

# Khả năng sử dụng bùn thải và đá thải trong khai thác khoáng sản quặng đồng Sin Quyền kết hợp tro bay nhiệt điện để chế tạo bê tông đầm lăn làm móng đường giao thông

Potential utilization of waste sludge and waste rock from Sin Quyen copper ore mining combined with coal fly ash for producing roller-compacted concrete for road subbase construction

> PGS.TS HỒ ANH CƯƠNG<sup>1</sup>, TS NGUYỄN TRỌNG DŨNG<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Giao thông vận tải; Email: hoanhuong@utc.edu.vn

<sup>2</sup>Trường Đại học Mở - Địa chất; Email: nguyentrongdung@humg.edu.vn

## TÓM TẮT

Hiện nay, Việt Nam hiện không đủ nguồn cung cát tự nhiên phục vụ nhu cầu xây dựng ở một số địa phương. Do đó, việc nghiên cứu sử dụng cát nhân tạo để thay thế cát tự nhiên là một trong những giải pháp hiệu quả không những về kinh tế, kỹ thuật mà còn cả về môi trường sinh thái. Trong nghiên cứu này đã sử dụng bùn thải, cát nhân tạo và đá dăm được gia công từ đá thải trong quá trình khai thác quặng đồng Sin Quyền (Lào Cai) kết hợp với tro bay nhiệt điện Sơn Động (Bắc Giang) để chế tạo bê tông đầm lăn (BTĐL) (RCC) trong phòng thí nghiệm. Kết quả nghiên cứu cho thấy, với tỷ lệ sử dụng tro bay nhiệt điện và bùn thải khai thác quặng đồng dao động từ 10% đến 30% theo thể tích của xi măng có thể chế tạo được BTĐL với độ cứng 20 - 40 giây, các giá trị trung bình ở tuổi 28 ngày như: Cường độ chịu kéo uốn từ 3,08 - 3,58 MPa, cường độ nén 24,5 - 28,5 MPa, độ mài mòn đạt 0,300 - 0,334 g/cm<sup>2</sup>, mô-đun đàn hồi khi nén tĩnh từ 38,5 - 41,5 GPa. Từ đó, bài báo đánh giá rằng BTĐL trong nghiên cứu có thể sử dụng được cho tầng móng của mặt đường giao thông cấp cao.

**Từ khóa:** Tro bay, bùn thải, đá thải, bê tông đầm lăn, độ cứng, cường độ chịu nén, độ mài mòn.

## ABSTRACT

Currently, Vietnam is facing a shortage of natural sand supplies for construction purposes in several regions. Therefore, the research

and development of alternative materials such as manufactured sand to replace natural sand is considered an effective solution not only in terms of economics and engineering but also in regard to environmental sustainability.

In this study, mining sludge, manufactured sand and crushed aggregate derived from waste rock produced during copper ore extraction at the Sin Quyen mine (Lao Cai province) were combined with coal fly ash from the Son Dong thermal power plant (Bac Giang province) to produce roller-compacted concrete (RCC) under laboratory conditions.

The research results indicate that with the replacement of Portland cement by 10% to 30% (by volume) of coal fly ash and mining sludge, the RCC mixtures exhibited a Vebe time of 20 - 40 seconds and, at 28 days of curing, achieved the following average mechanical properties: Flexural tensile strength ranging from 3.08 to 3.58 MPa, compressive strength from 24.5 to 28.5 MPa, abrasion loss between 0.300 and 0.334 g/cm<sup>2</sup> and static compressive modulus of elasticity between 38.5 and 41.5 GPa.

These findings suggest that the RCC developed in this study can be effectively used as a base layer material for high-grade pavement structures.

