



# TUYỂN TẬP BÁO CÁO HỘI NGHỊ TOÀN QUỐC

## KHOA HỌC TRÁI ĐẤT VÀ TÀI NGUYÊN VỚI PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG (ERSD 2024)

HÀ NỘI 14 - 11 - 2024

# ERSD 2024



NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI

## **ĐƠN VỊ TỔ CHỨC**

**Trường Đại học Mở - Địa chất (HUMG)**

## **CÁC ĐƠN VỊ PHỐI HỢP TỔ CHỨC**

**Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam**

**Tổng hội Địa chất Việt Nam**

**Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam**

**Cục Bản đồ - Bộ Tổng tham mưu**

**Hội Cơ học Đá Việt Nam**

**Hội Công trình ngầm Việt Nam**

**Hội Dầu khí Việt Nam**

**Hội Địa chất Thủy văn Việt Nam**

**Hội Địa chất Công trình và Môi trường Việt Nam**

**Hội Địa chất Kinh tế Việt Nam**

**Hội Công nghệ Khoan - Khai thác Việt Nam**

**Hội Khoa học Kỹ thuật Địa vật lý Việt Nam**

**Hội Trắc địa - Bản đồ - Viễn thám Việt Nam**

**Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam**

**Viện Khoa học Công nghệ Mỏ**

## **BAN TỔ CHỨC**

**Trưởng ban**

GS.TS Trần Thanh Hải, *Trường Đại học Mở Địa - chất*

**Phó Trưởng ban**

PGS.TS Triệu Hùng Trường, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

**Ủy viên**

GS.TS Võ Chí Mỹ, *Hội Trắc địa - Bản đồ - Viễn thám Việt Nam*

GS.TS Bùi Xuân Nam, *Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam*

GS.TS Nguyễn Quang Phích, *Hội Công trình ngầm Việt Nam*

GS.TS Đỗ Như Tráng, *Hội Cơ học Đá Việt Nam*

PGS.TS Đỗ Ngọc Anh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Lê Hồng Anh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS. TS Đỗ Văn Bình, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Phạm Văn Hòa, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Nguyễn Văn Lâm, *Hội Địa chất Thủy văn Việt Nam*

PGS.TS Khổng Cao Phong, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Nguyễn Xuân Thảo, *Hội Công nghệ Khoan - Khai thác Việt Nam*

PGS.TS Đặng Trung Thành, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Tạ Đức Thịnh, *Hội Địa chất Công trình và Môi trường Việt Nam*

PGS.TS Lê Đức Tình, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Nguyễn Như Trung, *Hội Khoa học kỹ thuật Địa vật lý Việt Nam*

PGS.TS Nguyễn Thế Vinh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Trần Thị Phúc An, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Công Tiến Dũng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Tiến Dũng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Đại Đồng, *Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam*

TS Đào Hồng Quảng, *Viện Khoa học Công nghệ Mỏ*

TS Nguyễn Quốc Thập, *Hội Dầu khí Việt Nam*

TS Bùi Thị Thu Thủy, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Lê Ái Thụy, *Hội Địa chất Kinh tế Việt Nam*

TS Bùi Yên Tĩnh, *Cục Bản đồ - Bộ Tổng tham mưu*

## **BAN KHOA HỌC**

### **Trưởng ban**

PGS.TS Đỗ Ngọc Anh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

### **Phó trưởng ban**

TS Nguyễn Thạc Khánh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

### **Ủy viên**

GS.TSKH Hoàng Ngọc Hà, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
GS.TS Võ Trọng Hùng, *Hội Khoa học và Công nghệ Mở Việt Nam*  
GS.TS Trương Xuân Luận, *Tổng Hội Địa chất Việt Nam*  
GS.TS Bùi Xuân Nam, *Hội Khoa học và Công nghệ Mở Việt Nam*  
GS.TS Đỗ Như Tráng, *Hội Cơ học Đá Việt Nam*  
PGS.TS Lê Hồng Anh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS.TS Lê Ngọc Ánh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS.TS Đỗ Văn Bình, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS.TS Phạm Văn Hòa, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS.TS Phạm Văn Luận, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS.TS Nguyễn Quang Minh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS.TS Phạm Xuân Núi, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS.TS Khổng Cao Phong, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS.TS Ngô Xuân Thành, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS.TS Phạm Đức Thọ, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS.TS Lê Minh Thống, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Tạ Đức Thịnh, *Hội Địa chất Công trình và Môi trường Việt Nam*  
PGS.TS Nguyễn Thế Vinh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS.TS Nguyễn Văn Xô, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS.TS Đỗ Như Ý, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Thị Mai Dung, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Công Tiến Dũng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Đại Đồng, *Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam*  
TS Lê Quang Duyên, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Mạnh Hùng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Duy Huy, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Cao Khải, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Quốc Phi, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Văn Phóng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Bách Thảo, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Dương Thành Trung, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

## **BAN BIÊN TẬP**

### **Trưởng ban**

TS Nguyễn Thạc Khánh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

### **Phó Trưởng ban**

PGS.TS Nguyễn Việt Nghĩa, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

### **Ủy viên**

PGS.TS Phạm Văn Luận, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS. TS Phạm Đức Thọ, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Tô Xuân Bản, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Thị Mai Dung, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Mạnh Hùng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Khắc Long, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Quốc Phi, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Dương Thành Trung, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Ngô Thanh Tuấn, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

## **BAN THƯ KÝ**

### **Trưởng ban**

PGS.TS Đỗ Ngọc Anh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

### **Phó Trưởng ban**

TS Nguyễn Thạc Khánh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

### **Ủy viên**

PGS.TS Phạm Văn Luận, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS.TS Phạm Đức Thọ, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Tô Xuân Bản, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Khắc Long, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Mạnh Hùng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Duy Huy, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Quốc Phi, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Ngô Thanh Tuấn, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Dương Thành Trung, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
ThS Hoàng Thu Hằng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
ThS Nguyễn Thanh Hải, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
ThS Phạm Đức Nghiệp, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

## **WEBSITE HỘI THẢO**

Thông tin chi tiết của Hội nghị Toàn quốc Khoa học Trái đất và Tài nguyên với Phát triển bền vững - ERS2024 được đăng tải trên trang Website chính thức của Hội nghị tại địa chỉ: <http://ersd.humg.edu.vn/>

