ứng suất cực đại khoảng 80,8%, giúp giảm đáng kể nguy cơ nứt mỏi. Từ đó, tuổi thọ mỏi của tấm sàn đã tăng từ 12,34 năm lên trên 100 năm.

2) Tại điểm nóng HS2 ở mối hàn dầm ngang, ứng suất cực đại giảm khoảng 37,4% sau khi gia cường, minh chứng rõ rệt cho hiệu quả của giải pháp UHPFRC trong việc giảm tập trung ứng suất. Qua đó, tuổi thọ mỏi tại mối hàn tăng từ 8,54 năm lên 34,8 năm, cho thấy hiệu quả cải thiện nhưng vẫn cần các biện pháp gia cường bổ sung để đạt mục tiêu thiết kế 100 năm.

Ngoài đánh giá tác động của lớp gia cường UHPFRC, nghiên cứu hiện tại cũng đã chứng minh rằng phương pháp ứng suất điểm nóng là cách tiếp cận hiệu quả để ước lượng tuổi thọ mỏi của sàn cầu thép.

Các kết quả trong nghiên cứu này cung cấp cơ sở khoa học cho việc lựa chọn giải pháp gia cường phù hợp và có thể áp dụng trong công tác thiết kế, bảo trì cầu thép trong thực tế.

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn Trường Đại học Bách khoa - Đại học Quốc gia TP.HCM đã tạo điều kiện thuận lợi về thời gian và cơ sở vật chất để thực hiện nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Cullimore M.S.G. and Smith J.W.: Local stresses in orthotropic steel bridge decks caused by wheel loads. Journal of Constructional Steel Research, 1(2): 17-26, 1981.
- [2]. Hobbacher A. Recommendations for fatigue design of welded joints and components. IIW document XIII-2151-07/XV-1254-07, WRC bulletin 520, The Welding Research Council, New York, 2009.
- [3]. Dieng, L., Marchand, P., Gomes, F., Tessier, C. and Toutlemonde, F.: Use of UHPFRC overlay to reduce stresses in orthotropic steel decks. Journal of Constructional Steel Research, 89: 30-41, 2013.
- [4]. Manabe, H., Huang, C.W., Kosaka, Y., Mitamura, H., Matsumoto, T. and Imai, T.: Verification of repair effect of bridge deck using UHPFRC (J-THIFCOM). The 12th Japanese German Bridge Symposium, Universität München, 2018.
- [5]. J-THIFCOM Research Group. Report for the wheel load test of the J-THIFCOM/steel composite deck slab. Civil Engineering Research Institute (CERI) for Cold Region, Hokkaido, Japan, 2019.

Đánh giá ảnh hưởng của sợi gia cường đến khả năng làm việc của hỗn hợp bê tông nhựa làm mặt đường

Evaluation of the effect of reinforcing fibers on the performance of asphalt concrete pavement mixtures

> TS ĐỖ TIẾN THỌ*, TS NGUYỄN HUỖNH TẤN TÀI

GV Khoa Xây dựng, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM

*Email: thodt@hcmute.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu này đánh giá ảnh hưởng của sợi Forta-fi đến khả năng làm việc và khả năng chống nứt của hỗn hợp bê tông nhựa (BTN) sử dụng nhựa đường cải tiến polymer (PMB). Các mẫu thí nghiệm được chế tạo theo phương pháp thiết kế Marshall với hàm lượng sợi thay đổi từ 0,0% đến 0,2% so với tổng khối lượng hỗn hợp. Một loạt thí nghiệm bao gồm phân tích các chỉ tiêu thể tích, độ ổn định và độ dẻo Marshall, cường độ kéo gián tiếp (IDT) và thí nghiệm uốn ba điểm trên mẫu bán trụ (SCB) đã được thực hiện nhằm đánh giá tác động của sợi. Kết quả cho thấy việc bổ sung sợi Forta-fi cải thiện đáng kể tính chất cơ học của hỗn hợp. Ở hàm lượng tối ưu 0,1%, độ ổn định Marshall tăng đến 22%, trong khi cường độ chịu kéo gián tiếp tăng khoảng 27% so với hỗn hợp đối chứng. Kết quả thí nghiệm SCB cũng chỉ ra rằng năng lượng phá hủy tăng từ 17% đến 34% khi có gia cường bằng sợi, khẳng định khả năng chống nứt của hỗn hợp được nâng cao rõ rệt. Sự kết hợp giữa nhựa đường cải tiến PMB và sợi Forta-fi vì vậy được xem là một giải pháp khả thi nhằm nâng cao độ bền và tính bền vững của kết cấu mặt đường BTN trong điều kiện khai thác giao thông nặng và môi trường khắc nghiệt.

Từ khóa: Hỗn hợp bê tông nhựa, PMB, Marshall, sợi Forta-fi, thí nghiệm SCB, sức kháng nứt.

ABSTRACT

This study investigates the effect of Forta-fi fiber on the mechanical performance and cracking resistance of asphalt concrete (AC) mixtures incorporating polymer-modified bitumen (PMB). Laboratory specimens were prepared following the Marshall mix design method with fiber contents ranging from 0.0% to 0.2% of the total mix weight. A series of tests, including volumetric analysis, Marshall stability and flow, indirect tensile strength (IDT), and semi-circular bending (SCB), were performed to evaluate the influence of fiber addition. Results indicate that the inclusion of Forta-fi fibers significantly enhances the mechanical properties of the mixtures. At the optimal dosage of 0.1%, Marshall stability increased by up to 22%, while IDT strength improved by approximately 27% compared to the control mix. SCB tests further revealed that fracture energy rose by 17-34% with fiber reinforcement, confirming the improved crack resistance of the mixtures. The combined use of PMB and Forta-fi fiber therefore provides a viable solution for improving the durability and sustainability of asphalt pavements under heavy traffic and harsh environmental conditions.

Keywords: asphalt mixtures, PMB, Forta-fi fiber, Marshall, SCB test, cracking resistance.

1. GIỚI THIỆU

BTN là loại vật liệu composite phổ biến nhất trong xây dựng mặt đường hiện nay, được ứng dụng rộng rãi nhờ sở hữu nhiều ưu điểm về cơ học và kinh tế. Với khả năng chịu tải tốt, tính linh hoạt cao và chi phí hợp lý, BTN đã trở thành vật liệu chủ đạo trong hầu hết các dự án giao thông, từ đường cao tốc, quốc lộ đến các tuyến đường đô thị, sân bay hay bãi đỗ xe. Tại Việt Nam, cùng với nhu cầu vận tải ngày càng tăng, BTN ngày càng khẳng định vị thế quan trọng trong các công trình xây dựng và nâng cấp hạ tầng.

Một trong những đặc tính nổi bật của BTN là khả năng điều chỉnh cấp phối để thích nghi với các điều kiện chịu tải và khí hậu khác nhau, qua đó đảm bảo độ bền và tuổi thọ công trình. Ngoài ra, nhờ không cần bố trí khe co giãn, mặt đường BTN tạo bề mặt êm thuận, giảm tiếng ồn, nâng cao an toàn cho phương tiện. Quá trình thi công cũng thuận tiện, có thể triển khai nhanh trên diện rộng, giúp rút ngắn thời gian đóng đường và tiết kiệm chi phí so với bê tông xi măng. Đặc biệt, sự phát triển của công nghệ tái chế BTN cũ (RAP) mang lại lợi ích kép: vừa tiết kiệm tài nguyên,

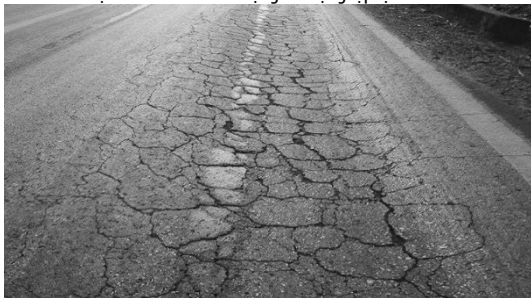
vừa giảm phát thải, góp phần hướng tới mục tiêu phát triển bền vững.

Tuy nhiên, BTN vẫn tồn tại những hạn chế khi làm việc trong điều kiện khai thác khắc nghiệt. Do tính nhạy cảm với nhiệt độ, hỗn hợp này có thể bị mềm hóa và hằn lún ở khí hậu nóng, trong khi ở vùng lạnh lại dễ xuất hiện nứt do co ngót. Sự xâm nhập của nước mưa hoặc tình trạng ngập úng làm suy giảm độ bám dính nhựa - cốt liệu, dẫn tới bong bật bề mặt. Đồng thời, độ bền mỏi còn hạn chế khiến BTN dễ nứt gãy dưới tác dụng lặp lại của tải trọng nặng, làm giảm đáng kể tuổi thọ công trình. Trong điều kiện khí hậu nóng ẩm, mưa nhiều và mật độ giao thông cao tại Việt Nam, hiện tượng lún vi mô nhanh chóng phát triển thành hằn lún nghiêm trọng (Hình 1), trong khi các vết nứt nhỏ có xu hướng lan rộng thành dạng nứt môi (Hình 2). Mặc dù chi phí thi công ban đầu thấp, BTN lại đòi hỏi bảo dưỡng thường xuyên, khiến chi phí vòng đời có thể gia tăng đáng kể nếu không áp dụng giải pháp cải thiện phù hợp.

Để nâng cao khả năng làm việc của BTN, nhiều giải pháp đã được nghiên cứu và áp dụng ở cả Việt Nam và trên thế giới. Một số hướng đi phổ biến là sử dụng nhựa đường cải tiến với phụ gia polymer, bổ sung mặt cao su tái chế, thiết kế BTN cấp phối gián đoạn (SMA), hoặc kết hợp giải pháp kết cấu như mặt đường bán cứng, điều chỉnh đường cong cấp phối để giảm hàm lượng nhựa đường [1,2,3]. Song song đó, các nghiên cứu chuyên sâu cũng tập trung vào cải thiện khả năng kháng nứt mỏi thông qua kiểm soát độ dày màng nhựa [4], tăng hàm lượng nhựa đường [5], gia cường bằng lưới địa kỹ thuật [6], hay bổ sung sợi gia cường trực tiếp vào hỗn hợp BTN [7,8].



Hình 1. Hằn lún vết bánh xe dưới tác dụng tải trọng lặp lại



Hình 2. Nứt môi và do nước trên mặt đường BTN

Tuy nhiên, các giải pháp này vẫn còn những hạn chế nhất định. Một số biện pháp có thể cải thiện rõ rệt khả năng kháng lún trong ngắn hạn, nhưng lại làm suy giảm đặc tính kháng môi lâu dài, dẫn đến tuổi thọ công trình chưa đạt như kỳ vọng. Do đó, việc tìm ra giải pháp cân bằng đồng thời giữa khả năng kháng lún và kháng môi trở thành yêu cầu cấp thiết. Trong bối cảnh này, công nghệ sử dụng sợi gia cường, đặc biệt là sợi Forta-fi đang nổi lên như một hướng tiếp cận triển vọng, bởi không chỉ giúp nâng cao khả năng chịu tải của BTN mà còn góp phần cải thiện tính bền vững của mặt đường.

Bên cạnh giải pháp vật liệu, các phương pháp thử nghiệm cũng đóng vai trò quan trọng trong việc đánh giá khách quan hiệu quả cải thiện. Trong hai thập kỷ gần đây, nhiều phương pháp đã được phát triển để xác định khả năng kháng nứt của BTN, tiêu biểu như thí nghiệm uốn bốn điểm [9], thí nghiệm mỏi nén-kéo trực dọc [10], thí nghiệm mỏi kéo gián tiếp [11] và thí nghiệm SCB (Semi-Circular Bending) [12]. Trong số đó, SCB ngày càng được sử dụng rộng rãi nhờ ưu điểm thao tác đơn giản, chế tạo mẫu dễ dàng và đặc biệt là trạng thái ứng suất tạo ra tương đối gần với điều kiện thực tế trong kết cấu mặt đường [13].

Một số nghiên cứu trước đây đã chứng minh hiệu quả tích cực của cốt sợi trong BTN. Khi bổ sung sợi Forta-fi ở tỷ lệ 0,1%, các chỉ tiêu cơ lý của BTN chặt truyền thống cũng như BTN cấp phối gián đoạn SMA đều được cải thiện đáng kể, dẫn đến khả năng kháng nứt, kháng mỏi và kháng hằn lún đồng thời được nâng cao [14].

Từ thực tiễn đó, để tiến xa hơn trong việc đánh giá ảnh hưởng của cốt sợi lên BTN làm mặt đường, nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá chi tiết hơn ảnh hưởng của cốt sợi đối với BTN chặt sử dụng nhựa đường cải tiến bằng phụ gia polymer (PMB). Mục tiêu là xác định mức độ cải thiện về cơ học và độ bền của BTN khi kết hợp đồng thời hai yếu tố: nhựa đường cải tiến và sợi gia cường, qua đó góp phần đề xuất giải pháp tối ưu cho ứng dụng thực tiễn trong xây dựng mặt đường.

Từ những phân tích trên có thể thấy, việc nghiên cứu ứng dụng sợi gia cường, điển hình là sợi Forta-fi, trong hỗn hợp BTN chặt sử dụng nhựa đường cải tiến không chỉ mang ý nghĩa khoa học mà còn có giá trị thực tiễn cao. Kết quả nghiên cứu dự kiến sẽ cung cấp thêm cơ sở dữ liệu đáng tin cậy về cơ học và độ bền lâu dài của BTN, hỗ trợ quá trình lựa chọn giải pháp vật liệu hợp lý cho điều kiện giao thông và khí hậu đặc thù tại Việt Nam. Qua đó, kỳ vọng đóng góp vào việc nâng cao tuổi thọ, giảm chi phí bảo trì và hướng tới sự phát triển bền vững của hệ thống kết cấu hạ tầng giao thông đường bộ trong nước.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

2.1. Vật liệu

Nghiên cứu thực nghiệm này được thực hiện nhằm đánh giá tác động của phụ gia dạng sợi đến đặc tính làm việc của hỗn hợp bê tông nhựa chặt (AC) sử dụng nhựa đường cải tiến bằng polymer (hỗn hợp PMB).

Toàn bộ nguyên vật liệu phục vụ thí nghiệm, ngoại trừ bột khoáng mịn có kích thước hạt nhỏ hơn 0,075 mm, đều được cung cấp bởi Công ty Cổ phần Đầu tư xây dựng BMT. Các vật liệu này bao gồm cốt liệu thô, chất độn khoáng và nhựa PMB, đảm bảo tính đồng nhất và độ tin cậy cho quá trình nghiên cứu.

Cốt liệu sử dụng trong nghiên cứu này được khai thác từ khu vực phía Nam Việt Nam, với đường cong cấp phối và các chỉ tiêu cơ lý cơ bản tương tự như loại được dùng trong [6] cho hỗn hợp bê tông nhựa thông thường. Cốt liệu đá granite đã trải qua quá trình xử lý bằng hệ thống máy nghiền trục đứng để tạo hình góc cạnh, từ đó tăng cường sự liên kết giữa các hạt. Mặt khác, chất độn đá vôi là sản phẩm của Holcim® Việt Nam.

Loại nhựa đường sử dụng trong nghiên cứu này là nhựa đường cải tiến từ nhựa đường gốc có độ kim lún 60/70 với các chỉ tiêu cơ lý của nó tương tự như loại được trình bày trong [1], kết hợp với nhựa styrene-butadiene-styrene (SBS), để đạt cấp độ nhựa đường theo tiêu chuẩn hiệu suất PG 76, gọi tắt là nhựa polymer. Các tính chất kỹ thuật của nhựa này giống với sản phẩm được sử dụng trong [15]. Tỷ lệ nhựa đường cải tiến sử dụng cho hỗn hợp SMB là 5% trên tổng khối lượng hỗn hợp.

Nhằm đánh giá ảnh hưởng của phụ gia dạng sợi đến khả năng kháng nứt của hỗn hợp bê tông nhựa, sợi Forta-fi với các tính chất cơ học và vật lý giống như trong [7] đã được bổ sung vào hỗn hợp.

2.2. Phương pháp thí nghiệm

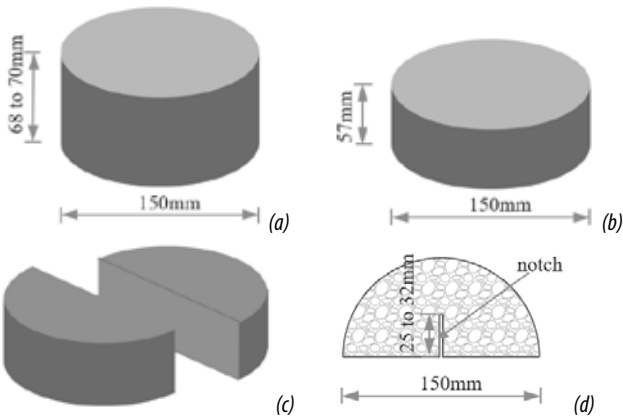
2.2.1. *Đánh giá ảnh hưởng của phụ gia dạng sợi đến các đặc tính cơ lý của hỗn hợp BTN*

Trong nghiên cứu này, ảnh hưởng của phụ gia dạng sợi đến các chỉ tiêu cơ lý của hỗn hợp bê tông nhựa được tiến hành đánh giá thông qua phương pháp Marshall theo hướng dẫn tại [3]. Các mẫu thí nghiệm dạng trụ, đường kính 101 mm và chiều cao 63,5 mm, được chế tạo theo phương pháp Marshall. Đối với hỗn hợp SMB nghiên cứu trong bài báo này, tối thiểu 15 mẫu (tương ứng 5×3 mẫu) đã được chuẩn bị ở 5 mức hàm lượng sợi khác nhau, dao động từ 0% đến 0,2% so với tổng khối lượng hỗn hợp. Trên các mẫu này, nhiều thí nghiệm được thực hiện để xác định các đặc trưng của hỗn hợp, bao gồm độ rỗng, độ rỗng cốt liệu, khối lượng thể tích, khối lượng riêng lớn nhất, độ ổn định Marshall và độ dẻo chảy.

Tất cả quá trình thí nghiệm được triển khai tại Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM (HCMUTE). Việc xử lý và phân tích số liệu thu được cho phép xác định hàm lượng sợi tối ưu, phù hợp với cấp phối cốt liệu đã lựa chọn cho hỗn hợp bê tông nhựa.

2.2.2. *Đánh giá ảnh hưởng của sợi Forta-Fi đến khả năng kháng nứt của BTN*

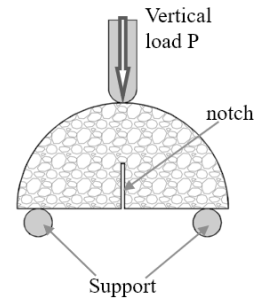
Trong nghiên cứu này, thí nghiệm SCB được sử dụng nhằm đánh giá khả năng kháng nứt của các hỗn hợp bê tông nhựa. Thí nghiệm được tiến hành theo tiêu chuẩn AASHTO TP 105 do Hiệp hội Giao thông và Đường cao tốc Hoa Kỳ ban hành. Các mẫu hình trụ có đường kính 150 mm được chế tạo bằng máy đầm Gyratory của hãng Matest, với độ rỗng không khí được kiểm soát ở mức 7% và chiều cao dao động trong khoảng 68–70 mm (Hình 3a).



Hình 3. Quy trình tạo mẫu thí nghiệm SCB

Sau đó, các mẫu này được cắt gọt và mài phẳng hai mặt để đạt độ dày chuẩn 57 ± 1 mm (Hình 3b), trước khi được cắt đôi để thu được các mẫu bán trụ (Hình 3c). Trên mỗi mẫu bán trụ, một khe cắt thẳng đứng có bề rộng 2,5 mm, song song với phương tải trọng, được tạo chính xác tại vị trí trung tâm của mặt phẳng đáy (Hình 3d). Ba mức độ sâu khe cắt khác nhau, từ 25 mm đến 38 mm, được khảo sát trong nghiên cứu này. Với mỗi mức độ sâu và mỗi loại hỗn hợp (có và không có sợi gia cường), ít nhất ba mẫu thí nghiệm được chuẩn bị.

Các thí nghiệm SCB được tiến hành ở nhiệt độ 25 °C. Mỗi mẫu được gia tải theo phương thẳng đứng với tốc độ dịch chuyển không đổi 0,5 mm/phút cho đến khi xảy ra phá hủy. Quá trình thử nghiệm được theo dõi và ghi lại liên tục thông qua dữ liệu tải trọng và chuyển vị thẳng đứng. Sơ đồ bố trí và thiết lập thí nghiệm được minh họa ở Hình 4.



Hình 4. Bố trí thí nghiệm SCB

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Đánh giá tác động của sợi Forta-fi đến các tính chất cơ lý của hỗn hợp

Kết quả các thí nghiệm nhằm xác định đặc tính cơ bản của mẫu với năm mức hàm lượng sợi từ 0,0% đến 0,2% khối lượng hỗn hợp được trình bày trong Bảng 1. Dữ liệu cho thấy sự thay đổi khối lượng thể tích (tỷ trọng khối) khi hàm lượng sợi tăng dần là không đáng kể. Cụ thể, chênh lệch giữa giá trị lớn nhất và nhỏ nhất chỉ khoảng 2% (từ 2,37 g/cm³ đến 2,42 g/cm³) đối với hỗn hợp PMB.

Bảng 1. Đặc tính cơ bản của hỗn hợp PMB theo hàm lượng sợi

CHỈ TIÊU CƠ LÝ	Cấp phối chất sử dụng nhựa PMB3				
Hàm lượng sợi Forta, %	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20
Tỷ trọng lớn nhất, g/cm ³	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53
Tỷ trọng khối, g/cm ³	2.42	2.41	2.40	2.38	2.37
Độ rỗng dư, %	4.68	5.02	5.14	5.73	6.28
Độ rỗng cốt liệu, %	14.58	14.87	15.12	15.69	16.27
Độ ổn định marshall, kN	13.27	14.03	14.47	15.37	16.27
Độ dẻo Marshall, mm	3.76	3.67	3.60	3.53	3.47
Cường độ kéo khi ép chế, MPa	1.089	1.098	1.184	1.221	1.384

Với mỗi tỷ lệ sợi, giá trị khối lượng thể tích lớn nhất của mẫu chưa đầm cũng được xác định. Kết quả cho thấy thông số này gần như không thay đổi ở tất cả các mức hàm lượng sợi, duy trì ở mức 2,53 g/cm³, chứng tỏ sợi không ảnh hưởng đến khối lượng thể tích lớn nhất của hỗn hợp. Ngược lại, độ rỗng dư của mẫu đầm thay đổi rõ rệt theo tỷ lệ sợi, dao động từ 4,68% đến 6,28%. Các giá trị này nhìn chung nằm trong phạm vi cho phép (3%-6% theo [19]), ngoại trừ mẫu PMB có 0,2% sợi vượt ngưỡng quy định. Điều này chứng minh rằng sự có mặt của sợi tác động đáng kể đến độ rỗng dư của hỗn hợp.

Ngoài ra, chỉ số độ rỗng trong cốt liệu, một tiêu chí quan trọng trong thiết kế cấp phối cũng được phân tích. Theo [19], giá trị này phải lớn hơn hoặc bằng 14% đối với hỗn hợp BTNC. Kết quả trong Bảng 1 cho thấy tất cả các mẫu thử ở mọi tỷ lệ sợi đều thỏa mãn điều kiện này.

Về cơ tính, nghiên cứu cũng đánh giá độ ổn định Marshall và độ dẻo Marshall của mẫu đầm nén. Độ ổn định Marshall được hiểu là tải trọng cực đại mà mẫu chịu được khi gia tải ở tốc độ dịch chuyển không đổi. Kết quả cho thấy giá trị trung bình dao động từ 13,27 kN đến 16,27 kN, tức tăng đến 22% so với mẫu không sợi. Theo tiêu chuẩn [16], giá trị yêu cầu tối thiểu là 8 kN cho cả BTNC, do đó tất cả mẫu nghiên cứu đều đạt yêu cầu. Song song với đó, độ dẻo Marshall (biến dạng tại điểm tải cực đại) cũng được xác định, dao động từ 3,47 mm đến 3,76 mm, và đều nằm trong phạm vi chấp nhận theo [16].

Bên cạnh các chỉ tiêu trên, thí nghiệm còn khảo sát cường độ chịu kéo gián tiếp (IDT) bằng Máy thí nghiệm đa năng Pavetest tại HCMUTE. Giá trị ứng suất kéo gián tiếp của hỗn hợp SMB dao động từ 1,089 MPa đến 1,384 MPa. Kết quả này cho thấy việc bổ sung sợi giúp cải thiện sức kháng kéo gián tiếp của hỗn hợp lên đến 27%, phù hợp với xu hướng đã quan sát từ kết quả Marshall.

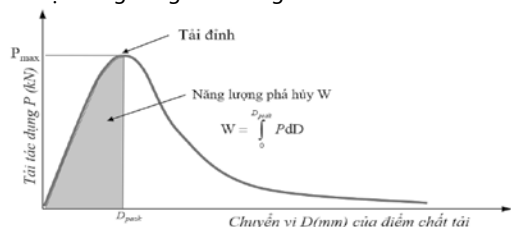
Các kết quả này phù hợp với sự cải thiện về độ ổn định Marshall đã được ghi nhận trước đó. Tuy nhiên, việc phối trộn sợi vào hỗn hợp bê

tổng nhựa nóng (HMA) là một quá trình phức tạp, và kết quả thường không đạt kỳ vọng do sự khác biệt về bản chất giữa hai loại vật liệu cũng như mật độ sợi thấp hơn nhiều so với nhựa đường. Sự phân bố sợi không đồng đều, tạo thành các vùng tập trung cục bộ trong hỗn hợp, có thể ảnh hưởng tiêu cực đến cường độ và độ bền lâu của vật liệu. Khi hàm lượng sợi nằm trong khoảng 0,05%-0,10%, việc phối trộn trở nên dễ dàng hơn và cho kết quả khả quan. Bên cạnh đó, chi phí của các loại phụ gia này tương đối cao, làm gia tăng đáng kể giá thành tổng thể của vật liệu. Dựa trên các kết quả thí nghiệm đã trình bày, hàm lượng sợi tối ưu cho hỗn hợp được xác định là 0,1% khối lượng. Mức liều lượng này vừa cải thiện được tính chất cơ học của hỗn hợp bê tông nhựa, vừa đảm bảo sự phân tán sợi đồng đều và thuận lợi trong quá trình chế tạo, đồng thời duy trì chi phí ở mức hợp lý.

Cuối cùng, ảnh hưởng của việc sử dụng nhựa đường cải tiến SBS (nhựa PMB) so với nhựa 60/70 thông thường được thể hiện rõ rệt. Hỗn hợp PMB cho thấy độ ổn định Marshall cao hơn từ 34% đến 43% và cường độ chịu kéo gián tiếp tăng thêm từ 29% đến 45%, tùy thuộc vào hàm lượng sợi. Điều này chứng minh hiệu quả vượt trội của PMB trong việc nâng cao tính chất cơ học của hỗn hợp BTNC.

3.2. Đánh giá ảnh hưởng của phụ gia dạng sợi đến khả năng kháng nứt của hỗn hợp BTN

Ảnh hưởng của sợi Forta-fi đến khả năng kháng nứt của hỗn hợp bê tông nhựa được đánh giá thông qua thí nghiệm SCB. Đường cong điển hình hình quan hệ giữa tải trọng và chuyển vị tại điểm gia tải được thể hiện trong Hình 5. Trong quá trình thí nghiệm, tải trọng ban đầu tăng nhanh, sau đó tăng chậm lại trước khi đạt giá trị cực đại P_{max} (kN), biểu thị khả năng chịu tải lớn nhất của mẫu. Trước ngưỡng này, tải trọng vẫn tiếp tục tăng song song với sự gia tăng chuyển vị. Khi đạt đến P_{max} , đường cong tải trọng bắt đầu giảm dần, cho thấy mẫu đã bước vào giai đoạn phá hủy. Năng lượng phá hủy cần thiết để đưa mẫu đến trạng thái phá hủy (năng lượng đến đỉnh) được xác định bằng diện tích dưới phần đường cong tải trọng - chuyển vị từ khi bắt đầu thí nghiệm đến P_{max} , được minh họa bằng vùng xám trong Hình 5.



Hình 5. Đường cong điển hình Tải trọng - chuyển vị của điểm chất tải trong thí nghiệm SCB

Kết quả thí nghiệm SCB được trình bày trong Bảng 2, trong đó năng lượng phá hủy của các mẫu có bổ sung sợi được so sánh với mẫu không sợi. Mỗi tổ hợp vật liệu và độ sâu khe cắt đều được kiểm tra ít nhất ba lần để đảm bảo độ tin cậy, và giá trị trung bình được sử dụng trong phân tích.

Bảng 2. Kết quả thu được từ thí nghiệm SCB với hỗn hợp BTNC sử dụng nhựa cải tiến

Chiều sâu vết cắt (mm)	Năng lượng phá hủy W(J)		
	Mẫu không có sợi Forta-fi	Mẫu có sợi Forta-fi	% cải thiện
25	0.73	0.98	34.4%
32	0.54	0.63	17.0%
38	0.40	0.47	18.5%

Theo các kết quả trong Bảng 2, tác động của sợi Forta-fi đến năng lượng phá hủy W là rõ rệt. Việc bổ sung sợi làm tăng năng lượng cần thiết để phá hủy mẫu trên 17%, thậm chí có trường hợp đạt đến 34,4%. Nói cách khác, khi kết hợp biện pháp sử dụng nhựa đường cải tiến PMB với phụ gia sợi, hỗn hợp bê tông nhựa thể hiện khả năng chống nứt vượt trội hơn, do cần một mức năng lượng lớn hơn mới có thể gây phá hủy lớp mặt đường.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã đánh giá ảnh hưởng của phụ gia sợi Forta-fi đến tính chất cơ học và khả năng kháng nứt của hỗn hợp bê tông nhựa chặt sử dụng nhựa đường cải tiến polymer (PMB). Các kết quả thực nghiệm cho thấy việc bổ sung sợi với hàm lượng hợp lý (0,1% khối lượng hỗn hợp) không chỉ cải thiện đáng kể các chỉ tiêu cơ lý cơ bản như độ ổn định Marshall, cường độ chịu kéo gián tiếp, mà còn nâng cao khả năng kháng nứt của hỗn hợp thông qua thí nghiệm SCB. Cụ thể, năng lượng phá hủy của mẫu có bổ sung sợi tăng từ 17% đến 34% so với mẫu đối chứng, chứng minh hiệu quả rõ rệt của giải pháp gia cường sợi trong việc kéo dài tuổi thọ và nâng cao độ bền của mặt đường BTN.

Sự kết hợp đồng thời giữa nhựa đường cải tiến PMB và sợi Forta-fi đã tạo ra một hỗn hợp có khả năng kháng lún, kháng mỏi và kháng nứt vượt trội hơn so với hỗn hợp truyền thống. Điều này không chỉ mang ý nghĩa khoa học trong việc làm rõ cơ chế tác động của phụ gia sợi mà còn có giá trị thực tiễn trong thiết kế và thi công mặt đường tại Việt Nam, nơi điều kiện khí hậu nóng ẩm, mưa nhiều và lưu lượng giao thông lớn luôn là thách thức đối với độ bền của công trình.

Từ những kết quả đạt được, có thể khẳng định rằng việc bổ sung sợi Forta-fi vào hỗn hợp BTN sử dụng nhựa cải tiến PMB là một giải pháp khả thi và hiệu quả, góp phần giảm chi phí bảo trì, nâng cao hiệu suất khai thác và hướng tới phát triển bền vững hệ thống hạ tầng giao thông đường bộ.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này thuộc đề tài mã số T2024-81 được tài trợ bởi Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM năm 2024.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyen, H.T.T., Tran, T.N., "Effects of crumb rubber content and curing time on the properties of asphalt concrete and stone mastic asphalt using dry process", Int. J. Pavement Res. and Technol., vol. 13, pp. 238-244, 2018.
- [2]. T.N. Tran et al., "Semi-flexible Material: The Sustainable Alternative for the Use of Conventional Road Materials in Heavy-Duty Pavement", in Congrès International de Géotechnique – Ouvrages - Structures, Singapore: Springer, 2018, pp. 17-24.
- [3]. Bộ Giao thông vận tải - Quyết định 858/QĐ-BGTVT, "Hướng dẫn áp dụng hệ thống các tiêu chuẩn kỹ thuật hiện hành nhằm tăng cường quản lý chất lượng thiết kế và thi công mặt đường bê tông nhựa nóng đối với các tuyến đường ô tô có quy mô giao thông lớn" - (2014).
- [4]. Setra-LCPC, "Conception et dimensionnement de structures de chaussée-Guide technique, Service d'études techniques des routes et autoroutes", Paris: Laboratoire central des ponts et chaussées, 1994.
- [5]. K. Blazejowski, "Stone Matrix Asphalt - Theory and Practice", 1st ed., Boca Raton: CRC Press, 2011.
- [6]. A. Zofka, M. Maliszewski, D. Maliszewska, "Glass and carbon geogrid reinforcement of asphalt mixtures", Road Mater Pavement, vol. 18, pp. 471-490, 2017.
- [7]. R.S. McDaniel, "Fiber Additives in Asphalt Mixtures, Washington: Transportation Research Board, 2015".
- [8]. E. Rohrbough, "Effect of FORTA-FI Fibers on the Rutting Potential, Dynamic Modulus, Flow Number, and Fatigue of Asphalt Concrete Modulus, Flow Number, and Fatigue of Asphalt (Master thesis)", Morgantown: West Virginia University, 2018.
- [9]. Al-Haidri, H.A., Tofan, A.S., 2021. "Evaluation of modified asphalt mixtures with APP and IPP polymers by fatigue distress criteria." Innovative Infrastructure Solutions 6, <https://doi.org/10.1007/s41062-021-00508-x>.
- [10]. Soltani, A., Anderson, D.A., 2005. "New test protocol to measure fatigue damage in asphalt mixtures." Road Materials and Pavement Design 6 (4), 485-514.
- [11]. Haggag, M.M., Mogawer, W.S., Bonaquist, R., 2011. "Fatigue evaluation of warm-mix asphalt mixtures use of uniaxial, cyclic, direct tension compression test". Transportation Research Record 2208, 26-32.
- [12]. Liu, W., Yan, K., Li, J., et al., 2021. Peridynamics-based simulation of semi-circular bending (SCB) testing. Construction and Building Materials 268, 121190.
- [13]. Wagnoner, M.P., Buttlar, W.G., Paulino, G.H., 2005. "Disk-shaped compact tension test for asphalt concrete fracture." Experimental Mechanics 45 (3), 270-277.
- [14]. Do, T.T., Nguyen, H.T.T., Nguyen, N.H., "Influences of fiber added to the durability of conventional asphalt mixture and Stone Mastic Asphalt" in Proceeding of 4th International Conference MMMS 2024, Da Nang city, Vietnam
- [15]. Do, T.T., Nguyen, H.T.T., Tran, V.T., "SMA mixture - gradation design and effect of Forta-fi fiber" in Proceeding of 6th International Conference GTSD 2022
- [16]. Bộ Giao thông vận tải - TCVN 8819-2011. Mặt đường bê tông nhựa nóng-Yêu cầu thi công và nghiệm thu, (2011).

Đánh giá sức chịu cắt của dầm bê tông cốt thanh FRP dựa trên các mô hình thiết kế

Shear strength evaluation of FRP reinforced concrete beams based on design models

> ĐẶNG VĂN DUY¹, THS LƯƠNG VĨNH PHÚ², THS NGUYỄN THỊ HỒNG NỤ², TS TRƯƠNG GIA TOẠI^{2,*}

¹SV Trường Đại học Đồng Á, Đà Nẵng; Email: duy96027@donga.edu.vn

²GV khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Đồng Á, Đà Nẵng

*Corresponding author, Email: toaitg@donga.edu.vn

TÓM TẮT

Việc thay thế cốt thép truyền thống bằng thanh FRP trong các kết cấu dầm ngày càng trở nên phổ biến nhờ những ưu điểm nổi bật như khả năng chống ăn mòn vượt trội, cường độ kéo cao, trọng lượng nhẹ và khả năng làm việc ổn định trong môi trường khắc nghiệt. Tuy nhiên, do các đặc tính cơ học khác biệt so với cốt thép thông thường, việc dự đoán khả năng chịu lực, đặc biệt là khả năng chịu cắt, của dầm FRP-RC không cốt đai vẫn là một thách thức lớn trong thiết kế kết cấu hiện đại. Nghiên cứu này đề xuất một cải tiến đối với công thức thiết kế của JSCE nhằm nâng cao độ chính xác trong dự đoán cường độ chịu cắt của dầm FRP-RC không sử dụng cốt đai. Tính hiệu quả của công thức đề xuất được đánh giá thông qua phân tích so sánh với các mô hình thiết kế hiện hành. Kết quả phân tích cho thấy công thức đề xuất mang lại độ chính xác cao hơn so với công thức JSCE, với mức cải thiện lên đến 20.6% về giá trị trung bình và 16.4% về hệ số biến động, góp phần nâng cao độ tin cậy cũng như an toàn trong thiết kế các cấu kiện sử dụng thanh FRP.

Từ khóa: Dầm bê tông, cường độ chịu cắt, sợi gia cường polymer (FRP), mô hình thiết kế.

ABSTRACT

The replacement of conventional steel reinforcement with FRP bars in beam structures has become increasingly common due to the outstanding advantages of FRP materials, such as superior corrosion resistance, high tensile strength, lightweight properties, and stable performance in harsh environments. However, because of the distinct mechanical characteristics of FRP compared to traditional steel, predicting the structural performance, particularly the shear strength, of FRP-RC beams without stirrups remains a significant challenge in modern structural design. This study proposes an improved version of the JSCE design equation to enhance the accuracy of shear strength prediction for FRP-RC beams without shear reinforcement. The effectiveness of the proposed equation is validated through comparative analysis with existing design models. The analysis results indicate that the proposed formula provides higher accuracy compared to the JSCE formula, with improvements of up to 20.6% in the mean value and 16.4% in the coefficient of variation, thereby enhancing reliability and safety in the design of FRP-reinforced structural members.

Keywords: Concrete beam, shear strength, fiber reinforced polymer (FRP), design model.

1. GIỚI THIỆU

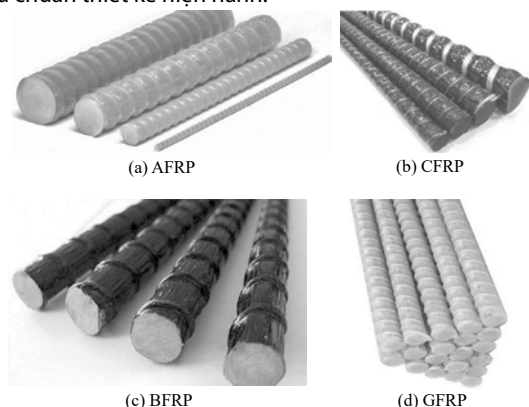
Trong các công trình bê tông cốt thép truyền thống, sự ăn mòn cốt thép là một trong những nguyên nhân chủ yếu làm suy giảm độ bền và rút ngắn tuổi thọ của kết cấu, đặc biệt nghiêm trọng trong các môi trường xâm thực như vùng ven biển hoặc khu vực ngập mặn. Nhằm khắc phục hạn chế này, thanh cốt sợi polymer gia cường (FRP, Hình 1) đã được nghiên cứu và ứng dụng như một giải pháp thay thế đầy hứa hẹn cho cốt thép truyền thống trong kết cấu bê tông cốt thép. Với khả năng chống ăn mòn vượt trội, trọng lượng nhẹ, cường độ kéo cao và tính ổn định trong nhiều điều kiện môi trường khắc nghiệt, vật liệu FRP không chỉ góp phần nâng cao độ bền công trình mà còn mang lại nhiều lợi ích về mặt thi công, vận chuyển và bảo trì công trình trong suốt vòng đời sử dụng.

Về mặt thi công, thanh cốt sợi FRP có trọng lượng nhẹ hơn đáng kể

so với thanh thép, giúp đơn giản hóa quá trình vận chuyển, xử lý và lắp đặt tại công trường, từ đó góp phần rút ngắn thời gian thi công và giảm chi phí lao động. Bên cạnh đó, khả năng dễ cắt, tạo hình và bảo trì cũng làm tăng tính linh hoạt của vật liệu này, thúc đẩy việc ứng dụng rộng rãi trong ngành Xây dựng hiện đại. Về mặt kết cấu, thanh FRP sở hữu cường độ kéo cao và có thể được sản xuất với nhiều mức độ cứng và độ bền khác nhau, đặc biệt là trong trường hợp thanh CFRP, cho phép đáp ứng đa dạng các yêu cầu thiết kế. Tuy nhiên, khác với thanh thép truyền thống, FRP thể hiện ứng xử đàn hồi tuyến tính cho đến khi phá hủy mà không trải qua giai đoạn chảy dẻo [1-2]. Điều này có thể dẫn đến hiện tượng phá hoại giòn bất ngờ nếu không được tính đến đầy đủ trong quá trình thiết kế và bố trí chi tiết cốt thép, đây là một yếu tố quan trọng cần cân nhắc khi sử dụng thanh FRP trong các dầm bê tông cốt thép [3-4].

Dự đoán chính xác cường độ chịu cắt của dầm bê tông cốt thép

FRP (FRP-RC) là yếu tố then chốt trong thiết kế và đánh giá an toàn kết cấu. Khác với các dầm sử dụng cốt thép thông thường, dầm FRP-RC thể hiện những đặc điểm cơ học đặc thù về cơ chế truyền lực cắt, như đã được làm rõ trong nhiều nghiên cứu trước. Guadagnini [5] đã thực hiện một nghiên cứu chuyên sâu nhằm so sánh quá trình phát triển cơ chế cắt giữa dầm bê tông cốt thép và dầm sử dụng cốt thanh FRP. Kết quả cho thấy biến dạng trong cốt FRP (chịu uốn và chịu cắt) có thể đạt mức cao hơn nhiều so với giới hạn được quy định trong các tiêu chuẩn thiết kế hiện hành.



Hình 1. Các loại thanh FRP

Ngoài ra, chiều rộng vết nứt ở các dầm sử dụng FRP có xu hướng tăng mạnh theo mức tải, gây suy giảm đáng kể hiệu ứng ma sát dọc theo vết nứt, từ đó làm giảm hiệu quả liên kết cốt liệu. Ở cấp tải gần phá hoại, dầm FRP-RC xuất hiện các vết nứt nghiêm trọng hơn so với dầm cốt thép thông thường. Wegian và Abdalla [6] đã đánh giá khả năng chịu cắt của các dầm được gia cường uốn bằng các loại FRP khác nhau như CFRP và GFRP, thông qua thí nghiệm uốn bốn điểm. Kết quả cho thấy, do mô đun đàn hồi thấp hơn đáng kể so với thép, dầm FRP-RC thể hiện hành vi đàn hồi tuyến tính cho đến khi xuất hiện vết nứt, sau đó chuyển sang trạng thái tuyến tính với độ cứng suy giảm rõ rệt.

Đáng chú ý, khả năng chịu cắt do hiệu ứng chốt giữa cốt thanh FRP và bê tông giảm khoảng 70% so với các dầm sử dụng cốt thép. Các nghiên cứu của El-Sayed et al. [7] và Alam et al. [8] cũng chỉ ra rằng độ cứng dọc và hàm lượng cốt FRP có ảnh hưởng đáng kể đến cường độ chịu cắt. Cụ thể, trong trường hợp không có cốt thép cắt, cường độ cắt của dầm tăng tỷ lệ thuận với độ cứng dọc của cốt FRP. Mô đun đàn hồi hoặc tỷ lệ cốt FRP càng lớn thì cường độ chịu cắt càng cao. Alam và cộng sự [8] còn nhấn mạnh mối quan hệ tuyến tính giữa cường độ cắt chuẩn hóa và căn bậc ba của độ cứng dọc cốt FRP. Trong một nghiên cứu gần đây, Betschoga et al. [9] đã khảo sát ảnh hưởng của điều kiện biên (dầm đơn và dầm console) và kiểu tải trọng (tập trung và phân bố đều) đến khả năng chịu cắt của dầm FRP-RC không có cốt thép cắt. Kết quả thực nghiệm chỉ ra sự khác biệt đáng kể về vị trí hình thành vết nứt cắt quan trọng, từ đó dẫn đến sự phát triển của khái niệm "dải cắt quan trọng" cho dầm FRP-RC. Khái niệm này đã được kiểm chứng và hiệu chỉnh bằng các dữ liệu thực nghiệm hiện có.

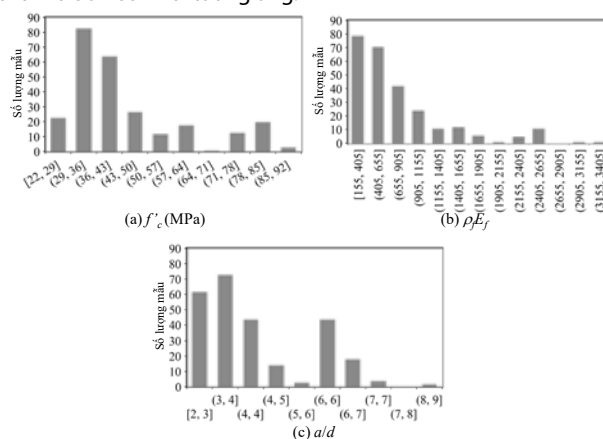
Để phục vụ mục tiêu thiết kế thực tiễn và đánh giá hiệu suất kết cấu, nhiều phương pháp dự đoán cường độ chịu cắt của dầm FRP-RC không có cốt thép cắt đã được đề xuất, chủ yếu dựa trên cơ sở thực nghiệm hoặc bán thực nghiệm. Các công thức này hiện được tích hợp trong một số tiêu chuẩn và hướng dẫn thiết kế phổ biến như JSCE [10], ACI 440.11-22 [11] và CAN/CSA S806-12 [12]. Trong đó, hướng dẫn ACI 440.11-22 [11] xây dựng công thức tính toán cường độ cắt dựa trên phân tích mặt cắt nứt, có xét đến độ cứng dọc trực của thanh FRP trong vùng chịu nén. Trong khi đó, tiêu chuẩn CAN/CSA S806-12 [12] của Hiệp hội Tiêu chuẩn Canada dựa trên phương pháp lý thuyết trường nén sửa đổi (MCFT) do Vecchio và Collins phát triển.

Tuy nhiên, các nghiên cứu trước đây đã chỉ ra rằng những công thức thiết kế này có thể dẫn đến xu hướng đánh giá sai lệch, quá cao hoặc quá thấp, về khả năng chịu cắt của dầm FRP-RC, gây ra sự phân tán đáng kể trong kết quả dự đoán [13,14]. Do đó, nghiên cứu này áp dụng các tiêu chuẩn hiện hành để đánh giá khả năng dự đoán của chúng trên một bộ dữ liệu mở rộng hơn. Đồng thời, một điều chỉnh được đề xuất cho công thức JSCE nhằm nâng cao độ chính xác trong dự đoán cường độ cắt của dầm FRP-RC không có cốt đai.

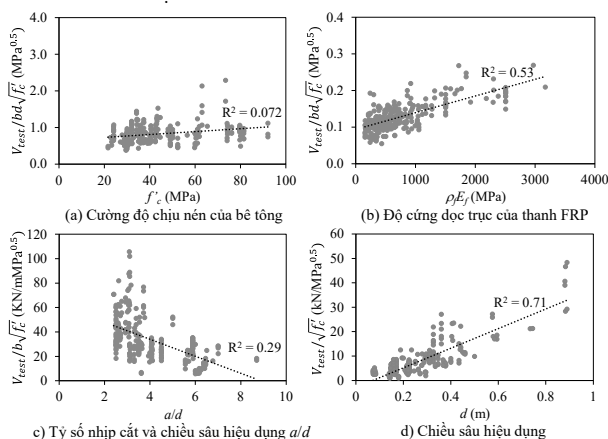
2. THU THẬP SỐ LIỆU

2.1. Xây dựng cơ sở dữ liệu

Nhiều thí nghiệm chịu cắt trên dầm bê tông cốt thanh FRP đã được thực hiện nhằm phân tích ảnh hưởng của các tham số thiết kế khác nhau đến cường độ chịu cắt của dầm FRP-RC. Cơ sở dữ liệu được sử dụng trong nghiên cứu này bao gồm tổng cộng 264 mẫu dầm FRP-RC không có cốt thép cắt, được tổng hợp từ 41 nghiên cứu độc lập. Hình 2 minh họa sự phân bố số lượng mẫu theo các thông số thiết kế và thử nghiệm khác nhau. Cơ sở dữ liệu bao quát phạm vi rộng các đặc điểm hình học và vật liệu, bao gồm: cường độ nén của bê tông (f'_c) từ 21.6 đến 92.0 MPa; độ cứng dọc trực của cốt thanh FRP, biểu thị qua ρE_f , dao động từ 155 đến 3171 MPa; tỷ lệ nhíp cắt trên chiều sâu hiệu dụng (a/d) trong khoảng từ 2.4 đến 8.7; và các loại thanh FRP khác nhau như Aramid (AFRP), Basalt (BFRP), Carbon (CFRP) và Glass (GFRP). Cần lưu ý rằng trong các trường hợp không có thông tin cụ thể về biến dạng giới hạn của thanh FRP chịu uốn, giá trị này được tính bằng tỷ số giữa cường độ kéo đứt và mô đun đàn hồi tương ứng.



Hình 2. Phân bố dữ liệu dầm FRP-RC



Hình 3. Ảnh hưởng của các thông số thiết kế chính đến cường độ cắt chuẩn hóa của dầm FRP-RC

Từ cơ sở dữ liệu trên, Hình 3 trình bày ảnh hưởng của các tham số

thiết kế chính đến cường độ cắt của dầm FRP-RC. Để làm rõ hơn mối quan hệ giữa các tham số, cường độ cắt đã được chuẩn hóa. Kết quả phân tích thể hiện trong Hình 3 cho thấy các yếu tố như độ cứng dọc trục của cốt FRP ($R^2 = 0.53$), chiều sâu hiệu dụng ($R^2 = 0.71$) và tỷ lệ a/d ($R^2 = 0.29$) có ảnh hưởng đáng kể đến cường độ chịu cắt. Ngược lại, cường độ nén của bê tông ($R^2 = 0.072$) cho thấy ảnh hưởng tương đối thấp. Các xu hướng quan sát được này phù hợp với các kết quả được ghi nhận trong các nghiên cứu trước đây [7, 8, 13].

2.2. Các tham số ảnh hưởng đến khả năng chịu cắt của dầm FRP-RC

Thông qua các nghiên cứu số và thực nghiệm, nhiều yếu tố ảnh hưởng đến khả năng chịu cắt của dầm bê tông cốt thanh FRP (FRP-RC) đã được các nhà nghiên cứu xác định và phân tích. Kết quả thí nghiệm trước đó cho thấy sức chịu cắt của dầm FRP-RC bị chi phối bởi nhiều thông số thiết kế, bao gồm độ cứng dọc của cốt thanh FRP ($\rho_f E_f$), cường độ chịu nén của bê tông (f'_c), chiều sâu hiệu dụng của dầm (d) và tỷ lệ giữa nhịp cắt và chiều sâu hiệu dụng (a/d).

Trong các mô hình dự đoán, khi độ cứng dọc của thanh FRP tăng, sức chịu cắt của dầm cũng tăng tương ứng, phù hợp với kết quả thực nghiệm của Yost và cộng sự [2]. Mặc dù sự gia tăng cường độ chịu nén của bê tông cũng góp phần cải thiện khả năng chịu cắt, tác động này được đánh giá là không đáng kể. Thực tế, cường độ nén cao hơn có thể nâng cao cường độ kéo của bê tông, từ đó đóng góp vào sức kháng cắt tổng thể, tuy nhiên đồng thời làm giảm chiều sâu của vùng bê tông nén. Bên cạnh đó, tất cả các mô hình đều cho thấy xu hướng tăng cường độ chịu cắt tỷ lệ thuận với chiều sâu hiệu dụng của dầm. Tuy nhiên, các mô hình theo JSCE [10] và ACI 440.11-22 [11] không xét đến ảnh hưởng của tỷ lệ a/d , dẫn đến các dự đoán mang tính thận trọng và thiếu chính xác, với giá trị sức chịu cắt gần như không đổi cho các dầm FRP-RC có tỷ lệ a/d khác nhau.

3. ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG DỰ ĐOÁN CỦA CÁC MÔ HÌNH TÍNH TOÁN HIỆN TẠI

3.1. Các mô hình tính toán

Một phân tích so sánh đã được thực hiện nhằm đánh giá hiệu quả của mô hình đề xuất so với các phương pháp thiết kế hiện hành trong dự đoán sức chịu cắt của dầm FRP-RC. Cụ thể, ba tiêu chuẩn thiết kế phổ biến, JSCE [10], ACI 440.11-22 [11], và CAN/CSA S806 [12], đã được sử dụng để tính toán và so sánh. Các mô hình này đều xem xét các yếu tố ảnh hưởng chính đến cường độ cắt, bao gồm cường độ chịu nén của bê tông f'_c , hàm lượng và mô đun đàn hồi của thanh FRP (ρ_f , E_f), cùng với các hệ số hiệu chỉnh hình học như tỷ lệ giữa nhịp cắt và chiều sâu hiệu dụng (a/d) và chiều sâu hiệu dụng của dầm (d). Tuy nhiên, mỗi mô hình thiết kế lại áp dụng phương pháp tiếp cận riêng biệt và có những giới hạn sử dụng khác nhau, phản ánh sự khác biệt trong nền tảng thực nghiệm cũng như các giả định lý thuyết được sử dụng trong quá trình xây dựng các công thức đánh giá.

Theo ACI 440.11-22 [11], khả năng chịu cắt của dầm thanh FRP-RC được xác định như sau:

$$V_n = \frac{2}{5} \sqrt{f'_c} b k d \geq V_{c, \min}, \text{ với } V_{c, \min} = 0.067 \sqrt{f'_c} b d \quad (1a)$$

Hệ số k được xác định theo:

$$k = \sqrt{2 \rho_f \frac{E_f}{E_c} + \left(\rho_f \frac{E_f}{E_c} \right)^2} - \rho_f \frac{E_f}{E_c} \quad (1b)$$

$$\lambda_s = \sqrt{2 / (1 + 0.004 d)} \leq 1.0 \quad (1c)$$

Quy định thiết kế chịu cắt theo tiêu chuẩn CAN/CSA S806 [12] được đề xuất như sau:

$$V_n = 0.05 k_m k_s k_a \left(1 + (\rho_f E_f)^{1/3} \right) f'_c{}^{1/3} b d \quad (2a)$$

$$0.11 \sqrt{f'_c} b d \leq V_n \leq 0.22 \sqrt{f'_c} b d \quad (2b)$$

$$k_m = (d / a)^{0.5} \leq 1 \quad (2c)$$

$$k_a = \begin{cases} 1.0 & \text{for } (a / d) \geq 2.5 \\ 2.5 d / a & \text{for } (a / d) < 2.5 \end{cases} \quad (2d)$$

$$k_s = \begin{cases} 1.0 & \text{for } d \leq 300 \text{ mm} \\ \frac{750}{450 + d} & \text{for } d > 300 \text{ mm} \end{cases} \quad (2e)$$

Theo tiêu chuẩn thiết kế JSCE [10], khả năng chịu cắt của dầm FRP-RC được xây dựng như sau:

$$V_c = \beta_d \beta_p f_{vud} b d \quad (3a)$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{1000 / d} \leq 1.5 \text{ (d in mm)} \quad (3b)$$

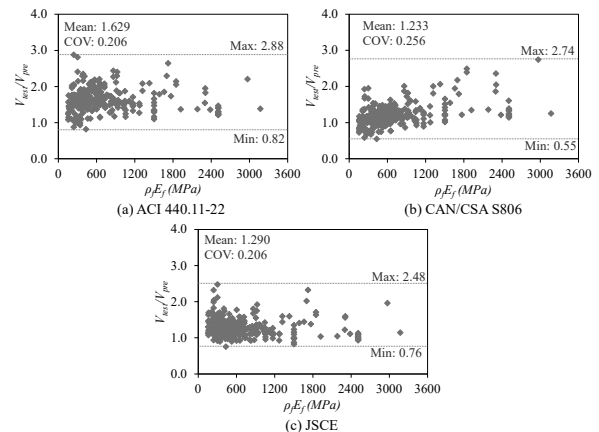
$$\beta_p = \left(100 \rho_f \frac{E_f}{E_s} \right)^{1/3} \leq 1.5 \quad (3c)$$

$$f_{vud} = 0.2 (f'_c)^{1/3} \leq 0.72 \quad (3d)$$

3.2. Đánh giá kết quả

Hình 4 thể hiện sự so sánh giữa cường độ chịu cắt của dầm FRP-RC được dự đoán từ các tiêu chuẩn thiết kế hiện hành và kết quả thực nghiệm. Kết quả cho thấy tiêu chuẩn ACI 440.11-22 (Hình 4(a)) cung cấp các dự đoán có tính an toàn cao trên toàn bộ phạm vi độ cứng trục của thanh FRP, với tỷ lệ cường độ trung bình đạt 1.629. Sự an toàn này phần lớn bắt nguồn từ việc tiêu chuẩn ACI 440.11-22 xây dựng trên mô hình thực nghiệm của Tureyen và Frosch [14], trong đó cường độ cắt được điều chỉnh theo tỷ số mô đun đàn hồi (E_f/E_c) thay vì trực tiếp sử dụng độ cứng trục của FRP ($\rho_f E_f$).

Ngược lại, tiêu chuẩn CAN/CSA S806 (Hình 4(b)) có xu hướng đánh giá gần đúng hơn khả năng chịu cắt của dầm. Tuy nhiên, trong trường hợp độ cứng trục của FRP vượt quá 1200 MPa, CAN/CSA S806 có xu hướng đánh giá thấp khả năng chịu cắt của dầm dẫn đến sai số dự đoán đáng kể. Trong số ba tiêu chuẩn được phân tích, mô hình JSCE (Hình 4(c)) cho thấy mức độ phù hợp cao nhất với dữ liệu thực nghiệm, với tỷ lệ cường độ trung bình đạt 1,290 và hệ số biến thiên (COV) tương đối thấp là 0.206. Mô hình JSCE tính đến đồng thời ảnh hưởng của độ cứng trục FRP, cường độ chịu nén của bê tông và chiều sâu hiệu dụng, từ đó nâng cao độ chính xác trong dự đoán cường độ chịu cắt.



Hình 4. So sánh kết quả dự đoán của các mô hình hiện tại với kết quả từ thực nghiệm

4. ĐỀ XUẤT MÔ HÌNH DỰ ĐOÁN KHẢ NĂNG CHỊU CẮT CỦA DẦM THANH FRP-RC

Từ kết quả đánh giá trên, có thể nhận thấy rằng tiêu chuẩn JSCE là mô hình dự đoán khả năng chịu cắt của dầm FRP-RC hiệu quả nhất trong số các tiêu chuẩn thiết kế hiện hành. Tuy nhiên, mức độ phân tán và sai số trong dự đoán theo JSCE vẫn còn đáng kể. Nguyên nhân có thể bắt nguồn từ việc công thức của JSCE chưa xem xét đến ảnh hưởng của tỷ lệ giữa nhịp chịu cắt và chiều sâu hiệu dụng (a/d). Do đó, nghiên cứu này đề xuất cải tiến mô hình JSCE bằng cách bổ sung yếu tố a/d vào phương trình dự đoán.

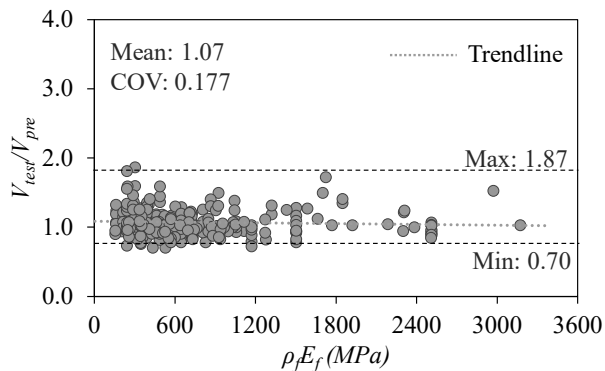
Việc đưa a/d vào mô hình là hợp lý về mặt cơ học, bởi vì tỷ số này có ảnh hưởng đáng kể đến cơ chế truyền lực và khả năng chịu cắt của dầm bê tông cốt thép. Cụ thể, các dầm có tỷ số a/d thấp (thường nhỏ hơn 2.5) thường phát triển cơ chế truyền lực theo dạng vòm hoặc mô hình thanh-nút (strut-and-tie), giúp gia tăng đáng kể khả năng chịu cắt nhờ vào sự truyền tải trọng hiệu quả qua các thanh nén. Ngược lại, khi tỷ số a/d lớn hơn 2.5, cơ chế phá hoại chủ yếu là do kéo xiên, trong đó ứng suất kéo trong vùng bụng dầm trở thành yếu tố chi phối, làm giảm đáng kể cường độ cắt tổng thể.

Vì vậy, tỷ lệ a/d không chỉ ảnh hưởng đến phân bố nội lực mà còn đóng vai trò quan trọng trong xác định cơ chế phá hoại của dầm, và cần được tích hợp vào cả các nghiên cứu thực nghiệm lẫn mô hình dự đoán, đặc biệt là đối với dầm sử dụng cốt sợi polymer (FRP), nơi mà các cơ chế chảy dẻo truyền thống không còn hiệu lực. Mô hình đề xuất dự đoán cường độ chịu cắt của dầm FRP-RC được thể hiện trong công thức (4) dưới đây:

$$V_c = \beta_d \beta_p f_{vud} \alpha \left(\frac{a}{d} \right)^{\beta} b d \quad (4)$$

Các tham số β_d , β_p , và f_{vud} được xác định như thể hiện ở công thức (3). Các hệ số hiệu chỉnh α và β được xác định thông qua phương pháp hiệu chỉnh mô hình phi tuyến, sử dụng kỹ thuật tối ưu hóa để khớp mô hình với tập dữ liệu thực nghiệm. Kết quả hiệu chỉnh cho thấy các hệ số phù hợp nhất là $\alpha = 1.8$ và $\beta = 0.3$.

Hình 5 trình bày mối quan hệ giữa giá trị dự đoán từ công thức đề xuất (4) và kết quả thực nghiệm. Kết quả cho thấy công thức này cho dự đoán cường độ chịu cắt của dầm FRP-RC với độ chính xác cao hơn và hệ số biến động nhỏ hơn so với các mô hình khác. Cụ thể, tỷ lệ giữa giá trị thực nghiệm và giá trị dự đoán V_{test}/V_{pre} có giá trị trung bình (mean) là 1.07 và hệ số biến động (COV) là 0.177. Kết quả này thể hiện sự cải thiện đáng kể so với công thức JSCE, với mức cải thiện lên đến 20.6% về giá trị trung bình và 16.4% về hệ số biến động.



