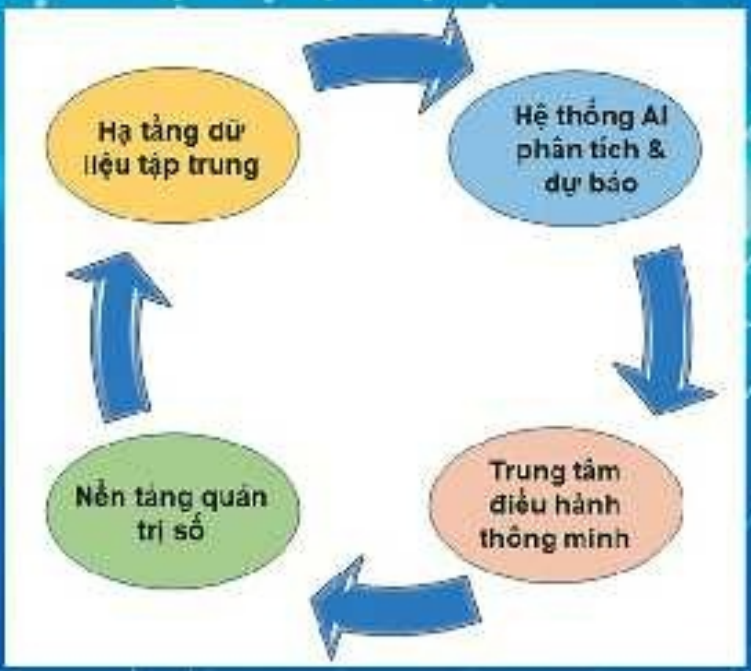
TẠP CHÍ
ISSN 3030-4172

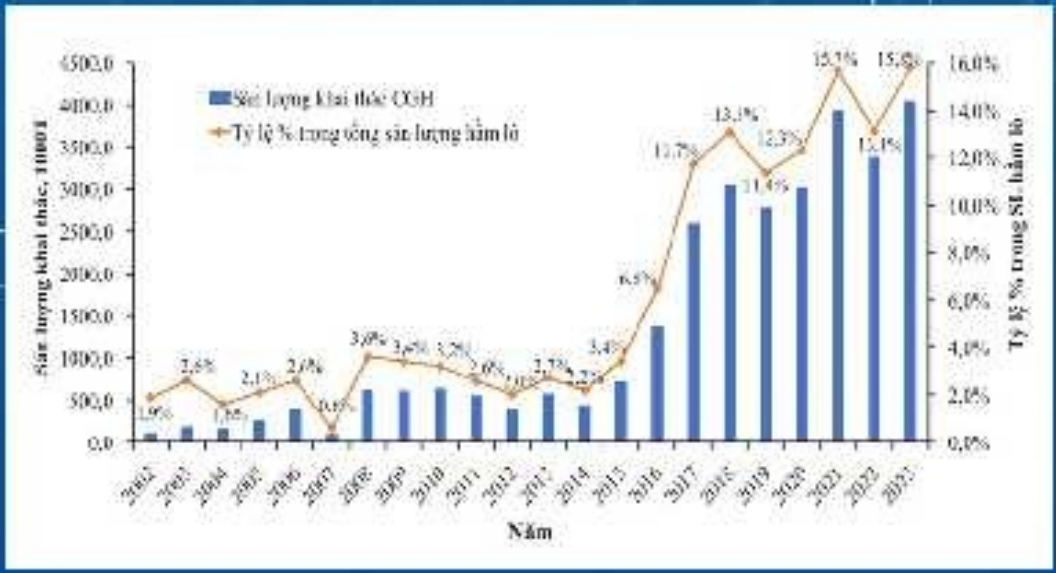
CÔNG NGHIỆP MỎ

MINING INDUSTRY JOURNAL

https://tapchi.hoimovietnam.vn

NĂM THỨ XXXV SỐ 1-2026





HỘI KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ MỎ VIỆT NAM
VIET NAM MINING SCIENCE AND TECHNOLOGY ASSOCIATION

TẠP CHÍ
CÔNG NGHIỆP MỎ
MINING INDUSTRY JOURNAL

ISSN 3030-4172

NĂM THỨ XXXV | SỐ 1-2026

PHỤ TRÁCH TẠP CHÍ
TẠ NGỌC HẢI

THƯ KÝ KIÊM TRỊ SỰ
KIỀU KIM TRÚC

BAN BIÊN TẬP
TRẦN TÚ BA
NGUYỄN BÌNH
NGUYỄN TIẾN CHỈNH
NHỮ THỊ KIM DUNG
VÕ TRỌNG HÙNG
LƯƠNG QUANG KHANG
NGUYỄN THÚY LAN
NGUYỄN HỒNG MINH
LÊ ĐỨC PHƯƠNG
ĐÀO ĐẮC TẠO
TRẦN VĂN TRẠCH
ĐỖ NHƯ Ý

HỘI ĐỒNG BIÊN TẬP
CARSTEN DREBENSTEDT
CHANGWOO LEE
PHÙNG MẠNH ĐẮC
ĐINH NGỌC ĐĂNG
TRẦN XUÂN HÀ
TRẦN XUÂN HÒA
PHÙNG QUỐC HUY
VÕ CHÍ MỸ
BÙI XUÂN NAM
NGUYỄN CẢNH NAM
OLEG I. KAZANIN
PHAN NGỌC TRUNG

TÒA SOẠN
Số 226 Đường Lê Duẩn,
Đống Đa, Hà Nội
Điện thoại: 024 36649158, 024 36649159
Fax: (+84) 24.36649159
Email: tccongnghiepmo@gmail.com
Website: https://tapchi.hoimovietnam.vn

Giấy phép xuất bản số
376/GP-BTTTT của Bộ Thông tin và
Truyền thông ngày 13/7/2016

In tại Công ty TNHH In và Thương mại Trần Gia
Điện thoại: 02437326436
Nộp lưu chiểu:
Tháng 2 năm 2026

MỤC LỤC

❒ KHAI THÁC MỎ

❖ Nghiên cứu đề xuất phương pháp xác định nguồn xuất lộ nước vào lò chợ 11-1.10 mức -175/-180 khu III vỉa 11 Công ty Cổ phần than Hà Lầm — 4
Lê Văn Hậu, Trần Đức Dậu

❖ Nghiên cứu lựa chọn phương pháp và các thông số khoan nổ mìn hợp lý cho các mỏ than lộ thiên vùng Quảng Ninh của TKV — 14
Lê Đức Phương, Lê Việt Phương, Phí Trung Kiên, Nguyễn Ngọc Dũng

❖ Đổi mới mô hình quản trị và tổ chức sản xuất bằng ứng dụng trí tuệ nhân tạo (AI) đối với các mỏ khai thác than hầm lò vùng Quảng Ninh — 22
Phạm Đức Thang, Nguyễn Ngọc Minh

❒ TUYỂN VÀ CHẾ BIẾN KHOÁNG SẢN

❖ Nghiên cứu sử dụng bùn thải của Nhà máy tuyển đồng Tả Phời thay thế cát tự nhiên trong chế tạo bê tông xanh không xi măng — 29
Phạm Mạnh Hà, Nguyễn Quý Nam, Nguyễn Tam Tính , Tăng Văn Lâm

❒ CƠ KHÍ, ĐIỆN- ĐIỆN TỬ- TỰ ĐỘNG HÓA

❖ Tính toán kiểm tra bền vỏ cầu dao chân không phòng nổ THCDPN-660(1140) dùng trong mỏ than hầm lò — 42
Đỗ Đức Trọng, Phạm Tất Thế, Lê Văn Phúc

❖ Đánh giá khả năng áp dụng ô tô tải lai pin nhiêu liệu và pin điện phục vụ khai thác mỏ lộ thiên — 48
Nguyễn Đăng Tấn, Tạ Ngọc Hải

❒ THÔNG GIÓ, AN TOÀN VÀ BẢO VỆ MÔI TRƯỜNG

❖ Xác định chế độ làm việc của quạt gió chính hợp lý trong ngày mỏ không làm việc nhằm tiết kiệm điện tại mỏ than Khe Chàm I, Công ty than Hạ Long- TKV — 58
Trần Xuân Hà, Đào Văn Chi

❒ CÔNG NGHIỆP DẦU KHÍ

❖ Petrovietnam đổi mới mô hình tăng trưởng dựa trên nền tảng khoa học công nghệ, đổi mới sáng tạo và chuyển đổi số — 66
Trần Bình Minh

❒ KINH TẾ, QUẢN LÝ

❖ Áp dụng phân tích EFA xác định các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu quả sản xuất kinh doanh tại Công ty than Mạo Khê – TKV — 71
Nguyễn Thị Mơ, Trần Thị Thanh Hương, Phí Thị Thanh Huyền