## **ĐỊA CHỈ LIÊN HỆ**

Phòng Khoa học công nghệ, Trường Đại học Mở - Địa chất, số 18 phố Viên, phường Đức Thắng, quận Bắc Từ Liêm, thành phố Hà Nội, Việt Nam. ĐT: (+84) 24.3838643

## MỤC LỤC

Ban tổ chức hội nghị .....	i
Mục lục.....	iii
Lời nói đầu .....	v
Chương trình hội nghị .....	vii
Tiểu ban Dữ liệu lớn và chuyển đổi số trong khoa học trái đất, tài nguyên môi trường.....	1
Tiểu ban Trí tuệ nhân tạo, IOT, Blockchain và ứng dụng.....	38
Tiểu ban Cơ - Điện.....	71
Tiểu ban Dầu khí tích hợp.....	114
Tiểu ban Địa chất và tài nguyên du lịch.....	238
Tiểu ban Địa chất công trình - Địa kỹ thuật.....	312
Tiểu ban Địa chất thủy văn và Tài nguyên nước.....	430
Tiểu ban Tài nguyên địa chất và Quản lý bền vững.....	516
Tiểu ban Quản lý tài nguyên và Môi trường.....	597
Tiểu ban Công nghệ mới trong xử lý môi trường.....	730
Tiểu ban Phát triển bền vững khoa học công nghệ Mô và Môi trường.....	818
Tiểu ban Phát triển bền vững công nghiệp khai thác và Quản lý an toàn.....	899
Tiểu ban Những tiến bộ trong chế biến khoáng sản và tái chế.....	971
Tiểu ban Xây dựng công trình với phát triển bền vững.....	1039
Tiểu ban Kỹ thuật Trắc địa - Bản đồ và Hệ thống thông tin địa lý.....	1301
Tiểu ban Vật lý, Hóa học và ứng dụng.....	1384
Tiểu ban Toán, Cơ học và ứng dụng.....	1512
Tiểu ban Ngôn ngữ học.....	1634

## LỜI NÓI ĐẦU

Hội nghị Toàn quốc Khoa học Trái đất và Tài nguyên với Phát triển bền vững (ERSD) được Trường Đại học Mỏ - Địa chất (HUMG) và các đối tác tổ chức 2 năm một lần với mục tiêu tạo ra một môi trường bổ ích để các nhà chuyên môn trong và ngoài nước tụ hội và giới thiệu những kết quả và hướng mới trong nghiên cứu khoa học, thảo luận về các xu thế phát triển, thách thức và cơ hội đối với nhiều lĩnh vực khác nhau của Khoa học Trái đất, Tài nguyên địa chất, khai thác, chế biến, sử dụng và quản lý tài nguyên địa chất, bảo vệ môi trường và các ngành khác có liên quan.

Tiếp nối thành công của các Hội nghị ERSD2018, ERSD2020, ERSD2022, Hội nghị Toàn quốc Khoa học Trái đất và Tài nguyên với Phát triển bền vững lần thứ tư (ERSD2024) được Trường Đại học Mỏ - Địa chất (HUMG) đăng cai tổ chức với sự tham gia đồng tổ chức của nhiều cơ quan quản lý, tổ chức nghiên cứu khoa học, đào tạo, và doanh nghiệp có uy tín trong nước gồm Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam, Tổng hội Địa chất Việt Nam, Cục Đo đạc - Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam, Cục Bản đồ - Bộ Tổng tham mưu, Hội Cơ học Đá Việt Nam, Hội Công trình ngầm Việt Nam, Hội Dầu khí Việt Nam, Hội Địa chất Thủy văn Việt Nam, Hội Địa chất Công trình và Môi trường Việt Nam, Hội Địa chất Kinh tế Việt Nam, Hội Công nghệ Khoan - Khai thác Việt Nam, Hội Khoa học Kỹ thuật Địa vật lý Việt Nam, Hội Trắc địa - Bản đồ - Viễn thám Việt Nam, Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam, Viện Khoa học Công nghệ Mỏ và nhiều tổ chức và cá nhân khác.

Các chủ đề của Hội nghị tập trung vào nghiên cứu và ứng dụng khoa học công nghệ hướng tới phát triển bền vững đối với nhiều lĩnh vực khác nhau của Khoa học Trái đất và Tài nguyên thiên nhiên, Khai thác và sử dụng tài nguyên địa chất, Môi trường và các lĩnh vực khoa học khác có liên quan như Cơ - Điện, Công nghệ Thông tin, Xây dựng, ...

Trong quá trình tổ chức Hội nghị, Ban Tổ chức đã nhận được sự quan tâm của đông đảo các nhà khoa học, chuyên môn và quản lý trong và ngoài nước. Hơn 300 bản thảo báo cáo khoa học liên quan tới các chủ đề của Hội nghị đã được gửi tới Ban biên tập. Trên cơ sở đó, 269 báo cáo có chất lượng tốt đã được lựa chọn và xuất bản trong Tuyển tập các báo cáo toàn văn của Hội nghị với các chủ đề khoa học sau:

1. *Dữ liệu lớn và chuyển đổi số trong khoa học trái đất, tài nguyên môi trường*
2. *Trí tuệ nhân tạo, IoT, Blockchain và ứng dụng*
3. *Cơ - Điện*
4. *Dầu khí tích hợp*
5. *Địa chất và Tài nguyên du lịch*
6. *Địa chất công trình - Địa kỹ thuật*
7. *Địa chất thủy văn và Tài nguyên nước*
8. *Tài nguyên địa chất và quản lý bền vững*
9. *Quản lý tài nguyên và môi trường*
10. *Công nghệ mới trong xử lý môi trường*
11. *Phát triển bền vững khoa học công nghệ mỏ và môi trường*
12. *Phát triển bền vững công nghiệp khai thác và quản lý an toàn*
13. *Những tiến bộ trong chế biến khoáng sản và tái chế*
14. *Xây dựng công trình với phát triển bền vững*
15. *Kỹ thuật Trắc địa - Bản đồ và Hệ thống thông tin địa lý*
16. *Vật lý, Hoá học và ứng dụng*
17. *Toán học, Cơ học và ứng dụng*
18. *Ngôn ngữ học*

Toàn bộ thông tin khoa học về hội nghị được tích hợp vào Website chính thức của Hội nghị tại địa chỉ: <http://ersd.humg.edu.vn/>.