Hình 5. Kết quả dự đoán của mô hình đề xuất

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đánh giá hiệu quả dự đoán cường độ chịu cắt của dầm FRP-RC theo các tiêu chuẩn thiết kế hiện hành, đồng thời

đề xuất một mô hình cải tiến dựa trên tiêu chuẩn JSCE bằng cách tích hợp thêm tham số a/d (tỷ lệ giữa chiều dài nhịp cắt và chiều sâu hiệu dụng). Cơ sở dữ liệu bao gồm 264 mẫu dầm FRP-RC không sử dụng cốt đai chịu cắt. Kết quả phân tích cho thấy hầu hết các tiêu chuẩn thiết kế hiện nay có xu hướng đánh giá thấp khả năng chịu cắt của dầm, dẫn đến sai số dự đoán đáng kể. Tuy nhiên, khi tích hợp tham số a/d vào mô hình JSCE, độ chính xác của dự đoán được cải thiện rõ rệt, với giá trị trung bình V_{test}/V_{pre} đạt 1.07 và hệ số biến động (COV) là 0.177. Những kết quả này không chỉ khẳng định hiệu quả của mô hình cải tiến trong việc dự đoán chính xác cường độ chịu cắt, mà còn đóng góp quan trọng vào việc nâng cao hiểu biết về cơ chế chịu cắt của dầm FRP-RC và ảnh hưởng của các tham số thiết kế đến hành vi kết cấu. Đây là nền tảng vững chắc cho các nghiên cứu tiếp theo nhằm hoàn thiện mô hình thiết kế và thúc đẩy khả năng ứng dụng thực tiễn trong kỹ thuật xây dựng.

Cần lưu ý rằng trong nghiên cứu này, các kết quả chủ yếu tập trung vào dầm bê tông cốt thanh FRP không có cốt đai, đặc biệt chưa xem xét đến trường hợp sử dụng cốt đai FRP. Do đó, một hướng nghiên cứu tiềm năng trong tương lai là mở rộng khảo sát ảnh hưởng của cốt đai FRP đến cơ chế chịu cắt, nhằm làm rõ hơn ứng xử tổng thể và nâng cao độ tin cậy trong thiết kế kết cấu FRP-RC.

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn Trường Đại học Đồng Á, Đà Nẵng đã tài trợ cho nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Pilakoutas, K. (2000). Composites in concrete construction. Failure analysis of industrial composite materials, 449-497.
- [2]. Yost, J. R., Gross, S. P., & Dinehart, D. W. (2001). Shear strength of normal strength concrete beams reinforced with deformed GFRP bars. Journal of composites for construction, 5(4), 268-275.
- [3]. Michaluk, C. R., Rizkalla, S. H., Tadros, G., & Benmokrane, B. (1998). Flexural behavior of one-way concrete slabs reinforced by fiber reinforced plastic reinforcements. Structural Journal, 95(3), 353-365.
- [4]. Kara, I. F. (2011). Prediction of shear strength of FRP-reinforced concrete beams without stirrups based on genetic programming. Advances in Engineering Software, 42(6), 295-304.
- [5]. Guadagnini, M. (2002). Shear behaviour and design of FRP RC beams (Doctoral dissertation).
- [6]. Wegian, F. M., & Abdalla, H. A. (2005). Shear capacity of concrete beams reinforced with fiber reinforced polymers. Composite Structures, 71(1), 130-138.
- [7]. El-Sayed, A. K., El-Salakawy, E. F., & Benmokrane, B. (2006). Shear strength of FRP-reinforced concrete beams without transverse reinforcement. ACI Structural Journal, 103(2), 235.
- [8]. Alam, M. S., & Hussein, A. (2011). Experimental investigation on the effect of longitudinal reinforcement on shear strength of fibre reinforced polymer reinforced concrete beams. Canadian Journal of Civil Engineering, 38(3), 243-251.
- [9]. Betschoga, C., Tung, N. D., & Tue, N. V. (2021). Investigations on the influence of boundary and loading conditions on the shear resistance of FRP concrete beams without shear reinforcement. Composite Structures, 262, 113335.
- [10]. AJapan Society of Civil Engineers (JSCE). Recommendation for design and construction of concrete structures using continuous fiber reinforcing materials, concrete engineering series no. 23; 1997. p. 325.
- [11]. ACI Committee 440. Building Code Requirements for Structural Concrete Reinforced with Glass Fiber-Reinforced Polymer (GFRP) Bars-Code and Commentary. ACI 440.11-22. Farmington Hills: American Concrete Institute; 2022.
- [12]. Canadian Standard Association CSA 2021. CAN/CSA S8-06, Canadian Highway Bridge Design Code, Rexdale, Ontario.
- [13]. Choi, K. K., Kim, J. C., & Park, H. G. (2016). Shear Strength Model of Concrete Beams Based on Compression Zone Failure Mechanism. ACI Structural Journal, 113(5).
- [14]. Tureyen, A. K., & Frosch, R. J. (2003). Concrete shear strength: Another perspective. Structural Journal, 100(5), 609-615.

Cấp nước các khu vực đô thị tỉnh Quảng Ninh hướng tới bảo đảm cấp nước an toàn

Water supply in urban areas of Quang Ninh province towards ensuring safe water supply

> THS PHẠM NGỌC CHÍNH

Bộ Xây dựng; Email: chinhphamngoc.dhkt@gmail.com

TÓM TẮT

Quảng Ninh nằm ở miền Bắc Việt Nam, có vị trí đặc biệt quan trọng về địa chính trị, kinh tế, quốc phòng, an ninh và đối ngoại. Tỉnh đóng vai trò là một trong những đầu tàu phát triển của vùng kinh tế trọng điểm phía Bắc, hội tụ nhiều điều kiện thuận lợi cho quá trình công nghiệp hóa, hiện đại hóa đất nước. Quảng Ninh có tỷ lệ đô thị hóa cao, với nhiều khu vực đô thị được tập trung đầu tư xây dựng theo hướng ngày càng khang trang, hiện đại. Hạ tầng kỹ thuật không ngừng được cải thiện, trong đó hệ thống cấp nước đang dần đáp ứng tốt hơn nhu cầu sử dụng của người dân. Tuy nhiên, trước những tác động ngày càng rõ nét của biến đổi khí hậu, công tác quản lý cấp nước và bảo đảm cấp nước an toàn đang phải đối mặt với nhiều thách thức. Bài viết này tập trung phân tích thực trạng, đánh giá các ảnh hưởng của biến đổi khí hậu, đồng thời đề xuất bước đầu một số giải pháp nhằm góp phần nâng cao hiệu quả quản lý cấp nước tại khu vực đô thị, phục vụ tốt hơn nhu cầu của người dân.

Từ khóa: Khu vực đô thị, cấp nước khu vực đô thị, cấp nước an toàn, biến đổi khí hậu, quản lý rủi ro.

ABSTRACT

Quang Ninh is located in the North of Vietnam, has a geopolitical, economic, foreign affairs position and is especially important in terms of national defense and security. As a locomotive of the northern key economic region, it has favorable conditions for important socio-economic development in the process of industrialization and modernization of the country. Quang Ninh has a high urbanization rate, many urban areas are focused on investment and construction to gradually become modern and spacious. Technical infrastructure is improved, the water supply system gradually meets the water needs of the people. However, in the face of the impacts of climate change, water supply management to ensure safe water supply is also facing significant challenges. The article focuses on analyzing the current situation, assessing the impacts of climate change and initially proposing some solutions to contribute to more effective urban water supply management for the people.

Keywords: Urban area, urban area water supply, safe water supply, climate change, risk management.

1. BỐI CẢNH TỰ NHIÊN VÀ KINH TẾ - XÃ HỘI TỈNH QUẢNG NINH

1.1. Vị trí địa lý, điều kiện tự nhiên

Vị trí: Quảng Ninh là một tỉnh nằm ở phía Đông Bắc nước ta, có vị trí địa chính trị, kinh tế, đối ngoại và đặc biệt quan trọng về quốc phòng, an ninh. Phía Bắc giáp nước Cộng hòa Nhân dân Trung Hoa; Phía Nam, Tây và Tây Nam giáp TP Hải Phòng; Phía Đông giáp biển; Phía Tây và Tây Bắc giáp tỉnh Lạng Sơn và Bắc Ninh.

Điều kiện tự nhiên: Quảng Ninh có diện tích tự nhiên trên 12.000 km² trong đó có 6.206,9 km² đất liền. Tỉnh có khoảng 80% diện tích đất là đất đồi núi với bề rộng 195 km từ Đông sang Tây và trải dài 102 km từ Bắc xuống Nam. Với địa hình đa dạng từ miền núi đến trung du và đồng bằng duyên hải, vùng ven biển và các hải đảo, đã tạo cho Quảng Ninh một hệ khí hậu, hệ sinh thái, địa chất đa dạng. Địa hình vùng đồi núi phức tạp chia tỉnh thành 2 miền rõ rệt: Miền Đông (từ Tiên Yên qua Bình Liêu, Hải Hà, Đầm Hà đến Móng Cái) và miền Tây (từ Tiên Yên qua Ba Chẽ, phía Bắc phường Hạ Long, Uông Bí và thấp dần xuống phía bắc phường Đông Triều. Vì địa hình miền núi chia cắt tạo nên sự phân bố dân cư và phát triển kinh tế xã hội, chênh lệch vùng miền giữa miền Đông và miền Tây, vùng núi trung

du và dải duyên hải. Mặt khác do địa hình nhiều đồi núi cũng gây khó khăn trong phát triển kinh tế (hạn chế về quỹ đất, thiếu mặt bằng cho phát triển kinh tế), bảo đảm an toàn công trình hạ tầng kỹ thuật cũng như giữ gìn, bảo đảm an ninh, an toàn trật tự xã hội của tỉnh.

Tài nguyên Nước: Quảng Ninh có 2 nguồn nước chủ yếu, nguồn nước mặt từ các hồ chứa có vai trò quan trọng trong việc ổn định nguồn nước phục vụ cho cấp nước sinh hoạt, công nghiệp và tưới nông nghiệp. Nguồn nước dưới đất tương đối giàu nhưng khả năng khai thác, sử dụng phục vụ cho phát triển kinh tế xã hội còn gặp nhiều khó khăn do đặc điểm địa hình chia cắt, sự phân bố các tầng chứa nước chủ yếu trong khe nứt, đới dập vỡ kiến tạo.[2]

1.2. Các điều kiện phát triển kinh tế - xã hội

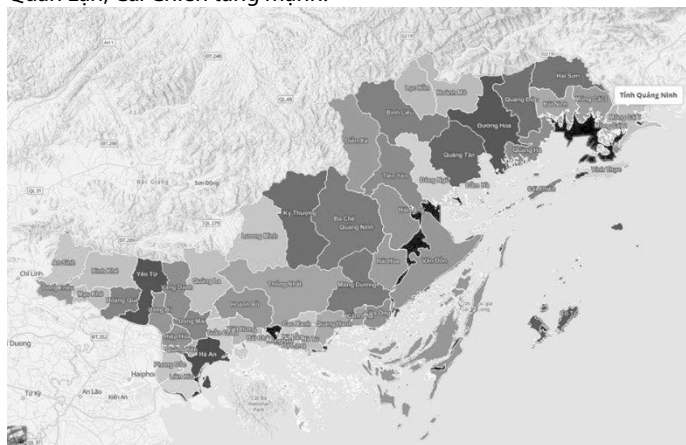
Hệ thống các đô thị trước đây của tỉnh Quảng Ninh nay đã trở thành các khu vực đô thị và cơ sở công nghiệp, cảng biển quan trọng, tập trung chủ yếu tại khu vực ven biển. Đây chính là vùng động lực chính, thúc đẩy kinh tế Quảng Ninh phát triển theo hướng dịch vụ và công nghiệp công nghệ cao. Trong số 6 khu vực đô thị của tỉnh, có 4 khu vực nằm ven biển gồm: Hạ Long, Cẩm Phả, Móng Cái và Quảng Yên. Đồng thời, 3 trong số 5 khu kinh tế cũng nằm ở

ven biển, bao gồm: Khu kinh tế Vân Đồn, Khu kinh tế cửa khẩu Móng Cái và Khu kinh tế ven biển Quảng Yên.

Hệ thống cảng biển được đầu tư tốt như cảng Cái Lân (cảng nước sâu duy nhất ở miền Bắc), cảng tàu khách quốc tế Tuần Châu, cảng tàu khách quốc tế Hòn Gai, cảng Hòn Nét, Vạn Gia, Mũi Chùa, Tiên Phong - Đầm Nhà Mạc và đang đầu tư bến cảng tổng hợp Vạn Ninh, bến cảng cao cấp Ao Tiên... đáp ứng nhu cầu vận chuyển hành khách và hàng hóa.

Kết cấu hạ tầng ven biển đã và đang được đầu tư khá tốt: Cảng hàng không quốc tế Vân Đồn, đường cao tốc Hạ Long đến cao tốc Hà Nội - Hải Phòng, cảng Cái Lân, hệ thống đường bộ, giao thông thủy nội bộ, đường bao biển Hạ Long - Cẩm Phả...

Du lịch biển đảo và nuôi trồng thủy sản là một trong những thế mạnh của du lịch Quảng Ninh, với dải bờ biển dài hơn 250 km, nối liền Vịnh Hạ Long với Vịnh Bái Tử Long, Vườn Quốc gia Bái Tử Long, đảo Cô Tô, Trà Cổ, Vịnh Thực... Ngoài ra các khu du lịch biển khác như: Vân Đồn, Cô Tô, các đảo trên Vịnh Bái Tử Long... cũng đang trở thành những điểm đến hấp dẫn của rất nhiều du khách. Trong vài năm trở lại đây, lượng khách du lịch đến các điểm mới như Cô Tô, Quan Lạn, Cái Chiên tăng mạnh.



Hình 1. Bản đồ hành chính tỉnh Quảng Ninh [9]

1.3. Các đơn vị hành chính và dân số khu vực đô thị tỉnh Quảng Ninh

Sau ngày 01/7/2025 tỉnh Quảng Ninh có 54 đơn vị hành chính cấp xã, gồm 22 xã, 30 phường và 02 đặc khu với số dân là 1.497.447 người trong đó dân số tại các phường (dân số đô thị) sau khi sắp xếp chiếm khoảng 1.147.000 người với tỷ lệ 76,6%.

Các khu vực đô thị tỉnh Quảng Ninh là các thị xã, thành phố trước đây như Đông Triều, Uông Bí (vùng than), Quảng Yên (vùng biển trù phú), Hạ Long (trung tâm chính trị, hành chính của tỉnh), Cẩm Phả (trung tâm vùng mỏ) và Móng Cái (cửa khẩu quốc tế) đây là những địa bàn tập trung mật độ dân số đô thị cao nhất của tỉnh. Số lượng các phường, diện tích và dân số mỗi khu vực đô thị xem bảng 1.1

Bảng 1.1. Các khu vực đô thị tỉnh Quảng Ninh sau ngày 01/7/2025

STT	Khu vực đô thị	Số phường	Diện tích (km ²)	Dân số (nghìn người)
	Tổng	30	1,840	1.147.900
1	Khu vực Đông triều	5	395,96	194.513
2	Khu vực Uông Bí	3	256,81	135.662
3	Khu vực Quảng Yên	6	249,48	169.900
4	Khu vực Hạ Long	9	404,36	336.866
5	Khu vực Cẩm Phả	4	288,38	180.760
6	Khu vực Móng Cái	3	245,47	98.342

(Nguồn: Tác giả tổng hợp từ nhiều nguồn)

2. THỰC TRẠNG HOẠT ĐỘNG VÀ QUẢN LÝ, VẬN HÀNH HỆ THỐNG CẤP NƯỚC TẠI CÁC ĐÔ THỊ TỈNH QUẢNG NINH

2.1. Thực trạng về hệ thống cấp nước

2.1.1. Về nguồn nước [2]

Nước mặt: Như ở trên đã trình bày nguồn nước mặt từ các sông trên địa bàn đặc biệt các hồ thủy lợi đóng vai trò quan trọng trong việc cung cấp nước thô cho sản xuất nước sinh hoạt. Trên địa bàn hiện có 180 hồ với tổng dung tích hữu ích khoảng 313,35 triệu m³; trong đó có 27 hồ chứa thực hiện cấp nước đa chức năng, với tổng dung tích hữu ích 257,43 triệu m³.

Trong những năm gần đây, dưới tác động của biến đổi khí hậu, tình trạng nắng nóng kéo dài và lượng mưa rất ít đã khiến mực nước tại các hồ chứa như hồ Yên Lập, hồ Cao Vân, hồ Đoàn Tĩnh... suy giảm nghiêm trọng vào mùa khô, gây nguy cơ thiếu hụt nguồn nước sinh hoạt. Đồng thời, các đợt triều cường diễn ra ngày càng thường xuyên và kéo dài cũng làm gia tăng tình trạng xâm nhập mặn vào nguồn nước tại một số sông như sông Mãn, Trung Lương... Trong thời gian nguồn nước bị nhiễm mặn, các nhà máy chỉ có thể vận hành ở mức 40-50% công suất thiết kế.

Chất lượng nguồn nước thô khai thác sử dụng để sản xuất nước sạch tại một số nơi đã bị ô nhiễm, xâm nhập mặn, hoặc có nguy cơ bị ô nhiễm nên tiềm ẩn nguy cơ thiếu hụt nguồn nước do ô nhiễm hoặc cạn kiệt.

Quy trình trồng và khai thác rừng trồng đầu nguồn nước hiện nay của các hộ dân, các doanh nghiệp được giao đất, giao rừng là chưa phù hợp. Cụ thể, toàn bộ khu vực đất rừng trồng đến chu kỳ khai thác đều được khai thác 100% diện tích dẫn đến tình trạng hoang hóa cục bộ trong thời gian dài. Việc này gây xói mòn đất, làm suy giảm khả năng điều tiết nước ở thượng nguồn, đặc biệt khi xảy ra mưa lớn. Sau khi khai thác, việc trồng rừng mới được thực hiện quá nhanh, khiến đất không có thời gian phục hồi tự nhiên. Điều này dẫn đến hiện tượng đất bạc màu, chai hóa và suy giảm nghiêm trọng chất lượng đất, ảnh hưởng đến hiệu quả trồng rừng lâu dài.

Ngoài ra, trong quá trình khai thác, hoạt động san ủi đất, bóc tách lớp thực bì và việc xe vận chuyển thường xuyên ra vào khu vực đã khiến một lượng lớn đất đá, cành lá bị cuốn trôi xuống lòng sông, gây bồi lắng, làm giảm dung tích chứa nước. Lá cây và vật liệu hữu cơ tích tụ lâu ngày trong lòng sông bị phân hủy, làm ô nhiễm nguồn nước phục vụ cho sản xuất nước sạch và đời sống sinh hoạt của người dân.

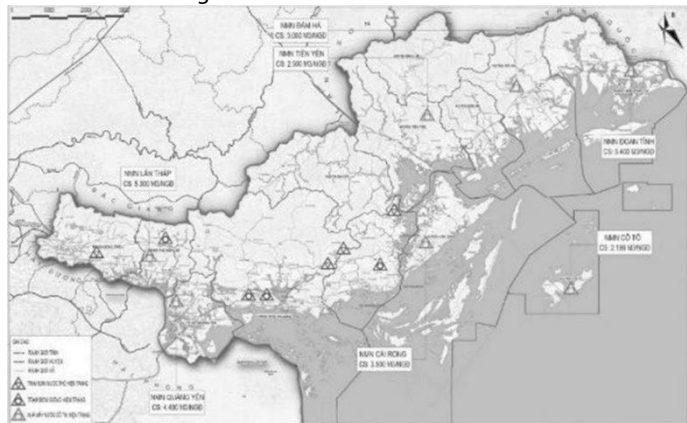
Tình trạng nước thải, rác thải từ hoạt động sản xuất công nghiệp, nông nghiệp, xây dựng và sinh hoạt tại khu vực thượng nguồn không qua xử lý mà xả thẳng ra môi trường đã gây ô nhiễm nguồn nước kéo dài, lặp đi lặp lại qua nhiều năm. Mặc dù tần suất và mức độ ô nhiễm có xu hướng giảm, nhưng vấn đề vẫn chưa được giải quyết triệt để. Điều này làm suy giảm cả chất lượng và trữ lượng của nguồn nước thô đầu vào phục vụ cho sản xuất nước sạch.

Nước dưới đất: Việc khai thác nước dưới đất đang bị hạn chế do nguy cơ suy giảm mực nước, xâm nhập mặn và chất lượng nước không đồng đều. Tại nhiều khu vực đô thị, nguồn nước ngầm đã bị ô nhiễm nghiêm trọng, không còn khả năng sử dụng. Một số nơi do khai thác quá mức, thiếu kiểm soát, đã dẫn đến tình trạng cạn kiệt nguồn nước ngầm, xâm nhập mặn, và tiềm ẩn nguy cơ gây sụt lún, đứt gãy tầng địa chất trong tương lai. Nhiều hộ đang khai thác, sử dụng nguồn nước ngầm tự phát, không qua xử lý, không được kiểm tra thường xuyên, tiềm ẩn các nguy cơ ảnh hưởng đến sức khỏe và chất lượng cuộc sống. Hiện nay nhiều giếng đã không còn khả năng khai thác.

2.1.2. Về nhà máy nước, trạm và các công trình xử lý nước

Hiện nay, Công ty Cổ phần cấp nước Quảng Ninh (Quawaco) đang quản lý và vận hành 25 nhà máy xử lý nước mặt cùng 20 giếng

khoan nước ngầm, với tổng công suất các nhà máy nước/trạm xử lý nước 257.050 m³/ngày.



Hình 2. Sơ đồ vị trí các nhà máy nước có công suất lớn [2]

Các nguy cơ gây mất an toàn trong xử lý nước:

+ Nhiều nhà máy hiện vẫn sử dụng dây chuyền công nghệ truyền thống, với hàm lượng công nghệ cao trong quá trình xử lý nước còn thấp. Việc định lượng và vận hành châm hóa chất vẫn phụ thuộc chủ yếu vào con người, dẫn đến nguy cơ sai sót trong quá trình xử lý nước là khó tránh khỏi.

- + Công tác xử lý Mangan trong nước đối với một số nguồn nước thô gặp khó khăn, tốn kém chi phí.

+ Nước nguồn sông Mần khi vào đợt triều cường dâng cao qua đập Đá Trắng, nước nhiễm mặn (độ mặn Clorua lớn $>1000\text{mg/l}$) không xử lý được, ảnh hưởng đến nguồn nước thô cấp cho nhà máy nước Hoà Bình.

2.1.3. Về mạng lưới cấp nước

Tổng số chiều dài đường ống cấp nước khoảng 2.286 km trong đó có 811 km đường ống truyền tải và 1.166 km đường ống phân phối.

Các nguy cơ gây mất an toàn của mạng lưới đường ống cấp nước:

+ Mạng lưới đường ống cấp nước trên địa bàn được xây dựng qua nhiều thời kỳ nên vật liệu sử dụng, chất lượng một số đường ống đã xuống cấp, nhiều đường ống cấp nước đã lắp đặt từ lâu, sử dụng vật liệu thép nên đã han gỉ, rò rỉ nước, ảnh hưởng đến chất lượng nước sạch và làm tăng tỷ lệ thất thoát nước của Công ty.

+ Nhiều khu vực còn tồn tại tình trạng bó ống nước kéo dài, các tuyến ống nhân dân tự đầu tư trước đây có tiết diện nhỏ, vật liệu thép, kẽm đã xuống cấp làm ảnh hưởng đến khả năng cấp nước, lưu lượng và áp lực, chất lượng nước cấp cho người dân.

+ Một số đường ống cấp nước hiện tại bị ảnh hưởng bởi các dự án đầu tư xây dựng khác như: Giao thông đô thị, thoát nước, cấp quang, cấp điện,... dẫn đến hư hỏng hoặc phải di dời... làm gián đoạn cấp nước, gây thất thoát nước và gây mất an toàn trong cấp nước.

2.2. Thực trạng về quản lý, vận hành hệ thống cấp nước

Công ty Cổ phần nước sạch Quảng Ninh đang thực hiện nhiệm vụ sản xuất, quản lý, vận hành và cung cấp nước sạch cho tất cả các phường (khu vực đô thị) và một số xã (khu vực nông thôn) của tỉnh Quảng Ninh.

Để thực hiện nhiệm vụ cấp nước sạch cho người dân trên địa bàn toàn tỉnh, tại mỗi khu vực đô thị, Công ty đã thành lập các xí nghiệp trực thuộc và tùy theo quy mô đô thị, điều kiện phân bố dân cư, địa hình và nguồn nước, một khu vực có tối thiểu một xí nghiệp hoặc có khu vực có 2 xí nghiệp cấp nước như ở Cẩm Phả và Hạ Long. Quy mô mỗi xí nghiệp Nước cũng khác nhau xí nghiệp tại Móng Cái có khoảng 70 người nhưng ở Hòn Gai hay Cẩm Phả số lượng có thể lên đến khoảng 150 -170 người.

Bảng 1.2. Hiện trạng cấp nước tại các khu vực đô thị trên địa bàn Quảng Ninh [5]

TT	Khu vực đô thị	Đơn vị cấp nước	Nguồn nước	Tổng công suất nhà máy (m ³ /ngđ)	Tổng mạng lưới (km)	Tỷ lệ người dân được cấp nước (%)	Tỷ lệ thất thoát (%)
1	Khu vực Đông Triều	Xí nghiệp Nước Đông Triều	Sông Trung Lương, nước ngầm	16.000	445,6	KV Đô thị: 75,01% KV ngoài đô thị: 23,32%	7,55
2	Khu vực Uông Bí	Xí nghiệp Nước Uông Bí	Hồ Yên Lập, nước ngầm	31.400	418,6	94,61	9,27
3	Khu vực Quảng Yên	Xí nghiệp Nước Quảng Yên	Hồ Yên Lập	12.900	472,5	KV Đô thị: 92,48 KV ngoài đô thị: 78,45	12,86
4	Khu vực Hạ Long	Xí nghiệp Nước Bãi Cháy	Hồ Yên Lập, sông Thác Nhòng	47.000	488,9	KV Đô thị: 114,71 KV ngoài đô thị: 76,79	7,87
		Xí nghiệp Nước Hòn Gai	Sông Mần, giếng ngầm	22.000	660,6		9,79
5	Khu vực Cẩm Phả	Nhà máy Nước Diễn Vọng	Hồ Cao Vân, hồ Khe Giữa	82.000	97,2	KV Đô thị: 106,64 KV ngoài đô thị: 50,12	8,64
		Xí nghiệp Nước Cẩm Phả	Đập Khe Cả, giếng ngầm	7.300	489,7		11,08
6	Khu vực Móng Cái	Xí nghiệp Nước Móng Cái	Hồ Đoan Tinh, hồ Kim Tinh	11.400	366,5	KV Đô thị: 49,99 KV ngoài đô thị: 67,68	8,15

Về nâng cao năng lực quản lý vận hành hệ thống cấp nước đáp ứng yêu cầu mới được Công ty quan tâm đặc biệt ứng dụng công nghệ trong quản lý, quản trị doanh nghiệp bao gồm:

- Tổ chức thực hiện kế hoạch điều chỉnh, bổ sung công nghệ xử lý nước hiện đại, tiết kiệm hóa chất, nhằm nâng cao chất lượng nước đầu ra. Các nhà máy và khu xử lý nước mới cần được xây dựng theo mô hình tự động hóa cao; đồng thời tăng cường công tác duy tu, bảo dưỡng máy móc, thiết bị và quản lý chất lượng nước sạch tại

đầu ra nhà máy, đảm bảo cung cấp sản phẩm đạt chuẩn phục vụ khách hàng.

- Triển khai hệ thống quản trị, điều hành mạng lưới cấp nước thông minh với các thiết bị quan trắc chỉ số chất lượng nước liên tục, online (đo các chỉ số pH, độ đục, Clo dư từ đầu ra nhà máy, khu xử lý nước, trên tuyến ống truyền tải, mạng phân phối), hệ thống giám sát lưu lượng, áp lực, các trạm bơm tăng áp cục bộ, tăng áp công suất vừa và nhỏ được tự động hóa hoàn toàn, không người trực;

nâng cấp mức độ giám sát mạng lưới cấp nước, thông số được kiểm soát từ các Trung tâm vận hành của các đơn vị trực thuộc.

Về bảo đảm cấp nước an toàn: Công ty đã thành lập Ban Cấp nước an toàn, cùng với các nhóm cấp nước an toàn tại các xí nghiệp đơn vị trực thuộc. Kế hoạch cấp nước an toàn của Công ty được lập theo hướng dẫn tại Thông tư số 08/2012/TT/-BXD của Bộ Xây dựng và tham khảo Sổ tay Cấp nước an toàn của Tổ chức y tế thế giới (WHO). Ngoài ra, UBND tỉnh Quảng Ninh cũng đã ban hành Quyết định số 4988/QĐ-UBND ngày 25/12/2017 về Kế hoạch cấp nước an toàn triển khai trên địa bàn toàn tỉnh Quảng Ninh.

Một số chỉ tiêu về quản lý vận hành đã đạt được trong những năm vừa qua:

+ Tỷ lệ dân cư đô thị được cung cấp nước sạch trung bình (%): 92,32%

+ Số lượng đầu nối: 280.393

+ Mức nước tiêu thụ bình quân (l/người.ngày): 150 l/người.ngày

+ Tỷ lệ thất thoát trung bình %: 9,96%

+ Số giờ cấp nước trong ngày (giờ/ngày): 24/24h

Nhận xét chung: Hoạt động cấp nước khu vực đô thị tại Quảng Ninh đã có những tiến bộ rõ rệt, cùng với việc mở rộng phạm vi phục vụ và tăng tỷ lệ tiếp cận nước sạch cho người dân. Các cơ sở hạ tầng nước sạch đang dần được đầu tư và nâng cấp. Tuy nhiên, để bảo đảm cấp nước an toàn và bền vững, thích ứng với biến đổi khí hậu cũng như đáp ứng các yêu cầu phát triển đô thị, hoạt động cấp nước khu vực đô thị trên địa bàn cần phải giải quyết nhiều thách thức ngay. Cụ thể, cần chú trọng ngay từ khâu quy hoạch nguồn nước (đảm bảo đủ nước), áp dụng công nghệ mới trong xử lý nước và kiểm soát ô nhiễm, ngăn ngừa xâm nhập mặn, đồng thời huy động các nguồn lực để tiếp tục đầu tư nâng cấp hệ thống cấp nước.

3. TÁC ĐỘNG CỦA BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU ĐẾN HOẠT ĐỘNG CẤP NƯỚC ĐÔ THỊ TẠI TỈNH QUẢNG NINH

Quảng Ninh có đường bờ biển chạy dọc theo chiều dài của tỉnh, hàng năm thường chịu ảnh hưởng trực tiếp từ 2 đến 3 cơn bão và áp thấp nhiệt đới. Trong giai đoạn 2011-2020, trên địa bàn tỉnh có sự gia tăng các trận mưa bão, gây sự cố, mất an toàn cho nhiều hồ đập và đời sống kinh tế - xã hội. Ngoài ra tỉnh cũng thường xuyên chịu ảnh hưởng của các loại hình: mưa lớn, lũ, lũ quét, ngập lụt, sạt lở đất do mưa lớn, rét hại. Các loại hình này trong những năm gần đây xuất hiện thường xuyên hơn, gây ảnh hưởng không nhỏ đến đời sống, kinh tế của người dân.

Bão và áp thấp nhiệt đới là các hiện tượng thiên tai thường hay gặp ở vùng bờ biển Quảng Ninh với tốc độ gió mạnh nhất có thể lên tới 40 - 50m/s (cấp 13-16). Với trên 250 km bờ biển, Quảng Ninh là một trong những tỉnh chịu ảnh hưởng trực tiếp và nặng nề của bão lũ. Trung bình hàng năm có từ 1-2 cơn bão đổ bộ vào vịnh Bắc Bộ và tác động trực tiếp đến vùng bờ biển Quảng Ninh. Bão thường xuất hiện từ tháng 7-9, trong đó hoạt động mạnh nhất là tháng 8. Bão thường kèm theo mưa lớn trên diện rộng, sóng to và nước dâng, hiện tượng sạt lở đất, sụt lún những năm gần đây diễn ra thường xuyên hơn, hiện tượng này rất nguy hại cho các công trình xây dựng, các đường giao thông, cầu cống, các công trình cấp thoát nước. Biến đổi khí hậu đã và đang tác động trực tiếp, sâu sắc và ngày càng rõ nét, đa chiều, phức tạp đến hoạt động sản xuất, cung cấp và tiêu thụ nước sạch trên địa bàn tỉnh Quảng Ninh. Trước hết, biến đổi khí hậu gây ra các hiện tượng thời tiết cực đoan, làm giảm, suy thoái chất lượng nguồn nước cung cấp cho các nhà máy xử lý nước sạch, sự gia tăng xâm nhập mặn và nước biển dâng cũng đang ảnh hưởng trực tiếp đến hoạt động cấp nước.

Sự gia tăng nhiệt độ trung bình hàng năm và biến động bất thường về lượng mưa đã làm thay đổi chế độ thủy văn của các

sông, hồ chứa - vốn là nguồn cung cấp nước chính cho các đô thị. Vào mùa mưa, tần suất các hiện tượng thời tiết cực đoan như bão mạnh, mưa lớn cục bộ và lũ quét ngày càng cao, khiến lượng bùn, cát, chất hữu cơ và vi sinh vật trong nước tăng đột biến, làm độ đục vượt tiêu chuẩn, buộc các nhà máy nước phải tăng liều lượng hóa chất xử lý và kéo dài thời gian lắng lọc, dẫn đến chi phí vận hành cao hơn. Ngược lại, vào mùa khô hoặc những đợt nắng nóng kéo dài, lượng nước bổ sung cho các hồ chứa giảm mạnh, mực nước xuống thấp, thậm chí có thời điểm không đủ đáp ứng công suất thiết kế của nhà máy, tiềm ẩn nguy cơ gián đoạn cấp nước.



Hình 3. Tuyến điện 35KV bị hư hỏng do cơn bão số 3/2024, khiến việc vận hành Nhà máy nước Diễn Vọng bị ngưng trệ.



Hình 4. Nhân viên Xí nghiệp nước Ưông Bí sửa chữa tủ điều khiển bị hư hỏng do bão số 3 gây ra.

Ngoài ra, tác động của nước biển dâng và xâm nhập mặn do biến đổi khí hậu đã và đang là những thách thức nghiêm trọng đối với các khu vực ven biển và cửa sông như Quảng Yên, Hạ Long và Cẩm Phả. Khi độ mặn trong nguồn nước thô tăng cao, các nhà máy nước buộc phải giảm hoặc tạm dừng khai thác, đồng thời phải đầu tư hệ thống xử lý bổ sung để bảo đảm nước đầu ra đạt tiêu chuẩn sinh hoạt. Các hiện tượng sạt lở bờ sông, bờ hồ do mưa lớn cũng đe dọa an toàn công trình và gây biến động chất lượng nguồn nước.

Tóm lại một số tác động của biến đổi khí hậu đến hoạt động cấp nước tại Quảng Ninh có thể tổng hợp như sau: (1) Mưa lớn, bão, lũ

gây ngập úng diện rộng, làm ô nhiễm nguồn nước, đặc biệt là ở các khu vực ven sông, ven biển. Lũ lụt cũng có thể cuốn trôi các công trình cấp nước, gây gián đoạn việc cung cấp nước. (2) Hạn hán kéo dài, đặc biệt vào mùa khô, làm giảm lượng nước ngọt tại các hồ thủy lợi gây khó khăn cho việc cung cấp nước sinh hoạt và tưới tiêu. (3) Nước biển dâng và xâm nhập mặn làm ảnh hưởng đến chất lượng nước ngọt, gây khó khăn cho việc sử dụng nước trong sinh hoạt và sản xuất nông nghiệp. (4) Ngập úng gây ô nhiễm nguồn nước, làm hư hỏng các công trình cấp nước, ảnh hưởng đến sinh hoạt và sản xuất của người dân. (5) Nước biển dâng làm ngập úng các vùng ven biển, ảnh hưởng đến các công trình cấp nước và sinh hoạt của người dân. Những yếu tố này cộng hưởng với tốc độ đô thị hóa nhanh và nhu cầu nước ngày càng tăng, tạo áp lực lớn cho hệ thống cấp nước đô thị của Quảng Ninh.

4. MỘT SỐ GIẢI PHÁP NÂNG CAO HIỆU QUẢ VÀ BẢO ĐẢM AN TOÀN CẤP NƯỚC TỈNH QUẢNG NINH

Quảng Ninh là địa phương có tỷ lệ người dân khu vực đô thị được cấp nước sạch qua hệ thống cấp nước tập trung khá cao, tỷ lệ thất thoát thấp hơn nhiều so với tỷ lệ chung của cả nước. Tuy nhiên, việc cấp nước sạch hướng tới bảo đảm cấp nước an toàn ở tỉnh Quảng Ninh hiện đang đối mặt với không ít thách thức bởi diễn biến phức tạp của tình trạng nhiễm mặn ở các dòng sông do biến đổi khí hậu, đặc biệt là vào mùa khô, hay tình trạng ô nhiễm nước mặt xảy ra trên các dòng sông, hệ thống các hồ nước ngọt dễ tổn thương do các hoạt động xả thải từ nông nghiệp, công nghiệp và sinh hoạt của người dân... Trước thực trạng này, một số giải pháp được đề xuất nhằm bảo vệ nguồn nước, bảo đảm cấp nước an toàn như sau:

Một là: Rà soát, điều chỉnh và cập nhật phương hướng các giải pháp cấp nước đô thị trong điều chỉnh Quy hoạch tỉnh Quảng Ninh thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050; Rà soát, điều chỉnh, bổ sung vị trí, quy mô nhà máy nước, mạng lưới đường ống cấp nước trong các quy hoạch chung các khu vực đô thị cho phù hợp với mô hình chính quyền 2 cấp.

Hai là: Cân bằng nguồn nước, xác định nguồn nước phục vụ cho mục đích sinh hoạt, quy định vùng bảo vệ nghiêm ngặt các lưu vực hồ chứa, sông cho cấp nước; Phân vùng chức năng của nguồn nước; Xác định nguồn nước dự phòng để cấp nước sinh hoạt trong trường hợp xảy ra sự cố ô nhiễm nguồn nước. Nghiên cứu và phát triển các nguồn nước thay thế như nước mưa, nước tái chế để giảm áp lực lên nguồn nước ngọt.

Ba là: Tổ chức nghiên cứu toàn diện về quản lý rủi ro hoạt động cấp nước đây là một nhiệm vụ rất quan trọng trong quản lý cấp nước bảo đảm cấp nước an toàn bao gồm nhận diện rõ hơn, đầy đủ, toàn diện về nguy cơ/rủi ro đặc biệt từ tác động của biến đổi khí hậu, phân tích các rủi ro; đánh giá, giám sát rủi ro từ đó đề xuất các giải pháp xử lý rủi ro phù hợp.

Bốn là: Tiếp tục tổ chức nghiên cứu ứng dụng công nghệ thông tin, thiết bị thông minh trong quản lý, vận hành hệ thống cấp nước; lựa chọn công nghệ và thiết bị tiên tiến, có chế độ tự động hóa cao, tiết kiệm năng lượng, tiết kiệm nước, thân thiện môi trường và bảo đảm cấp nước an toàn; Nghiên cứu, ứng dụng công nghệ mới trong việc xử lý nước mặn cho các vùng bị xâm nhập mặn và khó khăn về nguồn nước.

Năm là: Tuyên truyền, vận động người dân sử dụng nước tiết kiệm trong sinh hoạt và sản xuất; Nâng cao nhận thức của người dân về biến đổi khí hậu và tầm quan trọng của việc bảo vệ tài nguyên nước. Sự chung tay của cộng đồng là yếu tố quan trọng để ứng phó hiệu quả với biến đổi khí hậu góp phần đảm bảo an ninh nguồn nước và cấp nước an toàn.

5. KẾT LUẬN

Hoạt động cấp nước khu vực đô thị tại tỉnh Quảng Ninh đã và đang đạt được nhiều kết quả tích cực, đặc biệt là trong việc đảm bảo cung cấp nước sạch cho người dân đô thị, góp phần nâng cao chất lượng đời sống và thúc đẩy phát triển kinh tế - xã hội. Tuy nhiên, trong quá trình triển khai vẫn còn tồn tại nhiều thách thức. Để đảm bảo cấp nước an toàn và bền vững, cần có sự phối hợp đồng bộ giữa các giải pháp nhằm mang lại hiệu quả cao nhất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Luật Quy hoạch số 21/2017/QH14.
- [2]. UBND tỉnh Quảng Ninh (2023), Thuyết minh tổng hợp "Quy hoạch tỉnh Quảng Ninh thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050".
- [3]. Kế hoạch cấp nước an toàn tỉnh Quảng Ninh, năm 2017
- [4]. Báo cáo "Quy hoạch chung thành phố Hạ Long đến năm 2040"
- [5]. Công ty Cổ phần cấp nước Quảng Ninh (2025); Báo cáo "Cấp nước khu vực đô thị tỉnh Quảng Ninh hướng tới bảo đảm cấp nước an toàn".
- [6]. Ngân hàng thế giới (2019); Báo cáo Việt Nam: "Hướng tới một hệ thống nước có tích thích ứng, sạch và an toàn".
- [7]. Một số thông tin, tư liệu, hình ảnh được sưu tầm trên mạng.
- [8]. Ủy ban thường vụ Quốc hội (2025); Nghị quyết số 1679/NQ-UBTVQH15 "Về việc sắp xếp các đơn vị hành chính cấp xã của tỉnh Quảng Ninh năm 2025".
- [9]. Bộ Nông nghiệp và Môi trường, Tra cứu thông tin 34 tỉnh/thành phố và 3321 đặc khu/phường/xã mới của Việt Nam, <https://sapnhap.bando.com.vn/>

Nghiên cứu và đề xuất bộ tiêu chí và chỉ tiêu đánh giá quản lý thoát nước mặt theo mô hình Thành phố bọt biển

Research and proposal of criteria and indicators for evaluating urban stormwater management towards the sponge City model

> **THS NGUYỄN HỮU PHÚ**

GV Khoa Đô thị, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội; Email: phunh@hau.edu.vn

TÓM TẮT

Quản lý thoát nước mặt hiệu quả đóng vai trò quan trọng trong việc giảm ngập úng, hỗ trợ phát triển đô thị bền vững và nâng cao khả năng thích ứng với biến đổi khí hậu. Mô hình Thành phố bọt biển (SPC) hiện đang được nhiều quốc gia áp dụng trong quản lý thoát nước mặt. Trong đó, một số nước đã xây dựng hệ thống tiêu chí và chỉ tiêu nhằm đánh giá hiệu quả quản lý. Tuy nhiên, phần lớn các hệ thống này vẫn tập trung chủ yếu vào khía cạnh kỹ thuật, chưa bao quát đầy đủ các yếu tố thể chế, vận hành và sự tham gia của cộng đồng. Tại Việt Nam, các giải pháp SPC mới chỉ đang ở giai đoạn thử nghiệm và hiện chưa có khung đánh giá tổng hợp. Bài viết bước đầu đề xuất một hệ thống tiêu chí và chỉ tiêu mang tính gợi ý, bao quát cả các yếu tố kỹ thuật, thể chế, vận hành và cộng đồng. Đây là cơ sở để theo dõi, so sánh và từng bước hoàn thiện công cụ đánh giá hiệu quả quản lý thoát nước mặt theo định hướng SPC.

Từ khóa: Thoát nước mặt đô thị, quản lý thoát nước mặt, Thành phố bọt biển, tiêu chí đánh giá, hạ tầng xanh.

ABSTRACT

Effective stormwater management plays a vital role in mitigating urban flooding, supporting sustainable urban development, and enhancing resilience to climate change. The Sponge City (SPC) approach has been adopted in many countries, where some have developed criteria and indicators to evaluate management effectiveness. However, most existing systems remain largely focused on technical aspects, without fully addressing institutional, operational, and community participation dimensions. In Vietnam, SPC solutions are still at an early stage of piloting, and no comprehensive evaluation framework has yet been established. This paper presents an initial proposal of a set of criteria and indicators, intended as a preliminary framework that integrates technical, institutional, operational, and community aspects, providing a basis for monitoring, comparison, and the gradual improvement of tools to evaluate the effectiveness of urban stormwater management towards the SPC approach.

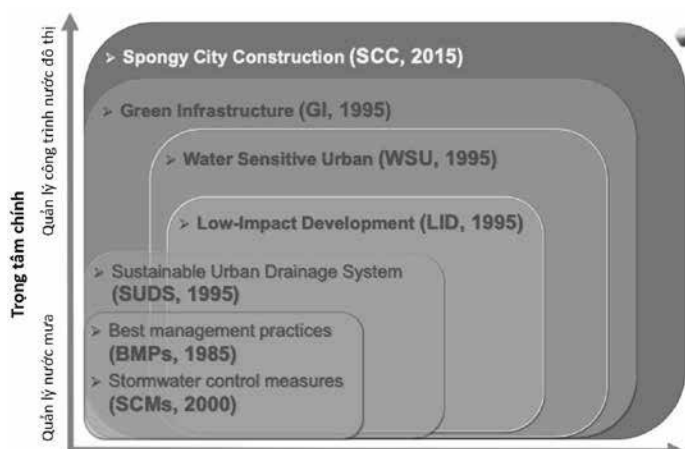
Keywords: Urban stormwater, drainage management, sponge City, evaluation criteria, green infrastructure.

1. TỔNG QUAN VỀ NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG TIÊU CHÍ VÀ CHỈ TIÊU ĐÁNH GIÁ QUẢN LÝ THOÁT NƯỚC MẶT THEO MÔ HÌNH THÀNH PHỐ BỌT BIỂN

1.1. Tổng quan quốc tế về xây dựng tiêu chí và chỉ tiêu đánh giá quản lý thoát nước mặt đô thị theo mô hình Thành phố bọt biển

Trong xu thế phát triển bền vững và thích ứng với biến đổi khí hậu, nhiều quốc gia đã chuyển từ mô hình thoát nước truyền thống sang cách tiếp cận tích hợp, nhấn mạnh kiểm soát nước mưa tại nguồn. Các mô hình như Best Management Practices (BMPs), Low-Impact Development (LID), Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) và Water Sensitive Urban Design (WSUD) ... đã tạo nền tảng cho sự phát triển Thành phố bọt biển (SPC) tại Trung Quốc (Hình 1).

Bộ tiêu chí chính thức về SPC của Trung Quốc được ban hành năm 2018 và cập nhật vào năm 2020 [2], bao gồm ba nhóm chính: (1) kiểm soát khối lượng dòng chảy mặt; (2) chất lượng nước mưa sau xử lý; và (3) hiệu quả sử dụng đất và không gian xanh. Trong đó, bảy tiêu chí cụ thể được xác định gồm: tỷ lệ thu gom nước mưa hằng năm; hiệu quả của các dự án giảm thiểu tại nguồn; kiểm soát ngập úng cục bộ; chất lượng nước đô thị; quản lý hành lang sông hồ; xu hướng biến đổi mực nước ngầm; và giảm hiệu ứng đảo nhiệt đô thị. Một số nghiên cứu cũng ghi nhận các kết quả kỹ thuật đạt được, như: tỷ lệ diện tích kiểm soát dòng chảy (VCRAR), thể tích lưu giữ tại chỗ, hiệu quả giảm lưu lượng đỉnh của vườn mưa, cũng như mức độ loại bỏ tổng chất rắn lơ lửng (TSS) của hệ thống bioswale và mái xanh [3].



Hình 1. Một số mô hình quản lý thoát nước theo nguyên lý SPC trên thế giới [1]

Hoa Kỳ triển khai đánh giá hiệu quả các giải pháp quản lý nước mưa theo khung kỹ thuật BMPs (Best Management Practices), nằm trong hệ thống cấp phép NPDES. Theo báo cáo của bang Minnesota, các giải pháp như mái xanh, bể mặt thấm và bioretention có hiệu quả loại bỏ trung bình 84% TSS và 50% TP [4]. Mô hình SPC tại Philadelphia (Hình 2) cũng được đánh giá tích hợp theo mục tiêu môi trường, cảnh quan và cộng đồng, nhưng chưa có bộ tiêu chí thống nhất cấp quốc gia.



Hình 2. Một trong bảy mái nhà xanh trên tòa nhà Golkin Hall của Trường Luật Đại học Pennsylvania [5]



Hình 3. Vườn bọt biển, Rotterdam [6]

Hà Lan tuy chưa ban hành bộ tiêu chí định lượng riêng, nhưng thông qua các dự án như Vườn bọt biển Rotterdam (Hình 3) đã tiến hành đánh giá hiệu quả tổng hợp dựa trên các tiêu chí: giảm ngập, làm mát vi khí hậu và tăng khả năng thích ứng cộng đồng [6]. Mô hình quản lý nước đa cấp cũng nhấn mạnh tính minh bạch và sự tham gia của cộng đồng trong giám sát.

Singapore là một trong số ít quốc gia Đông Nam Á thực hiện lượng hóa hiệu quả kỹ thuật của các công trình SPC. Các nghiên cứu

cho thấy bioretention và nương sinh học đạt khả năng loại bỏ $\geq 40\%$ TSS, đồng thời cải thiện BOD và COD trong nước mưa chảy tràn [7]. Dữ liệu này được sử dụng làm ngưỡng kỹ thuật trong quá trình thiết kế SPC tại nguồn.

Vương quốc Anh áp dụng SuDS theo hướng dẫn CIRIA [8], trong đó khuyến nghị các chỉ số như tỷ lệ thấm tăng thêm, thời gian lưu giữ dòng chảy, và mức cải thiện chất lượng nước đầu ra. Tuy nhiên, các chỉ số này mới ở mức hướng dẫn, chưa tích hợp thành khung đánh giá toàn diện.

Một số quốc gia đang phát triển như Ai Cập và Bangladesh mới ở giai đoạn nghiên cứu, thử nghiệm lồng ghép SPC. Các đề xuất chủ yếu theo hướng khung đa mục tiêu, nhấn mạnh phục hồi hệ sinh thái, ứng phó BĐKH và cơ chế “người gây ô nhiễm phải trả tiền” [9] [10], nhưng chưa hình thành hệ thống tiêu chí định lượng chính thức.

1.2. Tổng quan các nghiên cứu trong nước về tiêu chí và chỉ tiêu đánh giá quản lý thoát nước mặt theo mô hình Thành phố bọt biển

Tại Việt Nam, tiếp cận SPC chủ yếu thông qua các chương trình hợp tác quốc tế như FPP¹ [11], MCRP² [12]... Một số đô thị ven biển như Cà Mau, Long Xuyên, Rạch Giá đã thử nghiệm SUDS như mặt đường thấm, hồ điều hòa phân tán, không gian xanh đa chức năng, theo hướng “giữ - thấm - điều tiết” thay cho “xả - thoát” truyền thống. Gần đây, Hướng dẫn kỹ thuật SPC (2024) do Ecopsis và GIZ trong khuôn khổ MCRP đã bước đầu đề xuất các tiêu chí kỹ thuật ở quy mô tiểu lưu vực [12].

Một số dự án trong nước cũng lồng ghép SPC, điển hình như khu đô thị Ecopark (Hưng Yên) với khoảng 21% diện tích cây xanh - mặt nước, kết hợp kênh hồ, hồ điều hòa và cống ngầm. Tuy nhiên, các mô hình này chủ yếu dừng ở mô tả kỹ thuật, chưa xây dựng hệ thống đánh giá SPC toàn diện.

Về nghiên cứu, Huỳnh Trọng Nhân và Nguyễn Hồng Tiến [13] đã đề cập ba tiêu chí cốt lõi trong SPC: giảm dòng chảy, bảo vệ chất lượng nước và tăng cường khả năng thích ứng, cùng năm mục tiêu và nhóm giải pháp. Tuy nhiên, nghiên cứu chưa đi sâu vào tổ chức thực thi, quản lý vận hành hay sự tham gia cộng đồng.

Thực tế cho thấy, Việt Nam chưa có bộ tiêu chí, chỉ tiêu tích hợp để đánh giá toàn diện hiệu quả quản lý SPC. Các hệ thống hiện có chủ yếu tập trung vào kỹ thuật, thiếu các chỉ số về quản trị, vận hành và cộng đồng. Khoảng trống này đặt ra nhu cầu xây dựng một bộ tiêu chí tổng hợp, vừa làm công cụ theo dõi và đánh giá, vừa góp phần nâng cao hiệu quả quản lý SPC trong bối cảnh đô thị hóa và biến đổi khí hậu.

Từ tổng quan quốc tế và thực tiễn bước đầu ở Việt Nam có thể rút ra một số định hướng quan trọng: (i) Bộ tiêu chí cần được thiết kế tích hợp, bao quát cả kỹ thuật, thể chế, vận hành và cộng đồng; (ii) Các chỉ tiêu định lượng chỉ khả thi khi có hệ thống dữ liệu quan trắc chuẩn hóa và dài hạn; (iii) Cơ chế chính sách và khung lý pháp lý là yếu tố quyết định tính bắt buộc và khả năng áp dụng; (iv) Sự tham gia và giám sát của cộng đồng là yếu tố then chốt để nâng cao hiệu quả quản lý và tính minh bạch.

2. NGHIÊN CỨU VÀ ĐỀ XUẤT BỘ TIÊU CHÍ VÀ CHỈ TIÊU ĐÁNH GIÁ QUẢN LÝ THOÁT NƯỚC MẶT ĐÔ THỊ THEO MÔ HÌNH THÀNH PHỐ BỌT BIỂN

Trên cơ sở tổng quan kinh nghiệm và phân tích khoảng trống trong các hệ thống đánh giá hiện hành, nghiên cứu này bước đầu đề xuất khung tiêu chí và chỉ tiêu đánh giá hiệu quả quản lý thoát nước mặt đô thị theo mô hình Thành phố bọt biển. Việc xây dựng bộ tiêu chí gợi ý cần dựa trên các nguyên tắc khoa học và đáp ứng những yêu cầu phương pháp luận phù hợp, nhằm bảo đảm tính khả

thi và khả năng ứng dụng trong thực tiễn quản lý, đồng thời tạo cơ sở tham khảo cho việc đánh giá, điều chỉnh và hoạch định chính sách SPC ở các đô thị.

2.1. Nguyên tắc và yêu cầu xây dựng bộ tiêu chí, chỉ tiêu

Bộ tiêu chí được đề xuất trong nghiên cứu này mang tính khung gợi ý ban đầu và cần tuân thủ một số nguyên tắc sau:

- Nguyên tắc phản ánh hiệu quả quản lý: Bộ tiêu chí phải đánh giá được hiệu quả quản lý SPC một cách toàn diện, không chỉ ở khía cạnh kỹ thuật (giảm dòng chảy, cải thiện chất lượng nước) mà còn ở thể chế, tổ chức vận hành và sự tham gia của cộng đồng. Điều này giúp phân biệt với cách tiếp cận truyền thống vốn chủ yếu tập trung vào hạ tầng cứng.

- Nguyên tắc kế thừa và chọn lọc kinh nghiệm quốc tế: Các hệ thống tiêu chí của Trung Quốc, Anh, Mỹ... đã đưa ra nhiều chỉ số kỹ thuật giá trị. Tuy nhiên, để phù hợp với điều kiện Việt Nam, cần chọn lọc và điều chỉnh cho bối cảnh khí hậu nhiệt đới gió mùa, hạ tầng hiện có, cũng như khung pháp lý và nguồn lực thực tiễn.

- Nguyên tắc đảm bảo tính khả thi: Các tiêu chí phải gắn với thông số có thể thu thập được thông qua điều tra, quan trắc hoặc mô hình thủy văn - thủy lực. Hệ thống dữ liệu hiện nay còn thiếu, do đó bộ tiêu chí cần thiết kế theo hướng dễ áp dụng, không đòi hỏi ngay các thông tin quá phức tạp hoặc khó thống kê.

- Nguyên tắc ổn định và linh hoạt: Bộ tiêu chí cần có giá trị lâu dài để theo dõi sự tiến bộ trong quản lý SPC, nhưng đồng thời phải cho phép điều chỉnh khi có sự thay đổi về khoa học - công nghệ, chuyển đổi số, hoặc khung pháp lý mới. Tính linh hoạt sẽ đảm bảo bộ tiêu chí luôn phù hợp với giai đoạn phát triển đô thị.

Bộ tiêu chí, chỉ tiêu đề xuất hướng tới phản ánh toàn diện các mục tiêu cốt lõi của SPC, bao gồm: (i) kiểm soát dòng chảy và ngập úng; (ii) cải thiện chất lượng môi trường nước; (iii) phát triển hạ tầng và quản lý vận hành hệ thống thoát nước; (iv) ứng dụng công nghệ thông minh; (v) bảo tồn sinh thái đô thị; và (vi) thúc đẩy sự tham gia của cộng đồng. Để đạt được các mục tiêu nêu trên, việc xây dựng bộ tiêu chí cần đáp ứng một số yêu cầu cơ bản sau:

- Gắn với hiện trạng sử dụng đất và lưu vực đô thị: Việc đánh giá cần phản ánh tác động tổng thể của các giải pháp SPC, từ các công trình giảm thiểu tại nguồn đến hệ thống thoát nước và toàn bộ khu vực đô thị. Lưu vực thoát nước được xem là đơn vị cơ sở để phân tích, qua đó xác định tỷ lệ diện tích áp dụng các giải pháp SPC so với tổng diện tích xây dựng

- Bảo đảm phương pháp đánh giá tổng hợp: Việc đánh giá không thể đơn thuần dựa vào hồ sơ thiết kế mà cần kết hợp kiểm tra hiện trường, quan trắc số liệu và mô phỏng thủy văn - thủy lực. Dữ liệu thực tế là cơ sở để so sánh với mục tiêu đề ra và kiểm chứng hiệu quả các giải pháp SPC.

Bảng 1. Khung tiêu chí và chỉ tiêu đánh giá quản lý thoát nước theo mô hình Thành phố bọt biển

STT	Nhóm tiêu chí	Tiêu chí/ Chỉ tiêu chi tiết
I	Nhóm các tiêu chí quản lý kỹ thuật	
1	Kiểm soát dòng chảy và thu gom nước mưa tại nguồn	- Tỷ lệ nước mưa được thu gom và kiểm soát tại nguồn. (%) - Tỷ lệ diện tích mặt thấm và khu vực có khả năng hấp thụ nước (%)
2	Kiểm soát ngập úng đô thị	- Mức độ giảm ngập cục bộ (số điểm ngập/lần ngập giảm so với giai đoạn chưa áp dụng các giải pháp SUDS)
3	Hiệu quả công trình giảm thiểu tại nguồn (LID)	- Lượng nước được lưu giữ tại nguồn (m ³) - Khả năng lưu trữ (mm/ trận mưa) - Thấm (mm/h)
4	Cải thiện chất lượng nước mặt đô thị	- Mức cải thiện chất lượng nước tại điểm xả (TSS bị loại bỏ) (%)

- Khuyến khích sự minh bạch và tham gia: Hệ thống tiêu chí phải cho phép sự tham gia của cộng đồng và các bên liên quan trong việc giám sát, đánh giá. Điều này không chỉ tăng tính khách quan mà còn giúp nâng cao nhận thức và đồng thuận xã hội trong triển khai SPC.

Tuy nhiên, trong bối cảnh Việt Nam hiện nay, việc xây dựng và áp dụng bộ tiêu chí còn đối mặt với nhiều thách thức. Dữ liệu quan trắc và thống kê còn hạn chế, đặc biệt về chất lượng nước mưa, lưu lượng xả tràn và khả năng thấm - lưu trữ tại nguồn. Năng lực tổ chức và đội ngũ cán bộ chuyên môn chưa đáp ứng yêu cầu, trong khi việc sáp nhập hành chính làm phức tạp thêm phân định trách nhiệm. Nguồn lực tài chính phụ thuộc nhiều vào hỗ trợ quốc tế hoặc các thí điểm nhỏ lẻ, chưa tạo được cơ chế ổn định. Ngoài ra, hành lang pháp lý và chính sách khuyến khích còn thiếu, khiến SPC chưa thực sự trở thành yêu cầu bắt buộc trong quản lý thoát nước đô thị.

Tuy nhiên, trong bối cảnh hiện nay của Việt Nam, việc xây dựng và áp dụng bộ tiêu chí SPC vẫn đang đối mặt với nhiều thách thức. Dữ liệu quan trắc và thống kê còn hạn chế, đặc biệt là về chất lượng nước mưa, lưu lượng xả tràn và khả năng thấm - lưu trữ tại nguồn. Năng lực tổ chức và đội ngũ cán bộ chuyên môn hiện chưa đáp ứng yêu cầu triển khai thực tế, trong khi việc sáp nhập hành chính làm phức tạp thêm việc phân định trách nhiệm. Nguồn lực tài chính vẫn phụ thuộc nhiều vào hỗ trợ quốc tế hoặc các dự án thí điểm quy mô nhỏ, chưa hình thành được cơ chế ổn định và bền vững. Bên cạnh đó, hành lang pháp lý và các chính sách khuyến khích còn thiếu và chưa đồng bộ, khiến mô hình SPC chưa thực sự trở thành yêu cầu bắt buộc trong công tác quản lý thoát nước đô thị.

2.2. Đề xuất bộ tiêu chí và chỉ tiêu đánh giá hiệu quả quản lý thoát nước mặt theo mô hình Thành phố bọt biển

Trên cơ sở các nguyên tắc và yêu cầu đã trình bày, bài báo đề xuất một hệ thống tiêu chí và chỉ tiêu đánh giá hiệu quả quản lý thoát nước mặt đô thị theo mô hình Thành phố bọt biển. Bộ tiêu chí được trình bày tại Bảng 2, thiết kế linh hoạt để áp dụng cho ba nhóm khu vực đô thị đặc trưng: đô thị hiện hữu, đô thị xây mới và khu vực giao thoa. Hệ thống gồm ba nhóm chính: (1) quản lý kỹ thuật; (2) tổ chức quản lý nhà nước và sự tham gia cộng đồng; (3) quản lý vận hành.

Mỗi tiêu chí gắn với một hoặc một số chỉ tiêu định tính và định lượng, phù hợp với từng giai đoạn quy hoạch, đầu tư và vận hành. Hệ thống này không chỉ phản ánh mức độ đáp ứng mục tiêu quản lý SPC, mà còn cung cấp cơ sở theo dõi tiến độ, đo lường hiệu quả và hỗ trợ điều chỉnh chính sách phù hợp với điều kiện cụ thể của từng đô thị.

