

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG HÀM LƯỢNG NANO SiO₂ ĐẾN MỘT SỐ TÍNH CHẤT CƠ LÝ CỦA BÊ TÔNG CỐT SỢI BAZAN

Đến tòa soạn: 21-05-2025

Nguyễn Thị Hà Chi*, Nguyễn Trung Kiên, Phạm Thị Lan,
Đào Ngọc Nhiệm, Trần Đại Lâm

¹*Viện Khoa học vật liệu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam*

*E-mail: chinhth@ims.vast.ac.vn

SUMMARY

INFLUENCES OF SILICA NANOPARTICLE AS BINDERS ON PHYSICAL CHARACTERISTICS OF BASALT-FIBER-CONTAINING CONCRETES

In this study, the basalt-fiber-containing concretes were prepared from a mixture of the slag of the blast furnace, the fly ash, and the basalt-fiber. Various contents of amorphous silica nanoparticles (NPs) (0.1 – 1.0 wt%) as the binder were incorporated into the concretes to investigate their impact on the adhesion and compressive strength. The material characterizations were assessed by employing floating microscopy, scanning electron microscopy (SEM), nitrogen adsorption isotherms, and compressive strength test (following the TCVN 3118:2002 standard). The presence of higher silica contents exhibited a higher density, tighter interconnectivity between the included substituents, and a reduction in the porosity of obtained concrete samples. Consequently, the compressive strength and the adhesion of concretes were significantly enhanced.

Keywords: basalt-fiber-containing concrete, amorphous silica nanoparticles, compressive strength and adhesion

1. MỞ ĐẦU

Bê tông geopolymer là loại bê tông không sử dụng xi măng mà tận dụng tro, xỉ thải từ các nhà máy nhiệt điện để làm nguyên liệu thay thế. Theo số liệu từ Bộ Xây dựng, năm 2023 tổng lượng tro xỉ thải trong nước được tiêu thụ đạt 18,01 triệu tấn tương đương 99,6% tổng lượng phát thải trong năm[1]. Bê tông geopolymer ngày càng được nghiên cứu, phát triển nhằm thay thế bê tông sử dụng xi măng thông thường bởi tận dụng được nguồn tro, xỉ thải công nghiệp vừa có giá thành rẻ hơn bê tông xi măng thông thường đặc biệt giảm thiểu phát thải CO₂ trong quá trình sản xuất xi măng[2,3].

Để gia cường cho bê tông geopolymer, một số vật liệu dạng sợi được thêm vào nguyên liệu ban đầu như: sợi hữu cơ (rom

ra, sợi lanh, sợi các bon), sợi thủy tinh, sợi thép, sợi kim loại... [4,5]. Theo nhóm tác giả Li và cộng sự, bê tông gia cường bằng sợi bazan cho thấy, bổ sung 0,1% (theo thể tích) sợi bazan làm tăng cường độ nén lên 26%[6]. Chiều dài sợi bazan cũng ảnh hưởng đến tính chất cơ học của bê tông, khi gia cố bê tông bằng sợi bazan kích thước 12mm, cường độ nén tăng 4,68% và cường độ uốn tăng 9,58 % so với đối chứng [7]. Tuy nhiên, nghiên cứu này cũng chỉ ra rằng bê tông gia cường bằng sợi bazan có độ xốp cao hơn thông thường.

Bê tông geopolymer với đặc tính kết dính nhờ dung dịch kiềm phản ứng với silic (Si) và nhôm (Al) có trong nguyên liệu tro xỉ thải [8]. Vì vậy, nano silica được nghiên cứu khi thêm vào nguyên liệu ban đầu của bê tông cốt sợi. Theo nghiên cứu của nhóm tác giả Đoàn Duy Khánh và

cộng sự, khi kết hợp nano silica 1 – 3 % và sợi polyme 1 – 2 % tăng cường độ uốn tăng từ 15 – 20 %, đồng thời độ sụt của bê tông giảm xuống [9]. Một nghiên cứu khác cho thấy, khi kết hợp nano silica 10 % và polypropylen 2% độ nén của bê tông tăng 37,58%; độ uốn tăng 47,1% so với đối chứng [10].

Hiện nay, nghiên cứu thực nghiệm về sợi bazan gia cường cho các loại vật liệu tại Việt Nam gần như chưa có nhiều, đặc biệt là chất gia cường cho bê tông sử dụng tro bay và xỉ thải, mà mới có nghiên cứu về thử nghiệm và dự đoán tính toán sử dụng sợi bazan gia cường cho bê tông xi măng Portland [11,12].