**Keywords:** Fly ash, mining sludge, waste rock, roller compacted concrete, hardness, compressive strength, abrasion.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Để phục vụ quá trình phát triển đất nước, đặc biệt là công nghệ chất bán dẫn trong giai đoạn hiện nay, công nghiệp khai thác khoáng sản, đất hiếm... đang đứng trước áp lực phát triển khai thác

rất lớn. Tuy nhiên, sản phẩm phụ của quá trình khai thác khoáng sản là các loại bùn thải và đá thải phát sinh rất lớn. Nếu các loại bùn thải và đá thải không được tái sử dụng sẽ gây lãng phí rất lớn các nguồn tài nguyên. Bùn thải trong quá trình tuyển nổi quặng đồng là

hỗn hợp gồm nước, hạt khoáng mịn và hóa chất từ quá trình tuyển khoáng và có độ ẩm cao, dạng sệt, đã được xử lý trước khi thải ra môi trường [1]. Ngoài ra, đá thải là các loại đá không chứa khoáng sản có giá trị, bị đào thải trong quá trình khai thác và có kích thước lớn, chủ yếu là đá gốc, đôi khi chứa một số kim loại nặng [2]. Việc sử dụng bùn thải từ khai thác khoáng sản là một giải pháp cấp thiết nhằm giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường và tận dụng nguồn tài nguyên một cách hiệu quả. Lượng bùn thải khổng lồ phát sinh từ quá trình khai thác và chế biến khoáng sản nếu không được xử lý hợp lý có thể gây ô nhiễm nguồn nước, đất và không khí, ảnh hưởng nghiêm trọng đến hệ sinh thái và sức khỏe con người [1, 2]. Do đó, việc nghiên cứu và ứng dụng bùn thải vào các lĩnh vực như sản xuất vật liệu xây dựng, đặc biệt là các sản phẩm bê tông không chỉ giúp giảm tải áp lực xử lý chất thải mà còn mang lại lợi ích kinh tế, góp phần phát triển ngành công nghiệp khai thác xanh, bền vững.

Ngoài ra, nhu cầu cát tự nhiên dùng cho xây dựng ở nước ta rất lớn. Tỷ lệ khai thác cát đang vượt quá tỷ lệ bổ sung cát tự nhiên hàng năm, do vậy nguồn cát tự nhiên ngày càng khan hiếm, dự báo trong tương lai gần sẽ không đủ lượng cát dùng cho xây dựng, đặc biệt cho thi công đường giao thông. Việc sử dụng cát nhân tạo, cát nhân tạo từ đá thải mỏ thay thế cát tự nhiên đang trở thành một xu hướng tất yếu trong các công trình hạ tầng giao thông [3, 4]. Hơn nữa, vật liệu cát nhân tạo có ưu điểm nổi bật là mô-đun độ lớn cao, thành phần hạt đồng đều và hợp lý hơn cát tự nhiên. Với ưu điểm này, cát nhân tạo góp phần quan trọng tạo ra bộ khung chịu lực, giảm hàm lượng xi măng, rút ngắn thời gian thi công, tăng cường độ và độ bền cho BTĐL dùng làm lớp móng, mặt đường ô tô [5].

Những năm gần đây, quá trình áp dụng công nghệ BTĐL trong xây dựng hạ tầng giao thông nông thôn đã được các nhà khoa học trong và ngoài nước nhận định là có nhiều ưu việt hơn so với bê tông xi măng truyền thống như: Hàm lượng chất kết dính thấp, do đó đã giảm được chi phí và giảm được lượng nhiệt thủy hóa trong bê tông [6-8].

Phụ gia khoáng thường dùng trong BTĐL phổ biến nhất là các loại tro bay loại F của các nhà máy nhiệt điện [9, 10]. Nhưng, nguồn tro bay này hiện đang được dùng làm nguyên liệu chính của các nhà máy xi măng và các trạm trộn bê tông thương phẩm nên sản lượng tro bay nhiệt điện dần trở nên khan hiếm. Do đó, sử dụng phụ gia khoáng thay thế tro bay nhiệt điện cũng đang được nhiều nhà nghiên cứu quan tâm. Trong bài báo này, bùn thải sinh ra trong quá trình khai thác mỏ đồng được thay thế xi măng với tỷ lệ 10 - 30% (tương đương với tỷ lệ thay thế xi măng của tro bay nhiệt điện) với mục đích, đánh giá khả năng sử dụng bùn thải như một dạng phụ gia khoáng để dùng thay cho tro bay nhiệt điện trong sản xuất BTĐL.