❒ TỔNG MỤC LỤC 2025 CNM — 80

TẠP CHÍ
CÔNG NGHIỆP MỎ
MINING INDUSTRY JOURNAL

ISSN 3030-4172

35th YEAR | ISSUE 1-2026

CHIEF EDITOR IN CHARGE
TA NGOC HAI

EDITORIAL SECRETARY & MANAGER
KIEU KIM TRUC

EDITORIAL BOARD
TRAN TU BA
NGUYEN BINH
NGUYEN TIEN CHINH
NHU THI KIM DUNG
VO TRONG HUNG
LUONG QUANG KHANG
NGUYEN THUY LAN
NGUYEN HONG MINH
LE DUC PHUONG
DAO DAC TAO
TRAN VAN TRACH
DO NHU Y

EDITORIAL COUNCIL
CARSTEN DREBENSTEDT
CHANGWOO LEE
PHUNG MANH DAC
ĐINH NGOC DANG
TRAN XUAN HA
TRAN XUAN HOA
PHUNG QUOC HUY
VO CHI MY
BUI XUAN NAM
NGUYEN CANH NAM
OLEG I. KAZANIN
PHAN NGOC TRUNG

EDITORIAL OFFICE
226 Le Duan Rd.,
Dong Da Dist., Hanoi
Phone: 024 36649158, 024 36649159
Fax: (+84) 24.36649159
Email: tccongnghiepmo@gmail.com
Website: https://tapchi.hoimovietnam.vn

Publishing License:
No. 376/GP-BTTTT by the Ministry of Information and Communications, datedJuly 13, 2016

Printed at Tran Gia Printing and Trading Company Ltd. Phone: 02437326436
Legally deposited: in February 2026

CONTENTS

❒ MINING

❖ A Proposed Method for Determining Water Inflow Sources into the 11-1.10 Longwall at Levels -175/-180 in Zone III of Seam 11, Vinacomin – Ha Lam Coal JSC — 4
Van Hau Le, Duc Dau Tran

❖ Research on Selecting Appropriate Drilling and Blasting Methods and Parameters for Open-Pit Coal Mines in Quang Ninh Area of TKV — 14
Duc Phuong Le, Viet Phuong Le, Trung Kien Phi, Ngoc Dung Nguyen

❖ Innovation in Management and Production Organization through Artificial Intelligence (AI) Application in Underground Coal Mines in Quang Ninh Region — 22
Duc Thang Pham, Ngoc Minh Nguyen

❒ MINERAL BENEFICIATION AND PROCESSING

❖ Study on the Use of Tailings Sludge from the Ta Phoi Copper Concentration Plant as a Replacement for Natural Sand in the Production of Cement-Free Green Concrete — 29
Manh Ha Pham, Quy Nam Nguyen, Tam Tinh Nguyen, Van Lam Tang

❒ MECHANICAL ENGINEERING, ELECTRICITY - ELECTRONICS – AUTOMATION

❖ Strength Verification Calculation of the Explosion-Proof Vacuum Circuit Breaker Enclosure THCDPN-660 (1140) for Underground Coal Mines — 42
Duc Trong Do, Tat The Pham, Van Phuc Le

❖ Evaluation of the Applicability of Fuel Cell - Battery Hybrid Electric Trucks for Serving Open-Pit Mining — 48
Dang Tan Nguyen, Ngoc Hai Ta

❒ VENTILATION, SAFETY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION

❖ Determination of the Optimal Operating Mode of Main Surface Fans during Non-Working Days to Save Electricity at Khe Cham I Coal Mine, TKV- Ha Long Coal Company — 58
Xuan Ha Tran, Van Chi Dao

❒ OIL AND GAS INDUSTRY

❖ Petrovietnam's Growth Model Transformation Based on Science, Technology, Innovation and Digital Transformation — 66
Binh Minh Tran

❒ ECONOMICS, MANAGEMENT

❖ Applying Exploratory Factor Analysis (EFA) to Identify Factors Affecting Business Performance at Vinacomin- Mao Khe Coal Company — 71
Thi Mo Nguyen, Thi Thanh Huong Tran, Thi Thanh Huyen Phi

❒ GENERAL INDEX 2025 CNM — 80

NGHIÊN CỨU SỬ DỤNG BÙN THẢI CỦA NHÀ MÁY TUYỂN ĐỒNG TẢ PHỜI THAY THẾ CÁT TỰ NHIÊN TRONG CHẾ TẠO BÊ TÔNG XANH KHÔNG XI MĂNG

Phạm Mạnh Hà[1], Nguyễn Quý Nam[1], Nguyễn Tam Tính [2], Tăng Văn Lâm[3,*]

[1] Công ty Cổ phần Đồng Tả Phời, 40 Võ Nguyên Giáp, Lào Cai, Việt Nam
[2] Tập đoàn Công nghiệp Than – Khoáng sản Việt Nam, 3 Dương Đình Nghệ, Hà Nội, Việt Nam
[3] Trường Đại học Mỏ-Địa chất, 18 Phố Viên, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO
CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học
Ngày nhận bài: 18/7/2025
Ngày nhận bài sửa: 05/9/2025
Ngày chấp nhận đăng: 10/9/2025
[3,*]Tác giả liên hệ: Tăng Văn Lâm
Email: tangvanlam@humg.edu.vn.

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm về khả năng sử dụng bùn thải của Nhà máy tuyển đồng Tả Phời làm cốt liệu nhỏ thay thế cát tự nhiên trong chế tạo bê tông xanh không xi măng. Mỗi tháng, nhà máy phát sinh khoảng 60.000 m³ bùn thải và quặng đuôi – lượng chất thải lớn này gây áp lực lên hệ thống hồ chứa và tiềm ẩn rủi ro môi trường. Nghiên cứu sử dụng các tiêu chuẩn Việt Nam hiện hành để đánh giá tính công tác và cường độ nén của bê tông xanh sử dụng bùn thải với hàm lượng thay thế từ 0÷30%. Hỗn hợp bê tông thu được có độ sụt từ 14,5 đến 20,0 cm, khối lượng thể tích dao động nhẹ, cường độ nén ở tuổi 28 ngày đều đạt trên 40 MPa. Thành phần tối ưu với 10% bùn thải cho kết quả cường độ cao nhất (55,5 MPa). Kết quả cho thấy, bùn thải có thể đóng vai trò như cát mịn nhân tạo, góp phần tiết kiệm tài nguyên thiên nhiên, giảm thiểu chất thải rắn và thúc đẩy phát triển ngành vật liệu xây dựng bền vững.

Từ khóa: *bùn thải, tro bay, xỉ đáy lò, bê tông xanh không xi măng, tính công tác, cường độ nén*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh phát triển kinh tế tuần hoàn và thực hiện các mục tiêu chuyển đổi xanh tại Việt Nam, việc nghiên cứu và ứng dụng các loại vật liệu xây dựng thân thiện với môi trường đang trở thành xu hướng tất yếu. Trong đó, bê tông xanh không xi măng được xem là một giải pháp tiềm năng nhằm giảm phát thải khí CO_2, giảm tiêu thụ tài nguyên thiên nhiên và tận dụng hiệu quả các nguồn phế thải công nghiệp.

Nghiên cứu này phát triển các loại sản phẩm bê tông xanh không sử dụng xi măng, thân thiện với môi trường là nhằm mục tiêu góp phần thực hiện chủ trương lớn của Đảng và Nhà nước trong chuyển đổi xanh, phát triển kinh tế tuần hoàn, giảm thâm dụng tài nguyên, giảm rác thải, khí thải... Bên cạnh đó, việc sử dụng các nguồn phế thải của các mỏ khoáng sản của Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam (TKV) để thay thế cốt liệu nhỏ tự nhiên trong sản phẩm bê tông xanh là cần thiết và có ý nghĩa thực tiễn trong giai đoạn hiện nay.

@ Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam

Nhu cầu sử dụng cát tự nhiên trong xây dựng tại Việt Nam hiện đang ở mức rất cao. Tuy nhiên, tốc độ khai thác cát hiện nay đã vượt quá khả năng tái tạo hàng năm, dẫn đến tình trạng suy giảm nghiêm trọng nguồn cát tự nhiên. Dự báo trong tương lai gần, nguồn cung cát tự nhiên sẽ không đủ đáp ứng nhu cầu thực tế trong ngành xây dựng. Trước thực trạng đó, việc sử dụng cát nhân tạo (bao gồm cát nghiền từ phế thải xây dựng và phế thải từ hoạt động khai thác khoáng sản) đang trở thành một xu hướng tất yếu, góp phần giảm áp lực lên tài nguyên thiên nhiên và bảo vệ môi trường. Hiện nay trong nhiều công trình xây dựng có quy mô từ nhỏ đến lớn đã phải sử dụng cát nhân tạo

thay thế cốt liệu nhỏ tự nhiên trước áp lực của giá thành ngày càng tăng nhưng sản lượng cát tự nhiên, các vùng nguyên liệu khai thác cát tự nhiên ngày càng bị thu hẹp [8].

