

**NGHIÊN CỨU KHẢ NĂNG CHẾ TẠO VỮA KHÔ TRỘN SẴN SỬ DỤNG
BÃ THẢI THẠCH CAO PHOSPHO TẠI NHÀ MÁY SẢN XUẤT
PHÂN BÓN DIAMONI PHOTPHAT ĐÌNH VŨ - HẢI PHÒNG**

RESEARCH ON THE FEASIBILITY OF PRODUCING READY-MIXED DRY MORTAR
USING PHOSPHOGYPSUM WASTE AT THE DINH VU DIAMMONIUM PHOSPHATE FERTILIZER
PLANT IN HAI PHONG

**NGUYỄN SÁNG^a, TĂNG VĂN LÂM^{b,*}, MAI PHƯƠNG HẠNH^b, LÊ PHƯƠNG LY^c,
PHẠM THỊ MỸ PHƯƠNG^d**

^aTrường Đại học Thành Đông

^bTrường Đại học Mỏ - Địa chất

^cViện Khoa học công nghệ xây dựng

^dViện đổi mới sáng tạo Quốc gia

*Tác giả đại diện: Email: tangvanlam@humg.edu.vn

Ngày nhận 04/9/2026, Ngày sửa 26/9/2026, Chấp nhận 28/9/2026

<https://doi.org/10.59382/j-ibst.2026.vi.vol3-7>

Tóm tắt: Sự suy giảm nguồn cát tự nhiên phục vụ xây dựng và lượng bã thải thạch cao phospho phát sinh ngày càng lớn từ các nhà máy sản xuất phân bón đang đặt ra yêu cầu cấp thiết về các giải pháp tái sử dụng chất thải theo định hướng kinh tế tuần hoàn. Nghiên cứu này đánh giá khả năng sử dụng bã thải thạch cao phospho tại Nhà máy sản xuất phân bón Diamoni Photphat (DAP) Đình Vũ - Hải Phòng để thay thế một phần cát tự nhiên trong chế tạo vữa khô trộn sẵn. Tám cấp phối vữa được chế tạo với các tỷ lệ thay thế cát khác nhau nhằm đánh giá ảnh hưởng của hàm lượng bã thải thạch cao phospho đến độ lưu động của hỗn hợp, khối lượng thể tích, cường độ chịu nén và cường độ chịu kéo khi uốn của sản phẩm. Kết quả nghiên cứu cho thấy khi tăng hàm lượng bã thải thạch cao phospho, độ lưu động và khối lượng thể tích của vữa giảm dần do kích thước hạt mịn và diện tích bề mặt riêng lớn của vật liệu. Đồng thời, cường độ chịu nén và cường độ chịu kéo khi uốn cũng giảm theo tỷ lệ thay thế cát do sự suy giảm của hệ cốt liệu chịu lực. Mẫu đối chứng đạt cường độ chịu nén 28 ngày là 10,85 MPa, trong khi mẫu thay thế hoàn toàn cát đạt 4,70 MPa. Tuy nhiên, các cấp phối sử dụng hàm lượng bã thải thạch cao phospho ở mức thấp vẫn đáp ứng yêu cầu đối với vữa xây dựng thông thường, đồng thời góp phần tận dụng hiệu quả chất thải công nghiệp, giảm khai thác cát tự nhiên và thúc đẩy phát triển vật liệu xây dựng xanh theo định hướng kinh tế tuần hoàn.

Từ khóa: Vữa khô trộn sẵn; bã thải thạch cao phospho; phế thải công nghiệp; cát tự nhiên; kinh tế tuần hoàn.

Abstract: The depletion of natural sand resources

for construction and the increasing generation of phosphogypsum from fertilizer plants create an urgent need for waste reuse solutions aligned with the circular economy. This study evaluates the feasibility of using phosphogypsum waste from the Dinh Vu Diammonium Phosphate (DAP) fertilizer plant in Hai Phong as a partial replacement for natural sand in the production of ready-mixed dry mortar. Eight mortar mixes were prepared with varying sand replacement ratios to assess the impact of phosphogypsum content on the mixture's flowability, bulk density, compressive strength, and flexural strength. Research results indicate that as the phosphogypsum content increases, the fluidity and bulk density of the mortar gradually decrease due to the material's fine particle size and large specific surface area. Concurrently, both compressive and flexural strengths decline in proportion to the sand replacement level, owing to the weakening of the load-bearing aggregate system. The control sample achieved a 28-day compressive strength of 10.85 MPa, whereas the sample with complete sand replacement reached 4.70 MPa. Nevertheless, mixtures with low phosphogypsum content still meet the requirements for standard construction mortar, while effectively utilizing industrial waste, reducing natural sand extraction, and promoting the development of green construction materials in line with circular economy principles.

Keywords: Premixed dry mortar; phosphogypsum; industrial waste; natural sand; circular economy.