Trong nghiên cứu này, để tăng khả năng chịu nén và cải thiện độ kết dính của bê tông cốt sợi bazan, nano silica được đưa vào nguyên liệu ban đầu với hàm lượng nhỏ (không quá 1% khối lượng bê tông).

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Tổng hợp bê tông cốt sợi bổ sung nano SiO₂ (GBS)

Các mẫu GBS được tổng hợp như sau: Cân khối lượng các vật liệu theo tỉ lệ khối lượng 30 – 38% (tro bay nhà máy Nhiệt điện Phả Lại có $d = 2,38 \text{ tấn/m}^3$, kích thước hạt $\sim 1 - 8 \mu\text{m}$ + xỉ lò cao Hòa Phát có $d = 2,95 \text{ tấn/m}^3$, kích thước $\sim 1,5 - 3,5 \mu\text{m}$); 45 - 50 % cát biển ($d = 2,54 \text{ tấn/m}^3$, các chỉ tiêu đáp ứng TCVN 7570:2006 của cát biển); 2% bazan ($d = 2,67 \text{ g/cm}^3$, đường kính sợi $17 \mu\text{m}$, chiều dài sợi trung bình $6,4 \text{ mm}$, diện tích bề mặt riêng $\sim 9 \text{ m}^2/\text{g}$) và nano silica (cấu trúc vô định hình, kích thước hạt $50 - 100 \text{ nm}$ và $d = 1,89 \text{ g/cm}^3$) với tỉ lệ từ 0,1 đến 1% khối lượng, phối trộn đến khi được hỗn hợp đồng đều. Sau đó, thêm lượng NaOH 10M, Na₂SiO₃ và nước khử ion vào hỗn hợp khuấy trộn đều và đổ khuôn (khuôn silicon kích thước $5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}$ và $16 \text{ cm} \times 4 \text{ cm} \times 4 \text{ cm}$). Hệ GBS

được tổng hợp lại 3 lần, các số liệu được tính trung bình. Sau khi đổ khuôn, mẫu được sấy ở nhiệt độ $60 - 90^\circ \text{C}$ trong 4 – 8 giờ, sau đó tháo khỏi khuôn và để ở điều kiện thường trong 28 ngày.



Hình 1: Ảnh hệ vật liệu GBS

2.2. Phương pháp nghiên cứu.

Các mẫu GBS sau khi tổng hợp được mang phân tích bằng các phương pháp sau:

- Phương pháp kính hiển vi soi nổi xác định hình thái, cấu trúc bề mặt vật liệu với độ phóng đại 40 lần trên kính hiển vi Leica S9i kết nối phần mềm phân tích hình ảnh LAS-X.
- Phương pháp phân tích vi hình thái cấu trúc vật liệu trên kính hiển vi điện tử quét SEM bằng máy Hitachi S-4800 (Nhật Bản).
- Phương pháp đo diện tích bề mặt riêng BET ở điều kiện trong môi trường N₂ lỏng ở nhiệt độ 77K, trên máy Quantachrome Autosorb-iQ Station 1 (Hoa Kỳ).
- Phương pháp đo cường độ chịu nén của bê tông theo tiêu chuẩn quốc gia TCVN 3118:2022.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả soi nổi của hệ vật liệu GBS.

Sau khi dưỡng hộ 28 ngày ở điều kiện thường hệ vật liệu bê tông cốt sợi bổ sung nano silica GBS được mang phân tích cấu trúc bề mặt, cấu trúc lõi (mẫu cắt đôi và mài) bằng kính hiển vi có độ phóng đại 40 lần (Hình 2). Hình thái, cấu trúc bề mặt

