

**HỘI CƠ HỌC VIỆT NAM**



**Tuyển tập công trình khoa học**  
**Hội nghị Cơ học toàn quốc lần thứ XI**

Hà Nội, 02-03/12/2022

**Tập 1. Cơ học Vật rắn, Cơ học Đá, Trí tuệ nhân tạo,  
Giảng dạy và Đào tạo**

**NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC TỰ NHIÊN VÀ CÔNG NGHỆ**

Accepted Manuscripts

Accepted Manuscripts

**HỘI CƠ HỌC VIỆT NAM**

**Tuyển tập công trình khoa học**  
**Hội nghị Cơ học toàn quốc lần thứ XI**

Hà Nội, 02-03/12/2022

**Tập 1. Cơ học Vật rắn, Cơ học Đá, Trí tuệ nhân tạo, Giảng dạy và Đào tạo**

**HÀ NỘI, 2022**



**Tuyển tập công trình khoa học Hội nghị Cơ học toàn quốc lần thứ XI  
Hà Nội, 02-03/12/2022**

**Tập 1. Cơ học Vật rắn, Cơ học Đá, Trí tuệ nhân tạo, Giảng dạy và Đào tạo**

Accepted Manuscripts

## **BAN KHOA HỌC**

*Trưởng ban:* Nguyễn Tiên Khiêm.

*Phó Trưởng ban:* Nguyễn Đình Đức, Hoàng Văn Huân, Nguyễn Xuân Hùng, Nguyễn Văn Khang, Phan Bùi Khôi, Trần Ích Thịnh, Nguyễn Đăng Tộ, Đỗ Như Tráng.

*Ủy viên:* Nguyễn Đông Anh, Đào Huy Bích, Nguyễn Đăng Bích, Lê Văn Cảnh, Ngô Huy Cẩn, Phạm Đức Chính, Nguyễn Thái Chung, Nguyễn Đức Cường, Nguyễn Phong Điền, Nguyễn Văn Điệp, Bùi Văn Ga, Dương Ngọc Hải, Vũ Công Hàm, Nguyễn Thế Hùng, Nguyễn Quốc Hưng, Ngô Như Khoa, Nguyễn Việt Khoa, Nguyễn Trung Kiên, Trần Văn Liên, Nguyễn Hữu Lộc, Hoàng Xuân Lượng, Nguyễn Xuân Lựu, Đào Như Mai, Nguyễn Xuân Mãn, Đinh Văn Mạnh, Trần Văn Nam, Ngô Kiều Nhi, Nguyễn Ân Niên, Nguyễn Văn Phó, Đinh Văn Phong, Khúc Văn Phú, Nguyễn Thiện Phúc, Phạm Hồng Phúc, Nguyễn Trọng Phước, Lê Quang, Vũ Duy Quang, Trần Quốc Quân, Lê Minh Quý, Ngô Văn Quyết, Nguyễn Chi Sáng, Đỗ Sanh, Nguyễn Hoài Sơn, Lê Lương Tài, Phạm Mạnh Thắng, Trương Tích Thiện, Bùi Quốc Tính, Vũ Quốc Trụ, Nguyễn Thời Trung, Trần Đức Trung, Trần Minh Tú, Hoàng Văn Tung, Lã Đức Việt, Nguyễn Trung Việt, Phạm Chí Vĩnh.

## **BAN TỔ CHỨC**

*Đồng Trưởng ban:* Nguyễn Đình Đức, Trần Văn Liên.

*Phó Trưởng ban:* Lê Văn Cảnh, Nguyễn Thị Việt Liên, Trần Văn Nam.

*Ủy viên:* Chu Thanh Bình, Trần Anh Bình, Lương Xuân Bính, Thái Hoàng Chiến, Phạm Hồng Công, Nguyễn Tiến Dũng, Phan Hải Đăng, Phạm Tiến Đạt, Nguyễn Phong Điền, Phạm Minh Hải, Trần Thanh Hải, Vũ Công Hàm, Hà Ngọc Hiến, Nguyễn Quang Hoàng, Hoàng Văn Huân, Phan Bùi Khôi, Đặng Bảo Lâm, Đào Như Mai, Dương Tuấn Mạnh, Phan Đăng Phong, Cao Văn Phường, Vũ Ngọc Pi, Trần Quốc Quân, Nguyễn Hoài Sơn, Nguyễn Hồng Thái, Đặng Ngọc Thanh, Châu Đình Thành, Phạm Mạnh Thắng, Nguyễn Đăng Tộ, Nguyễn Xuân Toàn, Phạm Quốc Tuấn, Trần Thanh Hải Tùng

## **BAN THƯ KÝ**

*Trưởng ban:* Nguyễn Thị Việt Liên.

*Ủy viên:* Vũ Thị Thùy Anh, Nguyễn Tiến Cường, Phan Hải Đăng, Trần Bình Định, Trần Thị Thu Hà, Nguyễn Quang Hoàng, Đặng Bảo Lâm, Phan Thị Cẩm Ly, Đào Như Mai, Dương Tuấn Mạnh, Phùng Văn Phúc, Nguyễn Tất Thắng, Nguyễn Kim Thoa, Phạm Quốc Tuấn, Trần Ngọc Trung, Nguyễn Ngọc Vinh

## **BAN BIÊN TẬP**

*Tổng biên tập:* Nguyễn Tiến Khiêm.

*Với sự tham gia của:* Nguyễn Tiến Cường, Phan Hải Đăng, Trần Bình Định, Nguyễn Đình Đức, Nguyễn Quang Hoàng, Hoàng Văn Huân, Nguyễn Xuân Hùng, Nguyễn Văn Khang, Phan Bùi Khôi, Đặng Bảo Lâm, Trần Văn Liên, Nguyễn Thị Việt Liên, Đào Như Mai, Phùng Văn Phúc, Nguyễn Tất Thắng, Trần Ích Thịnh, Nguyễn Đăng Tô, Đỗ Như Tráng, Trần Ngọc Trung, Phạm Quốc Tuấn

Accepted Manuscripts

## LỜI NÓI ĐẦU

Hội nghị Cơ học toàn quốc, được tổ chức thường kỳ 5 năm, là diễn đàn của đội ngũ những người làm công tác nghiên cứu, giảng dạy và ứng dụng cơ học vào các lĩnh vực kỹ thuật và công nghệ.

Hội nghị Cơ học toàn quốc lần thứ XI do Hội Cơ học Việt Nam, Viện Cơ học và Trường Đại học Công nghệ phối hợp tổ chức vào ngày 02-03/12/2022 tại Trường Đại học Công nghệ (Đại học Quốc gia Hà Nội). Hội nghị là nơi trao đổi các thành tựu mới; các kết quả ứng dụng cơ học; các phương hướng nghiên cứu cơ học trong nước và trên thế giới nhằm phục vụ công cuộc xây dựng, phát triển đất nước và hội nhập quốc tế.

Hội nghị đã nghe và thảo luận hơn 190 báo cáo khoa học của các tác giả trong và ngoài nước thuộc các lĩnh vực cơ học, trong đó phần lớn là báo cáo khoa học của các cán bộ trẻ. Sau khi gửi các báo cáo cho các chuyên gia phản biện, 18 bài báo được đưa vào số đặc biệt của Tạp chí Cơ học, 136 bài báo được đăng trong Tuyển tập công trình khoa học của Hội nghị.

Tuyển tập gồm 2 tập:

Tập 1. Cơ học Vật rắn, Cơ học Đá, Trí tuệ nhân tạo, Giảng dạy và Đào tạo.

Tập 2. Động lực học và Điều khiển, Cơ học Thủy khí; Cơ học Tính toán; Cơ học Máy.

Ban Tổ chức cảm ơn sự tham gia nhiệt tình của các thành viên hội nghị.

Mong nhận được ý kiến đóng góp của bạn đọc về nội dung và hình thức Tuyển tập.