1. Mở đầu

Trong những năm gần đây, cùng với quá trình đô thị hóa và phát triển hạ tầng, nhu cầu sử dụng cát tự nhiên cho ngành Xây dựng tại Việt Nam không ngừng gia tăng. Việc khai thác cát quá mức trong thời gian dài đã làm suy giảm nguồn tài nguyên, gây sạt lở bờ sông, thay đổi dòng chảy và ảnh hưởng tiêu cực đến môi trường sinh thái [1]. Trước thực trạng đó, việc nghiên cứu các nguồn vật liệu thay thế cát tự nhiên trong sản xuất vật liệu xây dựng đang trở thành một trong những giải pháp quan trọng nhằm tiết kiệm tài nguyên, giảm tác động môi trường và hướng tới phát triển bền vững [2, 3].

Bên cạnh áp lực về nguồn cốt liệu tự nhiên, ngành công nghiệp sản xuất phân bón cũng phát sinh một lượng lớn bã thải thạch cao phospho (phosphogypsum). Đây là sản phẩm phụ hình thành trong quá trình sản xuất axit photphoric từ quặng apatit bằng phương pháp ướt, với thành phần chủ yếu là canxi sunfat ngậm hai phân tử nước ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) [4, 5]. Tại Việt Nam, nhà máy sản xuất phân bón DAP Đình Vũ (Hải Phòng) là một trong những cơ sở phát sinh lượng lớn bã thải phosphogypsum, ước tính đạt khoảng 600.000 tấn mỗi năm [6].

Việc lưu chứa lâu dài không chỉ làm gia tăng nhu cầu diện tích bãi thải, chi phí quản lý mà còn tiềm ẩn nguy cơ ảnh hưởng đến môi trường nếu không có giải pháp tái sử dụng phù hợp. Trong bối cảnh thúc đẩy phát triển kinh tế tuần hoàn và tăng cường tái chế chất thải công nghiệp, việc nghiên cứu ứng dụng bã thải thạch cao phospho trong lĩnh vực sản xuất vật liệu xây dựng có ý nghĩa khoa học và thực tiễn [7, 8].

Trong những năm gần đây, nhiều nước trên thế giới đã nghiên cứu sử dụng bã thải thạch cao phospho trong nhiều lĩnh vực như sản xuất xi măng, phụ gia khoáng, vật liệu nền, móng đường và một số loại vật liệu xây dựng khác [9, 10, 11]. Tuy nhiên, các

nghiên cứu về sử dụng bã thải thạch cao phospho làm vật liệu thay thế một phần cốt liệu mịn trong chế tạo vữa khô trộn sẵn vẫn còn hạn chế, đặc biệt đối với nguồn bã thải phát sinh từ Nhà máy sản xuất phân bón DAP Đình Vũ. Trong khi đó, vữa khô trộn sẵn là loại vật liệu có nhiều ưu điểm như chất lượng ổn định, thi công thuận tiện, giảm hao hụt nguyên vật liệu và phù hợp với xu hướng công nghiệp hóa trong xây dựng [12, 13, 14]. Việc tận dụng bã thải thạch cao phospho thay thế một phần cát tự nhiên không chỉ góp phần giảm áp lực khai thác tài nguyên mà còn mở rộng khả năng tái sử dụng chất thải công nghiệp, nâng cao hiệu quả sử dụng tài nguyên theo định hướng kinh tế tuần hoàn [15, 16].

Xuất phát từ những yêu cầu trên, nghiên cứu này tiến hành đánh giá khả năng sử dụng bã thải thạch cao phospho từ Nhà máy sản xuất phân bón Diamoni Photphat (DAP) Đình Vũ, để thay thế một phần cát tự nhiên trong chế tạo vữa khô trộn sẵn. Các cấp phối với tỷ lệ thay thế cát khác nhau được thiết kế nhằm đánh giá ảnh hưởng của hàm lượng bã thải thạch cao phospho đến độ lưu động, khối lượng thể tích, cường độ chịu nén và cường độ chịu kéo khi uốn của vữa. Kết quả nghiên cứu góp phần cung cấp cho việc tái sử dụng bã thải thạch cao phospho trong sản xuất vật liệu xây dựng, giảm lượng chất thải phải lưu chứa, tiết kiệm tài nguyên cát tự nhiên và thúc đẩy phát triển vật liệu xây dựng xanh theo định hướng kinh tế tuần hoàn.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1 Vật liệu sử dụng

a) Chất kết dính

Chất kết dính là xi măng Portland hỗn hợp PCB40 Hoàng Thạch, đáp ứng yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 6260:2020. Các tính chất cơ lý của xi măng Portland hỗn hợp PCB40 Hoàng Thạch được giới thiệu trong Bảng 1.

Bảng 1. Tính chất cơ lý của xi măng Portland hỗn hợp PCB40 Hoàng Thạch

Khối lượng riêng (g/cm^3)	Lượng sót trên sàng NO,09 (%)	Tỷ diện bề mặt (cm^2/g)	Thời gian đông kết (phút)		Cường độ nén (MPa)		Độ dẻo tiêu chuẩn (%)
			Bắt đầu đông kết	Kết thúc đông kết	3 ngày	28 ngày	
3,10	3,0	3650	110±5	220±5	22,5	47,1	29,5

b) Cát mịn tự nhiên

Cát mịn tự nhiên được sử dụng làm cốt liệu mịn

trong sản phẩm vữa khô trộn sẵn. Trước khi chế tạo mẫu, cát mịn tự nhiên được sấy khô và sàng phân

loại nhằm loại bỏ tạp chất, đảm bảo độ sạch và sự đồng đều về thành phần hạt. Cát có màu xám đen đặc trưng, kích thước hạt từ $0,14 \div 1,25$ mm; mô đun độ lớn $M_{dl} = 1,43$; khối lượng riêng khoảng $2,65 \text{ g/cm}^3$ và khối lượng thể tích xấp xỉ tự nhiên khoảng 1650

kg/m^3 . Trong nghiên cứu này, cát mịn có vai trò là cốt liệu, tạo nên bộ khung chịu lực của vữa, góp phần nâng cao cường độ cơ học, giảm biến dạng co ngót và tăng độ ổn định thể tích của vật liệu sau khi đóng rắn.