Ban tổ chức xin trân trọng cảm ơn Trường Đại học Mỏ - Địa chất, với tư cách là đơn vị đăng cai tổ chức Hội nghị, cùng các đơn vị đồng tổ chức đã hợp tác chặt chẽ và góp phần quan trọng vào việc tổ chức Hội nghị này. Cảm ơn các nhà khoa học và nhà chuyên môn đã đóng góp các công bố khoa học có giá trị cho Hội nghị. Ban tổ chức cũng đánh giá cao sự nỗ lực của các chuyên gia đọc bài đã có nhiều

nỗ lực và đóng góp để nâng cao chất lượng khoa học của các báo cáo, góp phần quan trọng vào thành công của hội nghị này.

Ban tổ chức mong muốn tiếp tục nhận được sự hợp tác chặt chẽ và góp ý chân thành của các đơn vị và cá nhân đối với việc chuẩn bị và tổ chức hội nghị, chất lượng báo cáo, biên tập, và xuất bản kỷ yếu hội nghị nhằm nâng cao chất lượng của các hội nghị tiếp theo, góp phần thúc đẩy sự phát triển bền vững của hoạt động nghiên cứu khoa học và trao đổi học thuật thuộc các lĩnh vực Khoa học Trái đất và Tài nguyên và các lĩnh vực khoa học khác có liên quan.

*Hà Nội, tháng 11 năm 2024*  
**THAY MẶT BAN TỔ CHỨC**



**GS.TS Trần Thanh Hải**

**TIỂU BAN  
XÂY DỰNG CÔNG TRÌNH  
VỚI PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG**

## MỤC LỤC

Nghiên cứu thực nghiệm hiện trường gia cố nền đất yếu bằng cọc cát biển - xi măng - tro bay <i>Nguyễn Trọng Dũng, Tạ Đức Thịnh</i> .....	1043
Nghiên cứu áp dụng kết cấu chống giữ tổ hợp bằng vì thép kết hợp neo cho đường lò dọc vỉa than Công ty than Mạo Khê – TKV <i>Đào Việt Đoàn</i> .....	1049
Nghiên cứu tính toán lựa chọn bước chống vì thép cho đường lò một đường xe nằm dưới moong mỏ Núi Béo <i>Đào Việt Đoàn</i> .....	1056
Nghiên cứu chế tạo và xác định một số tính chất cơ học của bê tông cốt sợi polypropylene dưới tác động của nhiệt độ <i>Nguyễn Đình Hải, Lê Thu Trang</i> .....	1063
Phân vùng quy hoạch ngoại thành các thành phố lớn để quản lý phát triển đô thị theo hướng bền vững <i>Lê Thị Thanh Hằng</i> .....	1071
Thí nghiệm từ biến đầm đá cho mô hình đàn nhót tuyến tính phân tích biến dạng xung quanh hầm tiết diện tròn theo thời gian <i>Nguyễn Huy Hiệp, Đinh Quang Trung</i> .....	1077
Nghiên cứu đề xuất giải pháp phòng chữa cháy khi thi công công trình ngầm <i>Đào Huy Hoàng, Trần Anh Tuấn, Tống Anh Tuấn, Nguyễn Việt Thanh, Trần Tuấn Minh, Nguyễn Duyên Phong, Phạm Đức Thọ, Nguyễn Lê Đạt, Đặng Trung Thành</i> .....	1083
Nghiên cứu tổng quan về phương pháp cọc đá dăm để nâng cao khả năng kháng hóa lỏng của nền đất <i>Đặng Quang Huy, Vũ Minh Ngạn, Phạm Văn Hùng</i> .....	1089
Nghiên cứu một số giải pháp giảm độ lún đường đầu cầu xây dựng trên nền đất yếu <i>Phạm Văn Hùng, Vũ Minh Ngạn, Đặng Quang Huy</i> .....	1096
Nghiên cứu phương pháp tính toán sức chịu tải và độ lún nền đường đắp trên nền đất yếu gia cố bằng cọc đất xi măng <i>Phạm Văn Hùng</i> .....	1103
Một số kết quả nghiên cứu thực nghiệm về bê tông bọt-khí với cấu trúc rỗng thay đổi trong điều kiện phòng thí nghiệm <i>Tăng Văn Lâm, Võ Đình Trọng, Phạm Đức Lương, Vũ Kim Diễm</i> .....	1109
Nghiên cứu ảnh hưởng của tro xi nhà máy điện đốt rác đến tính chất cơ học của bê tông cường độ cao <i>Tăng Văn Lâm, Võ Đình Trọng, Hoàng Anh Cương</i> .....	1117
Nghiên cứu ứng xử cơ học của kết cấu chống giữ giếng đứng của tổ hợp kho chứa khí ngầm đào trong đá cứng bằng phương pháp số <i>Ngô Hoàng Minh, Đặng Văn Kiên, Vũ Tiến Dũng, Đỗ Ngọc Anh, Trần Tuấn Điệp</i> .....	1124
Thiết kế cọc khoan nhồi chôn trong nền đá theo tiêu chuẩn Châu Âu EC7 với một ví dụ thiết kế <i>Nguyễn Thành Luân, Nguyễn Quang Phích, Nguyễn Văn Mạnh, Bùi Văn Đức</i> .....	1132
Cải tạo và khôi phục các công trình ngầm để phát triển bền vững <i>Trần Tuấn Minh, Nguyễn Duyên Phong</i> .....	1139