**Ban Biên tập**

Accepted Manuscripts



## Mục lục

Lời nói đầu	i
Mục lục	vii
<b>TIỂU BAN CƠ HỌC VẬT RẮN</b>	
<b>Bang Kim Tran and Thien Tich Truong</b> Analysis of three-dimensional crack propagation under hydrostatic load on gravity concrete dam	3
<b>Nguyễn Đăng Bích, Nguyễn Hoàng Tùng and Lê Xuân Tùng</b> Phân tích đáp ứng động lực của vỏ hình loa kèn bằng cách số hóa đường cong kinh tuyến	13
<b>Chu Thanh Bình, Trần Minh Tú, Nguyễn Văn Long and Nguyễn Tuấn Anh</b> Dao động của dầm Euler-Bernoulli bằng vật liệu xốp trong môi trường nhiệt dưới tác dụng của tải trọng di động	23
<b>Nguyen Thai Chung, Duong Thi Ngoc Thu, Nguyen Van Dang and Tran Van Binh</b> Dynamic analysis of stiffened functionally graded composite plates reinforced by carbon nanotubes subjected to moving mass using a new four - variable refined plate theory and FEM	33
<b>Phạm Hồng Công, Nguyễn Trọng Thương và Nguyễn Đình Đức</b> Dao động phi tuyến của vỏ thoải hai độ cong composite ba pha có lớp ngoài làm bằng vật liệu có tính chất điện từ trường đàn hồi	44
<b>Pham Tien Dat and Le Pham Binh</b> Dynamic buckling analysis of composite plate resting on elastic pinned using high order shear deformation theory	54
<b>Tien Dat Hoang, Van Truong Nguyen and Van Tu Nguyen</b> Tensile Performance of Continuous Fiber Reinforced Thermoplastic Printed by Fused Filament Fabrication	64
<b>Tien Dat Hoang, Van Truong Nguyen and Nguyen Van Tu</b> Tensile Performance of Continuous Fiber Reinforced Thermoplastic Printed by Fused Filament Fabrication	84
<b>Vũ Lâm Đông and Phạm Đức Chính</b> Đánh giá mới các hệ số đàn hồi cho một lớp vật liệu đa tinh thể Tetragonal	73
<b>Vu Minh Duc, Tran Ngoc Hung and Nguyen Thi Phuong</b> Nonlinear vibration of FG-CNTRC cylindrical panels with corrugated core using the FSDT	82
<b>Luong Viet Dung Luong, Dao Tien Lien and Duong Pham Tuong Minh</b> Equivalence model for analyzing nonlinear mechanical behavior of Corrugated Core Composite Panel	92
<b>Trương Thị Thùy Dung and Trần Thanh Tuấn</b> Sóng phẳng không chính trong môi trường đàn hồi trục hướng	100

<b>Le Thi Ha</b>	11
Free vibration of a bi-directional imperfect functionally graded nanobeams based on nonlocal Timoshenko beam theory	109
<b>Nguyễn Hải Quang, Nguyễn Tiến Chương and Phạm Thu Hiền</b>	
Nghiên cứu sử dụng mô hình khung trong tính toán kết cấu tường kép nhà cao tầng	119
<b>Nguyễn Tuấn Hải, Nguyễn Mạnh Cường và Nguyễn Quốc Hùng</b>	
Phân tích dao động của vỏ nón FGM có gân gia cường trên nền đàn hồi bằng phương pháp phần tử liên tục	129
<b>Vương Thị Ngọc Hân, Nguyễn Huỳnh Tấn Tài, Nguyễn Duy Liêm</b>	
Nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép gia cường đến sức kháng uốn của bê tông tính năng cao	139
<b>Vương Thị Mỹ Hạnh and Phạm Đức Chính</b>	
Các biên lập cho các mô đun đàn hồi dọc trục vĩ mô của vật liệu composite đồng phương đẳng hướng ngang tổng quát	151
<b>Dang Van Hieu, Nguyen Thi Hoa and Vu Hong Quan</b>	
Nonlinear bending analysis of functionally graded porous micro-plate resting on elastic foundation	161
<b>Lê Khả Hòa, Phạm Văn Hoàn and Đào Như Mai</b>	
Influence of porosity distribution pattern on the nonlinear stability of porous cylindrical shells under axial compression	172
<b>Dương Thanh Huân, Lê Vũ Quân and Nguyễn Tiến Khiêm</b>	
Phân tích đáp ứng cơ – điện của dầm FGM có vết nứt gắn lớp áp điện chịu tải trọng di động	182
<b>Trịnh Thị Thanh Huệ and Phạm Chí Vĩnh</b>	
Sóng Rayleigh trong bán không gian đàn hồi trục hướng phủ lớp đàn hồi trục hướng, không nén được, lệch trục	182
<b>Lê Thị Huệ</b>	
Công thức tỷ số H/V của sóng Rayleigh đối với bán không gian đàn hồi có biến dạng trước, chịu ràng buộc trong tổng quát	201
<b>Đặng Xuân Hùng, Trần Minh Tú and Hương Quý Trường</b>	
Phân tích phi tuyến tĩnh dầm sandwich gia cường GPL với các điều kiện biên khác nhau bằng phương pháp Ritz	212
<b>Đặng Xuân Hùng, Trần Minh Tú and Trần Đại Hào</b>	
Phân tích tĩnh tấm composite lớp FG-CNTRC trên nền đàn hồi Winkler/Pasternak/Kerr bằng phương pháp Pb2-Ritz	222
<b>Hung Ha Minh, Tuyen Vu Trung, Hung Bui Van, Duc Nguyen Van, Quan Nguyen Hoang, Khoan Bui Van</b>	
Research on the effect of plasma spray mode on mechanical - physical characteristics of composite material C45 carbon steel - al2o3-tio2 alloy	232
<b>Hung Ha Minh, Tuyen Vu Trung, Hung Bui Van, Quan Nguyen Hoang</b>	
Mathematical model for ecasts mechanical adhesion strength of two layers of composite material C45 carbon steel and Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - TiO <sub>2</sub> ceramic alloy made by plasma spraying technology	241



<b>Cong Ich Le, Thanh Tien Pham and Dinh Kien Nguyen</b>	
Large displacement analysis of beam and frame structure using a total Lagrange formulation	249
<b>Binh Khanh Ngo and Thien Tich Truong</b>	
Analysis the influence of particle size to the macroscopic behavior of duplex ferrite/martensite steel with representative volume element method	258
<b>Khoa Viet Nguyen, Thao Thi Bich Dao and Quang Nguyen Van</b>	
Influence of the varying axial force on the detection of diameter reduction of bridge cables using climbing robot	268
<b>Nguyễn Trung Kiên and Phạm Đức Chính</b>	
Hệ số dẫn nhiệt và các trường vi mô trong vật liệu composite cốt liệu cầu hoặc tròn có mặt tiếp xúc không hoàn hảo dạng Kapitza	278
<b>Trần Văn Liên, Trần Bình Định, Nguyễn Tất Thắng</b>	
Nghiệm chính xác cho bài toán dao động cưỡng bức của dầm nano FGM với các điều kiện biên khác nhau	286
<b>Nguyễn Hoàng Linh và Nguyễn Văn Vũ</b>	
Nghiên cứu ảnh hưởng của thông số công nghệ đến độ bền kéo mối hàn ma sát khuấy ống trụ hợp kim nhôm aa6061	297
<b>Vay Siu Lo, Nha Thanh Nguyen, Minh Ngoc Nguyen and Thien Tich Truong</b>	
Shear locking treatment by using an n-node discrete shear gap technique in a meshfree method	307
<b>Nguyễn Văn Long, Trần Minh Tú, Lê Thanh Hải and Phan Xuân Thục</b>	
Phân tích ứng xử uốn của tấm vật liệu xốp đặt trên nền đàn hồi Pasternak trong môi trường nhiệt	317
<b>Nguyễn Văn Long, Trần Minh Tú and Vũ Thị Thu Trang</b>	
Phân tích ổn định phi tuyến tấm chữ nhật bằng vật liệu rỗng bão hòa chất lưu trên nền đàn hồi có xét đến ảnh hưởng của nhiệt độ	327
<b>Nguyễn Văn Long, Trần Minh Tú, Vũ Thị Thu Trang and Đặng Xuân Trung</b>	
Phân tích tĩnh tấm chữ nhật bằng vật liệu rỗng bão hòa chất lưu trên nền đàn hồi có xét đến ảnh hưởng của nhiệt độ	337
<b>Nguyen Thi Cam Nhung, Do Van Thom, Phung Van Minh and Truong Thi Huong Huyen</b>	
Static bending analysis of FGM stiffened plate resting on discontinuous elastic foundation	347
<b>Do Thi Kieu My, Dang Thuy Dong and Vu Hoai Nam</b>	
Buckling analysis of corrugated-core FGM toroidal shell segments subjected to axial loads using the first-order shear deformation theory	354
<b>Nguyễn Văn Phó</b>	
Từ thế giới hiện thực bất định đến phân tích các hệ thống phức tạp (bao gồm hệ cơ học) (From the uncertainty real-world to the analysis of the complex systems)	364
<b>Dương Văn Quang, Trần Ngọc Đoàn and Đoàn Trắc Luật</b>	
Tính toán vỏ trụ FG-CNTRC chịu tác dụng của tải trọng cơ nhiệt bằng lý thuyết biến dạng cắt bậc cao và thông số vật liệu phụ thuộc nhiệt độ	375
<b>Tran Quoc Quan, Le Xuan Vuong and Phan Huy Sang</b>	
Nonlinear vibration of smart sandwich plate with auxetic graphene reinforced metal matrix composite core layer	385