Hình 1. Xi măng Portland PCB40 Hoàng Thạch



Hình 2. Cát mịn tự nhiên

Thành phần hạt của cát mịn được xác định và thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 2. Thành phần hạt của cát mịn sử dụng cho nghiên cứu

Đường kính mắt sàng	5,0 mm	2,5 mm	1,25 mm	630 μm	315 μm	140 μm	< 140 μm	Mô đun độ lớn M_{dl}
Lượng sót sàng tích lũy theo thí nghiệm (%)	0	0	0,08	6,25	40,33	96,01	3,99	1,43

c) *Bã thải thạch cao phospho của Nhà máy sản xuất phân bón Diamoni Photphat (DAP) Đình Vũ*

Bã thải thạch cao phospho DAP – Đình Vũ sử dụng trong nghiên cứu được lấy từ bãi lưu chứa của Nhà máy sản xuất DAP – Đình Vũ [10]. Đây là sản

phẩm phụ phát sinh trong quá trình sản xuất axit photphoric từ quặng apatit bằng phương pháp ướt, với thành phần chính là canxi sunfat ngậm hai phân tử nước ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), ngoài ra còn chứa một lượng nhỏ tạp chất như: P_2O_5 , photphat, florua và các oxit kim loại (Bảng 3).

Bảng 3. Tính chất vật lý của bã thải thạch cao DAP - Đình Vũ

STT	Chỉ tiêu kỹ thuật thí nghiệm	Đơn vị tính	Kết quả thí nghiệm
I	Các tính chất vật lý		
1	Lượng hạt lọt qua sàng 0,075mm	%	85,2
2	Khối lượng riêng	g/cm^3	2,35
3	Khối lượng thể tích tự nhiên (ở trạng thái khô)	kg/m^3	1050
4	Độ pH trung bình	-	6,8
5	Chỉ số hoạt độ phóng xạ an toàn	-	0,31
6	Độ ẩm trung bình	%	17,2
II	Thành phần hóa học		
1	Hàm lượng $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	%	66,4
2	P_2O_5 hòa tan	%	0,08
3	P_2O_5 tổng	%	0,37
4	SO_3	%	14,73
5	CaO	%	9,56
6	SiO_2	%	8,43
7	F ⁻ hòa tan	%	0,015
8	F ⁻ tổng	%	0,51

Nguyên liệu thô sau khi nghiền, hòa tách và lọc tách chân không sẽ thu được phần rắn (thạch cao phospho) và phần lỏng (dung dịch có tính axit). Phần rắn được bổ sung CaO (vôi sống) ngay trước khi ra sản phẩm nhằm trung hòa lượng axit dư còn bám trên bề mặt hạt thạch cao, đưa pH lên mức trung tính với giá trị pH = 6,8.

Mặt khác, với 87,5% lượng hạt lọt sàng 0075, bã thải thạch cao phospho không đóng vai trò là khung chịu lực chính như cát thô, mà đóng vai trò là "cốt liệu

siêu mịn" lấp đầy các lỗ rỗng giữa các hạt cát và xi măng, giúp cải thiện độ đặc chắc, tăng khả năng chống thấm và cải thiện một phần cường độ cho sản phẩm vừa khô trộn sẵn.

Bã thải thạch cao phospho tại kho chứa của nhà máy có độ ẩm trung bình 17,2%. Trước khi sử dụng, thạch cao phospho được sấy khô đến khối lượng không đổi và nghiền mịn nhằm tăng khả năng phân tán, đảm bảo độ đồng đều trong hỗn hợp vữa.



Hình 3. Bã thải thạch cao phospho DAP – Đình Vũ

d) Phụ gia Admix Pro tăng dẻo và giữ nước

Trong nghiên cứu, phụ gia Admix Pro được sử dụng với hàm lượng 0,08% khối lượng hỗn hợp vữa khô nhằm đảm bảo độ dẻo và độ ổn định tính công tác của hỗn hợp vữa theo yêu cầu kỹ thuật.

e) Nước sạch

Nước sử dụng trộn mẫu trong nghiên cứu này là nước máy sinh hoạt thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật của TCVN 4506:2012 - "Nước trộn cho bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật".

2.2 Phương pháp thí nghiệm sử dụng

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

- Độ lưu động của hỗn hợp vữa khô trộn sẵn sử dụng bã thải thạch cao phospho được xác định theo TCVN 3121-3:2022;

- Thời gian bắt đầu đông kết của hỗn hợp vữa sau khi nhào trộn được xác định theo TCVN 3121-8:2022;

- Khối lượng thể tích của vữa sau đông rắn được

xác định theo TCVN 3121-10:2022;

- Cường độ chịu nén và cường độ chịu uốn của mẫu vữa đã đông rắn ở tuổi 28 ngày được xác định theo TCVN 3121-11:2022.