Nghiên cứu ảnh hưởng của khe nứt đến độ ổn định của hai đường hầm giao thông xuyên núi <i>Trần Tuấn Minh, Nguyễn Duyên Phong</i> .....	1145
Hoàn thiện công tác quản lý chất lượng thi công công trình thuộc Ban Quản lý dự án đầu tư xây dựng thị xã Đông Triều, tỉnh Quảng Ninh <i>Phạm Thị Nhân, Nguyễn Tiến Hiệp, Hoàng Đình Phúc</i> .....	1151
Lý thuyết phương pháp siêu âm và ứng dụng đánh giá vết nứt trong bê tông <i>Phạm Thị Nhân</i> .....	1158
Xây dựng mô hình trí tuệ nhân tạo sử dụng thuật toán hàng xóm KNN để dự báo diện tích gương hầm sau khi nổ mìn trong quá trình thi công <i>Phạm Thị Nhân, Nguyễn Chí Thành, Bùi Mạnh Tùng, Đỗ Hoàng Hiệp</i> .....	1165
Một số vấn đề về quy hoạch hạ tầng khu vực nhà ga đường sắt đô thị tại tuyến metro số 1 thành phố Hồ Chí Minh theo mô hình phát triển đô thị TOD <i>Vũ Minh Ngạn, Nguyễn Chí Đạt, Vũ Thái Linh</i> .....	1171
Thi công lắp xây lắp đường ống hạ tầng bằng công nghệ khoan guồng xoắn (HAB) <i>Vũ Minh Ngạn, Phạm Văn Hùng, Đặng Quang Huy, Trần Hồng Hạnh</i> .....	1177
Ảnh hưởng của hạt nano silica đến tính chất cơ học của vùng chuyển tiếp giữa cốt sợi thép và bê tông cường độ cao <i>Đặng Văn Phi, Tăng Văn Lâm, Lê Huy Việt, Lê Văn Đoàn, Phạm Văn Tuấn, Kim Dong Joo</i> .....	1182
Dự báo, hạn chế, phòng ngừa sự cố trong thi công công trình ngầm <i>Nguyễn Quang Phích, Nguyễn Quang Minh, Bùi Văn Đức, Trần Tuấn Minh, Đỗ Ngọc Thái</i> .....	1188
Phân tích số mức độ ổn định đường hầm đào qua phay, đợc gia cố bằng khoan phụt trước <i>Nguyễn Quang Phích, Nguyễn Văn Mạnh, Nguyễn Quang Minh, Bùi Văn Đức, Nguyễn Thành Luân, Nguyễn Ngọc Huệ</i> .....	1194
Quy luật biến đổi cơ học xung quanh đường hầm trong khối đá phân khối <i>Nguyễn Quang Phích, Nguyễn Văn Mạnh, Trần Tuấn Minh, Nguyễn Duyên Phong</i> .....	1200
Rủi ro trong dự án xây dựng - Thực trạng và giải pháp quản lý <i>Hoàng Đình Phúc, Phạm Đức Thọ, Vũ Minh Ngạn, Ngô Thị Hương Trang</i> .....	1206
Phân tích chuyên vị tường vây và đất nền xung quanh khi xây dựng ga tàu điện ngầm bằng phương pháp Topdown <i>Nguyễn Văn Quang, Võ Nhật Luân, Nguyễn Thị Ngọc Bích</i> .....	1211
Nghiên cứu tính toán lựa chọn bước chống vì thép cho đường lò mức -100÷-150 nằm dưới bãi thải mỏ than Khe Tam <i>Nguyễn Hữu Sà, Đào Viết Đoàn</i> .....	1217
Nghiên cứu sử dụng năng lượng địa nhiệt tại Việt Nam <i>Nguyễn Chí Thành, Nguyễn Xuân Mãn, Bùi Mạnh Tùng, Phạm Thị Nhân</i> .....	1225
Nghiên cứu khả năng sử dụng cát nhân tạo thay thế cho cát tự nhiên tại các công trình ở Việt Nam <i>Nguyễn Chí Thành, Nguyễn Việt Nghĩa, Phạm Thị Nhân</i> .....	1232
Nghiên cứu ảnh hưởng của sơ đồ bố trí hai đường hầm song song đến phân bố nội lực trong vỏ hầm <i>Đỗ Ngọc Thái</i> .....	1237

Nâng cao hiệu quả sử dụng phương pháp bơm ép vừa xi măng khi thi công giếng đứng qua khối đá nứt nẻ <i>Đỗ Ngọc Thái, Nguyễn Văn Quang</i> .....	1243
Áp dụng phương pháp tương quan hình ảnh (DIC) trong nghiên cứu ứng xử uốn của dầm bê tông <i>Phạm Đức Thọ</i> .....	1249
Nghiên cứu biến dạng thể tích tự sinh của bê tông MgO <i>Chu Việt Thức, Nguyễn Văn Chính</i> .....	1254
Ứng dụng công nghệ cọc đường kính nhỏ micropile D150 làm kết cấu móng dầm cầu trực đặt trên nền sét pha dẻo mềm <i>Chu Việt Thức, Bùi Văn Đức, Nguyễn Văn Mạnh, Vũ Nho Trường</i> .....	1259
Bê tông cốt sợi tự nhiên: đặc trưng cơ học và khả năng ứng dụng trong xây dựng cơ sở hạ tầng nông thôn <i>Trần Mạnh Tiến, Đỗ Ngọc Tú, Nguyễn Nam Hòa, Nguyễn Việt Thắng, Nguyễn Thị Tuyết Mai</i> .....	1266
Nghiên cứu lún bề mặt khi thi công đường hầm mặt cắt ngang hình bán chữ nhật bằng phương pháp đường đặc tính <i>Nguyễn Tài Tiến, Phạm Văn Vĩ, Vũ Ngọc Tuấn</i> .....	1273
Nghiên cứu tổng quan về vật liệu đá thải-xi măng lấp đầy khoảng trống sau khai thác tại mỏ than hầm lò <i>Nguyễn Tài Tiến</i> .....	1280
Nghiên cứu ảnh hưởng của độ cứng sàn đến chuyển vị đỉnh kết cấu nhà cao tầng bê tông cốt thép <i>Phạm Văn Tuấn, Đặng Văn Phi, Bùi Văn Đức, Bùi Ngọc Tú, Trương Văn Đoàn</i> .....	1287
Ảnh hưởng hình dạng tiết diện ngang đường hầm đến nội lực trong kết cấu chống đường hầm khi chịu tải trọng động đất <i>Phạm Văn Vĩ, Đỗ Ngọc Anh, Nguyễn Tài Tiến, Đỗ Xuân Hội, Chu Việt Thức, Nguyễn Tiến Dũng</i> .....	1293