<b>Nguyễn Hoàng Quân, Đinh Khắc Mác, Trần Cường Hưng, Đỗ Huy Diệp</b>	13
Tính toán và mô phỏng kiểm bền cho đế ép của máy tách hạt Mắc ca	395
<b>Hoang Ngoc Quy, Haidang Phan, Phan Dinh Hau and Truong Giang Nguyen</b>	
Simulation superelastic behavior of shape memory alloy considering the influence of strain rate	403
<b>Hoang Ngoc Quy, Haidang Phan and Truong Giang Nguyen</b>	
Simulation superelastic behavior of shape memory alloy at different working temperatures	414
<b>Đoàn Xuân Quý, Nguyễn Tiến Chương and Nguyễn Hùng Phong</b>	
Phân tích kết cấu lõi nhà nhiều tầng có xét đến sự làm việc sau đàn hồi của các dầm nối	425
<b>Vũ Văn Thắm, Trần Hữu Quốc và Trần Minh Tú</b>	
Phân tích dao động tự do kết cấu tấm nano auxetic áp điện	435
<b>Nguyễn Tất Thắng, Trần Bình Định and Trần Văn Liên</b>	
Tính độ võng của dầm bê tông cốt thép thường khi có vết nứt, xét đến ảnh hưởng của từ biến và co ngót	445
<b>Thao Thi Bích Dao, Khoa Viet Nguyen and Long Vu Do</b>	
Receptance function of an axially functional graded beam with varying width using Adomian method	455
<b>Nguyen Van Tien, Vu Minh Duc, Nguyen Minh Khoa, Vu Hoai Nam</b>	
Nonlinear buckling behavior of FG-CNTRC cylindrical shells stiffened by spiral FG-CNTRC stiffeners under external pressure	465
<b>Hương Quý Trường, Đặng Xuân Hùng, Trần Minh Tú and Nguyễn Văn Long</b>	
Phân tích uốn phi tuyến dầm sandwich có lớp lõi bằng vật liệu FGP với các liên kết đàn hồi	475
<b>Le Quang Vinh and Nguyen Manh Cuong</b>	
Continuous Element formulations for free vibration of FGM annular plates resting on elastic foundation	485
<b>Phạm Minh Vương and Nguyễn Đình Đức</b>	
Phân tích dao động của vỏ trụ FGM có độ dày thay đổi theo lý thuyết biến dạng cắt bậc 3	493
<b>TIỂU BAN CƠ HỌC ĐÁ</b>	
<b>Nguyễn Cao Khải, Nông Việt Hùng, Nông Việt Trung, Nguyễn Ngọc Bảo, Vũ Mạnh Anh, Nguyễn Hồng Thái</b>	
Nghiên cứu đánh giá điều kiện địa chất, đề xuất đồng bộ dây chuyền thiết bị máy khoan doa mở rộng đào các lò thượng dốc trong than nâng đảm bảo an toàn hiệu quả các mỏ hầm lò vùng Quảng Ninh	505
<b>Manfred Staat and Tran Ngoc Trinh</b>	
Strain based failure criteria for rocks and other brittle materials	514
<b>Trần Tuấn Minh, Nguyễn Duyên Phong and Đặng Trung Thành</b>	
Ổn định của hai đường hầm khi có sự thay đổi điều kiện bề mặt đất	524
<b>Trần Ngọc Trinh, Trịnh Tự Lực, Đào Ngọc Tiến, Trương Mạnh Khuyển, Giáp Văn Tấn, Đinh Thuý Hà and Manfred Staat</b>	

FEM shakedown analysis of structures under random strength with chance constrained programming	532
<b>Lê Ngọc Thanh, Nguyễn Quang Dũng, Nguyễn Phi Hùng, Nguyễn Tư Tường Khánh, Đào Văn Tuyền, Nguyễn Xuân Mãn, Phạm Minh Tiên, Lưu Hải Tùng</b> Nguyên nhân và giải pháp phòng tránh rung lắc công trình, nhà cửa khu vực các Quận 1, 2, 3, 4 và Bình Thạnh, TP.HCM	542
<b>Đỗ Ngọc Thái, Nguyễn Xuân Mãn</b> Nghiên cứu ảnh hưởng của đường hầm đến kết cấu ngầm công trình xây dựng lân cận	553
<b>Phạm Quốc Tuấn, Nguyễn Sỹ Ngọc</b> Xác định mô đun đàn hồi và mô đun dẻo của đá granodiorit phức hệ Định Quán ở mỏ đá Gia Huynh, huyện Tân Linh, tỉnh Bình Thuận bằng đường cong ứng suất - biến dạng của thí nghiệm nén một trục	562
<b>TIỂU BAN TRÍ TUỆ NHÂN TẠO</b>	
<b>Nguyễn Phong Điền, Nguyễn Trọng Du, Nguyễn Hữu Cường, Đặng Hồng Phong và Phạm Thành Trung</b> Nghiên cứu mạng học sâu ứng dụng trong việc nhận dạng và phân loại tự động hư hỏng bánh răng	575
<b>Vo Quang Sang and Duan Yi Ting</b> A tracking method of auto-focus points for optical surface 3d measurement using a non-contact laser probe	585
<b>Van Hau Nguyen, Van Thien Tran, Trung Kien Nguyen</b> A BCMO-DNN algorithm for vibration optimization of functionally graded porous microplates	593
<b>TIỂU BAN GIẢNG DẠY VÀ ĐÀO TẠO</b>	
<b>Nguyễn Bá Duẩn, Phạm Xuân Đạt, Nguyễn Mạnh Yên và Hà Mạnh Hùng</b> Trao đổi về nội dung giảng dạy nhằm phát triển kỹ năng định tính trong môn Cơ học kết cấu	607
<b>Nguyễn Thái Minh Tuấn</b> Sử dụng kiểm tra, đánh giá thường kỳ trong giảng dạy môn học Cơ học kỹ thuật	615
Chỉ dẫn tra cứu tên tác giả	



## Nghiên cứu ảnh hưởng của đường hầm đến kết cấu ngầm công trình xây dựng lân cận

Đỗ Ngọc Thái<sup>1,\*</sup>, Nguyễn Xuân Mãn<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Trường Đại học Mỏ - Địa chất

\*Email: donggocthai@humg.edu.vn; nguyensexuanman@humg.edu.vn

**Tóm tắt.** Công tác thi công đường hầm trong khu vực đô thị làm phá hủy khối đất đá xung quanh gây ra hiện tượng lún mặt đất, biến dạng hoặc thậm trí gây phá hủy kết cấu ngầm của các công trình xây dựng lân cận. Việc đánh giá ảnh hưởng của công tác thi công đường hầm đến các công trình xây dựng lân cận là rất quan trọng trong quá trình quy hoạch, thiết kế kỹ thuật hệ thống đường hầm trong khu vực đô thị. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu bằng phương pháp phần tử hữu hạn, đánh giá ảnh hưởng của tham số khoảng cách xây dựng từ đường hầm đến cọc của kết cấu móng bè cọc tòa nhà cao tầng và ảnh hưởng của tham số chiều sâu xây dựng đường hầm đến nội lực trong vỏ hầm và nội lực, độ võng ngang và dịch chuyển theo phương thẳng đứng của cọc trong kết cấu móng bè cọc.