STT	Nhóm tiêu chí	Tiêu chí/ Chỉ tiêu chi tiết
		- Chất lượng nước xả ra môi trường sau khi áp dụng SUDS (TSS cho phép) (mg/L)
5	Bảo tồn sinh thái và cảnh quan	- Tỷ lệ bờ sinh thái tại các hồ, sông (%) - Diện tích xanh: ao hồ, sông suối được phục hồi chức năng (m ² hoặc ha)
6	Quản lý nước ngầm	- Số công trình bổ cập nước ngầm được tích hợp (Công trình)
7	Ứng phó BĐKH và giảm hiệu ứng đô thị	- Mức giảm nhiệt độ đô thị (°C) - Mức độ đáp ứng với các kịch bản BĐKH (Kịch bản)
II	Nhóm tiêu chí quản lý nhà nước (Tổ chức bộ máy, thể chế, chính sách) và sự tham gia của cộng đồng	
8	Lồng ghép SPC trong quy hoạch đô thị	- Tỷ lệ đồ án (QHC, QHPK, QHCT) có nội dung SPC rõ ràng (%) - Tỷ lệ đồ án có mô phỏng thủy lực/thủy văn SPC theo cấp độ quy hoạch (%)
9	Thể chế, tổ chức và phân công	- Tỷ lệ địa phương có phân công rõ vai trò SPC (%) - Tỷ lệ cán bộ chuyên trách được đào tạo bài bản (%)
10	Hành lang pháp lý địa phương	- Tỷ lệ văn bản địa phương cập nhật SPC - Số lượng tiêu chuẩn, quy chuẩn SPC áp dụng tại địa phương. (%)
11	Cơ chế, chính sách hỗ trợ và tài chính	- Số lượng chính sách khuyến khích SPC (ưu đãi, hỗ trợ đầu tư...) - Tỷ lệ huy động nguồn lực xã hội hóa cho SPC (%)
12	Sự tham gia và giám sát cộng đồng	- Tỷ lệ địa bàn có nhóm giám sát cộng đồng về SPC - Tần suất truyền thông - nâng cao nhận thức về SPC
III	Nhóm tiêu chí quản lý vận hành	
13	Ứng dụng công nghệ số trong vận hành	- Tỷ lệ dữ liệu SPC được số hóa (GIS trong Quy hoạch và Ứng dụng BIM trong dự án đầu tư) - Số lượng cảm biến, hệ thống giám sát hoạt động SPC

Trong thực tiễn triển khai quản lý thoát nước mặt đô thị theo mô hình SPC, việc xác định các chỉ tiêu định lượng cụ thể cho từng tiêu chí thường gặp khó khăn do sự khác biệt về điều kiện tự nhiên, hạ tầng kỹ thuật, nguồn lực và mức độ sẵn sàng giữa các đô thị. Bên cạnh đó, nhiều nội dung liên quan đến SPC hiện vẫn đang trong quá trình thử nghiệm, hoàn thiện cơ chế chính sách và lồng ghép vào quy hoạch, dự án đầu tư.

Do vậy, trong trường hợp chưa xác định được rõ ngưỡng định lượng cụ thể, bài báo đề xuất sử dụng thang điểm đánh giá theo mức độ kỳ vọng từ 0 đến 5★ (sao) như một công cụ thay thế. Cách tiếp cận này cho phép phản ánh linh hoạt mức độ triển khai SPC tại từng khu vực, đồng thời đảm bảo tính hệ thống và khả năng so sánh giữa các tiêu chí. Việc quy đổi từ các tỷ lệ định tính sang thang điểm kỳ vọng, giúp khắc phục hạn chế về dữ liệu chuẩn hóa, đồng thời phù hợp với điều kiện triển khai thực tế tại Việt Nam.

Bảng 2. Thang điểm mức độ kỳ vọng áp dụng theo các tiêu chí đánh giá quản lý thoát nước theo mô hình Thành phố bọt biển

Mức kỳ vọng	Mô tả áp dụng SPC	Ghi chú
0★	Chưa triển khai; không có đề cập trong kế hoạch, văn bản hay dự án nào	
1★	Có đề xuất mang tính ý tưởng hoặc nghiên cứu ban đầu, nhưng chưa chính thức	Chưa có dự án hoặc văn bản cụ thể
2★	Thí điểm nhỏ lẻ tại một số khu vực; chưa có hướng dẫn hay khung pháp lý rõ	Phổ biến trong hợp tác quốc tế hoặc nghiên cứu địa phương
3★	Triển khai cục bộ ở các dự án hoặc đô thị trọng điểm; có hướng dẫn kỹ thuật nội bộ hoặc công văn	Chưa mang tính bắt buộc; đang trong giai đoạn khuyến khích
4★	Áp dụng phổ biến tại nhiều đô thị; SPC được lồng ghép trong quy hoạch hoặc có văn bản chính thức	Có quy định cụ thể trong một số chính sách hoặc tiêu chuẩn nội ngành
5★	Áp dụng bắt buộc; SPC được quy định rõ trong chính sách pháp luật, tiêu chuẩn quốc gia hoặc là điều kiện trong đầu tư công	Có hệ thống đánh giá, tiêu chí và chỉ tiêu chính thức ban hành

Bộ tiêu chí và chỉ tiêu đề xuất được xây dựng trên cơ sở các nguyên tắc và yêu cầu đã xác lập, với cấu trúc bao quát đầy đủ các nội dung kỹ thuật, thể chế, quản lý vận hành và sự tham gia của cộng đồng. Hệ thống này cho phép đánh giá toàn diện hiệu quả quản lý thoát nước mặt theo định hướng Thành phố bọt biển, đồng thời cung cấp cơ sở để lựa chọn giải pháp, theo dõi tiến độ và điều chỉnh chính sách phù hợp với điều kiện cụ thể của từng đô thị. Đây là nền tảng quan trọng nhằm thúc đẩy quá trình chuyển đổi sang mô hình quản lý thoát nước bền vững tại Việt Nam.

2.3. Thảo luận

Bộ tiêu chí và chỉ tiêu được đề xuất trong nghiên cứu này có sự khác biệt rõ rệt so với các khung đánh giá quốc tế hiện có. Nếu như tiêu chuẩn SPC của Trung Quốc tập trung chủ yếu vào các khía cạnh kỹ thuật và môi trường, hoặc hướng dẫn CIRIA của Vương quốc Anh chủ yếu đề cập đến các chỉ số hiệu quả công trình, thì bộ tiêu chí trong nghiên cứu này đã mở rộng phạm vi, bao gồm cả yếu tố thể chế, tổ chức quản lý, vận hành và sự tham gia của cộng đồng. Đây chính là điểm mới quan trọng, nhằm khắc phục khoảng trống trong các hệ thống hiện có. Tuy nhiên, một số chỉ tiêu vẫn chưa thể lượng hóa bằng ngưỡng cụ thể, do thiếu dữ liệu chuẩn hóa và sự khác biệt lớn giữa các đô thị. Việc sử dụng thang điểm kỳ vọng (0-5★) được coi là giải pháp linh hoạt, giúp phản ánh tương đối mức độ triển khai và tạo cơ sở so sánh giữa các địa phương. Dù vậy, cách tiếp cận này chỉ mang tính tạm thời, cần được kiểm chứng và hiệu chỉnh qua quá trình áp dụng thực tế.

Trong tương lai, việc triển khai bộ tiêu chí cần được gắn liền với các nghiên cứu thử nghiệm tại một số đô thị điển hình (như Hà Nội, TP.HCM, Đà Nẵng hoặc các khu vực ven biển miền Trung), nhằm hiệu chỉnh các chỉ số, xác định ngưỡng kỹ thuật phù hợp và bổ sung cơ sở dữ liệu thực tiễn. Đồng thời, cần có sự phối hợp liên ngành và xây dựng cơ chế minh bạch để huy động hiệu quả sự tham gia của cộng đồng và khu vực tư nhân. Đây là những điều kiện tiên quyết để bộ tiêu chí có thể trở thành một công cụ quản lý hiệu quả trong tiến trình chuyển đổi sang mô hình Thành phố bọt biển tại Việt Nam.

3. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã bước đầu đề xuất một hệ thống tiêu chí và chỉ tiêu đánh giá hiệu quả quản lý thoát nước mặt đô thị theo định hướng Thành phố bọt biển, trên cơ sở tham khảo kinh nghiệm quốc tế và thực tiễn tại Việt Nam. Bộ tiêu chí hiện mới dừng ở mức khung gợi ý, với cấu trúc bao quát các hợp phần kỹ thuật, thể chế, vận hành và sự tham gia cộng đồng. Đây là cơ sở ban đầu để tiếp tục thử nghiệm, hiệu chỉnh và bổ sung các chỉ tiêu định lượng phù hợp với điều kiện từng đô thị. Kết quả nghiên cứu góp phần tạo nền tảng khoa học cho việc hoàn thiện công cụ đánh giá, hỗ trợ quản lý và hoạch định chính sách, đồng thời định hướng triển khai các giải pháp thoát nước bền vững, hướng tới phát triển đô thị linh hoạt, thích ứng và hài hòa với tự nhiên.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Fletcher, T.D., et al., SUDS, LID, BMPs, WSUD and more-The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. Urban water journal, 2015. **12**(7): p. 525-542.
- [2]. Nie, L., et al., Assessment standard for sponge city effects. 2020: IWA publishing.
- [3]. Dutta, A., A.S. Torres, and Z. Vojinovic, Evaluation of pollutant removal efficiency by small-scale nature-based solutions focusing on bio-retention cells, vegetative swale and porous pavement. Water, 2021. **13**(17): p. 2361.

[4]. U.S. Environmental Protection Agency (EPA), EPA National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES).

[5]. Philadelphia Water Department, Green Roofs.

[6]. De Urbanisten, Sponge Garden Rotterdam. 2021.

[7]. Public Utilities Board (PUB), Active Beautiful Clean Waters: Design Guidelines. 2018.

[8]. B Woods-Ballard, et al., The SUDS Manual (C753). CIRIA SuDS Manual 2015, 2015: p. 964.

[9]. Abayazid, H.O., Conceptual Merge of Ecohydrologic Watershed and Sponge City Techniques for Managed Sustainability and Strengthened Adaptive Capacity of Nile Delta Coastal Lakes, Egypt. International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE), 2019. **8**(2).

[10]. Khan, I. and R. Afroz, Adapting sponge city concept for Dhaka city. IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology Food Technology, 2018. **12**(2): p. 16-18.

[11]. Tim, M. and Huỳnh Trọng Nhân, Triển khai mô hình thoát nước bền vững tại một số đô thị vùng ĐBSCL - Kinh nghiệm và bài học. Tạp chí Xây dựng, 2022. **2022**.

[12]. Program, G.F., Bài học kinh nghiệm lồng ghép thích ứng với biến đổi khí hậu trong quy hoạch thoát nước đô thị. 2016, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ); FPP.

[13]. Huỳnh Trọng Nhân, Nguyễn Hồng Tiến, Giải pháp Thành phố bọt biển trong thoát nước mặt đô thị Việt Nam hướng đến phát triển bền vững. Tạp chí Xây dựng, 2022. **022022**: p. 104-107.

¹ Flood Proofing Programme for Cities in Vietnam for Adaptation to Climate Change

² Mekong Delta Climate Resilience Programme

Nghiên cứu khả năng chống chọc thủng của đài cọc bê tông cốt thép bằng mô phỏng số

Numerical simulation study on punching shear resistance of reinforced concrete pile caps

> TS TRẦN VIỆT TÂM

Khoa Xây dựng dân dụng và công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

Email: tamtv@huce.com.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu khả năng chống chọc thủng của đài cọc bê tông cốt thép (BTCT) là một bài toán phức tạp vì phụ thuộc vào nhiều tham số như kích thước cột, bố trí cọc trong đài, chiều cao đài... Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông và BTCT TCVN 5574:2018 [1], Eurocode 2 (EC2:2023) [2] và ACI 318-2025 [3] có quy định về tính toán khả năng chống chọc thủng cho cấu kiện bê tông cốt thép nói chung, tuy nhiên không có trường hợp riêng cho đài cọc BTCT. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu khả năng chống chọc thủng của đài cọc BTCT bằng mô phỏng số, so sánh kết quả với cách tính theo tiêu chuẩn thực hành để có các đánh giá về hệ số an toàn trong thiết kế.

Từ khóa: Bê tông cốt thép, đài cọc, khả năng chống chọc thủng, hàm lượng cốt thép dọc.

ABSTRACT

Investigating the punching shear resistance of reinforced concrete (RC) pile caps is a complex problem due to its dependence on various parameters, such as column dimensions, pile arrangements within the cap, and the cap's height. Vietnamese standard TCVN 5574:2018[1], Eurocode 2 (EC2:2023) [2] và ACI 318-2025[3] on concrete and reinforced concrete structure design provides regulations for calculating punching shear resistance for RC elements in general, but it does not include specific provisions for RC pile. This study investigates the punching shear resistance of reinforced concrete pile caps through numerical simulations and compares the results with code-based design methods to assess the safety margins adopted in practical design.

Keywords: Reinforced concrete, pile caps, punching shear resistance, longitudinal reinforcement ratio.

1. GIỚI THIỆU

Đài cọc BTCT là một cấu kiện quan trọng trong móng cọc, có nhiệm vụ phân phối tải trọng từ kết cấu phía trên xuống các cọc để cọc truyền vào lớp đất nền tốt phía dưới. Khi làm việc, đài cọc thường chịu lực tập trung và mô men tập trung lớn từ cột vách, nếu không được tính toán và kiểm tra kỹ để xảy ra hiện tượng chọc thủng - một dạng phá hoại giòn, đột ngột và nguy hiểm cho công trình.

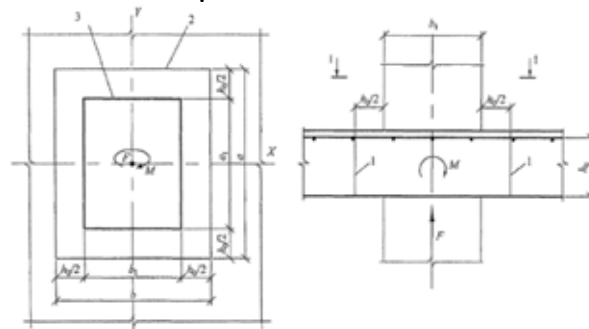
Các tiêu chuẩn thiết kế hiện hành như TCVN 5574:2018[1], Eurocode 2 (EC2:2023) [2] và ACI 318-2025[3] đều đưa ra các phương pháp tính toán khả năng chống chọc thủng cho bản BTCT nói chung, không quy định riêng cho đài cọc. Cũng giống như bản sàn thông thường, khả năng chống chọc thủng của đài cọc (KNCCT) bê tông cốt thép phụ thuộc vào cường độ vật liệu, kích thước cột, chiều cao làm việc của đài, tuy nhiên với đài cọc BTCT còn phụ thuộc vào cách bố trí cọc (h_0/c).

Hiện nay, mô phỏng số theo phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) được xem là công cụ hiệu quả để phân tích bài toán chọc thủng như xác định vùng chịu lực, và đánh giá ứng xử của đài cọc dưới tác dụng tải trọng. Thực tế cho thấy nếu chọn mô hình và tham số thích hợp, mô phỏng số cho kết quả đáng tin cậy, gần với thực nghiệm.

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu khả năng chống chọc thủng của đài cọc BTCT thông qua mô hình phần tử hữu hạn phi tuyến, kết hợp phân tích so sánh với các tiêu chuẩn thực hành phiên bản mới nhất TCVN 5574:2018, EC2-2023 và ACI 318:2025, từ đó có những khuyến nghị cho các bài toán thiết kế đài cọc BTCT trong thực tế.

2. CÁC PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH KHẢ NĂNG CHỐNG CHỌC THỦNG

2.1. Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 5574-2012 [1]



Hình 1. Chu vi tháp chọc thủng theo tiêu chuẩn TCVN 5574-2018

$$F \leq F_{b,ult}; F_{b,ult} = R_{bt} A_b; A_b = u_m h_0 \quad (1)$$

Trong đó: - F : Lực nén gây chọc thủng sàn (KN).

- $F_{b,ult}$: Khả năng chống chọc thủng sàn của bê tông (KN).

- h_0 : Chiều cao làm việc của đài (mm).

- u_m : Chu vi trung bình của tháp chọc thủng (mm) cách mép cột $h_0/2$ với góc nghiêng 45° (Hình 1).

- R_{bt} : Cường độ chịu kéo tính toán của bê tông.

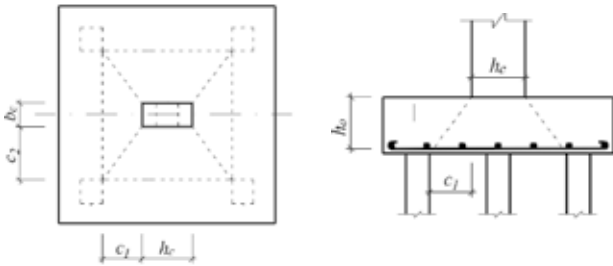
Theo giáo trình kết cấu nhà BTCT [4], nhóm tác giả đã dựa theo TCVN 5574-2018 để đưa ra công thức tính khả năng chống chọc thủng của đài cọc BTCT như sau:

$$F \leq R_{bt} h_0 [2(h_c + c_1) h_0 / c_2 + 2(b_c + c_2) h_0 / c_1] \quad (2)$$

Trong đó: b_c, h_c - Kích thước tiết diện cột (mm).

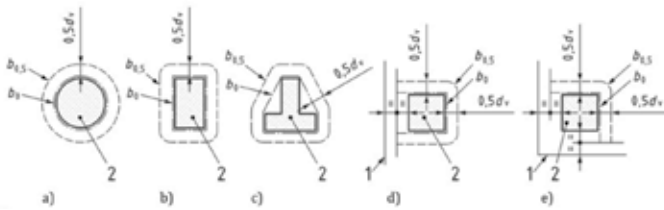
- c_1, c_2 - Khoảng cách trên mặt bằng từ mép cột đến mép của đáy tháp đâm thủng (Hình 2).

Cần kiểm tra khả năng đâm thủng qua mép trong (so với vị trí cột) của các cọc đặt gần cột, sau đó kiểm tra khả năng đâm thủng qua mép trong của các cột ở xa hơn. Khi $c_1 > h_0$ hoặc $c_2 > h_0$ thì phải lấy $c_1 = h_0$ hoặc $c_2 = h_0$ để tính, tức là coi tháp đâm thủng có góc nghiêng bằng 45° . Khi $c_1 < 0,4h_0$ hoặc $c_2 < 0,4h_0$ thì lấy $c_1 = 0,4h_0$ hoặc $c_2 = 0,4h_0$ để tính với chú ý rằng sự tăng của khả năng chống cắt theo góc nghiêng của tháp đâm thủng cũng là có giới hạn.



Hình 2. Các mặt đâm thủng của cột trong đài cọc BTCT

2.2. Tiêu chuẩn châu Âu EC2:2023 [2]



Hình 3. Chu vi tháp chọc thủng theo tiêu chuẩn EC2-2023

1. Biên sàn; 2. Diện tích gối đỡ

Vị trí tiết diện của EC2 [2] cách mép cột $0,5d_v$ hình dáng tiết diện như Hình 3. Khả năng chống chọc thủng của đài cọc BTCT được xác định như sau:

$$\tau_{Ed} = \frac{\beta_e V_{Ed}}{b_{0,5} d_v} \leq \tau_{Rd,c} \quad \tau_{Ed} \leq \tau_{Rd,c,min}$$

$$\tau_{Rd,c} = \frac{0,6}{\gamma_v} k_{pb} (100 \rho_1 f_a d_v)^{1/3} \leq \frac{0,5}{\gamma_v} \sqrt{f_{ck}} \quad (3)$$

$$\tau_{Rd,c,min} = \frac{11}{\gamma_v} \sqrt{\frac{f_{ck}}{f_{yd}}} \cdot \frac{d_{dg}}{d} \quad (4)$$

$$\rho_1 = (\rho_{1,x} \rho_{1,y})^{0,5} \leq 0,02$$

Trong đó: V_{Ed} - Lực cắt gây chọc thủng đài cọc (KN)

- $\tau_{Rd,c}$: ứng suất nén chống chọc thủng của bê tông (MPa)

- $V_{Rd,c}$: Khả năng chống chọc thủng của đài $V_{Rd,c} = \tau_{Rd,c} b_{0,5} d_v / \beta_e$ (KN)

- β_e : Hệ số kể đến ảnh hưởng của vị trí lực tập trung, lấy theo bảng 8.3 của tiêu chuẩn EC2-2023 [2] hoặc lấy với cột giữa, cột biên và cột góc lần lượt các giá trị là 1,15; 1,4; 1,5

- $b_{0,5}, b_0$: Chu vi của tháp chọc thủng trung bình (mm) cách mép cột $0,5d_v$ và chu vi của cột (Hình 3)

- $d_v = (d_{vx} + d_{vy}) / 2$ Chiều cao làm việc trung bình theo 2 phương x, y của đài cọc (mm)

- f_{ck} : Cường độ chịu nén đặc trưng của bê tông mẫu trụ

- f_{yd} : Cường độ chịu kéo tính toán của cốt thép dọc

- d_{dg} : Tham số kích thước, phụ thuộc vào loại bê tông và đặc tính của bê tông (mm). d_{dg} có thể lấy như sau:

$$+ 16 \text{ mm} + D_{lower} \leq 40 \text{ mm} \text{ với bê tông có } f_{ck} \leq 60$$

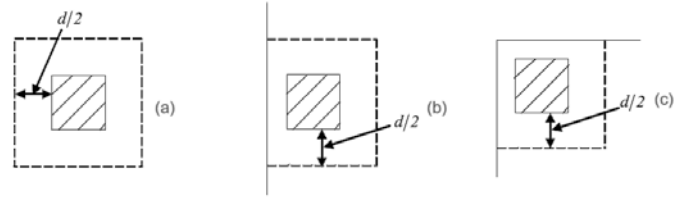
$$+ 16 \text{ mm} + D_{lower} (60/f_{ck})^2 \leq 40 \text{ mm} \text{ với bê tông có } f_{ck} > 60. \text{ Với } D_{lower} \text{ là đường kính lớn nhất của cốt liệu thô}$$

$$- k_{pb}: \text{Hệ số } 1 \leq k_{pb} = 3,6 \sqrt{1 - \frac{b_0}{b_{0,5}}} \leq 2,5.$$

- $\rho_{1,x}, \rho_{1,y}$: Hàm lượng cốt thép dọc chịu kéo theo phương x và y

- γ_v : Hệ số độ tin cậy của bê tông chịu cắt lấy bằng 1,3

2.3. Tiêu chuẩn Mỹ ACI 318(2025) [3]



Hình 4. Chu vi tháp chọc thủng theo tiêu chuẩn ACI 318-2025

(a) Cột vị trí giữa (b) Cột biên (c) Cột góc

Vị trí tiết diện tính toán lấy cách mép cột $d/2$, khả năng chống chọc thủng của đài cọc BTCT được tính theo công thức (5):

$$V_c / \phi = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,17 \lambda (1 + 2 / \beta_c) \sqrt{f'_c} b_0 d \\ 0,083 (2 + \alpha_s d / b_0) \sqrt{f'_c} b_0 d \\ 0,33 \sqrt{f'_c} b_0 d \end{array} \right\} \quad (5)$$

Trong đó: V_c - Khả năng chống chọc thủng của bê tông đài cọc BTCT (KN)

- b_0 : Chu vi trung bình của tháp chọc thủng lấy cách mép cột $d/2$ với góc nghiêng 45° (Hình 4)

- d : Chiều cao làm việc của đài cọc (mm)

- β_c : Tỷ số giữa cạnh dài và cạnh ngắn của cột

- f'_c : Cường độ chịu nén đặc trưng của bê tông mẫu trụ

- α_s : Hệ số kể đến vị trí cột lấy bằng 40 cho cột giữa, 30 cột biên và 20 cho cột góc

- λ : Hệ số lấy bằng 1 với bê tông nặng và 0,8 với bê tông nhẹ

- f : Hệ số giảm cường độ của bê tông khi chịu cắt lấy bằng 0,75

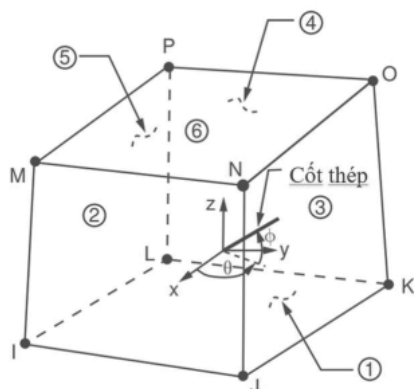
3. PHẦN MỀM MÔ PHỎNG ANSYS [5]

Mô phỏng số (FTA) sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn dựa trên cơ sở tính toán với vật liệu bê tông đàn dẻo thật, nên là công cụ rất tốt trong phân tích tìm dạng phá hoại do chọc thủng. Phương pháp phần tử hữu hạn đã khắc phục được những hạn chế của thực nghiệm như: không bao quát được các trường hợp thực tế; điều chỉnh trực tiếp các đặc tính cơ bản của bê tông như cường độ chịu kéo, năng lượng khi nứt; quan sát vết nứt ở bên trong; kinh phí làm thí nghiệm. Nghiên cứu sử dụng phần mềm mô phỏng Ansys phiên bản 16 để khảo sát.

3.1. Phần tử trong mô hình

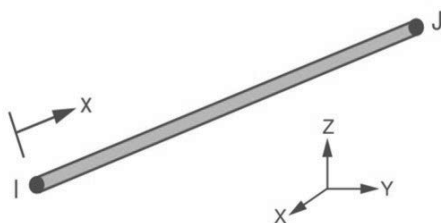
Các mẫu thí nghiệm được rời rạc hóa bởi các phần tử khối SOLID65, LINK180 và SOLID185.

Phần tử SOLID165: được dùng để mô hình hóa cho bê tông gồm đài cọc và cọc (Hình 5). Phần tử gồm tám nút với ba bậc tự do tại mỗi nút theo phương x, y, z. Tính chất quan trọng của phần tử này là cho phép định nghĩa vật liệu phi tuyến, xét được nứt (theo ba phương), nén vỡ, biến dạng dẻo và từ biến, dùng để mô tả vật liệu bê tông có chứa hàm lượng cốt thép.



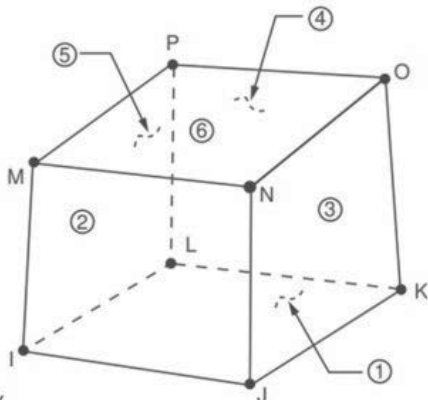
Hình 5. Dạng hình học của SOLID65

Phần tử LINK180: Được dùng để mô hình hóa cho cốt thép. Phần tử gồm hai nút, mỗi nút có ba bậc tự do theo các phương x, y, z. Phần tử chịu kéo, nén một trục, và có khả năng biến dạng dẻo, dùng để mô phỏng cốt thép đặt bên trong bê tông. Dạng hình học, vị trí các nút và hệ tọa độ của phần tử cho ở Hình 6.



Hình 6. Dạng hình học của phần tử LINK180

Phần tử SOLID185: Được dùng để mô phỏng cho tấm thép dẹt. Phần tử gồm 8 nút, mỗi nút có ba bậc tự do theo các phương x, y, z. Dạng hình học, vị trí các nút và hệ tọa độ của phần tử cho ở Hình 7.

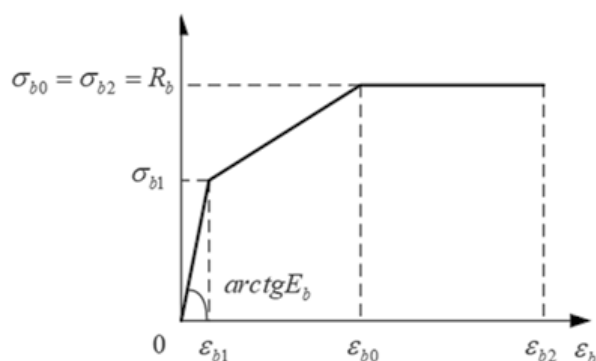


Hình 7. Dạng hình học của phần tử SOLID185

3.2. Mô hình vật liệu

• Bê tông:

Theo TCVN 5574:2018, quan hệ giữa ứng suất và biến dạng (US-BD) của bê tông (BT) có thể lấy theo mô hình quan hệ 3 đường thẳng. Hình 8 biểu diễn quan hệ ứng suất - biến dạng của bê tông theo phương trình (6) (7) (8):



Hình 8. Mô hình quan hệ ứng suất - biến dạng của bê tông theo TCVN 5574-2018

Khi $0 \leq \epsilon_b \leq \epsilon_{b1}$

$$\sigma_b = E_b \epsilon_b \quad (6)$$

Khi $\epsilon_{b1} \leq \epsilon_b \leq \epsilon_{b2}$

$$\sigma_b = \left[\left(1 - \frac{\sigma_{b1}}{R_b} \right) \frac{\epsilon_b - \epsilon_{b1}}{\epsilon_{b0} - \epsilon_{b1}} + \frac{\sigma_{b1}}{R_b} \right] R_b \quad (7)$$

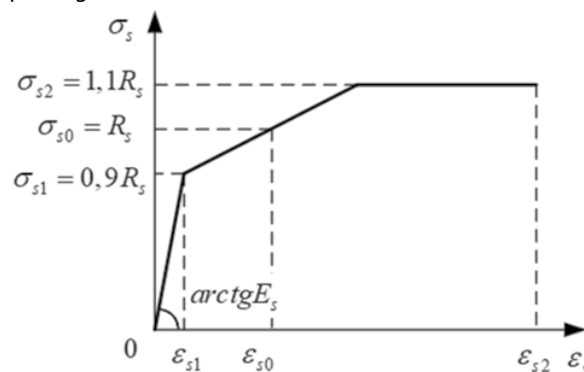
Khi $\epsilon_{b0} \leq \epsilon_b \leq \epsilon_{b2}$

$$\sigma_b = R_b \quad (8)$$

Trong đó $\sigma_{b1} = 0,6 R_b$

• Cốt thép :

Hình 9 biểu diễn quan hệ ứng suất - biến dạng của cốt thép theo các phương trình (9) (10) (11):



Hình 9. Mô hình quan hệ ứng suất - biến dạng của cốt thép

Khi $0 \leq \epsilon_s \leq \epsilon_{s1}$

$$\sigma_s = \epsilon_s E_s \quad (9)$$

Khi $\epsilon_{s1} \leq \epsilon_s \leq \epsilon_{s2}$

$$\sigma_s = \left[\left(1 - \frac{\sigma_{s1}}{R_s} \right) \frac{\epsilon_s - \epsilon_{s1}}{\epsilon_{s0} - \epsilon_{s1}} + \frac{\sigma_{s1}}{R_s} \right] R_s \leq 1,1 R_s \quad (10)$$

$$\sigma_{s1} = 0,9 R_s ; \sigma_{s2} = 1,1 R_s \quad \epsilon_{s1} = 0,9 R_s / E_s ; \sigma_{s2} = 0,015 \quad (11)$$

3.3. Tiêu chuẩn phá hoại

• Tiêu chuẩn phá hoại của phần tử bê tông:

Tiêu chuẩn phá hoại của William và Warnke sẵn trong ANSYS được sử dụng cho mô phỏng này. Bê tông sẽ bị nứt hoặc bị nén vỡ nếu thỏa mãn điều kiện ở phương trình (12)

$$\frac{F}{f_c} - S \geq 0 \quad (12)$$

Trong đó:

- F là hàm của trạng thái ứng suất chính ($\sigma_{xp}, \sigma_{yp}, \sigma_{zp}$).

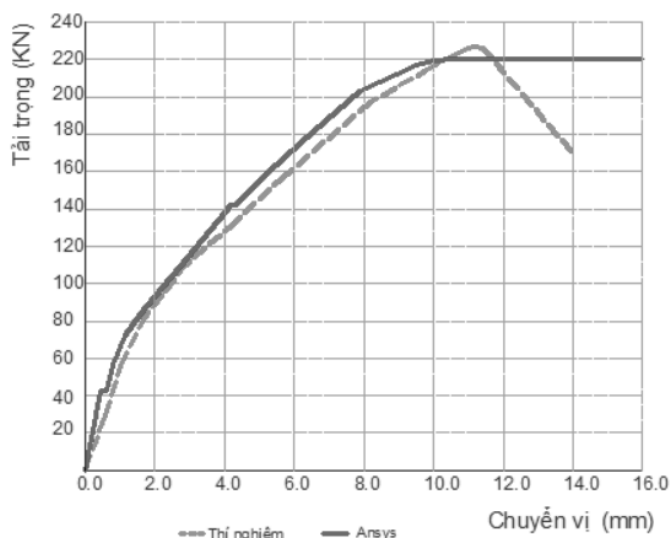
- $\sigma_{xp}, \sigma_{yp}, \sigma_{zp}$ là ứng suất chính theo các phương chính x, y, z .
 - S là bề mặt phá hoại được biểu diễn bởi những giá trị ứng suất chính và năm thông số $f_1, f_2, f_{cb}, f_1, f_2$.

- f_t, f_c : là cường độ chịu kéo và nén một trục của bê tông.

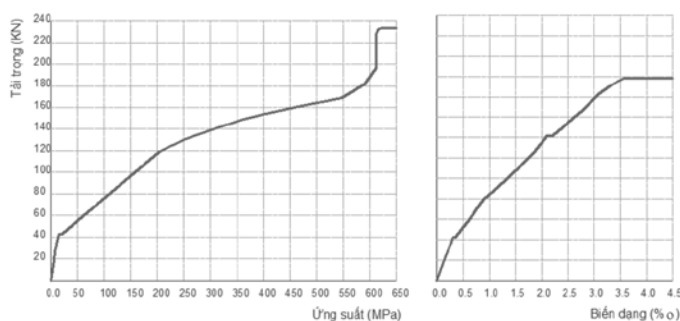
Bê tông bị nén vỡ khi ứng suất nén đạt giá trị cường độ f_c , bê tông khi bị nứt khi có một thành phần ứng suất chính vượt quá giá trị cường độ chịu kéo f_t .

• Sự phá hoại của đài cọc BTCT do chọc thủng:

Tăng tải trọng từng cấp, khảo sát mối quan hệ giữa tải trọng và chuyển vị giữa của sàn (P-d), tải trọng và biến dạng điểm góc giao giữa cột và sàn (P- ϵ), tải trọng và ứng suất trong cốt thép (P- σ), tải trọng tới hạn gây phá hoại chọc thủng khi (P-d) bắt đầu đi ngang (Hình 10) và biến dạng nén đầu cột đạt tới biến dạng tới hạn $\epsilon_{cu}=0,0035$ (Hình 11). Đây được coi là thời điểm phá hoại của đài cọc BTCT do chọc thủng được dự báo bởi ANSYS.



Hình 10. Quan hệ (P-d) theo ANSYS và thực nghiệm



Hình 11. Quan hệ (P- σ) và (P- ϵ) khi đài cọc bị phá hoại chọc thủng

4. KHẢO SÁT KHẢ NĂNG CHỐNG CHỌC THỬNG CỦA ĐÀI CỌC BTCT

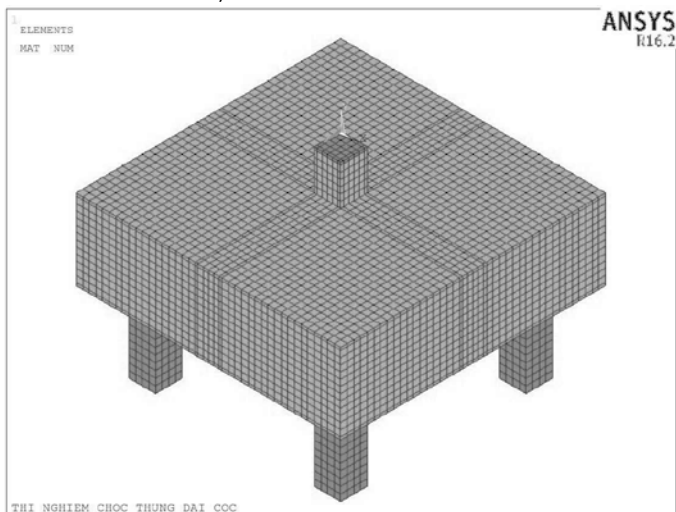
4.1. Bài toán khảo sát

Bài toán mô hình 1: Khảo sát khả năng chống chọc thủng của đài cọc làm bằng BTCT có tiết diện cột và cọc vuông 200×200 mm, chiều cao làm việc đài cọc $h_0=500$ mm, vật liệu B30, khoảng cách giữa 4 cọc là các tham số cần khảo sát để có tỷ số c_0/h ($c_0=c_1=c_2$) thay đổi trong khoảng từ 0,1 đến 1,0.

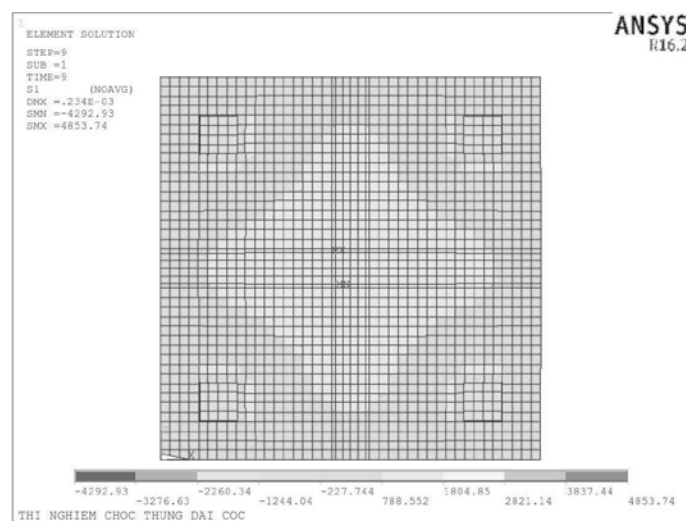
Bài toán mô hình 2: Tương tự bài toán mô hình 1, thay đổi chiều cao làm việc của đài cọc $h_0=600$ mm.

4.2. Mô hình Ansys

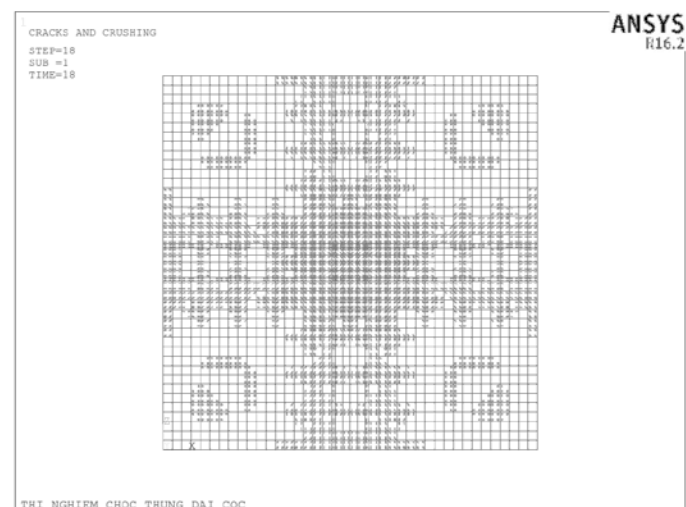
Lưới rời rạc ngoài theo lưới thép, cột, cọc, thép dọc và có kích thước lớn nhất là 50 mm như Hình 12, một số kết quả chính đồ họa khảo sát theo Hình 13, Hình 14.



Hình 12. Sơ đồ mô hình trong Ansys



Hình 13. Sơ đồ ứng suất chính tại đáy đài cọc trong Ansys

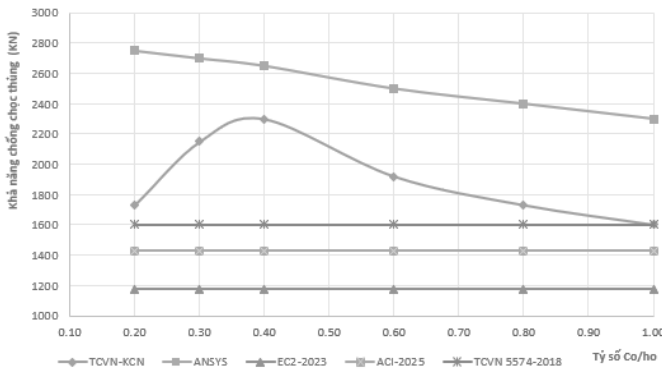


Hình 14. Sơ đồ vết nứt của đài cọc trong Ansys

4.3. Kết quả khảo sát

Bảng 1. Bảng KNCCT của đài cọc BTCT có $h_0=500$ theo tham số C_0/h_0

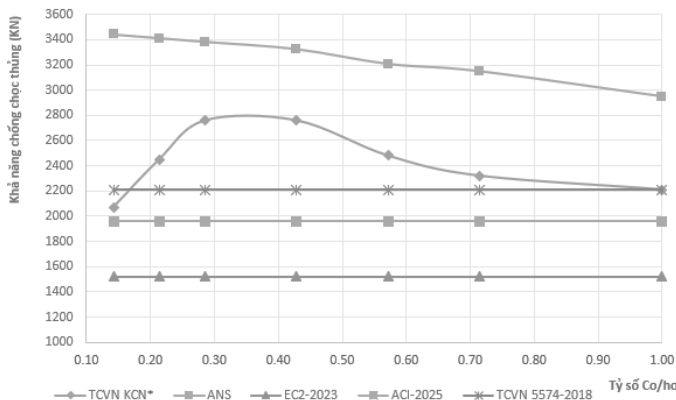
Thứ tự	c_0/h_0	Góc (độ)	ANSYS (KN)	TCVN ^{KCN} (KN)	TCVN (KN)	EC2 (KN)	ACI 318 (KN)
1	0,20	78,7	2850	1730	1600	1177	1428
2	0,30	73,3	2650	1940	1600	1177	1428
3	0,40	68,2	2650	2300	1600	1177	1428
4	0,60	59,0	2600	1920	1600	1177	1428
5	0,80	51,3	2500	1730	1600	1177	1428
6	1,00	45,0	2400	1600	1600	1177	1428
Trung bình P_{ans}/P_{code}				1,43	1,59	2,16	1,83



Hình 15. Biểu đồ KNCCT của đài cọc $h_0=500$ mm theo tham số C_0/h_0

Bảng 2. Bảng KNCCT của đài cọc có $h_0=600$ theo tham số C_0/h_0

Thứ tự	c_0/h_0	Góc (độ)	ANSYS (KN)	TCVN ^{KCN} (KN)	TCVN (KN)	EC2 (KN)	ACI 318 (KN)
1	0,14	81,8	3441	2070	2210	1519	1959
2	0,21	77,9	3412	2330	2210	1519	1959
3	0,29	74,0	3383	2760	2210	1519	1959
4	0,43	66,8	3325	2760	2210	1519	1959
5	0,57	60,3	3208	2480	2210	1519	1959
6	0,71	54,5	3150	2320	2210	1519	1959
7	1,00	45,0	2950	2210	2210	1519	1959
Trung bình P_{ans}/P_{code}				1,35	1,47	2,15	1,66



Hình 16. Biểu đồ quan hệ KNCCT của đài cọc $h_0=600$ mm theo tham số C_0/h_0

4.3. Nhận xét

Từ biểu đồ quan hệ khả năng chống chọc thủng của đài cọc theo tỷ số C_0/h_0 (Hình 15 và Hình 16) rút ra được những nhận xét như sau:

- Kết quả khảo sát số cho thấy khi tăng tỷ số c_0/h_0 (giữ nguyên chiều cao đài cọc và bố trí hệ cọc xa dần mép cột) thì khả năng chống chọc thủng của đài cọc BTCT giảm dần.

- Áp dụng công thức (2) [4] thì khả năng chống chọc thủng theo tỷ số h_0/c_0 thì sự biến thiên so với mô phỏng số sẽ đúng trong khoảng C_0/h_0 từ 0,4 đến 1,0. Khi $C_0/h_0 < 0,40$, sự biến thiên ngược theo công thức (2) lại với mô phỏng số, có thể nên kéo ngang biểu đồ, tức là trong khoảng này nên lấy không đổi bằng khả năng chống chọc thủng của đài cọc tại vị trí C_0/h_0 bằng 0,4.

- Nếu tính với các góc nghiêng phá hoại chọc thủng không đổi theo cả 3 tiêu chuẩn TCVN 5574-2018, EC2-2023 và ACI 318-2025 thì đều thiên về an toàn với các hệ số an toàn trung bình lần lượt là 1,53 ; 2,15 và 1,73.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã xây dựng được mô hình số trong phần mềm Ansys viết bằng ngôn ngữ ADPL để tính toán khả năng chống chọc thủng của đài cọc BTCT. Kết quả nghiên cứu khảo sát cho thấy có thể điều chỉnh tăng khả năng chống chọc thủng của đài cọc theo tỷ số h_0/C_0 để được chiều cao đài cọc kinh tế hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. TCVN 5574:2018. Thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế. Viện khoa học Công nghệ Xây dựng - Bộ Xây dựng.
- [2]. Eurocode 2, Design of concrete structures, CEN on 23 July 2023.
- [3]. ACI 318-2025, Building Code Requirements for Structural Concrete, American Concrete Institute, 2025.
- [4]. Minh, P. Q., Phong, N. T., Thắng, N. T., Tùng, V. M. (2024). Kết cấu nhà bê tông cốt thép. NXB Khoa học và kỹ thuật.
- [5]. ANSYS, Inc Theory reference, Release 16.0, Documentation for ANSYS, 2015.
- [6]. Tam, T.V: RDSuite-Phần mềm phân tích thiết kế kết cấu theo Tiêu chuẩn Việt Nam.

Nghiên cứu thực nghiệm xác định hệ số phá do nổ cho một số loại bê tông

Experimental study to determine the destruction coefficient by explosive for some types of concrete

> PGS.TS NGUYỄN TRÍ TÁ

Học viện Kỹ thuật quân sự

TÓM TẮT

Hiện nay, việc sử dụng thuốc nổ nói chung, đặc biệt là thuốc nổ Trinitrotoluen (TNT) trong phá hủy đất đá hoặc công trình xây dựng đã và đang được áp dụng rộng rãi. Tuy nhiên, phạm vi ảnh hưởng (vùng phá hoại) do vụ nổ gây ra hiện vẫn chủ yếu được xác định dựa trên các công thức thực nghiệm. Theo các công thức đó phụ thuộc nhiều vào hệ số phá hoại K_p của các loại vật liệu, để có được hệ số này cần phải tiến hành thí nghiệm nổ. Đặc biệt, một số loại vật liệu bê tông như bê tông có cấp độ bền B22,5, bê tông san hô cấp độ bền B20 vẫn chưa có hệ số phá hoại K_p . Vì vậy, bài báo này trình bày kết quả thí nghiệm nổ phá trên một số mẫu bê tông bằng thuốc nổ TNT, nhằm xác định được bán kính vùng phá hoại từ đó xác định được hệ số phá hoại K_p phục vụ cho việc tính toán tác dụng phá khi sử dụng thuốc nổ đối với các kết cấu bằng vật liệu bê tông.

Từ khóa: Nổ phá, hệ số phá, vật liệu bê tông.

ABSTRACT

Currently, the use of explosives in general or Trinitrotoluene (TNT) explosives in particular to destroy rocks or construction works has been and is being applied. However, to calculate the scope of destruction (destruction zone) after explosion, empirical formulas are often used. According to those formulas, it depends a lot on the destruction coefficient K_p of the materials, to obtain this coefficient, it is necessary to conduct explosion tests. In particular, some types of concrete materials such as concrete with durability level B22,5, coral concrete with durability level B20 still do not have the destruction coefficient K_p . Therefore, this article presents the results of explosion tests on some concrete samples using TNT explosives, in order to determine the radius of the destruction zone, thereby determining the destruction coefficient K_p to serve the calculation of the destructive effect when using explosives on concrete structures.

Keywords: Explosives, destruction coefficient, concrete materials.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, việc tính toán tác dụng phá hoại của các loại thuốc nổ nói chung, đặc biệt là thuốc nổ TNT trong môi trường rắn, chủ yếu dựa trên các công thức thực nghiệm được xây dựng bởi các quốc gia như Nga, Mỹ và Pháp... Các công thức thực nghiệm phụ thuộc vào hệ số phá (K_p) của các loại vật liệu. Tuy nhiên, hệ số phá (K_p) chưa bao phủ hết cho các loại vật liệu hiện có ở Việt Nam như bê tông cấp độ bền B22,5 (mác 300), bê tông san hô cấp độ bền B20 (mác 250), cát san hô...

Vì vậy, việc thực hiện thí nghiệm xác định hệ số phá hoại (K_p) trong một số môi trường như đã nêu là cần thiết nhằm bổ sung và hoàn thiện cơ sở dữ liệu phục vụ công tác nghiên cứu, tính toán thiết kế và thi công các công trình. Kết quả nghiên cứu trong bài báo này sẽ góp phần cung cấp thêm một số hệ số phá hoại K_p cho vật liệu bê tông B22,5 và bê tông san hô B20.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT TÍNH TOÁN TÁC DỤNG NỔ TRONG MÔI TRƯỜNG RẮN

Khác với nổ trong không khí và trong nước, tính chất vật lý của môi trường rắn bao gồm mật độ, độ bền, mức độ ngậm nước, độ rỗng, tính dẻo rất đa dạng. Khi chịu nén các cấu trúc rỗng sẽ bị nén lại và thay đổi độ rỗng; khi áp lực nén tăng sẽ dẫn tới biến dạng các hạt cốt rắn bị biến dạng. Sau khi dỡ tải sẽ tồn tại biến dạng dư, các hạt vật liệu không trở về vị trí ban đầu. Năng lượng của một vụ nổ trong môi trường rắn chủ yếu tiêu tốn gây ra biến dạng dẻo và phá hủy môi trường.

Xét lượng nổ hình cầu nổ trong môi trường rắn vô hạn. Sau quá trình gây nổ sản phẩm nổ được nén với áp lực cao và chạm mạnh với lớp môi trường xung quanh, tạo ra xung riêng và chuyển thành sóng nén trong môi trường rắn. Khi vụ nổ xảy ra bên trong môi trường rắn từ tâm nổ hình thành sóng chấn tâm lan truyền trong môi trường. Sản phẩm nổ được hình thành có áp suất rất lớn tạo ra xung riêng mạnh trên bề mặt phân cách giữa môi trường và lượng nổ, đây là một nhiễu động mạnh, tức thời của môi trường rồi chuyển thành sóng nén tại một khoảng cách nhất định. Các tham số của xung riêng thay đổi một cách đột ngột, tốc độ lan truyền của nó vượt tốc độ âm của môi trường. Sự lan truyền của xung riêng gắn liền với sự tổn thất năng lượng, do đó trên thực tế đối với lượng nổ thông thường người ta thấy rằng vùng lan truyền xung riêng chỉ xảy ra trong phạm vi (từ 5÷7) lần bán kính lượng nổ. Trong trường hợp tổng quát, tại một điểm cách tâm nổ một khoảng r nào đó, một phần tử môi trường chịu tác dụng nén của ứng suất pháp σ_r , chịu tác dụng kéo của ứng suất tiếp σ_t . Trong vùng tác dụng của xung

riêng, ứng suất trên mặt rất lớn, do đó môi trường rắn ở gần lượng nổ bị vỡ vụn và chuyển sang trạng thái chảy, hình thành vùng biến dạng dẻo trong phạm vi (từ 3÷7) lần bán kính lượng nổ. Trong quá trình lan truyền ở một cự ly nào đó tính từ tâm nổ xung riêng trong môi trường sẽ chuyển thành sóng nén với thời gian tăng tải và giảm tải của biểu đồ sóng nén. Sóng nén là nhiễu động không đàn hồi của môi trường, các tham số của sóng nén biến thiên một cách từ từ, tốc độ lan truyền bằng tốc độ âm của môi trường đã cho. Trong vùng lan truyền của sóng nén, môi trường có tính chất không đàn hồi, phát sinh biến dạng dư dẫn đến phá hoại liên kết giữa các phần tử của môi trường. Kết quả là hình thành hệ thống các vết nứt hướng tâm và hình vòng. Vùng lan truyền biến dạng này có phạm vi khoảng (từ 120÷150) lần bán kính lượng nổ. Hình ảnh vụ nổ trong môi trường rắn cho trên (hình 1).

Khi xảy ra vụ nổ trong môi trường rắn, tất cả bề mặt của môi trường tiếp xúc với lượng nổ, cùng chịu sự tác động của sản phẩm nổ. Môi trường xung quanh lượng nổ hình thành ba vùng rõ rệt: vùng nén, vùng phá hoại và vùng chấn động (hình 1).

- Vùng nén là vùng kể sát khối thuốc nổ, dưới tác dụng của áp suất, nhiệt độ rất lớn của sản phẩm nổ, các lớp môi trường bị đập vụn, nén ép và chuyển động mạnh theo hướng bán kính, đồng thời cũng nén ép và đẩy các lớp môi trường tiếp theo. Do vậy, Khi sản phẩm nổ dẫn nổ môi trường bị nén rất mạnh tạo thành khối rỗng, môi trường bị biến dạng dẻo, ép chặt vào nhau hình thành vành đai cứng.

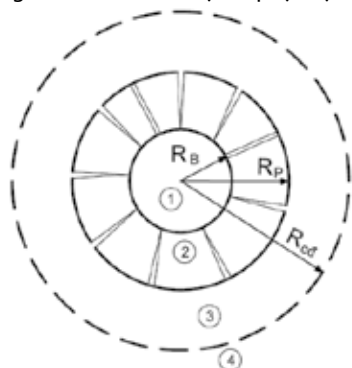
- Vùng phá hoại kể sát vùng nén, trong phạm vi vùng phá hoại, môi trường bị biến dạng dẻo phá huỷ hoàn toàn liên kết hình thành vùng đập vụn. Tiếp theo vùng nứt nẻ kể sát vùng đập vụn, môi trường trong vùng này bị phá hoại một phần dưới dạng các vết nứt xuyên tâm và tiếp tuyến.

- Vùng chấn động kể sát vùng phá hoại, vùng chấn động hay vùng biến dạng đàn hồi, trong đó môi trường không bị phá hoại về kết cấu nhưng còn bị dao động do tác dụng của sóng nổ tạo thành sóng chấn động trong môi trường. Do đặc điểm cấu tạo của môi trường, trong nền môi trường xung lực tồn tại, duy trì trong một khoảng thời gian và khoảng cách rất ngắn rồi nhanh chóng biến thành sóng nén. Các đặc trưng cơ bản của sóng nén là:

- Mặt sóng nén không thay đổi đột ngột và dốc đứng như mặt sóng xung kích mà biến đổi từ từ, tăng từ 0 đến giá trị cực đại rồi lại giảm từ giá trị cực đại đến 0;

- Thời gian tác dụng của tải trọng lớn hơn nhiều so với sóng xung kích;

- Tại các khoảng cách khác nhau trị số áp lực cực đại khác nhau.



Hình 1. Nổ trong môi trường vô hạn

Kết quả thực nghiệm cho thấy thể tích các vùng biến dạng tỉ lệ thuận với trọng lượng khối thuốc nổ.

$$V = \mu \cdot C \quad (1)$$

trong đó:

V là thể tích khối cầu, $V = \frac{4}{3} \pi R^3 \text{ (m}^3\text{)}$;

C là trọng lượng khối nổ (kg);

μ là hệ số tỉ lệ.

Thay V vào công thức (1) ta có:

$$R = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot \mu \cdot C}{4 \cdot \pi}} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot \mu}{4 \cdot \pi}} \cdot \sqrt[3]{C} = K \cdot \sqrt[3]{C} \quad (2)$$

trong đó K là hệ số phụ thuộc tính chất cơ lý của môi trường. Hệ số K được xác định bằng thực nghiệm.

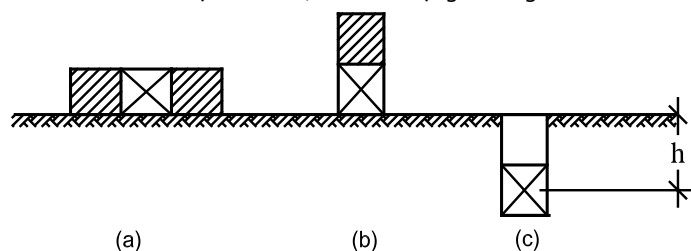
Việc nghiên cứu ở trên mới chỉ xét đến lượng nổ trong môi trường đồng nhất vô hạn. Trong thực tế, các vụ nổ thường nổ ở trên mặt môi trường hoặc ở một độ sâu nào đó. Vì vậy, cần xét ảnh hưởng này khi nghiên cứu tác dụng nổ.

Giáo sư M.A.Xa-đốp-sky đã thí nghiệm nổ các khối nổ trên mặt đất theo mô hình (hình 1).

- Khối nổ được chèn xung quanh, tác dụng nổ tăng 25 đến 30% (hình 2a)

- Khối nổ chèn ở trên mặt (hình 2b) tác dụng nổ không tăng.

- Khối nổ nổ ở độ sâu $h \geq 0,5\sqrt{C}$, tác dụng nổ tăng 60% (hình 2c).



Hình 2. Sơ đồ bố trí lượng nổ

Để thể hiện ảnh hưởng này đối với các vùng biến dạng ta đưa vào công thức (2) hệ số hiệu chỉnh m, gọi là hệ số lèn. Khi đó công thức (2) đối với các vùng biến dạng được viết dưới dạng:

$$\left. \begin{aligned} R_B &= m \cdot K_B \sqrt[3]{K_T \cdot C} \\ R_P &= m \cdot K_P \sqrt[3]{K_T \cdot C} \\ R_C &= m \cdot K_C \sqrt[3]{K_T \cdot C} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

trong đó:

- R_B, R_P, R_C là bán kính các vùng biến dạng, m;

- m là hệ số lèn, lấy theo bảng tra [1];

- K_B, K_P, K_C là các hệ số phụ thuộc tính chất môi trường đối các vùng nén, vùng phá hoại và vùng chấn động, một số vật liệu lấy theo bảng tra [1] và dùng với uy lực nổ của thuốc nổ tiêu chuẩn TNT;

- K_T là hệ số sử dụng thuốc, xác định theo:

$$K_T = \frac{Q_X}{Q_{TNT}} \quad (4)$$

QTNT là nhiệt lượng nổ của thuốc nổ TNT

QX là nhiệt lượng nổ của thuốc nổ sử dụng.

Từ công thức (3) tính được K_P khi biết được bán kính phá hoại và trọng lượng thuốc nổ

$$K_P = \frac{R_P}{m \sqrt[3]{K_T \cdot C}} \quad (5)$$

Trong các thí nghiệm nổ các mẫu sẽ sử dụng thuốc nổ TNT và nổ trên bề mặt mẫu. Vì vậy, $K_T=1$ và $m=1$.

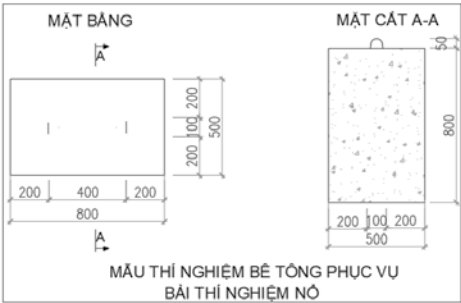
3. THÍ NGHIỆM XÁC ĐỊNH VÙNG PHÁ HOẠI DO NỔ ĐỐI VỚI VẬT LIỆU BÊ TÔNG

3.1. Mục đích thí nghiệm

Tiến hành thí nghiệm nổ bằng các lượng thuốc nổ TNT trên bề mặt các mẫu bê tông thường (xi măng PC40, cát vàng, đá 1x2cm và nước ngọt) và bê tông san hô (xi măng PC40, đá san hô 1x2 cm, cát san hô và nước biển) có cường độ chịu nén khác nhau. Sau khi nổ, tiến hành 03 lần đo vùng phá hoại trên các mẫu và sử dụng công thức (5) để xác định hệ số phá hoại K_p cho các loại vật liệu bê tông thường B22,5 và bê tông san hô B20.

3.2. Kích thước các mẫu thí nghiệm nổ

Để xác định hệ số phá hoại cho vật liệu bê tông thường B22,5 và bê tông san hô B20 tiến hành chế tạo các mẫu bê tông có kích thước 0,8x0,8x0,5 m. Mỗi mẫu bê tông được ký hiệu riêng, có lý lịch mẫu về kiểm soát chất lượng thông qua kết quả nén các tuổi R14, R28 như (hình 3).



Hình 3. Mẫu bê tông phục vụ thí nghiệm nổ

Số lượng mẫu phục vụ thí nghiệm gồm 10 mẫu bê tông thường và 10 mẫu bê tông san hô. Sau khi chế tạo tổ chức nén các mẫu với tuổi bê tông 14 ngày và 28 ngày, kết quả nén mẫu cho trong bảng 1.

Bảng 1. Kết quả nén mẫu theo tuổi của các loại bê tông

Loại bê tông	Ký hiệu mẫu thí nghiệm	Cường độ chịu nén (kG/cm ²)		Loại bê tông	Ký hiệu mẫu thí nghiệm	Cường độ chịu nén (kG/cm ²)	
		R14	R28			R14	R28
Bê tông thường	BT1	272,50	340,74	Bê tông san hô	BTSH1	220,62	324,44
	BT2	272,50	340,74		BTSH2	166,73	269,63
	BT3	330,50	423,70		BTSH3	166,73	269,63
	BT4	330,50	423,70		BTSH4	166,73	269,63
	BT5	267,84	334,81		BTSH5	220,62	324,44
	BT6	307,87	410,37		BTSH6	142,30	214,07
	BT7	307,87	410,37		BTSH7	145,81	216,30
	BT8	285,55	380,74		BTSH8	145,81	216,30
	BT9	268,89	351,85		BTSH9	142,30	214,07
	BT10	253,33	333,33		BTSH10	166,72	245,19

3.3. Vật liệu nổ

Sử dụng thuốc nổ TNT, lượng thuốc nổ được tiến hành thử từ 0,025 kg đến khi mẫu bị phá hoại và lựa chọn lượng thuốc nổ hợp lý nhất cho mỗi loại mẫu.

Kíp nổ sử dụng kíp điện số 8.

Máy điểm hỏa, dây điện sử dụng của phòng thí nghiệm công trình đặc biệt - Viện Kỹ thuật công trình đặc biệt - HVKTQS

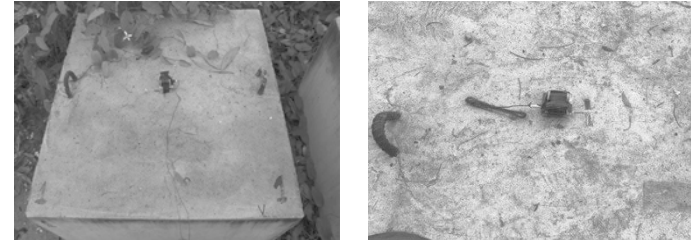
3.4. Tiến hành thí nghiệm nổ

Sau khi các mẫu bê tông đủ tuổi lớn hơn 28 ngày sẽ tiến hành thí nghiệm nổ theo Kế hoạch và chấp hành nghiêm các quy định về an toàn nổ.

Địa điểm nổ được tiến hành tại thao trường huấn luyện tổng hợp của Viện Kỹ thuật công trình đặc biệt - thuộc khu Trung tâm Nghiên cứu Bảo đảm kỹ thuật và Chuyển giao công nghệ Hòa Lạc của Học viện Kỹ thuật quân sự.

Thời gian thực hiện tháng 10/2024.

Hình ảnh mẫu bê tông và thuốc nổ đặt tại tâm mẫu hình 4



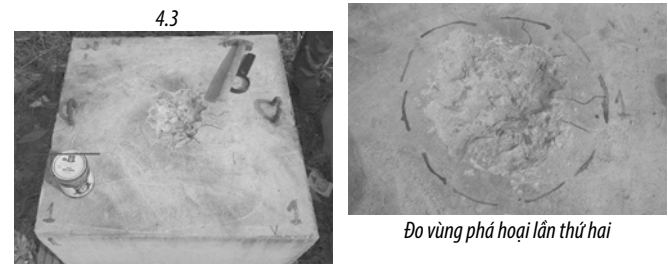
Hình 4. Mẫu bê tông và thuốc nổ đặt tại tâm trước khi nổ

3.5. Kết quả sau khi nổ

3.5.1. Bê tông thường B22,5

Ngay sau khi nổ bề mặt mẫu được làm sạch và đo vùng phá hoại thông qua việc xác định vùng nứt và đo được đường kính vùng phá

hoại lần thứ nhất. Tiếp tục dùng nước vệ sinh sạch bề mặt mẫu đợi khô đo vùng phá hoại lần thứ 2 (hình 5). Tiếp theo sử dụng nước màu đỏ đẩy phễu phá cho thấm vào các vết nứt và dùng cửa máy cửa qua tâm vùng phá hoại tiếp tục đo được vùng phá hoại lần thứ 3 (hình 6) và đo được kích thước phễu nổ được thể hiện trong bảng 2.