Nhiều nghiên cứu ở Việt Nam cho thấy, lượng cát xây dựng sử dụng ở Việt Nam khoảng 120 ÷ 130 triệu m^3/năm nhưng dự báo nguồn cung cát tự nhiên từ các mỏ khai thác hợp pháp chỉ đáp ứng được khoảng 40 ÷ 50% nhu cầu trong thực tế [1]. Hiện tại, một số tỉnh ở nước ta đã xảy ra tình trạng khan hiếm cát tự nhiên và giá cát tăng cao đã tác động không nhỏ đến hoạt động xây dựng [2], [3]. Do đó, việc nghiên cứu tái sử dụng các loại vật liệu thải từ hoạt động khai thác khoáng sản thay thế vật liệu tự nhiên là một trong những giải pháp không những mang lại hiệu quả to lớn về kinh tế - kỹ thuật mà còn hiệu quả về môi trường sinh thái bền vững cho các hoạt động khai thác khoáng sản ở Việt Nam.

Quá trình khai thác khoáng sản, đất hiếm ở nước ta đang thải ra môi trường một lượng rất lớn các nguồn phế thải dưới dạng vật liệu bã thải, bùn thải và quặng đuôi,… Các nguồn phế thải này hiện đang ảnh hưởng không nhỏ đến môi trường và làm giảm năng suất khai thác của các nhà máy. Chỉ tính riêng Công ty Cổ phần Đồng Tả Phời – Vinacomin (Đồng Tả Phời) trong quá trình khai thác tuyển nổi quặng đồng, một lượng lớn các loại bùn thải, quặng đuôi với hàm lượng khoáng sản thấp đã thải ra các hồ chứa. Theo báo cáo của Đồng Tả Phời, kết thúc quý I/2024 các loại phế thải trong quá trình sản xuất gồm có: (i)- Bùn thải, quặng đuôi sau chế biến: 3.919.641 tấn, tương đương khoảng 2.449.776 m^3; (ii)- Đất đá thải các loại: 16.300.000 m^3. Hơn nữa, với khối lượng các loại bùn thải, quặng đuôi… phát sinh khoảng 60.000 m^3/mỗi tháng tại các hồ chứa đã đặt ra nhiều thách thức cho Đồng Tả Phời [4]. Đặc biệt là các sự cố liên quan đến dung tích hồ chứa và độ an toàn của đập hồ thải quặng đuôi đang là vấn đề rất được quan tâm. Năm 2023, sự cố tại hồ chứa bùn thải quặng đuôi của nhà máy tuyển đã gây ra nhiều vấn đề phức tạp cho môi trường và người dân xung quanh [5]. Do đó, việc nghiên cứu sử dụng bùn thải của Nhà máy tuyển đồng Tả Phời thay thế cốt liệu nhỏ tự nhiên trong chế tạo bê tông xanh không xi măng là một trong những vấn đề cấp thiết hiện nay.

Hình 1. Hồ chứa bùn thải của Nhà máy tuyển đồng Tả Phời (Lào Cai, Việt Nam)

Mục đích của nghiên cứu này là đánh giá khả năng sử dụng hàm lượng (0-30)% bùn thải thay thế cát tự nhiên để chế tạo hỗn hợp bê tông xanh có tính công tác tốt, giá trị cường độ nén yêu cầu ở tuổi 28 ngày trên 40 MPa. Vật liệu sử dụng trong nghiên cứu gồm: i)-Vật liệu bột khoáng hoạt tính: Tro bay Nhà máy nhiệt điện Phả Lại (Nhiệt điện Phả Lại) và xỉ lò cao Hòa Phát; ii)-Cốt liệu: Bùn thải, cát vàng sông Lô, đá dăm từ đá vôi của mỏ đá Kiện Khê (Hà Nam); iii)-hỗn hợp dung dịch kiềm hoạt hóa: Dung dịch NaOH 12M, dung dịch Na_2SiO_3 có mô đun silic 2,5 và phụ gia siêu dẻo SR 5000F. Kết quả nghiên cứu đã cho thấy hàm lượng bùn thải đã ảnh hưởng đáng kể đến tính chất của bê tông xanh không xi măng ở trạng thái dẻo và trạng thái cứng rắn. Đồng thời, bài viết cũng cho thấy tiềm năng sử dụng các loại bùn thải với vai trò như là cát mịn nhân tạo thay thế cát tự nhiên là giải hiệu quả trong quá trình phát triển và quản lý ngành công nghiệp khai thác khoáng sản bền vững ở Việt Nam hiện nay.

2. DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Nguyên vật liệu và tiêu chuẩn áp dụng

2.1.1. Nguyên vật liệu sử dụng

Trong nghiên cứu này sử dụng các loại vật liệu như sau:

2.1.1.1. Vật liệu bột khoáng hoạt tính

Vật liệu bột khoáng hoạt tính (VLBKHT) là loại vật liệu giàu các thành phần Al_2O_3 và SiO_2 hoạt tính. Trong nghiên cứu này đã sử dụng tro bay Nhiệt điện Phả Lại kết hợp với xỉ lò cao Hòa Phát.

a) Tro bay (TB) loại F của Nhiệt điện Phả Lại thỏa mãn các yêu cầu của TCVN 10302:2014 "Phụ gia hoạt tính tro bay dùng cho bê tông, vữa xây và xi măng".

b) Xỉ lò cao S95 hoạt hóa nghiền mịn (Xi) được mua từ khu liên hợp gang - thép của Hòa Phát thỏa mãn theo TCVN 11586:2016 "Xỉ hạt lò cao nghiền mịn dùng cho bê tông và vữa".

Từ thực nghiệm đã lựa chọn được thành phần của vật liệu bột khoáng hoạt tính sử dụng trong nghiên cứu như sau: TB = 50% VLBKHT và Xi = 50% VLBKHT theo khối lượng.

(a) (b)

Hình 2. Tro bay Nhiệt điện Phả Lại (a) và xỉ luyện kim Hòa Phát (b)

Bảng 1. Thành phần hóa học và tính chất vật lý của tro bay Nhiệt điện Phả Lại, xỉ lò cao Hòa Phát

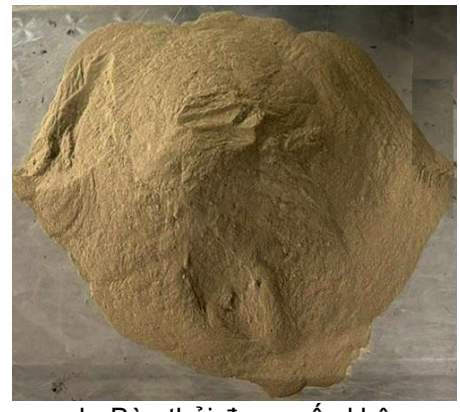
Loại vật liệu sử dụng	Tro bay nhiệt điện	Xỉ lò cao
Ký hiệu	TB	Xi
Thành phần hóa học của tro bay nhiệt điện và xỉ lò cao (% về khối lượng)		
SiO_2	54,2	36,3
Al_2O_3	23,3	12,6
Fe_2O_3	9,8	3,4
SO_3	2,5	5,7
K_2O	1,4	0,4
Na_2O	1,1	0,3
MgO	0,6	-
CaO	1,2	40,1
P_2O_5	1,4	-
Lượng mất khi nung	4,5	1,2
Tính chất vật lý của tro bay nhiệt điện và xỉ lò cao		
Tỷ diện bề mặt riêng (cm^2/g)	3950	5820
Khối lượng riêng (g/cm^3)	2,35	2,92
Khối lượng thể tích xốp tự nhiên (kg/m^3)	1575	1650
Độ rỗng giữa các hạt (%)	32,98	43,49

2.1.1.2. Thành phần cốt liệu

Thành phần cốt liệu (CL) sử dụng trong nghiên cứu này gồm có: Bùn thải của nhà máy tuyển quặng đồng Tả Phời, cát vàng sông Lô và đá dăm từ đá vôi.

a) Bùn thải của nhà máy tuyển quặng Đồng Tả Phời. Trong nghiên cứu này, bùn thải (BT) được sử dụng với vai trò là các loại cốt liệu nhỏ và nhằm mục đích thay thế một phần vật liệu cát tự nhiên trong thành phần của bê tông xanh không xi măng. Mẫu bùn thải được lấy từ hồ chứa, sau đó được đưa đi sấy khô trong tủ sấy, được sàng qua sàng có kích thước mắt sàng 5,0 mm để loại bỏ các hạt sỏi có kích thước lớn. Kích thước hạt của bùn thải sau sàng rất mịn, có đường kính trong khoảng 0,0 ÷ 0,75 mm và thỏa mãn yêu cầu của TCVN 10796:2015 "Cát mịn cho bê tông và vữa" (Hình 3).

a. Mẫu bùn thải tại hồ chứa



b. Bùn thải được sấy khô

Hình 3. Bùn thải tuyển quặng đồng của nhà máy tuyển đồng Tả Phời

b) Cốt liệu nhỏ là cát vàng sông Lô (CS), cát tự nhiên, chất lượng tốt, thỏa mãn yêu cầu của tiêu chuẩn TCVN 7570:2006 (Hình 4a).