*Từ khóa:* Đường hầm, công trình ngầm, móng bè cọc, phương pháp phần tử hữu hạn.

### 1. Mở đầu

Ngày nay, tại các thành phố lớn trên thế giới công tác xây dựng hệ thống đường hầm tàu điện ngầm được coi là giải pháp thiết yếu để đáp ứng nhu cầu giao thông công cộng, đường hầm tàu điện ngầm đang được xây dựng với tốc độ ngày càng tăng nhằm tạo điều kiện thuận lợi cho nhu cầu mở rộng về không gian của các khu đô thị đông dân cư và các thành phố lớn. Trong những năm gần đây tại các thành phố lớn của Việt Nam như thủ đô Hà Nội và thành phố Hồ Chí Minh đang triển khai dự án xây dựng các tuyến đường hầm tàu điện ngầm để đáp ứng nhu cầu giao thông công cộng. Công tác xây dựng đường hầm gây ra những tác động đến khối đất đá xung quanh và kết cấu ngầm của các công trình xây dựng lân cận. Đối với các đường hầm trong đô thị, công tác thi công dưới các tòa nhà cao tầng hay dưới hệ thống kỹ thuật ngầm đô thị luôn tiềm ẩn những rủi ro như gây lún mặt đất, biến dạng thậm chí gây sập đổ phá hủy các công trình xây dựng trên mặt đất hay ở vị trí lân cận của đường hầm [3,5,6,7,9]. Do đó công tác quy hoạch, thiết kế bao gồm lựa chọn hướng tuyến hay thiết kế kỹ thuật cần thiết đánh giá và dự báo mức độ tác động từ công tác xây dựng đường hầm đến các công trình xây dựng lân cận.

Bài báo sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn để nghiên cứu ảnh hưởng của công tác xây dựng đường hầm đến kết cấu móng bè cọc của tòa nhà lân cận, khảo sát ảnh hưởng của tham số khoảng cách xây dựng từ đường hầm đến móng bè cọc và ảnh hưởng của tham số độ sâu xây dựng đường hầm đến nội lực trong vỏ hầm và nội lực, độ võng ngang và dịch chuyển theo phương thẳng đứng của cọc trong kết cấu móng bè cọc.

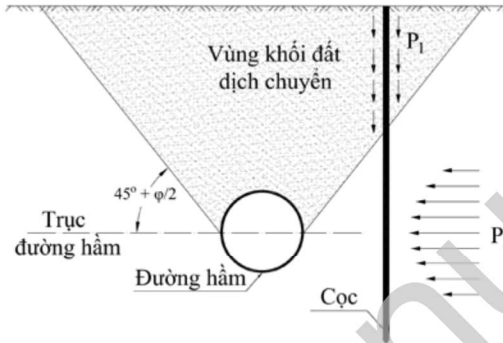
### 2. Ảnh hưởng của đường hầm đến kết cấu ngầm của công trình xây dựng lân cận

Để dự báo ảnh hưởng của công tác xây dựng đường hầm đến khối đất đá xung quanh, kết quả nghiên cứu của Peck, (1969) [9] bằng phương pháp bán thực nghiệm được coi là nghiên cứu đầu tiên đã đề xuất bằng cách đo một số điểm tại hiện trường, kết quả thu được là dưới tác động của quá trình thi công đường hầm thì hình thành đường cong lún mặt đất. Khi thi công đường hầm trong môi trường đất đồng nhất, đẳng hướng thì gây ra độ lún trên mặt đất có giá trị ( $S_v$ ) được xác định theo công thức (1).

$$S_v = S_{v,max} \cdot e^{-\frac{x^2}{2i^2}} \quad (1)$$

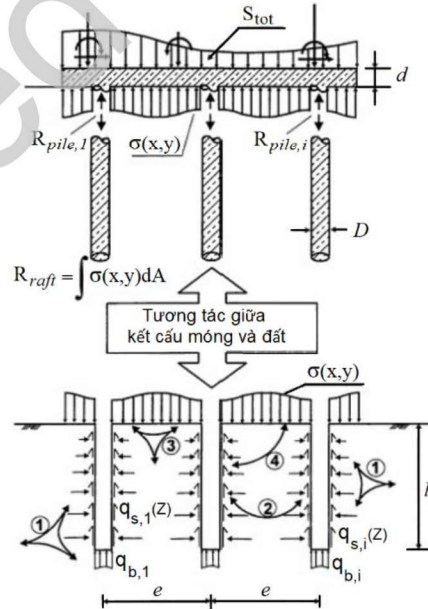
Trong đó:  $S_{v,max}$  - Giá trị độ lún lớn nhất theo phương thẳng đứng (m);  $x$  - khoảng cách từ trục hầm đến điểm đang xem xét theo phương nằm ngang, (m);  $i$  - Khoảng cách từ tâm đường hầm đến điểm uốn theo phương nằm ngang, (m).

Trong quá trình thi công các đường hầm trong khu vực đô thị, đường hầm thường được bố trí bên cạnh các tòa nhà cao tầng thì công tác thi công đường hầm cũng ảnh hưởng đến kết cấu ngầm của công trình tòa nhà lân cận. Khi kết cấu ngầm là móng bè cọc của tòa nhà nằm trong vùng khối đất bị dịch chuyển do công tác thi công đường hầm thì sơ đồ công tác thi công đường hầm ảnh hưởng đến cọc của kết cấu ngầm tòa nhà được thể hiện trên hình 1. Trong đó  $P_1$ ,  $P_2$  là các áp lực nóc và áp lực hông gây ra bởi công tác thi công đường hầm.



Hình 1. Công tác thi công đường hầm gây ảnh hưởng lên cọc của kết cấu tòa nhà [8]

Móng bè cọc thường được sử dụng hiệu quả trong các công trình xây dựng nhà cao tầng. Móng bè cọc được sử dụng đối với công trình nhà cao tầng có tải trọng lớn, công trình nhà cao tầng trên nền đất yếu, khi bố trí cọc theo đài đơn hay băng trên cọc không đủ khả năng mang tải. Cần phải bố trí cọc trên toàn bộ diện tích xây dựng mới mang đủ tải trọng của công trình. Hơn nữa móng bè cọc sẽ làm tăng độ cứng tổng thể của nền móng sẽ bù đắp lại tính mềm yếu của nền đất. Các công trình nhà cao tầng chủ yếu là sử dụng móng bè trên cọc nhồi hoặc cọc barrette [1], [2].



$S_{tot}$  - áp lực tác dụng lên móng bè - cọc 1;  $R_{pile,1}$  - áp lực tác dụng lên cọc 1;  $\sigma(x,y)$  - áp lực truyền xuống đất. (1) - tương tác đất và cọc, (2) - tương tác cọc và cọc, (3) - tương tác bè và đất, (4) - tương tác bè và cọc,

Hình 2. Hiệu ứng tương tác giữa đất và móng bè cọc của Katzenbach et al., (2000) [11]