Quy định tạm thời về thiết kế mặt đường BTĐL trong xây dựng công trình giao thông (ban hành theo Quyết định số 4451/QĐ-BGTVT ngày 18/12/2015) yêu cầu với BTĐL dùng cho tầng móng của mặt đường cấp cao, có quy mô giao thông nặng và cực nặng, có cường độ chịu kéo uốn  $\geq 2,4$  MPa.

Vì vậy, mục đích của nghiên cứu này là đánh giá khả năng sử dụng tro bay nhiệt điện Sơn Động (Bắc Giang), bùn thải kết hợp với cát nhân tạo, đá dăm được gia công từ đá thải sinh ra trong quá trình khai thác quặng đồng Sin Quyền để chế tạo BTĐL và định hướng áp dụng cho tầng móng của mặt đường ô tô cấp cao.

## 2. VẬT LIỆU SỬ DỤNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Vật liệu sử dụng

1) Xi măng được sử dụng là xi măng Portland PCB40 Hoàng Thạch (XM) có tỷ diện bề mặt  $3.660 \text{ cm}^2/\text{g}$ ; khối lượng riêng  $3,15 \text{ g/cm}^3$ , cường độ nén ở tuổi 28 ngày là  $49,5 \text{ MPa}$  và thỏa mãn yêu cầu của Tiêu chuẩn TCVN 2682:2009.

2) Tro bay (Tr) được sử dụng là tro bay của Nhà máy Nhiệt điện

Sơn Động (Bắc Giang) có khối lượng riêng  $2,35 \text{ g/cm}^3$ . Tro bay được thu trực tiếp tại kho lưu chứa của nhà máy. Đây là loại tro bay chưa qua xử lý, độ mịn tương đương như xi măng với 55% các hạt có kích thước khoảng  $10 \mu\text{m}$ , các cỡ hạt có kích thước  $(40 - 30) \mu\text{m}$  chiếm khoảng 12%. Đặc biệt, lượng  $\text{SiO}_2$  hoạt tính của tro bay khoảng 52,6%, tổng hàm lượng  $\text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3 = 65,8\%$  và phù hợp theo quy định của TCVN 10302:2014. Lượng tro bay được sử dụng trong nghiên cứu này dao động từ 10 - 30% thể tích xi măng.

3) Bùn thải khai thác (BT) khoáng sản được sử dụng tại mỏ đồng Sin Quyền (Lào Cai). Đây là loại bùn thải được lưu trữ tại hồ chứa, sấy khô và sử dụng với mục đích thay thế một phần xi măng trong thành phần của bê tông. Bùn thải có khối lượng riêng khoảng  $2,15 \text{ g/cm}^3$  và tỷ diện bề mặt khoảng  $3.205 \text{ cm}^2/\text{g}$ . Lượng bùn thải được sử dụng trong nghiên cứu này dao động từ 10 - 30% thể tích xi măng.

4) Cốt liệu nhỏ là cát nhân tạo (CTN) được gia công từ đá thải khai thác mỏ đồng Sin Quyền (Lào Cai). Đây là loại cốt liệu nhỏ có chất lượng tốt và thỏa mãn yêu cầu của TCVN 7570:2006. Đây là loại cát có thành phần hạt thô, mô-đun độ lớn  $M_k = 3,25$ . Khối lượng riêng của cát nhân tạo là  $2,62 \text{ g/cm}^3$ .

5) Cốt liệu lớn sử dụng là loại đá dăm (ĐD) có  $D_{\text{max}} = 20 \text{ mm}$  được gia công từ đá thải khai thác mỏ đồng Sin Quyền (Lào Cai). Đá thải sau khi bóc từ mỏ được đập bằng búa đến các kích thước thích hợp, sàng qua bộ sàng cốt liệu lớn tiêu chuẩn để loại bỏ các thành phần hạt không hợp lý. Đá dăm trong nghiên cứu này có khối lượng riêng là  $2,70 \text{ g/cm}^3$ , khối lượng thể tích đầm chặt là  $1,67 \text{ g/cm}^3$  và thỏa mãn yêu cầu của TCVN 7570:2006.