Trong giới hạn của nghiên cứu này, hàm lượng bùn thải sử dụng dao động từ 0%; 40%; 60% và đến 100% hàm lượng của cát vàng sông Lô.

c) Cốt liệu lớn là đá dăm (ĐD) nghiền từ đá vôi Kiện Khê (Hà Nam) với kích thước hạt từ 5 mm đến 10 mm (Hình 4b). Đá dăm với D_{max} = 10 mm, có chất lượng tốt, khối lượng riêng 2,65 g/cm^3, khối lượng thể tích trung bình ở trạng thái đầm chặt 1540 kg/m^3, thỏa mãn yêu cầu của tiêu chuẩn TCVN 7570:2006.

a. Cát vàng sông Lô

b. Đá dăm 5-10 mm

Hình 4. Nguyên vật liệu sử dụng trong nghiên cứu

Các tính chất vật lý của thành phần cốt liệu sử dụng đã được thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 2. Tính chất vật lý của thành phần cốt liệu

Loại cốt liệu	Ký hiệu	Kích thước hạt (mm)	Khối lượng riêng (kg/m^3)	Khối lượng thể tích ở trạng thái đầm chặt (kg/m^3)	Độ hổng ở trạng thái đầm chặt (%)	Độ ẩm (%)	Mô đun độ lớn M_{dl}
Bùn thải	BT	0,0 ÷ 0,75	2400	1670	30,4	10,2	-
Cát vàng sông Lô	CS	0,14 ÷ 5,0	2650	1650	37,7	5,5	2,85
Đá dăm	DD	5,0 ÷ 10,0	2670	1600	40,1	3,0	-

2.1.1.3. Dung dịch kiềm hoạt hóa

Hỗn hợp dung dịch kiềm hoạt hóa (DDHH) có vai trò là chất kích hoạt, thúc đẩy quá trình geopolymer hóa, khử nguyên tử Al và Si trong vật liệu bột khoáng hoạt tính, đồng thời tăng mức độ hòa tan các hạt tro bay và xỉ lò cao đã sử dụng trong thành phần của hỗn hợp bê tông xanh.

Dung dịch hoạt hóa trong nghiên cứu này sử dụng là hỗn hợp dung dịch Natri hydroxit – NaOH 12M và dung dịch Natri silicat – Na_2SiO_3 có mô đun Silic là M_{Si} = 2,50. Tỷ lệ về hàm lượng DDHH/VLBKHT = 0,45 (Hình 5).

a). Dung dịch Natri hidroxit – NaOH 12 M

b). Dung dịch Natri silicat – Na_2SiO_3

Hình 5. Dung dịch Natri hidroxit – NaOH 12 M (a) và dung dịch Natri silicat – Na_2SiO_3 (b)

a) Dung dịch Natri hydroxit

Dung dịch Natri hydroxit (NaOH) thu được bằng cách pha NaOH dạng dạng rắn vào nước để đạt được nồng độ mol theo yêu cầu. Natri hydroxit có màu trắng đục và độ tinh khiết 99% thỏa mãn các tiêu chuẩn TCVN 3794:2009 và TCVN 3793:1983. Trong nghiên cứu này, nồng độ mol/lít của dung dịch NaOH được sử dụng là 12 M với thành phần xác định bằng thực nghiệm gồm: 36,1% NaOH và 63,9% nước (Bảng 3).

Bảng 3. Thành phần và tính chất của dung dịch NaOH 12M

Nồng độ của dung dịch NaOH (mol/lít)	Hàm lượng chất rắn NaOH (%)	Hàm lượng nước nhào trộn (%)	Khối lượng riêng của dung dịch NaOH (kg/m^3)
12 M	36,1	63,9	1420

b) Dung dịch Natri silicat

Dung dịch Natri silicat (Na_2SiO_3) có mô đun silic SiO_2/Na_2O = 2,5 và khối lượng riêng của dung dịch là 1550 kg/m^3. Thành phần phần trăm theo khối lượng của dung dịch Natri silicat gồm có: %Na_2O = 11,8; %SiO_2 = 29,5 và H_2O = 58,7% (Hình 5b).

Hỗn hợp dung dịch kiềm kích hoạt cần được chuẩn bị theo 03 bước như sau:

(i) Hòa tan NaOH dạng rắn vào cốc sứ đựng nước theo khối lượng đã xác định để thu được dung dịch có nồng độ yêu cầu, đặc biệt cần lưu ý khuấy trộn để cho NaOH được tan hoàn toàn, không kết tụ dưới đáy cốc;

(ii) Dung dịch Na_2SiO_3 được định lượng theo khối lượng theo từng loại cấp phối của chất kết dính;

(iii). Tiếp đó, hai dung dịch này được hòa trộn vào nhau để thu được một dung dịch đồng nhất. Theo nhiều kinh nghiệm nghiên cứu trước đây, pha chế dung dịch kiềm kích hoạt ít nhất một ngày trước khi sử dụng để trộn vào hỗn hợp thí nghiệm.

Trong giới hạn của nghiên cứu này, tỷ lệ Na_2SiO_3/NaOH = 2,5.

2.1.1.3. Phụ gia siêu dẻo

Phụ gia siêu dẻo (SD) được sử dụng trong nghiên cứu là SR 5000F của công ty «SilkRoad». Đây là loại phụ gia giảm nước tầm cao, thế hệ 3, có thành phần dựa trên gốc Polycarboxylate. Phụ gia siêu dẻo SR 5000F thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật của TCVN 8826:2011.

Để điều chỉnh tính công tác của hỗn hợp bê tông, nghiên cứu này đã sử dụng phụ gia siêu dẻo SR5000F với hàm lượng là 1,5% VLBKHT.

Hình 6. Phụ gia siêu dẻo SR5000F của Silkroad

2.1.1.4. Nước sạch

Nước sạch sinh hoạt được sử dụng để hòa tan NaOH (dạng khan) thành dung dịch NaOH 12M và bảo dưỡng mẫu sau khi thí nghiệm, thỏa mãn tiêu chuẩn TCVN 4506:2012.

2.2. Thiết kế thành phần cấp phối bê tông

Mục tiêu thiết kế thành phần hỗn hợp bê tông gồm có:

+ Hỗn hợp bê tông xanh được thiết kế với độ sụt dao động từ 15 cm đến 20 cm xác định trên bộ côn hình nón cụt tiêu chuẩn với kích thước 100x200x300mm;

+ Cường độ nén trung bình yêu cầu của mẫu bê tông xanh sử dụng bùn thải của nhà máy tuyển quặng đồng Tả Phời ở tuổi 28 ngày đạt 40 MPa xác trên mẫu hình lập phương kích thước 100x100x100 mm theo yêu cầu của tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 3118:2022;

+ Hệ số an toàn K = 1,15 được sử dụng khi xác định cường độ nén yêu cầu trong quá trình tính toán cấp phối hỗn hợp bê tông xanh không xi măng [6].

Để đánh giá khả năng sử dụng bùn thải của Nhà máy tuyển quặng đồng Tả Phời thay thế cốt liệu nhỏ tự nhiên trong chế tạo bê tông xanh không xi măng, nghiên cứu này đã khảo sát và sử dụng hàm lượng bùn thải sử dụng dao động lần lượt từ 0%; 40%; 60% và 100% so với hàm lượng cát vàng sông Lô.

Bê tông xanh không xi măng là vật liệu mới, hiện tại chưa có tiêu chuẩn nào hướng dẫn lựa chọn và tính toán thành phần cấp phối. Quá trình tính toán thiết kế thành phần cấp phối của bê tông xanh sử dụng bùn thải thay thế một phần cốt liệu nhỏ được thực hiện theo trình tự trong yêu cầu theo Quyết định số 778/1998/QĐ-BXD ngày 05/09/1998 "Chỉ dẫn kỹ thuật chọn thành phần bê tông các loại" [7]. Tuy nhiên, quá trình thực nghiệm đã điều chỉnh thành phần cấp phối dựa vào tính chất của vật liệu sử dụng thực tế.