Hình 5. Vùng phá hoại mẫu bê tông sau khi nổ



Hình 6. Sau khi cửa mẫu bê tông và đo vùng phá hoại lần thứ ba

Bảng 2. Kết quả đo vùng phá hoại cho các mẫu bê tông thường

TT	Ký hiệu mẫu thí nghiệm	Chiều rộng vùng phá hoại (cm)			Kích thước phễu (cm)		Trọng lượng thuốc nổ (kg)	Vị trí lượng đặt nổ
		Lần 1 (Sơ bộ)	Lần 2 (Sau KT)	Lần 3 Sau Cưa	Rộng (cm)	Sâu (cm)		
1	BT1	30,0	37,0	37,0	23,5	5,5	0,15	Nổ trên mặt
2	BT2	29,0	35,9	35,9	21,5	5,8	0,15	Nổ trên mặt
3	BT3	31,0	31,4	31,4	26,0	5,6	0,15	Nổ trên mặt
4	BT4	30,0	29,0	29,5	24,0	5,7	0,15	Nổ trên mặt
5	BT5	30,0	33,5	33,5	24,0	5,7	0,15	Nổ trên mặt
6	BT6	29,0	30,0	32,0	23,0	5,5	0,15	Nổ trên mặt
7	BT6	30,5	30,5	30,5	24,0	5,6	0,15	Nổ trên mặt
8	BT8	33,0	32,0	32,5	24,0	5,7	0,15	Nổ trên mặt
9	BT9	34,5	34,9	34,9	24,0	5,7	0,15	Nổ trên mặt
10	BT10	30,0	33,0	33,5	26,0	5,4	0,15	Nổ trên mặt

Trên cơ sở công thức (5) sau khi có đường kính vùng phá hoại theo bảng 2 tính toán được hệ số phá hoại cho bê tông thường B22,5 theo bảng 3.

Bảng 3. Kết quả tính hệ số phá hoại cho các mẫu bê tông thường

Số TT	Ký hiệu mẫu thí nghiệm	Cường độ chịu nén của mẫu bê tông (kG/cm ²)	Đường kính phá hoại (cm)	Trọng lượng thuốc nổ (kg)	Hệ số phá hoại K _p (m)
1	BT1	340,74	37	0,15	0,348
2	BT2	340,74	35,9	0,15	0,338
3	BT3	423,70	31,4	0,15	0,295
4	BT4	423,70	30	0,15	0,282
5	BT5	334,81	33,5	0,15	0,315
6	BT6	410,37	30,0	0,15	0,282
7	BT7	410,37	30,5	0,15	0,287
8	BT8	380,74	33,0	0,15	0,311
9	BT9	351,85	34,9	0,15	0,329
10	BT10	333,33	33,5	0,15	0,315

3.5.2. Bê tông san hô B20

Tương tự như bê tông thường B22,5, ngay sau khi nổ bề mặt mẫu được làm sạch và đo vùng phá hoại thông qua việc xác định vùng nứt và đo được đường kính vùng phá hoại lần thứ nhất. Tiếp tục dùng nước vệ sinh sạch bề mặt mẫu đợi khô đo vùng phá hoại

lần thứ 2 (hình 5). Tiếp theo sử dụng nước màu đỏ đẩy phễu phá cho thấm vào các vết nứt và dùng của máy cưa qua tâm vùng phá hoại tiếp tục đo được vùng phá hoại lần thứ 3 (hình 6) và đo được kích thước phễu nổ được thể hiện trong bảng 4.

Bảng 4. Kết quả đo vùng phá hoại cho các mẫu bê tông san hô

TT	Ký hiệu mẫu thí nghiệm	Chiều rộng vùng phá hoại (cm)			Kích thước phễu (cm)		Trọng lượng thuốc nổ (kg)	Vị trí lượng đặt nổ
		Lần 1 (Sơ bộ)	Lần 2 (Sau KT)	Lần 3 Sau Cưa	Rộng (cm)	Sâu (cm)		
1	BTSH1	30,4	30,0	31,4	24,0	6,5	0,1	Nổ trên mặt
2	BTSH2	34,0	35,5	34,5	25,0	6,1	0,1	Nổ trên mặt
3	BTSH3	34,0	35,0	36,8	21,5	5,2	0,1	Nổ trên mặt
4	BTSH4	33,6	33,0	34,4	21,5	4,0	0,1	Nổ trên mặt
5	BTSH5	32,2	31,8	33,5	26,0	6,1	0,1	Nổ trên mặt
6	BTSH6	35,0	34,5	38,7	27,0	6,1	0,1	Nổ trên mặt
7	BTSH6	34,0	36,5	34,5	29,0	7,1	0,1	Nổ trên mặt
8	BTSH8	34,0	36,3	34,0	28,0	6,1	0,1	Nổ trên mặt
9	BTSH9	34,6	34,9	36,9	27,0	6,8	0,1	Nổ trên mặt
10	BTSH10	32,0	32,0	35,6	27,5	7,2	0,1	Nổ trên mặt

Trên cơ sở công thức (5) sau khi có đường kính vùng phá hoại theo bảng 4 tính toán được hệ số phá hoại cho bê tông san hô theo bảng 5.

Bảng 5. Kết quả tính hệ số phá hoại cho các mẫu bê tông san hô

Số TT	Ký hiệu mẫu thí nghiệm	Cường độ chịu nén của mẫu bê tông (kG/cm ²)	Đường kính phá hoại (cm)	Trọng lượng thuốc nổ (kg)	Hệ số phá hoại K _p (m)
1	BTSH1	324,44	31,4	0,1	0,338
2	BTSH2	269,63	35,5	0,1	0,382
3	BTSH3	269,63	36,8	0,1	0,397
4	BTSH4	269,63	34,6	0,1	0,373
5	BTSH5	324,44	33,5	0,1	0,361
6	BTSH6	214,07	38,7	0,1	0,417
7	BTSH7	216,30	36,5	0,1	0,393
8	BTSH8	216,30	36,3	0,1	0,391
9	BTSH9	214,07	36,9	0,1	0,398
10	BTSH10	245,19	35,6	0,1	0,386

3.6. Xác định hệ số phá hoại của các loại bê tông

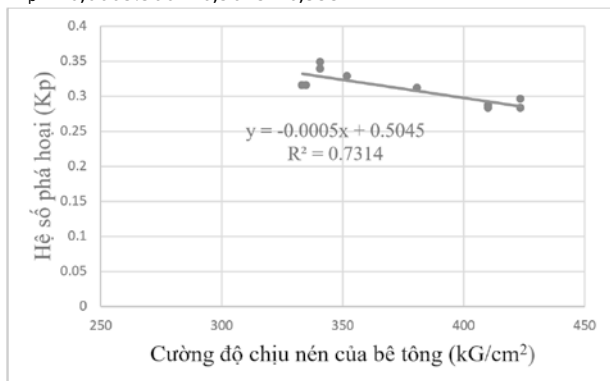
3.6.1. Bê tông thường B22,5 (mức 300)

Trên cơ sở cường độ chịu nén của các mẫu bê tông thường hệ số phá hoại tương ứng trong bảng 3. Sử dụng thuật toán hồi quy bằng phần mềm Excel cho kết quả quan hệ giữa cường độ chịu nén của bê tông thường và hệ số phá hoại như hình 7. Trên cơ sở hàm hồi quy tính được hệ số phá hoại cho bê tông thường B22,5 (mức 300) như sau:

Từ công thức $K_p = -0,0005.X + 0,5045$,

Xác định được hệ số phá của bê tông B22,5:

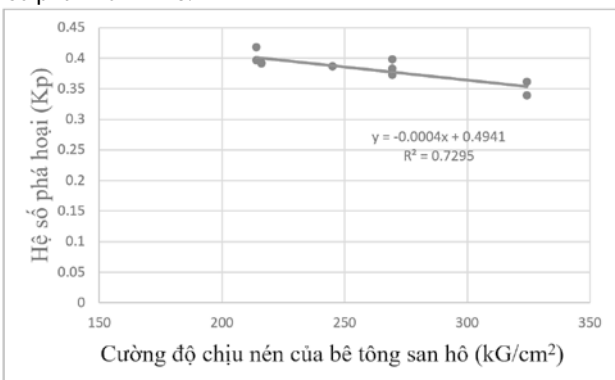
$K_p = -0,0005.300 + 0,5045 = 0,355$



Hình 7. Quan hệ giữa cường độ chịu nén của bê tông thường và hệ số phá hoại K_p

3.6.2. Bê tông san hô B20 (mức 250)

Trên cơ sở các mẫu bê tông san hô và hệ số phá hoại tương ứng trong bảng 5, sử dụng thuật toán hồi quy bằng phần mềm Excel cho kết quả quan hệ giữa cường độ chịu nén của bê tông san hô và hệ số phá hoại như hình 8.



Hình 8. Quan hệ giữa cường độ chịu nén của bê tông san hô và hệ số phá hoại K_p

Trên cơ sở hàm hồi quy tính được hệ số phá hoại cho bê tông san hô B20 (mức 250) như sau:

Theo hàm $K_p = -0,0004.X + 0,4941$,

Xác định được hệ số phá của bê tông san hô B20

$K_p = -0,0004.250 + 0,4941 = 0,394$.

4. KẾT LUẬN

Như vậy, với kết quả thí nghiệm bằng các lượng thuốc nổ TNT trên các mẫu bê tông thường, với cốt liệu (xi măng PC40, cát vàng, đá dăm kích thước 1x2 cm, nước ngọt) và bê tông san hô với cốt liệu (xi măng PC40, đá san hô kích thước 1x2 cm, cát san hô, nước biển). Trên cơ sở kết quả đo các vùng phá hoại và sử dụng công thức tính toán hệ số phá hoại đã xác định được hệ số phá hoại cho bê tông thường B22,5 là 0,355 và hệ số phá hoại cho bê tông san hô B20 là 0,394.

Với hệ số phá hoại của bê tông đá dăm B22,5 là 0,355 thấp hơn với hệ số phá hoại của bê tông đá dăm B20 theo tài liệu [1] là 0,36, hệ số phá hoại của bê tông san hô B20 là 0,394 cho thấy kết quả thu được từ thí nghiệm là hợp lý. Các kết quả này sẽ là dữ liệu tham khảo cần được tiếp tục nghiên cứu thực nghiệm để bổ sung vào bảng hệ số phá hoại K_p trong các tài liệu chuyên ngành.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Trí Tá, Vũ Đình Lợi, Đặng Văn Đích (2008), Giáo trình công sự tập I, Học viện Kỹ thuật quân sự.
- [2]. Vũ Đình Lợi (2005), Giáo trình Công sự (dùng cho học viên cao học chuyên ngành xây dựng CTQP), Học viện Kỹ thuật quân sự.
- [3]. Henrych J. The Dynamics of Explosion and Its Use, Chapter 5. Elsevier: New York, 1979.
- [4]. Baker, W. E. (1973). Explosions in Air. University of Texas Press, Austin, Texas.
- [5]. Кутузов Б.Н. Разрушение горных пород взрывом - Взрывные технологии в промышленности. МГТУ, Москва, 1994, 450 с.
- [6]. Кутузов Б.Н. Взрывное и Механическое разрушение горных пород. Недра, Москва, 1973, 310с.
- [7]. Т.М. Саламахин. Пособие для решения по теории механического действия взрыва. ВИА - 1967.
- [8]. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике, Изд.ГИТЛ, 1954.
- [9]. Крюков Г.М. Методы научных исследований. МГТУ. Москва 2002.

Khảo sát ảnh hưởng của hệ giằng thép đến sự làm việc của kết cấu nhà khung liên hợp thép-bê tông chịu động đất

Investigation of the effect of steel bracing systems on the performance of steel-concrete composite frame structures under earthquake loads

> TS PHẠM THU HIỂN*, TS NGUYỄN VĂN THẮNG, TS BÙI SĨ MƯỜI, TS NGUYỄN THỊ THANH THÚY
Trường Đại học Thủy Lợi; *Email: hienpt@tlu.edu.vn

TÓM TẮT

Kết cấu liên hợp thép - bê tông (KCLHT-BT) ngày càng được sử dụng phổ biến trong các công trình nhà nhiều tầng nhờ kết hợp hiệu quả các ưu điểm của hai vật liệu: thép và bê tông. Trong kết cấu nhà nhiều tầng liên hợp thép - bê tông (LHT-BT), hệ giằng là bộ phận quan trọng, đóng vai trò kết nối các cấu kiện chịu lực và tăng cường độ ổn định cho công trình khi chịu các tải trọng ngang như gió và động đất. Tuy nhiên, việc bố trí hệ giằng sao cho tối ưu và hiệu quả trong thiết kế nhà KCLHT-BT vẫn là một vấn đề cần được nghiên cứu và làm rõ.

Nghiên cứu này khảo sát ảnh hưởng của việc bố trí các hệ giằng chéo bằng thép tới phản ứng kháng chấn của một công trình KCLHT-BT với 7 phương án bố trí hệ giằng khác nhau. Phương pháp phân tích phi tuyến theo lịch sử thời gian được sử dụng để phân tích công trình, trong đó giả định gia tốc của trận động đất Kobe được hiệu chỉnh phù hợp với phổ phản ứng đàn hồi tại Hà Nội và theo TCVN 9386:2012. Kết quả nghiên cứu cho thấy giải pháp sử dụng hệ giằng đạt hiệu quả giảm chấn cao, thể hiện qua độ giảm chuyển vị ngang tại đỉnh của các phương án khảo sát có bố trí hệ giằng so với công trình không có hệ giằng, giảm lớn nhất 59,2%, giảm chuyển vị ngang tương đối theo tầng lên đến 77,4% và lực cắt đáy tầng đáng kể. Trong đó, phương án bố trí 2 hệ giằng đầu hồi theo phương X đạt hiệu quả cao nhất trong các phương án khảo sát. Điều này khẳng định vai trò quan trọng của hệ giằng trong việc tăng độ cứng ngang và khả năng kháng chấn của KCLHT-BT.

Từ khóa: Kết cấu liên hợp thép - bê tông, hệ giằng, nhà nhiều tầng, thiết kế kháng chấn.

ABSTRACT

Steel-concrete composite structures are increasingly used in high-rise buildings due to the combination of the advantages of steel and concrete materials. In steel-concrete composite high-rise buildings, the bracing system is a crucial component that connects load-bearing members and enhances the stability of the structure under lateral loads such as wind and earthquakes. However, the optimal and effective arrangement of bracing systems in steel-concrete composite building design remains an issue that needs further clarification. This study investigates the influence of steel X-bracing arrangements on the seismic response of an steel-concrete composite building with 7 different bracing options. Nonlinear time-history analysis is employed to analyze the structure, using the acceleration time history of the Kobe earthquake, adjusted to match the elastic response spectrum in Hanoi according to TCVN 9386:2012. The research results show that the use of bracing systems achieves high damping effectiveness, demonstrated by the reduction in roof horizontal displacement in the surveyed schemes with bracing compared to the structure without bracing, with the maximum reduction of 59.2 %, inter-story drift reduction up to 77.4 %, and a significant increase in base shear. Among them, the scheme of arranging the bracing system at both gable ends of the building in the X direction achieves the highest efficiency among the surveyed schemes. This confirms the important role of bracing systems in increasing lateral stiffness and seismic resistance of steel-concrete composite structures.

Keywords: Steel-concrete composite structures, bracing system, high-rise buildings, seismic design.

1. GIỚI THIỆU

Động đất là một trong những mối đe dọa nghiêm trọng đối với an toàn và tính toàn vẹn của các công trình cao tầng, gây ra nguy cơ sụp đổ, thiệt hại về người và tổn thất kinh tế lớn. Do tính chất khó dự đoán và tác động động lực của động đất, các hệ kết cấu cần được thiết kế để chịu tải trọng này, nhằm đảm bảo an toàn và khả năng sử dụng. Trong bối cảnh Việt Nam nằm trong vùng có nguy cơ động đất và tốc độ đô thị hóa nhanh, việc áp dụng các giải pháp kết cấu kháng chấn trong thiết kế nhà cao tầng ngày càng được chú trọng.

Hiện nay, các hệ kết cấu cho công trình nhà chủ yếu bao gồm kết cấu bê tông cốt thép (BTCT), kết cấu thép và kết cấu liên hợp thép - bê tông. Kết cấu BTCT được ưa chuộng nhờ tính kinh tế và tính ổn định cao, trong khi kết cấu thép nổi bật với trọng lượng nhẹ, tỷ lệ cường độ/trọng lượng cao và khả năng biến dạng dẻo tốt. Kết cấu liên hợp thép - bê tông kết hợp ưu điểm của cả hai vật liệu trên, tận dụng cường độ chịu kéo, tính dẻo của thép và cường độ chịu nén, độ ổn định của bê tông, từ đó nâng cao hiệu quả kháng chấn. Tại Việt Nam, dù kết cấu BTCT vẫn chiếm ưu thế, kết cấu thép và liên hợp đang ngày càng phổ biến ở các đô thị lớn do nhu cầu xây dựng nhanh, khả năng chịu tải trọng ngang tốt và cải thiện độ cứng. Trong các công trình dùng kết cấu thép hoặc kết cấu liên hợp thép-bê tông cốt thép, hệ giằng thép được sử dụng như một giải pháp hiệu quả và kinh tế để tăng cường khả năng chịu tải trọng ngang cho hệ kết cấu chịu lực chính, đặc biệt trong các công trình chịu động đất. Sự kết hợp khung chịu lực chính và hệ giằng làm tăng độ cứng của hệ kết cấu, giúp giảm chuyển vị ngang, giảm mômen uốn trong cột và tăng cường độ ổn định tổng thể cho công trình. Hệ giằng thép còn có ưu điểm thi công linh hoạt, tiết kiệm vật liệu, dễ lắp dựng và chiếm ít không gian. Nhiều nghiên cứu đã chứng minh hiệu quả của các loại hệ giằng, như giằng đúng tâm (hệ giằng chữ X) và lệch tâm (hệ giằng chữ V, hệ giằng EB (Eccentric Bracing)). Các nghiên cứu trước đây cho thấy hệ giằng chữ X thường hiệu quả hơn trong việc giảm chuyển vị ngang và cải thiện độ cứng, dù hệ giằng lệch tâm có khả năng tiêu tán năng lượng tốt qua biến dạng dẻo [1], [2], [3], [4].

Tuy nhiên, hiệu quả của hệ giằng phụ thuộc vào cách bố trí và đặc điểm công trình. Nghiên cứu này tập trung khảo sát ảnh hưởng của hệ giằng thép đến sự làm việc của kết cấu nhà khung liên hợp thép - bê tông chịu động đất, với trọng tâm là đánh giá hiệu quả của hệ giằng chữ X. Một mô hình công trình 7 tầng tại Hà Nội được phân tích, sử dụng tám mô hình kết cấu, bao gồm một mô hình không giằng và bảy mô hình với các phương án bố trí giằng khác nhau, theo tiêu chuẩn Việt Nam. Các chỉ tiêu đánh giá gồm chuyển vị đỉnh, chuyển vị lệch tầng và lực cắt đáy, nhằm cung cấp cơ sở khoa học cho việc lựa chọn hệ giằng tối ưu trong thiết kế kháng chấn.

2. KẾT CẤU NHÀ NHIỀU TẦNG LIÊN HỢP THÉP - BÊ TÔNG CHỊU ĐỘNG ĐẤT

KCLHT-BT đã được khẳng định là một giải pháp tối ưu cho các tòa nhà nhiều tầng tại vùng địa chấn, nhờ khả năng kết hợp các ưu điểm của thép và bê tông, mang lại độ cứng cao, khả năng chịu tải vượt trội và tính dẻo hiệu quả dưới tác động của động đất [5]. Phần này trình bày các hệ kết cấu liên hợp phổ biến, vai trò của hệ giằng trong việc tăng cường khả năng kháng chấn, và phương pháp phân tích tải trọng động đất theo tiêu chuẩn Việt Nam.

2.1. Các hệ kết cấu cho nhà liên hợp thép - bê tông chịu động đất

Hệ KCLHT-BT thường bao gồm khung liên hợp (composite frames), dầm và cột thép bọc bê tông (encased steel sections), và

sàn liên hợp thép - bê tông (composite slabs), được thiết kế để tối ưu hóa truyền tải lực và tiêu tán năng lượng địa chấn [6]. Hiệu quả kháng chấn của hệ này phụ thuộc vào khả năng kiểm soát chuyển vị ngang, chuyển vị ngang tương đối giữa các tầng (inter-story drift), và ngăn ngừa mất ổn định cục bộ hoặc tổng thể. Kết cấu liên hợp đã chứng minh độ tin cậy cao trong các vùng địa chấn nhờ sự phối hợp giữa tính chất vật liệu thép và bê tông, đặc biệt khi ứng dụng tại các công trình thực tế ở Việt Nam [7]. Các nghiên cứu quốc tế cũng chỉ ra rằng hệ khung liên hợp, khi kết hợp với tường cắt (shear walls) hoặc hệ giằng, có thể tăng cường đáng kể khả năng chịu tải động đất [8].

2.2. Hệ giằng trong kết cấu liên hợp chịu động đất

Hệ giằng (giằng chéo, chữ V, chữ K hoặc lệch tâm) là giải pháp phổ biến để tăng khả năng kháng chấn cho nhà nhiều tầng liên hợp thép - bê tông, nhờ tăng độ cứng ngang, giảm chuyển vị và cải thiện tiêu tán năng lượng qua biến dạng dẻo [9]. Giằng thép hoặc kết hợp tấm BTCT tối ưu hóa chịu lực, phân phối lực cắt đều, giảm ứng suất tập trung và kiểm soát mất ổn định ngang của dầm thép [6]. Các giải pháp như bu-lông cường độ cao hoặc gân tăng cứng tại nút liên kết nâng cao độ tin cậy [5]. Đồng thời, hệ giằng cải thiện tiêu tán năng lượng qua biến dạng dẻo, đặc biệt khi kết hợp với cốt thép bọc bê tông [6]. Tuy nhiên, độ cứng tăng có thể làm tăng lực quán tính và nội lực tại liên kết và móng. Chi phí chế tạo, lắp đặt cũng đòi hỏi kỹ thuật cao, đặc biệt tại Việt Nam, nơi nguồn lực còn hạn chế. Do đó, thiết kế cần tối ưu hóa qua phân tích động lực học và mô phỏng số để cân bằng hiệu quả kháng chấn và tính kinh tế [10]. Tại Việt Nam, ứng dụng hệ giằng trong thiết kế kháng chấn cho công trình vẫn còn hạn chế. Các tiêu chuẩn thiết kế như TCVN 9386:2012 và TCVN 5575 cung cấp cơ sở lý thuyết, nhưng việc áp dụng thực tế đòi hỏi sự điều chỉnh phù hợp với điều kiện địa chấn cụ thể của từng khu vực [11]. Ngoài ra, các nghiên cứu điển hình từ các nước có kinh nghiệm như Nhật Bản, Mỹ có thể đóng vai trò tham chiếu quan trọng cho việc phát triển giải pháp này tại Việt Nam.

2.3. Phân tích kết cấu và xác định tải trọng động đất theo tiêu chuẩn Việt Nam

Phân tích kết cấu và xác định tải trọng động đất là bước quan trọng trong thiết kế nhà khung liên hợp thép - bê tông. Theo TCVN 9386:2012, hai phương pháp chính được sử dụng là phương pháp tĩnh lực ngang tương đương và phương pháp động lực học, tùy thuộc vào độ phức tạp và chiều cao công trình. Phương pháp tĩnh lực ngang tương đương phù hợp cho công trình thấp và trung bình, trong khi phương pháp động lực học, bao gồm phân tích phổ phản ứng hoặc lịch sử thời gian, được khuyến nghị cho công trình cao tầng và phức tạp để mô phỏng chính xác phản ứng kết cấu dưới tác động địa chấn [10]. Quy trình xác định tải trọng động đất theo TCVN 9386:2012 gồm: (1) xác định gia tốc nền tham chiếu (a_{gR}) dựa trên bản đồ phân vùng địa chấn Việt Nam; (2) chọn hệ số tầm quan trọng (γ_i) theo chức năng công trình; (3) xác định hệ số ứng xử kết cấu (q) dựa trên tính dẻo của hệ liên hợp; và (4) đánh giá loại nền đất để xây dựng phổ phản ứng thiết kế. Các thông số này đảm bảo tải trọng động đất được tính toán phù hợp với thực tế, nâng cao an toàn và hiệu quả kinh tế cho công trình [12].

3. KẾT CẤU CÔNG TRÌNH VÀ TẢI TRỌNG DÙNG TRONG PHÂN TÍCH

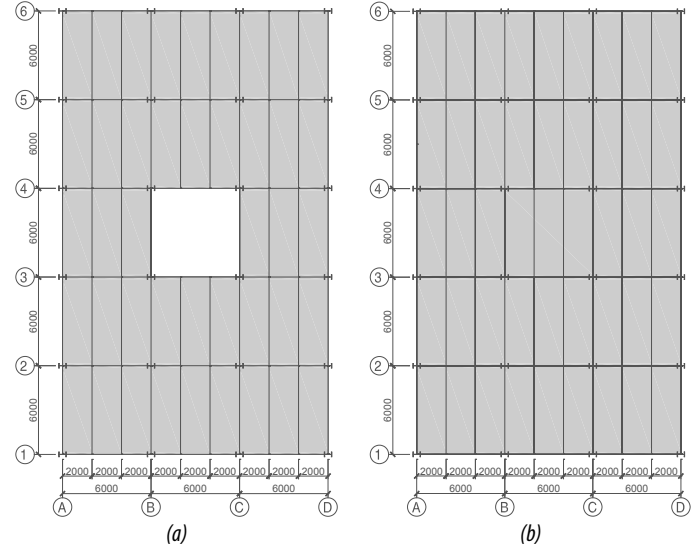
3.1. Thông tin công trình dùng trong phân tích

Trong bài báo, một công trình nhà dân dụng có 7 tầng dùng KCLHT-BT có các mặt bằng kết cấu tầng điển hình và mặt bằng kết cấu mái như Hình 1 được sử dụng để phân tích. Công trình có chiều cao các tầng bằng nhau và bằng 3,5 m; mặt bằng công trình

có 3 nhịp 6,0 m theo phương X và có 5 nhịp 6,0 m theo phương Y. Công trình sử dụng cột thép và dầm sàn liên hợp có tiết diện và vật liệu được liệt kê như trong Bảng 1. Hệ giằng thép đúng tâm dạng chéo chữ X có tiết diện 2L70×70×7 được bố trí theo 7 phương án khác nhau để phân tích so sánh như trong Bảng 2. Với phương án đặt giằng biên 1X (PA2), theo phương X vị trí thanh giằng bố trí tại trục B-C từ tầng 1 đến 7, trong các khung trục biên số 1 và số 6. Theo phương Y thanh giằng được bố trí ở trục 1-2, 3-4, 5-6 tại các khung biên (khung trục A và D). Bảng 2 giới thiệu chi tiết vị trí bố trí thanh giằng tương ứng từng trường hợp khảo sát, trong đó thể hiện rõ vị trí giằng bố trí theo phương X và Y, cũng như tại các khung khác nhau (chỉ bố trí tại biên hay đủ toàn bộ các khung). Sơ đồ không gian mô phỏng hệ kết cấu của công trình bằng phần mềm ETABS theo phương án không sử dụng giằng và có sử dụng giằng được thể hiện tương ứng ở Hình 2a và Hình 2b.

Bảng 1. Tiết diện cấu kiện của công trình

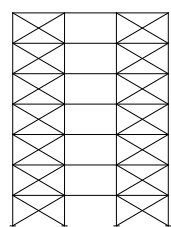
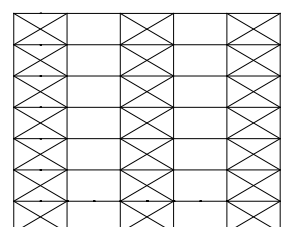
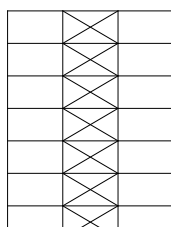
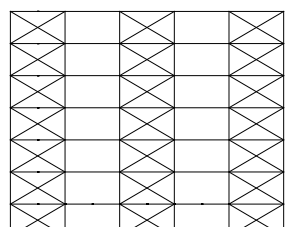
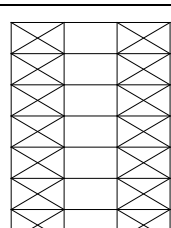
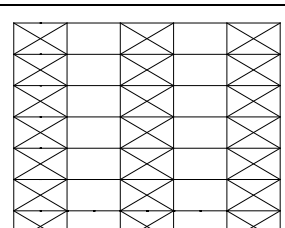
Cấu kiện		Tiết diện (mm)	Mác vật liệu
Dầm thép phương X (trục 1-6)		I300×200×15×20	S235
Dầm thép phương Y (Trục A-D)		I300×200×12×16	S235
Dầm thép phương Y (dầm phụ)		I180×150×8×10	S235
Cột thép		I500×300×15×20	S235
Giằng thép đúng tâm		2L70×70×7	S235
Sàn liên hợp	Bề dày sàn bê tông, h_c	50	B25
	Bề dày sóng tôn, h_p	51	B25
	Bề dày tôn	0,7	S355

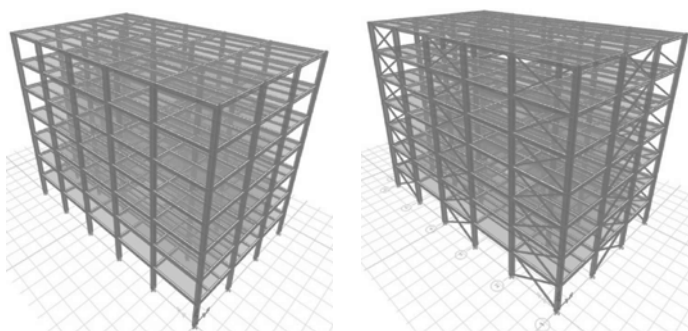


Hình 1. Mặt bằng công trình
(a) Mặt bằng tầng điển hình; (b) Mặt bằng tầng mái

Bảng 2. Các trường hợp bố trí hệ giằng cho công trình dùng trong phân tích

Mặt bằng phương án bố trí	Khung có bố trí hệ giằng theo phương X	Khung có bố trí hệ giằng theo phương Y
PA1: Không giằng	-	-
PA2: Giằng biên 1X 	Trục 1, 6 	Trục A, D
PA3: Giằng biên 2X 	Trục 1, 6 	Trục A, D
PA4: Giằng ngang đủ 1X 	Trục 1, 2, 3, 4, 5, 6 	Trục A, D

 PA5: Giằng ngang đủ 2X	 Trục 1, 2, 3, 4, 5, 6	 Trục A, D
 PA6: Giằng đủ 1XY	 Trục 1, 2, 3, 4, 5, 6	 Trục A, B, C, D
 PA7: Giằng đủ 2XY	 Trục 1, 2, 3, 4, 5, 6	 Trục A, B, C, D



(a) Công trình khi không bố trí hệ giằng

(b) Công trình khi có hệ giằng

Hình 2. Sơ đồ kết cấu công trình mô phỏng bằng phần mềm ETABS

3.2. Tải trọng tác động lên công trình

Giá trị tải trọng tĩnh tải là $1,5 \text{ kN/m}^2$ và tải trọng tạm thời ngắn hạn được thiết kế $2,0 \text{ kN/m}^2$ với cả hai trường hợp hệ có giằng và không giằng. Bê tông cấp độ bền B25 có cường độ tính toán $R_b = 14,5 \text{ MPa}$, mô đun đàn hồi $E_b = 30000 \text{ MPa}$ và hệ số Poisson $\nu = 0,2$. Thép kết cấu được sử dụng cho dầm, cột, thanh giằng thuộc nhóm thép S235 với mô đun đàn hồi $E_a = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$.

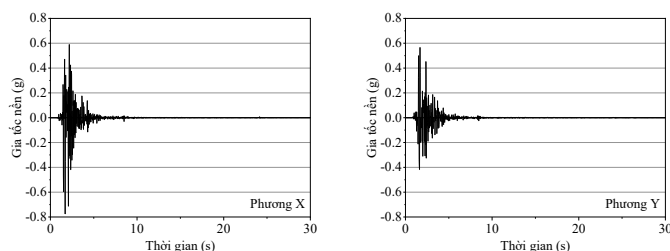
Trong nghiên cứu này, hiệu quả của hệ thống giằng được đánh giá bằng cách so sánh các phản ứng động đất khác nhau cho hai tòa nhà KCLHT-BT có và không có hệ thống giằng. Để so sánh, phân tích phi tuyến theo lịch sử thời gian (Nonlinear Time History Analysis - NTHA) được thực hiện cho cả hai tòa nhà. Trận động đất được lựa chọn để phân tích là động đất xảy ra tại Kijma, Kobe - Nhật Bản năm 1995. Thông tin về gia tốc nền được lấy cơ sở dữ liệu về các trận động đất PEER NGA West 2 [13]. Bảng 3 thể hiện thông tin về trận động đất bao gồm tên, địa điểm và năm xảy ra, đỉnh gia tốc nền, độ lớn M_w . Trận động đất Kobe xảy ra trong thời gian gần

30 giây gồm hai thành phần theo phương X và phương Y được sử dụng để phân tích được thể hiện tại Hình 3.

Công trình KCLHT-BT được xây dựng tại Hà Nội, có nền đất loại B với đỉnh gia tốc nền tham chiếu $a_{gR} = 0,12g$. Phần mềm ETABS được sử dụng để phân tích ứng xử của tòa nhà dưới tác động của trận động đất Kobe, trong đó gia tốc nền được hiệu chỉnh theo phổ phản ứng đàn hồi của TCVN 9386:2012 theo cả hai phương, với các thông số: hệ số ứng xử $q = 4$; $T_B = 0,15 \text{ s}$; $T_C = 0,5 \text{ s}$; $T_D = 2 \text{ s}$.

Bảng 3. Thông tin các gia tốc nền khảo sát

Trận động đất	PGA (g)	M_w	R_{jb} (km)	Địa điểm	Năm
Kobe	0,78	6,9	0,94	KJMA_Nhật Bản	1995



Hình 3. Gia tốc nền KOBE theo hai phương

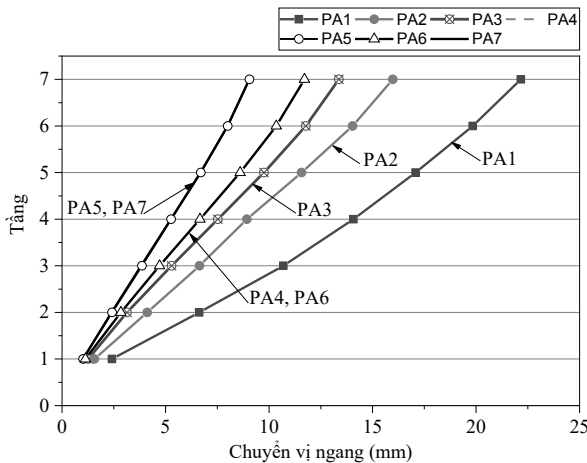
4. KHẢO SÁT HIỆU QUẢ GIẢM CHẤN CỦA HỆ GIẰNG THÉP CHO KẾT CẤU NHÀ NHIỀU TẦNG LIÊN HỢP THÉP - BÊ TÔNG

Kết quả thu được bằng cách áp dụng NTHA trên cả hai tòa nhà liên hợp thép - bê tông có hệ giằng và không có, được so sánh bằng cách lấy các thông số phản ứng động đất khác nhau chuyển vị ngang tương đối theo tầng, chuyển vị ngang của tầng và lực cắt

đây. Kết quả được đánh giá bằng cách phân tích các mô hình cụ thể cho thấy rằng một hệ thống giằng sẽ làm tăng khả năng chống động đất của tòa nhà. Các kết quả thu được từ mô hình và phân tích kết cấu theo các thông số phản ứng khác nhau được trình bày dưới dạng Bảng và Hình trong các phần bên dưới.

4.1. Chuyển vị ngang

Hình 4 thể hiện chuyển vị ngang tại các tầng theo phương X, với 7 phương án khảo sát trình bày tại Bảng 2. Dựa vào biểu đồ có thể nhận thấy chuyển vị ngang tại các tầng đối với công trình KCLHT-BT không có hệ giằng lớn hơn đáng kể so với tòa nhà khi bố trí hệ giằng. Kết quả so sánh giá trị chuyển vị ngang tại đỉnh được trình bày trong Bảng 4 cho thấy khi bố trí hệ giằng biên tại hai trục theo phương X (PA3) giá trị chuyển vị ngang tại đỉnh giảm 39,7 %, nhiều hơn đáng kể so với trường hợp chỉ bố trí hệ giằng tại một trục (PA2) với giá trị là 27,9 %. Với kết quả chuyển vị ngang tại đỉnh theo phương X, có thể thấy khi bố trí hệ giằng theo phương X đủ tất cả các khung thì hiệu quả là tương đương nếu có hay không bố trí đủ hệ giằng theo phương Y: cụ thể, với PA4: hệ giằng theo phương X được bố trí đủ các khung và phương Y chỉ bố trí giằng biên, trong khi đó PA6 bao gồm đủ hệ giằng X và đủ hệ giằng Y, thì độ giảm chuyển vị ngang tại đỉnh là gần như nhau (47,1 % và 47,2 %). Từ Hình 4 và Bảng 4 thấy rằng, theo phương X và tại tầng trên cùng, độ giảm chuyển vị ngang tối đa cho kết cấu là hệ giằng được bố trí theo PA5 và PA7, với độ giảm khoảng 59 %.



Hình 4. Chuyển vị ngang của tầng theo phương X

Bảng 4. So sánh chuyển vị ngang tại đỉnh với các phương án khảo sát

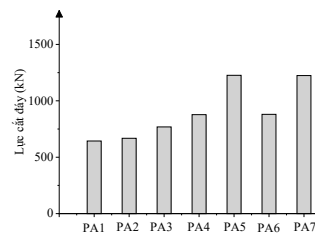
Tên phương án	Chuyển vị ngang tại đỉnh (mm)	Độ giảm chuyển vị ngang tại đỉnh so sánh với trường hợp không bố trí hệ giằng (%)
PA1	22,162	-
PA2	15,982	27,9
PA3	13,372	39,7
PA4	11,714	47,1
PA5	9,056	59,3
PA6	11,709	47,2
PA7	9,045	59,2

Rõ ràng, các công trình liên hợp thép - bê tông có hệ thống giằng có chuyển vị ngang của tầng ít hơn đáng kể so với các tòa nhà liên hợp đơn giản, vì hệ thống giằng rất hiệu quả trong việc chống lại tải trọng ngang. Điều này là do thực tế là các thanh giằng làm tăng tổng trọng lượng và độ cứng của tòa nhà. Do đó, hệ thống giằng giúp tăng độ ổn định tổng thể của tòa nhà liên hợp bằng cách giảm chuyển vị của tầng trong hệ thống.

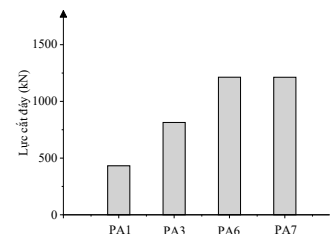
4.2. Lực cắt đáy

Giá trị lực cắt đáy cho các trường hợp phân tích khác nhau theo hai phương X và Y được trình bày trong Hình 5. Giá trị lực cắt đáy của công trình có bố trí hệ giằng cao hơn đáng kể với kết cấu khi không có hệ thống giằng. Điều này được lý giải là do tổng trọng lượng của tòa nhà tăng khi thêm hệ thống giằng, dẫn đến làm tăng độ cứng tổng thể của công trình.

Rõ ràng với thông số giá trị lực cắt đáy, kết quả theo phương X, khi bố trí hệ giằng theo phương X đủ tại các khung (PA4, PA5) thì giá trị lực cắt đáy tăng lên đáng kể so với khi không đặt hệ giằng, tương ứng 36,3 % và 90,4 %. Trong khi đó khi kết quả xuất theo phương Y, việc bố trí thêm các hệ giằng đủ tại các khung theo phương Y, không làm tăng thêm lực cắt đáy, cụ thể giá trị lực cắt đáy của hai phương án PA5 (giằng đủ các khung trục X và khung trục Y) và PA7 (giằng đủ các khung trục X và chỉ giằng tại khung biên trục Y) là gần như nhau, với giá trị tương ứng là 1226,199 kN và 1223,771 kN.



(a) Lực cắt đáy theo phương X



(b) Lực cắt đáy theo phương Y

Hình 5. Lực cắt của công trình dưới tác động của trận động đất Kobe theo 2 phương

Bảng 5. So sánh giá trị lực cắt đáy theo phương X các phương án khảo sát

Phương án		Chu kỳ T ₁ (s)	Lực cắt đáy theo phương X (kN)	Độ lệch lực cắt đáy của các phương án đặt hệ giằng so với khi không bố trí hệ giằng (%)
PA1	Không giằng	2,040	643,982	-
PA2	Giằng biên 1X	1,006	667,853	3,7
PA3	Giằng biên 2X	0,830	768,796	19,4
PA4	Giằng ngang đủ 1X	0,788	877,628	36,3
PA5	Giằng ngang đủ 2X	0,766	1226,199	90,4
PA6	Giằng đủ 1XY	0,723	880,112	36,7
PA7	Giằng đủ 2XY	0,583	1223,771	90,03

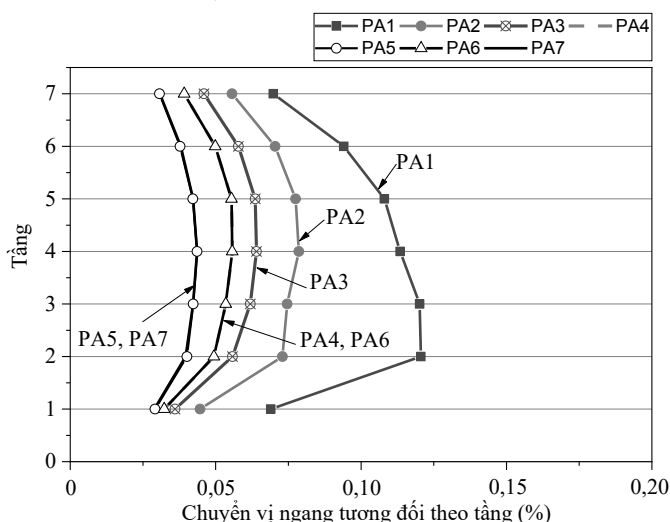
Dựa vào kết quả lực cắt đáy và chu kỳ dao động T_1 theo phương X (Bảng 5), có thể nhận thấy các trường hợp đặt hệ giằng đủ tại các khung trục X và hệ giằng biên trục Y (PA4, PA5) có kết quả tương đương với việc đặt thêm các hệ giằng đủ theo phương Y.

Do đó, với kết quả lực cắt đáy theo phương Y, khảo sát chỉ thực hiện với 4 phương án (PA1, PA3, PA6, PA7) như kết quả tại Hình 5b. Khi công trình chỉ đặt hệ giằng biên tại hai bước cột của trục X (PA3) giá trị lực cắt đáy theo phương Y tăng khoảng 88 % so với công trình không có hệ giằng. Trong khi đó, với trường hợp đặt đủ hệ giằng theo phương X và Y (PA6, PA7), lực cắt đáy tăng gần 181 % so với không có hệ giằng.

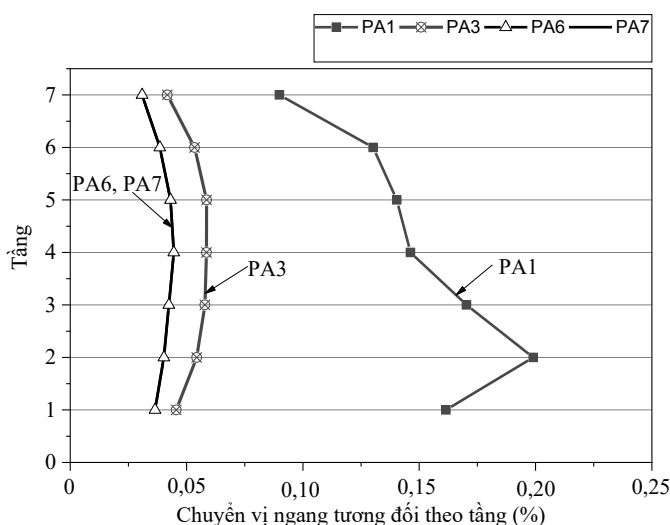
4.3. Chuyển vị ngang tương đối theo tầng

Hình 6 và Hình 7 thể hiện kết quả tính toán chuyển vị ngang tương đối theo tầng của các phương án khảo sát, theo phương X

và phương Y. Dựa vào hình vẽ có thể nhận thấy, chuyển vị ngang tương đối theo tầng với phương X giảm xấp xỉ 64 % giữa trường hợp không bố trí hệ giằng và khi giằng được bố trí đủ theo PA7, tương ứng giảm từ $0,121e-2$ xuống $0,044e-2$ (Hình 6). Trong khi đó, theo phương Y, giá trị chuyển vị ngang tương đối theo tầng lớn nhất khi công trình bố trí hệ giằng theo PA7 là $0,045e-2$, giảm 77,4 % so với giá trị chuyển vị ngang tương đối theo tầng khi tòa nhà không có hệ giằng là $0,199e-2$. Việc giảm giá trị chuyển vị ngang tương đối theo tầng là do hệ thống giằng rất hiệu quả trong việc chống lại độ dịch chuyển ngang do động đất tạo ra.



Hình 6. Chuyển vị ngang tương đối theo tầng theo phương X



Hình 7. Chuyển vị ngang tương đối theo tầng theo phương Y

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu khảo sát các phương án bố trí hệ giằng chéo thép cho nhà khung liên hợp thép-bê tông dưới tác động động đất qua phân tích động đất phi tuyến thời gian (NTHA), với mô hình hóa các trường hợp không giằng và có giằng theo PA1-PA7. Kết quả phân tích cho thấy hệ giằng chéo mang lại hiệu quả đáng kể trong thiết kế kháng chấn, cụ thể:

- Giá trị lực cắt đáy của công trình nhà khung liên hợp thép-bê tông khi tích hợp hệ giằng tăng mạnh, đạt mức cao nhất là 90 % theo phương X và khoảng 181 % theo phương Y trong phân tích;

- Chuyển vị ngang tương đối theo tầng giảm đáng kể, lên đến 64 % theo phương X và 77,4 % theo phương Y khi so sánh giữa trường hợp không có hệ giằng và kết cấu bố trí giằng đúng vị trí;

- Kết quả khảo sát chỉ rõ rằng phương án PA5, với việc lắp đặt hai hệ giằng đầu hồi theo phương, mang lại hiệu suất giảm chấn tối ưu nhất.

Từ những phát hiện trên, có thể khẳng định hệ giằng chéo thép là một giải pháp thiết kế kháng chấn ưu việt dành cho KCLHT-BT, đặc biệt phù hợp với các khu vực đô thị dễ bị ảnh hưởng bởi địa chấn như Việt Nam. Các kết quả nghiên cứu này không chỉ cung cấp nền tảng khoa học vững chắc để nâng cấp các tiêu chuẩn và hướng dẫn thiết kế hiện hành mà còn khuyến khích việc triển khai rộng rãi hệ giằng trong các dự án xây dựng nhà cao tầng thực tế.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện với sự tài trợ của Bộ Xây dựng thông qua đề tài nghiên cứu khoa học mã số RD35-24. Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn sự hỗ trợ quý báu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Z. Tafheem and S. Khusru, "Structural behavior of steel building with concentric and eccentric bracing: A comparative study," *International Journal of Civil and Structural Engineering*, vol. 4, no. 1, 2013.
- [2]. I. F. Khatib, S. A. Mahin, and K. S. Pister, "Seismic Behavior of Concentrically Braced Steel Frames," Report UCB/EERC 88/01, University of California, Berkeley, CA, US, 1988.
- [3]. K. G. Viswanath, K. B. Prakash, and D. Anant, "Seismic Analysis of Steel Braced Reinforced Concrete Frames," *International Journal of Civil and Structural Engineering*, vol. 1, no. 1, pp. 114-116, 2010.
- [4]. M. Hasan-ul-Haque, M. Masum, M. Ratul, and Z. Tafheem, "Effect of different bracing systems on the structural performance of steel building.," *Proceedings of the 4th International Conference on Civil Engineering for Sustainable Development (ICCSD 2018)*, pp. 1-8, 2018.
- [5]. M. Bruneau, C.-M. Uang, and S. Rafael, *Ductile Design of Steel Structures*, 2nd ed. McGraw-Hill Education, 2011.
- [6]. A. Y. Elghazouli, "Seismic design of steel structures," *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, vol. 39, no. 12, pp. 1353-1375, 2010.
- [7]. Phạm Văn Hội, *Kết cấu liên hợp thép - bê tông dùng trong nhà cao tầng*. NXB Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội, 2006.
- [8]. FEMA P-749, "Earthquake-Resistant Design Concepts," Federal Emergency Management Agency, 2010.
- [9]. AISC 341-16, "Seismic Provisions for Structural Steel Buildings," American Institute of Steel Construction, 2016.
- [10]. A. K. Chopra, *Dynamics of structures: theory and applications to earthquake engineering*, 4th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2012.
- [11]. Q. H. Nguyen, V. Q. Tran, and P. L. Hoang, "Application of steel-concrete composite structures in seismic regions: A case study in Vietnam," *Proceedings of ICSCA, Hanoi, Vietnam*, 2020.
- [12]. G. M. Calvi, M. J. N. Priestley, and M. J. Kowalsky, "Displacement-Based Seismic Design of Structures," *Earthquake Spectra*, vol. 24, no. 2, pp. 555-557, May 2008, doi: 10.1193/1.2932170.
- [13]. PEER Ground Motion Database, "PEER Center." PEER NGA-West2 Database 2013/03; Pacific Earthquake Engineering Research Center Headquarters at the University of California: Berkeley, CA, USA, 2013.
- [14]. TCVN 9386:2012 - Thiết kế công trình chịu động đất.
- [15]. TCVN 5574:2023 - Thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép.
- [16]. TCVN 5575:2024 - Thiết kế kết cấu thép.

Phân tích kết cấu mặt đường bê tông nhựa bằng phương pháp cơ học thực nghiệm áp dụng trong điều kiện khí hậu khu vực TP.HCM

Analysis of asphalt concrete pavement structure by experimental mechanical method applied in the climatic conditions of Ho Chi Minh City

> **THS NGÔ VĂN TÌNH*, THS NGÔ VĂN QUÂN, PHAN THỊ NGỌC TRÂM, NGUYỄN HỒ MỸ HUYỀN, TRẦN MINH THÀNH, LÒ CÀ QUANG MINH, TRẦN HỒ ANH THƯ, NGUYỄN QUANG BẢO**

Khoa Xây dựng, Học viện Hàng không Việt Nam

*Email: tinhnv@vaa.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo sử dụng phương pháp cơ học thực nghiệm (MEPDG) để phân tích kết cấu mặt đường bê tông nhựa. Các thông số về khí hậu, địa chất, thủy văn dùng để khai báo trong bài toán được lấy theo điều kiện khu vực TP.HCM, thông qua số liệu quan trắc từ trạm HO_CHI MINH.VN (110476), đã được tích hợp sẵn trong phần mềm (ME). Phương pháp cơ học thực nghiệm được sử dụng để phân tích kết cấu được chọn dựa trên 6 chỉ tiêu. Kết quả phân tích cho thấy kết cấu mặt đường đề xuất đạt 4 chỉ tiêu: độ gồ ghề IRI, nứt mỗi lớp bê tông nhựa từ dưới lên, nứt nhiệt của bê tông nhựa, và nứt nhiệt lớp bê tông nhựa từ trên xuống. Tuy nhiên, 2 chỉ tiêu không đạt là: tổng chiều sâu lún vệt bánh xe toàn kết cấu và chiều sâu lún vệt bánh xe trong các lớp bê tông nhựa, mặc dù kết cấu này được tham khảo từ Tiêu chuẩn TCCS 37:2022/TCĐBVN và đáp ứng các yêu cầu theo phương pháp lý thuyết thực nghiệm. Nghiên cứu cũng đánh giá tính ổn định theo thời gian của kết cấu mặt đường trong suốt quá trình tính toán. Đồng thời, đề xuất chiều dày các lớp kết cấu phù hợp nhằm thỏa mãn các tiêu chuẩn đánh giá kỹ thuật đối với kết cấu mặt đường.

Từ khoá: Phương pháp cơ học thực nghiệm, bê tông nhựa, phương pháp lý thuyết thực nghiệm, độ gồ ghề IRI, nứt mỗi của lớp bê tông nhựa, nứt nhiệt của bê tông nhựa, chiều sâu vệt lún bánh xe.

ABSTRACT

This article uses the experimental mechanics method (MEPDG) to analyze the asphalt concrete pavement structure, the climatic, geological, and hydrological parameters to be declared in the problem are applied in the conditions of Ho Chi Minh City through the monitoring data of the HO_CHI MINH.VN monitoring station (110476) integrated in the software (ME). The experimental mechanics method analyzed the selected structure through 6 criteria. The analysis results show that the proposed pavement structure meets 4 criteria: IRI roughness, fatigue cracking of the asphalt concrete layer from bottom up, thermal cracking of the asphalt concrete, and thermal cracking of the asphalt concrete layer from top down; but there are 2 criteria that are not met: total wheel rutting depth of the entire structure and wheel rutting depth in the asphalt concrete layers although the above pavement structure is referenced in Standard TCCS37:2022/TCĐBVN meeting the audit standards according to the experimental theory method. The study also evaluates the stability over time of the pavement structure during the calculation period of the pavement structure. Proposes appropriate thickness of pavement structure layers to satisfy the pavement structure audit standards.

Keywords: Mechanistic-empirical methods, asphalt concrete pavement, experimental mechanical methods, terminal IRI, bottom-up fatigue cracking of asphalt concrete, thermal cracking of asphalt concrete, permanent deformation.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ở các nước phát triển, phương pháp cơ học thực nghiệm (MEPDG) đã và đang được áp dụng trong thiết kế kết cấu mặt đường ô tô. Phương pháp này khắc phục được những hạn chế của phương pháp thiết kế kết cấu theo lý thuyết thực nghiệm. [1, 2, 3, 4, 5].

Trong những năm gần đây việc nghiên cứu ứng dụng phương pháp cơ học thực nghiệm để phân tích thiết kế kết cấu áo đường nói chung và kết cấu áo đường mềm nói riêng đã nhận được nhiều sự quan tâm của các tác giả như: tác giả Nguyễn Quang Phúc (2014) [6]. Đề tài nghiên cứu các điều kiện cần thiết để áp dụng MEPDG trong

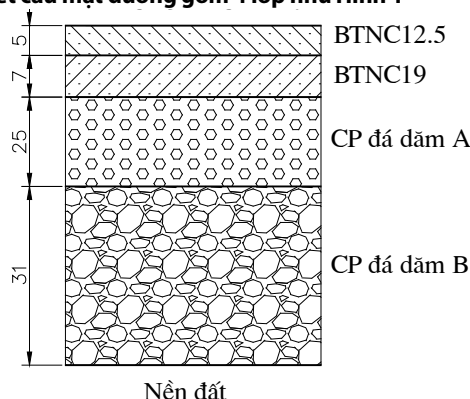
phân tích kết cấu mặt đường ở Việt Nam của tác giả Nguyễn Hoàng Long (2018) [7], tương tự về một số nghiên cứu khác của các tác giả Lê Văn Phúc và các cộng sự (2020) [8, 9]. Một số nghiên cứu khác cho thấy khi kiểm toán một số kết cấu mặt đường theo tiêu chuẩn TCCS37: 2022 thỏa mãn tất cả các tiêu chuẩn nhưng khi kiểm toán các kết cấu trên bằng MEPD thì có một số tiêu chuẩn không đạt.

Về điều kiện khí hậu của khu vực TP.HCM: là khu vực có điều kiện khắc nghiệt với hai mùa khô và mùa mưa, sự chênh lệch về lượng mưa của hai mùa là rất lớn; nhiệt độ quanh năm ở mức cao, những yếu tố trên đều gây ảnh hưởng bất lợi đối với mặt đường bê tông nhựa. Về địa chất, thủy văn, phần lớn địa chất khu vực TP.HCM có nền đất yếu, mặt đường gần với mực nước ngầm [10]. Những yếu tố này ảnh hưởng lớn đến toàn bộ kết cấu mặt đường. Vì vậy việc nghiên cứu sử dụng phương pháp cơ học thực nghiệm để phân tích kết cấu mặt đường mềm là cần thiết.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Các thông số đầu vào của kết cấu mặt đường

❖ Kết cấu mặt đường gồm 4 lớp như Hình 1



Hình 1. Kết cấu mặt đường phân tích trong bài báo theo Tiêu chuẩn TCCS37:2022

- ✓ Lớp BTNC12.5, dày 50 mm;
- ✓ Lớp BTNC19, dày 80 mm ;
- ✓ Lớp cấp phối đá dăm loại A dày 250 mm;
- ✓ Lớp cấp phối đá dăm loại B dày 320 mm;
- ✓ Nền đất.

❖ Các thông số về vật liệu

- ✓ Lớp BTNC12.5, dày 50 mm [11]

Khối lượng thể tích:	2556 kg/m ³ [7, 8, 9, 10, 11]
Hệ số poát xống:	0.35 [11]
Nhiệt độ tham chiếu:	21.1(°C) [7, 11]
Hàm lượng nhựa có hiệu theo thể tích:	10.17 % [7, 11]
Độ rỗng dư:	4.47% [7, 11]
Độ dẫn nhiệt:	1.16 W/m-K [7, 11]
Nhiệt dung riêng:	963 (Jul/kg-°F) [7, 11]
Cường độ ép chẻ ở -10°C:	2.83 [7, 11]

- ✓ Lớp BTNC19, dày 80 mm.

Khối lượng thể tích:	2588 kg/m ³ [7, 8, 9, 10, 11]
Hệ số poát xống:	0.35 [11]
Nhiệt độ tham chiếu:	21.1(°C) [7, 11]
Hàm lượng nhựa có hiệu theo thể tích:	10.28 % [7, 11]
Độ rỗng dư:	3.33% [7, 11]
Độ dẫn nhiệt:	1.16 W/m-K [7, 11]
Nhiệt dung riêng:	963 (Jul/kg-°F) [7, 11]
Cường độ ép chẻ ở -10°C:	2.78 [7, 11]

- ✓ Lớp Cấp phối đá dăm loại A, dày 250 mm [11]

Hệ số poát xống:	0.35
Hệ số áp lực đất ngang (K ₀):	0.5
Mô đun đàn hồi:	350MPa

- ✓ Lớp Cấp phối đá dăm loại B, dày 250 mm [11]

Hệ số poát xống:	0.35
Hệ số áp lực đất ngang (K ₀):	0.5
Mô đun đàn hồi:	300MPa

- ✓ Đất nền K98, CBR≥6 [12]

Hệ số poát xống:	0.35
Hệ số áp lực đất ngang (K ₀):	0.5
Mô đun đàn hồi:	45MPa

❖ Thông số khí hậu

Các đặc trưng cơ lý hóa của vật liệu trong các lớp kết cấu áo đường và nền đường thay đổi trong suốt vòng đời thiết kế của áo đường phụ thuộc vào các yếu tố tác động của khí hậu xung quanh như: nhiệt độ, độ ẩm, lượng mưa, chu kỳ đóng băng-tan băng, mực nước ngầm,...v.v. [7]. Trong nghiên cứu này, các tác giả sử dụng thông số khí hậu của TP.HCM thông qua trạm quan trắc HO_CHI MINH.VN (110476) và được tích hợp sẵn trong phần mềm (ME).

Chiều sâu mực nước ngầm: TP.HCM là khu vực có địa hình đa dạng, chiều sâu mực nước ngầm có sự khác nhau lớn tại các địa điểm của thành phố [12]. Sau khi phân tích và so sánh tác giả chọn chiều sâu mực nước ngầm là 6 m để tiến hành phân tích.

Các dữ liệu khác liên quan đến khí hậu như: Lượng mưa trung bình năm, số ngày ẩm ướt trong năm, nhiệt độ trung bình từng giờ trong ngày, nhiệt độ trung bình từng tháng, tốc độ gió,...v.v phần mềm sẽ tự động xử lý và cập nhật khi lựa chọn khu vực phân tích.

❖ Thông số về lưu lượng xe và tải trọng tính toán

Với tải trọng sử dụng là tải trọng trục 18 kip. Lượng xe thiết kế cho 1 làn xe: Vận dụng ví dụ 3 trong tiêu chuẩn ngành TCCS37:2022 có thể tính tương đương được lưu lượng xe tải, xe khách theo 2 chiều ở năm đầu tiên đưa đường vào khai thác (năm 2024) là $N_t = 190.0, 12 + 315.0.871 + 1106.0, 981 + 6060.1, 586 + 33.1, 485 = 1506$ xe/ngày. đêm (Sử dụng dữ liệu ở ví dụ 2, trang 132-134 và ví dụ 3, trang 135,136 của TCCS37: 2022) [11]. Hệ số tăng trưởng xe hằng năm 3% theo mô hình hàm mũ (compound). Tỷ lệ xe tải/xe khách theo hướng 50%. Tỷ lệ xe tải/xe khách chạy trên làn tính toán 80%. Các thông số khác được lấy theo mặc định của chương trình.

❖ Thời gian tính toán của dự án

Thời gian tính toán của dự án: 15 năm

Năm bắt đầu đi vào khai thác của dự án: 2024

Năm cuối khai thác của dự án: 2039

2.2. Kết quả phân tích bằng phương pháp cơ học thực nghiệm (MEPDG)

2.2.1. Kết quả phân tích

Khi phân tích kết cấu mặt đường BTN bằng phương pháp MEPDG mỗi kết cấu mặt đường cần thỏa mãn 6 tiêu chuẩn sau:

✓ Độ gồ ghề cuối cùng (Terminal (IRI - m/km)), giá trị cho phép theo phương pháp MEPDG: 2.70 m/km

✓ Tổng chiều sâu lún vệt bánh xe toàn kết cấu" (permanent deformation-total pavement (mm)), giá trị cho phép theo phương pháp MEPDG: 25.00mm.

✓ Nứt môi từ dưới lên của lớp bê tông nhựa (AC bottom-up fatigue cracking), giá trị cho phép theo phương pháp MEPDG: 25%.

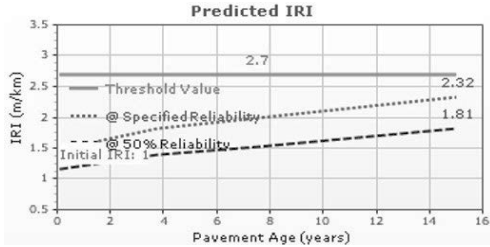
✓ Nứt nhiệt của lớp bê tông nhựa (AC thermal cracking), giá trị cho phép theo phương pháp MEPDG: 189.40 m/km

✓ Nứt môi từ trên xuống của lớp bê tông nhựa (AC top-down cracking), giá trị cho phép theo phương pháp MEPDG: 378.80 m/km

✓ Tổng chiều sâu lún vệt bánh xe các lớp bê tông nhựa

(permanent deformation-AC only (mm)), giá trị cho phép theo phương pháp MEPDG: 12.50mm.