bê tông cốt sợi bazan khi chưa bổ sung nano silica (GB) có nhiều lỗ trống trên bề mặt với kích thước cỡ 0,2 – 0,4 mm (Hình 2.1), trong lõi vật liệu các nguyên liệu có sự liên kết chặt chẽ tuy nhiên vẫn có lỗ trống với mật độ cao và kích thước cỡ khoảng < 0,2 mm (Hình 2.6). Điều này tương đồng với nghiên cứu của nhóm tác giả Jiang và cộng sự, khi có mặt sợi bazan độ xốp của bê tông cao [7]. Khi bổ sung nano silica vào nguyên liệu ban đầu với tỉ lệ lần lượt 0,1% (GBS0.1), 0,25% (GBS0.25), 0,5% (GBS0.5) và 1% (GBS1), bê tông cốt sợi đã có độ đặc khí hơn biểu hiện ở mật độ lỗ trống trên bề mặt khối vật liệu giảm 0,3 mm xuống 0,2 mm với các mẫu GBS0.1 và GBS0.25, kích thước lỗ trống tiếp tục giảm còn 0,15 mm với mẫu GBS0.5 và đạt kích thước nhỏ nhất ~ dưới 0,1 mm tương ứng với mẫu GBS1 tức 1% nano silica theo khối lượng (Hình 2.2 – 2.5 ảnh soi nổi trên bề mặt vật liệu GBS1 – GBS0.1). Khối vật liệu được mài đến kích thước 5x5x1.5 cm và soi nổi kết cấu lõi vật liệu, ảnh soi nổi cho thấy kích thước lỗ trống cũng giảm dần từ 0,2 mm xuống 0,15 mm với các mẫu GBS0.1, kích thước lỗ trống tiếp tục giảm còn 0,1 mm với mẫu GBS 0.25 và GBS0.5 và đạt kích thước nhỏ nhất ~ dưới 0,05 mm tương ứng với mẫu GBS1 tức 1% nano silica theo khối lượng (Hình 2.7 – 2.10). Vậy có thể thấy rằng, mẫu vật liệu bê tông cốt sợi bổ sung 0,1 – 1 % nano silica làm giảm kích thước lỗ trống, tăng độ kết dính, đặc khí, giảm độ xốp của bê tông cốt sợi bazan. Với mẫu GBS1 ảnh soi nổi trên bề mặt lõi vật liệu, thấy rằng ảnh hưởng của nano silica lên kết cấu của bê tông có hiệu quả rõ rệt nhất khi mật độ lỗ trống giảm đến mức nhỏ nhất cũng như đạt kích thước rất nhỏ < 0,05 mm (giảm 83%).

3.2. Kết quả SEM, BET của vật liệu GBS1

Sau khi phân tích hình thái cấu trúc bề

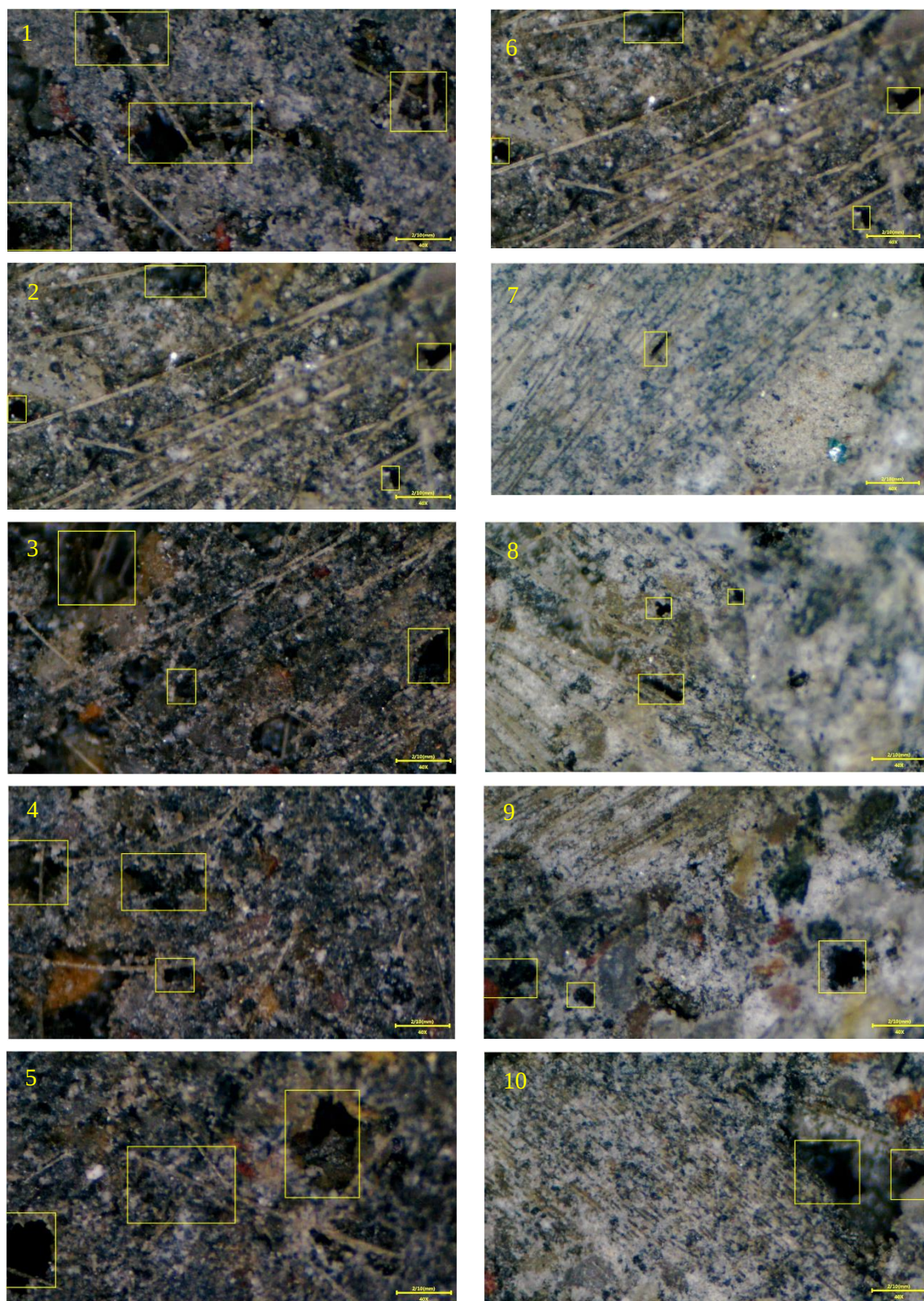
mặt, lõi hệ GBS, để xác định cấu trúc vật liệu GBS1 và GB được mang nghiền nhỏ phân tích cấu trúc, độ xốp, độ kết dính bằng phương pháp SEM.