Dựa vào hàm lượng của bùn thải của nhà máy tuyển quặng đồng Tả Phời dao động từ 0%; 4%; 60% và 100%, nghiên cứu đã tính toán và thu được 04 cấp phối hỗn hợp bê tông, trình bày trong Bảng 5.

Bảng 5. Thành phần cấp phối vật liệu của hỗn hợp bê tông xanh sử dụng bùn thải

.	Các tỷ lệ, (%)		Thành phần cấp phối cho 1 m^3 bê tông xanh (kg)							
			Vật liệu bột khoáng		Cốt liệu			Dung dịch hoạt hóa		Phụ gia siêu dẻo
	CS	BT	TB	Xi	CS	BT	ĐD	NaOH	Na_2SiO_3	SD
BTX - 01[1]	100	0	270	270	500	0	1020	177	71	8,25
BTX - 02	60	40	270	270	300	200	1020	177	71	8,25
BTX - 03	40	60	270	270	200	300	1020	177	71	8,25
BTX - 04	0	100	270	270	0	500	1020	177	71	8,25

Độ sụt và khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông xanh được xác định ngay sau khi nhào trộn xong hỗn hợp vật liệu. Giá trị khối lượng thể tích tự nhiên và độ hút nước bão hòa theo khối lượng được xác định tại tuổi mẫu 28 ngày. Cường độ nén của bê tông xanh sử dụng bùn thải của nhà máy tuyển đồng Tả Phời được xác định cường độ chịu nén ở các tuổi 1 ngày, 3 ngày, 7 ngày, 14 ngày, và 28 ngày. Mỗi tuổi mẫu thí nghiệm gồm 06 tổ mẫu, mỗi tổ mẫu gồm 03 viên mẫu hình lập phương cạnh 100x100x100 mm theo yêu cầu của TCVN 3118:2022 [8]. Các mẫu sau khi tạo hình, được bảo dưỡng 1 ngày trong khuôn, sau đó mẫu được tháo khuôn và được đưa đi ngâm trong bể nước để bảo

[1] Mẫu bê tông xanh không xi măng ký hiệu BTX-01 là mẫu bê tông xanh không xi măng đối chứng với thành phần không chứa bùn thải.

dưỡng đến các tuổi thí nghiệm.

2.3. Phương pháp thí nghiệm

Nghiên cứu đã sử dụng các tiêu chuẩn thí nghiệm như sau:

- Lấy mẫu, chế tạo hỗn hợp bê tông và bảo quản mẫu thử sau khi tạo hình được thực hiện theo yêu cầu của TCVN 3105:2022;

- Độ sụt của hỗn hợp bê tông được xác định trên bộ côn hình nón cụt tiêu chuẩn theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 3106:2022 (Hình 8);

Hình 7. Hỗn hợp bê tông xanh sử dụng bùn thải sau khi nhào trộn

Hình 8. Xác định độ sụt của hỗn hợp bê tông xanh

- Khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông thí nghiệm sau khi nhào trộn được xác định theo tiêu chuẩn TCVN 3108:2022 (Hình 9);

- Khối lượng thể tích tự nhiên của mẫu bê tông ở tuổi 28 ngày sau khi nhào trộn được xác định theo tiêu chuẩn TCVN 3115:2022 (Hình 10);

Hình 9. Xác định khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông xanh

Hình 10. Xác định khối lượng thể tích của mẫu bê tông ở tuổi 28 ngày

- Độ hút nước theo khối lượng của mẫu bê tông ở tuổi 28 ngày theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 3113:2022;

- Cường độ nén của mẫu bê tông sử dụng tro xỉ nhà máy điện đốt rác ở các tuổi 1 ngày; 3 ngày; 7 ngày; 14 ngày và 28 ngày được xác theo trình tự

của tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 3118:2022.

Trong giới hạn của điều kiện thí nghiệm tại Trường Đại học Mỏ-Địa chất, cường độ nén của mẫu bê tông đã xác trên mẫu hình lập phương kích thước 100x100x100 mm (Hình 11).

Hình 11. Khuôn đổi mẫu bê tông thí nghiệm kích thước 10x10x10cm

Hình 12. Hệ thống máy nén xác định cường độ của mẫu thí nghiệm

- Giá trị cường độ nén của mẫu bê tông xanh ở các tuổi khác nhau được xác định trên hệ thống máy nén thủy lực với tốc độ gia tải 1000 N/s.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả nghiên cứu

Kết quả thực nghiệm trong điều kiện phòng thí nghiệm của hỗn hợp bê tông và bê tông xanh không xi măng đã được trình bày chi tiết trên Bảng 6 và Bảng 7.

Bảng 6. Tính chất của hỗn hợp bê tông xanh sau khi nhào trộn

Stt	Tính chất	Hỗn hợp bê tông xanh sử dụng bùn thải							
		BTX-01		BTX-02		BTX-03		BTX-04	
		Giá trị trung bình	Độ lệch chuẩn	Giá trị trung bình	Độ lệch chuẩn	Giá trị trung bình	Độ lệch chuẩn	Giá trị trung bình	Độ lệch chuẩn
1	Độ sụt của hỗn hợp bê tông xanh (cm)	22,5	1,0	18,5	1,2	16,5	1,4	14,0	1,5
2	Khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông xanh sau khi nhào trộn (kg/m^3)	2319	1,5	2310	2,0	2300	2,0	2298	2,2

Bảng 7. Tính chất cơ lý của mẫu bê tông xanh sau khi rắn chắc

Stt	Tính chất	Mẫu bê tông xanh sử dụng bùn thải							
		BTX-01		BTX-02		BTX-03		BTX-04	
		Giá trị trung bình	Độ lệch chuẩn	Giá trị trung bình	Độ lệch chuẩn	Giá trị trung bình	Độ lệch chuẩn	Giá trị trung bình	Độ lệch chuẩn
1	Khối lượng thể tích tự nhiên của mẫu bê tông ở tuổi 28 ngày (kg/m^3)	2303	4,5	2300	4,5	2295	4,0	2285	4,0
2	Độ hút nước bão hòa theo khối lượng ở tuổi 28 ngày (%)	9,55	1,5	9,25	1,2	8,0	1,0	7,45	1,0

Stt	Tính chất	Mẫu bê tông xanh sử dụng bùn thải							
		BTX-01		BTX-02		BTX-03		BTX-04	
		Giá trị trung bình	Độ lệch chuẩn	Giá trị trung bình	Độ lệch chuẩn	Giá trị trung bình	Độ lệch chuẩn	Giá trị trung bình	Độ lệch chuẩn
3	Cường độ nén trung bình (MPa) tại các tuổi mẫu:								
	1 ngày	8,8	1,5	10,2	1,0	9,5	2,0	7,8	1,6
	3 ngày	18,7	2,0	22,1	1,5	20,5	2,1	17,0	2,2
	7 ngày	33,8	2,2	40,0	1,8	35,4	2,0	31,0	2,0
	14 ngày	42,3	2,2	46,9	2,0	43,5	1,8	39,8	2,5
	28 ngày	47,3	2,3	51,3	2,2	47,8	2,4	44,0	2,0

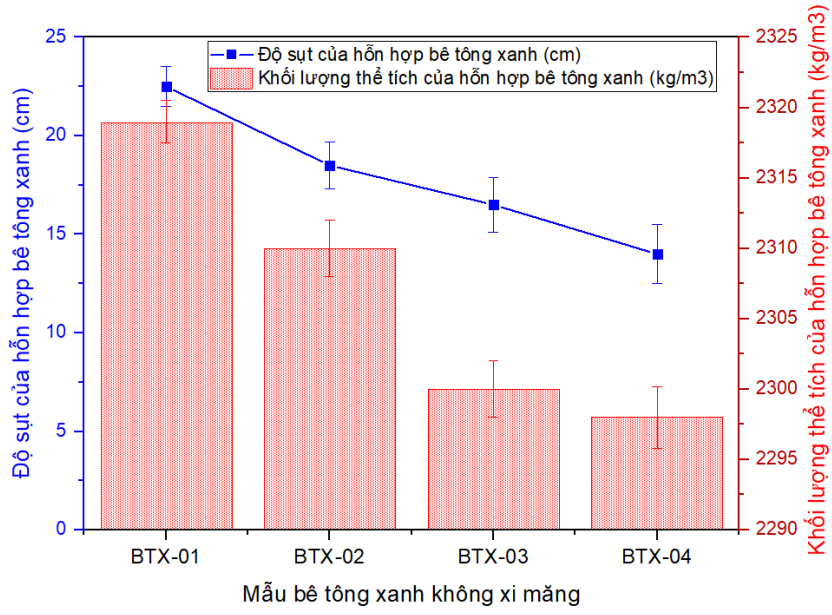
3.2. Thảo luận

Sau khi nhào trộn hỗn hợp bê tông xanh sử dụng bùn thải quặng đồng có độ dẻo cao, tính công tác tốt, không bị phân tầng tách lớp. Điều này được giải thích là do hỗn hợp bê tông xanh đã sử dụng 1,5% phụ gia siêu dẻo SR 5000F. Mặc dù tỷ lệ DDHH/VLBKHH = 0,45, lượng nước trộn rất nhỏ, nhưng do thành phần chất kết dính hoàn toàn không chứa xi măng, lượng nước không bị mất đi trong quá trình thủy hóa như trong bê tông xi măng. Đó cũng là một nguyên nhân để hỗn hợp bê tông xanh có độ đồng nhất và tính công tác rất tốt mặc dù lượng dung dịch hoạt hóa sử dụng có hàm lượng nhỏ.

