

## NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO BÊ TÔNG NHẸ SỬ DỤNG HẠT POLYSTYRENE PHÒNG NỔ TÁI CHẾ

Nguyễn Công Thắng<sup>a,\*</sup>, Nguyễn Văn Tuấn<sup>a</sup>, Hàn Ngọc Đức<sup>b</sup>, Nguyễn Văn Quảng<sup>a</sup>,  
Đỗ Thị Vân Anh<sup>a</sup>, Hoàng Văn Thắng<sup>a</sup>, Đỗ Thị Thanh<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Khoa Vật liệu Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng,  
55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

<sup>b</sup>Khoa Xây dựng dân dụng và Công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng,  
55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 22/02/2021, Sửa xong 10/03/2021, Chấp nhận đăng 19/03/2021

### Tóm tắt

Bê tông nhẹ cốt liệu rỗng đang được nghiên cứu và ứng dụng khá rộng rãi trong các công trình xây dựng hiện nay với các ưu điểm làm giảm nhẹ cho các kết cấu đồng thời tăng khả năng cách âm, cách nhiệt tăng hiệu quả năng lượng cho công trình xây dựng. Bài báo này sẽ đưa ra những kết quả ban đầu về việc sử dụng cốt liệu rỗng polystyrene tái chế trong chế tạo bê tông nhẹ. Các kết quả nghiên cứu về việc sử dụng cốt liệu rỗng polystyrene tái chế (rEPS) để chế tạo bê tông nhẹ với khối lượng thể tích đạt từ 1000 - 1500 kg/m<sup>3</sup> và cường độ nén từ 5,0 - 15 MPa. Kết quả nghiên cứu được thực hiện trên 08 cấp phối với các tỷ lệ N/CKD là 0,25 và 0,30; hàm lượng cốt liệu nhẹ sử dụng 25%, 30%, 40% và 50% theo thể tích của bê tông. Kết quả nghiên cứu cho thấy, khi hàm lượng cốt liệu nhẹ tăng thì khối lượng thể tích giảm. Tuy nhiên, độ hút nước mao quản và cường độ nén của bê tông có xu hướng giảm. Kết quả đánh giá hệ số dẫn nhiệt của bê tông theo công thức thực nghiệm của ACI213 R14 cho thấy hệ số dẫn nhiệt của bê tông giảm khi tăng hàm lượng cốt liệu nhẹ.

*Từ khoá:* bê tông nhẹ; polystyrene tái chế; khối lượng thể tích; độ hút nước mao quản; cường độ nén, hệ số dẫn nhiệt.

### EXPERIMENTAL STUDY TO PRODUCE LIGHTWEIGHT CONCRETE USING RECYCLED EXPANDED POLYSTYRENE

#### Abstract

Expanded polystyrene concrete has been being studied and widely applied in current construction projects with the advantages of reducing the weight for the structures while increasing the sound- and thermal- insulation capability to increase energy efficiency for buildings. This paper presents some preliminary experimental results on the use of recycled EPS in producing lightweight concrete. The use of recycled Expanded polystyrene (rEPS) can make lightweight concrete with a density and compressive strength ranging from 1000 to 1500 kg/m<sup>3</sup>, and 5,0 to 15 MPa, respectively. The total 08 mixtures with water to binder ratios of 0,25 and 0,30 were studied, in which the EPS contents of 25%, 30%, 40% and 50% by volume of concrete were applied. The research results show that the density decreases when the EPS content increases. However, capillary water absorption and compressive strength of concrete tend to be decreased for both water to binder ratios. The results of evaluating the thermal conductivity of concrete according to the experimental formula of ACI213 R14 show that the thermal conductivity of concrete decreases with increasing the EPS content.

*Keywords:* lightweight concrete; recycled polystyrene; density; capillary water absorption; compressive strength; thermal conductivity coefficient.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2021-15\(1V\)-07](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2021-15(1V)-07) © 2021 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

\*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: [thangnc@nuce.edu.vn](mailto:thangnc@nuce.edu.vn) (Thắng, N. C.)

## 1. Giới thiệu

Trong hơn năm thập kỷ trở lại đây, bê tông nặng đã được sử dụng khá hiệu quả trong các công trình xây dựng, mặc dù có rất nhiều ưu điểm nhưng bê tông vẫn tồn tại những nhược điểm là nặng, giòn và trong một số trường hợp thì khả năng cách nhiệt không cao. Trước nhu cầu thực tế với rất nhiều kết cấu yêu cầu khả năng cách nhiệt cách âm tốt, kết cấu nhẹ và không yêu cầu quá cao về cường độ, trên cơ sở đó đã có các nghiên cứu về bê tông nhẹ (Lightweight Concrete-LWC) được quan tâm. Về nguyên tắc để giảm tỷ trọng của bê tông bằng cách tạo khoảng trống (lỗ rỗng) trong cấu trúc vữa, trong bản thân hạt cốt liệu, giữa các hạt cốt liệu lớn... Tuy nhiên, khi lỗ rỗng trong bê tông nhiều thì khối lượng của bê tông giảm khi đó kéo theo cường độ nén của bê tông giảm theo.