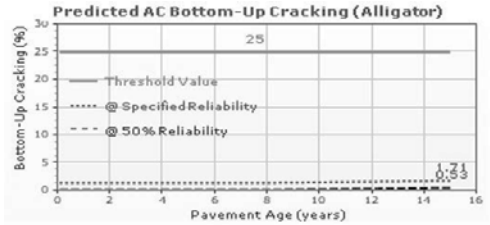
Sau khi khai báo các thông số đầu vào, phân tích kết cấu bằng phần mềm MEPDG và dự đoán các yếu tố kiểm tra trong thời gian khai thác như sau:



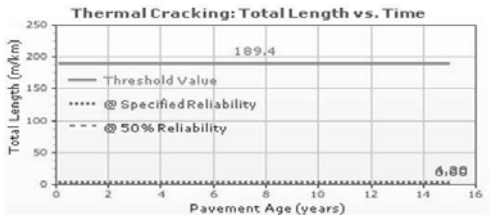
Hình 2. Kết quả phân tích độ gồ ghề theo thời gian (Terminal IRI - m/km)



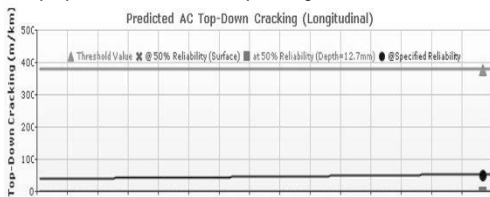
Hình 3. Kết quả phân tích độ lún vệt bánh xe toàn kết cấu (permanent deformation-total pavement (mm))



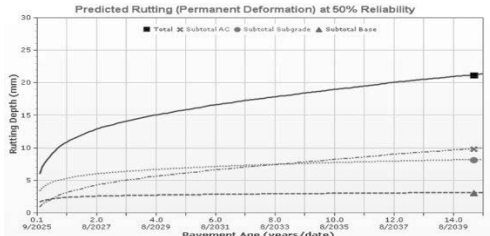
Hình 4. Kết quả phân tích nứt từ dưới lên của lớp bê tông nhựa (AC bottom-up fatigue cracking)



Hình 5. Kết quả phân tích nứt nhiệt của lớp bê tông nhựa (AC thermal cracking)



Hình 6. Kết quả phân tích nứt môi từ trên xuống của lớp bê tông nhựa (AC top-down cracking)



Hình 7. Kết quả phân tích tổng chiều sâu lún vệt bánh xe các lớp bê tông nhựa (permanent deformation-AC only (mm))

Bảng 1. Kết quả kiểm tra các tiêu chuẩn đối với kết cấu mặt đường bê tông nhựa đã đề xuất bằng phương pháp MEPDG

Distress Type	Distress @ Specified Reliability		Reliability (%)		Criterion Satisfied?
	Target	Predicted	Target	Achieved	
Terminal IRI (m/km)	2.70	2.32	85.00	96.46	Pass
Permanent deformation - total pavement (mm)	25.00	25.07	85.00	84.49	Fail
AC bottom-up fatigue cracking (percent)	25.00	1.71	85.00	100.00	Pass
AC thermal cracking (m/km)	189.40	4.20	85.00	100.00	Pass
AC top-down fatigue cracking (m/km)	378.80	54.86	85.00	100.00	Pass
Permanent deformation - AC only (mm)	12.50	13.00	85.00	80.57	Fail

2.2.2. Thảo luận

Sau khi phân tích kết cấu mặt đường bê tông nhựa nêu trên ta thấy:

(1) Trong 6 tiêu chí kiểm tra của kết cấu mặt đường bê tông nhựa thì có 4 tiêu chí thỏa mãn yêu cầu theo phương pháp cơ học thực nghiệm ở năm cuối cùng tính toán trong bài toán này (năm thứ 15, tức là năm 2039), cụ thể như sau:

Tiêu chuẩn về độ gồ ghề tại thời điểm năm cuối tính toán (năm 2039) là 2.32 m/km so với giới hạn cho phép của phương pháp tính là 2.70 m/km. Tiêu chuẩn kiểm toán về nứt từ dưới lên ở thời điểm năm cuối tính toán (năm 2039) là 1.71% so với giới hạn cho phép của phương pháp tính là 25%. Tiêu chuẩn kiểm toán về nứt nhiệt ở thời điểm năm cuối tính toán (năm 2039) là 4.2 m/km so với giới hạn cho phép của phương pháp tính là 189.40 m/km. Tiêu chuẩn kiểm toán về nứt từ trên xuống ở thời điểm năm cuối tính toán (2039) là 54.86 m/km so với giới hạn cho phép của phương pháp tính là 378.80 m/km.

Có 2 tiêu chuẩn không đạt là tiêu chuẩn về lún vệt bánh xe toàn kết cấu ở thời điểm cuối cùng tính toán (năm 2039) là 25.07 mm so với giới hạn cho phép là 25 mm; Tiêu chuẩn lún vệt bánh xe các lớp bê tông nhựa ở thời điểm cuối cùng tính toán (năm 2039) là 13.00 mm so với giới hạn cho phép là 12.5 mm. Qua đó ta nhận thấy kết cấu mặt đường bê tông nhựa đã kiểm toán không thỏa mãn tất cả các tiêu chuẩn kiểm toán bằng phương pháp cơ học thực nghiệm. Trong khi đó, kết cấu mặt đường bê tông nhựa nói trên được đề xuất và kiểm toán là thỏa mãn theo Tiêu chuẩn TCCS37:2022/TCĐBVN với các điều kiện tương tự nhau.

(2) Cả 6 tiêu chuẩn cần kiểm tra của kết cấu áo đường trên khi xét theo thời gian ta nhận thấy: Theo thời gian sự gia tăng đáng kể của cả 6 tiêu chuẩn kiểm toán bao gồm: độ gồ ghề, tổng chiều sâu lún vệt bánh xe toàn kết cấu, nứt môi từ dưới lên của lớp bê tông nhựa, nứt nhiệt của lớp bê tông nhựa, nứt môi từ trên xuống của lớp bê tông nhựa, tổng chiều sâu lún vệt bánh xe các lớp bê tông nhựa. Vì vậy, kết cấu mặt đường bê tông nhựa có sự ổn định theo thời gian là không cao.

(3) Hai chỉ tiêu kiểm tra không đạt đều liên quan đến biến dạng của kết cấu mặt đường. Do vậy, để đảm bảo kết cấu mặt đường đạt cả 6 tiêu chuẩn cần kiểm toán thì cần phải cải thiện độ cứng của kết cấu mặt đường. Vì vậy có thể giải quyết theo hướng tăng bề dày các lớp kết cấu hoặc tăng mô đun đàn hồi của các lớp vật liệu. Tuy nhiên, mô đun đàn hồi là một đặc trưng cơ học của vật liệu và ít bị thay đổi nên giải pháp hợp lý nhất là tăng bề dày của các lớp kết cấu mặt đường.

(4) Một số tiêu chí kiểm tra thừa nhiều so với yêu cầu của tiêu chuẩn kiểm tra khi sử dụng phương pháp cơ học thực nghiệm MEPDG, trong khi lại có 2 tiêu chí không thỏa mãn. Vì vậy, cần điều chỉnh lại cho phù hợp.

2.3. Sử dụng phần mềm ME để phân tích và đề xuất kết cấu mặt đường bê tông nhựa phù hợp

2.3.1. Thông số đầu vào

Phần mềm ME cho phép người thiết kế điều chỉnh về kết cấu mặt đường để sao cho có thể thỏa mãn tất cả các tiêu chuẩn kiểm toán thông qua chức năng "Sensitivity", có thể áp dụng với nhiều điều kiện biên khác nhau như chiều dày các lớp kết cấu, loại vật liệu...

Dựa vào kết quả phân tích và đánh giá ở mục 2.2 của bài báo này, các tác giả sử dụng phần mềm phân tích kết cấu mặt đường bê tông nhựa theo phương pháp cơ học thực nghiệm để xuất các lớp kết cấu mặt đường phù hợp với các thông số đầu vào như sau:

✓ Các thông số về vật liệu là không thay đổi;
 ✓ Số lượng các lớp của kết cấu mặt đường là không thay đổi;
 ✓ Các thông số về giao thông, địa chất, thủy văn là không thay đổi;
 ✓ Chỉ chạy với 1 biến là chiều dày của các lớp kết cấu đã chọn và để bài toán lập được ít nhất và phù hợp với khả năng của máy tính tính toán số lần lặp của bề dày mỗi lớp là 2 theo bảng tổng hợp sau.

Bảng 2. Chiều dày thay đổi và số lần thay đổi của các lớp kết cấu mặt đường

Variable Name	Layer	Minimum	Maximum	# of Increments
Thickness(mm)	Layer 1 Flexible : BTN12.5-60/70	50	60	2
Thickness(mm)	Layer 2 Flexible : BTN19-60/70	60	90	2
Thickness(mm)	Layer 3 Non-stabilized Base : Cấp phối đá dăm 1	250	350	2
Thickness(mm)	Layer 4 Non-stabilized Base : Cấp phối đá dăm 2	320	380	2

2.3.1. Kết quả phân tích

Sau khi phân tích bằng phần mềm ME dựa trên các điều kiện và mục tiêu đã nêu ở mục 2.3.1 thì được kết quả đề xuất gồm 9 kết cấu mặt đường có chiều dày như sau:

Bảng 3. Kết quả đề xuất chiều dày các lớp kết cấu áo đường bằng phần mềm ME

STT	BTNC12.5 (mm)	BTNC19 (mm)	CPĐĐ loại A (mm)	CPĐĐ loại B (mm)
1	50	80	250	320
2	55	80	250	320
3	60	80	250	320
4	50	85	250	320
5	50	90	250	320
6	50	80	300	320
7	50	80	350	320
8	50	80	250	350
9	50	80	250	380

Bảng 4. Kết quả phân tích của kết cấu mặt đường số 2 bằng phần mềm ME

Distress Type	Distress @ Specified Reliability		Reliability (%)		Criterion Satisfied?
	Target	Predicted	Target	Achieved	
Terminal IRI (m/km)	2.70	2.29	85.00	96.92	Pass
Permanent deformation - total pavement (mm)	25.00	24.06	85.00	90.47	Pass
AC bottom-up fatigue cracking (percent)	25.00	1.66	85.00	100.00	Pass
AC thermal cracking (m/km)	189.40	4.20	85.00	100.00	Pass
AC top-down fatigue cracking (m/km)	378.80	59.60	85.00	100.00	Pass
Permanent deformation - AC only (mm)	12.50	12.18	85.00	87.52	Pass

Bảng 5. Kết quả phân tích của kết cấu mặt đường số 9 bằng phần mềm ME

Distress Type	Distress @ Specified Reliability		Reliability (%)		Criterion Satisfied?
	Target	Predicted	Target	Achieved	
Terminal IRI (m/km)	2.70	2.31	85.00	96.61	Pass
Permanent deformation - total pavement (mm)	25.00	24.78	85.00	86.33	Pass
AC bottom-up fatigue cracking (percent)	25.00	1.68	85.00	100.00	Pass
AC thermal cracking (m/km)	189.40	4.20	85.00	100.00	Pass
AC top-down fatigue cracking (m/km)	378.80	59.60	85.00	100.00	Pass
Permanent deformation - AC only (mm)	12.50	13.09	85.00	79.81	Fail

2.3.3. Thảo luận

Sau khi đề xuất 9 kết cấu mặt đường như Bảng 3 phần mềm ME tiếp tục phân tích các lớp kết cấu mặt đường đã đề xuất.

(1) Kết quả phân tích cho thấy chỉ có 2 kết cấu mặt đường đã đề xuất đạt cả 6 tiêu chuẩn kiểm toán của phương pháp cơ học thực nghiệm là kết cấu mặt đường số 2 (BTNC12.5 dày 55 mm, BTNC19 dày 80 mm, CPĐĐ loại A dày 250 mm) và CPĐĐ loại B dày 320) và kết cấu mặt đường số 3 (BTNC12.5 dày 60 mm, BTNC19 dày 80 mm, CPĐĐ loại A dày 250 mm và CPĐĐ loại B dày 320). Các kết cấu mặt đường còn lại đều không đạt ở tiêu chuẩn về độ lún vệt bánh xe của lớp bê tông nhựa.

(2) Kết cấu mặt đường có lớp BTNC12.5 dày từ 55 mm trở lên và các lớp còn lại giữ ở mức như kết cấu ban đầu là có thể đạt cả 6 tiêu chuẩn kiểm tra của phương pháp cơ học thực nghiệm.

(3) Các kết cấu mặt đường còn lại khi tăng chiều dày của các lớp kết cấu mặt đường khác (từ lớp 2 đến lớp 4) đều không đạt về tiêu chuẩn độ lún vệt bánh xe của lớp bê tông nhựa.

(4) Việc tăng chiều dày của các lớp kết cấu mặt đường ở dưới không khắc phục được tiêu chuẩn lún vệt bánh xe của lớp bê tông nhựa.

(5) Có thể nghiên cứu kỹ hơn để đưa ra kết cấu mặt đường tối ưu nhất đáp ứng đầy đủ cả 6 tiêu chuẩn kiểm toán kết cấu mặt đường bằng phương pháp cơ học thực nghiệm và tiết kiệm vật liệu nhất.

3. KẾT LUẬN

(1) Việc phân tích kết cấu mặt đường bê tông nhựa nói riêng và phân tích kết cấu mặt đường nói chung là hoàn toàn khả thi và có thể áp dụng được ở Việt Nam khi có đầy đủ các thông số về giao thông, khí hậu, địa chất, thủy văn.

(2) Khi kiểm toán kết cấu mặt đường BTN bằng phương pháp MEPDG cần có nhiều thông số đầu vào hơn như:

Thông số về kết cấu, thông số vật liệu, thông số về lưu lượng xe tải, thông số về khí hậu, thông số về thời gian tính toán của kết cấu mặt đường. Trong khi đó, khi kiểm toán kết cấu mặt đường BTN theo TCCS37:2022/TCĐBVN (phương pháp lý thuyết - thực nghiệm) thì có thông số đầu vào ít hơn, khi chỉ cần các thông số kết cấu, thông số vật liệu, thông số về tải trọng trục xe, thông số về thời gian tính toán của kết cấu mặt đường. Mỗi thông số trong phương pháp MEPDG cần phải có nhiều chỉ tiêu hơn và phức tạp hơn so với phương pháp lý thuyết - thực nghiệm.

(3) Có thể sử dụng phân tích độ nhạy Sensitivity của phần mềm ME để đề xuất và kiểm toán các kết cấu mặt đường bê tông nhựa theo phương pháp cơ học thực nghiệm.

(4) Để có thể đề xuất được kết cấu mặt đường bê tông nhựa tối ưu nhất thì các biến đưa vào cần phải nhiều và có miền xem xét rộng. Bên cạnh đó, máy tính cần phải đủ mạnh để có thể phân tích được số lượng bài toán là rất lớn.

(5) Việc sử dụng phần mềm ME và phương pháp cơ học thực nghiệm để phân tích và thiết kế kết cấu mặt đường ở khu vực TP.HCM là thuận lợi. Khi phần mềm ME có 2 trạm quan sát về khí hậu, thủy văn của khu vực TP.HCM và thường xuyên được cập nhật.

(6) Phần mềm phân tích kết cấu mặt đường bằng phương pháp cơ học thực nghiệm (ME) hiện tại chưa cập nhật nhiều các kết quả quan trắc khí hậu, thủy văn nên việc áp dụng để phân tích kết cấu mặt đường ở nhiều địa phương khác là còn hạn chế.

–TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. AASHTO (2015), Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide- A Manual of Practice, ISBN: 978-1-56051
- [2]. Jonathan Nathan Boone (2013), "Comparison of Ontario Pavement Designs Using the AASHTO 1993 Empirical Method and the Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide Method", Master Thesis, the University of Waterloo, Canada.
- [3]. Husam A. Sadeq, Eyad A. Masad, Okan Sirin, Hussain Al-Khalid, Mohammed A. Sadeq & Dallas Little (2014), "Implementation of mechanistic-empirical pavement analysis in the State of Qatar", International Journal of Pavement Engineering, 495-511.
- [4]. NCHRP (2004), Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures, Project 37-1A, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, National Research Council, Washington DC.
- [5]. Nick Thom (2014), "Principles of Pavement Engineering Second edition", ICE Publishing, ISBN 978
- [6]. N.Q. Phúc và P.T. Hà (2014), "Sử dụng phương pháp cơ học thực nghiệm phân tích kết cấu mặt đường mềm ở Việt Nam", Tạp chí Cầu đường Việt Nam, Số tháng 8/2014.
- [7]. N.H. Long và các cộng sự (2018), "Nghiên cứu các điều kiện cần thiết để áp dụng phương pháp cơ học thực nghiệm trong phân tích kết cấu mặt đường ở Việt Nam", Đề tài NCKH cấp Bộ Giao thông vận tải, 2024.
- [8]. L.V. Phúc, Đ.Q. Nam (2020), "Nghiên cứu ứng dụng phương pháp cơ học thực nghiệm để thiết kế tăng cường kết cấu áo đường mềm", Tạp chí Khoa học công nghệ giao thông vận tải, năm 2020.
- [9]. L.V. Phúc, N.V. Du, N.V. Đức, "Đánh giá ảnh hưởng của một số thông số thiết kế đến tuổi thọ kết cấu áo đường mềm bằng phương pháp cơ học thực nghiệm", Tạp chí Khoa học công nghệ giao thông vận tải, năm 2021.
- [10]. Cơ quan hợp tác quốc tế Nhật Bản (JICA), "Nghiên cứu khai thác nước ngầm tại các tỉnh Duyên hải nam Trung bộ nước CHXHCN Việt Nam", tháng 3/2009.
- [11]. TCCS37: 2022/TCĐBVN, "Áo đường mềm - yêu cầu và chỉ dẫn thiết kế theo chỉ số kết cấu SN", năm 2022.

Đánh giá hiệu quả đầm của lu rung trên cơ sở phân tích mô hình động lực học

Evaluation of vibration roller compaction efficiency based on dynamic modeling analysis

> TS NGUYỄN SỸ NAM

Khoa Xây dựng dân dụng và công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

Email: namns@huce.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo tập trung nghiên cứu vào đánh giá hiệu quả đầm và rung động ghế lái của lu rung dựa trên phân tích mô hình động lực học phi tuyến được xây dựng. Lu rung được mô hình hóa như một hệ cơ học nhiều bậc tự do, trong đó các thành phần chính bao gồm bánh chủ động, trống đầm, khung xe, khối lệch tâm, ghế lái và người vận hành. Nền đất được giả thiết là đàn hồi-nhớt theo mô hình Voigt-Kelvin, với các hệ số được xác định cho các trạng thái đất khác nhau. Phương trình vi phân phi tuyến của hệ được thiết lập bằng phương pháp Lagrange loại 2 và giải số bằng phương pháp Runge-Kutta bậc 4. Kết quả nghiên cứu cho thấy lực nén nền tăng rõ rệt khi tần số rung tăng và hiệu quả đầm giảm khi đất trở nên chặt hơn. Ngoài ra, rung động ghế lái tăng mạnh ở tần số cao, tiệm cận giới hạn khuyến cáo theo tiêu chuẩn ISO 2631, nhấn mạnh sự cần thiết của việc điều chỉnh tần số rung phù hợp theo trạng thái đất để cân bằng hiệu quả đầm và an toàn cho người vận hành. Nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học quan trọng cho việc lựa chọn chế độ làm việc tối ưu và định hướng thiết kế, điều khiển thông minh cho lu rung trong thi công hạ tầng.

Từ khóa: Lu rung lệch tâm, hiệu quả đầm nén, mô hình động lực học, nền đất đàn hồi-nhớt, phương pháp Lagrange 2.

ABSTRACT

This study focuses on evaluating the compaction efficiency and seat vibration of eccentric vibratory rollers based on the analysis of a developed nonlinear dynamic model. The roller is modeled as a multi-degree-of-freedom mechanical system, comprising key components such as the drive wheel, drum, chassis, eccentric mass, operator's seat, and the operator. The soil is assumed to be viscoelastic and is represented by the Voigt-Kelvin model, with stiffness and damping parameters defined for different soil conditions. The nonlinear differential equations of the system are formulated using the second-order Lagrange method and solved numerically using the fourth-order Runge-Kutta method. The results indicate that the compaction force increases significantly with higher vibration frequencies, while compaction efficiency decreases as the soil becomes denser. Moreover, seat vibration intensifies at higher frequencies, approaching the recommended limits specified in ISO 2631, emphasizing the need to adjust vibration frequency according to soil conditions to balance compaction performance and operator safety. This study provides an important scientific basis for selecting optimal operating modes and for guiding the intelligent design and control of vibratory rollers in infrastructure construction.

Keywords: Eccentric vibratory roller, compaction efficiency, dynamic modeling, viscoelastic soil, second-order Lagrange method.

1. GIỚI THIỆU

Đầm nén đất là một khâu nền tảng trong xây dựng hạ tầng giao thông, công nghiệp và dân dụng, ảnh hưởng trực tiếp đến độ ổn định, khả năng chịu tải của nền móng và tuổi thọ công trình. Trong các phương pháp đầm, lu rung được đánh giá là hiệu quả hơn lu tĩnh nhờ sử dụng lực ly tâm cưỡng bức, giúp tăng mật độ đất nhanh hơn từ 2-3 lần với cùng khối lượng thiết bị [1]. Tuy nhiên, thực tế hiện nay việc chọn loại lu rung và chế độ làm việc (tần số, biên độ rung) chủ yếu dựa trên tài liệu kỹ thuật của nhà sản xuất. Các thông số này chỉ đưa ra giá trị lực ly tâm cực đại chung chung, không tính đến điều kiện thực tế từng loại đất, trạng thái chặt hoặc yếu cấu vận hành cụ thể [1]. Điều này dẫn đến hiệu suất đầm không tối ưu: trên nền đất rời, lực rung chưa khai thác hết; còn trên nền đất cứng, hiện

tượng trống lu mất tiếp xúc xuất hiện, gây giảm hiệu quả và tăng rung động truyền lên thân máy, ảnh hưởng sức khỏe người vận hành. Vì vậy, một mô hình động lực học chính xác cho lu rung, kết hợp với khảo sát tham số theo loại đất, là cấp thiết để làm cơ sở khoa học cho thiết kế, vận hành và cải tiến thiết bị.

Tại Việt Nam, các nghiên cứu gần đây chủ yếu tập trung vào mô hình hóa động lực học của lu rung và cải tiến cấu trúc. Nguyễn Minh Kha và cộng sự đã phát triển một mô hình lu rung, trong đó lớp đất bổ sung được xét đến như một thành phần có khả năng dịch chuyển trong quá trình đầm. Từ đó xây dựng phương trình Lagrange và phân tích dao động khung xe và trống lu [2], tuy nhiên, mô hình này chưa tích hợp đồng thời tương tác lu-đất và lực rung tác động lên ghế trong cùng một khung phân tích phi tuyến, mà tập trung riêng

vào đánh giá rung động người lái. Đỗ Đăng Khoa và cộng sự tiếp cận bài toán động lực học ngược để tính toán mô-men và công suất động cơ đáp ứng yêu cầu đầm nén [3], nhưng không đi sâu vào mô hình hóa tương tác động lực học lu-đất hoặc đánh giá rung động ghế lái. Trong [4] cũng nghiên cứu rung động truyền lên ghế lái và người điều khiển lu hai trống rung, nhằm so sánh với tiêu chuẩn ISO về giới hạn gia tốc tác động lên cơ thể người, nhưng chưa xét yếu tố rung động truyền đến ghế lái và người vận hành, đồng thời mô hình đất vẫn dùng ở dạng tuyến tính đơn giản.

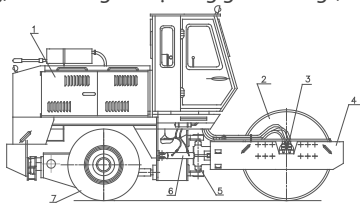
Trên thế giới, các nghiên cứu chủ yếu tập trung vào hai hướng chính. Thứ nhất là mô hình hóa tương tác giữa lu-đất cũng như phản ứng động của hệ thống [5]. Pistol et al. (2024) và Adam et al. (2018) phát triển hệ thống Continuous Compaction Control (CCC), đo độ cứng nền theo thời gian thực dựa trên gia tốc trống lu [6], [7]. Thứ hai là, đo lường và điều khiển thông minh: Mooney (2005) triển khai hệ đo 3D gia tốc và vị trí lệch tâm để hiệu chỉnh chế độ rung [8]. Các nghiên cứu gần đây ứng dụng ICMV (Intelligent Compaction Meter Values) kết hợp mô hình cơ học và dữ liệu cảm biến để nâng cao độ chính xác đánh giá chất lượng đầm nén [6].

Các hạn chế tồn tại gồm: (i) Thiếu mô hình tích hợp đồng thời nhiều thành phần cơ học (bánh chủ động, trống đầm, thân xe, ghế lái, người vận hành). (ii) Chưa phân tích tương tác lu-đất theo trạng thái biến đổi (từ đất rời đến chặt). (iii) Các nghiên cứu về rung ghế người lái và ảnh hưởng đến sức khỏe chủ yếu tách biệt khỏi mô hình lu-đất. Nghiên cứu này đóng góp những điểm mới: Xây dựng mô hình động lực học hoàn chỉnh cho lu rung lệch tâm, xét đầy đủ bánh chủ động, trống rung, thân xe, khối lệch tâm và ghế lái; Áp dụng mô hình nền đàn hồi-visco Voigt-Kelvin phân loại theo trạng thái chặt lũy tiến [5]; Giải số hệ phương trình phi tuyến bằng Runge-Kutta bậc 4; Đồng thời phân tích lực nén nền, biến dạng đất và dao động ghế lái theo ISO 2631.

2. MÔ HÌNH CƠ HỌC VÀ MÔ HÌNH ĐỘNG LỰC HỌC

2.1. Đối tượng nghiên cứu và mô hình cơ học

Đối tượng nghiên cứu là lu rung một trống đầm sử dụng trong thi công nền đường, nền móng và hạ tầng giao thông (Hình 1) [1].



Hình 1. Máy đầm rung kiểu trống lăn loại tự hành

1- đầu kéo một trục bánh hơi; 2- trống đầm; 3- động cơ thủy lực dẫn động cơ cấu gây rung; 4- khung mang bánh lu; 5- khớp liên kết nửa đầu kéo và trống đầm; 6- xilanh thủy lực thay đổi hướng chuyển động của máy; 7- bánh hơi (bánh chủ động)



Hình 2. Khớp nối hai thân máy

Thiết bị được mô hình cơ học bao gồm các thành phần chính (Hình 3):

Bánh chủ động (1): Trong trường hợp lu rung một trống đầm (rung), bánh chủ động thường là bánh lốp. Do bánh xe lu khi làm

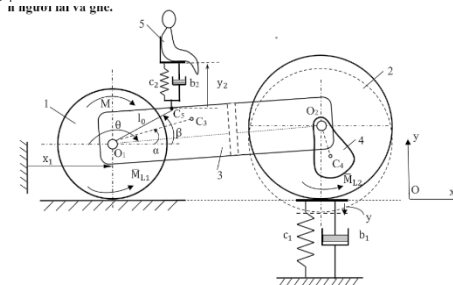
việc chuyển động với tốc độ chậm (1~2km/h) và bánh lốp có ma sát lớn nên giả thiết bánh chuyển động lăn không trượt. Đồng thời do chuyển động chậm nên tác dụng do biến dạng của bánh là nhỏ nên ta có thể coi bánh như con lăn chuyển động trên nền đường cứng không biến dạng, nếu xét kỹ lưỡng hơn thì bánh lốp được mô hình là phần tử đàn hồi và cản nhớt. Các thông số của bánh: tổng khối lượng m_1 , giả thiết có khối tâm đặt tại trục bánh O_1 , bán kính bánh R_1 , mô men quán tính của bánh đối với trục đi qua tâm O_1 bằng J_1 . Bánh chịu tác dụng của ngẫu lực có mô men M do động cơ xe tác dụng lên bánh để tạo ra dịch chuyển của xe. Hệ số ma sát trượt và ma sát lăn của mặt đường tại bánh chủ động lần lượt là f_1, k_1 . Hệ số này thay đổi tùy theo cấp đất.

Bánh rung (2) (trống đầm): Giả thiết bánh rung luôn tiếp xúc với mặt đường và chuyển động là lăn không trượt. Do tác dụng của việc rung nên trống rung trong trường hợp nào đó có thể xem xét đến ảnh hưởng của sự trượt và lúc đó nó trở thành lăn có trượt, hiện tượng này dễ xảy ra khi bánh vừa là bánh rung và bánh chủ động. Mặt đường biến dạng lớn do lực li tâm rung, được mô hình là phần tử đàn hồi c và phần tử cản nhớt b . Mặt khác do chuyển động của xe là chậm nên giả thiết coi các hệ số đó là không đổi và hệ số ma sát trượt và ma sát lăn của mặt đường tại bánh rung lần lượt là f_2, k_2 . Bánh rung có tổng khối lượng m_2 , giả thiết khối tâm đặt tại trục quay O_2 , bán kính r_2 , trống rung quay quanh O_2 có mô men quán tính đối với trục quay là J_2 .

Thân xe (3): Là bộ phận nối từ trục bánh trước đến trục bánh sau, bao gồm bộ phận đầu kéo nối với càng của bánh rung thông qua khớp nối trụ dài nối hai phần với nhau. Khớp nối (Hình 2) có bộ phận điều khiển đánh lái bằng thủy lực, khi làm việc trên đường thẳng thì van thủy lực được khóa và hai phần trước và sau trở thành một khối cứng, do đó thân xe được mô hình là phần tử cứng nối O_1O_2 .

Các bánh xe nối với thân thông qua khớp nối đặt trên đệm đàn hồi, đệm có thể là cao su, cao su bọc thép hoặc nhíp đàn hồi. Đệm này làm giảm ảnh hưởng của rung lên thân xe và người lái. Thân có tổng khối lượng m_3 , khối tâm đặt tại C_3 , có mô men quán tính đối với trục qua tâm C_3 là J_3 . (Biết $O_1O_2 = L$, $O_1C_3 = l$, góc O_2O_1C bằng α không đổi).

Khối lượng lệch tâm (4): Khối lượng lệch tâm là trục quay lệch tâm. Trục lệch tâm sẽ quay đều với vận tốc góc ω_0 nhờ động cơ phụ, với vận tốc góc lớn, cùng với tác dụng lệch tâm sẽ tạo ra lực ly tâm làm bánh lu rung động, dẫn đến tác dụng nén nền là lớn hơn nhiều so với lu tĩnh. Trong trường hợp hai bánh đều rung, trục lệch tâm ở hai bánh rung thường được bố trí lệch 180° để giảm tác dụng rung lên thân. Trục quay lệch tâm có khối lượng m_0 được lắp đồng trục với bánh rung, khoảng lệch tâm là $OC_4 = e$, có mô men quán tính đối với trục O_2 là J_4 .



Hình 3. Sơ đồ mô hình cơ học máy lu rung lệch tâm

Người lái và ghế (5): Người ngồi trên ghế được lắp bộ phận giảm chấn (lò xo và phần tử cản nhớt). Trong trường hợp mô hình đơn giản hóa ta có thể chưa xét đến bộ phận này. Tuy nhiên để chính xác hơn và đánh giá tác động đến người lái ta có thể mô hình người và ghế như khối lượng m_5 liên kết với thân bằng phần tử đàn hồi và cản nhớt. Trong mô hình này bánh chủ động là bánh lốp coi như rắn,

lăn không trượt trên nền đường cứng, bánh rung là cứng lăn không trượt trên nền đàn hồi. Mô hình này người và ghế được xét đến, và coi như khối lượng tập trung liên kết với thân xe.

2.2. Mô hình động lực học

Để xây dựng mô hình động lực học ta lựa chọn các thông số động học và hình học như sau: Chọn hệ trục tọa độ Oxy như Hình 3.

Chọn tọa độ suy rộng là:

+ x_1 - dịch chuyển của bánh chủ động

+ Các biểu thức liên hệ hình học:

$$\begin{cases} x_{O_2} = x_1 - L \cos \theta \\ y_{O_2} = R_1 + L \sin \theta \end{cases}; \begin{cases} x_{C_3} = x_1 - l \cos(\theta - \alpha) \\ y_{C_3} = R_1 + l \sin(\theta - \alpha) \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} x_{C_4} = x_{O_2} + e \sin \omega_0 t \\ y_{C_4} = y_{O_2} - e \cos \omega_0 t \end{cases}; \begin{cases} x_5 = x_1 - l_0 \cos(\theta - \beta) \\ y_5 = y_2 + l_0 \sin(\theta - \beta) \end{cases} \quad (2)$$

Để thiết lập mô hình động lực học ở đây ta sử dụng phương pháp phương trình Lagrange II có dạng [9,10]:

$$\frac{dT}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} = Q_{qi} \quad (3)$$

Trong đó T là động năng, Q_{qi} là lực suy rộng ứng với tọa độ suy rộng q_i

***) Động năng cả hệ là:**

$$T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5$$

$$\begin{aligned} T = & \frac{1}{2} \dot{x}_1^2 \left(m_{hệ} + \frac{J_1}{R_1^2} + \frac{J_2}{R_2^2} \right) + \frac{1}{2} \dot{\theta}^2 \left[m_2 L^2 + \frac{J_2}{R_2^2} L^2 \sin^2 \theta + m_3 l^2 + J_3 + m_4 L^2 + m_5 l_0^2 \right] \\ & + \dot{x}_1 \dot{\theta} \left[\left(m_4 + m_2 + \frac{J_2}{R_2^2} \right) L \sin \theta + m_3 l \sin(\theta - \alpha) + m_5 l_0 \sin(\theta - \beta) \right] + m_4 L e \omega_0 \dot{\theta} \sin(\omega_0 t + \theta) \\ & + m_4 e \omega_0 \dot{x}_1 \cos \omega_0 t + \frac{1}{2} m_5 \dot{y}_2^2 + m_5 l_0 \dot{y}_2 \dot{\theta} \cos(\theta - \beta) + \frac{1}{2} (m_4 e^2 + J_4) \omega_0^2 \end{aligned} \quad (4)$$

trong đó $m_{hệ} = m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5$

***) Lực suy rộng:** Các lực sinh công tác dụng lên cơ hệ:

+ Trọng lượng: $\vec{P}_1, \vec{P}_2, \vec{P}_3, \vec{P}_4, \vec{P}_5$

+ Lực ma sát: $\vec{M}_{l1}, \vec{M}_{l2}; M_{l1} = k_1 N_1, M_{l2} = k_2 N_2$

+ Lực đàn hồi và lực cản của lò xo giảm chấn: $\vec{F}_{dh1}, \vec{F}_{dh2}, \vec{F}_{c1}, \vec{F}_{c2}$

$$F_{dh1} = -c_1 y, F_{c1} = -b_1 \dot{y}; F_{dh2} = -c_2 (y_2 - y_{20}), F_{c2} = -b_2 \dot{y}_2 \quad (5)$$

(y_{20} là chiều dài tự nhiên của lò xo)

Sử dụng phương pháp di chuyển ảo [9,10] ta xác định được các biểu thức lực suy rộng:

• Lực suy rộng ứng với x_1 . Cho $\delta x_1 > 0, \delta \theta = 0, \delta y_2 = 0$

$$Q_{x_1} = \frac{M}{R_1} - \frac{k_1(P_1 + P_2 + P_3 + P_5 - (c_1 y + b_1 \dot{y}) - m \ddot{y}_c)}{R_1} - \frac{k_2(c_2 y + b_2 \dot{y})}{R_2} \quad (6)$$

• Lực suy rộng ứng với θ . Cho $\delta x_1 = 0, \delta \theta > 0, \delta y_2 = 0$

$$Q_\theta = -(P_3 + P_5) l \cos(\theta - \alpha) + (-P_2 - P_4 + c_1 y + b_1 \dot{y}) L \cos \theta - M_{L2} L \sin \theta / R_2 \quad (7)$$

• Lực suy rộng ứng với y_2 . Cho $\delta x_1 = 0, \delta \theta = 0, \delta y_2 > 0$

$$Q_{y_2} = -P_5 - c_2 (y_2 - y_{20}) - b_2 \dot{y}_2 \quad (8)$$

Thay biểu thức động năng (4) và các lực suy rộng tương ứng vào phương trình (3) ta được hệ phương trình động lực học:

• Viết cho tọa độ x_1 :

$$\begin{aligned} \ddot{x}_1 \left(m_{hệ} + \frac{J_1}{R_1^2} + \frac{J_2}{R_2^2} \right) + \ddot{\theta} \left[\left(m_4 + m_2 + \frac{J_2}{R_2^2} \right) L \sin \theta + m_3 l \sin(\theta - \alpha) + m_5 l_0 \sin(\theta - \beta) \right] \\ + \dot{\theta}^2 \left[\left(m_4 + m_2 + \frac{J_2}{R_2^2} \right) L \cos \theta + m_3 l \cos(\theta - \alpha) + m_5 l_0 \cos(\theta - \beta) \right] - m_4 e \omega_0^2 \sin \omega_0 t \\ = \frac{M}{R_1} - \frac{k_1(P_1 + P_2 + P_3 + P_5 - (c_1 y + b_1 \dot{y}) - m \ddot{y}_c)}{R_1} - \frac{k_2(c_1 y + b_1 \dot{y})}{R_2} \end{aligned} \quad (9)$$

• Viết cho tọa độ θ :

$$\begin{aligned} \ddot{\theta} \left[m_2 L^2 + \frac{J_2}{R_2^2} L^2 \sin^2 \theta + m_3 l^2 + J_3 + m_4 L^2 + m_5 l_0^2 \right] + \ddot{x}_1 \left[\left(m_4 + m_2 + \frac{J_2}{R_2^2} \right) L \sin \theta + m_3 l \sin(\theta - \alpha) + m_5 l_0 \sin(\theta - \beta) \right] \\ + m_4 L e \omega_0^2 \cos(\omega_0 t + \theta) + 2 m_5 l_0 \ddot{y}_2 \cos(\theta - \beta) = -(P_3 + P_5) l \cos(\theta - \alpha) + (-P_2 - P_4 + c_1 y + b_1 \dot{y}) L \cos \theta - \frac{M_{L2}}{R_2} L \sin \theta \end{aligned} \quad (10)$$

• Viết cho tọa độ y_2 :

$$m_5 \ddot{y}_2 + l_0 \ddot{\theta} \cos(\theta - \beta) - l_0 \dot{\theta}^2 \sin(\theta - \beta) = -P_5 - c_2 (y_2 - y_{20}) - b_2 \dot{y}_2 \quad (11)$$

2.3. Phương trình lực nén nền

Xét nền chịu lực nén N_2 của bánh rung như Hình 4. Ta có phương trình:

$$\vec{N}_2 + \vec{F}_{dh1} + \vec{F}_{c1} = 0$$

Chiếu lên phương thẳng đứng Oy, suy ra ta được:

$$N_2 = F_{dh1} + F_{c1} = c_1 y + b_1 \dot{y}$$

+ θ - góc tạo bởi phương ngang và O_1O_2 như hình vẽ, ban đầu khi nền đường chưa lún: $\theta = \theta_0$ ta có: $R_2 = R_1 + L \sin \theta_0$

+ y_2 - dịch chuyển của ghế ngồi

l_0 - chiều dài của O_1C_5 , C_5 là điểm đặt của ghế, c - hệ số cản đàn

hồi của mặt nền; b - hệ số cản nhớt của nền

c_2 - hệ số cản đàn hồi của ghế; b_2 - hệ số cản nhớt của ghế

y - dịch chuyển của bánh rung, là độ lún của nền.

α - là góc $C_3O_1O_2$; β - là góc $C_5O_1O_2$.

Trong đó $y = r_2 - y_{O_2} = r_2 - r_1 - L \sin \theta$, ta suy ra:

$$N_2 = c_1(r_2 - r_1 - L \sin \theta) - b_1 L \dot{\theta} \cos \theta \quad (12)$$

• Xét cả hệ, áp dụng định lý chuyển động khối tâm, ta có khối tâm của máy:

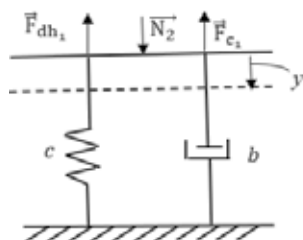
$$m_{hệ} y_c = m_1 y_{O_1} + m_2 y_{O_2} + m_3 y_{C_3} + m_4 y_{C_4} + m_5 y_5 \quad (13)$$

Thay các công thức liên hệ (1) và (2) vào (13) với chú ý $\dot{\varphi} = \omega_0$, $\ddot{\varphi} = 0$, ta có

$$m_{hệ} \ddot{y}_c = m_2 (L \ddot{\theta} \cos \theta - L \dot{\theta}^2 \sin \theta) + m_3 [\ddot{\theta} \cos(\theta - \alpha) - \dot{\theta}^2 \sin(\theta - \alpha)] + m_4 (L \ddot{\theta} \cos \theta - L \dot{\theta}^2 \sin \theta) + e \omega_0^2 \cos \omega_0 t + m_5 (\ddot{y}_2 + \ddot{\theta} l_0 \cos(\theta - \beta) - \dot{\theta}^2 l_0 \sin(\theta - \beta))$$

Áp dụng định lý động lượng cho cả máy lu ta được phản lực ở bánh chủ động:

$$N_1 = P_1 + P_2 + P_3 + P_5 - N_2 + m_{hệ} \ddot{y}_c \quad (13)$$



Hình 4. Áp lực lên nền đất

Kết quả thiết lập mô hình cơ học và động lực học cho thấy mô hình lu rung lệch tâm để xuất có khả năng mô tả đầy đủ các yếu tố ảnh hưởng chính, bao gồm tương tác lu-đất, lực ly tâm từ cơ cấu rung, cũng như tác động của hệ thống ghế lái và người vận hành. Phương pháp Lagrange cấp 2 cho phép xây dựng hệ phương trình chuyển động phi tuyến phản ánh chính xác động lực học của máy trong điều kiện làm việc thực tế. Việc bổ sung mô hình đàn hồi, nhớt của nền đất giúp dự đoán chính xác biến dạng nền và lực nén, từ đó là nền tảng cho phân tích hiệu quả đầm nén. Điều này khẳng định tính đúng đắn và khả năng ứng dụng của mô hình trong đánh giá, dự báo và tối ưu hóa chế độ vận hành lu rung trong các điều kiện đất khác nhau.

Nghiên cứu [2] đã xây dựng mô hình động lực học cho lu rung hai trống và có xét đến dao động ghế lái. Tuy nhiên, mô hình này chưa tích hợp đồng thời tương tác lu-đất và lực rung tác động lên ghế trong cùng một khung phân tích phi tuyến, mà tập trung riêng vào đánh giá rung động người lái. Nghiên cứu hiện tại khắc phục

Bảng 1. Số liệu cho nền đất rời theo [12], đơn vị Mpa

Loại	Kí hiệu	Loại đất	Trạng thái rời	Chặt vừa	Chặt
1	GW, SW	Sỏi/ cát cấp phối cao	30 - 80	80 - 160	160 - 320
2	SP	Cát, cấp phối đồng đều.	10 - 30	30 - 50	50 - 80
3	GM, SM	Cát, sỏi mềm lẫn đất	7 - 12	12 - 20	20 - 30

3.2. Thông số máy lu

Để khảo sát, thí nghiệm được thực hiện trên lu rung mã GHIBIC100 có tổng trọng lượng 9.8 tấn (cỡ trung)

Bảng 2. Thông số của máy lu

Thông số	Giá trị, đơn vị	Thông số	Giá trị, đơn vị
Khối lượng bánh lốp (2 lốp)	$m_1 = 150 \text{ kg}$	Khoảng cách trục bánh lốp tới tâm thân	$l = 0.5 \text{ m}$
Khối lượng bánh rung (bao gồm các bộ phận gắn cùng trục)	$m_2 = 5100 \text{ kg}$	Góc lệch	$\alpha = 0.034$
Khối lượng thân	$m_3 = 4700 \text{ kg}$	Khối lượng cầu trước (bánh rung) :	5900 kg
Khối lượng lệch tâm	$m_4 = 25 \text{ kg}$	Khối lượng cầu sau (bánh lốp) :	4000 kg
Bán kính lốp	$R_1 = 0.7$	Bề rộng bánh lu	2.1m
Bán kính bánh rung	$R_2 = 0.8$	Mô men quán tính bánh lốp	$J_1 = 35 \text{ kgm}^2$
Khoảng lệch tâm	$e = 0.25(\text{m})$	Mô men quán tính bánh rung	$J_2 = 3260 \text{ kgm}^2$
Khoảng cách hai trục	$L = 3 \text{ m}$	Mô men quán tính thân	$J_3 = 3550 \text{ kgm}^2$

3.3. Kết quả tính toán mô phỏng số

Kết quả tính toán số được phân tích dựa vào phương trình vi phân chuyển động bằng phương pháp Runge-Kutta bậc 4. Trong đó biểu thức lực nén nền được xác định theo công thức (12).

a) *Khảo sát tác dụng của rung đến lực nén nền*: Để khảo sát tác dụng của rung lệch tâm, ta khảo sát lực nén nền trong 3 trường

hiệu này bằng cách kết hợp phân tích lực nén nền, biến dạng đất và rung động ghế lái trong cùng một mô hình, phản ánh toàn diện hơn hiệu quả làm việc của lu rung.

Công trình [3] sử dụng bài toán động lực học ngược để tính toán mô-men và công suất động cơ phục vụ điều khiển máy lu, nhưng không đi sâu vào mô hình hóa tương tác động lực học lu-đất hoặc đánh giá rung động ghế lái. Nghiên cứu [4] đã đề cập đến việc mô hình hóa lu rung xét đến dịch chuyển lớp đất bổ sung, nhưng chưa xét yếu tố rung động truyền đến ghế lái và người vận hành, đồng thời mô hình đất vẫn dùng ở dạng tuyến tính đơn giản. Trong khi đó, nghiên cứu này sử dụng nền đất đàn hồi-nhớt Voigt-Kelvin và bổ sung ghế lái vào mô hình để đánh giá song song cả hiệu quả đầm và điều kiện làm việc của người lái.

3. KẾT QUẢ PHÂN TÍCH SỐ

3.1. Xác định hệ số đàn hồi nền của đất

Hệ số đàn hồi của đất được xác định theo công thức [11]

$$c_d = \frac{E_d \sqrt{F}}{1,13}$$

Trong đó: F là diện tích tiếp xúc của bánh lu với mặt đường, xác định theo công thức:

$$F = b \sqrt{z(2R - z)}$$

b là bề rộng bánh lu (mét), z là độ lún tính của mặt đường (mét), R là bán kính bánh lu (mét), E_d là mô đun biến dạng của nền đường.

hợp là áp lực tĩnh (không rung), rung với tốc độ quay 2000 vòng/phút và rung với tốc độ quay 3000 vòng/phút. Nền đất được chọn là nền đường loại 2 với hệ số cứng và hệ số cản xác định được như Bảng 3.

Bảng 3. Thông số của nền đường loại 2

Kí hiệu	Loại đất	Trạng thái rời	Chặt vừa	Chặt
SP	Cát, cấp phối đồng đều.	$c = 10.10^6 \text{N/m}$	$c = 20.10^6 \text{N/m}$	$c = 29.10^6 \text{N/m}$
		$b = 35000 \text{Ns/m}$	$b = 55000 \text{Ns/m}$	$b = 70000 \text{Ns/m}$

Bảng 4. Kết quả tính toán ở hai tần số $f_1 = 33.33 \text{ Hz}$ (2000 vòng/phút) và $f_2 = 50 \text{ Hz}$ (3000 vòng/phút)

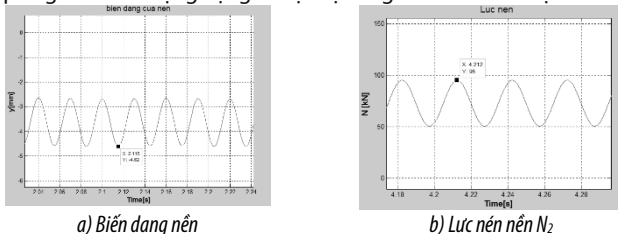
Đất loại 2	Biến dạng nền lớn nhất (mm)		Lực nén cực đại (kN)		Áp lực tĩnh (kN)	Lực ly tâm (kN)	
	Tần số f_1	Tần số f_2	Tần số f_1	Tần số f_2		Tần số f_1	Tần số f_2
Rời	8.21	8.196	84.30	86.48	57.82	274.1	537.3
Chặt vừa	4.62	4.58	95.0	97.38	57.82	274.1	537.3
Chặt	3.504	3.448	105.1	107.0	57.82	274.1	537.3

Trên Bảng 4 là kết quả tính toán biến dạng lớn nhất của nền và lực nén nền lớn nhất của bánh rung trong các trường hợp. Còn trên Hình 5 và Hình 6 là đáp ứng động lực học biến dạng của nền và lực nén nền của bánh rung tương ứng với tần số góc rung 2000 vòng/phút và 3000 vòng/phút.

Kết quả từ Bảng 4 cho thấy biến dạng nền và lực nén nền thay đổi rõ rệt theo trạng thái đất và tần số rung. Đối với đất loại 2 (cát cấp phối đồng đều), khi tăng tần số rung từ 2000 vòng/phút ($f_1 = 33.33 \text{ Hz}$) lên 3000 vòng/phút ($f_2 = 50 \text{ Hz}$), lực nén nền cực đại tăng từ 84,30 kN lên 86,48 kN cho nền rời, từ 95,0 kN lên 97,38 kN cho nền chặt vừa, và từ 105,1 kN lên 107,0 kN cho nền chặt. Đồng thời, biến dạng nền lớn nhất giảm nhẹ từ 8,21 mm xuống 8,196 mm (nền rời), từ 4,62 mm xuống 4,58 mm (nền chặt vừa), và từ 3,50 mm xuống 3,45 mm (nền chặt).

Các đồ thị ở Hình 5 và Hình 6 minh họa rõ quá trình này:

• **Hình 5** cho thấy ở trạng thái đất chặt vừa, biến dạng nền giảm nhanh theo thời gian trong cả hai trường hợp tần số 2000 và 3000 vòng/phút, trong khi lực nén nền dao động quanh giá trị cực đại ổn định, chứng tỏ nền đáp ứng tốt với tải trọng động và độ chặt tăng dần theo mỗi lượt lu.



Hình 5. Biến dạng và lực nén của nền chặt vừa ở tốc độ 2000 rpm

• **Hình 6** thể hiện xu hướng tương tự trên nền đất chặt vừa ở tần số 3000 vòng/phút, với lực nén cực đại cao hơn và dao động ổn định hơn so với trường hợp 2000 vòng/phút, cho thấy rung ở tần số cao hơn giúp tăng hiệu quả đầm nhưng chỉ cải thiện ở mức giới hạn khi nền đã chặt.

Từ các kết quả này có thể rút ra rằng:

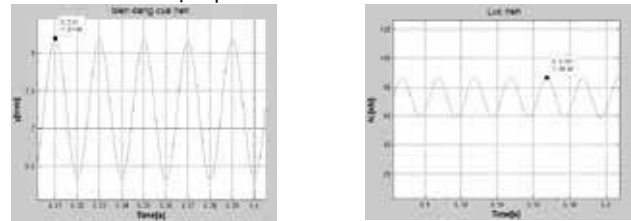
1. Biến dạng nền giảm dần khi đất trở nên chặt hơn, phản ánh quá trình tăng độ cứng nền qua các lượt lu.
2. Lực nén nền tăng theo tần số rung lệch tâm, nhưng mức tăng giảm dần khi đất chuyển từ trạng thái rời sang chặt, chứng minh rằng hiệu quả đầm giảm ở nền cứng hơn.
3. Kết hợp các dữ liệu này cho thấy ở giai đoạn đầu (nền rời) có thể sử dụng lu tĩnh hoặc tần số rung thấp để giảm rung truyền lên thân máy, sau đó tăng tần số rung khi nền đạt trạng thái chặt vừa để đạt lực nén tối ưu.

Như vậy, phân tích định lượng từ Bảng 4 và Hình 5-6 khẳng định tính hợp lý của chiến lược vận hành theo giai đoạn: lu tĩnh hoặc tần

Bảng 5. Ảnh hưởng của tải tĩnh đến biến dạng và lực nén nền

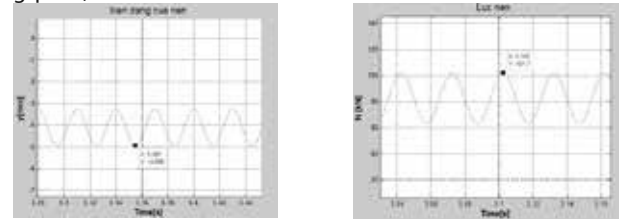
Đất loại 2	Biến dạng nền lớn nhất (mm)		Lực nén cực đại (kN)		Lực nén cực đại tăng thêm (kN)
	Không tăng	Có tăng	Không tăng	Có tăng	
Rời	8.21	9.056	84.30	92.5	8.2
Chặt vừa	4.634	4.958	95.0	101.7	6.7
Chặt	3.504	3.702	105.1	110.3	5.2

số thấp cho nền rời, sau đó tăng dần tần số rung ở các lượt lu sau nhằm tối ưu hóa hiệu quả đầm nền.



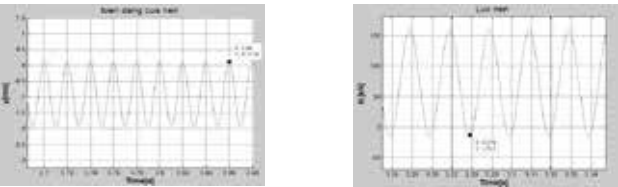
Hình 6. Biến dạng và lực nén của nền chặt vừa ở tốc độ 3000 vòng/phút

b) **Khảo sát thay đổi thông số trọng lượng tĩnh bánh lu** (bằng cách bơm nước vào bánh rung - là cách mà công nhân công trường hay thực hiện, khối lượng tăng thêm 1 tấn. Tính ở tần số $f_1 = 33.33$ (2000 vòng/phút).



Hình 7. Lực nén của nền cứng vừa ở tốc độ rung 2000 rpm khi tăng trọng lượng tĩnh 1 tấn

Dữ liệu trong Bảng 5 cho thấy khi tăng thêm 1 tấn tải trọng tĩnh cho bánh rung, lực nén nền cực đại tăng rõ rệt ở cả ba trạng thái đất. Cụ thể, trên nền đất rời, lực nén nền tăng từ 84,3 kN lên 92,5 kN (tăng thêm 8,2 kN); trên nền chặt vừa, tăng từ 95,0 kN lên 101,7 kN (tăng 6,7 kN); trong khi trên nền chặt, mức tăng chỉ còn 5,2 kN. Đồng thời, biến dạng nền cũng tăng nhẹ: từ 8,21 mm lên 9,06 mm đối với nền rời và từ 3,50 mm lên 3,70 mm đối với nền chặt. Các đồ thị ở Hình 7 minh họa rõ điều này: trên nền chặt vừa, đường lực nén của trường hợp tăng tải trọng tĩnh nằm cao hơn so với trường hợp ban đầu trong suốt chu kỳ rung, phản ánh sự gia tăng lực tác động lên nền. Tuy nhiên, khoảng cách giữa hai đường lực nén giảm khi đất trở nên chặt hơn, cho thấy hiệu quả bổ sung tải trọng tĩnh giảm dần khi độ cứng nền tăng. Như vậy, việc tăng tải trọng tĩnh có tác dụng đáng kể ở các lượt lu đầu tiên khi đất còn rời hoặc chặt vừa, nhưng hiệu quả này nhanh chóng giảm ở giai đoạn cuối khi nền đạt độ chặt yêu cầu. Kết quả này khẳng định rằng tăng tải trọng tĩnh chỉ nên áp dụng ở giai đoạn đầu, trong khi ở giai đoạn cuối cần ưu tiên điều chỉnh tần số rung thay vì tăng tải trọng.

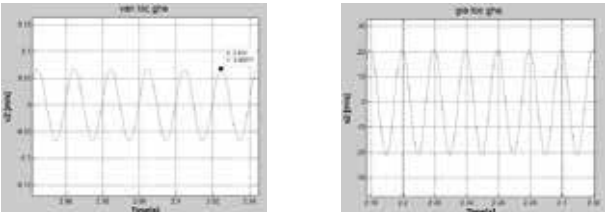


a) Biến dạng nền
b) Lực nén nền N_2
Hình 8. Lực nén và biến dạng của nền cứng vừa ở tốc độ rung 3000 rpm trên nền đất loại 1

c) Bây giờ để thử hiệu quả của lu rung trên nền đất loại 1, mức chặt vừa (là loại cát sỏi cấp phối cao, nền cứng), hệ số $c = 60$. 106N/m , $b = 85000\text{Ns/m}$. vận tốc rung 3000 rpm

c) Bây giờ để thử hiệu quả của lu rung trên nền đất loại 1. Trên Hình 8 là đáp ứng động lực học của lu rung trên nền đất loại 1, mức chặt

Đất loại 2	Lực nén cực đại (kN)		Biên độ dao động của ghế (mm)		Biên độ vận tốc dao động của ghế mm/s		Biên độ gia tốc dao động của ghế m/s^2	
	Tần số f_1	Tần số f_2	Tần số f_1	Tần số f_2	Tần số f_1	Tần số f_2	Tần số f_1	Tần số f_2
Rời	85.08	86.7	0.2	0.2	43.66	65.0	9.117	20.4
Chặt vừa	95.33	97.6	0.2	0.2	44.97	65.86	9.42	20.68
Chặt	105.4	107.3	0.2	0.2	46.44	66.75	9.72	20.94



a) Vận tốc ghế
b) Gia tốc ghế
Hình 9. Dao động của ghế lái ở nền cứng vừa, tốc độ rung 3000 rpm trên nền đất loại 1

Nhận xét 4: Kết quả từ Bảng 6 và Hình 9 cho thấy biên độ dao động ghế gần như không đổi (0,2 mm) ở cả hai tần số 2000 và 3000 rpm, tuy nhiên biên độ vận tốc và gia tốc ghế tăng mạnh khi tần số rung tăng. Cụ thể, gia tốc ghế tăng từ 9,1-9,7 m/s^2 ở 2000 rpm lên 20,4-20,9 m/s^2 ở 3000 rpm, vượt ngưỡng khuyến cáo của tiêu chuẩn ISO 2631 về rung động toàn thân. Hình 9 cũng minh họa rõ xu hướng này: vận tốc và gia tốc ghế tăng đột ngột ở tần số cao, đặc biệt trên nền đất cứng vừa, dù lực nén nền không tăng đáng kể. Điều này cho thấy tăng tần số rung chủ yếu làm gia tăng rung động truyền lên ghế mà không cải thiện đáng kể hiệu quả đầm. Do đó, để đảm bảo an toàn cho người vận hành, tần số rung cao chỉ nên sử dụng hạn chế, đồng thời cần cải tiến hệ thống giảm chấn ghế hoặc áp dụng chế độ lu hợp lý nhằm giảm tác động rung động lên người lái.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này nằm ở việc xây dựng một mô hình động lực học phi tuyến tích hợp cho lu rung, đồng thời xem xét tương tác lu-đất theo mô hình đàn hồi-nhớt và rung động ghế lái. Nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học định lượng để đánh giá hiệu quả đầm nén và ảnh hưởng rung động đến người vận hành, từ đó đề xuất chế độ vận hành tối ưu theo trạng thái đất. Kết quả này không chỉ bổ sung khoảng trống giữa các nghiên cứu trước đây mà còn có ý nghĩa thực tiễn, hỗ trợ cải tiến thiết kế máy lu và phát triển các thuật toán điều khiển thông minh nhằm nâng cao hiệu quả thi công và đảm bảo an toàn lao động. Các kết quả phân tích số đã làm sáng tỏ nhiều vấn đề quan trọng:

• Hiệu quả đầm nén phụ thuộc vào trạng thái đất và tần số rung: Biến dạng nền giảm khi đất chặt dần, trong khi lực nén nền tăng theo tần số rung nhưng mức tăng giảm dần trên nền cứng. Điều này gợi ý chiến lược vận hành theo giai đoạn: lu tĩnh hoặc rung nhẹ cho đất rời,

vừa (là loại cát sỏi cấp phối cao, nền cứng), hệ số $c = 60$. 10^6N/m , $b = 85000\text{Ns/m}$, vận tốc rung 3000 rpm.

Nhận xét 3: Từ liệu trong Hình 8 cho thấy trên nền đất loại 1 (cát sỏi cấp phối cao, nền cứng) ở trạng thái chặt vừa và tần số rung 3000 vòng/phút, lực nén nền xuất hiện có giá trị âm. Điều này chứng tỏ bánh rung tách khỏi bề mặt nền, biến dạng nền cực đại ghi nhận chỉ khoảng 0,18 mm, rất nhỏ so với các trạng thái nền rời hoặc chặt vừa. Điều này cho thấy hiệu quả đầm nén của Lu rung GHIBC100 không còn hiệu quả cho nền loại này. Cần thay thế lu rung có tải trọng lớn hơn mới có hiệu quả.

d) Khảo sát ảnh hưởng rung đến ghế lái: Tính toán thử nhất thực hiện trên nền đất loại 2. Thông số ghế được chọn là $c_2 = 7000\text{N/m}$, $b_2 = 20000\text{Ns/m}$. Kết quả tính toán ở hai tần số $f_1 = 33.33\text{Hz}$ (2000 rpm) và $f_2 = 50\text{Hz}$ (3000rpm).

tăng dần tần số ở giai đoạn đất chặt vừa, và giảm rung khi nền đạt độ cứng cao.

• Ảnh hưởng của tải trọng tĩnh: Việc tăng tải trọng tĩnh bằng bơm nước vào bánh rung giúp tăng lực nén nền ở đất rời và chặt vừa, nhưng hiệu quả này giảm rõ rệt khi đất đạt độ chặt cao. Điều này khẳng định tăng tải trọng tĩnh chỉ hữu ích ở giai đoạn đầu thi công.

• Giới hạn hiệu quả trên nền cứng: Trên nền đất cứng (loại 1), xuất hiện hiện tượng bánh rung tách khỏi mặt nền và biến dạng nền cực nhỏ ($\sim 0,18\text{mm}$), trong khi gia tốc ghế tăng mạnh. Điều này chứng tỏ việc tiếp tục rung trong điều kiện này không còn hiệu quả mà còn gây rung động bất lợi cho người lái.