2.3 Thiết kế thành phần cấp phối

Thành phần cấp phối của các mẫu vữa được thiết kế theo nguyên tắc thay thế từng phần cát tự nhiên bằng bã thải thạch cao phospho nhằm đánh giá ảnh hưởng của vật liệu tái chế đến các tính chất công tác và cơ học của vữa khô trộn sẵn. Việc thay thế cát bằng bã thải thạch cao phospho không chỉ góp phần tái sử dụng chất thải công nghiệp của Nhà máy DAP – Đình Vũ mà còn hướng tới giảm khai thác cát tự nhiên và thúc đẩy phát triển vật liệu xây dựng theo định hướng kinh tế tuần hoàn. Các thành phần cấp phối vật liệu được lựa chọn trên cơ sở đảm bảo hỗn hợp vữa xây và vữa trát hoàn thiện thông thường có các yêu cầu sau:

- i) Tính công tác tốt với độ lưu động mục tiêu trong khoảng 170-205 mm;

- ii) Thời gian bắt đầu đông kết trên 150 phút;
iii) Giá trị cường độ nén trung bình ở tuổi 28 ngày trên 7,50 MPa đáp ứng yêu cầu vữa xây dựng mác M7,5.

Sản phẩm vữa khô đáp ứng yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 4314:2022 “Vữa xây dựng - Yêu cầu kỹ thuật” [17].

Trong nghiên cứu này, hàm lượng xi măng Portland PCB40 Hoàng Thạch được sử dụng là 25% trong cả 08 mẫu vữa khô trộn sẵn. Hàm lượng bã thải thạch cao phospho được sử dụng để thay thế từ 0%,

10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% đến 75% khối lượng cát mịn tự nhiên nhằm đánh giá ảnh hưởng của bã thải thạch cao phospho đến tính chất hỗn hợp và cường độ của vữa sau đóng rắn. Như vậy, với mẫu chứa 75% bã thải thạch cao đã thay thế hoàn toàn cát mịn tự nhiên. Tỷ lệ nước trên xi măng được lựa chọn bằng 0,8 nhằm đảm bảo độ lưu động của hỗn hợp vữa phù hợp cho quá trình thi công thực tế. Thành phần cấp phối các mẫu thí nghiệm được trình bày trong Bảng 4.

Bảng 4. Thành phần cấp phối vật liệu trong 1000 kg sản phẩm vữa khô

STT	Ký hiệu mẫu vữa thí nghiệm	Cấp phối vữa khô trong nghiên cứu				Nước (lít)
		Xi măng (kg)	Bã thải thạch cao phospho (kg)	Cát mịn (kg)	Phụ gia Admix Pro (kg)	
1	ID_01	250	0	750	0,8	200
2	ID_02	250	100	650	0,8	200
3	ID_03	250	200	550	0,8	200
4	ID_04	250	300	450	0,8	200
5	ID_05	250	400	350	0,8	200
6	ID_06	250	500	250	0,8	200
7	ID_07	250	600	150	0,8	200
8	ID_08	250	750	0	0,8	200

3. Kết quả và thảo luận

Các mẫu vữa được thực hiện thí nghiệm theo điều kiện tiêu chuẩn trong phòng thí nghiệm. Các tính chất của hỗn hợp vữa ở trạng thái dẻo được trình

bày trên Hình 3.

Các mẫu vữa hình lăng trụ tiêu chuẩn kích thước 40×40×160 mm đã được tạo hình và bảo dưỡng trong môi trường nước đến các tuổi thí nghiệm (Hình 5).



Hình 4. Nhào trộn và xác định tính công tác của hỗn hợp vữa



Hình 5. Các mẫu vữa hình lăng trụ 40×40×160 mm trong thí nghiệm

Các mẫu vữa sau khi chế tạo được bảo dưỡng trong điều kiện tiêu chuẩn và tiến hành xác định các chỉ tiêu cơ lý theo các phương

pháp thí nghiệm tương ứng. Kết quả thí nghiệm được tổng hợp và trình bày trong Bảng 5, Bảng 6.

Bảng 5. Một số tính chất vật lý của mẫu vữa thí nghiệm

STT	Ký hiệu mẫu vữa thí nghiệm	Thời gian bắt đầu (phút)	Độ lưu động của hỗn hợp vữa (mm)	Khối lượng thể tích của vữa sau khi cứng rắn (kg/m ³)
1	ID_01	185	205	2125
2	ID_02	180	194	2118
3	ID_03	172	192	2110
4	ID_04	165	185	2098
5	ID_05	155	176	2085
6	ID_06	148	160	2072
7	ID_07	140	150	2060
8	ID_08	125	145	2050

Bảng 6. Cường độ chịu nén và cường độ chịu kéo khi uốn của các mẫu vữa thí nghiệm