Ảnh SEM của mẫu vật liệu bazan đưa ra dưới hình 3.1 cho thấy các sợi bazan có kích thước dạng sợi dài ~ 6,4 mm với $\varnothing \approx 17 \mu\text{m}$ tương đối đồng đều, bề mặt sợi bazan tương đối nhẵn mịn.

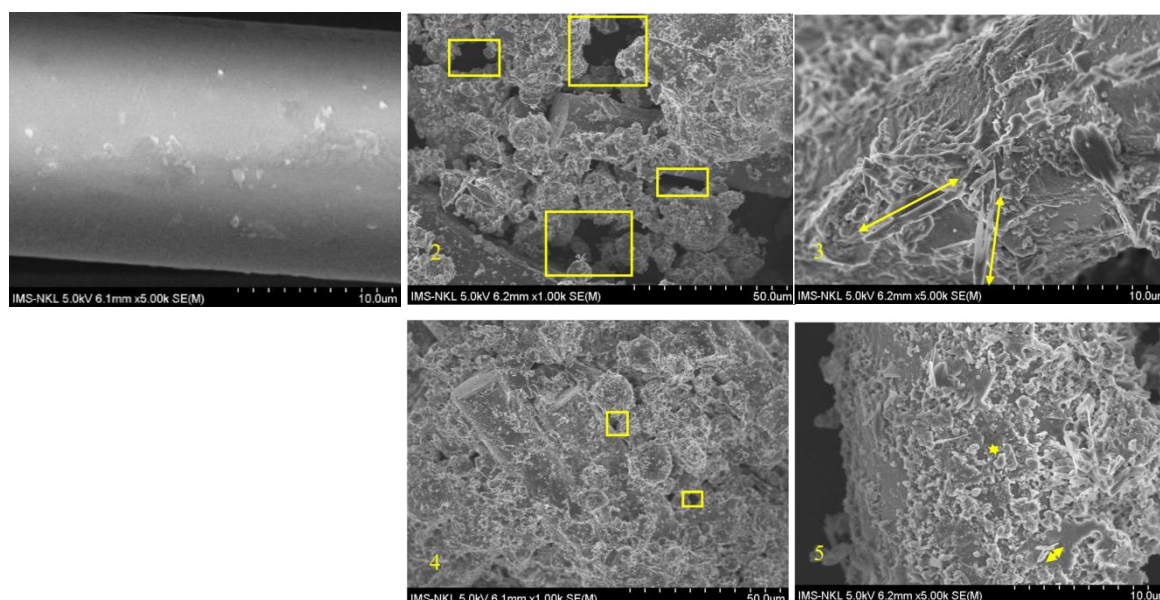
Mẫu GB (Hình 3.2 – 3.3) cho thấy, có nhiều lỗ trống trong khối vật liệu, kích thước các lỗ trống không đồng đều từ 15 – 40 μm , chúng tỏ độ kết dính giữa sợi bazan và các hạt tro, xỉ còn thấp và vẫn thấy rõ rang hình dáng sợi và hạt tro, xỉ. Trên bề mặt sợi bazan các đám liên kết không đồng đều, vẫn thấy được bề mặt sợi có những chỗ không được phủ chất kết dính.