## Ảnh hưởng của hạt nano silica đến tính chất cơ học của vùng chuyển tiếp giữa cốt sợi thép và bê tông cường độ cao

Đặng Văn Phi<sup>1\*</sup>, Tăng Văn Lâm<sup>1</sup>, Lê Huy Việt<sup>1</sup>, Lê Văn Đán<sup>2</sup>, Phạm Văn Tuấn<sup>3</sup>, Kim Dong Joo<sup>4</sup>

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

<sup>2</sup>Viện Hàn lâm Khoa học và công nghệ Việt Nam

<sup>3</sup>Công ty cổ phần Kiến trúc Modern House

<sup>4</sup>Trường Đại học Sejong, Hàn Quốc

---

### TÓM TẮT

Trong bài báo này, tính chất cơ học bao gồm độ cứng ( $H$ ) và mô đun đàn hồi ( $E$ ) tại vùng chuyển tiếp (ITZ) giữa sợi thép và bê tông cường độ cao (BTCĐC) chứa hạt nano silica (NS) đã được nghiên cứu. Hàm lượng hạt NS 3% được sử dụng để thay thế cho lượng xi măng tương ứng trong thành phần cấp phối của BTCĐC. Thí nghiệm nanoindentation (NI) được sử dụng để xác định giá trị  $H$  và  $E$  tại vùng ITZ, bên cạnh đó các phân tích dựa trên thiết bị kính hiển vi điện tử (SEM) được sử dụng để đánh giá vi cấu trúc tại vùng ITZ. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, tính chất cơ học tại vùng ITZ của BTCĐC khi được bổ sung thêm NS trong thành phần cấp phối, có giá trị cao hơn so với mẫu đối chứng BTCĐC. Kết quả của nghiên cứu cung cấp các thông tin hữu ích về vai trò của hạt NS trong việc cải thiện tính chất cơ học của bê tông, giúp nâng cao độ bền và tuổi thọ của các công trình xây dựng.

*Từ khóa:* Nano silica; độ cứng; mô đun đàn hồi; bê tông cường độ cao

---

### 1. Đặt vấn đề

Nghiên cứu và ứng dụng BTCĐC đang được phát triển mạnh mẽ tại Việt Nam trong những năm gần đây. BTCĐC có những ưu điểm vượt trội như cường độ chịu nén cao, khả năng chịu kéo tốt, và độ bền cao. BTCĐC đã và đang được sử dụng phổ biến trong các công trình xây dựng hiện nay như: công trình hạ tầng giao thông, công trình dân dụng, công trình thủy lợi, v.v. Tuy nhiên, dưới những tác động của tải trọng và điều kiện môi trường khắc nghiệt, một số công trình sử dụng vật liệu BTCĐC đã ghi nhận được sự xuất hiện của các vết nứt và phá hủy trong kết cấu, dẫn đến sự suy giảm về chất lượng và tuổi thọ của các công trình, ví dụ như: Mố trụ và trụ cầu của công trình cầu Tỉnh Húc tại Tuyên Quang (2023) xuất hiện sự bong tróc và nhiều vết nứt kéo dài; kết cấu chịu lực bê tông cốt thép xuất hiện vết nứt tại công trình tổ hợp khách sạn và căn hộ cao cấp ở Đà Nẵng (2021); vết nứt xuất hiện tại kết cấu bê tông đệm đường ray tuyến Metro số 1, Bến Thành - Suối Tiên (2020),... Nguyên nhân của những hiện tượng nứt hoặc bong tróc này là do các loại tải trọng, khi tác dụng lên các kết cấu công trình đã gây ra ứng suất kéo hoặc nén có giá trị vượt quá mức cho phép.

Mặc dù, một số loại cốt sợi đã được bổ sung trong thành phần cấp phối của BTCĐC để hạn chế sự xuất hiện và mở rộng các vết nứt, tuy nhiên bên trong cấu trúc của các loại bê tông này vẫn tồn tại những khu vực có cường độ thấp và độ rỗng cao, đặc biệt là khu vực xung quanh bề mặt cốt thép, cốt sợi và bê tông. Do đó, nghiên cứu sử dụng các loại vật liệu có kích thước nano để bổ sung vào trong thành phần cấp phối của BTCĐC cốt sợi phân tán, được cho là một trong những biện pháp hiệu quả để giảm lỗ rỗng và tăng cường sự đặc chắc của bê tông, từ đó làm tăng tính chất cơ học: cường độ uốn, kéo, và nén; đặc biệt là tăng cường tính chất cơ học của vùng chuyển tiếp giữa cốt sợi thép và bê tông.

Kết quả nghiên cứu của tác giả (Văn Việt Thiên Ân và Lê Đăng Hải, 2019) chỉ ra rằng, khi hàm lượng nano carbon tăng từ  $0,05\text{kg/m}^3$  đến  $0,3\text{kg/m}^3$  trong thành phần cấp phối của BTCĐC, thì cường độ nén của BTCĐC cũng tăng theo. Tác giả (Zhang và nnk, 2020) nghiên cứu ảnh hưởng của sợi ống carbon ở cấp độ nano (Multi walled carbon nanotube-MWCNT) đến cường độ chịu uốn của BTCĐC, tác giả báo cáo rằng khi thay thế xi măng (XM) bằng MWCNT với hàm lượng tương ứng 0,05%, đã làm tăng cường độ chịu uốn của bê tông lên đến 68%. Tuy nhiên, khi hàm lượng MWCNT lớn hơn 0,05% cường độ chịu uốn của bê tông giảm, do hàm lượng MWCNT lớn sẽ khó phân tán hoàn toàn vào trong hỗn hợp, chúng

\* Tác giả liên hệ

Email: dangvanphi@humg.edu.vn

để dàng vón tụ lại với nhau, hình thành lỗ rỗng nhiều hơn dẫn đến giảm cường độ của bê tông. Ngoài ra, các tác giả (Ding và nnk, 2020) đã nghiên cứu cường độ chịu kéo của bê tông khi thay thế hàm lượng của XM bằng hàm lượng hạt nano-CaCO<sub>3</sub> (NC) từ 1,0 - 4,0%. Các tác giả đã báo cáo rằng, so với các hàm lượng NC đã được sử dụng, thì hàm lượng tối ưu của NC là 3,0%; khi bê tông chứa 3,0% NC đã tạo ra cường độ kéo lớn nhất (14,1MPa). Tác giả (Trần Bá Việt và nnk, 2022) đã nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng nano silica (NS) từ 1 - 5% đến tính chất cơ học của BTCĐC. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng BTCĐC đạt cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo, cường độ chịu uốn lớn nhất khi được bổ sung 3% nano silica vào trong thành phần cấp phối vật liệu. Tuy nhiên, ảnh hưởng của NS đến độ cứng, mô đun đàn hồi, và vi cấu trúc của bê tông chưa được khảo sát và đánh giá.