STT	Ký hiệu mẫu vữa thí nghiệm	Cường độ chịu nén (MPa) ở tuổi:				Cường độ chịu kéo khi uốn (MPa) ở tuổi 28 ngày
		3 ngày	7 ngày	14 ngày	28 ngày	
1	ID_01	3,64±0,102	5,75±0,150	9,12±0,219	10,85±0,241	2,35±0,047
2	ID_02	3,12±0,087	5,44±0,141	8,66±0,209	10,15±0,224	2,17±0,043
3	ID_03	2,75±0,077	4,75±0,124	8,15±0,195	9,70±0,215	2,02±0,040
4	ID_04	2,63±0,074	4,25±0,112	7,31±0,176	8,64±0,191	1,89±0,038
5	ID_05	2,58±0,073	3,88±0,103	6,75±0,164	7,88±0,174	1,75±0,035
6	ID_06	2,50±0,071	3,80±0,099	5,61±0,137	6,55±0,145	1,44±0,029
7	ID_07	2,06±0,059	3,11±0,082	4,54±0,108	5,36±0,119	1,28±0,026
8	ID_08	1,90 ±0,054	2,50±0,067	4,05±0,098	4,70±0,104	1,17±0,023

Kết quả thí nghiệm trong Bảng 5 và Bảng 6 cho thấy khi tăng tỷ lệ thay thế cát tự nhiên bằng bã thải thạch cao phospho, các chỉ tiêu kỹ thuật của vữa khô trộn sẵn đều có xu hướng giảm, bao gồm thời gian bắt đầu đông kết, độ lưu động của hỗn hợp, khối lượng thể tích sau đóng rắn, cường độ chịu nén và cường độ chịu kéo khi uốn.

3.1 Ảnh hưởng hàm lượng bã thải thạch cao phospho đến tính công tác của hỗn hợp vữa

Theo số liệu trong Bảng 5 cho thấy độ lưu động của hỗn hợp vữa giảm dần khi tăng hàm lượng bã thải thạch cao phospho thay thế cát tự nhiên. Mẫu đối chứng (ID_01) đạt độ lưu động lớn nhất là 205 mm. Khi tỷ lệ bã thải thạch cao phospho thay thế tăng

từ 10% lên 75%, độ lưu động giảm dần từ 194 mm xuống còn 145 mm, tương ứng giảm khoảng 29,3% so với mẫu đối chứng. Đặc biệt, khi hàm lượng thay thế vượt quá 50%, độ lưu động giảm nhanh hơn, phản ánh sự suy giảm tính công tác của hỗn hợp vữa. Hiện tượng này có thể được giải thích bởi bã thải thạch cao phospho có kích thước hạt nhỏ và diện tích bề mặt riêng lớn hơn cát tự nhiên, làm tăng nhu cầu nước của hỗn hợp. Trong điều kiện lượng nước trộn không đổi, lượng nước tự do giảm, đồng thời sự gia tăng hàm lượng hạt mịn có thể làm tăng ma sát giữa các hạt vật liệu, dẫn đến độ lưu động giảm khi tỷ lệ thay thế tăng. Kết quả nghiên cứu này tương tự như trong một số nghiên cứu trước đây ở Việt Nam [2] và trên thế giới [13, 14].

Nhìn chung, các cấp phối có tỷ lệ thay thế đến khoảng 30% vẫn duy trì độ lưu động từ 176–205 mm, đáp ứng yêu cầu về tính công tác đặt ra của hỗn hợp vữa. Khi tỷ lệ thay thế lớn hơn 50%, độ lưu động giảm đáng kể và có thể ảnh hưởng đến quá trình thi công.

3.2 Ảnh hưởng của hàm lượng bã thải thạch cao phospho đến thời gian đông kết

Kết quả xác định thời gian bắt đầu đông kết của các cấp phối vữa được trình bày trong Bảng 5. Thời gian bắt đầu đông kết của các mẫu dao động trong khoảng 125÷185 phút và có xu hướng giảm khi tăng tỷ lệ thay thế cát tự nhiên bằng bã thải thạch cao phospho. Mẫu đối chứng (ID_01) có thời gian bắt đầu đông kết là 185 phút, trong khi mẫu thay thế hoàn toàn cát bằng bã thải thạch cao phospho (ID_08) giảm xuống còn 125 phút.

Các mẫu từ ID_01 đến ID_05 có thời gian bắt đầu đông kết từ 155÷185 phút, nằm trong giới hạn quy định của TCVN 4314:2022 đối với vữa khô trộn sẵn mác M7,5 và đạt mục tiêu thiết kế ban đầu của nghiên cứu này. Trong khi đó, các mẫu ID_06, ID_07 và ID_08 có thời gian bắt đầu đông kết lần lượt là 148, 140 và 125 phút, thấp hơn giá trị quy định của tiêu chuẩn. Kết quả này cho thấy khi tỷ lệ bã thải thạch cao phospho thay thế cát tự nhiên vượt quá một giới hạn nhất định, thời gian bắt đầu đông kết của hỗn hợp vữa bị rút ngắn.

Hiện tượng trên có thể được giải thích bởi việc bã thải thạch cao phospho có thành phần chủ yếu là $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ cùng với một lượng nhỏ các tạp chất hòa tan như photphat và florua. Khi hàm lượng bã thải phosphogypsum tăng, các thành phần này làm thay đổi môi trường thủy hóa của hệ chất kết dính, từ đó ảnh hưởng đến tốc độ hình thành các sản phẩm thủy hóa trong giai đoạn đầu và làm giảm thời gian bắt đầu đông kết của hỗn hợp vữa [9, 18]. Tuy nhiên, ở các tỷ lệ thay thế thích hợp (ID_01 đến ID_05), sự thay đổi này không làm ảnh hưởng đến khả năng thi công của vữa và vẫn bảo đảm yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 4314:2022.