Hàm lượng cốt liệu là tổng các thành phần cốt liệu lớn và cốt liệu nhỏ:  $\text{CL} = \text{ĐD} + \text{CNT}$ .

6) Nước sạch (N) được sử dụng để làm nước nhào trộn và bảo dưỡng mẫu sau khi tạo hình, thỏa mãn yêu cầu của Tiêu chuẩn TCVN 4506:2012.

### 2.2. Phương pháp nghiên cứu

#### 2.2.1. Các tiêu chuẩn thí nghiệm

Trong nghiên cứu đã sử dụng phương pháp nghiên cứu lý thuyết kết hợp với kiểm chứng bằng thực nghiệm để điều chỉnh tính chất của hỗn hợp BTĐL thu được. Các tính chất của hỗn hợp bê tông và BTĐL được xác định theo các tiêu chuẩn sau:

- Lấy mẫu, đúc mẫu trên bàn rung và bảo dưỡng được thực hiện theo TCVN 3105:2022;
- Xác định độ cứng của hỗn hợp BTĐL được thực hiện theo TCVN 3107:2022;
- Độ mài mòn của BTĐL được thực hiện theo TCVN 3114:2022;
- Khối lượng thể tích của hỗn hợp BTĐL được thực hiện theo TCVN 3115:2022;
- Giá trị của mô-đun đàn hồi khi nén tĩnh thực hiện theo yêu cầu của TCVN 5726:2022;
- Cường độ chịu nén của BTĐL được thực hiện theo TCVN 3118:2022.

#### 2.2.2. Các yêu cầu đối với hỗn hợp bê tông và mẫu BTĐL sau khi đã cứng rắn

Các đặc tính yêu cầu của BTĐL như sau:

- Độ cứng của hỗn hợp BTĐL từ 20 giây đến 30 giây được xác định bằng bộ dụng cụ Vebe;
- Cường độ nén yêu cầu cần đạt được trên  $25 \text{ MPa}$  ở tuổi 28 ngày trên mẫu lập phương  $(150 \times 150 \times 150) \text{ mm}$ ;
- Theo nhiều nghiên cứu về BTĐL [7, 8], tỷ lệ thể tích cát nhân tạo trên tổng thể tích cốt liệu  $(V_{\text{CNT}}/V_{\text{CL}})$  được lựa chọn  $V_{\text{CNT}}/V_{\text{CL}} = 0,40$ ;
- Theo Tiêu chuẩn ACI 211.3R-02 [11], với cường độ nén yêu cầu cần đạt được ở tuổi 28 ngày  $25 \text{ MPa}$  thu được tỷ lệ theo thể tích của nước trên chất kết dính  $(V_{\text{N}}/V_{\text{CKD}})$  được lựa chọn  $V_{\text{N}}/V_{\text{CKD}} = 1,50$  và tỷ số hồ/vữa sử dụng trong nghiên cứu này là  $0,40$ ;

- Hàm lượng tro bay nhiệt điện và bùn thải khai thác khoáng sản được lựa chọn bằng 10%, 20% và 30% thể tích của xi măng;
- Hàm lượng bột khí trong hỗn hợp BTĐL lựa chọn là 2% [8, 10].