• Rung động ghế và tác động đến người vận hành: Dữ liệu từ Bảng 6 và Hình 9 cho thấy gia tốc ghế tăng gấp đôi khi tăng tần số từ 2000 rpm lên 3000 rpm, vượt giới hạn ISO 2631, dù lực nén nền chỉ tăng nhẹ. Điều này nhấn mạnh yêu cầu kiểm soát tần số rung và cải tiến hệ thống giảm chấn ghế để bảo vệ sức khỏe người vận hành.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Trần Đức Hiếu (2022), *Máy và thiết bị thi công đất*, NXB Xây dựng.
[2]. Nguyễn Minh Kha, Lê Văn Dương & Trần Đức Thắng. (2025). Nghiên cứu rung động tác động lên người lái khi vận hành máy lu hai bánh rung. *Transport and Communications Science Journal*, 76(3), 282-293. <https://doi.org/10.47869/tcsj.76.3.7>
[3]. Đỗ Đăng Khoa và cộng sự. (2022). Khảo sát động lực học ngược của lu đầm rung. *Hội nghị Cơ học toàn quốc*.
[4]. Nguyễn Minh Kha và cộng sự (2025). Mô hình hóa và phân tích động lực học máy lu rung xét đến sự dịch chuyển của lớp đất bổ sung trong quá trình đầm. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội*, Tập 61 - Số 1, tr.99-104.
[5]. Dobrescu, C. (2020). The dynamic response of the vibrating compactor roller depending on viscoelastic soil. *Applied System Innovation*, 3(2), 25. <https://doi.org/10.3390/asi3020025>
[6]. Pistol, J., Hager, M., & Adam, D. (2024). An advanced ICMV for vibratory roller compaction. *Acta Geotechnica*, 20, 501–517. <https://doi.org/10.1007/s11440-024-02342-8>
[7]. Adam, D., & Pistol, J. (2018). Fundamentals of roller integrated compaction control for oscillatory rollers. *Transportation Geotechnics*, 17, 82–96. <https://doi.org/10.1016/j.trge.2018.09.010>
[8]. Mooney, M. A. (2005). Instrumentation of a roller compactor to monitor vibration behavior. *ISARC 2005*.a
[9]. Nguyễn Sỹ Nam và cộng sự (2021). *Cơ học cơ sở - Động lực học*. NXB Khoa học và Kỹ thuật Hà Nội.
[10]. Nguyễn Văn Khang (2020). *Động lực học hệ nhiều vật*. NXB KH&KT.
[11]. Duc Hieu Tran, Sy Nam Nguyen, Cuong Xuan Nguyen (2024). Modeling and Investigating the Dynamics of Hydraulic Telescopic Truck Cranes. *Advances in Science and Technology Research Journal* 2024, 18(5), 125-138.
[12]. Phan Hồng Quân. (2006). *Giáo trình cơ học đất* - Phan Hồng Quân. NXB Xây dựng. Động lực học máy xây dựng.

Thiết kế cải tiến thiết bị đo sóng cắt dạng nĩa tại hiện trường

Development of fork-type blade for in-situ shear wave measurement

> TS HOÀNG NGỌC QUÝ¹, TS NGUYỄN THẾ BẢO², TS TRẦN MINH KHOA¹, TS TRƯƠNG QUANG HÙNG^{3,*}

¹GV Khoa Xây dựng, Trường Đại học Công nghệ TP.HCM; Email: hn.quy@hutech.edu.vn, tm.khoa@hutech.edu.vn

²GV Viện Đào tạo Kiến trúc, Xây dựng và Giao thông, Trường Đại học Thủ Dầu Một; Email: baont1@tdmu.edu.vn

³GV Khoa Xây dựng, Trường Công nghệ Văn Lang, Trường Đại học Văn Lang; *Email: hung.tq@vlu.edu.vn

TÓM TẮT

Ứng dụng đầu dò uốn (Bender Element - BE) phục vụ đo vận tốc sóng cắt (V_s), nhằm xác định mô đun kháng cắt lớn nhất (G_{max}) của đất nền, trong phòng thí nghiệm và hiện trường. G_{max} là thông số cơ bản phản ánh độ cứng của đất ở biến dạng rất nhỏ, đóng vai trò quan trọng trong phân tích động lực học nền móng, đánh giá nguy cơ hóa lỏng và thiết kế kết cấu chịu tải trọng lặp lại. Tuy nhiên, đối với khảo sát hiện trường, ứng dụng đầu dò uốn tại hiện trường còn hạn chế, chủ yếu trên đất sét yếu, do nguy cơ hư hỏng đầu dò khi xuyên qua lớp đất cứng. Thiết kế đề xuất cải tiến cho phép các nĩa chứa đầu dò uốn được bảo vệ bên trong lưỡi xuyên trong suốt quá trình ép xuống; khi đạt độ sâu khảo sát, nĩa có tích hợp các đầu dò uốn được đẩy ra để phát - thu sóng cắt và rút lại trước khi di chuyển tiếp. Cấu trúc thiết bị gồm hai mảnh ghép, trục trung tâm điều khiển chuyển động nĩa, và đầu dò uốn cấu hình song song cho khả năng hoán đổi vai trò phát - thu. Kích thước đầu dò được tối ưu theo môi trường đất, đồng thời áp dụng lớp chắn Faraday nhằm giảm nhiễu xuyên âm. Hệ thống đo bao gồm máy phát sóng, bộ lọc - khuếch đại và máy hiện sóng số, kết hợp các phương pháp xử lý tín hiệu như phân tích tương quan chéo, phân tích trên miền tần số và thủ công để nhận diện chính xác sóng cắt. Thiết bị được thiết kế hiệu chuẩn trong phòng thí nghiệm với mẫu đất đầm chặt ở các mức khác nhau, so sánh kết quả với hệ đầu dò lắp đặt sẵn trong buồng nén cố định làm chuẩn. Thiết kế cải tiến này có thể góp phần nâng cao hiệu quả khảo sát sóng cắt trực tiếp tại hiện trường.

Từ khóa: Đầu dò uốn (bender element), sóng cắt, thí nghiệm không phá hủy, khảo sát hiện trường, thiết bị đo sóng dạng nĩa.

ABSTRACT

The application of Bender Elements (BE) for measuring shear wave velocity (V_s) to determine the small-strain shear modulus (G_{max}) of soils is widely employed in both laboratory and in situ testing. G_{max} is a fundamental parameter representing soil stiffness at small strains and plays a critical role in geotechnical dynamic analyses, liquefaction potential assessment, and the design of foundations subjected to cyclic loading. However, in field investigations, the use of BE remains largely limited to soft clay deposits due to the risk of sensor damage when penetrating stiff soil layers. This study proposes an improved fork-type penetration device in which the prongs housing the BE sensors are fully retracted inside the penetration tip during insertion. Once the target depth is reached, the prongs integrated bender elements are deployed for wave generation and reception, then retracted before advancing further. The device comprises two main body segments, a central screw shaft controlling prong movement, and parallel-type BE sensors enabling interchangeable transmitter-receiver functions. Sensor dimensions are optimized for specific soil conditions, and a Faraday shielding layer is applied to minimize crosstalk interference. The measurement system consists of a function generator, signal conditioning and amplification unit, and a digital oscilloscope, combined with signal processing techniques such as cross-correlation, frequency-domain analysis, and manual picking to accurately identify shear wave first arrivals. The system is calibrated in a laboratory chamber with compacted soil specimens of varying densities, using fixed BE sensors as reference standards. The improved design is expected to enhance the reliability and applicability of direct in situ shear wave measurements across a wider range of soil conditions.

Keywords: bender element, shear wave, non-destructive testing, field test, fork-type blade probe.

1. GIỚI THIỆU CHUNG

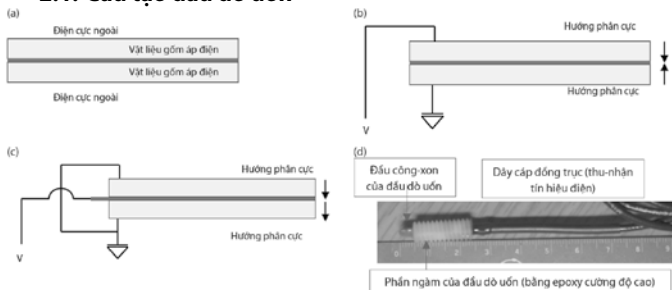
Mô đun kháng cắt lớn nhất $G_{\max}$ hoặc G_0 là một thông số cơ bản trong cơ học đất, biểu thị độ cứng của vật liệu đất trong vùng ứng xử đàn hồi tuyến tính tại mức biến dạng rất nhỏ. Giá trị này được áp dụng cho các mức biến dạng nhỏ hơn khoảng 0,0001%, khi đó đất chưa trải qua bất kỳ sự phân bố lại ứng suất đáng kể nào và vẫn duy trì tính đàn hồi hoàn toàn [1], [2]. $G_{\max}$ đóng vai trò quan trọng trong nhiều ứng dụng địa kỹ thuật, đặc biệt trong các phân tích động lực học đất nền và công trình. $G_{\max}$ là thông số đầu vào thiết yếu cho các mô hình mô phỏng động đất, thiết kế móng chịu tải trọng lặp lại (như tải trọng giao thông dưới nền đường cao tốc đường sắt thường và đường sắt tốc độ cao) [3], đánh giá nguy cơ hóa lỏng đất, và theo dõi sự thay đổi các đặc tính cơ học của đất qua thời gian trong các dự án cải tạo nền đất yếu [4]. Ngoài ra, $G_{\max}$ cũng được sử dụng để hiệu chỉnh các mô hình phi tuyến nhằm mô tả ứng xử đất ở biên độ biến dạng lớn hơn [5].

Giá trị $G_{\max}$ có thể được xác định thông qua vận tốc sóng cắt (V_s) và khối lượng thể tích của vật liệu (ρ), theo biểu thức: $G_{\max} = \rho \times V_s^2$. Vận tốc sóng cắt thường được đo bằng các phương pháp địa vật lý hoặc thí nghiệm trong phòng như thí nghiệm cột cộng hưởng (resonant column test) hoặc thiết bị đầu dò uốn (bender elements). Nhờ tính khả thi trong đo đạc và ý nghĩa thực tiễn cao, $G_{\max}$ hiện là một trong những chỉ tiêu cơ học quan trọng nhất trong phân tích động của nền đất.

Việc sử dụng đầu dò uốn đo sóng cắt trực tiếp tại hiện trường được Yoon và đồng nghiệp, (2008) [6] tiến hành thông qua thiết kế dạng nĩa (FVP); trong đó, các đầu dò uốn (Bender Element - BE) được tích hợp tại đầu các nĩa làm bộ nguồn phát và bộ thu sóng. Thiết kế dạng nĩa này được tiến hành thí nghiệm khảo sát đất tại hiện trường [7], [8], [9], [10]. Tuy nhiên, với thiết kế dạng nĩa với các đầu nĩa cố định, việc đo sóng thực hiện tại hiện trường chủ yếu xác định vận tốc sóng đàn hồi cho nền đất sét yếu. Một trong các lý do chủ yếu khiến việc sử dụng thiết kế dạng nĩa này là do khi xuyên thiết bị vào vùng đất cứng khả năng đầu dò uốn bị hư do đầu dò uốn khá mảnh (dày 0,5 mm ~ 1,0 mm, dài 5 mm ~ 7 mm). Do đó, nhằm cải thiện khả năng ứng dụng thiết bị này vào đo sóng cắt trực tiếp trên các loại đất khác nhau, nghiên cứu này trình bày một thiết kế cải tiến thiết bị đo sóng dạng nĩa. Theo đó, thiết bị được ấn xuống tại vị trí đo thiết kế với các nĩa được nằm ẩn trong thiết bị, và các nĩa chứa đầu dò chỉ được đẩy ra để đo sóng cắt tại các độ sâu thiết kế, và sau đó rút vào để đảm bảo đầu dò không bị hỏng trong quá trình ép xuống.

2. ĐẦU DÒ UỐN VÀ HỆ THỐNG THIẾT BỊ ĐIỆN TỬ

2.1. Cấu tạo đầu dò uốn



Hình 1. Đầu dò uốn (BE). (a). Sơ đồ nguyên lý của đầu dò uốn; (b). Loại nối tiếp; (c). Loại song; (d). Đầu dò uốn cố định trong bulông nylon, được sử dụng trong các thí nghiệm mô hình trong phòng thí nghiệm

Đầu dò uốn (BE) là một loại cảm biến áp điện (piezoelectric transducer) được ứng dụng rộng rãi trong các thí nghiệm địa kỹ thuật nhằm đo đạc và phân tích đặc tính lan truyền sóng cắt trong đất và vật liệu hạt rời. Về nguyên lý hoạt động, phần tử áp điện trong

BE có khả năng chuyển đổi năng lượng điện thành năng lượng cơ học và ngược lại thông qua hiệu ứng áp điện thuận và nghịch. Khi một hiệu điện thế được cấp vào, phần tử áp điện sẽ biến dạng đàn hồi với biên độ tỷ lệ thuận với giá trị điện áp đầu vào. Ngược lại, khi các phần tử này bị biến dạng do tác động cơ học từ môi trường, chúng sẽ phát sinh một hiệu điện thế nhỏ, tín hiệu này có thể được thu nhận và phân tích thông qua các thiết bị đo điện chuyên dụng, chẳng hạn như bộ thu tín hiệu dao động (oscilloscope) hoặc hệ thống thu thập dữ liệu (DAQ) [11], [12], [13].

Về mặt cấu tạo, đầu dò uốn là một bộ chuyển đổi áp điện hai lớp, gồm hai điện cực dẫn điện ở bề mặt ngoài, hai tấm gốm áp điện đặt đối xứng, và một lớp kim loại dẫn điện trung gian đóng vai trò làm bản nối giữa hai tấm gốm (Hình 1) [2], [14]. Các điện cực ngoài thường được chế tạo từ vật liệu có độ dẫn điện cao và khả năng bám dính tốt, ví dụ như niken hoặc bạc phủ mỏng. Sự kết hợp giữa cấu trúc cơ học và đặc tính vật liệu giúp BE đạt độ nhạy cao trong việc phát và thu sóng cắt ở dải tần số thích hợp cho nghiên cứu địa kỹ thuật [15].

Trên thực tế, có hai dạng cấu hình BE phổ biến: loại nối tiếp và loại song song [14], [16], [17]. Trong thí nghiệm trong phòng, nơi điều kiện môi trường và khả năng kiểm soát thiết bị tốt hơn, BE loại song song thường được lựa chọn làm nguồn phát sóng, còn BE loại nối tiếp đóng vai trò bộ thu sóng. Sự phân công này nhằm tối ưu hóa tín hiệu thu nhận và giảm nhiễu. Tuy nhiên, trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đề xuất sử dụng cùng một loại BE song song cho cả hai chức năng phát và thu trong khảo sát hiện trường. Giải pháp này mang lại hai lợi ích chính:

- Tính hoàn hảo chức năng giữa đầu dò phát và đầu dò thu, giúp việc bố trí thí nghiệm linh hoạt hơn;
- Khả năng kiểm tra chéo tín hiệu trong quá trình đo, từ đó kịp thời phát hiện suy giảm hiệu suất phát hoặc thu sóng do hư hỏng nhẹ trong môi trường thực địa.

Việc áp dụng chiến lược này không chỉ góp phần nâng cao độ tin cậy của dữ liệu sóng cắt thu được mà còn giúp giảm thiểu rủi ro mất tín hiệu hoặc sai lệch kết quả do thiết bị gặp sự cố trong quá trình vận hành ngoài hiện trường, nơi các yếu tố môi trường như độ ẩm, nhiệt độ và rung động cơ học có thể gây ảnh hưởng đáng kể đến độ ổn định của BE.

2.2. Hệ thống thiết bị điện tử sử dụng cho đầu dò uốn

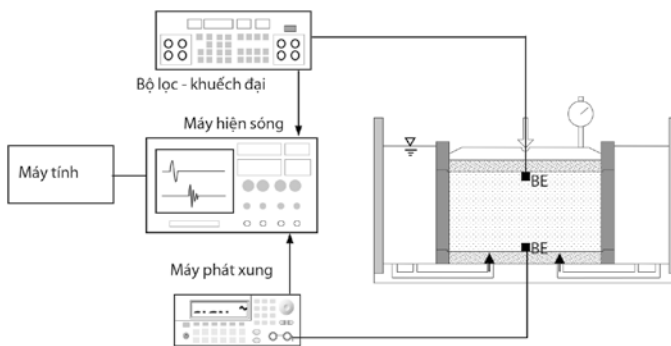
Trong các thí nghiệm xác định vận tốc sóng cắt bằng phương pháp phần tử uốn (Bender Element - BE), hệ thống thiết bị điện tử ngoại vi đóng vai trò quyết định trong việc tạo sóng kích thích và thu nhận, xử lý tín hiệu truyền qua mẫu đất. Chức năng của hệ thống bao gồm: (i) phát tín hiệu điện có dạng và tần số phù hợp để kích hoạt BE nguồn; (ii) xử lý và ghi nhận tín hiệu điện từ BE thu sau khi sóng truyền qua mẫu.

Một cấu hình tiêu chuẩn thường bao gồm ba thành phần chính:

- Máy phát xung hoặc máy phát sóng đo lường (function generator) - cung cấp tín hiệu điện điều khiển, xác định tần số, biên độ và dạng sóng để kích hoạt BE nguồn.
- Bộ lọc và xử lý tín hiệu (signal conditioning unit) - lọc bỏ nhiễu ngoài dải quan tâm, đồng thời khuếch đại tín hiệu điện áp nhỏ từ BE thu.
- Máy hiện sóng số (digital oscilloscope) - ghi nhận, hiển thị và lưu trữ tín hiệu, cho phép phân tích đặc trưng dạng sóng và thời gian truyền sóng cắt.

Ví dụ hệ thống thiết bị điện tử sử dụng cho đầu dò uốn trong thí nghiệm nền móng thực không nở hông được bố trí như minh họa ở Hình 2. Sóng cắt được tạo bởi đầu dò uốn nguồn, lan truyền qua mẫu đất, và được đầu dò uốn nhận thu ghi nhận dưới dạng biến dạng cơ học. Biến dạng này sinh ra điện áp nhỏ, sau đó được lọc và khuếch đại trước khi đưa tới máy hiện sóng để phân tích.

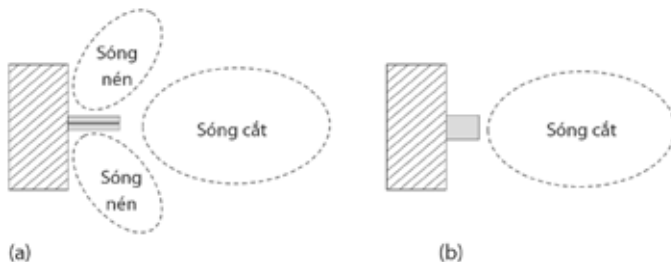
Khi triển khai ngoài hiện trường, cấu hình tương tự có thể áp dụng. Tuy nhiên, do tín hiệu thường suy giảm mạnh bởi đặc tính không đồng nhất của đất và ảnh hưởng nhiễu môi trường, hệ thống cần bổ sung bộ khuếch đại công suất để tăng cường biên độ tín hiệu kích thích từ BE nguồn, đảm bảo sóng tới BE thu có cường độ đủ lớn cho phân tích chính xác. Một hệ thống tiêu biểu cho ứng dụng hiện trường bao gồm: (i) máy phát sóng Agilent 33220A phát tín hiệu điện kích hoạt BE nguồn; (ii) bộ lọc - khuếch đại Krohn-Hite 3364 để xử lý tín hiệu từ BE thu; (iii) máy hiện sóng Agilent 54624A để số hóa và lưu trữ dữ liệu. Trong quá trình thu nhận, tín hiệu được trung bình hóa tối thiểu 1.024 lần nhằm giảm nhiễu ngẫu nhiên và cải thiện tỷ số tín hiệu-nhiều (SNR), từ đó nâng cao độ tin cậy trong xác định thời điểm đến của sóng cắt. Cấu hình và quy trình này đảm bảo tính đồng bộ giữa các thiết bị, hạn chế tổn thất tín hiệu, đồng thời đáp ứng yêu cầu về độ chính xác cao trong cả điều kiện phòng thí nghiệm và ngoài hiện trường.



Hình 2. Hệ thống thiết bị điện tử điển hình sử dụng trong phòng thí nghiệm dùng BE- Ví dụ áp dụng đo sóng ngang trong thí nghiệm nén 1 trục không nở hông

2.3. Vận tốc sóng cắt

Trong các thí nghiệm địa kỹ thuật sử dụng đầu dò uốn, một đầu của phần tử áp điện sẽ được nối cứng và cố định chắc chắn vào bộ khung thiết bị thí nghiệm, nhằm đảm bảo giữ nguyên phương hướng và tránh mọi chuyển động không mong muốn. Đầu còn lại của phần tử này được để tự do dao động, hoạt động tương tự như một dầm công-xon về mặt cơ học. Khi điện áp một chiều hoặc tín hiệu kích thích được điều khiển (ví dụ: xung hình sin, xung vuông hoặc dạng sóng khác) được cấp vào đầu dò uốn phát, cơ chế áp điện sẽ chuyển đổi tín hiệu điện này thành biến dạng cơ học của đầu dò. Sự biến dạng đó tạo ra dao động tại đầu tự do của đầu dò phát, từ đó gây chuyển động cục bộ của đất trong môi trường đất xung quanh. Hình 3. thể hiện đầu dò uốn được đặt nằm ngang, và sẽ tạo ra sóng cắt khi được cấp điện tại vùng phía trước đầu dò, trong khi sóng nén sẽ tạo ra bên trên và bên dưới đầu dò.



Hình 3. Đầu dò uốn nằm ngang, tạo sóng cắt và sóng nén khi được cấp điện áp; (a). Hình chiếu đứng; (b). Hình chiếu bằng

Dao động cục bộ này sẽ lan truyền qua khung đất dưới dạng sóng cắt (S-wave), di chuyển đến đầu dò uốn thu. Sau một khoảng thời gian truyền sóng nhất định, ký hiệu là t_s , sóng cắt đến vị trí đầu dò uốn thu và gây ra biến dạng cơ học tại đầu tự do của phần tử thu. Đầu dò uốn

thu sau đó sẽ chuyển đổi chuyển động cơ học này trở lại thành tín hiệu điện thông qua hiệu ứng áp điện ngược. Tín hiệu này được ghi nhận bằng máy hiện sóng hoặc hệ thống thu nhận dữ liệu tương đương. Bằng cách đồng bộ hóa và so sánh tín hiệu điện từ bộ phát và bộ thu, thời gian truyền sóng t_s được xác định một cách chính xác. Khi đã biết khoảng cách giữa hai đầu tự do của BE phát và BE thu, ký hiệu là L_{tip_tip} , vận tốc sóng cắt V_s có thể được tính theo công thức:

$$V_s = L_{tip_tip} / t_s$$

Việc xác định chính xác V_s có ý nghĩa then chốt trong đánh giá mô đun biến dạng nhỏ G_{max} và các đặc trưng động lực học của đất.

2.4. Xác định điểm đến đầu tiên

Đối với các phép đo sử dụng cảm biến uốn (Bender Element - BE) nhằm xác định vận tốc lan truyền của sóng cắt (V_s) trong vật liệu đất, việc nhận diện chính xác thời điểm đến đầu tiên của sóng cắt vẫn là một vấn đề kỹ thuật phức tạp và gây nhiều tranh luận. Thách thức này càng trở nên rõ rệt trong vùng trường gần, nơi tín hiệu đo thường chịu ảnh hưởng mạnh từ hiện tượng nhiễu xuyên âm, hiệu ứng trường gần, và các hiệu ứng sóng khung. Những yếu tố này có thể làm biến dạng dạng sóng thu được, gây khó khăn cho việc phân biệt rõ ràng giữa nhiễu và tín hiệu thực của sóng cắt [15], [18], [19], [20], [21]. Hình 4a minh họa một dạng sóng cắt điển hình thu được trong vùng trường gần, trong đó có thể xác định một số điểm đặc trưng phục vụ cho việc ước lượng thời điểm đến đầu tiên. Cụ thể: (A) - vị trí bắt đầu xuất hiện độ lệch khỏi đường cơ sở, phản ánh thời điểm nhiễu hoặc tín hiệu yếu mới bắt đầu ghi nhận; (B) - đỉnh cực đại của gợn sóng đầu tiên, thường liên quan đến dao động sơ cấp; (C) - điểm tín hiệu trở về giá trị 0 sau gợn sóng đầu tiên; và (D) - đỉnh sóng chính đầu tiên có biên độ lớn, đại diện cho năng lượng chính của sóng cắt. Việc lựa chọn điểm nào trong các vị trí trên làm mốc xác định thời gian đến phụ thuộc đáng kể vào phương pháp luận của từng nghiên cứu, và hiện nay vẫn chưa có sự thống nhất tuyệt đối. Nhiều công trình đã đề xuất các tiêu chí khác nhau nhằm giảm thiểu sai số, song mức độ phù hợp còn phụ thuộc vào loại đất, điều kiện biên và đặc trưng tín hiệu [22].

Ngoài phương pháp xác định thủ công dựa trên quan sát dạng sóng trong miền thời gian, các kỹ thuật xử lý tín hiệu hiện đại cũng được áp dụng nhằm hạn chế các bất định nói trên. Một số phương pháp phổ biến gồm: việc lựa chọn phương pháp nào sẽ phụ thuộc vào hình thái tín hiệu sóng cắt thu được, chất lượng dữ liệu, cũng như mục tiêu của thí nghiệm.

- **Phân tích tương quan chéo (Cross-Correlation):** Xác định độ trễ thời gian dựa vào mức tương quan cực đại giữa tín hiệu phát và thu. [12], [23], [24], [25], [26], [27].

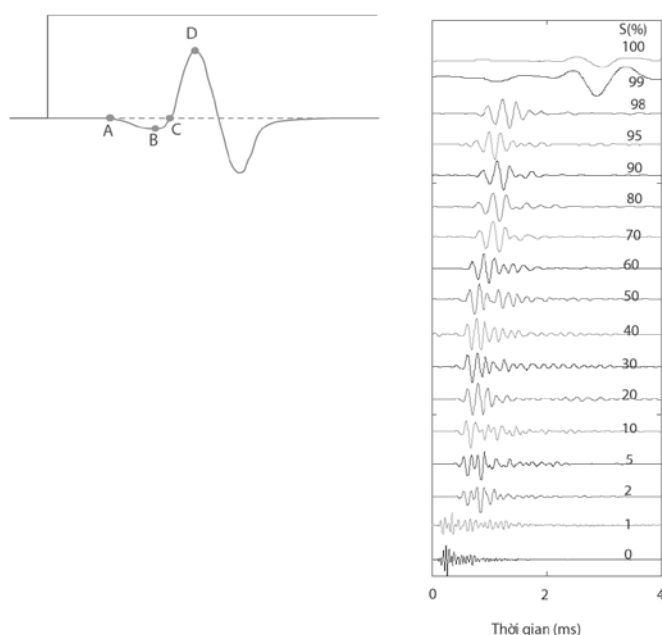
- **Phân tích theo miền tần số (Frequency Domain Analysis):** Sử dụng các đặc trưng tần số để nhận diện sự khác biệt pha giữa các tín hiệu ở các dải tần đặc trưng. [27], [28], [29], [30].

- **Phương pháp S+P (so sánh tín hiệu S-wave và P-wave ở tần số cao):** Đề xuất một cách tiếp cận khác quan hơn bằng cách dựa vào tính trùng thời điểm và sự trái pha giữa các thành phần sóng S và P nhận được; đã được chứng minh có độ chính xác và tin cậy cao, đặc biệt so với phương pháp "π-point" và cross-correlation [31].

- **Tiêu chí dựa trên Akaike Information Criterion (AIC):** Một nghiên cứu gần đây năm 2024 đã thử áp dụng AIC làm chuẩn để chọn thời điểm đến sóng một cách khách quan hơn [32].

Bên cạnh đó có những đề xuất mới về nguồn gốc khó khăn trong việc xác định vận tốc sóng cắt từ các yếu tố chính gây sai số trong các bước chuẩn bị mẫu, vận hành thử nghiệm và giải thích kết quả trong BE tests, từ đó đưa ra các khuyến nghị thiết thực nhằm giảm thiểu sai lệch khi xác định thời điểm đến đầu tiên [33]. Việc lựa chọn phương pháp nào sẽ phụ thuộc vào hình thái tín hiệu sóng cắt thu được, chất lượng dữ liệu, cũng như mục tiêu của thí nghiệm.

Hình 4b trình bày sự biến đổi dạng sóng cắt ghi nhận được trong một thí nghiệm về quá trình xi măng hóa tự nhiên trên mẫu hạt chịu nén không nở hông [34]. Trong suốt quá trình này, sự dịch chuyển của các gợn sóng về phía mốc thời gian 0 - tức thời điểm bắt đầu phát xung - phản ánh sự gia tăng độ cứng động của vật liệu khi cấu trúc hạt trở nên liên kết chặt chẽ hơn. Đáng chú ý, ở giai đoạn cuối khi quá trình xi măng hóa hoàn tất, phổ tần của sóng cắt cho thấy sự thay đổi đáng kể, biểu hiện ở dịch chuyển năng lượng về phía các tần số cao hơn. Hiện tượng này là minh chứng rõ rệt cho sự biến đổi trong cấu trúc vi mô của mẫu, khi các liên kết khoáng hóa mới hình thành làm tăng đáng kể khả năng truyền sóng cắt qua môi trường hạt rời.



Hình 4. Tín hiệu sóng cắt điển hình. (a). Tín hiệu sóng cắt điển hình trong vùng trường gần; (b). Tín hiệu sóng cắt điển hình của một thí nghiệm nén không nở hông trong phòng cho mẫu đất chịu hiện tượng xi măng hóa tự nhiên [34].

2.5. Giảm thiểu hiện tượng nhiễu xuyên âm

Hiện tượng nhiễu xuyên âm xảy ra khi tín hiệu phát ra từ đầu dò uốn nguồn gây ra nhiễu điện từ ở đầu dò uốn thu. Nguyên nhân chính là hiện tượng ghép điện từ giữa hai phần tử, khiến tín hiệu nhiễu (gồm tần số hoặc phổ tương đương) xuất hiện gần như đồng thời với tín hiệu cơ học đầu vào.

Kết quả, tín hiệu sóng cắt thu tại đầu dò nhận bị lẫn với thành phần nhiễu điện từ, dẫn tới sai lệch trong việc xác định đặc tính sóng (như vận tốc, biên độ, thời gian đến). Tình trạng này đặc biệt dễ gặp khi khảo sát ở môi trường như đất sét, khu vực có lớp trầm tích dưới đáy biển hoặc trong các môi trường chứa nhiều ion tự do, do độ dẫn điện của môi trường làm tăng hiệu ứng ghép điện từ.

Để giảm thiểu hoặc loại bỏ hiện tượng crosstalk, kỹ thuật thường dùng là phủ một lớp sơn dẫn điện trên bề mặt bên ngoài của lớp polyurethane chống thấm vón bao quanh đầu dò. Lớp sơn dẫn điện này thực chất hoạt động như một tấm chắn Faraday giúp chặn sóng và trường điện từ từ nguồn phát truyền đến đầu dò thu, giảm thiểu năng lượng nhiễu truyền trực tiếp qua không gian, và sau đó được nối đất để xả các dòng tĩnh điện hoặc nhiễu còn sót lại xuống đất. Cách làm này giúp đảm bảo tín hiệu thu được tại đầu dò thu phản ánh đúng sóng cơ học, không bị nhiễu các thành phần điện từ không mong muốn [14].

3. THIẾT KẾ CẢI TIẾN CHO THIẾT BỊ DẠNG NĨA ĐO SÓNG CẮT TẠI HIỆN TRƯỜNG

3.1. Thiết kế cải tiến đề xuất

Thiết bị xuyên dạng nĩa có các đầu dò uốn tích hợp bên trong nĩa được đề xuất cải tiến như Hình 5, với các chi tiết cụ thể của thiết kế thể hiện trên Hình 6:

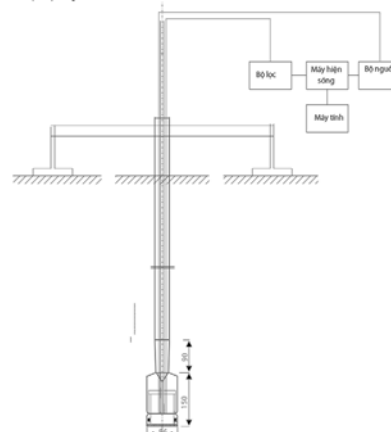
- Nĩa tích hợp đầu dò sẽ nằm bên trong lưỡi xuyên, trong quá trình ép thiết bị đến vị trí cần khảo sát. Việc này đảm bảo (1). Nĩa sẽ không bị hư hỏng khi xuyên qua 1 lớp đất cứng (2). đầu dò uốn sẽ được bảo vệ trong suốt quá trình xuyên của thiết bị, và chỉ được đẩy ra đo tại độ sâu thiết kế.

- Thiết bị xuyên được cấu tạo từ 2 mảnh, gắn với nhau bằng hệ đỉnh ốc. Giữa 2 mảnh của thiết bị xuyên, rỗng, tạo không gian đặt hệ nĩa có đầu dò ở giữa. Thiết kế nhằm đảm bảo việc lắp đặt đầu dò uốn, bảo trì và thay thế đầu dò uốn khi cần thiết.

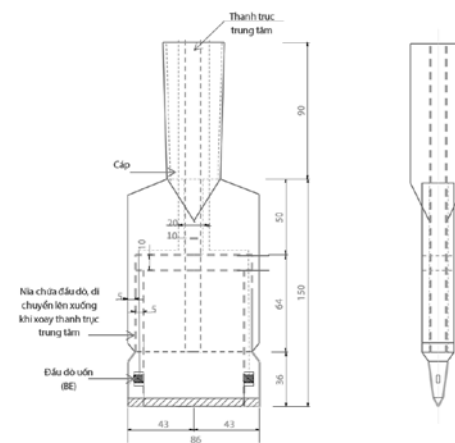
- Thanh trục trung tâm có đường kính 10mm, có hệ ren gắn với khung của nĩa. Khi xoay trục trung tâm, hệ nĩa sẽ được đẩy ra hay rút vào trong quá trình khảo sát hiện trường.

- Các đầu dò uốn được thiết kế nằm gọn trong các khe thiết kế sẵn đặt tại nĩa. Một phần đầu dò, phần có dây cáp đồng trục -nhằm cấp điện cho đầu dò, được chèn và phủ bằng epoxy, nhằm giúp đầu dò uốn hoạt động một cấu hình dạng công-xon.

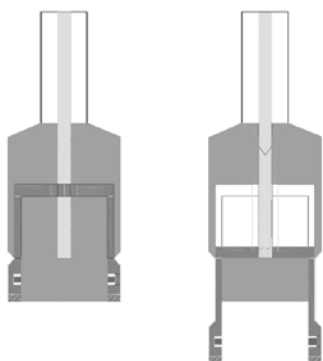
Hình 7 cho thấy hình dạng của thiết kế cải tiến thiết bị đo sóng cắt trực tiếp dạng nĩa với 2 trạng thái: (a). Khi thiết bị xuyên được ấn xuống, với các nĩa nằm bên trong thiết bị, bảo vệ tốt các đầu dò; (b). Khi thiết bị dừng lại tại vị trí cần đo, các nĩa tích hợp các đầu dò được đẩy ra để đo trực tiếp sóng cắt.



Hình 5. Thiết kế cải tiến thiết bị nĩa đo sóng cắt tại hiện trường



Hình 6. Thiết kế cải tiến thiết bị xuyên dạng nĩa tích hợp đầu dò uốn



Hình 7. Trạng thái thiết bị nĩa khi: (a). Xuyên, nĩa tích hợp đầu dò nằm trong lưỡi xuyên; (b). Khi nĩa được đẩy ra do sóng cắt

3.2. Kích thước đầu dò uốn

Đầu dò uốn trong thiết kế này được đề xuất chế tạo từ vật liệu áp điện hai lớp theo cấu trúc song song, cụ thể là loại Piezo system T220-H4BR-1305YE, với bề dày mỗi lớp khoảng 0,51 mm.

Kích thước đầu dò uốn trong các điều kiện thí nghiệm khác nhau

Kích thước đầu dò uốn có thể thay đổi đáng kể tùy theo yêu cầu thí nghiệm, bao gồm kích thước mẫu đất, khoảng cách giữa các đầu dò phát và thu, điều kiện biên và áp lực tác động. Trong các thí nghiệm trong phòng, khi khoảng cách giữa đầu phát và đầu thu dao động từ 15 mm đến 300 mm, kích thước đầu dò uốn được lựa chọn phổ biến có bề rộng từ 3 mm đến 10 mm, và chiều dài từ 3 mm đến 12 mm.

Trong các ứng dụng hiện trường, đầu dò uốn cần có kích thước lớn hơn nhằm đảm bảo độ cứng và độ bền khi làm việc trong môi trường đất tự nhiên. Theo đó, chiều dài có thể mở rộng đến 30 mm, với các bề rộng phù hợp để duy trì độ ổn định cấu trúc. Việc chế tạo đầu dò uốn với nhiều kích thước khác nhau cho phép lựa chọn cấu hình tối ưu, vừa đảm bảo khả năng truyền và thu nhận sóng hiệu quả, vừa giảm thiểu ảnh hưởng của đầu dò lên cấu trúc đất.

Cấu hình lắp đặt đầu dò uốn trong thiết bị thí nghiệm

Trong thiết kế để xuất cho thiết bị thí nghiệm, đầu dò uốn được lắp đặt trong khuôn (Hình 6), với phần nối dây được cố định bằng keo epoxy cường độ cao nhằm đảm bảo tiếp xúc tốt và giảm rung động không mong muốn. Phần công-xon của đầu dò - tức phần nhô ra và trực tiếp tạo hoặc thu sóng - có chiều dài từ 3 mm đến 5 mm. Cấu hình này tương đương với một dầm công-xon, trong đó một đầu được ngàm chặt trong khuôn và đầu còn lại tự do dao động. Khi đầu dò được gắn vào trong mẫu đất trong phòng hoặc trong nền đất tự nhiên, bước sóng của sóng cắt được tạo ra dao động từ 2 đến 4 lần chiều dài phần công-xon. Do đó, với chiều dài công-xon 5 mm, bước sóng tương ứng dao động trong khoảng từ 10 mm đến 20 mm. Đây là dải bước sóng phù hợp để mô phỏng hành vi sóng trong môi trường hạt rời có kích thước nhỏ đến trung bình.

Tăng cường độ chính xác bằng cấu hình chống nhiễu sóng khung

Để tăng độ chính xác của tín hiệu và giảm nhiễu sóng từ khung thiết bị, đầu dò uốn có thể được tích hợp vào các chốt định vị bằng bu lông nylon, sau đó cố định các chốt này vào khuôn. Cách bố trí này giúp duy trì vị trí chính xác của đầu dò trong suốt quá trình thí nghiệm và hạn chế ảnh hưởng từ các rung động ngoài mong muốn hoặc sóng phản xạ từ thiết bị.

Tối ưu hóa chiều dài đầu dò theo đặc tính vật liệu nền

Theo nguyên lý cơ học sóng, bước sóng của sóng cắt sẽ tăng khi chiều dài phần công-xon của đầu dò BE tăng. Tuy nhiên, để đảm bảo kết quả đo không bị ảnh hưởng bởi hiệu ứng lọc thông thấp nội tại trong môi trường đất hạt, bước sóng cần lớn hơn ít nhất hai lần đường kính trung bình của hạt đất. Do đó, việc chọn chiều dài công-xon 5 mm giúp đảm bảo bước sóng đạt ngưỡng tối thiểu từ 10 mm trở lên sẽ giới

hạn môi trường đất có thể đo được cho môi trường các hạt nhỏ hơn 5 mm. Đây là điều kiện hạn chế của thiết bị do giới hạn lọc tần số thấp và điều kiện đảm bảo tín hiệu đo được phản ánh đúng hành vi động của môi trường đất.

3.3. Đặc điểm thiết kế & phạm vi áp dụng của thiết bị

Một số đặc điểm của thiết bị thiết kế theo dạng nĩa cải tiến dùng để đo sóng cắt trực tiếp từ nguồn phát và thu sóng:

- Có khả năng đo sóng tại các nền đất với độ cứng và độ chặt khác nhau, với độ sâu khảo sát lên đến 40 m.

- Cho phép thu thập và xác định chính xác vận tốc sóng cắt theo chiều sâu của lớp đất.

- Thiết kế nhằm giảm thiểu tối đa tác động của thiết bị đến cấu trúc đất xung quanh trong quá trình xuyên.

- Bảo đảm độ bền của nĩa và đầu dò, không bị phá hủy trong quá trình xuyên xuống đất. Trong trường hợp gặp các loại đá hay các vật liệu cứng vượt quá khả năng thí nghiệm của thiết bị, di chuyển đầu xuyên đến vị trí đo sóng kế tiếp.

- Đầu dò được thiết kế để tương tác hiệu quả với đất, giúp truyền và thu nhận sóng tốt hơn.

3.4. Quy trình đo sóng cắt sử dụng thiết bị

Một số bước cơ bản trong quy trình sử dụng thiết bị thiết kế để phát và thu sóng cắt:

- **Bước 1.** Xác định vị trí cần đo sóng, di chuyển thiết bị đến vị trí, sắp xếp đối trọng cần thiết cho khung thiết bị trong quá trình ép, hay neo dầm trong trường hợp cần thiết;

- **Bước 2.** Ép thiết bị xuyên dạng nĩa cải tiến đến độ sâu cần khảo sát;

- **Bước 3.** Xoay thanh trục trung tâm để đẩy các nĩa tích hợp đầu dò ra, tiếp xúc với đất nền, phát và thu sóng cắt.

- **Bước 4.** Cấp điện áp 1 chiều vào đầu dò uốn nguồn để phát sóng cắt. Dựa trên tín hiệu sóng cắt thu được để hiệu chỉnh tần số sóng cắt tại nguồn. Đầu dò nguồn, ban đầu, có thể được cấp điện 1 chiều dạng xung vuông để tạo sóng. Dựa trên tần số cộng hưởng, có thể sử dụng các sóng hình sin, dạng xung để có thể xác định thời điểm sóng di chuyển từ đầu dò nguồn đến đầu dò thu dễ dàng. Thu thập dữ liệu sóng cắt để xác định vận tốc sóng cắt.

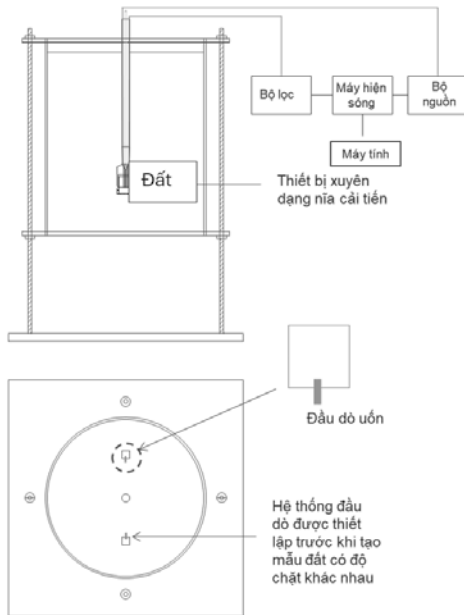
- **Bước 5.** Sau khi đo xong, xoay thanh trục trung tâm để rút hệ nĩa chứa đầu dò uốn vào, và ấn thiết bị đi xuống đến vị trí đo kế tiếp. Lặp lại **Bước 2**.

4. THÍ NGHIỆM TRONG PHÒNG VÀ CÂN CHỈNH THIẾT BỊ

Thiết bị xuyên dạng nĩa, có gắn các đầu dò tại các đầu nĩa, có thể đẩy ra, rút vào tự động được thiết kế đặc biệt nhằm giảm thiểu sự xáo trộn đối với đất xung quanh trong quá trình triển khai đo sóng tại hiện trường, giảm thiểu các nĩa bị cong, vênh hay hư hỏng trong quá trình ép thiết bị xuyên xuống các nền đất cứng. Sóng cắt được đo trong vùng nằm giữa hai nĩa, các đầu dò cách nhau 65 mm.

Như thiết kế đã đề cập ở trên, để đảm bảo độ nguyên vẹn của các đầu dò uốn trong quá trình xuyên và giảm thiểu các hư hỏng đến các đầu nĩa, thiết bị xuyên được tích hợp một cơ cấu tự động đẩy ra và rút vào các nĩa chứa đầu dò. Để đảm bảo độ chính xác của vận tốc sóng cắt được đo bằng thiết bị xuyên, cần tiến hành hiệu chỉnh thiết bị bằng thí nghiệm trong phòng. Một buổi thí nghiệm đã được chế tạo phục vụ mục đích này, như minh họa trong Hình 8. Các mẫu đất được chuẩn bị bằng phương pháp đầm nén có kiểm soát ở các mức độ đầm chặt khác nhau, nhằm tái hiện các trạng thái đất khác nhau trong tự nhiên. Buổi thí nghiệm được lắp đặt các cảm biến BE cố định tại các vị trí xác định trước, cho phép đo độc lập vận tốc sóng cắt tại các mức độ đầm chặt cụ thể. Sau đó, thiết bị xuyên tích hợp đầu dò với nĩa tự động được ấn xuyên theo phương thẳng đứng vào mẫu đất. Tại các độ sâu thiết kế, các nĩa chứa đầu dò được đẩy ra, xuyên vào đất để thực hiện phát thu

sóng. Vận tốc sóng được ghi nhận thông qua các đầu dò tích hợp. Các giá trị vận tốc thu được từ các đầu dò cố định trong buồng nén được sử dụng làm giá trị tham chiếu để hiệu chỉnh kết quả đo từ thiết bị xuyên tại hiện trường, nhằm nâng cao độ tin cậy và khả năng diễn giải của dữ liệu đo đạc.



Hình 8. Buồng cân chỉnh thiết bị xuyên dạng nĩa cải tiến

5. KẾT LUẬN

Sử dụng đầu dò uốn hay Bender element để xác định vận tốc sóng cắt, từ đó suy ra Mô đun kháng cắt lớn nhất G_{max} đã được tiến hành phổ biến trên thế giới cho các thí nghiệm khảo sát đất trong phòng và hiện trường. Tuy nhiên, việc ứng dụng đầu dò đo tại hiện trường còn chủ yếu chỉ áp dụng cho đất sét yếu, chưa phổ biến cho các loại đất. Một trong các lý do đó là khả năng đầu dò dễ bị hư hỏng trong quá trình xuyên qua các lớp đất tốt. Thiết kế cải tiến này là một nỗ lực giúp bảo vệ đầu dò trong quá trình xuyên thiết bị đo, và chỉ đẩy ra và thu lại sau khi đo sóng cắt hoàn tất. Thiết kế cần được trải qua quá trình đo thực tế tại hiện trường để tối ưu hóa khả năng áp dụng đầu dò vào trong khảo sát đất nền công trình.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. B. O. Hardin and V. P. Drnevich, "Shear Modulus and Damping in Soils: Measurement and Parameter Effects (Terzaghi Lecture)," *J. Soil Mech. Found. Div.*, vol. 98, no. 6, pp. 603-624, June 1972, doi: 10.1061/JSEFAQ.0001756.
- [2]. J. C. Santamarina, A. Klein, and M. A. Fam, *Soils and waves: Particulate materials behavior, characterization and process monitoring*. Wiley, 2001.
- [3]. G. Kim, K. H. Stokoe, and S. Hwang, "Shear-wave-velocity profiling of a test embankment for a high-speed rail project using the spectral-analysis-of-surface-waves (SASW) method," *Can. Geotech. J.*, Oct. 2024, doi: 10.1139/cgj-2024-0137.
- [4]. S. L. Kramer, *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice Hall, 1996. [Online]. Available: <https://books.google.com.vn/books?id=ws5HtVum3g8C>
- [5]. M. Vucetic and R. Dobry, "Effect of Soil Plasticity on Cyclic Response," *J. Geotech. Eng.*, vol. 117, no. 1, pp. 89-107, Jan. 1991, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9410(1991)117:1(89).
- [6]. H.-K. Yoon, J.-S. Lee, Y.-U. Kim, and S. Yoon, "FORK BLADE-TYPE FIELD VELOCITY PROBE FOR MEASURING SHEAR WAVES," *Mod. Phys. Lett. B*, vol. 22, no. 11, pp. 965-969, May 2008, doi: 10.1142/S0217984908015681.
- [7]. J.-S. Lee, C. Lee, H.-K. Yoon, and W. Lee, "Penetration Type Field Velocity Probe for Soft Soils," *J. Geotech. Geoenvironmental Eng.*, vol. 136, no. 1, pp. 199-206, Jan. 2010, doi: 10.1061/(asce)1090-0241(2010)136:1(199).
- [8]. Lee, Jong-Sub, Kim, YoungSeok, Hong, Seungseo, and Yoon, Hyung-Koo, "Estimation of Consolidation in Soft Clay by Field Velocity Probe," *J. Eng. Geol.*, vol. 23, no. 4, pp. 511-517, Dec. 2013, doi: 10.9720/KSEG.2013.4.511.
- [9]. J.-S. Lee and H.-K. Yoon, "Application example: Field Velocity Resistivity Probe (FVRP) for predicting pore pressure parameter B," *Soil Dyn. Earthq. Eng.*, vol. 107, pp. 214-217, Apr. 2018, doi: 10.1016/j.soildyn.2018.01.039.
- [10]. M. Salva Ramirez, J. Park, M. Terzariol, J. Jiang, and J. C. Santamarina, "Shallow Seafloor Sediments: Density and Shear Wave Velocity," *J. Geotech. Geoenvironmental Eng.*, vol. 149, no. 5, May 2023, doi: 10.1061/jggef.kgteng-10759.
- [11]. D. J. Shirley and L. D. Hampton, "Shear-wave measurements in laboratory sediments," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 63, no. 2, pp. 607-613, Feb. 1978, doi: 10.1121/1.381760.
- [12]. G. Viggiani and J. H. Atkinson, "Interpretation of bender element tests," *Géotechnique*, vol. 45, no. 1, pp. 149-154, Mar. 1995, doi: 10.1680/geot.1995.45.1.149.
- [13]. E. Brignoli, M. Gotti, and K. Stokoe, "Measurement of Shear Waves in Laboratory Specimens by Means of Piezoelectric Transducers," *Geotech. Test. J.*, vol. 19, no. 4, pp. 384-397, Dec. 1996, doi: 10.1520/gtj10716j.
- [14]. J.-S. Lee and J. C. Santamarina, "Bender Elements: Performance and Signal Interpretation," *J. Geotech. Geoenvironmental Eng.*, vol. 131, no. 9, pp. 1063-1070, Sept. 2005, doi: 10.1061/(asce)1090-0241(2005)131:9(1063).
- [15]. R. Arulnathan, R. Boulanger, and M. Riemer, "Analysis of Bender Element Tests," *Geotech. Test. J.*, vol. 21, no. 2, pp. 120-131, June 1998, doi: 10.1520/GTJ10750J.
- [16]. V. Jovičić, M. R. Coop, and M. Simić, "Objective criteria for determining G_{max} from bender element tests," *Géotechnique*, vol. 46, no. 2, pp. 357-362, June 1996, doi: 10.1680/geot.1996.46.2.357.
- [17]. E. Leong, S. Yeo, and H. Rahardjo, "Measuring Shear Wave Velocity Using Bender Elements," *Geotech. Test. J.*, vol. 28, no. 5, pp. 488-498, Sept. 2005, doi: 10.1520/GTJ12196.
- [18]. I. Sanchez-Salinerio, J. M. Roesset, and K. H. Stokoe, "Near-field effects on determination of propagation velocities of body waves," in *SEG Technical Program Expanded Abstracts 1986*, Society of Exploration Geophysicists, Jan. 1986, pp. 129-131. doi: 10.1190/1.1893188.
- [19]. M. Arroyo, D. Muir Wood, and P. D. Greening, "Source near-field effects and pulse tests in soil samples," *Géotechnique*, vol. 53, no. 3, pp. 337-345, Apr. 2003, doi: 10.1680/geot.2003.53.3.337.
- [20]. S. Yamashita, T. Kawaguchi, Y. Nakata, T. Mikami, T. Fujiwara, and S. Shibuya, "Interpretation of International Parallel Test on the Measurement of G_{max} Using Bender Elements," *Soils Found.*, vol. 49, no. 4, pp. 631-650, Aug. 2009, doi: 10.3208/sandf.49.631.
- [21]. J. F. Camacho-Tauta, G. Cascante, A. Viana Da Fonseca, and J. A. Santos, "Time and frequency domain evaluation of bender element systems," *Géotechnique*, vol. 65, no. 7, pp. 548-562, July 2015, doi: 10.1680/geot.13.p.206.
- [22]. Q. Khan, S.-W. Moon, and T. Ku, "Idealized Sine Wave Approach to Determine Arrival Times of Shear Wave Signals Using Bender Elements," *Geotech. Test. J.*, vol. 43, no. 1, pp. 171-193, Jan. 2020, doi: 10.1520/GTJ20170121.
- [23]. J. C. Santamarina and M. A. Fam, "Discussion: Interpretation of bender element tests," *Géotechnique*, vol. 47, no. 4, pp. 873-877, Sept. 1997, doi: 10.1680/geot.1997.47.4.873.
- [24]. A. Gajo, A. Fedel, and L. Mongioli, "Experimental analysis of the effects of fluid-solid coupling on the velocity of elastic waves in saturated porous media," *Géotechnique*, vol. 47, no. 5, pp. 993-1008, Oct. 1997, doi: 10.1680/geot.1997.47.5.993.
- [25]. J. F. Camacho-Tauta, G. Cascante, A. Viana Da Fonseca, and J. A. Santos, "Time and frequency domain evaluation of bender element systems," *Géotechnique*, vol. 65, no. 7, pp. 548-562, July 2015, doi: 10.1680/geot.13.p.206.
- [26]. D. Airey and A. K. M. Mohsin, "Evaluation of Shear Wave Velocity from Bender Elements Using Cross-correlation," *Geotech. Test. J.*, vol. 36, no. 4, pp. 1-9, July 2013, doi: 10.1520/GTJ20120125.
- [27]. T. Ogino, T. Kawaguchi, S. Yamashita, and S. Kawajiri, "Measurement deviations for shear wave velocity of bender element test using time domain, cross-correlation, and frequency domain approaches," *Soils Found.*, vol. 55, no. 2, pp. 329-342, Apr. 2015, doi: 10.1016/j.sandf.2015.02.009.
- [28]. P. Greening and D. Nash, "Frequency Domain Determination of G Using Bender Elements," *Geotech. Test. J.*, vol. 27, no. 3, pp. 288-294, May 2004, doi: 10.1520/GTJ11192.
- [29]. G. Alvarado and M. R. Coop, "On the performance of bender elements in triaxial tests," *Géotechnique*, vol. 62, no. 1, pp. 1-17, Jan. 2012, doi: 10.1680/geot.7.00086.
- [30]. M. A. Styler and J. A. Howie, "Continuous Monitoring of Bender Element Shear Wave Velocities During Triaxial Testing," *Geotech. Test. J.*, vol. 37, no. 2, pp. 1-12, Mar. 2014, doi: 10.1520/GTJ20120098.
- [31]. Y. Wang, N. Benahmed, Y.-J. Cui, and A. M. Tang, "A novel method for determining the small-strain shear modulus of soil using the bender elements technique," *Can. Geotech. J.*, vol. 54, no. 2, pp. 280-289, Feb. 2017, doi: 10.1139/cgj-2016-0341.
- [32]. G. Flood-Page, L. Boutonnier, and J.-M. Pereira, "Application of the Akaike Information Criterion to the interpretation of bender element tests," *Soil Dyn. Earthq. Eng.*, vol. 177, p. 108373, Feb. 2024, doi: 10.1016/j.soildyn.2023.108373.
- [33]. A. M. G. Pedro, P. D. Santos, L. Araújo Santos, and P. Coelho, "Sources of Uncertainty in Bender Element Testing: Execution and Interpretation Challenges in Reconstituted Sandy Soils," *Geotechnics*, vol. 5, no. 2, p. 39, June 2025, doi: 10.3390/geotechnics5020039.
- [34]. Q. H. Truong, C. Lee, Y. U. Kim, and J. S. Lee, "Small strain stiffness of salt-cemented granular media under low confinement," *Géotechnique*, vol. 62, no. 10, pp. 949-953, Oct. 2012, doi: 10.1680/geot.10.T.004.

Ứng dụng thuật tiến hóa khác biệt thích nghi ưu việt trong tối ưu hóa kết cấu khung bê tông cốt thép nhiều tầng

Application of adaptive elitist differential evolution for multi-story reinforced concrete frame optimization

> NGUYỄN QUỐC HUY^{1,2}, NGUYỄN NGỌC PHÚ^{1,2}, LÝ KHƯƠNG DUY², TRẦN QUANG MINH², VŨ HỒ NAM^{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

*Tác giả liên hệ, Email: nam.vh@vlu.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu này đề xuất ứng dụng thuật toán tiến hóa khác biệt thích nghi ưu việt (aeDE) để tối ưu hóa kết cấu khung bê tông cốt thép nhiều tầng với hai mục tiêu chính: giảm thiểu khối lượng kết cấu và đảm bảo các ràng buộc về chu kỳ dao động cơ bản, độ võng và ứng suất trong giới hạn cho phép. Các biến thiết kế bao gồm kích thước các cột và dầm trên mỗi tầng, được xác định trong khoảng phù hợp với tiêu chuẩn quy mô công trình. Quá trình tối ưu kết hợp API của ETABS để đánh giá nhanh các đặc trưng động và biến dạng của khung aeDE được điều chỉnh cơ chế chọn lọc ưu tú và tham số thích nghi, giúp cân bằng hiệu quả giữa khai phá không gian nghiệm và khai thác khu vực khả thi, từ đó cải thiện tốc độ hội tụ và giảm khả năng mắc kẹt tại cực trị địa phương. Kết quả thử nghiệm sơ bộ trên mô hình khung nhiều tầng cho thấy aeDE hội tụ ổn định trong giới hạn đánh giá hàm mục tiêu, đạt được cải thiện đáng kể về tiết kiệm khối lượng so với thiết kế tham chiếu, đồng thời rút ngắn thời gian tính toán so với các thuật toán metaheuristic truyền thống.

Từ khóa: Tối ưu hóa cấu trúc, aeDE, giới hạn động học, API ETABS, metaheuristic.

ABSTRACT

This study presents an adaptive elitist Differential Evolution (aeDE) algorithm for the weight optimization of a multi-story reinforced concrete frame, subject to constraints on fundamental period, maximum drift, and stress limits. Design variables comprise the dimensions of columns and beams on each floor, bounded according to standard building scales. Structural response evaluations leverage the ETABS API for rapid dynamic and deformation analysis. aeDE's adaptive elitist selection and parameter adjustment mechanisms effectively balance exploration and exploitation, enhancing convergence speed and mitigating premature stagnation in local optima. Preliminary results on a multi-story frame model demonstrate reliable convergence within the computational budget, significant weight reduction over the baseline design, and reduced computation time compared to conventional metaheuristic approaches.

Keywords: structural optimization, aeDE, dynamic constraints, ETABS API, metaheuristic.

1. TỔNG QUAN

Trong bối cảnh đô thị hóa phát triển nhanh chóng và nhu cầu sử dụng tài nguyên một cách hiệu quả ngày càng gia tăng, việc thiết kế kết cấu công trình dựa trên phương pháp tối ưu hóa trở nên cấp thiết hơn bao giờ hết [1]. Tối ưu hóa kết cấu không chỉ giúp giảm thiểu chi phí xây dựng, tiết kiệm vật liệu và năng lượng, mà còn đảm bảo an toàn, tính bền vững và khả năng chịu tải của công trình trong các điều kiện môi trường đa dạng. Đặc biệt, với sự hỗ trợ của các công nghệ tính toán hiện đại, việc ứng dụng các phương pháp tối ưu hóa trong thiết kế kết cấu mở ra cơ hội tạo ra những công trình chất lượng cao, thân thiện với môi trường. Tối ưu hóa đóng vai trò

then chốt trong kỹ thuật, giúp tìm ra thiết kế tối ưu đáp ứng các yêu cầu về chi phí, hiệu năng và an toàn.

Dù tối ưu hóa mang lại nhiều lợi ích, việc áp dụng thuật toán vào tối ưu hóa kết cấu gặp nhiều thách thức. Thứ nhất, tính phi tuyến và đa cực trị của bài toán kết cấu, với hàm mục tiêu có nhiều cực trị địa phương, khiến việc tìm nghiệm toàn cục khó khăn, như trong bài toán giàn 10 thanh [2]. Thứ hai, không gian thiết kế nhiều chiều làm tăng độ phức tạp tính toán theo hàm mũ, đặc biệt với các thuật toán tiến hóa, đòi hỏi chi phí cao cho kết cấu lớn [3]. Thứ ba, bài toán có ràng buộc hỗn hợp và biến thiết kế rời rạc, như tiết diện dầm thép chọn từ danh mục chuẩn, biến bài toán thành tối ưu tổ hợp, phức

tạp hơn bởi ràng buộc phi tuyến về ứng suất, độ võng, tần số riêng. Cuối cùng, cần cân bằng giữa độ chính xác và hiệu quả tính toán [4], đòi hỏi thuật toán tìm nghiệm gần tối ưu với ít lần đánh giá hàm mục tiêu, như trong tối ưu khung nhiều tầng cần hội tụ nhanh và tin cậy. Tóm lại, tối ưu hóa kết cấu đối mặt với mô hình ràng buộc phức tạp, hàm mục tiêu đa cực trị, số biến lớn, biến rời rạc và yêu cầu cao về hiệu năng, đòi hỏi thuật toán tiên tiến để giải quyết hiệu quả.

Trong thập kỷ qua, nhiều nghiên cứu đã ứng dụng các biến thể của thuật toán tiến hóa khác biệt (DE) nhằm giải các bài toán tối ưu đa dạng, thu được kết quả khả quan. Ho-Huu và cộng sự (2016) đã tiên phong đề xuất thuật toán tiến hóa khác biệt thích nghi ưu việt để tối ưu hóa trọng lượng giàn kết cấu với các tiết diện thép rời rạc. Thuật toán aeDE điều chỉnh tham số đột biến dựa trên thông tin elitist (ưu tiên cá thể tốt nhất) qua các thế hệ, giúp cải thiện đáng kể chất lượng lời giải so với DE tiêu chuẩn [5]. Kết quả cho thấy aeDE tìm được thiết kế giàn nhẹ hơn mà vẫn thỏa mãn các ràng buộc ứng suất, chứng tỏ ưu thế trong bài toán có biến thiết kế rời rạc. Van Tran Mien và cộng sự đã ứng dụng aeDE để tối ưu hóa kiến trúc mạng thần kinh nhân tạo nhằm hiệu suất xây dựng mô hình dự đoán đặc tính làm việc của bê tông in 3D với xi thép. Gần đây Trung Nguyen Thoi và cộng sự đã tối ưu hóa vị trí đặt các miếng và xử lý giảm chấn thông minh trong kết cấu tấm bằng thuật toán aeDE [6]. Kết quả cho thấy aeDE cung cấp cấu hình tối ưu hiệu quả và tiết kiệm mà vẫn giảm đáng kể chuyển vị cộng hưởng. Xiao Han và cộng sự đề xuất áp dụng thuật toán aeDE tối ưu hóa lộ trình nhiều máy kéo không người lái trong vườn đào, giảm 3.34% thời gian quay đầu và 0.87% thời gian vận hành so với thuật toán DE truyền thống, đồng thời giảm 37.37% và 9.47% so với phương pháp phân khối [7].