Từ đó, so sánh ảnh SEM của vật liệu GBS1 (Hình 3.4, 3.5) với 1% nano silica độ kết dính đã tăng lên rõ ràng, thể hiện khi mật độ lỗ trống giảm đáng kể, kích thước lỗ trống chỉ khoảng dưới 5 μm – giảm đến 85% so với mẫu GB. Trên bề mặt sợi bazan, đám kết dính phủ kín bề mặt sợi, mật độ phủ cũng rất đồng đều. Vì vậy, ảnh hưởng của nano silica đến kết cấu bê tông cốt sợi là rất rõ ràng khi tăng mật độ liên kết giữa các nguyên liệu như bazan, tro, xỉ và cát, đồng thời giảm độ xốp, lỗ trống trong lõi khối bê tông.

Để xác định rõ hơn ảnh hưởng của nano silica lên độ xốp của bê tông cốt sợi, mẫu được mang đo BET để xác định diện tích bề mặt riêng. Kết quả BET như sau: với mẫu bê tông cốt sợi GB diện tích bề mặt riêng đạt 0,4526 m^2/g và mẫu GBS1 đạt 0,4115 m^2/g giảm ~ 9%. Vậy có thể kết luận rằng, khi bổ sung nano silica vào bê tông cốt sợi làm giảm diện tích bề mặt riêng của bê tông, chứng tỏ nano silica với kích thước nhỏ đã đi vào lỗ trống giữa các hạt vật liệu như cát, tro, xỉ hay làm tăng độ đặc khí của khối bê tông cũng như giảm độ xốp.



Hình 2: Ảnh soi nổi của hệ vật liệu GBS



Hình 3: Ảnh SEM: 1. Mẫu bazan; 2, 3. Mẫu GB; 4, 5: Mẫu GBS1.

3.3. Cường độ nén của hệ GBS.

Để có kết luận chính xác nhất về ảnh hưởng của nano silica đến độ nén của bê tông cốt sợi, các mẫu GBS được làm theo khuôn lớn kích thước 16x4x4 cm, với các điều kiện chế tạo như trong mục 2.1. Sau khi dưỡng hộ ở điều kiện thường 28 ngày, các mẫu GBS được mang xác định cường độ nén.

Bảng 1: Cường độ chịu nén của hệ GBS

Ký hiệu mẫu	Tuổi mẫu (ngày)	Cường độ chịu nén (MPa)
GB	28	62,5
GBS1	28	68,7
GBS0.5	28	65,6
GBS0.25	28	64,2
GBS0.1	28	63,1

Kết quả đo cường độ chịu nén của hệ GBS có bổ sung nano silica trên bảng 1 cho thấy đều tăng so với mẫu GB không bổ sung nano silica. Cường độ chịu nén của các mẫu vật liệu hệ GBS tăng dần lần lượt từ 63,1 Mpa; 64,2 Mpa; 65,6MPa và cao nhất đạt 68,7 MPa tương ứng với các mẫu GBS0.1, GBS0.25, GBS0.5 và

GBS1. Với mẫu GBS1 (tức bổ sung 1% nano silica) cường độ chịu nén của mẫu tăng đến ~ 9,9% so với mẫu bê tông cốt sợi không bổ sung nano silica.

Kết hợp các kết quả đo phân tích hình thái, cấu trúc và một số đặc tính cơ lý của hệ bê tông cốt sợi bổ sung nano silica có thể kết luận rằng: Khi bổ sung nano silica vào bê tông cốt sợi bazan làm giảm diện tích bề mặt riêng và tăng độ đặc khí của khối bê tông. Do, nano silica có kích thước cỡ nano nên có thể dễ dàng đi vào các lỗ trống được tạo ra bởi các hạt vật liệu (tro bay, xỉ lò cao và cát) có kích thước lớn, đồng thời khi lượng silic trong bê tông cốt sợi được tăng nhờ thêm lượng nano silica làm tăng phản ứng giữa Al và Si có sẵn trong tro, xỉ thải với dung dịch kiềm tạo liên kết $-(Al-O-Si)-$ geopolymer trong bê tông. Vì vậy, làm tăng cường độ chịu nén của bê tông cốt sợi.