3.3 Ảnh hưởng của hàm lượng bã thải thạch cao phospho đến khối lượng thể tích của sản phẩm vữa khô

Giá trị khối lượng thể tích của vữa sau khi đóng rắn có xu hướng giảm dần khi tăng hàm lượng bã thải thạch cao phospho thay thế cát tự nhiên. Mẫu đối chứng (ID_01) đạt khối lượng thể tích 2125

kg/m³. Khi thay thế 10%, 20% và 30% cát tự nhiên bằng bã thải thạch cao phospho, khối lượng thể tích giảm lần lượt xuống 2118 kg/m³, 2110 kg/m³ và 2098 kg/m³. Khi tỷ lệ thay thế tiếp tục tăng từ 40% đến 75%, khối lượng thể tích giảm còn 2085 kg/m³, 2072 kg/m³, 2060 kg/m³ và 2050 kg/m³. So với mẫu đối chứng, mẫu thay thế hoàn toàn cát tự nhiên có khối lượng thể tích giảm khoảng 3,5%.

Xu hướng giảm khối lượng thể tích có thể được giải thích bởi khối lượng riêng của bã thải thạch cao phospho thấp hơn so với cát tự nhiên. Khi tỷ lệ thay thế tăng, khối lượng vật liệu trong cùng một đơn vị thể tích giảm, dẫn đến khối lượng thể tích của sản phẩm vữa sau khi đóng rắn giảm theo. Tuy nhiên, mức giảm không lớn, cho thấy việc sử dụng bã thải thạch cao phospho thay thế một phần cát tự nhiên không làm thay đổi đáng kể đặc tính khối lượng của vật liệu.

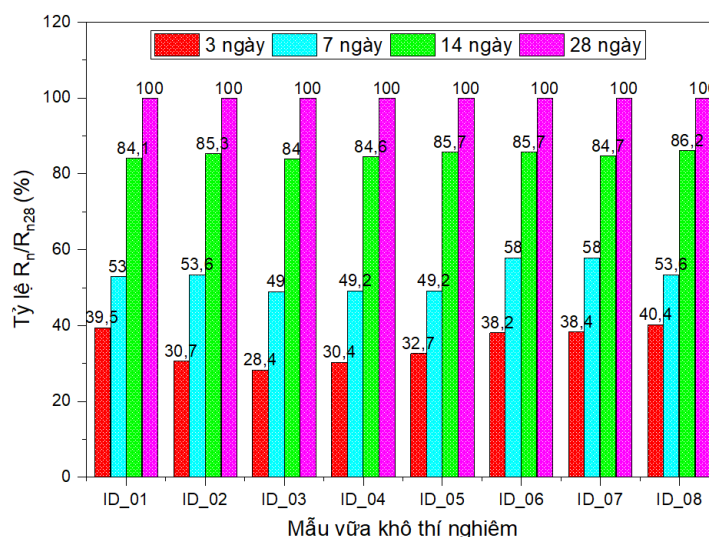
3.4 Ảnh hưởng của hàm lượng bã thải thạch cao phospho đến cường độ chịu nén và cường độ chịu kéo khi uốn của vữa xây dựng

Từ kết quả thí nghiệm trong Bảng 6 cho thấy, kết quả thí nghiệm cho thấy cường độ chịu nén của tất cả các mẫu đều tăng theo thời gian bảo dưỡng, phản ánh quá trình phát triển cường độ của các sản phẩm vữa khô sử dụng bã thải thạch cao phospho tương tự như các loại vữa xi măng cát thông thường. Tuy nhiên, khi tăng hàm lượng bã thải thạch cao phospho thay thế cát tự nhiên, cường độ chịu nén ở mọi tuổi đều có xu hướng giảm.

Các mẫu vữa từ ID_01 đến ID_05 có cường độ chịu nén trung bình ở tuổi 28 ngày dao động trong khoảng 7,88 – 10,85 MPa đạt yêu cầu kỹ thuật vữa xây dựng mác M7,5 theo TCVN 4314:2022. Các cấp phối vữa sử dụng hàm lượng thạch cao trên 40% có cường độ giảm từ 6,55 MPa xuống 4,70 MPa, không đạt mác M7,5 đề ra trong mục tiêu nghiên cứu.

Kết quả thử nghiệm cường độ chịu kéo khi uốn ở tuổi 28 ngày (Bảng 6) cho thấy sự suy giảm dần từ mẫu ID_01 đến ID_08, tương tự với quy luật biến thiên của cường độ chịu nén. Mẫu ID_01 đạt giá trị cường độ kéo uốn lớn nhất (2,35 MPa) trong khi mẫu ID_08 đạt giá trị nhỏ nhất (1,17 MPa).

Kết quả biểu diễn tỷ lệ phát triển cường độ chịu nén (R_n/R_{n28}) tại các tuổi 3 ngày, 7 ngày và 14 ngày so với 28 ngày của các mẫu vữa xây dựng sử dụng bã thải thạch cao phospho thay thế cát tự nhiên được trình bày trong Hình 6.