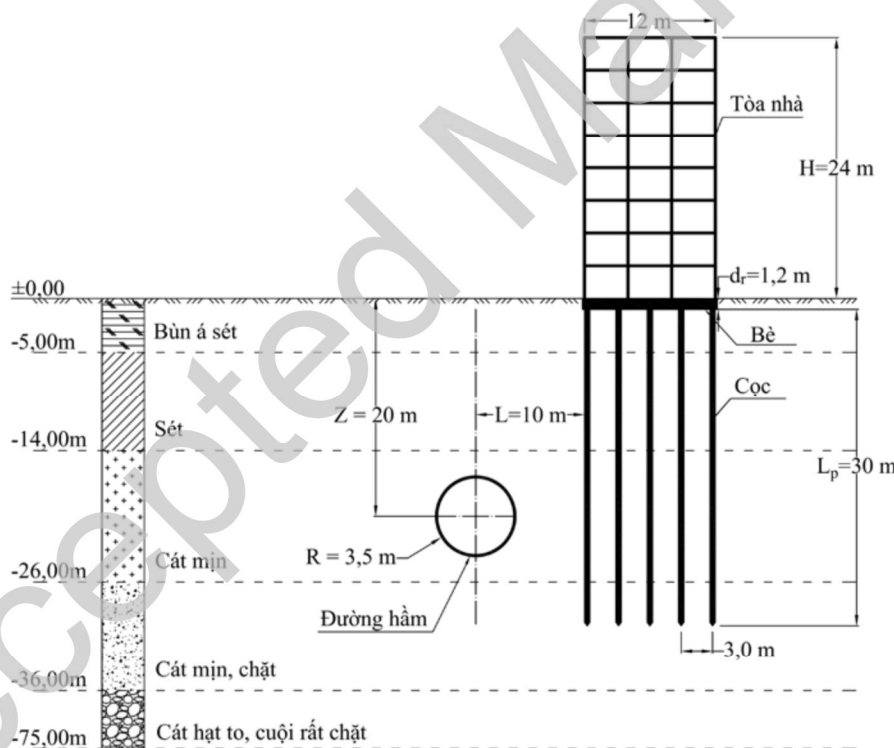
Theo Katzenbach et al., (2000) [11] móng bè cọc là một hệ móng kết hợp từ ba thành phần chịu lực là bè, cọc và lớp đất nền. Trong móng bè cọc tồn tại 4 tương tác giữa lớp đất và các kết cấu móng như hình 2: (1) - tương tác cọc và đất; (2) - tương tác cọc và bè; (3) - tương tác bè và đất; (4) - tương tác bè và cọc. Tổng phản lực của móng bè cọc  $R_{total}$ , xác định theo công thức (4), [11]:

$$R_{total} = R_{raft} + \sum R_{pile,i} \geq S_{tot} \quad (2)$$

Trong đó:  $R_{total}$  – tổng áp lực của móng bè cọc;  $R_{raft}$  – áp lực của bè;  $\sum R_{pile,i}$  - tổng áp lực của các cọc;  $S_{tot}$  – áp lực của phần trên tòa nhà.

### 3. Bài toán nghiên cứu

Để nghiên cứu ảnh hưởng của công tác xây dựng đường hầm đến kết cấu móng bè cọc của tòa nhà lân cận, nhóm tác giả xét cho trường hợp: đường hầm có tiết diện ngang hình tròn, bán kính  $R = 3,5\text{m}$  được thi công ở độ sâu trục hầm  $H = 20\text{m}$ , khoảng cách tâm đường hầm đến tòa nhà  $L = 10\text{m}$ . Công trình tòa nhà hệ khung kết cấu có chiều cao  $H = 24\text{m}$ . Giải pháp nền móng tòa nhà được sử dụng là giải pháp móng bè cọc kết hợp trên nền địa chất gồm 5 lớp, lớp 1 là Bùn á sét, lớp 2 là Sét, lớp 3 là Cát mịn, lớp 4 là Cát mịn chặt, lớp 5 là Cát hạt to rất chặt, đặc tính cơ lý các lớp đất được thể hiện trong bảng 1. Phần bè có kích thước chiều dài  $12\text{m}$ , chiều dày  $d_r = 1,2\text{m}$ . Cọc có đường kính  $D = 0,6\text{m}$  chiều dài cọc là  $L_p = 30\text{m}$ , khoảng cách giữa các cọc  $e = 3\text{m}$  sơ đồ bài toán được thể hiện trên hình 3. Các thông số kỹ thuật vỏ hầm và kết cấu tòa nhà sử dụng trong mô hình được thể hiện trong bảng 2.



Hình 3. Sơ đồ thi công đường hầm

Trong nghiên cứu này, để đánh giá ảnh hưởng của công tác thi công đường hầm đến kết cấu móng bè cọc của tòa nhà lân cận, nhóm tác giả đã sử dụng phần mềm Plaxis 2D V20 để mô phỏng và phân tích, các lớp đất được sử dụng theo tiêu chuẩn Mohr-Coulomb, vỏ hầm và kết cấu tòa nhà sử dụng mô hình đàn hồi. Hệ khung kết cấu tòa nhà được mô phỏng theo sơ đồ kết cấu với các chân cột được ngầm cứng và tải tường phân bố trên mét dài thanh và hoạt tải phân bố đều trên diện tích tấm. Phần khung kết

cấu bên trên gồm cột, dầm, sàn, tường và bệ được mô phỏng bằng các phần tử tấm: Plate; cọc được mô phỏng bằng phần tử: Embedded Pile Row. Các giai đoạn mô phỏng, tính toán công tác thi công bao gồm:

Giai đoạn 1: Lựa chọn mô hình, xây dựng các tham số ban đầu; Giai đoạn 2: Xây dựng điều kiện biên, trường ứng suất ban đầu; Giai đoạn 3: Xây dựng kết cấu tòa nhà; Giai đoạn 4: Thi công đường hầm, đào đất và lắp đặt vỏ chống đường hầm. Sơ đồ mô phỏng thi công đường hầm và công trình lân cận được thể hiện trên hình 4.

Bảng 1. Thông số cơ lý của các lớp đất

Thông số cơ lý	Đơn vị	Bùn á sét	Sét	Cát mịn	Cát mịn chặt	Cát hạt to, cuội rất chặt
Chiều dày lớp, h	m	5	9	12	10	39
Khối lượng thể tích, $\rho$	Kg/m <sup>3</sup>	1900	1850	1900	2000	2050
Mô đun đàn hồi, $E_{ref}$	MPa	10	15	25	45	75
Hệ số Poisson, $\nu$		0,3	0,3	0,3	0,25	0,25
Góc ma sát trọng, $\phi$	( <sup>0</sup> )	8 <sup>0</sup>	25 <sup>0</sup>	25 <sup>0</sup>	34 <sup>0</sup>	35 <sup>0</sup>
Góc giãn nở, $\psi$	( <sup>0</sup> )	0	0	0	0	0
Lực dính kết, $c_{ref}$	kPa	-	10	25	0	0
Hệ số áp lực ngang, $K_0$		-	0,58	0,58	0,44	0,43
Hệ số ma sát, $R_{inter}$		0,67	0,5	0,67	0,67	0,67

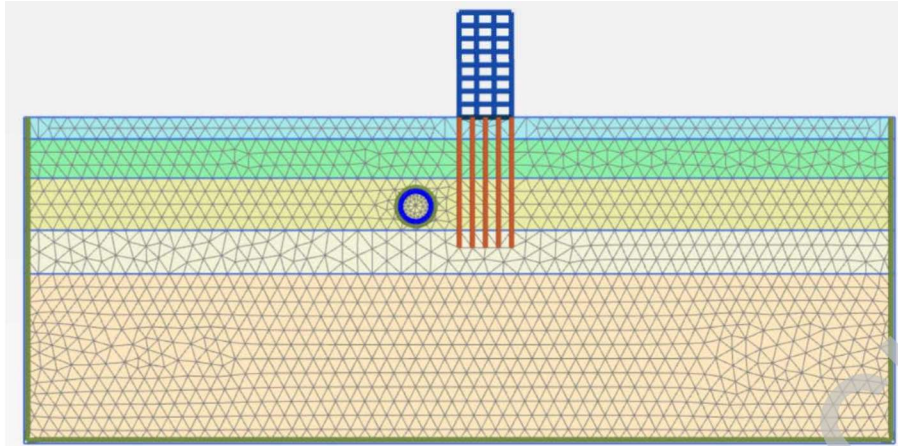
Bảng 2. Thông số kỹ thuật vỏ hầm và kết cấu tòa nhà

Thông số	Đơn vị	Vỏ hầm	Bè	Cột khung kết cấu	Sàn khung kết cấu
Độ cứng chống nén, EI	kN/m	7,875. 10 <sup>4</sup>	250. 10 <sup>4</sup>	16. 10 <sup>4</sup>	16. 10 <sup>4</sup>
Độ cứng chống uốn, EA	kN.m <sup>2</sup> /m	10,5. 10 <sup>6</sup>	30. 10 <sup>6</sup>	12. 10 <sup>6</sup>	12. 10 <sup>6</sup>
Chiều dày, d	m	0,3	1,0	0,4	0,4
Trọng lượng, w	kN/m/m	7,5	24	9,6	9,6
Hệ số Poisson, $\nu$		0,15	0,15	0,15	0,15
Khối lượng thể tích, $\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	25	24	24	24
Mô đun đàn hồi, E	GPa	35	30	30	30