Mặc dù đạt được kết quả đáng khích lệ, các nghiên cứu sử dụng aeDE trong tối ưu kết cấu vẫn tồn tại một số hạn chế cần được nhìn nhận. Thứ nhất, hầu hết nghiên cứu mới chỉ thử nghiệm trên các bài toán quy mô vừa và nhỏ, chủ yếu là bộ bài toán benchmark kinh điển (10 thanh, 25 thanh, ...). Số lượng mẫu thử còn hạn chế (chỉ vài bài toán) do đó chưa đủ để khẳng định thuật toán sẽ hoạt động tốt tương tự trên các kết cấu thực tế lớn hơn (chẳng hạn cầu không gian hàng trăm thanh hoặc nhà nhiều tầng). Nói cách khác, khả năng mở rộng của nhiều thuật toán aeDE vẫn chưa được kiểm chứng đầy đủ. Các bài toán tối ưu đã được nghiên cứu thường giả định mô hình đơn giản được lập trình trên các ngôn ngữ như Matlab hoặc Python; trong khi ở thực tế, kết cấu chịu nhiều ẩn số (ví dụ kết cấu phức tạp, tải trọng phức tạp) khó có thể mô phỏng như vậy.

Trên cơ sở các hạn chế đã được chỉ ra, nghiên cứu này tập trung phát triển hai nội dung chính nhằm tối ưu hóa kết cấu bằng thuật toán tiến hóa khác biệt thích nghi ưu việt (aeDE): thứ nhất, cải tiến aeDE để nâng cao khả năng mở rộng, đảm bảo thuật toán giữ được hiệu suất và tốc độ hội tụ khi giải quyết các mô hình kết cấu lớn với số biến thiết kế và ràng buộc phức tạp; thứ hai, tích hợp trực tiếp aeDE với ETABS Open API (ETABS-OAPI) để tự động hóa quy trình “mô hình - phân tích - thu thập kết quả - tính toán hàm mục tiêu”, loại bỏ hoàn toàn thao tác thủ công lặp đi lặp lại, từ đó rút ngắn đáng kể thời gian mô phỏng và bảo đảm tính nhất quán của dữ liệu đầu vào. Việc gắn kết với ETABS qua OAPI còn cho phép tận dụng trọn vẹn các tính năng phân tích và tiêu chuẩn thiết kế tiên tiến, giúp kết quả tối ưu phản ánh sát thực tế công trình và sẵn sàng ứng dụng. Để minh chứng hiệu quả và tính khả thi của phương pháp, nghiên cứu trình bày ví dụ điển hình áp dụng aeDE-ETABS-OAPI trên mô hình khung bê tông nhiều tầng, cho thấy thuật toán không chỉ giảm đáng kể chi phí tính toán so với lập trình thủ công mà còn

cho kết quả thiết kế đáp ứng đầy đủ yêu cầu về ứng suất, biến dạng và động học.

2. MÔ TẢ BÀI TOÁN

2.1. Bài toán tối ưu hóa

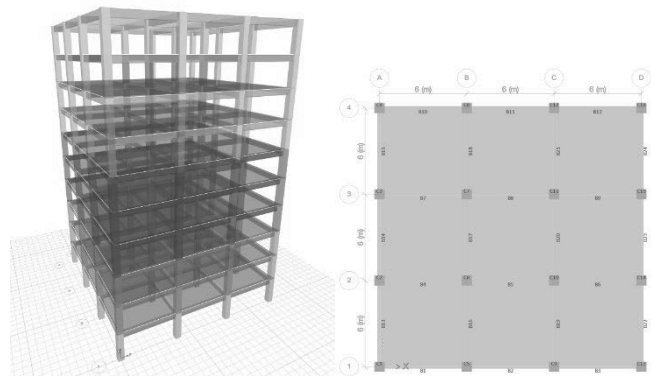
Mục tiêu của bài toán là giảm thiểu tổng khối lượng kết cấu bê tông cốt thép của tòa nhà nhiều tầng, đồng thời đảm bảo các giới hạn về biến dạng, ứng suất và dao động động học theo quy chuẩn. Về mặt toán học, bài toán được phát biểu như sau:

$$\text{Giảm thiểu } W(A) = \sum_{i=1}^n p_i l_i A_i \quad (1)$$

trong đó $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ là tập các diện tích tiết diện thiết kế của n cấu kiện (cột, dầm), $p_{\{i\}}$ và $l_{\{i\}}$ lần lượt là khối lượng riêng và chiều dài cấu kiện thứ i .

Các ràng buộc chính được xét trong nghiên cứu bao gồm giới hạn ứng suất liên quan tới diện tích tối thiểu bố trí thép, chu kỳ dao động cơ bản và chuyển vị đỉnh. Ứng suất tính toán tại mỗi phần tử phải không vượt quá giá trị cho phép để ngăn ngừa phá hoại vật liệu và đảm bảo diện tích tối thiểu bố trí thép; chu kỳ dao động cơ bản T phải thỏa mãn $T \leq T_{\{req\}}$ nhằm tránh hiện tượng cộng hưởng; chuyển vị δ tại bất kỳ mặt phẳng ngang nào không được vượt quá $\delta_{\{max\}}$ để đảm bảo khả năng sử dụng và an toàn. Việc đánh giá các điều kiện trên được thực hiện thông qua phân tích kết cấu bằng phần tử hữu hạn (FEA) tích hợp với ETABS-OAPI, cho phép cập nhật tự động mô hình, chạy phân tích và thu thập các giá trị trong mỗi vòng lặp tối ưu.

Bên cạnh đó, mặc dù tồn tại các ràng buộc khác như chuyển vị lệch tầng (inter-story drift), ổn định chống lật và gia tốc đỉnh dưới tác động động đất, những điều kiện này nằm ngoài phạm vi thiết lập của nghiên cứu hiện tại và sẽ được xem xét trong các công trình tiếp theo.



Hình 1. Mô hình kết cấu tòa nhà 10 tầng mô phỏng

2.2. Ràng buộc liên quan tới dao động

Trong thiết kế kết cấu chịu tác dụng động đất và tải gió, chu kỳ dao động cơ bản $T_{\{1\}}$ của khung thường được kiểm soát để tránh hiện tượng cộng hưởng với thành phần phổ năng lượng cao của tải động. Cụ thể, chu kỳ cơ bản phải thỏa mãn

$$T_1 \geq T_{\min} \quad (2)$$

trong đó $T_{\min}$ là giá trị ngưỡng tối thiểu do các tiêu chuẩn quy định, nhằm dịch pha phần năng lượng động đất ra khỏi vùng tần số tự nhiên của cấu trúc. Đồng thời, để khung không “mềm” quá gây dao động lớn dưới tác động gió, cũng có thể đặt giới hạn trên.

$$T_1 \leq T_{\max} \quad (3)$$

với $T_{\max}$ là chu kỳ tối đa cho phép, giúp giới hạn biên độ dao động tầng và giảm thiểu khó chịu cho người sử dụng.

Nhiều quy chuẩn còn ước lượng T_1 theo số tầng n để đảm bảo phù hợp với chiều cao công trình, cụ thể:

$$0.08n \leq T_1 \leq 0.12n \quad \text{và} \quad T_1 \leq 4 \text{ s} \quad (4)$$

điều này vừa giới hạn chu kỳ theo chiều cao, vừa đảm bảo không vượt quá ngưỡng an toàn tuyệt đối.

Bên cạnh chu kỳ cơ bản, các bậc dao động riêng tiếp theo và hình dáng dao động cũng cần kiểm soát để tránh hiện tượng xoắn hoặc tập trung biến dạng cục bộ.

Những ràng buộc về chu kỳ và tỷ số các bậc dao động cùng với kiểm định hình dáng dao động có thể đưa vào để tạo thành cơ sở để xác định ràng buộc dao động trong quá trình tối ưu hóa kết cấu bằng phương pháp aeDE-ETABS-OAPI.

2.3. Ràng buộc liên quan tới chuyển vị

Bên cạnh yêu cầu về dao động, chuyển vị tĩnh dưới tác dụng của tải trọng gió và tải trọng động đất quy đổi (static-equivalent seismic load) đóng vai trò quan trọng trong việc bảo đảm khả năng sử dụng và cảm giác thoải mái cho người ở. Hai đại lượng được kiểm soát phổ biến là độ dịch chuyển ngang tổng thể của đỉnh khung và chuyển vị lệch tầng (inter-story drift). Trong nghiên cứu này chỉ xem xét chuyển vị ngang tổng thể. Đối với độ dịch chuyển ngang đỉnh, quy chuẩn thường giới hạn

$$\Delta_{top} \leq \frac{H}{R_{\Delta}} \quad (6)$$

trong đó H là chiều cao toàn công trình, R_{Δ} là hệ số khống chế chuyển vị (ví dụ $R_{\Delta} = 500 - 600$). Điều kiện này đảm bảo biến dạng ngang tổng thể không gây nứt thứ cấp ở các tường ngăn và không làm hư hại các hệ thống bao che.

Trong khuôn khổ nghiên cứu hiện tại, mô hình phân tích ETABS-OAPI tính toán Δ_{top} cho mỗi tổ hợp tải trọng; thuật toán aeDE đưa bất phương trình trên vào hàm phạt để bảo đảm mỗi lời giải thỏa mãn giới hạn chuyển vị.

2.3. Ràng buộc liên quan tới thiết kế cục bộ

Ngoài các ràng buộc về dao động và chuyển vị, bài toán tối ưu hóa kết cấu yêu cầu các cấu kiện bê tông cốt thép thỏa mãn tiêu chuẩn thiết kế về khả năng chịu lực. Quy trình kiểm tra được tự động hóa thông qua ETABS OAPI: thuật toán aeDE đề xuất phương án thiết kế, cập nhật mô hình khung và kích hoạt ETABS để thiết kế cốt thép. Kết quả được đánh giá qua các tỷ số tương tác nén-uốn (PMM ratio), khả năng chịu cắt chính/phụ (V_{major} , V_{minor}) và thống kê số cấu kiện vi phạm. Ràng buộc thiết kế được biểu diễn bằng các bất đẳng thức:

$$PMM_i \leq 1, \quad V_{major,i} \leq 1, \quad V_{minor,i} \leq 1 \quad \forall i = 1, \dots, n(7)$$

trong đó mỗi tỷ số là tải trọng tính toán chia cho sức kháng thiết kế của cấu kiện i . Nếu bất kỳ tỷ số nào vượt quá 1, cấu kiện i vi phạm tiêu chuẩn. Thuật toán aeDE ghi nhận số cấu kiện vi phạm v và tích hợp vào hàm phạt, loại bỏ các phương án không hợp lệ. Quy trình “thiết kế - kiểm tra” tự động này đảm bảo mọi giải pháp cuối cùng đáp ứng yêu cầu về ứng suất nén - uốn và cắt, đồng thời loại bỏ kiểm tra thủ công, nâng cao hiệu quả tối ưu hóa kết cấu.

3. THUẬT TOÁN TIẾN HÓA KHÁC BIỆT THÍCH NGHI ƯU VIỆT

Thuật toán tiến hóa khác biệt thích nghi ưu việt (aeDE) là một phiên bản nâng cấp của thuật toán tiến hóa khác biệt (DE), được phát triển bởi Ho-Huu et al (5). để tối ưu hóa các bài toán có biến số nguyên, đặc biệt hiệu quả trong tối ưu hóa kết cấu. aeDE kết hợp các nguyên lý tiến hóa tự nhiên với kỹ thuật làm tròn để xử lý biến số nguyên, đảm bảo giải pháp đáp ứng các ràng buộc kỹ thuật.

Quá trình bắt đầu bằng việc tạo một quần thể ban đầu gồm NP cá thể, với mỗi cá thể là một vector x_i (với $i = 1, \dots, NP$). Độ thích nghi của từng cá thể được đánh giá dựa trên hàm mục tiêu. Tiếp theo, thuật toán lặp lại các bước đột biến, giao thoa và chọn lọc cho đến khi đạt điều kiện dừng.

Đột biến: Đối với mỗi vector mục tiêu x_i , một vector trung gian v_i được tạo ra bằng cách:

- Chọn ngẫu nhiên ba vector khác r_1, r_2, r_3 (i và j khác nhau) từ quần thể.

- Tính $v_{ij} = x_{r1,j} + F \times (x_{r2,j} - x_{r3,j})$, trong đó F là hệ số đột biến ngẫu nhiên trong $[0, 1]$.

- Làm tròn v_{ij} để đảm bảo biến số nguyên, tức $u_{ij} = \text{round}(v_{ij})$.

- Nếu u_{ij} vượt quá giới hạn, điều chỉnh lại bằng cách chọn ngẫu nhiên r_4 và gán $u_{ij} = x_{r4,j} + \text{round}[F \times (x_{best,j} - x_{r4,j})]$, với x_{best} là vector tốt nhất hiện tại.

Lai ghép: Tạo vector thử nghiệm u_i bằng cách kết hợp u_{ij} với x_i dựa trên tỷ lệ giao thoa CR (ngẫu nhiên trong $[0, 1]$). Nếu một số ngẫu nhiên nhỏ hơn CR , sử dụng u_{ij} ; ngược lại, giữ nguyên x_{ij} .

Chọn lọc: So sánh vector thử nghiệm u_i với vector mục tiêu x_i dựa trên giá trị hàm mục tiêu. Nếu u_i tốt hơn, thay thế x_i ; nếu không, giữ nguyên x_i .

Cách tính toán và điều kiện dừng

- Hàm phạt: Nếu số cấu kiện vi phạm (v) được phát hiện, aeDE tích hợp vào hàm phạt để loại bỏ giải pháp không hợp lệ, đảm bảo tính khả thi.

- Điều kiện dừng: Thuật toán dừng khi độ lệch $\text{delta} = |f_{mean}/f_{best} - 1|$ nhỏ hơn hoặc bằng ngưỡng đã đặt trước, hoặc khi đạt số lần lặp tối đa. Trong đó, f_{mean} là giá trị trung bình của hàm mục tiêu trên quần thể và f_{best} là giá trị tốt nhất.

Cách tiếp cận này cho phép aeDE linh hoạt điều chỉnh tham số và hội tụ nhanh chóng, phù hợp để tối ưu hóa kết cấu với các ràng buộc phức tạp như dao động, ứng suất và tải trọng, nhờ khả năng xử lý hiệu quả biến số nguyên và tự động hóa quá trình chọn lọc.

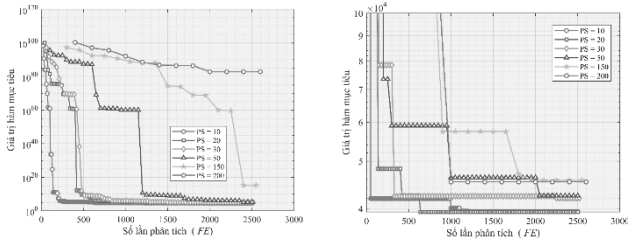
4. VÍ DỤ VÀ THẢO LUẬN

Mô hình công trình - Khung bê tông cốt thép 10 tầng được khảo sát có sơ đồ mặt bằng hình chữ nhật gồm 3 nhịp theo hai phương, bước nhịp 6 m và chiều cao tầng điển Hình 3. Cột và dầm ban đầu được giả định tiết diện hình chữ nhật 600×600 mm và 300×600 mm; mác bê tông C40 ($f_{ck} = 40$ MPa) và thép cốt bê tông SD490 ($f_y = 490$ MPa). Tải trọng tiêu chuẩn bao gồm tĩnh tải sàn 1.4 kN/m², hoạt tải sàn 3.0 kN/m². Tải gió theo Eurocode 1:2005 với tốc độ gió cơ bản 35 m/s, (địa hình loại II), hệ số địa hình-địa vật $C_p(z) = 1.0$, hệ số nhiễu động $K_1 = 1$, hệ số kết cấu $C_s C_d = 1.0$ và mật độ không khí $\rho = 1.25$ kg/m³. Chiều cao ảnh hưởng lấy từ tầng nền (Base) đến tầng mái (Story 10). Đối với tải trọng động đất, tuân theo phổ đáp ứng thiết kế của Eurocode 8. Gia tốc nền tham chiếu chọn $a_g = 0.4 g$ (mức nguy hiểm địa chấn trung bình), phổ loại 1 (địa chấn mạnh, chu kỳ dài) và loại đất B (tầng đá mềm-trung bình). Các tham số phổ chuẩn gồm $T_b = 0.15$ s, $T_c = 0.50$ s, $T_d = 2.00$ s và hệ số hạ thấp $\beta = 0.20$. Hệ số ứng xử kết cấu đặt $\eta = 2.0$ phù hợp với khung bê tông cốt thép chịu moment dạng thông thường, còn hệ số hiệu chỉnh $\lambda = 1.0$. Tải động đất được áp dụng theo cả hai phương X và Y, đồng thời xét đến độ lệch tâm ngẫu nhiên 5% (Eccentricity Ratio = 0.05) bằng bốn trường hợp: X, Y và $X \pm e$, $Y \pm e$.

Khung được mô hình hoá không gian trong ETABS, liên kết dầm - cột cứng, sàn bê tông được giả thiết là diaphragm toàn khối. Kiểm tra thiết kế cốt thép tuân theo Eurocode 2:2004, đáp ứng đồng thời các ràng buộc ứng suất, chuyển vị và chu kỳ dao động như đã nêu ở mục 2.

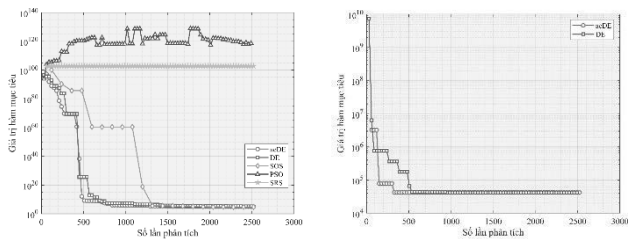
Thuật toán so sánh - Năm thuật toán tiến hoá được triển khai trong MATLAB: Tối ưu hoá bầy hạt [9], Tiến hoá khác biệt DE [10], Tiến hoá khác biệt thích nghi ưu việt aeDE [5], Tìm kiếm thuyết tương đối hợp SRS [11], Tìm kiếm sinh vật cộng sinh SOS [12]. Để bảo đảm đánh giá công bằng, tất cả thuật toán dùng chung cấu hình: kích thước quần thể 50 cá thể và giới hạn 5000 lần đánh giá hàm mục tiêu, giá trị này đồng thời làm tiêu chí dừng. Các tham số đặc trưng của từng thuật toán (hằng số gia tốc PSO, hệ số lai ghép DE,

v.v.) được giữ ở giá trị khuyến nghị gốc trong tài liệu tham khảo tương ứng, như trình bày trong Bảng 1.



a) Trung bình quần thể b) Giá trị tốt nhất trong quần thể
Hình 2. Tác động của kích thước quần thể trong khung bê tông cốt thép 10 tầng: a) Trung bình quần thể; b) Giá trị tốt nhất trong quần thể

Hình 2 cho thấy diễn biến giá trị hàm mục tiêu của aeDE đối với năm kích thước quần thể khác nhau ($PS = 10 \div 200$) trên khung 10 tầng; trục hoành biểu thị số lượt phân tích phần tử hữu hạn (FEA), trục tung logarit thể hiện giá trị hàm mục tiêu. Các quần thể nhỏ ($PS = 10, 20, 30$) giảm rất mạnh trong 200 - 300 FE đầu, nhờ số thế hệ nhiều hơn (vì một thế hệ tương ứng với PS lần đánh giá), giúp cơ chế thích nghi liên tục cập nhật và nhanh chóng đẩy toàn quần thể vào miền khả thi. Khi $PS = 50$, đường cong xuất hiện đoạn "chững" kéo dài tới gần 700 FE do giảm số thế hệ và sự đa dạng ban đầu cao làm chậm giai đoạn khai thác, tuy nhiên sau đó vẫn đạt nghiệm khả thi. Với quần thể lớn ($PS = 150$ và 200), đồ thị chuyển dịch rất chậm qua toàn bộ 2500 FEA, phản ánh việc mỗi cá thể chỉ trải qua 12-17 thế hệ, khiến thông tin thích nghi chưa kịp phát huy, dẫn tới giá trị hàm mục tiêu cao cho tới cuối phiên tối ưu. Như vậy, trong giới hạn ngân sách < 3000 FE, quần thể nhỏ đến trung bình (đặc biệt $PS = 10, 20$) cho tốc độ hội tụ nhanh và nghiệm tối ưu hơn, còn quần thể quá lớn chỉ tăng chi phí phân tích mà không cải thiện kết quả.



Hình 3. So sánh các thuật toán khác nhau trong khung bê tông cốt thép 10 tầng: a) Trung bình quần thể; b) Giá trị tốt nhất trong quần thể aeDE và DE

Từ Hình 3 có thể nhận thấy sự đối lập rõ rệt giữa hai nhóm thuật toán: (i) họ Tiến hoá khác biệt (aeDE, DE) và (ii) các thuật toán SOS, PSO, SRS. Ở khung trái, aeDE và DE đồng loạt rơi theo hàm mũ ngay sau vài chục thế hệ đầu; điều này cho thấy cơ chế lai ghép/đột biến của DE rất phù hợp với không gian thiết kế có ràng buộc chặt, bởi mỗi bước đột biến lớn nhanh chóng tìm được cá thể khả thi, sau đó các phép lai khai thác dần miền lời giải tốt. Tuy nhiên, quan sát khung phải - nơi phỏng đại miền tối ưu - aeDE tỏ ra ưu trội ở hai khía cạnh quan trọng. Thứ nhất, sau khi chạm vùng giá trị thấp, aeDE ổn định sớm hơn DE và hầu như không còn "điểm bật" (spike); điều này phản ánh bộ điều chỉnh tham số tự động (các hệ số F và CR) đã kịp thích nghi, giúp thuật toán bước ngay vào giai đoạn khai thác cục bộ. Thứ hai, khoảng cách giữa hai đường ở vùng đáy chỉ xuất hiện khi số lượt FEA còn lại dưới 40 % ngân sách, nghĩa là lợi thế của aeDE nằm chủ yếu ở khả năng khai thác sâu hơn khi quần thể bắt đầu đồng quy, một đặc điểm có giá trị cho những bài toán ràng buộc khó, nơi việc cải thiện nhỏ cuối cùng cũng mang lại giảm khối lượng đáng kể.

Ngược lại, SOS thể hiện hình dạng "bậc thang" điển hình: sau mỗi pha cộng sinh, giá trị mục tiêu giảm mạnh rồi dừng lâu ở cao nguyên, dấu hiệu thuật toán mất thời gian tích lũy kinh nghiệm trước khi phát hiện hướng đi hiệu quả kế tiếp, do vậy SOS chỉ vươn tới miền tối ưu khi hơn nửa ngân sách FEA đã tiêu thụ. PSO và SRS gần như không giảm đáng kể, thậm chí PSO còn sinh các đỉnh tăng vọt hàng chục bậc độ lớn. Khả năng "dẫn bầy" của PSO phụ thuộc mạnh vào cá thể tốt nhất toàn cục; khi hàm phạt vì vi phạm ràng buộc biến thiên đột ngột, cá thể này liên tục bị thay thế, khiến bầy hạt không định hướng được quỹ đạo tối ưu và dao động quanh biên miền cấm. SRS còn hạn chế hơn vì chỉ dựa trên phép lân cận tương đối hẹp nên hiếm khi vượt qua rào cản phạt. Tóm lại, hình vẽ không những chứng minh ưu thế tuyệt đối của họ DE mà còn nhấn mạnh vai trò của cơ chế thích nghi trong aeDE: khi ngân sách đánh giá hữu hạn, khả năng điều chỉnh tham số theo phản hồi quần thể cho phép thuật toán duy trì cân bằng khai phá/khai thác hiệu quả, giảm hiện tượng "lắc đần" cuối chu trình và đạt nghiệm cuối đáng tin cậy hơn các đối thủ.

Bảng 1. Tổng hợp cấu hình tham số và ngân sách đánh giá áp dụng cho từng thuật toán. Kết quả chỉ ra rằng, dù giới hạn ở 2.500 lượt đánh giá, aeDE vẫn đủ thời gian khai phá không gian thiết kế, thoát khỏi các bẫy cực trị cục bộ và đồng quy tới nghiệm tối ưu ổn định. Thành công này nhấn mạnh vai trò của cơ chế tự điều chỉnh tham số trong aeDE, giúp thuật toán duy trì hiệu quả cân bằng giữa khai phá và khai thác, đồng thời đạt chất lượng lời giải cao mà không cần gia tăng chi phí tính toán.

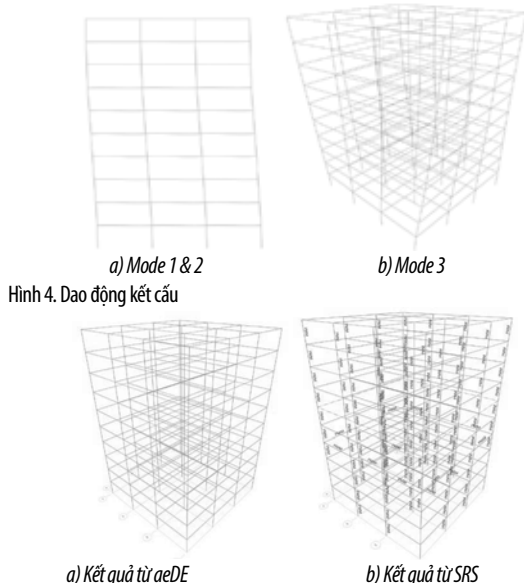
Bảng 1. Các thông số thiết lập của các thuật toán tối ưu hóa

Thuật toán	Kích thước quần thể	Số đánh giá hàm tối đa	Các tham số chính
PSO	30	2500	Trọng lượng quần tính: 0.729; Hệ số nhận thức: 1.49445; Hệ số xã hội: 1.49445
DE	30	2500	Hệ số đột biến F: 0.5–0.8; Xác suất lai ghép CR: 0.9
SRS	30	2500	NaN (Not a Number)
SOS	30	2500	NaN (Not a Number)
aeDE	30	2500	F và CR thích nghi

Bảng 2. Kết quả chạy tối ưu cho kết cấu khung bê tông cốt thép 10 tầng với các thuật toán khác nhau

Thông tin	aeDE	DE	SOS	PSO	SRS
Trọng lượng tốt nhất (kN)	37981.55	38050.28	38476.63	44290.94	-
Chu kỳ đầu tiên (s) (< 1 s)	0.99	0.9	0.81	0.80	2.52
Chuyển vị đỉnh (mm) (< 60 mm)	55.618	49.928	48.318	42.322	108.646
Số vi phạm thiết kế cột	0	0	0	0	144
Số vi phạm thiết kế dầm	0	0	0	0	6

Kết quả hội tụ ở Hình 3 được phản ánh trực tiếp trong Bảng 2, nơi liệt kê nghiệm tối ưu cuối cùng của mỗi thuật toán đối với khung bê tông cốt thép 10 tầng. Dễ thấy aeDE đạt khối lượng nhỏ nhất (≈ 37.982 kN) và vẫn thỏa tất cả ràng buộc: chu kỳ cơ bản 0.99 s nằm sát giới hạn dưới 1 s, chuyển vị đỉnh 55.6 mm thấp hơn ngưỡng 60 mm và không phát sinh bất kỳ vi phạm thiết kế cột hoặc dầm. DE bám sát thứ hạng với khối lượng 38.050 kN, chênh lệch chưa tới 0.2 % so với aeDE; điều này phù hợp với đường hội tụ gần như trùng nhau ở pha đầu, song việc vẫn còn dao động nhẹ cuối quá trình khiến DE không khai thác sâu được biên thiết kế như aeDE. SOS cho nghiệm nặng hơn (≈ 38.477 kN) dù vẫn đáp ứng ràng buộc; mức tăng khối lượng này phản ánh quãng “cao nguyên” dài trong tiến trình hội tụ, cho thấy chiến lược cộng sinh cần thêm thể hệ để tinh chỉnh tiết diện. PSO khối lượng vẫn cao nhất (44.291 kN) do bẫy hạt khó giảm kích thước cấu kiện mà không vi phạm giới hạn ứng suất; hiệu quả khai thác kém của PSO càng được chứng thực bởi đồ thị dao động thất thường ở Hình 2. Cuối cùng, SRS gần như không tìm được nghiệm khả thi: chu kỳ 2.52 s và chuyển vị 108.6 mm vượt xa giới hạn, kéo theo 150 vi phạm thiết kế (144 cột, 6 dầm) nên không trả về giá trị khối lượng hợp lệ. Tổng hợp hai minh chứng - diễn biến hội tụ và nghiệm cuối - có thể khẳng định chính cơ chế tự điều chỉnh tham số của aeDE đã giúp thuật toán khai thác không gian thiết kế hiệu quả hơn, đồng thời duy trì độ tin cậy khi ràng buộc nghiêm ngặt, từ đó dẫn đầu cả về chất lượng lời giải và tuân thủ tiêu chuẩn thiết kế.



Hình 5. Phân bố vi phạm các cấu kiện trong kết cấu: a). Kết quả từ aeDE; b). Kết quả từ SRS

Hình 4 minh họa ba bậc dao động đầu tiên của khung tối ưu hóa. Hai bậc đầu (hình trái) thể hiện rõ kiểu uốn thuần theo hai phương chính của mặt bằng: tầng trên cùng dịch chuyển lớn nhất, biên độ giảm dần về đáy, đường cong mềm mại không xuất hiện “khúc gãy” cục bộ - dấu hiệu khung phân phối độ cứng hợp lý và không hình thành tầng yếu. Mode 3 (bên phải) biểu hiện **xoắn tổng thể** quanh trục đứng; biên độ dịch chuyển gần như đối xứng, không có tập trung vận xoắn cục bộ ở các góc - cho thấy mômen chống xoắn phân bố đều nhờ hình học mặt bằng cân đối và độ cứng khung dầm-cột sau tối ưu không bị lệch đáng kể. Việc mode xoắn xuất hiện ở bậc thứ ba, tách biệt rõ so với hai bậc dịch chuyển thuần, củng cố kết luận rằng thiết kế tối ưu giữ được tỷ lệ độ cứng uốn-xoắn thích hợp. Nhìn tổng thể, các dạng dao động xác nhận khung bê tông cốt thép 10 tầng sau tối ưu không chỉ thỏa các ràng buộc tần số và chuyển vị, mà còn duy trì phân bố động học “lành mạnh”, phù hợp giả định khi thiết lập ràng buộc dao động ở mục 2.1.

Hình 5 minh họa trực quan phân bố các cấu kiện vi phạm sau tối ưu: khung bên trái là kết quả của aeDE, khung bên phải của SRS. Đối với aeDE,

toàn bộ hệ dầm - cột đều được tô màu hồng liên tục mà không xuất hiện bất kỳ ký hiệu cảnh báo, xác nhận tất cả tỷ số tương tác nén - uốn (PMM) và điều kiện cắt (đủ tiêu chuẩn bố trí thép). Điều này phản ánh việc thuật toán không chỉ tối thiểu hóa khối lượng mà còn thỏa mãn ràng buộc thiết kế cứng nhắc của từng cấu kiện. Ngược lại, kết quả SRS cho thấy dày đặc nhãn “PMM” màu đen trên cột biên và dầm, đây là các cấu kiện vượt quá khả năng chịu lực nén/uốn vì SRS giảm kích thước tiết diện quá mức để đạt mục tiêu trọng lượng nhưng không kịp điều chỉnh trước khi hết ngân sách đánh giá. Sự đối lập này trực tiếp giải thích vì sao SRS trả về 150 vi phạm trong Bảng 2, đồng thời cho thấy tính thực dụng của aeDE: cơ chế thích nghi liên tục tinh chỉnh hệ số đột biến và lai ghép, giúp quá trình tìm kiếm duy trì cân bằng giữa giảm khối lượng và giữ biên an toàn, từ đó sinh ra phương án thiết kế “sạch” lỗi và sẵn sàng áp dụng trong thực tế.

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã chứng minh tính ưu việt của adaptive elitist Differential Evolution (aeDE) khi được tích hợp với ETABS-OAPI trong bài toán tối ưu hóa khung bê tông cốt thép 10 tầng chịu đồng thời tải trọng phức tạp. Nhờ cơ chế tự điều chỉnh tham số, aeDE không chỉ đạt khối lượng kết cấu nhỏ nhất và loại bỏ hoàn toàn vi phạm thiết kế mà còn hội tụ nhanh hơn, ổn định hơn so với các thuật toán đối chiếu gồm DE, SOS, PSO và SRS. Các biểu đồ hội tụ, bảng số liệu định lượng và hình ảnh mô phỏng dao động đã cho thấy aeDE cân bằng hiệu quả giữa khai phá và khai thác, giúp giảm đáng kể số lượt phân tích phần tử hữu hạn trong khi vẫn đảm bảo chu kỳ dao động, chuyển vị đỉnh và giới hạn ứng suất theo ràng buộc. Việc kết nối trực tiếp với ETABS qua API đã tự động hóa toàn bộ quy trình “mô hình - phân tích - kiểm tra thiết kế”, chứng tỏ tính thực tiễn cao và tiết kiệm đáng kể chi phí tính toán so với thao tác thủ công truyền thống. Những kết quả này không chỉ khẳng định aeDE là công cụ mạnh cho tối ưu hóa kết cấu bê tông cốt thép trung tầng mà còn gợi mở tiềm năng mở rộng sang các hệ thống cao tầng, kết cấu không gian và thiết kế dựa trên độ tin cậy. Hướng nghiên cứu tương lai sẽ tập trung vào việc song song hóa thuật toán nhằm xử lý mô hình hàng trăm tầng, cũng như kết hợp aeDE với các kỹ thuật mô hình thay thế hoặc tối ưu hóa bền vững để mở rộng khả năng ứng dụng trong công nghiệp xây dựng hiện đại.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyen Anh Tuan, Le Thi Kim Dung, Phan Tien Vinh (2016). Ứng dụng phương pháp tối ưu hóa trong thiết kế công trình hiệu quả năng lượng. Science & Technology Development, 19(K3), 98-108.
- [2]. Georgioudakis, Manolis, and Vagelis Plevris. "On the performance of differential evolution variants in constrained structural optimization." Procedia Manufacturing 44 (2020): 371-378.
- [3]. Kaveh, A., Hamedani, K. B., & Hamedani, B. B. (2023). Optimal design of large-scale dome truss structures with multiple frequency constraints using success-history based adaptive differential evolution algorithm. Periodica Polytechnica Civil Engineering, 67(1), 36-56.
- [4]. Mei, Linfeng, and Qian Wang. "Structural optimization in civil engineering: a literature review." Buildings 11.2 (2021): 66.
- [5]. Ho-Huu, V., Nguyen-Thoi, T., Vo-Duy, T., & Nguyen-Trang, T. (2016). An adaptive elitist differential evolution for optimization of truss structures with discrete design variables. Computers & Structures, 165, 59-75.
- [6]. Van Tran, Mien, et al. "Robust prediction of workability properties for 3D printing with steel slag aggregate using bayesian regularization and evolution algorithm." Construction and Building Materials 431 (2024): 136470.
- [7]. Nguyen-Thoi, T., et al. "Analysis and optimal control of smart damping for porous functionally graded magneto-electro-elastic plate using smoothed FEM and metaheuristic algorithm." Engineering Structures 259 (2022): 114062.
- [8]. Han, Xiao, Yanliang Lai, and Huarui Wu. "A path optimization algorithm for multiple unmanned tractors in peach orchard management." Agronomy 12.4 (2022): 856.
- [9]. Wang, D., Tan, D., & Liu, L. (2018). Particle swarm optimization algorithm: an overview. Soft computing, 22(2), 387-408.
- [10]. Das, S., & Suganthan, P. N. (2010). Differential evolution: A survey of the state-of-the-art. IEEE transactions on evolutionary computation, 15(1), 4-31.
- [11]. Cheng, Min-Yuan, and Duddy Prayogo. "Symbiotic organisms search: a new metaheuristic optimization algorithm." Computers & Structures 139 (2014): 98-112.
- [12]. Goodarzi-mehr, V., Talatahari, S., Shojae, S., & Hamzehei-Javaran, S. (2023). Special relativity search for applied mechanics and engineering. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 403, 115734.

Townhouses and sustainable urban development: Heritage, identity and community in Ho Chi Minh City

Nhà phố và phát triển đô thị bền vững: Di sản, bản sắc và cộng đồng tại TP.HCM

> NGUYEN NGOC UYEN^{1,2}, NGUYEN THANH PHONG^{1,2*}

¹Faculty of Civil Engineering, Ho Chi Minh City Open University, Vietnam

²Professional Knowledge & Project Management Research Team (K2P), Ho Chi Minh City Open University, Vietnam

*Corresponding author, Email: phong.nt@ou.edu.vn

ABSTRACT

Amid rapid urbanization in historic cities, the townhouse typology has played a crucial role as a sustainable residential form for a diverse range of urban inhabitants, contributing to economic, cultural, and social sustainability. Townhouse architecture must be evaluated from multiple perspectives to minimize negative impacts on daily life, cultural activities, and community identity. However, this typology currently faces significant challenges due to short-sighted development policies and overly conservative heritage preservation approaches that constrain urban growth. Despite these threats, townhouses remain the most prevalent housing type in historic cities and continue to embody profound cultural and spiritual values for local communities. This study examines the role and significance of townhouses as resilient, sustainable components within the historic urban areas of major metropolises. It employs a comparative analysis, including field surveys and case studies in diverse urban environments across Southeast Asia. The findings propose appropriate construction and planning solutions, encourage new measures for historically significant structures, and aim to enhance community awareness. Ho Chi Minh City (HCMC) is selected as the primary case study for this research.

Keywords: Architecture, historic urban area, sustainability, townhouse

TÓM TẮT

Trong bối cảnh đô thị hóa diễn ra nhanh chóng tại các khu vực đô thị lịch sử, hình thái nhà phố đã và đang đóng vai trò quan trọng như một loại hình nhà ở bền vững, phù hợp với nhiều nhóm cư dân đô thị và góp phần duy trì sự bền vững về kinh tế, văn hóa và xã hội. Kiến trúc nhà phố cần được xem xét và đánh giá từ nhiều góc độ nhằm giảm thiểu các tác động tiêu cực đến đời sống thường nhật, hoạt động văn hóa và bản sắc cộng đồng địa phương. Tuy nhiên, loại hình này hiện đang đối mặt với nhiều thách thức, đặc biệt từ các chính sách phát triển thiếu tính dài hạn hoặc các phương pháp bảo tồn còn mang tính cứng nhắc, gây cản trở đến quá trình thích nghi và phát triển bền vững của đô thị. Bất chấp những thách thức và mối đe dọa trong quá trình đô thị hóa, nhà phố vẫn là loại hình nhà ở phổ biến nhất tại các thành phố lịch sử, đồng thời tiếp tục thể hiện những giá trị văn hóa và tinh thần sâu sắc đối với cộng đồng địa phương. Nghiên cứu này tập trung phân tích vai trò và tầm quan trọng của nhà phố như một thành phần bền vững và có khả năng thích ứng trong các khu vực đô thị lịch sử tại các đô thị lớn. Phương pháp nghiên cứu bao gồm phân tích so sánh, khảo sát thực địa và nghiên cứu điển hình tại các môi trường đô thị đa dạng trong khu vực Đông Nam Á. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất các giải pháp xây dựng và quy hoạch phù hợp, đồng thời khuyến khích áp dụng các phương pháp tiếp cận mới đối với công trình có giá trị lịch sử, hướng đến nâng cao nhận thức và sự tham gia của cộng đồng. TP.HCM được lựa chọn làm nghiên cứu điển hình chính trong nghiên cứu này.

Từ khóa: Kiến trúc, khu đô thị lịch sử, phát triển bền vững, nhà phố.

1. INTRODUCTION

Throughout the historical development of urban areas in Southeast Asia, the townhouse has been the most prevalent residential typology within historic urban areas. According to the Washington Charter of ICOMOS in 1987, "historic urban areas, large

and small, including cities, towns and historic centers or quarters, together with their natural and artificial environments. Beyond their role as historical documents, these areas embody the values of traditional urban cultures." [1]. Historic urban areas remain central symbols of their cities, carrying profound historical, spiritual, and

cultural significance. The sustained development and continuous occupation of these townhouses demonstrate inherent sustainability in meeting the diverse needs of city dwellers. For centuries, townhouses have accommodated a wide range of activities-residential, commercial, and social-within the complex urban context. In general, residential buildings have an average life cycle of 40–50 years, after which renovation or reconstruction is required to align with evolving living standards. However, in historic urban areas today, any demolition or renovation must consider many factors, because a townhouse not only holds significance for its owner but may also carry historical and spiritual value for the entire community.

Ho Chi Minh City (HCMC) is a metropolis with more than 300 years of evolution and is now one of Vietnam's most dynamic and economically vital cities. The townhouse typology has existed since the city's formative phases, and today unique old street-front townhouses and historic rows coexist alongside modern architecture. The varied evolution of this typology across HCMC's historic neighborhoods deserves closer scrutiny. This study analyzes and assesses the sustainability of townhouses in HCMC's historic urban areas, affirming their role and proposing recommendations and solutions to meet the needs of urban residents.

2. LITERATURE REVIEW

As drawn upon by Gyorgy Kunszt's approach in his article on Sustainable Architecture (2003), *"The International Council for Building Research noted that while in the beginning researchers, government offices and entrepreneurs focused mainly on the so-called 'hard' technological problems, in the recent years 'soft' social issues, as special as the question of the preservation of architectural cultural heritage, have come more and more to the foreground"* [2]. This shift laid the foundation for deeper investigation of sustainability in historic urban areas, where carefully tailored solutions are required. The sustainability of architecture and construction, on a broader scale, involves a sufficient combination of three factors: environmental, economic, and social, because, according to the Brundtland Report - *"Our Common Future," these factors cannot be separated for sustainable development by meeting present needs without compromising the ability of future generations to meet their own needs* [3]. Therefore, sustainable design must seek to reduce negative impacts on the environment, health, and human comfort within buildings.

Additionally, according to Kevin Lynch's approach in his book *"The Image of the City"* in 1960, he explains the qualitative difference between the aesthetics of architectural space and the experiential impact of urban space on the ground of the relationship of the image element with the recognition of a location (in the geographical sense) or a place (in the sense of memory) [4]. In Lynch's interpretation, the *"image"* is a materialization containing cultural characteristics as a form of memory storage, and memory is culture. Memory is the psychological process in which the mind retains images of perceived objects or related living activities, interactions, experiences, memories, emotions, and thoughts. Therefore, urban images become the containers of urban memories in this context. While a house, a building, or even a city cannot autonomously store memory, they can remind and activate the memories because we project and store our personal and shared experiences. In this way, memory partially contributes to the spiritual and emotional value of what we call *"place."*

Therefore, the spirit of place must be recognized as an essential dimension of architectural sustainability in heritage urban areas

where preserving and enhancing the value of the place is genuinely tied to preserving traditional culture. As emphasized in the Recommendation on the Historic Urban Landscape (2011), it is now widely accepted that all cities, including historic cities, need to be upgraded and developed to maintain and improve living standards (Oers and Roders, 2012) [5]. It must be acknowledged that this is not an easy task; Balancing conservation and development requires understanding, cultural sensitivity, and careful action strategies that respect the cultural-historical identity and spirit of place in historic neighborhoods.

The long-term preservation of memory in a *"place"* is a journey of building the spirit of a heritage city. This is not just a single event but a gradual process in the flow of history and the daily life of many generations of residents. In other words, place memory is a collective product shaped by the community and society over time, then developed over time, with the contributions of many generations into the socio-cultural memory of urban residents from many different classes. Therefore, cities meticulously planned by famous architects are often less popular than cities that develop naturally. The city contains the simple life of the people that always wins the affection and choice of the people (Son Le Thanh, 2024) [6]. Folk culture offers a more profound emotional resonance and a stronger appeal than the neatness, tidiness, and meticulousness of large, designed cities. This distinction becomes evident in cities with historical depth and cultural continuity, where the spirit of place is clearly expressed.

In summary, this perspective embraces both old and new, acknowledging environmental, social, and economic factors alongside intangible values such as culture, memory, and spirit of place. It reflects an innovative approach that enables historic cities to maintain sustainability as spaces where continuity and transformation coexist.

3. MATERIALS AND METHODS

This study applied a qualitative research design combining literature review, field surveys, and comparative case analysis. First, a comprehensive review of domestic and international scholarly works on sustainability, urban heritage, and townhouse typology was conducted to establish the theoretical framework. Key sources included international charters and reports (e.g., the Washington Charter, Brundtland Report, and UNESCO Historic Urban Landscape Recommendation), as well as studies on urban memory and the spirit of place.

Empirical data were collected through field surveys in Ho Chi Minh City's two historic urban cores: the Cho Lon Old Quarter and the Ben Thanh Market–Cho Cu area. The surveys focused on documenting existing townhouses, streetscapes, and patterns of use through direct observation, photographic records, and descriptive notes. In addition, contextual information was gathered from local archival documents and secondary sources to reconstruct the historical evolution of these areas.

The analysis employed a qualitative and deductive approach. The collected data were organized into key themes, including urban heritage conservation, cultural continuity, urban memory, place-making potential, and economic development. These criteria were used to assess and compare the sustainability of townhouses in the two case study areas, as summarized in Table 1 of the article.

To broaden the perspective, the research also included comparative case studies of similar townhouse or shophouse typologies in Singapore, George Town (Malaysia), and Bangkok (Thailand). These cases were chosen because they represent

different strategies of heritage preservation and adaptive reuse in Southeast Asia. By contrasting international practices with the situation in HCMC, the study identified common challenges and highlighted potential lessons for local policy and planning.

Finally, findings from literature review, field surveys, and comparative cases were synthesized to propose planning and construction solutions that encourage adaptive reuse, promote public-private cooperation, and raise community awareness, ensuring that townhouses can continue to play a sustainable role in the historic urban landscape of Ho Chi Minh City.

4. TOWNHOUSE IN HCMC'S HISTORIC CORE AREAS

Ho Chi Minh City's historical urban core includes two main centers: the Cho Lon Old Quarter and the Ben Thanh Market-Cho Cu (Old Market) area. These areas hold significant historical and cultural value and embody a distinctive urban spirit. The architecture and atmosphere of these neighborhoods are steeped in tradition, with customs, rituals, and cultural practices preserved and passed down through generations. Despite many historical upheavals, these areas have endured; traces of history remain on walls, windows, and rooftops, contributing to the city's unique identity.

• Townhouse in Cho Lon Old Quarter area (HCMC)

Due to the Chinese residents' favorable business and trading characteristics, Chinese houses have traditionally integrated life and business in the same area. Most houses face the river or the street for convenient transportation and trading of goods. There is a large market located in the area with a high concentration of Chinese residents, so this area is often called "Chinatown" or simply "Cho Lon" (Big Market) by locals. Big Market has deep roots in the cultural identity of many Chinese communities who migrated to Vietnam since the 15th century, including those from Guangdong, Chaozhou, Hainan, Hakka, and Fujian. Alongside temples and places of worship serving religious and spiritual functions, Cho Lon thrives as a bustling and bustling area with a densely populated urban area. Its streets are lined with rows of townhouses and shophouses, forming vibrant commercial activity. What stands out is the architectural contrast: the exterior reflects classic French colonial aesthetics, while the interior layout continues to accommodate the lifestyle patterns of the Chinese-Vietnamese residents [7].

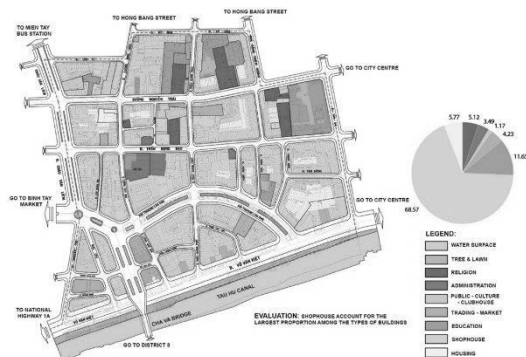


Figure 1. Evaluate the number of housing units in a typical historic urban area - Cho Lon Old Quarter Area

The housing architecture in the area is diverse, ranging from old to new. The construction of new buildings or the renovation of existing structures faces many challenges due to various subjective and objective reasons. The first reason is the cultural habit of Vietnamese people of Chinese descent, who are reluctant to build new houses. If their current homes are still usable and functional,

they will continue to use them until they are no longer serviceable, rarely undertaking significant repairs. Another reason is that most old houses have multiple owners, making it difficult to reach a consensus when economic conditions differ. In recent years, there have been complications related to preserving old neighborhoods, making it challenging to obtain construction permits. As a result, this bustling and vibrant trading area retains many ancient houses with distinctive architectural styles.

• Townhouse in Ben Thanh Market – Cho Cu Area (central area of HCMC)

Ben Thanh Market, built in 1914, is a typical architectural work and has been chosen as a symbolic image of Ho Chi Minh City, which has witnessed many ups and downs of the city. According to Dr. Nguyen Ngoc Tho in the article Ben Thanh Market, "A Special Memory of Saigon - HCMC", "Every city, whether large or small, carries within it a unique history of formation and development, often materialized in one or more clusters of monuments that are chronologically linked to the city. Cities grow around these clusters, treating them as the heart, the soul, and the symbolic medium through which people can connect with their ancestors in the past. Ben Thanh Market is one such monument." [8] Indeed, the market evokes an invisible yet powerful thread that links generations of "Saigonese" to a shared past. It represents a collective memory embedded in the market itself and radiates through the dynamic rhythm of the surrounding urban fabric, which is an integral part of the city and its dwellers. This collective memory extends into the surrounding townhouse-lined streets - Le Thanh Ton, Phan Chu Trinh, Phan Boi Chau, Luu Van Lang, Le Loi, Ham Nghi, and the bustling Nguyen Hue walking street - where the spirit of Saigon still thrives.

When mentioning the landmark of Cho Cu (Old Market), the people of the city will remember the affluent market area of "Ton That Dam Street" and an extensive commercial street area that includes Ham Nghi, Nguyen Hue, Ngo Duc Ke, Ho Tung Mau... which was once the most prime central area of Saigon and still is in Ho Chi Minh City today. Cho Cu originated as a central market located by the "Thi Vai" Canal. In 1887, the canal was filled in to make way for Charner Street (now Nguyen Hue Boulevard), and the Cho Cu Hall was eventually demolished in 1911 to build the treasury building, with the new Ben Thanh Market constructed nearby as a replacement [9]. Although the market no longer exists, the habits and lifestyle familiar to the "market" there meant that vendors continued to come to sell. Buyers continued to come to purchase, keeping the area bustling at its old location, which gradually formed an entire area known as Cho Cu, with many streets selling various types of goods, often high-end products. Therefore, when visiting Ho Chi Minh City and searching for Cho Cu, one will find no market at all, even though it exists right in the city center and is still bustling with trade amidst the dynamic pace of city life. This highlights the power of the spirit created by the residents living and working there.



Figure 2. Townhouses on Trieu Quang Phuc St



Figure 3. Townhouses on Huỳnh Thúc Kháng St

The existing architecture along the streets in both areas culminates the long historical process of the Vietnamese and the Vietnamese of Chinese descent, who have integrated, stabilized, and developed over time. They have maintained their cultural traditions while absorbing the influences of indigenous and later Western cultures. The sustainability of this type of housing is high when examining the economy, social issues, and adaptability to the living environment in Table 1. This demonstrates that the spirit of place plays a significant role in historic urban areas.

Table 1. Sustainability assessment of townhouses in terms of heritage, culture, social adaptability, and economic potential in Cho Lon Old Quarter vs. Ben Thanh (Cho cu) areas:

Aspect	Cho Lon Old Quarter	Ben Thanh Market Area – Cho Cu Area
Urban heritage conservation	Only a few rows of townhouses are still preserved with old architecture mixed with new architecture.	Townhouse architecture mostly after 1970s
Preserve traditional culture	Traditional cultural festivals are still preserved and operated annually.	Traditional cultural festivals combine modernity, organized with the needs of the city center.
Urban memory	The Chinatown or the old market area of Cho Lon is always present in the minds of the people, with its traditional trades.	What exists in everyone's memory is the central area of HCMC, the most prosperous and upscale place.
The potential for place-making values	The area should selectively preserve some typical streets and create new sustainable architecture with high uniformity.	Area with potential for new construction based on the placemaking spirit of urban traders
Economic development potential	Developing tourism economy, trade economy and traditional industries.	Fostering a tourism-driven economy, a modern trade economy, and services, while serving as the largest CBD in the country.

5. SOUTHEAST ASIAN CASE STUDIES

Singapore: The architectural heritage of housing in Singapore encompasses a wide variety of forms, including the shophouses of the Chinese community concentrated in

Chinatown, the Indian community in Little India, and the architecture of the Malay and Arab communities in Kampong Glam. In 1965, after gaining independence, Singapore focused on economic development and ignored the preservation of urban housing types. The Singapore government set goals and used strong measures to eliminate slums, accelerating the country's urbanization and modernization process. However, since 1990, Singapore has recognized the importance of culture and urban identity and has taken new planning steps. Applying the Public-Private Partnership model to preserve and flexibly use urban housing types ensures the common interests of the whole society. These methods are part of conservation and reconstruction to restore the economy and develop tourism. Today, Singapore uses the Adaptive Reuse method to minimize economic losses for real estate owners and encourage private investment, balancing conservation with sustainable development [10].

George Town, Penang (Malaysia): George Town is a typical Southeast Asian port city with a history of nearly 300 years, located on Penang Island, Malaysia. In this coastal land, a core urban area has the architecture of row houses and shophouses bearing a distinctive cultural mark, reflecting the intersection of diverse religious and cultural communities from China, Malaysia, and Britain from the 18th to the 20th century. These townhouses have narrow facades and deep lengths, arched architectural styles, European carvings combined with oriental architectural details and decorations, and roofs. The ground floors of the townhouses are business spaces, while the upper floors are the living areas of the owners [11]. Due to their essential role, the George Town government and the local community have worked together to protect and restore typical architectural structures such as pagodas, temples, shrines, and even old townhouses. The preservation of cultural values of the multi-ethnic community in George Town aims to ensure a balanced development between modern urban development and heritage conservation. Residents actively restore or renovate their houses for business purposes, while local businesses sponsor cultural events. Since George Town was recognized as a UNESCO World Heritage Site in 2008, many townhouses have been restored and repurposed, helping to stimulate economic growth and thereby making the area an attractive tourist destination.

Bangkok, Thailand: In a famous large city in Southeast Asia, Bangkok, Thailand, shophouses have become an indispensable part of the city's collective memory and cultural heritage. This typical housing genre in the 19th and early 20th centuries reflects the architectural style characterized by the Eurasian fusion of cities once colonized by European countries. These old shophouses provided essential spaces for commercial activities at seaports, contributing to the city's economic diversification. Therefore, this architectural genre has become indispensable to Bangkok's cultural heritage. Despite facing challenges in modern times, such as neglect, excessive modification, or ruthless demolition, contemporary architectural practices are reinterpreting shophouses, emphasizing their hybrid nature and relevance in today's urban context [12]. Today, this old architectural form continues to evolve alongside the overall development of Bangkok's urban landscape, embracing contemporary urban design and highlighting the continued relevance of traditional building typologies in a rapidly changing new city landscape [13].



Figure 4. Boat Quay Area - Singapore



Figure 5. Old townhouses in George Town, Penang

6. RESULTS AND DISCUSSION

Townhouses emerge as a sustainable element in the historic urban areas of Southeast Asia. Their continued presence demonstrates enduring vitality in economic, cultural, and social terms. These houses have proved their value to urban development for centuries. Their distinctive architecture maximizes urban space by seamlessly combining commercial and residential functions. The prevalence of this housing type in city centers attests to its suitability for the lifestyle of urban residents. Thus, townhouses play a vital role in shaping a city's cultural and historical identity.

Material and spiritual values of townhouses: In central Ho Chi Minh City, townhouses are the most common housing form. They hold both tangible and intangible value for residents and society. A townhouse is not only a home but also a representation of the community's lifestyle and cultural history. Townhouses have become an inseparable part of the city's fabric—they are organic components of the living city, constantly moving and developing. They contribute economic value through ground-floor commercial activities and enhance the unique cultural identity of their neighborhoods. In doing so, they enrich the diversity of the city's cultural heritage and support a sustainable urban living environment.

Challenges in sustainable development: Key challenges confront HCMC's historic areas:

- Many townhouses have deteriorated and lost value due to rapid urbanization and rigid urban management.
- A lack of supportive development policies has led to the demolition or improper renovation of old houses, eroding their cultural and historical value and weakening connections between generations.
- Uncontrolled development risks erasing precious memories and cultural values. Once-prosperous streets in Cho Lon are now dilapidated, highlighting the urgent need for decisive policies to revive these historic neighborhoods.

Strategies for sustainable development: To address these issues, the following measures are recommended:

- Establish clear heritage conservation policies: The government should adopt a dual approach where conservation supports

development and vice versa. For example, preserving historic houses can boost tourism, which in turn funds further conservation. A robust legal framework is needed to minimize demolition and inappropriate renovation, thereby preserving cultural identity.

- Encourage adaptive reuse: Historic townhouses can be renovated for new uses while preserving their heritage value. Incorporating modern construction techniques and eco-friendly materials can improve energy efficiency, reduce emissions, and enhance living conditions, all while maintaining cultural identity.

- Promote public-private partnerships: Collaboration between government and private investors is crucial for development projects in historic neighborhoods. Private funding can mobilize resources and build community support. Such cooperation leverages both public oversight and private capital for sustainable urban development

7. CONCLUSION

Ho Chi Minh City (HCMC) is Vietnam's leading economic center, but as a megacity it must preserve its urban soul. Recognizing townhouses as sustainable elements in historic areas means treating them not as ordinary buildings but as carriers of the city's spirit. Townhouses are a prevalent architectural typology in Vietnam's major cities, especially in historic districts, and their uniqueness calls for long-term sustainable development strategies. The interaction between townhouses and the community is crucial for the city's sustainable future.

REFERENCES

- [1]. ICOMOS (1987) Washington Charter, Chapter for the conservation of historic towns and urban areas.
- [2]. Gyorgy Kunszt (2003) Sustainable Architecture, Published by Periodica Polytechnica Ser.CIV.ENG.VOL.47, NO.1, PP.5-10.
- [3]. Brundtland Report (1987) Our Common Future, World Commission on Environment and Development.
- [4]. Kevin Lynch (1960) The Image of the City, Harvard -MIT Joint Center for Urban Studies Series.
- [5]. Ron van Oers, Ana Pereira Roders (2012) Historic cities as model of sustainability, Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development, Emerald Group Publishing Limited, Vol. 2, No.1, pp. 4- 14.
- [6]. Son LT (2024) Physical and spiritual creation in urban architecture, Sci.Tech.Dev. J.-Eng. Tech. 2024.6(1):2118-2128.
- [7]. Dinh Nguyen (2021) The ancient town of Cho Lon awaits the day of revival, Vietnam Construction Association, Institute for Urban Research and Infrastructure Development, Urban People E-Magazine.
- [8]. Tho Ngoc Nguyen (2023) Ben Thanh Market: A remarkable memory of Saigon - Ho Chi Minh City, PhapLuat Magazine.
- [9]. Trong Khang Huynh (2022) New memories of the old market (Hồi ức mới về Chợ Cũ), Vietnam Construction Association, Institute for Urban Research and Infrastructure Development, Urban People E-Magazine.
- [10]. Kiên Tô (2018) Experience in sustainably preserving Urban Architectural Heritage in Singapore & Japan, Architecture Magazine No 12.
- [11]. Mohd Amirul Hakim Zamri, Roshida Abdul Majid & Mohd Hisyam Rasyidi (2023) The influential factors of the heritage shophouse's architectural design in urban historic districts in Malaysia: a review, Malaysian Journal of Sustainable Environment, Special Issue, page 37-60.
- [12]. García Moro, F. (2023). La "shophouse" tailandesa: una tipología contemporánea, híbrida y urbana. ACE: Architecture, City and Environment, 18(52). <https://doi.org/10.5821/ace.18.52.11790>.
- [13]. Phattanawasin, S. (2022). Architectural Development of Courtyard Compact Houses for Bangkok Metropolitan. Journal of Architectural/Planning Research and Studies (JARS), 10(1), 27-42. <https://doi.org/10.56261/jars.v10i1.12916>.

Digital solutions in construction asset management: Optimizing expressway maintenance based on an AI-driven forecasting model

Giải pháp số trong quản lý tài sản xây dựng: Tối ưu hóa công tác bảo trì đường cao tốc dựa trên mô hình dự báo trí tuệ nhân tạo

> DAO DAI DUONG¹, NGUYEN THI THUY HIEN^{2,*}

¹People's Committee of Tan Hoa Ward, Ho Chi Minh City, Vietnam

²University of Transport Technology, Vietnam; *Corresponding author, Email: hienntt82@utt.edu.vn

ABSTRACT

Conventional expressway maintenance scheduling is a major challenge in construction asset management, leading to excessive operational costs and severe traffic congestion. To address this, an AI-driven forecasting model was developed and validated for the optimization of maintenance scheduling, using the Ho Chi Minh City-Long Thanh Expressway as a case study. A Long Short-Term Memory (LSTM) network was implemented to forecast traffic flow and was trained on a hybrid dataset composed of historical operational statistics and video surveillance data. The LSTM model was trained on a hybrid dataset comprising historical operational statistics and vehicle data extracted from video surveillance. Results from the empirical validation show the LSTM model achieved a mean absolute percentage error (MAPE) of 6.90% and a coefficient of determination (R^2) of 0.951 on the test dataset. Simulations of optimized maintenance schedules, based on the model's forecasts, projected a reduction of over 50% in annual maintenance costs and up to 30% in peak-hour congestion. This research provides quantitative evidence supporting the use of digital solutions in construction asset management, offering a validated forecasting model as a data-driven tool for enhancing the efficiency and cost-effectiveness of infrastructure maintenance in the context of developing smart cities.

Keywords: Construction asset management; Artificial Intelligence (AI); Expressway operation and maintenance; Predictive maintenance; Smart cities; Intelligent transportation systems (ITS); LSTM

TÓM TẮT

Trong lĩnh vực Quản lý xây dựng, công tác lập kế hoạch bảo trì đường cao tốc theo phương pháp truyền thống đang bộc lộ nhiều bất cập, gây lãng phí chi phí vận hành và gia tăng ùn tắc giao thông. Để giải quyết thách thức này, nghiên cứu đề xuất và kiểm chứng thực nghiệm một giải pháp số: mô hình dự báo dựa trên Trí tuệ nhân tạo (AI) được thiết kế nhằm tối ưu hóa công tác bảo trì. Giải pháp LSTM được triển khai để dự báo chính xác lưu lượng giao thông trong một nghiên cứu tình huống tại đường cao tốc TP.HCM - Long Thành. Mô hình được huấn luyện trên bộ dữ liệu lai (số liệu vận hành và dữ liệu từ video giám sát), đạt kết quả kiểm chứng tốt với sai số phần trăm tuyệt đối trung bình (MAPE) là 6.90% và hệ số xác định (R^2) là 0.951. Các phân tích mô phỏng, sử dụng kết quả dự báo để tối ưu hóa lịch trình bảo trì, cho thấy tiềm năng tiết kiệm hơn 50% chi phí bảo trì hàng năm và giảm tương ứng tới 30% ùn tắc giờ cao điểm. Nghiên cứu này cung cấp luận cứ định lượng thuyết phục cho việc ứng dụng công nghệ số, trao cho các nhà quản lý xây dựng một công cụ dự báo đã được kiểm chứng để nâng cao hiệu quả và tính kinh tế trong công tác quản lý bảo trì hạ tầng, đặc biệt trong bối cảnh phát triển đô thị thông minh.

Từ khóa: Quản lý tài sản xây dựng, Trí tuệ nhân tạo (AI), vận hành và bảo trì đường cao tốc, bảo trì, dự báo, đô thị thông minh, hệ thống giao thông thông minh (ITS), LSTM.