Hình 6. Tỷ lệ cường độ chịu nén của vữa thí nghiệm ở tuổi 3, 7 và 14 ngày so với cường độ chịu nén ở tuổi 28 ngày

Về tổng thể, các cấp phối vữa đều cho thấy sự gia tăng cường độ rõ rệt theo thời gian. Tuy nhiên, tốc độ phát triển cường độ sớm (ở 3 ngày và 7 ngày tuổi) có sự khác biệt giữa các mẫu:

Ở tuổi 3 ngày, mẫu ID_01 và ID_08 có tốc độ phát triển cường độ sớm nhanh nhất, đạt tương ứng 39,5% và 40,4% so với cường độ ở tuổi 28 ngày. Trong khi đó, các mẫu từ ID_02 đến ID_05 có tốc độ phát triển cường độ sớm chậm hơn, chỉ đạt từ 28,4% đến 32,7%.

Ở tuổi 7 ngày, tốc độ tăng trưởng cường độ của các mẫu ID_06 và ID_07 tăng mạnh hơn, đạt 58,0% cường độ 28 ngày, cao hơn so với mẫu ID_03 (49,0%).

Ở tuổi 14 ngày: Tốc độ phát triển cường độ của tất cả các cấp phối dần tiến về mức tương đồng, đạt từ 84,0% đến 86,2% so với giá trị cường độ mốc 28 ngày.

Điều này chứng tỏ hàm lượng bã thải phosphogypsum ảnh hưởng đáng kể đến độ ổn định của bộ khung cốt liệu. Đặc biệt, các thành phần hạt mịn từ trong bã thải thạch cao có thể làm đặc chắc vi cấu trúc, bổ sung lượng hạt siêu mịn cho thành phần cốt liệu. Đó chính là nguyên nhân ảnh hưởng đến cường độ chịu lực của mẫu vữa trong thí nghiệm này [2, 13, 14].

Nhìn chung, kết quả nghiên cứu cho thấy việc sử dụng bã thải thạch cao phospho với hàm lượng khoảng 40% khối lượng cát tự nhiên là phù hợp để chế tạo sản phẩm vữa khô trộn sẵn mác M7,5; vữa tận dụng được nguồn chất thải phosphogypsum, vừa

hạn chế sự suy giảm các chỉ tiêu cơ học của sản phẩm.

4. Kết luận

Từ các kết quả nghiên cứu thực nghiệm về khả năng sử dụng bã thải thạch cao phospho thay thế một phần cốt liệu mịn trong chế tạo vữa khô trộn sẵn, có thể rút ra một số kết luận chính như sau:

Nghiên cứu đã đánh giá khả năng sử dụng bã thải thạch cao phospho phát sinh từ Nhà máy sản xuất phân bón Diamoni Photphat (DAP) Đình Vũ, Hải Phòng để thay thế một phần cát tự nhiên trong chế tạo vữa khô trộn sẵn. Kết quả nghiên cứu cho thấy bã thải thạch cao phospho có thể được sử dụng làm vật liệu thay thế cốt liệu mịn với tỷ lệ phù hợp, góp phần tận dụng chất thải công nghiệp và giảm nhu cầu khai thác cát tự nhiên.

Khi tăng hàm lượng bã thải thạch cao phospho thay thế cát tự nhiên, độ lưu động của hỗn hợp vữa và khối lượng thể tích của sản phẩm sau đóng rắn đều giảm. Nguyên nhân chủ yếu là do bã thải có hàm lượng hạt mịn lớn, diện tích bề mặt riêng cao và khối lượng riêng thấp hơn cát tự nhiên, làm tăng nhu cầu nước của hỗn hợp và giảm khối lượng thể tích của vữa.

Cường độ chịu nén và cường độ chịu kéo khi uốn của vữa đều giảm theo tỷ lệ thay thế cát. Mẫu đối chứng đạt cường độ chịu nén 28 ngày là 10,85 MPa, trong khi mẫu thay thế hoàn toàn cát bằng bã thải thạch cao phospho đạt 4,70 MPa. Sự suy giảm cường độ chủ yếu xuất phát từ việc giảm tỷ lệ cốt liệu chịu lực trong hỗn hợp, làm giảm khả năng hình

thành bộ khung chịu lực ổn định của vữa.

Trong phạm vi nghiên cứu, các cấp phối sử dụng khoảng 10–40% bã thải thạch cao phospho thay thế cát tự nhiên vẫn đảm bảo các yêu cầu kỹ thuật đối với vữa xây dựng thông thường mác M7,5, đồng thời hạn chế đáng kể sự suy giảm các tính chất cơ học.

Kết quả nghiên cứu đã chứng minh tiềm năng ứng dụng bã thải thạch cao phospho trong chế tạo vữa khô trộn sẵn, góp phần mở rộng hướng tái sử dụng chất thải công nghiệp của Nhà máy DAP Đình Vũ, giảm lượng chất thải phải lưu chứa, tiết kiệm tài nguyên cát tự nhiên và thúc đẩy phát triển vật liệu xây dựng xanh theo định hướng kinh tế tuần hoàn.