Mặc dù, đã có một số nghiên cứu sử dụng vật liệu nano để cải thiện tính chất cơ lý của bê tông. Tuy nhiên, những nghiên cứu ảnh hưởng của NS đến tính chất cơ học của vùng chuyển tiếp giữa cốt sợi thép và bê tông vẫn còn hạn chế. Vì vậy, trong nghiên cứu này ảnh hưởng của hạt NS đến tính chất cơ học bao gồm độ cứng và mô đun đàn hồi của vùng chuyển tiếp giữa cốt sợi thép và bê tông sẽ được đánh giá thông qua thực nghiệm.

## 2. Vật liệu sử dụng và quá trình thí nghiệm

### 2.1. Vật liệu và chế tạo mẫu thí nghiệm

Tỉ lệ thành phần cấp phối của các tổ hợp mẫu sử dụng trong nghiên cứu này được thể hiện trong Bảng 1. Quá trình chế tạo mẫu thí nghiệm được thực hiện tại phòng trộn mẫu của trường Đại học Sejong, Hàn Quốc. Mẫu đối chứng NS00 là BTCĐC, không sử dụng NS trong thành phần cấp phối. NS30 là tổ hợp mẫu sử dụng 3% NS thay thế tương đương cho khối lượng XM trong thành phần cấp phối của BTCĐC. Kích thước hạt NS có đường kính trung bình 50 nm và tỉ lệ SiO<sub>2</sub> chiếm 99,9%. Cát có đường kính từ 210 - 250µm, silica fume (SF) từ 0,1 - 1,0µm, và silica powder (SP) là 10µm. Tỉ lệ nước/xi măng (N/XM) được sử dụng trong nghiên cứu này là 0,2. Ngoài ra, cốt sợi thép có đường kính 0,3 mm, chiều dài 30 mm, và mô đun đàn hồi 200GPa, được sử dụng trong nghiên cứu này; mỗi mẫu thí nghiệm có 09 cốt sợi thép được sử dụng.

Bảng 1. Tỉ lệ thành phần cấp phối của các tổ hợp

Tổ hợp	XM	NS	Cát	SF	SP	Phụ gia siêu dẻo	N/XM	Cường độ nén (MPa)	Độ chảy (mm)
NS00	1,00	-	1,1	0,25	0,3	0,075	0,2	186,32	225
NS30	0,97	0,03	1,1	0,25	0,3	0,075	0,2	190,45	170

Quá trình chế tạo mẫu thí nghiệm bao gồm các bước trộn nguyên vật liệu theo cấp phối, đổ hỗn hợp bê tông vào khuôn, bảo dưỡng, và gia công mẫu trước khi làm thí nghiệm. Trong đó, NS được phân tán cùng với lượng nước và phụ gia siêu dẻo theo yêu cầu cấp phối trước khi đổ vào hỗn hợp bê tông, mục đích để phân bố đều NS vào trong hỗn hợp của bê tông và tránh hiện tượng vón tụ NS trong quá trình trộn vật liệu. Hình 1 trình bày hình ảnh mẫu thí nghiệm được sử dụng trong nghiên cứu này, mẫu có dạng hình trụ với đường kính 31 mm và chiều cao là 10 mm. Quá trình gia công mẫu thí nghiệm được thực hiện theo hướng dẫn chi tiết trong tài liệu (Đặng Văn Phi và Kim Dong Joo, 2023).



(a) Mẫu thí nghiệm trước khi gia công



(b) Mẫu thí nghiệm sau khi gia công

Hình 1. Mẫu thí nghiệm NI được sử dụng trong nghiên cứu

## 2.2. Quá trình thí nghiệm

Hình 2 trình bày thí nghiệm nanoindentation (NI) được sử dụng để khảo sát tính chất cơ học tại vùng chuyển tiếp giao diện giữa sợi thép và bê tông (ITZ). Thí nghiệm NI được thực hiện tại phòng thí nghiệm của trường Đại học Sejong, Hàn Quốc. Trong quá trình thí nghiệm NI, tải trọng tác dụng lên đầu kim (indenter tip - IT) tăng dần, dẫn đến độ sâu của vết lõm do đầu kim IT tác dụng trên bề mặt mẫu cũng tăng theo; khi tải trọng đạt đến giá trị lực lớn nhất  $P_{max}$  lúc này độ sâu trên bề mặt mẫu cũng đạt đến độ sâu cực đại  $h_{max}$ . Sau đó là quá trình dỡ tải, kim IT từ từ được rút ra khỏi bề mặt mẫu, tuy nhiên bề mặt mẫu không thể trở về trạng thái phẳng ban đầu mà vẫn xuất hiện vết lõm với độ sâu  $h_f$ , hiện tượng này là do tính chất đàn dẻo của vật liệu. Kết quả thu được từ quá trình thí nghiệm NI được sử dụng để xác định độ cứng ( $H$ ) và mô đun đàn hồi ( $E$ ) theo công thức (1) và (2) (Oliver và Pharr, 1992):

$$H = \frac{P_{max}}{A_c} \quad (1)$$

$$E = (1 - \nu^2) \left( \frac{1}{E_r} - \frac{1 - \nu_i^2}{E_i} \right)^{-1} \quad (2)$$

trong đó :