1. INTRODUCTION

The operational performance and sustainability of critical transportation infrastructure are central to effective Construction Asset Management. Expressway networks are recognized as vital arteries for socio-economic development [1]. The efficient operation of these systems is fundamental for sustainable development [2]; however, traditional operation and maintenance (O&M) paradigms are constrained by significant limitations. These approaches are frequently characterized by a reliance on manual procedures, a lack of real-time data [2], and lead to traffic congestion, safety hazards, and high operational costs [3, 4].

The integration of Artificial Intelligence (AI), the Internet of Things (IoT), and Big Data facilitates a methodological shift from conventional reactive or preventive models toward data-driven, predictive strategies [2, 5]. These systems leverage advanced algorithms to analyze sensor data, enabling the early detection of incipient faults and thereby mitigating costly repairs and downtime [2, 6]. The efficacy of this approach has been demonstrated in practice; for instance, the Shenzhen Expressway implemented intelligent patrol inspections and AI-powered image recognition to achieve more efficient operations [7, 8]. The applicability of AI-driven predictive maintenance is further supported by successes in other sectors, including reported efficiency gains of 20-50% in Smart Building Management Systems (SBMS) [2, 6, 9] and improved predictive accuracy in smart manufacturing [10]. These technologies are foundational to the development of smart cities, where they are applied to enhance urban efficiency and sustainability [11-13].

Despite global advancements, a significant research gap remains in the adaptation and empirical validation of these AI systems for Vietnam's unique operational and infrastructural challenges, where AI adoption in construction management remains nascent [5, 12, 14, 15]. The Ho Chi Minh City-Long Thanh Expressway provides a relevant case for this problem [16]. The expressway operates under severe overload, with an average daily traffic volume of 65,000 vehicles against a design capacity of 44,000 and volumes exceeding 90,000 during peak periods [16, 17]. This overload results in frequent congestion, with traffic jams extending 5-10 kilometers [18]. Current O&M practices are characterized by manual traffic monitoring, with incident response times estimated at 30 to 60 minutes [19]. The electronic toll collection (ETC) system has a reported card-reading failure rate of 8-10%, while maintenance remains largely reactive and accounts for 10–15% of total operating expenditures [19, 20]. Safety is also a concern, with 407 incidents recorded from 2023 to January 2025, and overall user satisfaction is approximately 52% [19].

Application of Artificial Intelligence (AI) in smart city contexts is extensive, extending beyond transportation to other urban systems. For instance, AI-driven optimization has been applied to urban water and waste systems [12, 21] and to urban planning processes [14, 21] to enhance efficiency and sustainability.

At the core of this transformation is the principle of predictive maintenance, which has emerged as a cornerstone of smart industrial and urban systems [1, 9]. Its cross-sectoral effectiveness is well-documented, with applications enhancing equipment reliability in demanding environments such as steel production [8], subsea operations, and rail infrastructure [22]. These systems are typically underpinned by a confluence of machine learning algorithms, deep learning techniques, IoT sensors, and big data analytics [8, 23] to process real-time data and optimize maintenance schedules [17, 18]. The adoption of AI-driven predictive maintenance is thus positioned as a strategic imperative for enhancing system reliability [15, 24].

Within the transportation domain, Intelligent Transportation Systems (ITS) are noted to hold significant potential for enhancing road traffic efficiency in Vietnam's expressway networks [24]. The literature

documents AI's role in diverse applications, including improving predictive maintenance for rail [25], enabling decision-making for autonomous vehicles [26], optimizing energy management in electric drivetrains [3], and enhancing safety protocols in aviation risk management [4].

However, despite this extensive body of international literature, a discernible research gap remains concerning the specific adaptation, implementation, and validation of sophisticated AI-driven O&M systems within the unique context of Vietnam's expressway network.

To address the identified research gap, this study provides a replicable, evidence-based framework for intelligent asset management by designing, implementing, and validating an AI-driven system on a critical Vietnamese expressway. The primary objectives are: to design a modular and scalable system architecture for intelligent asset management; to develop and evaluate a suite of intelligent analytics models for traffic forecasting and predictive maintenance; to conduct an empirical validation of the system through a pilot deployment on the selected case study; and to perform a rigorous quantitative evaluation of the system's performance against established baseline metrics and Key Performance Indicators (KPIs). The research contributes a replicable, evidence-based model for intelligent asset management, providing a foundation for enhancing the operational efficiency and sustainability of transportation infrastructure within Vietnam.

2. PROPOSED SYSTEM AND METHODOLOGY

2.1. Case study site: Ho Chi Minh City - Long Thanh expressway

The study was conducted on the Ho Chi Minh City - Long Thanh Expressway, a strategic transportation corridor in Southern Vietnam connecting Ho Chi Minh City with Dong Nai Province. The infrastructure was designed with four primary traffic lanes, a design speed of 100 to 120 km/h, and a design capacity of approximately 44,000 vehicles per day. The geographic location of the corridor is presented in Figure 1.

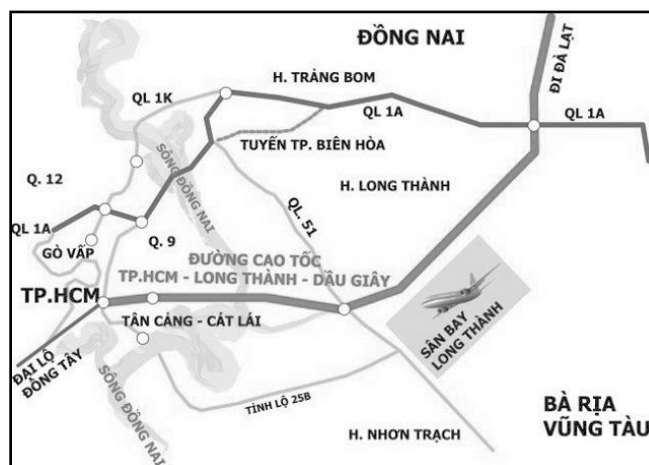


Figure 1. Ho Chi Minh City - Long Thanh - Dau Giay expressway corridor

This site was selected due to a significant disparity between its design capacity and operational traffic volumes. Data indicates an average daily volume of 65,000 vehicles, with peak period volumes exceeding 90,000, which has led to frequent and severe traffic congestion [15, 16]. This operational pressure is compounded by increasing traffic demand, with an 11% growth in vehicle trips from 2023 to 2024 [18]. The high traffic volume is also associated with a significant number of safety incidents, with 206 cases recorded in 2023 and 188 in 2024. Table 1 provides a detailed breakdown of incident statistics by location and type.

Table 1. Incident data used for hotspot identification (2023-2025).

Location/Segment	Traffic Collisions	Tire Blowouts	Vehicle Breakdowns	Vehicle Fires	Total Incidents	Proportion (%)
Km5-Km10	45	18	54	0	117	15.5%
Km11-Km12	58	25	75	0	158	20.9%
Km12-Km13	36	32	102	0	170	22.5%
Km13-Km14	82	28	68	1	179	23.7%
Km15-Km20	28	12	35	0	75	9.9%
Km21-Km30	25	10	20	1	56	7.5%
Total	274	125	354	2	755	100%

Data analysis identified incident hotspots concentrated primarily between Km 11 and Km 14, which account for approximately 65% of all recorded incidents [19]. Figure 2 visualizes this incident density along the expressway.

The combination of the expressway's strategic economic importance, quantifiable operational overload, and the documented inefficiencies of its current management system makes it a suitable setting for the deployment and validation of the proposed AI-enabled system.

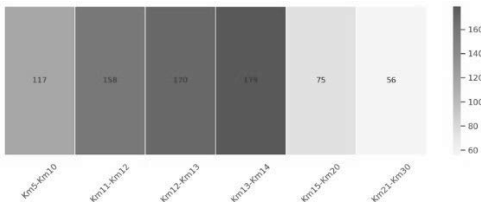


Figure 2. Heatmap of incident density by kilometer segment

2.2. Methodological workflow

To address the research objectives, a systematic five-step methodological workflow was designed and implemented, as illustrated in Figure 3. This workflow ensures logical progression from data acquisition to the final analysis of potential impacts.

The process begins with data collection and aggregation, utilizing two primary sources: historical operational data and data extracted from video surveillance. Subsequently, raw data undergoes the data pre-processing stage, which includes cleaning, normalization, and feature engineering.

The core stage is AI model development and evaluation, which focuses on implementing an LSTM model for traffic forecasting and simulating Random Forest (RF) model for pavement degradation

Table 2. Sample of pre-processed features used for model training

Time	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	Group 5	Group 6	Sum	Average speed (km/h)	Average temperature (°C)	Weather	Condition
2025-02-01 00:00:00	1428	158	38	10	15	14	1663	88	28.6	Light rain	Slippery/Wet surface
2025-02-01 01:00:00	2588	270	38	7	23	7	2933	82	28.4	Sunny	Dry surface
2025-02-01 02:00:00	1026	270	48	18	14	11	1387	76	27.4	Rain	Slippery/Wet surface
2025-02-01 03:00:00	1383	260	99	19	19	8	1788	89	26.2	Cloudy	Dry surface
2025-02-01 04:00:00	2231	102	77	9	12	15	2446	66	28.1	Sunny	Dry surface
2025-02-01 05:00:00	2320	209	55	17	10	10	2621	69	27.5	Light rain	Slippery/Wet surface
2025-02-01 06:00:00	2008	250	51	20	12	10	2351	84	28.5	Sunny	Dry surface
2025-02-01 07:00:00	2409	189	84	21	8	11	2722	76	26	Cloudy	Dry surface
2025-02-01 08:00:00	3525	454	127	24	28	18	4176	77	27.9	Sunny	Dry surface
2025-02-01 09:00:00	3034	418	127	31	31	22	3663	65	27.5	Sunny	Dry surface
2025-02-01 10:00:00	3257	413	128	22	24	19	3863	59	27.1	Sunny	Dry surface
2025-02-01 11:00:00	3525	347	113	32	32	17	4066	63	28.2	Light rain	Slippery/Wet surface
2025-02-01 12:00:00	3391	357	135	22	27	16	3948	75	26.3	Sunny	Dry surface

prediction. The forecasts from the LSTM model then serve as inputs for the Simulation and Analysis stage, where maintenance scenarios are simulated to quantify economic and operational impacts. Finally, the workflow concludes with the identification of Key Outcomes, including an optimized maintenance plan and key performance indicators (KPIs).

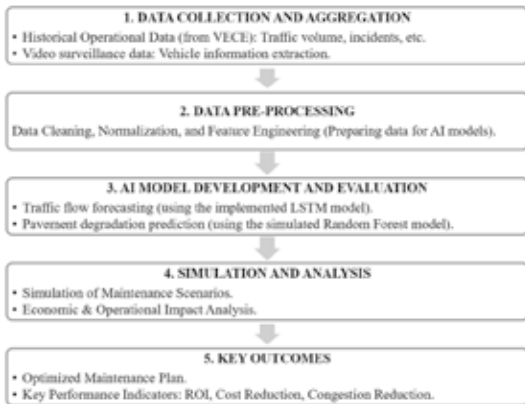


Figure 3. Methodological workflow of the study

2.3. Data Acquisition and Pre-processing

This study represents a partial implementation of the proposed conceptual system, a scope determined by limited access to real-time infrastructure. Data for model training and evaluation were obtained from two primary sources: (1) video surveillance footage, from which vehicle counts and classifications were programmatically extracted using deep learning models; and (2) historical operational statistics provided by the expressway operator (VECE), including hourly traffic volumes and records of past incidents. An illustration of the structured dataset is provided in Table 2.

(Note: This table shows an illustrative excerpt for a specific 12-hour period (00:00-12:00). The complete dataset was collected continuously in real-time over multiple days.)

A sequential pre-processing pipeline was applied to the raw data to ensure quality and suitability for machine learning algorithms. Numerical features were normalized using a MinMaxScaler, and qualitative features such as weather conditions were converted to a numerical format using a LabelEncoder. Time-series features were generated and cyclically encoded using sine and cosine transformations to preserve temporal patterns. Missing data were addressed using linear interpolation for short gaps and multivariate regression for longer sequences. Finally, for the time-series forecasting model, the data was transformed into fixed-

Table 3. Summary of AI models in the proposed system framework.

Model	Application	Data Type	Status in Study	Strengths	Limitations
LSTM	Traffic flow forecasting	Time series (video derived, statistical)	Implemented	Captures temporal dependencies, suitable for sequential traffic data	Requires complete and clean historical data
CNN	Vehicle recognition, incident detection	Image/video from AI cameras	Proposed	Accurate visual recognition, scalable for multiple vehicle types	Needs a large, labeled image dataset
Random Forest	Pavement degradation prediction	Sensor, operational data	Simulated	Interpretable, handles non-linear relationships well	Prone to overfitting with high dimensionality
SVM	Infrastructure damage classification	Drone/image inspection data	Proposed	Effective for small datasets, good margin separation	Less effective on large-scale, high-noise data
GRU	Traffic flow forecasting on edge devices	Compressed time series	Proposed	Lightweight, low resource consumption	Less powerful than LSTM for long sequences
BERT/GPT	Chatbot & user interaction	Text queries	Proposed	Contextual understanding, multilingual	Requires real-time server resources
Collaborative Filtering	Route recommendation	Historical user behavior	Proposed	Personalized suggestions	Cold-start problem

- Traffic Forecasting (Implemented): An LSTM network, a specialized type of Recurrent Neural Network (RNN), was implemented for traffic flow forecasting. This model was selected for its demonstrated ability to capture long-range temporal dependencies within sequential traffic data [6], a critical requirement for accurate time-series prediction. The model was trained on the pre-processed time-series dataset derived from VECE statistics and video analysis.

- Pavement Degradation Prediction (Simulated): A Random Forest model's application was simulated to predict pavement degradation. This model was chosen for its ability to handle non-linear relationships within complex datasets and for its interpretability in maintenance decision-making. The model was designed to analyze a combination of sensor data and historical operational records to forecast asset conditions.

- Proposed Models for Future Expansion: The conceptual architecture includes the proposed integration of Convolutional Neural Networks (CNNs) for real-time vehicle recognition from video feeds [8] and a Support Vector Machine (SVM) model for classifying infrastructure damage from high-resolution imagery acquired from UAVs or automated inspection vehicles.

2.5. Performance evaluation metrics

A multi-faceted framework was established to evaluate the system's performance. The predictive accuracy of the time-series forecasting model was evaluated using Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE), Mean Absolute Percentage Error (MAPE), and the Coefficient of Determination (R^2). The performance of classification tasks was assessed using Accuracy, Precision, Recall, and the F1-Score.

The system's overall effectiveness was quantified by its potential impact on operational, economic, and user-centric outcomes. Operational efficiency was measured by tracking metrics such as incident response latency and congestion duration. Economic benefits were assessed by measuring reductions in operational costs and

length input sequences using a sliding window method (e.g., 60-hour windows)

2.4. Model development

The study focused on the practical implementation and evaluation of a Long Short-Term Memory (LSTM) model for traffic forecasting and the simulation of a Random Forest model for pavement degradation prediction. Other models are discussed as components of the proposed conceptual architecture for future development. A comparative overview of these models is presented in Table 3 of the original manuscript.

growth in revenue. The impact on user experience was evaluated by tracking changes in the user satisfaction rate against its established baseline [19].

3. RESULTS AND PERFORMANCE EVALUATION

3.1. Performance of the implemented traffic forecasting model

The implemented Long Short-Term Memory (LSTM) model was evaluated for its predictive accuracy on the test dataset from March 2025. The model demonstrated strong performance, achieving a Mean Absolute Percentage Error (MAPE) of 6.90%, a Root Mean Square Error (RMSE) of 236.31, and a Coefficient of Determination (R^2) of 0.951.



Figure 4. Comparison of actual and LSTM-forecasted traffic volume

The model's forecasting effectiveness is visually substantiated in the following figures. Figure 4 provides a comparative time-series plot of the model's forecasted traffic flow against the actual observed data, demonstrating the model's effectiveness in capturing key trends and peak-hour patterns.

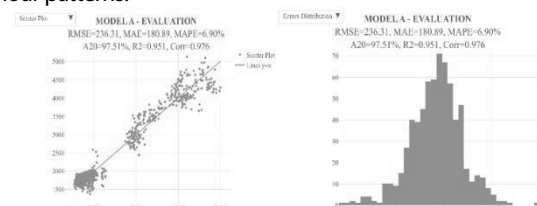


Figure 5. Correlation between actual and LSTM-forecasted traffic volume

Figure 6. Distribution of prediction errors (residuals) for the LSTM model

To further analyze the model's accuracy, a scatter plot of predicted versus actual traffic volumes is presented in Figure 5. The clustering of data points along the diagonal axis indicates a strong positive correlation between the model's predictions and the ground truth. The distribution of prediction errors is illustrated in Figure 6. The histogram shows residuals centered around zero, suggesting that the model is unbiased in its predictions.

3.2. Comparative analysis with baseline models

The performance of the implemented LSTM model was compared against several baseline models: Support Vector Regression (SVR), Linear Regression (LR), Random Forest (RF), and XGBoost. All models were trained and tested on the same dataset. Table 4 summarizes the performance of all models across key evaluation metrics.

Table 4. Performance comparison of the LSTM model with baseline forecasting models

Model	RMSE	MAE	MAPE (%)	Corr	A20 (%)	
LSTM	236.31	180.89	6.90	0.951	0.976	97.51
SVR	413.00	307.09	12.33	0.851	0.933	82.53
Linear Regression	444.52	327.57	13.16	0.828	0.921	80.11
Random Forest	414.32	274.25	10.63	0.850	0.945	87.50
XGBoost	266.12	191.39	7.48	0.938	0.981	95.56

3.3. Performance of the simulated pavement degradation model

The simulated pavement degradation Model was evaluated for its ability to classify pavement conditions. The model's interpretability is demonstrated by the feature importance analysis shown in Figure 7, which identified “Heavy Vehicle Ratio” as the most significant predictor of pavement degradation.

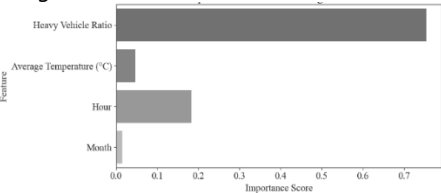


Figure 7. Ranking of feature importance in pavement degradation prediction

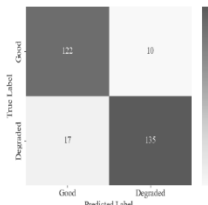


Figure 8. Confusion matrix for classification of pavement condition

The classification performance of the model yielded an overall accuracy of 90.5%. The confusion matrix and the Receiver Operating Characteristic (ROC) curve analysis are detailed in Figure 8 and Figure 9, respectively, demonstrating a high degree of accuracy and reliability in distinguishing between “Good” and “Degraded” pavement conditions.

3.4. Simulated operational and economic impacts

Based on the validated forecasts from the LSTM model, a simulation was conducted to estimate the potential impact of a fully implemented AI-driven system on key operational performance indicators. The results projected significant improvements across all evaluated metrics. Notably, the simulation indicated that proactive traffic coordination could lead to a relative reduction in peak-hour congestion by over 30%, while AI-enabled early detection was estimated to decrease incident response times by approximately 85%. Table 5 presents a detailed comparison of these operational performance indicators before and after the simulated AI implementation.

Table 5. Simulated operational impacts of the AI system

Evaluation Indicator	Before AI	After AI	Improvement (%)
Congestion Rate During Peak Hours (<60 km/h)	65.48%	45.84%	-30%
Incident Response Time	15 ÷ 20 minutes	2 ÷ 3 minutes	-85%
Tolling Error Rate	8 ÷ 10%	< 2 %	-75%
Annual Maintenance Cost	100%	50%	-50%
Infrastructure Service Life	20 years	28 years	+40%
User Satisfaction Score (USS)	62/100	78/100	+25.8%

The economic benefits of the system were subsequently quantified based on the simulated operational improvements. The analysis projected substantial financial gains, primarily driven by cost reductions and efficiency enhancements. The annual maintenance cost-to-revenue ratio was estimated to decrease by over 52%, and a significant reduction in energy consumption of over 57% was also projected. Cumulatively, these improvements resulted in an estimated return on investment (ROI) of 141% within a three-year period. Table 6 provides a detailed breakdown of the economic efficiency assessment.

Table 6. Simulated economic impact of an AI-Informed maintenance strategy

Indicator	Baseline Scenario	Simulated Post-AI Scenario	Relative Change (%)
Operating Cost-to-Revenue Ratio	25.0% ÷ 30.0%	19.5% ÷ 23.5%	-21.72%
Labor Cost-to-Revenue Ratio	15.0% ÷ 20.0%	10.6% ÷ 14.2%	-28.86%
Annual Maintenance Cost-to-Revenue Ratio	10.0% ÷ 15.0%	4.7% ÷ 7.1%	-52.72%
Energy Consumption (million kWh/year)	7.0 ÷ 8.0	3.0 ÷ 3.4	-57.62%
Auxiliary Service Revenue-to-Revenue Ratio	2.0% ÷ 3.0%	4.1% ÷ 6.1%	+103.33%
Estimated ROI (3-year projection)	N/A	141%	N/A

4. DISCUSSION

4.1. Interpretation of findings

The empirical results affirm the efficacy of applying AI-based models for the operational optimization of critical infrastructure within a construction management framework. The high predictive accuracy of the implemented LSTM model ($R^2 = 0.951$) is particularly salient, as it indicates that the complex, non-linear dynamics of high-volume traffic can be effectively modeled and predicted. For asset managers, this transforms a significant operational variable from an uncertainty into a quantifiable input for strategic maintenance planning. Furthermore, the feature importance analysis of the simulated pavement degradation model corroborates established domain knowledge in civil engineering identifying “Heavy Vehicle Ratio” as the primary determinant. This validates the model's capacity to learn veridical, physically grounded relationships from operational data, enhancing its credibility as a decision support tool.

The comparative analysis in Table 4 provides a definitive empirical basis for the architectural selection. The superior performance of the LSTM network over all baseline models, including powerful ensemble methods like XGBoost, is attributed to its recurrent architecture, which is intrinsically designed to capture long-range temporal dependencies within sequential data. While gradient boosting models are adept at modeling complex, non-linear feature interactions, they lack an inherent mechanism for sequential processing, which limited their predictive power in this time-series context. Therefore, these findings do not merely endorse a specific algorithm but underscore a critical methodological principle: the alignment of model architecture with the intrinsic structure of the data is paramount to developing robust, generalizable predictive systems for infrastructure asset management.

4.2. Comparison with existing literature

This study's primary contribution is not the development of a novel algorithm, but rather the empirical validation of an integrated AI-based O&M system within the specific, under-researched context of Vietnam. While previous studies have successfully applied AI for traffic forecasting or pavement monitoring in developed nations, few have presented a holistic framework validated with field-based data from a developing country facing acute traffic overload. This research helps bridge the documented gap between international AI advancements and local application in Vietnam's construction and transportation sectors. By benchmarking multiple models and integrating the results into a broader operational and economic impact assessment, this work moves beyond purely theoretical or simulation-based studies.

4.3. Limitations and future research

This study has several limitations which suggest directions for future work. First, the models were trained on hourly aggregated data, which may not be sufficient for responding to sudden traffic incidents. Future research should test the system's performance using high-frequency, real-time data from IoT sensors. Second, the scope of implementation focused on the core forecasting component (LSTM) within a broader conceptual framework. The visual analytics modules were simulated or proposed. The full deployment and integration of these modules, particularly leveraging UAV-based imagery for automated pavement inspection, is a necessary next step. Finally, the findings are derived from a single case study. While the selected corridor is a representative example, further studies are required to validate the framework's generalizability across other expressways with different operational characteristics.

4.4. Practical and policy implications

The study's results have direct implications for both asset managers and policymakers in Vietnam.

For Asset Managers and Operators: This study provides a clear, data-driven business case for transitioning from reactive to proactive maintenance strategies. The projected reduction of over 50% in annual maintenance costs demonstrates a compelling financial incentive over traditional methods. More importantly, this forecasting model is not merely theoretical but a validated decision-support tool that empowers managers to strategically plan maintenance, allocate resources more efficiently, and minimize operational disruptions.

For Policymakers: The estimated 141% return on investment (ROI) offers a strong justification for strategic investment in digital infrastructure for intelligent transportation. This work serves as an effective proof-of-concept that can be a foundational model for larger-scale public-private partnership (PPP) initiatives, aligning with Vietnam's national digital transformation goals. Furthermore, these findings highlight the need for a proactive regulatory framework that not only enables but also governs the application of AI in infrastructure operations to ensure safety and efficiency.

5. CONCLUSION

This study addresses a core challenge in construction asset management: the optimization of expressway maintenance through the application of digital solutions. Through an empirical validation on the Ho Chi Minh City-Long Thanh Expressway, this research demonstrates the transition from traditional reactive methods to predictive maintenance planning, enabled by a data-driven forecasting model. The high predictive accuracy of the implemented LSTM model ($R^2 = 0.951$) and significant projected economic benefits, including an estimated 141% ROI, provide a quantitative basis for incorporating AI-driven forecasts into maintenance management protocols. Ultimately, this study contributes a validated AI-driven forecasting model as a

replicable digital solution for infrastructure asset management, directly addressing practical challenges within the Construction Management field, particularly in developing nations.

REFERENCES

- [1] Dieu Tien Bui; Nhat-Duc Hoang; Viet-Ha Nhu: A swarm intelligence-based machine learning approach for predicting soil shear strength for road construction: a case study at Trung Luong National Expressway Project (Vietnam). *Engineering with Computers*. 35, 955965 (2019).
- [2] Yao, K.: AI-driven innovations in automation and urban management. *Applied and Computational Engineering*. (2024)
- [3] Kok, C.L., Ho, C.K., Lee, C., Thanh, N.T.C., Teo, T.H.: Integration of AI in Smart Electric Drivetrains. In: 2024 IEEE 17th International Symposium on Embedded Multicore/Many-core Systems-on-Chip (MCSoc), pp. 86-90 (2024)
- [4] Debra Henneberry; Dimitrios Ziakkas; Florian Doerstein: The role of Artificial Intelligence (AI) applications in Aviation Risk Management. Presented at the 13th International Conference on Human Interaction & Emerging Technologies: Artificial Intelligence & Future Applications (2025)
- [5] Vo, Q., D., X.N.V.; Nguyen, N.T.; Nguyen, T.H.T.; Ly, H.B.: Assessing the applicability of international AI practices in construction management: A systematic review with implications for Vietnam. *Journal of Science and Transport Technology*. (2024)
- [6] Sheela N. Hundekari; Tanusha Mittal; Amit Dutt; Munugapati Bhavana; Rakesh Kumar; Ginni: AI-Driven Solutions for Predictive Maintenance in Smart Transportation Systems - Consensus. Presented at the International Conference on Computational, Communication and Information Technology (ICCCIT) (2025)
- [7] Taiwo Oluwale Sobiji, Christopher Chuku Egbuna, Saheed Remi Kareem, Raphael Oluwatobiloba Lawal: AI-driven predictive maintenance systems for loss prevention and asset protection in subsea operations. *World J. Adv. Res. Rev.* 25, 923–933 (2025). <https://doi.org/10.30574/wjarr.2025.25.2.0460>
- [8] Cai, R.: Shenzhen Expressway Intelligent Management and Maintenance System and its application. 120501-120501 (2021). <https://doi.org/10.1117/12.2613676>
- [9] Bui, H.Q.; P., Q.T.B.; Nguyen, H.T.: AI adoption: a new perspective from accounting students in Vietnam. *Journal of Asian Business and Economic Studies*. 40–51 (2025)
- [10] Senthilraja, R., Jayapoorani, S., Prabhu, S., Ali, A.M., Arun, M.: AI-Driven Predictive Maintenance for Smart Manufacturing Systems Using Digital Twin Technology. *International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering*. (2025). <https://doi.org/10.22399/ijcesen.1099>
- [11] Akkasali Neelakantachari, Raghavendra Pujar, Nataraja B S: AI-Enabled IoT for smart cities and infrastructure. *World Journal of Advanced Research and Reviews*. 9, (2021)
- [12] Ojadi, J.O., Akindele Owulade, O., Independent Researcher, Nigeria, Somtochukwu Odionu, C., Independent Researcher, USA, Onukwulu, E.C., Independent Researcher, Lagos, Nigeria: AI-Driven Optimization of Water Usage and Waste Management in Smart Cities for Environmental Sustainability. *ETJ*. 10, (2025). <https://doi.org/10.47191/etj/v10i03.36>
- [13] Thomas Hadiyana, Seo Ji-hoon: AI-Driven Urban Planning: Enhancing Efficiency and Sustainability in Smart Cities. *ITEJ (Information Technology Engineering Journals)*. 9, (2024). <https://doi.org/10.24235/itej.v9i2.124>
- [14] Ammar Bajwa, Faria Jahan, Noor alam Siddiqui, Ishfaq Ahmed: A systematic literature review on ai-enabled smart building management systems for energy efficiency and sustainability. *American Journal of Scholarly Research and Innovation*. 03, (2025). <https://doi.org/10.63125/4sijn272>
- [15] Adedamola Abiodun Solanke: Enterprise DevSecOps: Integrating security into CI/CD pipelines for regulated industries. *World J. Adv. Res. Rev.* 13, 633-648 (2022). <https://doi.org/10.30574/wjarr.2022.13.2.0121>
- [16] Sài Gòn Giải Phóng: Giao thông trên tuyến cao tốc TP.HCM-Long Thành: cấp thiết khắc phục tình trạng ùn tắc, <https://www.sggp.org.vn/giao-thong-tren-tuyen-cao-toc-tp-hcm-long-thanh-cap-thiet-khac-phuc-tinh-trang-un-tac-post756183.html>, (2025)
- [17] Investment and Trade Promotion Center: Overloaded HCMC-Long Thanh Expressway set for expansion, <https://tptc.hochiminhcity.gov.vn/web/en/-/overloaded-hcmc-long-thanh-expressway-set-for-expansion>, (2024)
- [18] VNExpress International: Traffic chaos grips eastern HCMC as construction chokes key routes, <https://e.vnexpress.net/news/news/traffic-chaos-grips-eastern-hcmc-as-construction-chokes-key-routes-4916296.html>, (2025)
- [19] Author's compilation based on internal communications and field estimates provided by technical personnel of the Vietnam Expressway Corporation (VEC) concerning the HCMC-Long Thanh-Dau Giay Expressway, 2023-2025. Unpublished internal source, (2025)
- [20] Vietnam News Agency (VNA): High traffic growth on VEC's expressways, <https://vietnamnews.vn/society/1664673/high-traffic-growth-on-vec-s-expressways.html>, (2024)
- [21] Okpala, C., Chikwendu, U., Onyeka, N.C.: Artificial Intelligence-Driven Total Productive Maintenance: The Future of Maintenance in Smart Factories. *International Journal of Engineering Research and Development*. 21, 68-74 (2025)
- [22] Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Shubra, Benha University, Cairo, Egypt., Gomaa, Prof.Dr.A.H.: RCM 4.0: A Novel Digital Framework for Reliability-Centered Maintenance in Smart Industrial Systems. *IJES*. 13, 32–43 (2025). <https://doi.org/10.35940/ijese.e2595.13050425>
- [23] Lam Dao Duy, Anh Le Duc, Dong Nguyen Trong: Risk management of expressway bridge projects in Vietnam: Current status and future researches. (2021)
- [24] TH Hai, D Van Hiep: Application of Intelligent Transportation Systems... - Google Scholar. In: Institute of Planning and Transportation Engineering (IPTE) (2012)
- [25] Nampalli, R.C.R.: Leveraging AI and Deep Learning for Predictive Rail Infrastructure Maintenance: Enhancing Safety and Reducing Downtime. *int. jour. eng. com. sci.* 12, 26014-26027 (2024). <https://doi.org/10.18535/ijecs/v12i12.4805>
- [26] Salehi, V.: Application of Systems Engineering in context of building 3D Environment for Autonomous Vehicle Systems in an industrial context for Central Car Computing. *Journal of Intelligent System of Systems Lifecycle Management*. 1, (2025). <https://doi.org/10.71015/qgdjwv03>

Experimental And Numerical Solution Study on Beam Behavior Using High-Performance Steel Fiber-Reinforced

Nghiên cứu thực nghiệm và mô phỏng số ứng xử uốn bê tông tính năng cao gia cường cốt sợi thép

> **VUONG THI NGOC HAN¹, NGUYEN DUY LIEM^{1,*}, NGUYEN HUYNH TAN TAI¹, LE VAN BACH²**

¹ Faculty of Civil Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology and Education, Ho Chi Minh City, Vietnam

² Faculty of Civil Engineering, Campus in Ho Chi Minh City, University of Transport and Communications, Vietnam

*Corresponding author's, Email: liemnd@hcmute.edu.vn

ABSTRACT

The study investigates the flexural behavior of high-performance fiber-reinforced concrete (HPFRC) beams through a combination of an experimental program and finite element simulations. Three-point bending tests were conducted on beams with dimensions of $200 \times 200 \times 1300$ mm with a span length of 1200 mm. The HPFRC mixture was incorporated with hybrid fiber reinforcement, comprising 0.5% by volume of hooked-end fibers and 1.5% by volume of straight smooth fibers. The experimental results show that the HPFRC beam exhibited superior bending performance with a ductility index of 3.88 and an ultimate moment capacity of 28.32 kN.m. Furthermore, the numerical solution using triangular and quadrilateral elements reproduced the response curve of the HPFRC beam, with triangular elements achieving predictions closer to experimental results. These findings highlight the efficiency of hybrid fiber reinforcement and the importance of element type and mesh refinement in finite element analysis.

Keywords: Response curve, Moment resistance, High-performance fiber-reinforced concrete (HPFRC), Experimental program, Numerical simulation.

TÓM TẮT

Nghiên cứu này đánh giá ứng xử của dầm bê tông tính năng cao (HPFRC) kết hợp giữa chương trình thực nghiệm và mô phỏng phần tử hữu hạn. Các thử nghiệm uốn ba điểm đã được tiến hành trên dầm có kích thước $200 \times 200 \times 1300$ mm với chiều dài nhịp 1200 mm. Hỗn hợp HPFRC được thêm vào cốt sợi lai, bao gồm 0,5% thể tích sợi móc và 1,5% thể tích sợi thẳng trơn. Kết quả thí nghiệm cho thấy dầm HPFRC thể hiện khả năng kháng uốn vượt trội với chỉ số dẻo là 3.88 và sức kháng mômen là 28.32 kN.m. Hơn nữa, phương pháp số sử dụng các phần tử tam giác và tứ giác được cung cấp đường cong ứng xử của dầm HPFRC, với các phần tử tam giác đạt được dự đoán gần hơn với kết quả thực nghiệm. Những phát hiện này làm nổi bật hiệu quả của cốt sợi lai và tầm quan trọng của loại phần tử và tinh chỉnh lưới trong phân tích phần tử hữu hạn.

Keywords: Đường cong ứng xử, mô men kháng uốn, Bê tông tính năng cao gia cường cốt sợi, Thực nghiệm, Mô phỏng số.

1. INTRODUCTION

High-performance fiber-reinforced concrete (HPFRC) has emerged as an innovative material in structural engineering, offering enhanced mechanical properties such as superior tensile strength [1-2], ductility, high crack resistance [3,4] and energy absorption compared to conventional concrete [5,6]. These attributes make HPFRC particularly suitable for applications in structural elements subjected to complex loading conditions, such as beams subjected to bending. The incorporation of hybrid fiber reinforcement, combining different fiber types, further optimizes the material's performance by addressing both micro- and macro-cracking, thereby improving post-crack behavior and structural resilience. However, the flexural behavior of HPFRC beams under flexural loading remains an area that requires

comprehensive investigation to establish reliable design methodologies.

Although many studies have addressed related topics, particularly those focusing on HPFRC beams, there is still a need for further research using both experimental and numerical approaches. More work is required on beams incorporating hybrid fiber systems that use two or more types of steel fibers. Therefore, this research was undertaken to address this gap.

2. EXPERIMENTAL PROGRAM

2.1. Materials and specimen preparation

Table 1 summarizes the composition of the mortar matrix used in this study, with a compressive strength of 80.65 MPa. The

concrete mixture was prepared using cement (INSEE), silica sand, silica fume, fly ash, and superplasticizer.

Table 1. Composition and compressive strength of HPFRC mortar matrix

Mixture type	Cement (INSEE)	Silica sand	Silica fume	Fly ash	Superplasticizer	Water
HPFRC	0.80	1.00	0.07	0.20	0.04	0.26

The main components of the fly ash used in this study was SiO_2 , accounting for 56.25% of its composition. The specific gravity values of cement, silica fume, and fly ash were 3.15, 2.24, and 2.41 g/cm^3 , respectively. Figure 1. shows a photograph of the fibers used in this study, while Table 2 presents their properties. As listed in Table 2, two types of fibers were incorporated into the mortar matrix: 0.5% hooked-end fiber and 1.5% straight smooth fiber, with lengths and diameters of 35 mm / 0.5 mm and 13 mm / 0.2 mm, respectively.

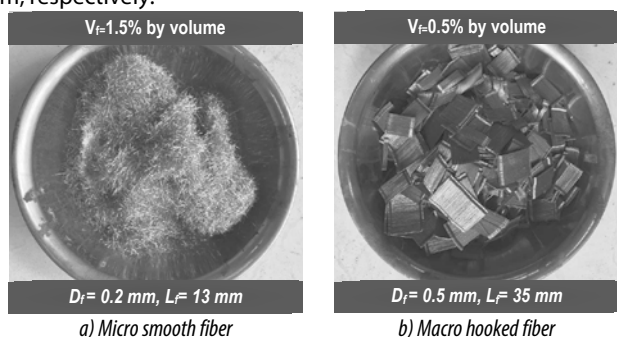


Figure 1. Photos of the fibers used

Table 2. Properties of the fibers

Fiber type	Micro smooth fiber	Macro hooked fiber
Product origin	Vietnam	Vietnam
Diameter (mm)	0.2	0.5
Length (mm)	13	35
Aspect ratio (Length / Diameter)	65	70
Density (g/cm^3)	7.9	7.9
Tensile strength (MPa)	> 1200	> 2500
Elastic modulus E (GPa)	200	200

Figure 2. shows the detailed dimensions of the HPFRC beam with $200 \times 200 \times 1300$ mm and a span length of 1200 mm. The beam was reinforced with two steel bars of 6 mm and 12 mm, as shown in Figure 2. The entire process of mixing and curing the HPFRC beam followed the methodology presented by the authors in previous studies [7].

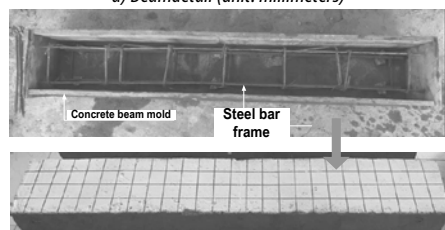
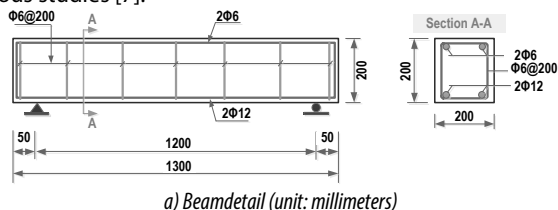


Figure 2. Photos of beam preparation

2.2. Experimental setup

The flexural tests were conducted using a universal testing machine (UTM) with a load capacity of 1000 kN. Figure 3 shows the photos of the experimental setup for flexural testing of all HPFRC beams. The load and corresponding displacement were applied under bending at a rate of 1 mm/min. The response curves of applied load (P) and mid-span deflection (d) were recorded with a frequency of 1 Hz. The moment resistance of flexural beams at yield (M_u) and peak point (M_p) at mid-span was calculated based on the yield load (P_y), peak load (P_p), and span length (L) as follows:

$$M_u = \frac{P_y L}{4} \quad \text{for yield point}$$

$$M_p = \frac{P_p L}{4} \quad \text{for peak point}$$

All experiments were conducted at room temperature of $28 \pm 5^\circ\text{C}$ and relative humidity of 60% to 80%. The compressive and tensile test results are detailed in the document by Nguyen et al. [8].

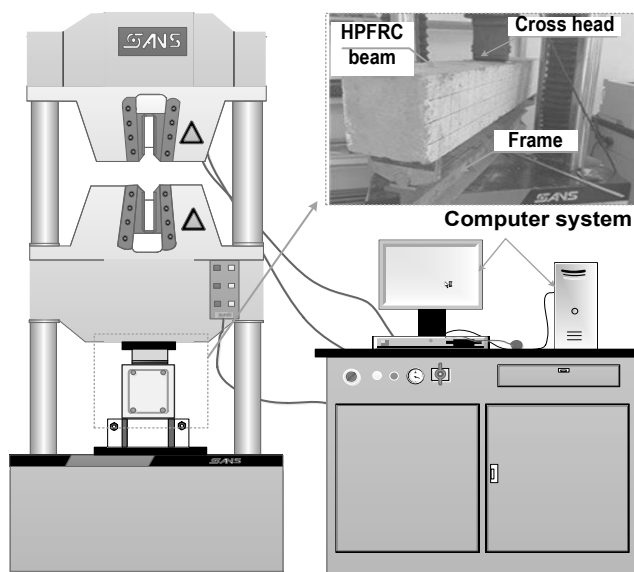


Figure 3. Test setup with three-point bending

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Mechanical properties result of the studied beam

Figure 4 shows the moment versus mid-span deflection curves of the studied beam. According to Figure 4, the response curve of $M-d$ of the HPFRC beam under bending and the failure after crack localization and strain hardening of the HPFRC beam. Initial yielding occurred in the longitudinal tensile reinforcement, after which the concrete in the compression zone at mid-span experienced crushing.

Table 3 provides the parameters mechanical properties of the studied beam, including yield load (P_y), yield deflection (δ_y), peak load (P_p), and deflection at peak (δ_p). As provided in Table 3, the HPFRC beam had the values of $P_y = 86.17$ kN, $\delta_y = 5.15$ mm, $P_p = 94.41$ kN, $\delta_u = 19.97$ mm, respectively.

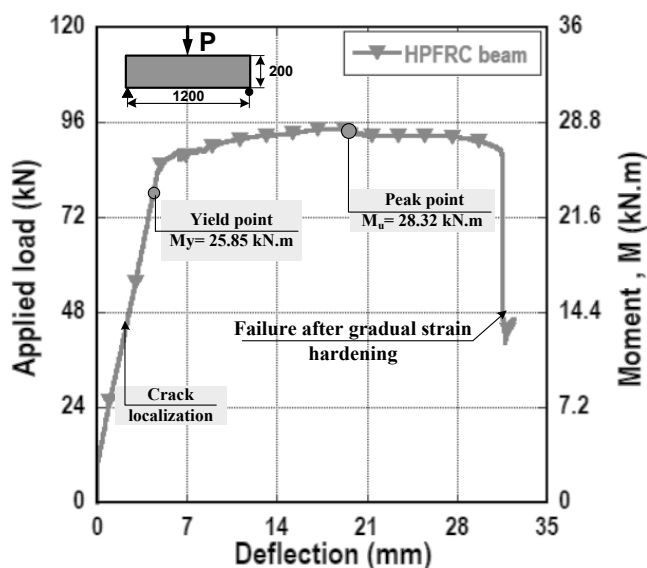


Figure 4. Response curve of HPFRC beam

Table 3. Mechanical parameters of HPFRC beam

State	Mechanical parameters	Unit	Value
Yield point	Yield load, P_y	kN	86.17
	Yield deflection, M_p	mm	5.15
	Moment resistance	kN.m	25.85
Peak point	Peak load, P_p	kN	94.41
	Deflection at peak, δ_p	mm	19.97
	Moment resistance, M_p	kN.m	28.32
Ductility index, $DI = \frac{\delta_u}{\delta_p}$			3.88
θ (degree of crack)			80
Failure mode			Moment

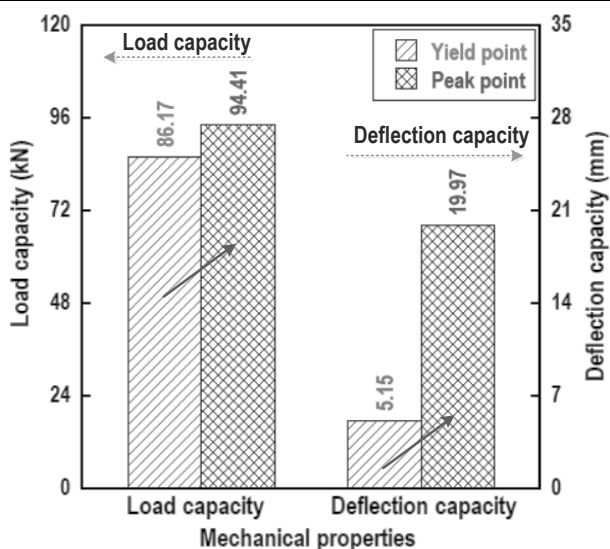


Figure 5. Mechanical properties of HPFRC beam

Figure 5 shows the mechanical properties of the studied beam under bending at yield and peak point. The deflection capacity increased from 5.15 to 19.97 mm at yield and point stage. This

indicates that after yielding, the HPFRC beam can sustain a substantial deflection before failure, demonstrating its excellent ductility. Figure 6 shows the moment resistance (Figure. 6a) and ductility index (Figure. 6b) of HPFRC beam. According to Figure 6b, the HPFRC beam achieved a ductility index of 3.88, which falls within the acceptable range for structural performance from 3 to 5.

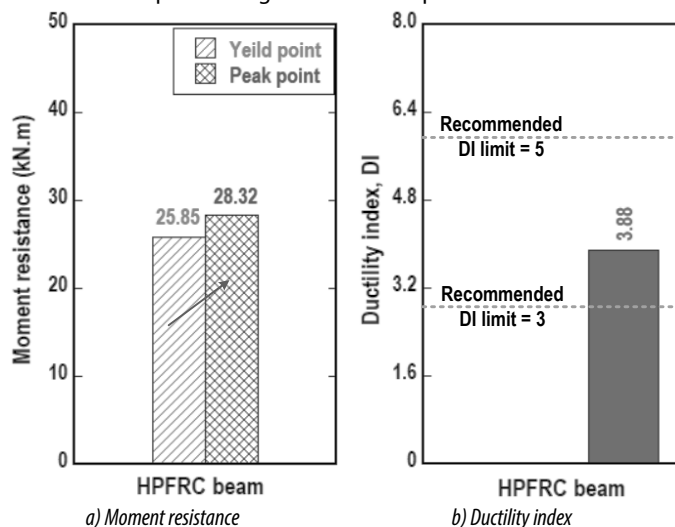


Figure 6. Moment resistance and ductility index of studied beam

Figure 6 displays crack patterns observed in experiments the beam HPFRC in this study. The angle between the diagonal crack and longitudinal axis (θ) of the beam was measured as $\theta = 80^\circ$. The cracking behavior of the HPFRC beam was significantly influenced by the type and arrangement of reinforcement.

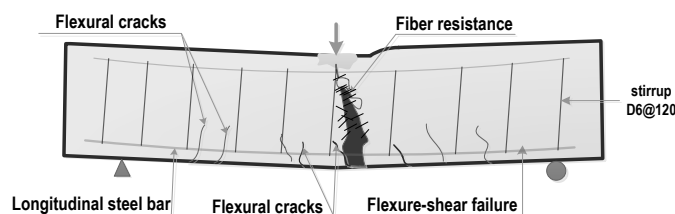
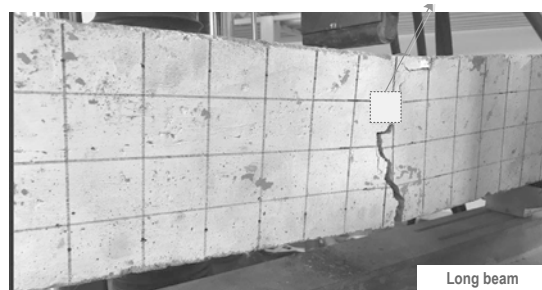


Figure 6. Crack patterns of HPFRC beam at the ultimate states

4. NUMERICAL SOLUTION OF HPFRC BEAM

4.1. Mesh description and boundary conditions

The finite element model (FEM) in ATENA software v5.0 [9] was used to investigate the numerical analysis of the HPFRC beam under 3BP. Since the analysis was conducted in Demo mode, the total number of elements was restricted to fewer than 300. Figure 7 displays the half of each beam mesh layout with geometry involving and loading symmetry.

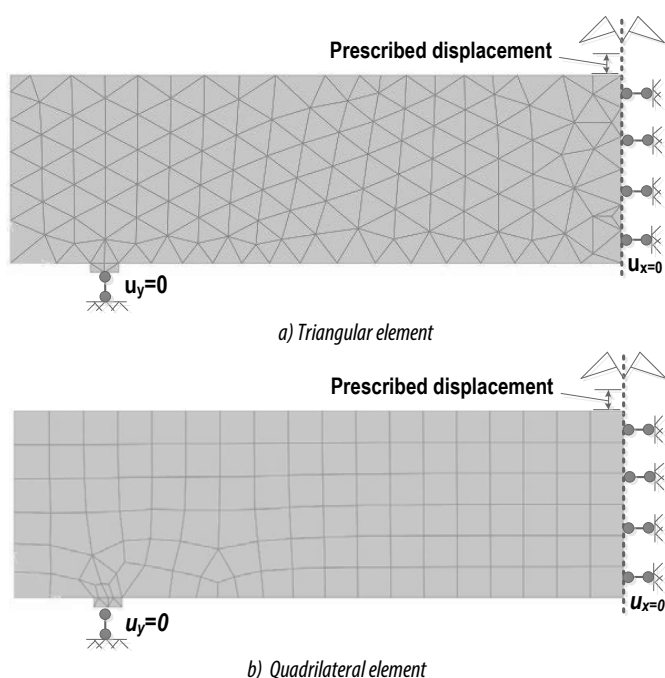


Figure 7. Finite element modelling

The mesh comprised two-dimensional triangular solid elements (Figure. 7a) and quadrilateral elements (Figure 7b), with truss elements modeling the steel reinforcement. Due to the Demo mode limit of fewer than 300 elements, the element size was set to 0.035 m to ensure numerical convergence. Horizontal displacement of all nodes was restrained, while vertical displacement was fixed at the mid-bottom steel support. An incremental prescribed displacement was applied to nodes near the symmetry axis. A perfect bond was assumed between concrete and steel, and the nonlinear analysis was solved using the Newto-Raphson method.

4.2. Modelling material behavior and failure laws

A numerical investigation was conducted in ATENA using the SBeta Material and 3D Nonlinear Cementitious 2 User models [10] to simulate the flexural behavior of steel fiber-reinforced high-strength concrete beams. The Einstein summation convention was applied throughout unless stated otherwise. The strain tensor was decomposed into elastic, plastic, and fracture components, defined by the principal directions at crack initiation. Concrete crushing was modeled with the Menétrey-Willam yield surface incorporating hardening and softening. The uniaxial tensile and compressive responses are shown in Figure 8a, and the admissible stress zone in two principal directions in Figure 8b. Model parameters were calibrated through trial and error to match experimental results.

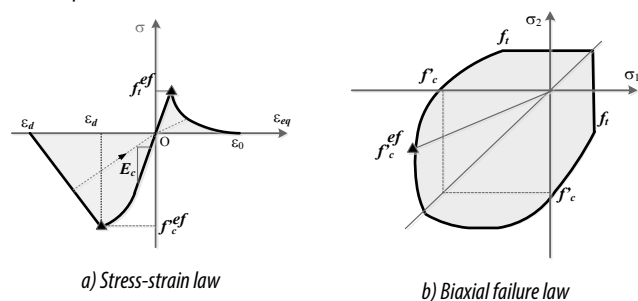


Figure 8. Illustration of concrete behavior and failure laws

4.3. Finite element simulation of HPFRC beam under three-point bending

Table 4 provides a comparison of experimental results and numerical simulations for the studied beams, including moment resistance and deflection capacity. Overall, the results obtained of

M_u using FEM relatively closely match the experimental values. As provides in Table 4, the simulation employing triangular elements yielded a $M_u = 27.18$ kN.m and a corresponding displacement of 5.58 mm, whereas the quadrilateral element simulation resulted in a slightly lower moment capacity of 25.37 kN.m but a higher displacement of 8.46 mm, indicating an interaction between stiffness and deformation in different meshing strategies. This discrepancy can likely be attributed to measurement effects during testing, which reflect the total displacement of the Universal Testing Machine (UTM) plates. These measurements include additional deformations caused by local material failures at the supports and load application points. This finding underscores the effectiveness of the calibrated ATENA material models in capturing the mechanical performance of HPFRC beams and clearly demonstrates their predictive capability.

Table 4. Results of experiment and numerical simulation

Moment Resistance					
Experiment		Simulation (triangular element)		Difference	
M_u (kN.m)	δ_u (mm)	M_u (kN.m)	δ_u (mm)	M_{MOR} (%)	δ_{MOR} (%)
28.32	19.97	27.18	5.58	4.03	72.06
		Simulation (quadrilateral element)		Difference	
		25.37	8.46	10.42	57.64

Figure 9 shows the comparison of flexural responses between experiment results and numerical solution obtained from triangular element and quadrilateral element simulation of HPFRC beam. Generally, the flexural responses of the HPFRC beam using both triangular and quadrilateral elements closely matched the experimental response.

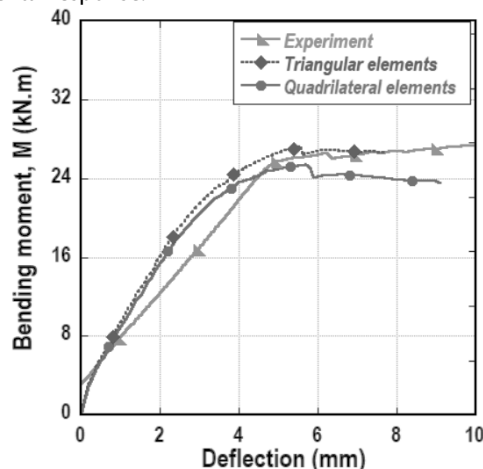


Figure 9. Comparison of flexural responses between experiment and simulation

4.4. Effect of meshing size on the moment capacity in finite element method of HPFRC beam

Figure 10 illustrates the change in moment capacity for both triangular and quadrilateral elements at various mesh sizes: 3.5, 5, 7, 10 cm. According to Figure 10, as the mesh size increases in HPFRC beam, this leads to a clear trend of convergence towards the experimental moment capacity ($M_u = 28.32$ kN.m) is observed. In detail, the moment capacity changes from 27.18 to 28.07 kN.m for mesh sizes between 3.5 and 10 cm in triangular elements. This indicates that triangular elements can capture the nonlinear flexural behavior of the HPFRC beam effectively, even with coarser

meshes. For quadrilateral elements, the mesh sizes from 3.5 to 10 cm show predicted moment capacities are significantly lower than the experimental result (22.88-24.11 kN.m), suggesting that the reduced number of integration points and larger element size may lead to underestimation of local stress concentrations and post-cracking behavior. As the mesh is refined to 3.5 cm, the result improves to 25.37 kN.m, approaching the experimental capacity, though still slightly underestimated.

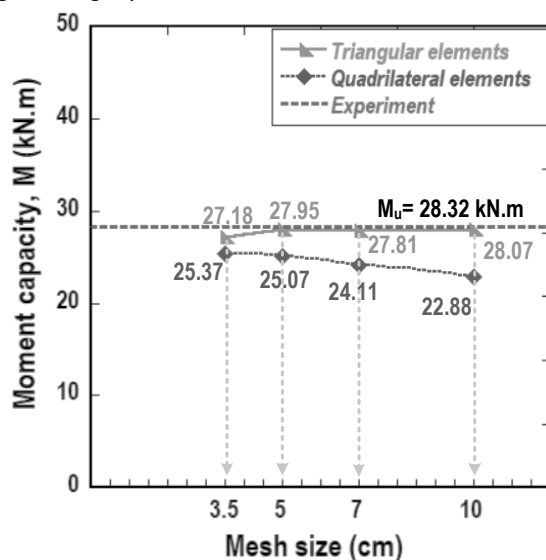


Figure 10. Effect of mesh size on moment capacity for triangular and quadrilateral elements

4.5. Crack pattern and failure mode

Figure 11 shows the crack pattern and failure mode of the studied beam. According to Figure 11, the moment failure in the HPFRC beam indicated that horizontal steel reinforcement was insufficient to resist the internal moment generated during loading. The vertical flexural cracks developed progressively in the mid-span region as the applied load increased. These cracks continued to propagate and widen, culminating at the point where the maximum bending moment occurred. The main crack was observed at the mid-span of the beam, corresponding to the location of the maximum bending moment.

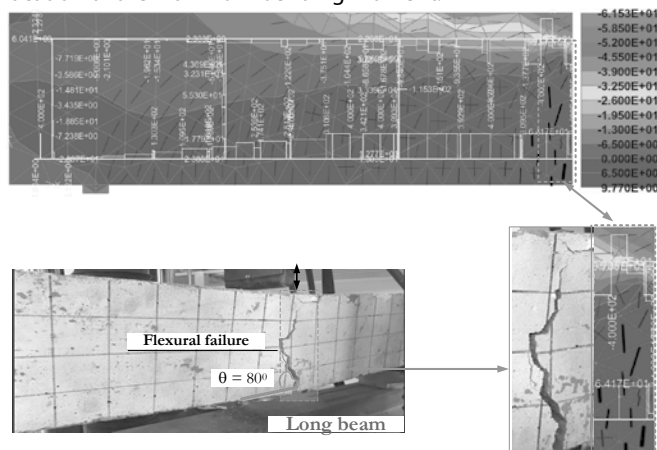


Figure 11. Comparing crack pattern and failure mode of HPFRC beam

5. CONCLUSION

Based on the experimental results and analysis, the following conclusions can be herein:

- The HPFRC beam exhibits a high ductility index of 3.88 and an ultimate moment capacity of 28.32 kN.m.

- The numerical simulation accurately estimated the moment capacity and failure modes of the HPFRC beam. The difference between the numerical results and experimental data was less than 5%. However, the deflection and crack pattern were not predicted as accurately.

- The triangular elements provided more accurate estimates of moment resistance compared to the quadrilateral elements for the HPFRC beam. A mesh size of ≤ 3.5 cm is recommended, regardless of element type, to ensure convergence and reliable agreement with experimental results.

Acknowledgement: This work belongs to the project grant No: T2025 - 252 funded by Ho Chi Minh City University of Technology and Education, Vietnam.

REFERENCES

- [1]. D.L. Nguyen, D.J. Kim, G.S. Ryu, K.T. Koh, Size Effect on flexural behavior of ultra-high-performance hybrid fiber-reinforced concrete, *Compos. B* 45 (2013) 1104-1116. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.07.012>
- [2]. Lam, K.-K., Nguyen, D.-L., Le, T. M., & Tran, N.-T. (2024). Flexural and fracture behavior of high-performance concrete using notch specimen. *Journal of Science and Technology in Civil Engineering (JSTCE) - HUCE*, 18(3), 102-113. [https://doi.org/10.31814/stce.huce2024-18\(3\)-08](https://doi.org/10.31814/stce.huce2024-18(3)-08).
- [3]. Naaman, A. E. (2002). Toughness, ductility, surface energy and deflection-hardening FRC composites. In *Proc. JCI Int. Workshop on Ductile Fiber Reinforced Cementitious Composites (DFRCC)*, 2002.
- [4]. Park, S. H., Kim, D. J., Ryu, G. S., & Koh, K. T. (2012). Tensile behavior of ultra high performance hybrid fiber reinforced concrete. *Cement and Concrete Composites*, 34(2), 172-184. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2011.09.009>
- [5]. Nguyen, D. L., Ryu, G. S., Koh, K. T., & Kim, D. J. (2014). Size and geometry dependent tensile behavior of ultra-high-performance fiber-reinforced concrete. *Composites Part B: Engineering*, 58, 279-292. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.10.072>
- [6]. Nguyen, D. L., Le, H. V., Nguyen, V. T., & Tran, N. T. (2023). Evaluating fracture characteristics of ultra-high-performance fiber-reinforced concrete in flexure and tension with size impact. *Construction and Building Materials*, 382, 131224. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131224>
- [7]. Nguyen, D. L., Tran, V. T., Tran, N. T., Ngo, T. T., & Nguyen, M. T. (2021). Evaluating load-carrying capacity of short composite beam using strain-hardening HPFRC. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 25(4), 1410-1423. <https://doi.org/10.1007/s12205-021-1327-8>
- [8]. Nguyen, D. L., Thai, D. K., Nguyen, H. T., Nguyen, T. Q., & Le-Trung, K. (2021). Responses of composite beams with high-performance fiber-reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 270, 121814.
- [9]. Červenka Consulting. ATENA Program Documentation - Part 1: Theory. Retrieved from <https://www.cervenka.cz/> on July 2021.
- [10] Nguyen, D. L., & Nguyen, H. T. (2022). Numerical Study on Bending Resistance of Composite Beam Containing Conventional Concrete and HPFRC. In *Recent Advances in Structural Health Monitoring and Engineering Structures: Select Proceedings of SHM and ES 2022* (pp. 165-174). Singapore: Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-4835-0_13



CÔNG TY CỔ PHẦN XE KHÁCH BẮC GIANG



Công ty Cổ phần xe khách Bắc Giang (BJC), tiền thân là Công ty vận tải hành khách Hà Bắc và được thành lập năm 1999. Công ty là doanh nghiệp đầu tiên của tỉnh được cổ phần hóa từ doanh nghiệp Nhà nước sang Công ty cổ phần và hoạt động theo Luật Doanh Nghiệp.

Sau hơn 25 năm chuyển đổi và phát triển, đến nay Công ty có số vốn điều lệ là 50 tỷ đồng. Toàn bộ số vốn điều lệ trên đều do các cổ đông là Cán bộ công nhân viên trong Công ty đóng góp. Công ty hiện có 15 đơn vị thành viên trực thuộc, tổng số cán bộ công nhân viên kể cả thuê theo thời vụ, thuê ngoài dao động khoảng 240 người. Trong đó số lao động nữ 52 người.

LĨNH VỰC HOẠT ĐỘNG CHỦ YẾU CỦA CÔNG TY LÀ:

- ✓ Kinh doanh vận tải hành khách bằng xe ô tô
- ✓ Kinh doanh xăng dầu
- ✓ Đào tạo lái xe mô tô, ô tô, nghề ngắn hạn
- ✓ Kinh doanh bến bãi

Địa chỉ: Số 167 đường Xương Giang, Phường Bắc Giang, Tỉnh Bắc Ninh

Điện thoại: +84 204 3854 245 - Số tổng đài: 1900 8293

Email: ctcpxeKhachBacGiang@gmail.com

Website: xeKhachBacGiang.com.vn



XI MĂNG CẨM PHẢ
CÔNG NGHỆ NHẬT BẢN



CÔNG TY CỔ PHẦN XI MĂNG CẨM PHẢ

 (+84-203) 3 721995
(+84-203) 3 721996
 (+84-203) 3 714605

 Địa chỉ: Khu công nghiệp Mỹ Xuân A,
Phường Phú Mỹ, TP Hồ Chí Minh,
Việt Nam

CHI NHÁNH PHÍA NAM

 (+84-254) 3899 630
 (+84-254) 3899 629

 VP TP HCM: Lầu 6 số 47 Điện Biên Phủ,
Phường Tân Định, TP Hồ Chí Minh