### 2.2.3. Xác định cấp phối BTĐL

Trong nghiên cứu này đã khảo sát 3 cấp phối BTĐL có sử dụng tro bay nhiệt điện và 3 cấp phối BTĐL có sử dụng bùn thải khai thác khoáng sản. Thành phần cấp phối của các mẫu thí nghiệm được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Cấp phối của hỗn hợp BTĐL

Ký hiệu mẫu bê tông	Tỷ lệ vật liệu		Cấp phối cho 1 m <sup>3</sup> BTĐL (kg/m <sup>3</sup> )							V <sub>N</sub> /V <sub>CKD</sub>
	V <sub>Tr</sub> /V <sub>XM</sub>	V <sub>BT</sub> /V <sub>XM</sub>	CKD	XM	Tr	BT	CNT	ĐD	N	
MixTr-01	10%	-	254	236	17,6	-	811	1.253	124	0,49
MixTr-02	20%	-	249	217	32,3	-	811	1.253	124	0,50
MixTr-03	30%	-	245	200	44,8	-	811	1.253	124	0,51
MixBT-01	-	10%	252	236	-	16,1	811	1.253	124	0,49
MixBT-02	-	20%	246	217	-	29,6	811	1.253	124	0,50
MixBT-03	-	30%	241	200	-	40,9	811	1.253	124	0,51

## 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Bảng 2. Kết quả thí nghiệm tính chất cơ lý của mẫu BTĐL

Ký hiệu mẫu bê tông	Độ cứng DC của hỗn hợp bê tông, (giây)		Độ mài mòn ở tuổi 28 ngày, (g/cm <sup>2</sup> )		Mô-đun đàn hồi tính ở tuổi 28 ngày, (GPa)		Cường độ kéo khi uốn ở tuổi 28 ngày, (MPa)	
	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
MixTr-01	30	2,5	0,334	0,03	41,5	3,0	3,58	1,2
MixTr-02	35	3,0	0,320	0,02	40,9	3,2	3,52	1,0
MixTr-03	40	2,5	0,315	0,03	40,5	3,5	3,31	1,1
MixBT-01	20	2,0	0,320	0,03	41,0	3,0	3,43	0,9
MixBT-02	28	2,5	0,316	0,02	39,8	3,5	3,25	1,1
MixBT-03	30	2,5	0,300	0,03	38,5	3,0	3,08	1,3

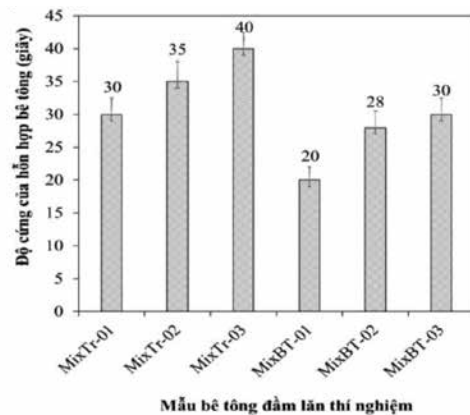
Bảng 3. Kết quả thí nghiệm cường độ nén theo thời gian bảo dưỡng

Ký hiệu mẫu bê tông	Cường độ nén của BTĐL (MPa) ở các tuổi							
	3 ngày		7 ngày		14 ngày		28 ngày	
	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
MixTr-01	10,2	1,5	16,8	2,0	24,8	2,5	28,5	3,4
MixTr-02	10,0	2,0	16,5	2,6	24,4	2,0	28,0	3,1
MixTr-03	9,5	1,5	15,6	2,8	23,1	2,5	26,5	3,6
MixBT-01	9,4	1,6	16,0	2,0	23,7	3,0	27,5	3,8
MixBT-02	8,8	1,6	15,1	2,0	22,4	3,2	26,0	3,5
MixBT-03	8,3	2,0	14,3	2,0	21,1	3,0	24,5	3,6

Từ kết quả thực nghiệm đã thu được trong Bảng 2 và Bảng 3 cho thấy:

- Khi sử dụng (10 - 30)% hàm lượng tro bay nhiệt điện Sơn Động (Bắc Giang), hoặc (10 - 30)% bùn thải kết hợp với hỗn hợp cát nhân tạo và đá dăm từ đá thải mỏ tuyến đồng Sin Quyền (Lào Cai), trong thành phần BTĐL đã thu được kết quả thí nghiệm rất phù hợp với mục tiêu thiết kế ban đầu đề ra. Tuy nhiên, ảnh hưởng của hàm lượng tro bay nhiệt điện Sơn Động và bùn thải của mỏ tuyến nổi quặng đồng Sin Quyền rất rõ rệt đến các tính chất của BTĐL cả ở trạng thái dẻo và trạng thái cứng rắn, cụ thể như sau:

- Hỗn hợp BTĐL sử dụng tro bay có độ cứng cao hơn so với hỗn hợp BTĐL sử dụng bùn thải khai thác quặng đồng. Các giá trị độ cứng trung bình đo được ngay sau khi nhào trộn dao động từ 30 giây, sau đó tăng nhanh lên đến 40 giây đối với hỗn hợp BTĐL sử dụng tro bay, nhưng giá trị độ cứng của hỗn hợp BTĐL sử dụng bùn thải chỉ dao động từ 20 giây đến 30 giây (Hình 1). Bên cạnh đó, các tính chất cơ học của sản phẩm BTĐL sử dụng tro bay cũng có nhiều tính chất tốt hơn so với BTĐL có sử dụng bùn thải khai thác quặng đồng.



Hình 1. Độ cứng của hỗn hợp BTĐL ngay sau khi nhào trộn  
Điều này được giải thích do tro bay có hàm lượng SiO<sub>2</sub> là 52,6%

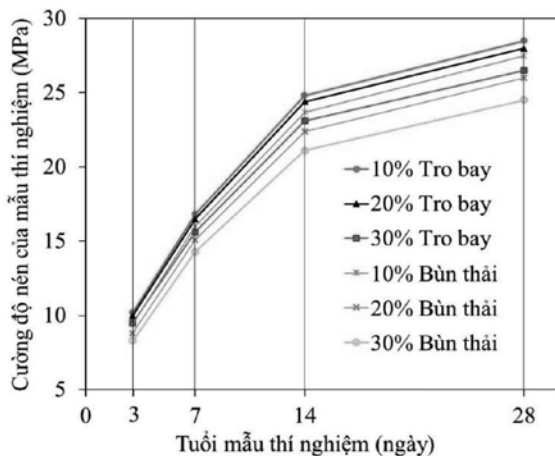
đã tham gia phản ứng pozzolanic với thành phần  $\text{Ca(OH)}_2$  trong thành phần của xi măng để tạo thành khoáng Hidro-silicat-canxi ( $\text{mCaO} \cdot \text{nSiO}_2 \cdot \text{pH}_2\text{O}$ ) có tính chất kết dính và nâng cao tính chất cơ lý hóa của sản phẩm BTĐL. Chính quá trình này đã sử dụng nhiều hơn lượng nước nhào trộn, do đó độ cứng của hỗn hợp bê tông tăng lên. Bên cạnh đó, bùn thải khai thác khoáng sản có hàm lượng hoạt tính rất thấp, chúng có vai trò chủ yếu là chất độn mịn, không có hiệu ứng pozzolanic nhiều so với tro bay nhiệt điện.

Hiệu ứng này một phần được thể hiện do lượng tro bay nhiệt điện Sơn Động (Bắc Giang) lớn với lượng cần nước cao, hút nước và giảm lượng nước tạo thành tính công tác của hỗn hợp bê tông. Mặt khác, cát nhân tạo nghiền từ đá thải khai thác quặng đồng mỏ Sin Quyền có đặc điểm hạt nhiều góc cạnh, lượng cần nước thấm ướt bề mặt nhiều hơn cát tự nhiên. Đồng thời, các hạt cát không tròn nhẵn đã tăng nội ma sát giữa các hạt cốt liệu. Đó là những nguyên nhân chính làm tăng chỉ số độ cứng của hỗn hợp BTĐL.

- Trong điều kiện thí nghiệm đầm nén như nhau, các mẫu BTĐL sử dụng tro bay nhiệt điện Sơn Động (Bắc Giang), cát nhân tạo và đá dăm từ đá thải mỏ có độ mòn giảm dần, nhưng mô-đun đàn hồi khi nén tĩnh tăng dần. Điều này có thể được biện giải một phần là do hiệu ứng lấp đầy của tro bay và đá dăm từ đá thải mỏ đã làm tăng mật độ của bộ khung cốt liệu tạo ra BTĐL có mô-đun đàn hồi cao, đạt khoảng trên 40 GPa và độ mài mòn giảm dần từ 0,334 g/cm<sup>2</sup> xuống 0,300 g/cm<sup>2</sup>.