Bảng 3. Thông số kỹ thuật của cọc

Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị
Mô đun đàn hồi	$E_p$	Mpa	35. 106
Khối lượng thể tích	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	24
Đường kính	D	m	0,6
Khoảng cách giữa các cọc	$L_{spacing}$	m	3,0



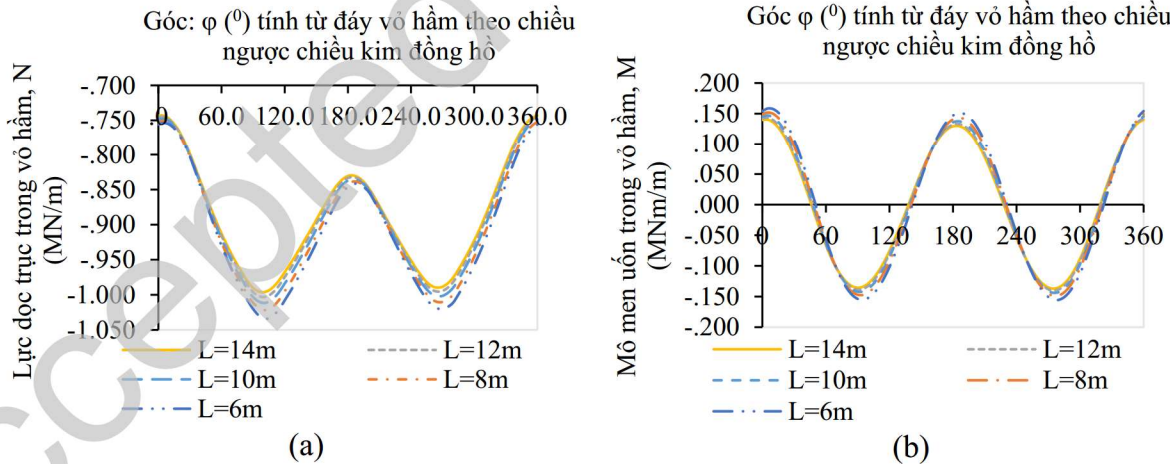


Hình 4. Sơ đồ mô phỏng thi công đường hầm và công trình lân cận

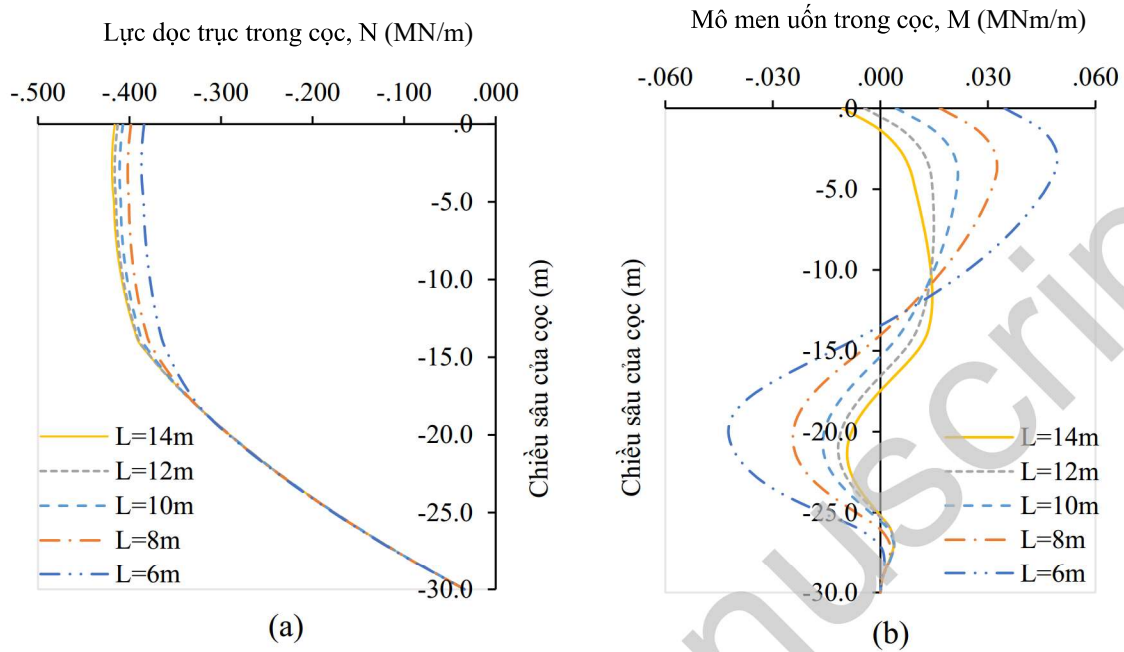
#### 4. Kết quả và thảo luận

Để khảo sát ảnh hưởng của khoảng cách từ tâm đường hầm đến cọc ( $L$ ) đến tương tác của vỏ chống đường hầm và cọc, nhóm nghiên cứu đã mô phỏng một loạt các bài toán với các giá trị khác nhau của khoảng cách từ tâm đường hầm đến cọc:  $L = 14\text{m}$ ,  $12\text{m}$ ,  $10\text{m}$ ,  $8\text{m}$  và  $6\text{m}$  và giữ nguyên chiều sâu xây dựng đường hầm  $Z = 20\text{m}$  để thu được nội lực trong vỏ hầm và nội lực, độ võng ngang và dịch chuyển theo phương thẳng đứng của cọc như trên các hình 5, hình 6 và hình 7.

Hình 5 (a), (b) thể hiện lực dọc trục và mô men uốn trong vỏ chống đường hầm, kết quả cho thấy khi giảm khoảng cách từ tâm đường hầm đến cọc thì lực dọc trục và mô men uốn trong vỏ chống đường hầm tăng lên. Khi khoảng cách từ tâm đường hầm đến cọc giảm từ  $14\text{m}$  đến  $12\text{m}$ ;  $10\text{m}$ ;  $8\text{m}$  và  $6\text{m}$  thì lực dọc trục vỏ chống đường hầm tăng lần lượt  $0,7\%$ ;  $1,5\%$ ;  $2,6\%$  và  $3,8\%$  và mô men uốn trong vỏ chống đường hầm tăng lần lượt  $2,3\%$ ;  $4,9\%$ ;  $8,4\%$  và  $13,1\%$ .

Hình 5. Lực dọc trục trong vỏ hầm (a), mô men uốn trong vỏ hầm (b) đối với khoảng cách từ trục đường hầm đến cọc:  $L=14\text{m}$ ;  $L=12\text{m}$ ;  $L=10\text{m}$ ;  $L=8\text{m}$ ;  $L=6\text{m}$ 

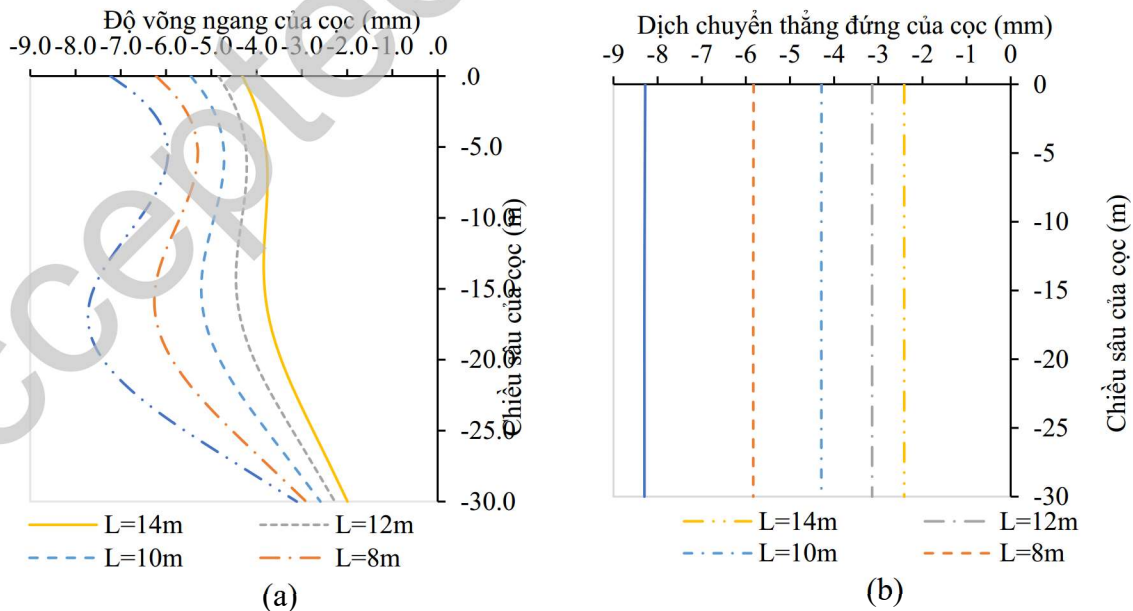
Hình 6 (a), (b) thể hiện lực dọc trục và mô men uốn trong cọc, lực dọc trục trong cọc tăng lần lượt  $3,8\%$ ,  $6,1\%$ ,  $7,5\%$  và  $8,3\%$  khi khoảng cách từ tâm đường hầm đến cọc tăng từ  $6\text{m}$  đến  $8\text{m}$ ;  $10\text{m}$ ;  $12\text{m}$  và  $14\text{m}$ , mô men uốn trong cọc tăng lần lượt  $2,9\%$ ,  $48,7\%$ ,  $124,6\%$  và  $237,9\%$  khi khoảng cách từ tâm đường hầm đến cọc giảm từ  $14\text{m}$  đến  $12\text{m}$ ;  $10\text{m}$ ;  $8\text{m}$  và  $6\text{m}$ .