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn Trường Đại học Mở - Địa chất và Công ty Cổ phần Đầu tư Trường An Hải Phòng đã hỗ trợ thực hiện nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Tăng Văn Lâm, Nguyễn Văn Mạnh, Nguyễn Trọng Chúc (2023). *Khả năng sử dụng cát nghiền nguồn gốc đá vôi cho bê tông cường độ cao*. Hội thảo khoa học quốc gia “Phát triển và quản lý bền vững tài nguyên và môi trường: từ miền núi tới ven biển”. Hà Nội, tháng 10, tr.18-27.
- [2] Phan Quang Hưng, Bùi Phương Trinh (2024). *Khảo sát ảnh hưởng của cát thải từ cát xây tô tại công trường đến độ lưu động và cường độ của vữa xây dựng*. Tạp chí Vật liệu và Xây dựng, số 01.
- [3] Ngo S.H., Huynh T.P. (2022). *Effect of lubricating paste content on the engineering properties and microstructure of green mortars designed by densified mixture design algorithm*, Materials Today: Proceedings, 65, pp. 1315–1320.
- [4] Nguyễn Thế Giang (2026). *Công ty Cổ phần Đầu tư Trường An Hải Phòng: Từ giải pháp sản xuất vật liệu xanh đến mô hình về môi trường, xã hội và quản trị doanh nghiệp dẫn đầu*, Tạp chí Đầu tư Tài chính, 50/03, tr.78-81.
- [5] Trịnh Thị Châm, Cao Tú Mai (2023). *Đánh giá tính chất của thạch cao phospho tại Việt Nam*. Tạp chí Vật liệu và Xây dựng-Bộ Xây dựng, 13(03), tr.43-50.
- [6] Nguyễn Văn Quang (2016). *Nghiên cứu chế biến phế thải phosphogypsum làm phân bón và phụ gia cho xi măng*. Luận án tiến sĩ, Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội.
- [7] Chỉ thị số 08/TC-TTg ngày 26/03/2021 của Thủ tướng Chính phủ về việc đẩy mạnh xử lý, sử dụng tro, xỉ, thạch cao của các nhà máy nhiệt điện, nhà máy hóa chất, phân bón làm nguyên liệu sản xuất vật liệu xây dựng và trong các công trình xây dựng.
- [8] Ân V. V. T. (2019). *Nghiên cứu ảnh hưởng của thạch cao Phospho từ nhà máy sản xuất phân bón DAP thay thế thạch cao tự nhiên đến các tính chất của xi măng và bê tông*. Đề tài Bộ Giáo dục và Đào tạo, mã số B2017-XDA-14.
- [9] Rashad, A. M. (2017). *Phosphogypsum as a construction material*. Journal of cleaner production, 166, pp.732-743.
- [10] Değirmenci N. (2008). *Utilization of phosphogypsum as raw and calcined material in manufacturing of building products*. construction and Building Materials, 22(8), pp.1857-1862.
- [11] Tăng Văn Lâm, Vũ Ngọc Trụ, Nguyễn Thế Giang, Nguyễn Sáng, Bùi Thị Thuỳ Dung (2026). *Nghiên cứu sử dụng phế thải thạch cao làm vật liệu san lấp công trình ven biển*. Tạp chí khoa học Công nghệ Xây dựng, số 01, tr. 50-57.
- [12] Nguyễn Văn Dũng, Lê Thị Thanh Tâm, Mai Thị Ngọc Hằng (2024). *Các đặc tính kỹ thuật của vữa xây dựng sử dụng xỉ lò cao nghiền mịn thay thế một phần xi măng*. Tạp chí Vật liệu và Xây dựng, số 03, tr. 70-75.
- [13] A. Heidari, M. Hashempour, H. Javdanian, M. Karimian (2018). *Investigation of mechanical properties of mortar with mixed recycled aggregates*, Asian Journal of Civil Engineering 19, tr. 155–164.
- [14] G.A. Ferro, C. Spoto, J.M. Tulliani, K. Restuccia (2015). *Mortar made of recycled sand from C&D*, Procedia Engineering 109, tr. 240–247.
- [15] Tăng Văn Lâm, Mai Phương Hạnh, Nguyễn Thế Giang, Nguyễn Sáng, Bùi Thị Thuỳ Dung (2026). *Nghiên cứu ảnh hưởng của thạch cao nhân tạo và silica fume đến tính chất cơ học và độ bền lâu của bê tông sử dụng cát biển trong môi trường biển đảo*. Tạp chí khoa học Công nghệ Xây dựng, số 01, tr. 67-77.
- [16] Đặng Ngọc Phượng (2023). *Nghiên cứu quá trình xử lý bã thải thạch cao photpho và bước đầu ứng dụng để làm phụ gia xi măng*. Luận án Tiến sĩ kỹ thuật hoá học, 158tr.
- [17] TCVN 4314:2022. *Vữa xây dựng - Yêu cầu kỹ thuật*.
- [18] Fornes, I.V., Vaičiukynienė, D., Nizevičienė, D., Doroševs, V., Michalik, B. (2021). *A comparative assessment of the suitability of phosphogypsum from different origins to be utilised as the binding material of construction products*. Journal of Building Engineering, 44, p.102995.