- Giá trị cường độ nén của mẫu BTĐL thí nghiệm bị ảnh hưởng đáng kể khi sử dụng (10 - 30)% tro bay nhiệt điện hoặc (10 - 30)% bùn thải khai thác quặng đồng vào trong thành phần BTĐL, cụ thể như sau:

+ Tốc độ rắn chắc của mẫu BTĐL khá nhanh, tại tuổi 7 ngày đã đạt được khoảng (70 - 75)% cường độ tuổi 28 ngày. Điều này được giải thích là do thành phần BTĐL có lượng nước nhỏ, lượng hồ chất kết dính thấp nên quá trình phát triển cường độ nhanh hơn so với bê tông xi măng thông thường (Hình 2).



Hình 2. Tốc độ phát triển cường độ nén của các mẫu thí nghiệm theo thời gian

+ Với lượng dùng tro bay tăng khoảng 30% hoặc lượng bùn thải tăng 30% thì cường độ nén trung bình của các mẫu BTĐL đã giảm khoảng 20%. Kết quả này có thể được giải thích bởi khi lượng tro bay nhiệt điện Sơn Động (Bắc Giang) tăng, đồng nghĩa với việc lượng xi măng giảm xuống. Mặc dù tro bay có hiệu ứng pozzolanic của tro bay và hiệu ứng điển hình vì cấu trúc của bùn thải, tăng độ đặc chắc của hồ và vữa. Tuy nhiên, khi hàm lượng xi măng giảm một lượng đáng kể, từ 236 kg xuống chỉ còn 200 kg thì các khoáng thủy hóa Hidro-silicat-canxi (C-S-H) giảm mạnh, hiệu ứng pozzolanic và hiệu ứng điển hình vì cấu trúc không thể cải thiện và bù đắp được sự thiếu hụt C-S-H. Do đó, cường độ nén của mẫu ở các tuổi nén khác nhau đã giảm dần.

Với kết quả thực nghiệm thu được, BTĐL với thành phần sử dụng bùn thải, đá thải khai thác quặng đồng của mỏ Sin Quyền kết hợp với

tro bay nhiệt điện Sơn Động (Bắc Giang) đáp ứng đầy đủ tiêu chuẩn Việt Nam hiện hành dùng cho tầng móng của mặt đường ô tô cấp cao.

#### 4. KẾT LUẬN

Từ các kết quả nghiên cứu trong phạm vi phòng thí nghiệm đã rút ra một số kết luận như sau:

- Trong giới hạn của nghiên cứu này, cấp phối BTĐL được thiết kế theo Tiêu chuẩn ACI 211.3R-02 với tỷ lệ hàm lượng tro bay nhiệt điện hoặc bùn thải tuyển nổi quặng đồng của mỏ Sin Quyền dao động từ 10% đến 30% để thay thế hàm lượng xi măng. Hỗn hợp BTĐL có độ cứng thay đổi từ 20 giây lên 40 giây, độ mài mòn đạt 0,300 - 0,334 g/cm<sup>2</sup> và các giá trị trung bình ở tuổi 28 ngày như: Cường độ chịu kéo uốn từ 3,08 - 3,58 MPa, cường độ nén 24,5 - 28,5 MPa, độ mài mòn đạt 0,300 - 0,334 g/cm<sup>2</sup>, mô-đun đàn hồi khi nén tĩnh từ 38,5 - 41,5 GPa.

- Tro bay Nhà máy Nhiệt điện Sơn Động (Bắc Giang) với độ mịn tương tự như xi măng và bùn thải tuyển nổi có thể sử dụng như thành phần chất kết dính trong chế tạo BTĐL.