Bên cạnh đó, khi sử dụng bùn thải quặng đồng thay thế từ 60% đến 100% hàm lượng cát tự nhiên thì tính công tác và khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông xanh có xu hướng giảm. Về hiệu ứng này được giải thích như sau, bùn thải có lượng hạt mịn lớn. Theo TCVN 7570:2006 thì bùn thải được xếp vào loại cát mịn vì có Mô đun độ lớn từ 0,5 đến 1,0. Thành phần hạt mịn đã tăng lượng cần nước thấm ướt bề mặt của cốt liệu, do đó đang giảm nước lượng tạo ra độ chảy dẻo của hỗn hợp bê tông. Vì vậy độ sụt của hỗn hợp bê tông đã giảm từ 22,5 cm xuống chỉ còn 14,0 cm [9]. Từ kết quả nghiên cứu này có thể thấy rằng, khi sử dụng bùn thải với vai trò là cốt liệu nhỏ (cát mịn nhân tạo) trong thành phần của bê tông, cần xem xét tăng thêm lượng dung dịch nhào trộn để đảm bảo tính công tác của hỗn hợp bê tông không bị suy giảm.

Từ số liệu trong Bảng 6, có thể thấy rõ xu hướng giảm khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông xanh khi sử dụng bùn thải thay thế cát tự nhiên. Cụ thể, hỗn hợp BTX-01 (không sử dụng bùn thải) có khối lượng thể tích trung bình là 2319 kg/m³ với độ lệch chuẩn ±1,5. Trong khi đó, các hỗn hợp có sử dụng bùn thải như BTX-02, BTX-03 và BTX-04 có khối lượng thể tích lần lượt là 2310 kg/m³, 2300 kg/m³ và 2298 kg/m³, với độ lệch chuẩn dao động từ 2,0 đến 2,2.

Mức giảm này tuy không lớn về giá trị tuyệt đối, nhưng thể hiện xu hướng giảm dần đều khi lượng bùn thải tăng lên. Từ mẫu BTX-01 đến BTX-04, khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông sau khi nhào trộn đã giảm khoảng 21 kg/m³ (tương đương 0,021 tấn/m³), cho thấy ảnh hưởng rõ rệt của việc sử dụng bùn thải có khối lượng riêng thấp hơn cát tự nhiên. Đây chính là yếu tố góp phần làm giảm mật độ khối của hỗn hợp bê tông xanh ở trạng thái dẻo. Xu hướng này phù hợp với nhận định về đặc điểm vật lý của bùn thải, vốn có khối lượng riêng thấp hơn cát tự nhiên (khoảng 2400 kg/m³ so với 2650 kg/m³). Việc thay thế một phần cát tự nhiên bằng bùn thải đã góp phần giảm khối lượng thể tích của bê tông, đồng thời tạo điều kiện cải thiện cấu trúc vi mô nhờ thành phần hạt mịn có hoạt tính (Bảng 6).



Hình 13. Ảnh hưởng của hàm lượng bùn thải đến độ sụt của hỗn hợp bê tông xanh và độ hút nước bão hòa của mẫu bê tông sau khi rắn chắc

Dữ liệu trong Bảng 7 cho thấy, việc sử dụng bùn thải có chứa thành phần hạt mịn đã tác động tích cực đến độ đặc vi cấu trúc của bê tông xanh. Cụ thể, độ hút nước bão hòa theo khối lượng ở tuổi 28 ngày của mẫu BTX-01 (không chứa bùn thải) đạt mức trung bình 9,55%, với độ lệch chuẩn ±1,5. Khi tăng dần hàm lượng bùn thải trong các mẫu BTX-02, BTX-03, và BTX-04, độ hút nước giảm rõ rệt, lần lượt còn 9,25%, 8,00%, và thấp nhất là 7,45% (với độ lệch chuẩn chỉ ±1,0). Sự giảm đều này là minh chứng rõ nét cho khả năng cải thiện vi cấu trúc của hỗn hợp bê tông xanh khi có sự góp mặt của các hạt mịn có hoạt tính trong bùn thải. Các vi lỗ rỗng mao quản và gel trong nền bê tông dường như đã được lấp đầy bởi các hạt mịn này, góp phần tăng mức độ đặc chắc và giảm khả năng thấm nước của sản phẩm. Như vậy, hiệu ứng sử dụng bùn thải trong bê tông xanh không chỉ giúp tận dụng vật liệu phế thải mà còn mang lại hiệu quả kỹ thuật đáng kể, thông qua việc cải thiện độ đặc và giảm độ hút nước – yếu tố then chốt trong nâng cao độ bền lâu và khả năng chống xâm thực của bê tông xanh trong điều kiện môi trường khắc nghiệt.

Khối lượng thể tích của các mẫu bê tông xanh sau khi rắn chắc tại tuổi 28 ngày trong Bảng 7 cho thấy có xu hướng giảm dần khi tăng hàm lượng bùn thải thay thế cát tự nhiên trong cấp phối. Cụ thể, mẫu BTX-01 không sử dụng bùn thải có khối lượng thể tích cao nhất, đạt 2303 kg/m³, trong khi mẫu BTX-04 có hàm lượng bùn thải cao nhất chỉ còn 2285 kg/m³. Mức giảm này tuy không lớn về giá trị tuyệt đối, nhưng phản ánh rõ ảnh hưởng của việc thay thế cốt liệu bùn thải có khối lượng riêng thấp hơn cát tự nhiên trong hỗn hợp bê tông. Nhìn chung, việc giảm nhẹ khối lượng thể tích của bê tông khi sử dụng bùn thải là hợp lý, đồng thời còn góp phần cải thiện vi cấu trúc, khi được đánh giá đồng thời với chỉ tiêu độ hút nước trong bảng. Đây là một xu hướng tích cực, nhất là trong bối cảnh hướng đến vật liệu xây dựng nhẹ hơn, thân thiện môi trường nhưng vẫn đảm bảo tính chất cơ lý cần thiết.

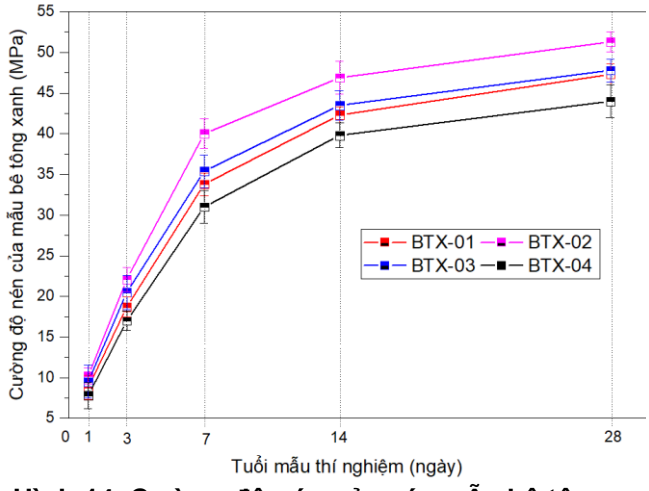
Cường độ chịu nén của các mẫu bê tông xanh biến đổi rõ rệt theo hàm lượng bùn thải sử dụng trong cấp phối. Theo số liệu thực nghiệm trong Bảng 7, tất cả các mẫu bê tông xanh có sử dụng bùn thải đều đạt cường độ nén trung bình ở tuổi 28 ngày trên 40 MPa, đảm bảo yêu cầu kỹ thuật về bê tông cường độ cao khi xét đến hệ số an toàn thông thường là 1,12. Tuy nhiên, mức cường độ đạt được có sự khác biệt tương đối rõ ràng giữa các cấp phối. Mẫu BTX-01 (không sử dụng bùn thải) có cường độ nén trung bình khoảng là 47,3 MPa, tiếp đến mẫu BTX-02 đạt giá trị lớn nhất 51,3 MPa, BTX-03 đạt 47,8 MPa, và thấp nhất là BTX-04 với 44,0 MPa. Điều này cho thấy khi thay thế một phần cát tự nhiên bằng bùn thải tuyển quặng đồng, cường độ nén của bê tông vẫn được duy trì ở mức cao nếu hàm lượng bùn thải ở mức vừa phải. Tuy nhiên, khi tỷ lệ bùn thải tăng lên, hiệu quả kết dính và đặc chắc của cấu trúc bị ảnh hưởng, dẫn đến suy giảm cường độ.