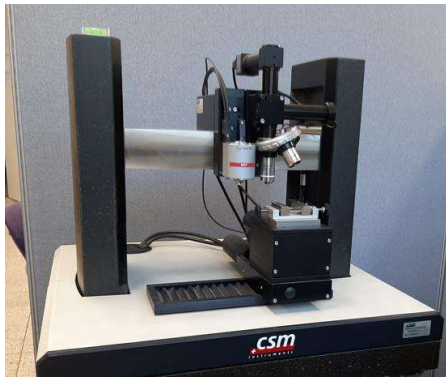
$A_c$  - diện tích hình chiếu của đầu kim IT trên bề mặt mẫu;

$\nu$  và  $\nu_i$  - hệ số Poisson của bê tông và đầu kim IT;

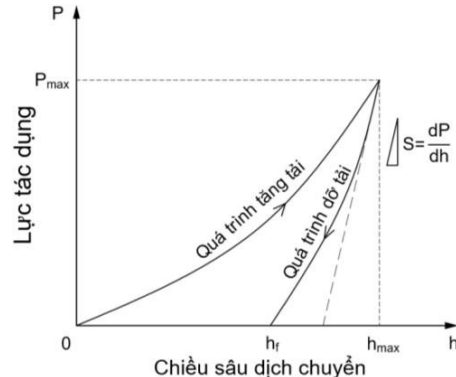
$E_i$  - mô đun đàn hồi của đầu kim IT;

$E_r$  - độ giảm mô đun đàn hồi.

Trong nghiên cứu này, tốc độ gia tải của đầu kim IT là 1 mN/s và giá trị  $P_{max}$  là 2 mN đã được sử dụng.



(a) Thiết bị thí nghiệm NI



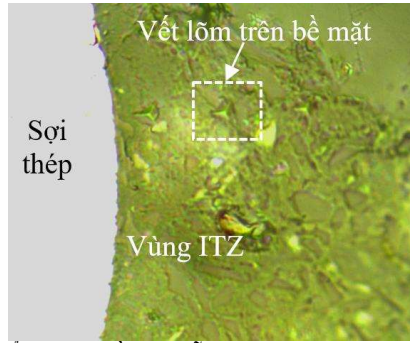
(b) Lực tác dụng và chiều sâu dịch chuyển (Dang and Kim 2023)

Hình 2. Thí nghiệm NI: (a) Thiết bị thí nghiệm NI, (b) Lực tác dụng và chiều sâu dịch chuyển

## 3. Kết quả và thảo luận

Hình 3 thể hiện hình ảnh bề mặt mẫu sau khi kết thúc thí nghiệm NI. Có thể thấy rằng, trên bề mặt mẫu thí nghiệm xuất hiện những vết lõm có hình dạng lăng trụ tam giác do đầu kim IT tạo ra trên bề mặt mẫu sau khi quá trình dỡ tải kết thúc. Bên cạnh đó, tính chất cơ học tại vùng ITZ bao gồm độ cứng  $H$  và mô đun đàn hồi  $E$  được tổng hợp trong Bảng 2. Giá trị  $H$  và  $E$  của tổ hợp NS30 lần lượt là  $2,57 \pm 0,13$ MPa và  $46,09 \pm 0,42$  GPa, trong khi các giá trị này của mẫu đối chứng NS00 lần lượt là  $2,27 \pm 0,11$ MPa và  $41,84 \pm 0,31$ GPa (Bảng 2). Khi thay thế hàm lượng XM bằng 3% NS tương ứng trong thành phần cấp phối thì độ cứng  $H$  và mô đun đàn hồi  $E$  tại vùng ITZ tăng lần lượt là 13,22% và 10,16%.

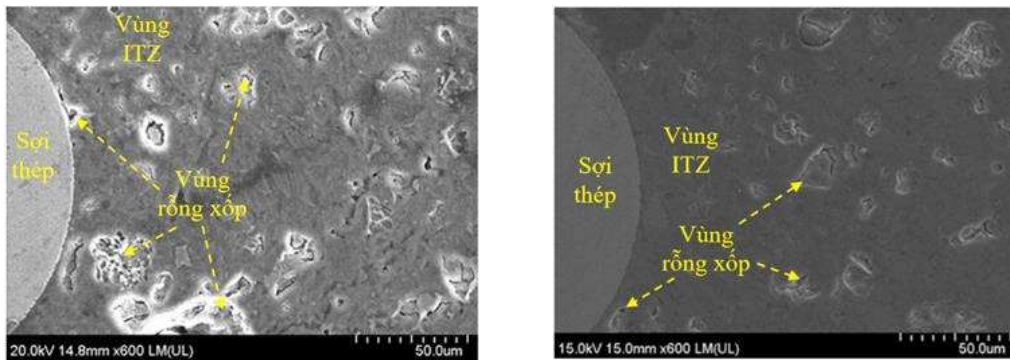
Sự tăng  $H$  và  $E$  tại vùng ITZ trong tổ hợp NS30 so với mẫu đối chứng NS00 là do với kích thước siêu mịn của NS, chúng có khả năng điền đầy lỗ rỗng giữa các hạt cốt liệu, từ đó làm cho cấu trúc bê tông được đặc chắc hơn, đặc biệt là tại khu vực ITZ của bê tông cốt sợi. Bên cạnh đó, NS có khả năng tham gia vào các phản ứng pozzolanic tạo C-S-H, từ đó làm tăng độ đặc chắc và cường độ của BTCĐC (Wu và nnk, 2016). Ảnh hưởng của NS đến độ đặc chắc của bê tông được làm sáng tỏ thông qua hình ảnh chụp SEM tại vùng xung quanh bề mặt sợi thép (Hình 4) và kết quả tính toán phần trăm diện tích lỗ rỗng tại vùng ITZ của các tổ hợp (Hình 5). Kết quả cho thấy rằng, khi bổ sung NS vào trong thành phần cấp phối của bê tông đã làm cải thiện đáng kể sự đặc chắc cấu trúc của bê tông, đặc biệt khu vực xung quanh bề mặt sợi thép và bê tông. Phần trăm độ rỗng tại vùng ITZ của các tổ hợp NS00 và NS30 lần lượt là 4,26% và 3,87% (Hình 5).



Hình 3. Ảnh chụp bề mặt mẫu sau khi thí nghiệm NI kết thúc

Bảng 2. Độ cứng và mô đun đàn hồi tại vùng ITZ của các tổ hợp.