Hình 6. Lực dọc trục trong cọc (a), mô men uốn trong cọc (b) đối với khoảng cách từ trục đường hầm đến cọc:  $L=14m$ ;  $L=12m$ ;  $L=10m$ ;  $L=8m$ ;  $L=6m$

Từ kết quả nghiên cứu cho thấy, giá trị lớn nhất của lực dọc trục và mô men uốn trong vỏ hầm chịu ảnh hưởng không đáng kể vào khoảng cách từ tâm đường hầm đến cọc, tuy nhiên khoảng cách từ tâm đường hầm đến cọc lại ảnh hưởng lớn đến lực dọc trục và mô men uốn trong cọc.

Hình 7 (a), (b) thể hiện độ võng ngang và dịch chuyển theo phương thẳng đứng của cọc. Khi khoảng cách từ tâm đường hầm đến cọc giảm từ 14m đến 12m; 10m; 8m và 6m thì độ võng ngang của cọc tăng lần lượt 4,3mm; 4,8mm; 5,4mm; 6,2mm và 7,7 mm và dịch chuyển theo phương thẳng đứng của cọc tăng lần lượt là 2,4mm; 3,1mm; 4,3mm; 5,8mm and 8,3mm.

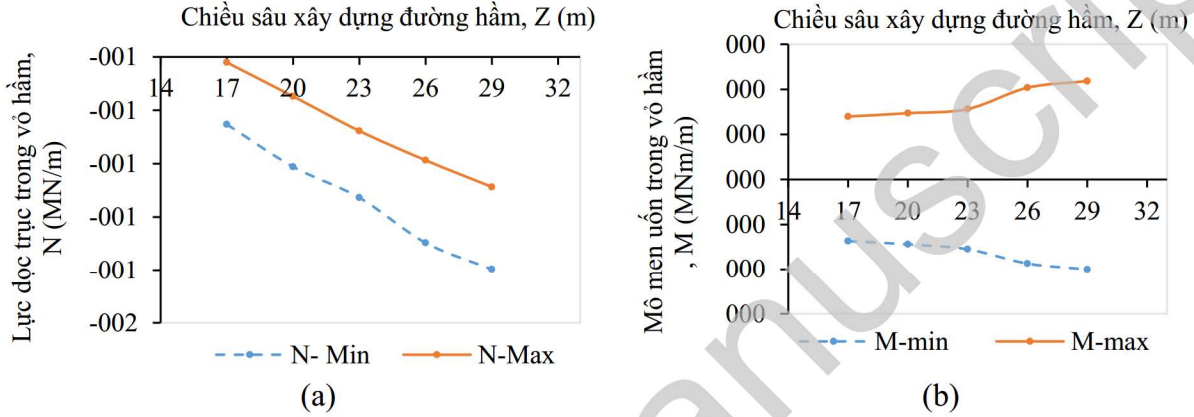


Hình 7. Độ võng ngang trong cọc (a), dịch chuyển theo phương thẳng đứng trong cọc (b) đối với khoảng cách từ trục đường hầm đến cọc:  $L=14m$ ;  $L=12m$ ;  $L=10m$ ;  $L=8m$ ;  $L=6m$



Để khảo sát ảnh hưởng của chiều sâu xây dựng đường hầm đến tương tác của vỏ chống đường hầm và cọc, nhóm nghiên cứu đã mô phỏng một loạt các bài toán với các giá trị khác nhau của chiều sâu xây dựng đường hầm:  $Z = 17\text{m}$ ;  $20\text{m}$ ;  $23\text{m}$ ;  $26\text{m}$  và  $29\text{m}$  và giữ nguyên khoảng cách từ trục đường hầm đến cọc  $L = 10\text{m}$  để thu được nội lực trong vỏ hầm và nội lực, độ võng ngang và dịch chuyển theo phương thẳng đứng của cọc như trên các hình 8, hình 9 và hình 10.

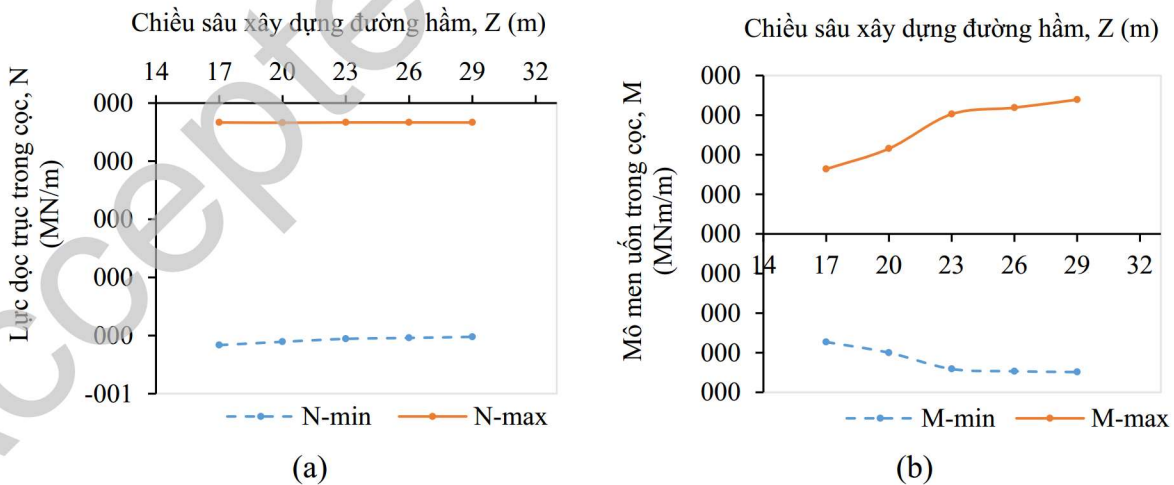
Kết quả cho thấy, khi chiều sâu đường hầm tăng từ  $17\text{m}$  đến  $20\text{m}$ ;  $23\text{m}$ ;  $26\text{m}$ ;  $29\text{m}$  thì giá trị lực dọc trục lớn nhất trong vỏ hầm tăng  $19\%$ ;  $32\%$ ;  $52\%$ ;  $64\%$  và giá trị mô men uốn lớn nhất trong vỏ hầm tăng  $5\%$ ;  $12\%$ ;  $46\%$ ;  $56\%$  như hình 8.



Hình 8. Mối tương quan giữa lực dọc trục trong vỏ hầm (a), mô men uốn trong vỏ hầm (b) với chiều sâu xây dựng đường hầm:  $Z=17\text{m}$ ;  $Z=20\text{m}$ ;  $Z=23\text{m}$ ;  $Z=26\text{m}$ ;  $Z=29\text{m}$

Khi chiều sâu đường hầm tăng từ  $17\text{m}$  đến  $20\text{m}$ ;  $23\text{m}$ ;  $26\text{m}$ ;  $29\text{m}$  thì giá trị lực dọc trục lớn nhất trong cọc giảm  $1,36\%$ ;  $2,58\%$ ;  $2,97\%$ ;  $3,4\%$  và giá trị mô men uốn lớn nhất trong vỏ hầm tăng  $10\%$ ;  $18\%$ ;  $27\%$ ;  $28\%$  như trên hình 9.