Mẫu BTX-02 có cường độ nén vượt mẫu đối chứng BTX-01, cho thấy thành phần hạt mịn và khoáng hoạt tính trong bùn thải như SiO_2 và Al_2O_3

vẫn phát huy tác dụng tích cực thông qua các phản ứng pozzolanic, góp phần lấp đầy lỗ rỗng và làm đặc chắc vi cấu trúc. Việc sử dụng bùn thải có thành phần hạt mịn cũng giúp điều chỉnh thành phần hạt cốt liệu theo hướng hợp lý hơn, giảm độ rỗng trong hỗn hợp và tăng hiệu quả đóng gói, từ đó nâng cao khả năng chịu nén của bê tông xanh ở mức tương đương bê tông thường. Tuy nhiên, khi tỷ lệ bùn thải quá cao như trong mẫu BTX-03 và BTX-04, cường độ nén giảm mạnh xuống chỉ còn 47,8 MPa và 44,0 MPa, cho thấy giới hạn trong khả năng thay thế cốt liệu tự nhiên. Việc sử dụng bùn thải trong bê tông xanh cần được kiểm soát hàm lượng hợp lý để đạt được sự cân bằng giữa hiệu quả cơ học và tính bền vững của vật liệu.

Mặt khác, thành phần phụ gia khoáng hoạt tính gồm tro bay và xỉ nhiệt điện kết hợp với 1,5% phụ gia siêu dẻo SR 5000F cũng là một trong các nguyên nhân tăng cường độ nén của mẫu bê tông xanh ở các tuổi thí nghiệm. Kết quả này tương tự với nhiều nghiên cứu về bê tông cường độ cao đã công bố trước đây [10] - [12].

Sự ảnh hưởng của hàm lượng bùn thải quặng đồng đến cường độ nén của mẫu bê tông xanh thí nghiệm ở các tuổi mẫu khác nhau được thể hiện trực quan trên Hình 14.



Hình 14. Cường độ nén của các mẫu bê tông thí nghiệm theo thời gian bảo dưỡng

Từ kết quả về cường độ nén tại các tuổi khác nhau trong Bảng 7 cho thấy, các mẫu bê tông xanh sử dụng bùn thải tuyển quặng đồng đều có tốc độ phát triển cường độ tương đối ổn định, bất chấp sự thay đổi hàm lượng bùn thải từ 0% đến 100%. Ở tất cả các cấp phối, cường độ nén tại các mốc thời gian 1 ngày, 3 ngày, 7 ngày và 14 ngày đều đạt tỷ lệ đáng kể so với cường độ nén ở tuổi 28 ngày, trong đó nhiều mẫu đã đạt trên 70% cường độ sau 7 ngày và trên 90% sau 14 ngày [13] - [15] . Điều này chứng tỏ quá trình rắn chắc của bê tông diễn ra hiệu quả trong giai đoạn đầu, phản ánh khả năng đóng rắn nhanh và phù hợp với yêu cầu kỹ thuật trong thi công hiện trường.

Tốc độ phát triển cường độ này tương đương với đặc điểm của các loại bê tông sử dụng phụ gia khoáng mịn có hoạt tính pozzolanic, cho thấy rằng bùn thải tuyển khoáng, nếu được xử lý và sử dụng hợp lý, có thể thay thế một phần cốt liệu nhỏ tự nhiên mà không làm giảm đáng kể khả năng chịu lực của bê tông. Ngoài việc đáp ứng yêu cầu cường độ nén cuối cùng, đặc tính phát triển cường độ nhanh theo thời gian còn là một lợi thế lớn đối với công nghệ thi công lắp ghép, đúc sẵn hoặc các công trình yêu cầu tháo dỡ ván khuôn sớm. Kết quả này là cơ sở khoa học quan trọng để khẳng định tiềm năng ứng dụng của bùn thải công nghiệp trong lĩnh vực vật liệu xây dựng, đồng thời góp phần thúc đẩy định hướng phát triển vật liệu xanh, tiết kiệm tài nguyên và hướng tới mô hình kinh tế tuần hoàn trong ngành công nghiệp xây dựng Việt Nam.

Với những kết quả bước đầu thu được trong nghiên cứu này có thể thấy rằng, việc sử dụng bùn thải của các nhà máy khai thác khoáng sản thuộc TKV thay thế một phần và tiến tới sẽ thay thế toàn bộ cốt liệu nhỏ tự nhiên trong chế tạo bê tông và vữa xây dựng là một trong những giải pháp mang lại nhiều hiệu quả to lớn trong quá trình phát triển khai thác khoáng sản bền vững và quản lý tốt hơn các nguồn chất thải độc hại phát sinh trong quá trình chế biến khoáng sản, thúc đẩy chuyển đổi xanh, tạo động lực mạnh mẽ chuyển dịch nền kinh tế tuần hoàn ở Việt Nam hiện nay.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu thực nghiệm đánh giá khả năng sử dụng bùn thải quặng đồng để thay thế cốt liệu nhỏ tự nhiên trong chế tạo bê tông xanh không xi măng đã rút ra một số kết luận như sau:

➢ Thành phần cấp phối bê tông xanh sử dụng bùn thải được tính toán dựa trên "Chỉ dẫn kỹ thuật chọn thành phần bê tông các loại" theo Quyết định số 778/1998/QĐ-BXD ngày 05/09/1998. Hỗn hợp bê tông xanh sau khi nhào trộn có tính công tác tốt, độ sụt từ 14,0 cm đến 22,5 cm. Mẫu bê tông xanh không xi măng với thành phần vật liệu bột khoáng hoạt tính và (0-100)% hàm lượng bùn thải, sau khi rắn chắc ở tuổi 28 ngày đều có cường độ nén trung bình đạt trên 40 MPa, thỏa mãn mục tiêu về giá trị cường độ nén thiết kế ban đầu;

➢ Khi hàm lượng bùn thải tăng lên từ 0% đến 100% thì tính công tác của hỗn hợp bê tông xanh giảm mạnh, cụ thể là độ sụt của hỗn hợp bê tông sau khi nhào trộn đã giảm từ 22,5 cm xuống chỉ còn 14,0 cm. Từ kết quả nghiên cứu này có thể thấy rằng, khi sử dụng bùn thải với vai trò là cát

mịn nhân tạo trong thành phần của bê tông, cần xem xét tăng thêm lượng dung dịch nhào trộn để đảm bảo tính công tác của hỗn hợp bê tông không bị suy giảm;

➢ Do khối lượng riêng của bùn thải nhỏ hơn đáng kể so với khối lượng riêng của cát vàng sông Lô, đo là nguyên nhân dẫn đến hiện tượng giảm giá trị khối lượng thể tích tự nhiên của mẫu bê tông xanh ở tuổi 28 ngày từ 2,303 tấn/m^3 xuống còn 2,285 tấn/m^3 trong phạm vị nghiên cứu này;

➢ Thành phần bùn thải có một lượng hạt có độ mịn cao do quá trình đập, nghiền quặng đồng. Thành phần hạt mịn này có vai trò "nêm chặt" các lỗ rỗng gel, lỗ rỗng giữa các hạt cốt liệu lớn. Kết quả là đã làm tăng độ đặc chắc của vi cấu trúc và giảm độ hút nước bão hòa của bê tông xanh từ 9,55% xuống còn 7,45% ở tuổi 28 ngày;

➢ Do bùn thải có độ mịn cao, những thành phần hạt không đồng đều, nhiều hạt dẹt, bề mặt hạt không tròn nhắn như cát tự nhiên đó là nguyên nhân dẫn đến sử thay đổi cường độ nén của mẫu bê tông xanh ở các tuổi khác nhau. Cấp phối bê tông sử dụng 40% bùn thải kết hợp 60% cát tự nhiên có cường độ nén ở tuổi 28 ngày cao nhất là 51,3 MPa. Khi hàm lượng bùn thải tăng lên đến 60% và 100% thì cường độ nén của mẫu thí nghiệm có xu hướng giảm dần do bộ khung cốt liệu kém ổn định hơn.;