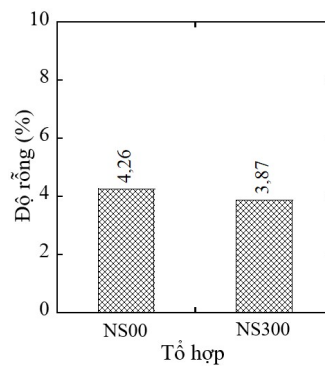
Tổ hợp	H (MPa)	E (GPa)
NS00	2,27 ± 0,11	41,84 ± 0,31
NS30	2,57 ± 0,13	46,09 ± 0,42



(a) NS00

(b) NS30

Hình 4. Ảnh chụp SEM tại vùng ITZ của các hỗn hợp



Hình 5. Độ rỗng tại vùng ITZ của các tổ hợp

#### 4. Kết luận

Trong nghiên cứu này, ảnh hưởng của hạt nano silica đến tính chất cơ học của vùng chuyển tiếp giữa sợi thép và bê tông cường độ cao đã được đánh giá dựa trên kết quả thí nghiệm nanoindentation. Trong đó, hàm lượng xi măng đã được thay thế bằng hàm lượng nano silica 3% tương ứng, các kết luận được rút ra từ nghiên cứu như sau :

+ Tính chất cơ học tại vùng ITZ trong bê tông được cải thiện đáng kể khi thay thế hàm lượng NS tương ứng với lượng XM trong thành phần cấp phối. Sự cải thiện tính chất cơ học của bê tông khi sử dụng thêm NS trong

hỗn hợp là do khả năng điền đầy cũng như khả năng tham gia vào các phản ứng pozzolanic tạo C-S-H của NS, từ đó làm tăng độ đặc chắc và cường độ của bê tông.

+ Khi bổ sung NS vào trong thành phần cấp phối đã làm tăng độ đặc chắc cấu trúc của bê tông tại khu vực xung quanh bề mặt sợi thép và bê tông. Sự giảm độ rỗng trong bê tông của hỗn hợp chứa NS là do kích thước siêu mịn của NS đã điền đầy lỗ rỗng giữa các hạt cốt liệu làm cho cấu trúc của bê tông đặc chắc hơn, đặc biệt là tại khu vực ITZ của bê tông cốt sợi.

## 5. Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Mô-Địa chất và đề tài Khoa học và Công nghệ cấp Cơ sở mã số: T24-34 của Trường Đại học Mô-Địa chất. Nhóm nghiên cứu xin trân trọng cảm ơn.

## Tài liệu tham khảo

Văn Viết Thiên Ân và Lê Đăng Hải, 2019. Ảnh hưởng của Nano Carbon và tro bay đến cơ ngót và khả năng kháng nứt của Bê tông chất lượng siêu cao. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng*, số 2, trang 32–40.

Đặng Văn Phi và Kim Dong Joo, 2023. Rate-Sensitive Pullout Resistance of Smooth-Steel Fibers Embedded in Ultra-High Performance Concrete Containing Nanoparticles. *Cement and Concrete Composites*, 140: 1-21.

Ding và nnk, 2020. Linkage of Multi-Scale Performances of Nano-CaCO<sub>3</sub> Modified Ultra-High Performance Engineered Cementitious Composites (UHP-ECC). *Construction and Building Materials*, 283: 1-19.

Oliver và Pharr, 1992. An Improved Technique for Determining Hardness and Elastic Modulus Using Load and Displacement Sensing Indentation Experiments. *Journal of Materials Research*, 7: 1564-1583.

Trần Bá Việt và nnk, 2022. Ảnh hưởng của Nano Silica đến tính chất của Bê tông siêu tính năng UHPC. *Tạp chí Xây dựng*, số 1, trang 98–102.

Wu và nnk, 2016. Effects of Different Nanomaterials on Hardening and Performance of Ultra-High Strength Concrete (UHSC). *Cement and Concrete Composites*, 70: 24-34.

Zhang và nnk, 2020. Investigating the Influence of Multi-Walled Carbon Nanotubes on the Mechanical and Damping Properties of Ultra-High Performance Concrete. *Science and Engineering of Composite Materials*, 27: 433-444.

<https://baoxaydung.com.vn/day-manh-ung-dung-cong-nghe-be-tong-sieu-tinh-nang-tai-viet-nam-346383.html>

<https://thuongtruong.com.vn/news/tuyen-quang-xuat-hien-cac-vet-nut-tai-mo-tru-cau-tinh-huc-111851.html>

<https://www.stic.com.vn/en/news/about/high-rise-building-construction-checking-and-evaluating-the-construction-quality-and-bearing-safety-capacity-of-the-project-40.html>

<https://laodong.vn/xa-hoi/can-canhh-vi-tri-dam-cau-can-tuyen-metro-so-1-gap-su-co-hu-hong-853543.ldo>

## ABSTRACT

### Effect of nano silica on the mechanical properties of the interfacial transition zone between steel fibers and high-strength concrete

Dang Van Phi<sup>1</sup>, Tang Van Lam<sup>1</sup>, Le Huy Viet<sup>1</sup>, Le Van Dan<sup>2</sup>, Pham Van Tuan<sup>3</sup>, Kim Dong Joo<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Hanoi University of Mining and Geology*

<sup>2</sup>*Vietnam Academy of Science and Technology*

<sup>3</sup>*Modern House Architecture Joint Stock Company*

<sup>4</sup>*Sejong University, Korea*

In this study, the mechanical properties, specifically hardness (H) and elastic modulus (E), at the interfacial transition zone (ITZ) between steel fibers and high-strength concrete (HSC) containing nano silica (NS) were investigated. A content of 3% NS was used to replace an equivalent amount of cement by weight in the HSC composition. The nanoindentation (NI) test was employed to determine the H and E values at the ITZ of the matrices, while scanning electron microscope (SEM) analysis was utilized to evaluate the microstructure at the ITZ. The mechanical properties at the ITZ of HSC containing NS are higher than those of HSC without NS. Additionally, the findings from the study provide useful information about the role of NS particles in strengthening the mechanical properties of concrete, which helps enhance the durability and extend the lifespan of constructions.

*Keywords:* Nano silica; hardness; modulus; high-strength concrete