4. KẾT LUẬN

Khi thêm vào nguyên liệu bê tông cốt sợi bazan một lượng nano silica vô định hình từ 0,1 đến 1% khối lượng, cường độ nén, độ đặc khí độ xốp của bê tông cốt sợi cũng thay đổi. Cường độ nén của GB tăng

khí hàm lượng nano silica tăng và cao nhất đạt 9,9 % tương ứng 1% nano silica. Độ xốp của GB giảm khi tăng hàm lượng nano silica. Kết cấu của GB đặc hơn, liên kết giữa các nguyên liệu tro, xỉ, bazan chặt chẽ hơn khi kích thước và mật độ lỗ trống cũng giảm từ 0,3mm đến ~ 0,05 mm (1% nano silica).

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ đề tài mã số TĐVLTT.01/24-26

Cam kết: Tôi xin cam đoan đây là công trình của chúng tôi và chưa gửi đăng nội dung này ở bất kỳ tạp chí nào.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Ca Linh (2024). Sử dụng hiệu quả tro, xỉ nhiệt điện. *Người Lao Động*, truy cập 25/06/2025. <https://nld.com.vn/su-dung-hieu-qua-tro-xi-nhiet-dien-196240721200505635.htm>
- [2] Barraj, F., Jahami, A., Hatoum, A., & Ghanoum, M. (2025). Geopolymers and alkali-activated materials in pervious concrete. In *Pervious Concrete Pavements* (pp. 35-75). Woodhead Publishing.
- [3] Aleem, M. A., & Arumairaj, P. D. (2012). Geopolymer concrete—a review. *International journal of engineering sciences & emerging technologies*, **1**(2), 118-122.
- [4] Đặng Thùy Chi. (2025). Nghiên cứu thực nghiệm sức kháng cắt của dầm bê tông geopolyme gia cường cốt thép và cốt sợi thủy tinh GFRP. *Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải*, **76**(3), 348-360.
- [5] Pavlovski, Dmitri; Mislavsky, Boris; Antonov, Andrey. (2007). CNG cylinder manufacturers test basalt fibre. *Reinforced plastics*, **51**(4), 36-39.
- [6] Li, W. M., Xu, J. Y., Shen, L. J., & Li, Q. (2008). Dynamic mechanical properties of basalt fiber reinforced concrete using a split Hopkinson pressure bar. *Acta Material Compositae Sinica*, **25**(2), 135-142.
- [7] Jiang, C., Fan, K., Wu, F., & Chen, D. (2014). Experimental study on the mechanical properties and microstructure of chopped basalt fibre reinforced concrete. *Materials & Design*, **58**, 187-193
- [8] Davidovits, J. (1988). Soft Mineralurgy and Geopolymers/In proceeding of Geopolymer 88 International Conference, the Université de Technologie. *Compiègne, France*.
- [9] Đoàn Duy Khánh. (2017). Ảnh hưởng của hạt nano-silica và sợi polyme trong kết cấu bê tông. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp*, **(6)**, 141-151.
- [10] Althoey, F., Zaid, O., Alsulamy, S., Martínez-García, R., de Prado-Gil, J., & Arbili, M. M. (2023). Experimental study on the properties of ultra-high-strength geopolymer concrete with polypropylene fibers and nano-silica. *PLoS One*, **18**(4), e0282435.
- [11] Nguyễn Văn Huỳnh, Trịnh Minh Đạt, Ninh Xuân Thắng, Nguyễn Quý An. (2021). Nghiên cứu sử dụng sợi PVA và sợi bazan trong sản xuất tấm phẳng xi măng-sợi. *Tạp Chí Vật liệu Và Xây dựng - Bộ Xây dựng*, **1**, 5-9. <https://doi.org/10.54772/jomc.1.2021.4>
- [12] Lê Bá Anh (2024). Dự báo cường độ chịu kéo của bê tông được gia cường bởi cốt sợi bazan dựa trên các phương pháp trí tuệ nhân tạo. *Tạp chí Khoa học và công nghệ*, **64**, 44-47.