➢ Giá trị cường độ nén trung bình ở các tuổi 1 ngày, 3 ngày, 7 ngày và 14 ngày đều đã đạt được trên 20%, 40%; 70% và 90% so với cường độ nén của mẫu ở tuổi 28 ngày;

➢ Tái sử dụng các nguồn vật liệu thải phát sinh trong quá trình khai thác khoáng sản là việc làm rất cần thiết hiện nay. Vì vậy, cần tiếp tục nghiên cứu về thành phần pha, cấu trúc vi mô, lực liên kết với cốt thép, đánh giá hiệu quả kinh tế… của sản phẩm bê tông xanh không xi măng sử dụng bùn thải và quặng đuôi… để kiểm chứng và làm rõ mức độ ảnh hưởng và khả năng sử dụng bùn thải, quặng đuôi đến các đặc tính cơ-lý-hóa của bê tông xanh không xi măng. Việc tận dụng các nguồn chất thải, đặc biệt là bùn thải và quặng đuôi… là giải pháp hiệu quả trong quá trình phát triển và thúc đẩy ngành công nghiệp khai thác khoáng sản tuần hoàn bền vững ở Việt Nam hiện nay ❐

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Bạch Đình Thiên, "Cốt liệu nhân tạo dùng trong công tác bê tông và san lấp công trình," *Tạp chí Xây dựng*. Số 11, 2020.

[2] Nguyễn Hồng Chương, Phùng Văn Lự và Nguyễn Mạnh Phát, "Nghiên cứu sử dụng đá mạt trong sản xuất bê tông nghèo xi măng," *Tạp chí Khoa học công nghệ Xây dựng*, Trường Đại học Xây dựng, 3(1):11-19, 2009.

[3] Hoàng Phạm Đinh Huy, Nguyễn Thanh Sang và Vũ Bá Đức, "Ảnh hưởng của hàm lượng cốt liệu tái chế từ gạch đất sét nung và bê tông phế thải đến tính chất cơ học của bê tông cường độ cao," *Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải 71*, No. 8, 2020, 944-955.

[4] Nguyễn Thành Trung, *Công ty Cổ phần Đồng Tả Phời - Vinacomin: Kết quả SXKD quý I/2023 gặt hái nhiều thành tựu*. Tạp chí điện tử Luật sư Việt Nam, 2023, https://lsvn.vn/cong-ty-co-phan-dong-ta-phoi-vinacomin-ket-qua-sxkd-quy-i-2023-gat-hai-nhieu-thanh-tuu-1684222827.html

[5] Bích Hợp và Trí Hòa, *Sự cố vỡ hồ thải đuôi quặng Công ty đồng Tả Phời: Tiếp tục tập trung nhân lực, khắc phục ngay sự cố.* Nông nghiệp và Môi trường, 2023, https://baotainguyenmoitruong.vn/su-co-vo-ho-thai-duoi-quang-cong-ty-dong-ta-phoi-tiep-tuc-tap-trung-nhan-luc-khac-phuc-ngay-su-co-361809.html.

[6] Vũ Ngọc Trụ, Tăng Văn Lâm, Hồ Anh Cương và Lại Ngọc Hùng, "Nghiên cứu sử dụng tro bay và xỉ đáy lò của nhà máy điện rác ngôi sao xanh để chế tạo bê tông cường độ cao trong điều kiện phòng thí nghiệm," *Tạp Chí Vật liệu và Xây dựng,* Bộ Xây dựng, 2024. Trang 113-119.

[7] Bộ Xây dựng, *Quyết định số 778/1998/QĐ-BXD ngày 05/09/1998- Chỉ dẫn kỹ thuật chọn thành phần bê tông các loại*, 60 trang.

[8] Bộ Xây dựng, *TCVN 3118:2022 Bê tông – Phương pháp xác định cường độ chịu nén,* 13 trang, 2023.

[9] Nguyễn Hữu Tân, Võ Nhật Luân và Tăng Văn Lâm,"Nghiên cứu sử dụng bùn thải của nhà máy alumin Tân Rai thay thế cốt liệu nhỏ tự nhiên trong chế tạo bê tông xanh không sử dụng xi măng định hướng xây dựng công trình nhà cao tầng khu vực Hồ Chí Minh," *Tạp chí Vật liệu và Xây dựng,* Bộ Xây dựng, 14(05), 2024.

[10] Lâm N.T., Kiên T.T. và Đại B.D., "Nghiên cứu chế tạo bê tông cường độ cao sử dụng hàm lượng lớn tro bay của nhà máy nhiệt điện Quảng Ninh," *Tạp Chí Khoa học Công nghệ Xây dựng,* Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, 15(6V), trang 1-11, 2021.

[11] Ngô Văn Toản, "Nghiên cứu chế tạo bê tông cường độ cao sử dụng cốt liệu cấp phối gián đoạn với cát mịn," *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng,* số 3, 2012.
[12] T.V. Lam, B. Bulgakov, Y. Bazhenov, O. Aleksandrova and P.N. Anh, "Effect of rice husk ash on hydrotechnical concrete behavior", *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 365 , 2018, doi:10.1088/1757-899X/365/3/032007
[13] Đỗ Mạnh Dũng, Trần Miên, Nguyễn Hoàng Huân và Trần Thị Thu Hà, "Thực tiễn và tiềm năng tái sử dụng, tái chế đất đá thải mỏ từ hoạt động khai thác than của tập đoàn công nghiệp than - khoáng sản việt nam (TKV) tại Quảng Ninh," *Tạp chí Công nghiệp mỏ*, Số 2, 2024, Trang 46-56.
[14] Lê Hùng Anh và Cao Văn Chơn, "Nghiên cứu tái chế tro- xỉ từ lò đốt làm bê tông nặng," *Hội nghị khoa học trẻ lần 4.* Đại học Công nghiệp TP. Hồ Chí Minh, 2022.
[15] Nguyễn Như Quý và Mai Quế Anh, Lý thuyết bê tông. *Nhà xuất bản Xây dựng,* Hà Nội, 2020, 210 tr.
[16]. Lê Viết Dũng, Tống Tôn Kiên, Đỗ Trọng Thành và Nguyễn Bá Lâm, "Nghiên cứu thực nghiệm đánh giá khả năng sử dụng cát nghiền nguồn gốc đá vôi cho cột bê tông cốt thép chịu nén." *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng* (KHCNXD)-ĐHXDHN 15, No. 3V, 2021: 93-103.

LỜI CẢM ƠN

Nội dung bài báo được hỗ trợ từ đề tài nghiên cứu cấp Tập đoàn của Công ty Cổ phần Đồng Tả Phời – Vinacomin, mã số: KC.01/21-25.

STUDY ON THE USE OF TAILINGS SLUDGE FROM THE TA PHOI COPPER CONCENTRATION PLANT AS A REPLACEMENT FOR NATURAL SAND IN THE PRODUCTION OF CEMENT-FREE GREEN CONCRETE

Manh Ha Pham[1], Quy Nam Nguyen[1], Tam Tinh Nguyen [2], Van Lam Tang[3,*]

[1] Vinacomin – Ta Phoi Copper JSC., 40 Vo Nguyen Giap, Lao Cai, Vietnam
[2] Vietnam National Coal and Mineral Industries Holding Corporation Limited, 226 Le Duan Street, Hanoi, Vietnam
[3] Hanoi University of Mining and Geology, 18 Pho Vien, Ha Noi, Vietnam

ARTICLE INFOR
TYPE: Research Article
Received: 18/7/2025
Revised: 05/9/2025
Accepted: 10/9/2025
[3,*] Corresponding author: Tang Van Lam
Email: tangvanlam@humg.edu.vn

ABSTRACT

This paper presents the experimental results on the use of waste mud from the Ta Phoi Copper Processing Plant as a partial replacement for natural fine aggregates in the production of green concrete without cement. The plant generates approximately 60,000 m³ of waste mud and tailings per month, posing significant challenges to storage capacity and environmental safety. The study follows current Vietnamese standards to evaluate the workability and compressive strength of green concrete mixtures containing 0÷30% waste mud. The resulting mixtures exhibited good workability with slump values ranging from 14.5 to 20.0 cm, stable bulk densities, and 28-day compressive strengths exceeding 40 MPa. The optimal mixture containing 10% waste mud achieved the highest compressive strength of 55.5 MPa. These findings demonstrate the potential of waste mud to function as an artificial fine aggregate, offering a sustainable solution to reduce natural sand consumption, manage industrial waste, and promote eco-friendly construction materials..

Keywords: *aste mud, fly ash, bottom slag, green concrete without cement, workability, compressive strength*

@ Vietnam Mining Science and Technology Association