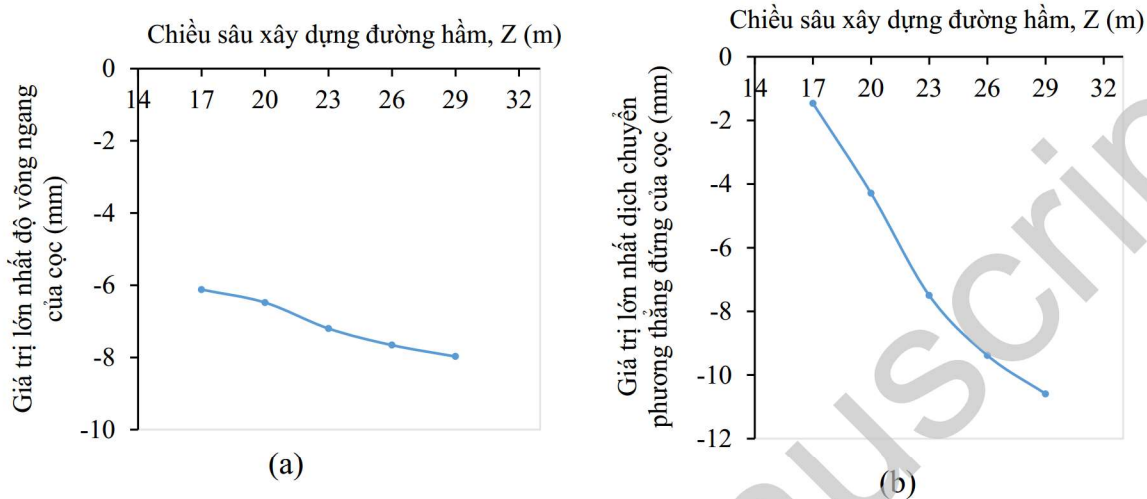
Giá trị lớn nhất của lực dọc trục và mô men uốn trong vỏ hầm chịu ảnh hưởng nhiều vào chiều sâu xây dựng đường hầm, tuy nhiên chiều sâu xây dựng đường hầm lại không ảnh hưởng nhiều đến lực dọc trục và mô men uốn trong cọc.



Hình 9. Mối tương quan giữa lực dọc trục trong cọc (a), mô men uốn trong cọc (b) với chiều sâu xây dựng đường hầm:  $Z=17\text{m}$ ;  $Z=20\text{m}$ ;  $Z=23\text{m}$ ;  $Z=26\text{m}$ ;  $Z=29\text{m}$

Hình 10 thể hiện mối tương quan giữa độ võng ngang của cọc và dịch chuyển thẳng đứng của cọc với chiều sâu xây dựng đường hầm. Kết quả cho thấy, khi chiều sâu đường hầm tăng từ  $17\text{m}$  đến  $20\text{m}$ ;

23m; 26m; 29m thì giá trị độ võng ngang lớn nhất của cọc tăng lần lượt là từ 6,1mm đến 6,4mm; 7,2mm; 7,7mm và 8,0mm và giá trị dịch chuyển thẳng đứng của cọc tăng lần lượt là 1,6mm; 4,3mm; 7,5mm; 9,4mm và 10,6mm.



Hình 10. Mối tương quan giữa giá trị lớn nhất độ võng ngang của cọc (a), giá trị lớn nhất dịch chuyển theo phương thẳng đứng của cọc (b) với chiều sâu xây dựng đường hầm: Z=17m; Z=20m; Z=23m; Z=26m; Z=29m

## 5. Kết luận

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đã khảo sát ảnh hưởng của tham số khoảng cách từ tâm đường hầm đến cọc và chiều sâu xây dựng đường hầm đến nội lực trong vỏ hầm và nội lực, độ võng ngang và dịch chuyển theo phương thẳng đứng của cọc. Dựa trên kết quả bài toán có thể rút ra các kết luận sau:

- Lực dọc trục và mômen uốn lớn nhất trong vỏ hầm chịu ảnh hưởng không đáng kể bởi khoảng cách từ tâm đường hầm đến cọc, nhưng chiều sâu xây dựng của hầm có ảnh hưởng lớn đến lực dọc trục và mômen uốn lớn nhất trong vỏ hầm.

- Lực dọc trục và mômen uốn lớn nhất của cọc chịu ảnh hưởng lớn bởi khoảng cách từ tâm đường hầm đến cọc, nhưng chiều sâu xây dựng của đường hầm có ảnh hưởng không lớn đến lực dọc trục và mômen uốn lớn nhất trong cọc.

- Khi giảm khoảng cách từ tâm đường hầm đến cọc thì sẽ làm tăng độ võng ngang và dịch chuyển theo phương thẳng đứng của cọc.

- Độ võng ngang và dịch chuyển theo phương thẳng đứng của cọc tăng khi chiều sâu xây dựng đường hầm tăng.

## Lời cảm ơn

Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn Ban tổ chức Hội nghị Cơ học toàn quốc lần thứ XI. Nhóm tác giả cũng xin chân thành cảm ơn những ý kiến nhận xét của người đọc phản biện đã góp phần cải thiện và nâng cao chất lượng của bài viết.

## Tài liệu tham khảo

[1] Tô Lê Hương, Lê Bá Vinh, Nguyễn Nhật Nhật. *Phân tích sự làm việc của móng bè cọc có xét đến ảnh hưởng của kết cấu khung*. Tạp chí Địa kỹ thuật, số 1 - 2020, trang 46-53.

- [2] Lê Bá Vinh, Hoàng Ngọc Triều. *Nghiên cứu ảnh hưởng tương tác kết cấu - móng - đất nền đến ứng xử của hệ móng bề cọc khi chịu tác động của động đất*. Tạp chí Địa kỹ thuật số 1 – 2021, trang 65-75.
- [3] Đỗ Ngọc Thái, Nguyễn Đức Trường. *Nghiên cứu dự báo độ lún mặt đất khi thi công hai đường hầm song song trong đô thị bằng máy khiên đào*. Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất, T 62, No 2, 2021, trang 47-56.
- [4] Addenbrooke, T. I., Potts, D. M., Puzrin, A. M. 1997. The influence of pre-failure soil stiffness on the numerical analysis of tunnel construction. *Geotechnique* 47(3) (Jun 1997): 693-712. doi:10.1680/geot.1997.47.3.693.
- [5] Attewell, P. B., Yeates, J., & Selby, A. R. *Soil movements induced by tunnelling and their effects on pipelines and structures*. Blackie, Glasgow. 1986, 325p.
- [6] Loganathan, N., Poulos, H.G. *Analytical predictions of tunnelling induced ground movements in clays*. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, Sept., 1998, Vol. 124, No. 9, pp. 846-856.
- [7] Moller, S. C. *Tunnel induced settlements and structural forces in linings*. Doctoral Thesis, University of Stuttgart, Stuttgart. (2006).
- [8] Morton, J. D. and King, K. H. *Effect of tunneling on the bearing capacity of and settlement of piled foundations*. *Proc. Tunneling* 79, (1979), pp. 57-58.
- [9] Peck, R. *Deep Excavations and Tunneling in Soft Ground*, State of the Art Report. In: *Proceedings of the 7th International Conference ICSMFE*. vol. III, Mexico, (1969), pp. 225–281.
- [10] Poulos H. G., *An approach for the analysis of offshore pile group*, *Proc. Conf. on Numerical Methods in Offshore Piling*, Institution of Civil Engineers, London, (1979), pp.119-126.
- [11] Katzenbach, R., Arslan, U., and Moormann, C. *Piled raft foundations projects in Germany. Design applications of raft foundations*. Hemsley J. A., editor, Thomas Telford, London, (2000), pp. 323–392.
- [12] Simpson B, Atkinson J H and Jovicis V. *The influence of anisotropy on calculations of ground settlements above tunnels*, *Proceedings of International Symposium on Geotechnical Aspects of the Underground Construction in Soft Ground*, London preprint vol., (1996), pp. 511-514.