- Cát nhân tạo và đá dăm được gia công cơ học từ đá thải khai thác quặng đồng của mỏ Sin Quyền sử dụng thay thế hoàn toàn cốt liệu tự nhiên trong hỗn hợp BTĐL, thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật trong TCVN 7570:2006.

- Tro bay nhiệt điện Sơn Động (Bắc Giang) có phản ứng pozzolanic và có hiệu ứng điển hình nên đã làm tăng độ cứng và các tính chất cơ học của BTĐL sử dụng bùn thải quặng đồng. Bên cạnh đó, cát nhân tạo và đá dăm gia công từ đá thải mỏ đồng Sin Quyền có hiệu quả lấp đầy đã làm tăng mật độ của bộ khung cốt liệu tạo ra sản phẩm BTĐL có cường độ và mô-đun đàn hồi cao nhưng độ mài mòn giảm.

- Với các kết quả đó có thể cho thấy, BTĐL với thành phần tro bay nhiệt điện Sơn Động (Bắc Giang), bùn thải, cát nhân tạo và đá dăm từ đá thải mỏ đáp ứng đầy đủ tiêu chuẩn Việt Nam hiện hành dùng cho tầng móng của mặt đường ô tô cấp cao.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nhữ Thị Kim Dung (2012), Nghiên cứu mẫu công nghệ chế biến hợp lý quặng đồng vùng Tây Pô - Lào Cai, Trung tâm Khoa học Công nghệ chế biến và Sử dụng khoáng sản, Hội Tuyến khoáng Việt Nam.
- [2]. Hoàng Hùng Thắng và cộng sự (2023), Nghiên cứu sử dụng đá thải phát sinh trong quá trình khai thác mỏ than tại Quảng Ninh trong sản xuất gạch không nung, Đề tài NCKH cấp tỉnh Quảng Ninh, mã số: 14/2021/HĐ-KHCN, Cơ quan chủ trì: Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh.
- [3]. Hoàng Quốc Gia, Trịnh Khắc Kiên (2019), Thực trạng khai thác sử dụng cát tự nhiên tại Việt Nam và nghiên cứu tính chất đất biển tại một số vùng biển Việt Nam, Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, tập 66, tr.151-156.
- [4]. Lê Viết Dũng, Tống Tôn Kiên, Đỗ Trọng Thành, Nguyễn Bá Lâm (2021), Nghiên cứu thực nghiệm đánh giá khả năng sử dụng cát nhân tạo nguồn gốc đá vôi cho cột bê tông cốt thép chịu nén, Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng - Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, số 3V (2021), tr.93-103.
- [5]. Bạch Đình Thiên (2020), Cốt liệu nhân tạo dùng trong công tác bê tông và san lấp công trình, Tạp chí Xây dựng, số 11.
- [6]. Mai Sỹ Hùng (2024), Ứng dụng BTĐL làm đê biển, Tạp chí Vật liệu và Xây dựng - Bộ Xây dựng, tập 14, số 02, tr.158-162.
- [7]. Phạm Hữu Hanh, Nguyễn Ngọc Lâm và nnk (2022), Bê tông đầm lăn trong xây dựng các công trình giao thông, NXB. Xây dựng.
- [8]. Vũ Ngọc Trụ, Nguyễn Tuấn Đạt, Võ Nhật Luân, Tăng Văn Lâm (2024), Nghiên cứu đánh giá khả năng sử dụng cát biển chế tạo bê tông đầm lăn làm lớp mặt đường giao thông nông thôn, Tạp chí KHCN Xây dựng, tập 2, tr.40-49.
- [9]. Vũ Hải Nam (2012), Nghiên cứu sử dụng tro tuyển Phá Lại hàm lượng cao trong bê tông khối lớn thông thường dùng cho đập trọng lực, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật.
- [10]. Hoàng Minh Đức, Nguyễn Kim Thịnh (2015), Sử dụng tro bay có lượng mất khi nung lớn trong chế tạo bê tông đầm lăn cho đường, Tạp chí KHCN Xây dựng, số 02.
- [11]. ACI 211.3R-02, Guide for selecting Proportion for No-Slump Concrete, ACI commuttee 211, 26p.