Khi so sánh với bê tông thông thường, bê tông nhẹ (Lightweight Concrete-LWC) cho thấy một số đặc tính nổi bật như khối lượng thể tích thấp hơn, đặc tính cách âm, cách nhiệt tốt hơn và sự hấp thụ năng lượng lớn hơn có thể thu được bằng cách thay thế toàn bộ hoặc một phần cốt liệu nặng bằng cốt liệu nhẹ (Lightweight Aggregate-LWA) [1, 2]. Hiện nay, một trong những loại bê tông nhẹ được sử dụng phổ biến là bê tông khí hoặc bê tông bọt và bê tông nhẹ cốt liệu rỗng polystyrene. Với bê tông nhẹ cốt liệu rỗng Polystyrene (EPS-C), đây là một loại bê tông nhẹ được sản xuất theo công nghệ Pháp, từ hỗn hợp các loại vật liệu khác nhau như: xi măng, phụ gia khoáng, cốt liệu nhẹ Polystyrene (hạt EPS - Expanded Polystyrene Beads), nước và phụ gia hóa học. Hạt EPS (hay hạt nhựa nhiệt dẻo phòng nổ) là hạt tạo rỗng, hình cầu, không thấm nước, không độc hại, khối lượng thể tích hạt rất thấp chỉ đến khoảng 8 đến 20 kg/m<sup>3</sup>, được sản xuất dễ dàng với nhiều nhóm kích thước hạt khác nhau nên khi đưa hạt EPS vào hỗn hợp bê tông dẻo dính có lượng nước nhào trộn thấp thì việc tạo hình không gặp khó khăn, cho phép đưa hạt EPS vào với hàm lượng lớn. Việc sử dụng các hạt polystyrene phòng nổ sẽ làm giảm khối lượng thể tích, tăng khả năng cách âm, cách nhiệt cho bê tông. Hỗn hợp bê tông nhẹ EPS-C bao gồm hệ thống cấu trúc lỗ rỗng lớn được tạo ra từ độ rỗng xốp của các hạt polystyrene phòng nổ, cấu trúc lỗ rỗng bé được tạo nên từ các lỗ rỗng gel và hệ thống mao quản nằm trong phần vách ngăn nằm giữa các lỗ rỗng lớn. Việc sử dụng hạt Polystyrene phòng nổ sẽ có điểm rất lớn trong việc giảm trọng lượng của bê tông nhẹ. Tuy nhiên, do Polystyrene phòng nổ (EPS) là một loại cốt liệu nhẹ với trọng lượng chỉ 8-20 kg/m<sup>3</sup>. Do trọng lượng EPS rất nhẹ nên các hạt EPS có xu hướng dễ phân tầng trong quá trình tạo hình. Nhiều nhà nghiên cứu đã nghiên cứu để khắc phục những nhược điểm này [3–5] đã sử dụng phụ gia siêu dẻo kết hợp với sợi phân tán để tránh sự phân tầng của hạt EPS, ngoài ra để cải thiện cường độ của bê tông EPS-C. Với các ưu điểm đạt được EPS-C đã được quan tâm và nghiên cứu rất nhiều, các nghiên cứu của Sabaa [6] về ảnh hưởng của tính công tác đến một số tính chất của EPS-C như khối lượng thể tích, cường độ. Các kết quả cho thấy khi tính công tác của hỗn hợp bê tông tăng thì cường độ bê tông được cải thiện so với hỗn hợp bê tông có tính công tác thấp. Ngoài ra, các nghiên cứu của [4, 5, 7] về ảnh hưởng của nano carbon và khối lượng thể tích của EPS-C đến tính chất của bê tông cho thấy, nano carbon cũng như khối lượng thể tích của EPS-C ảnh hưởng lớn đến cường độ của bê tông, đồng thời mức độ ảnh hưởng của các yếu tố này đến cường độ nén lớn hơn so với cường độ uốn và mô đun đàn hồi. Tuy nhiên, trong bê tông EPS-C sử dụng lượng xốp lớn, vật liệu này chiếm tỷ trọng lớn về giá thành trong bê tông. Trong thực tế hiện nay, lượng rác thải xốp đang ngày một gia tăng, loại xốp này rất nguy hại nếu chúng ta không có biện pháp xử lý hiệu quả. Rác thải xốp này phát sinh từ những đồ vật chúng ta thường sử dụng như thùng xốp, các chi tiết chèn khe cho các dụng cụ dễ vỡ... Các công bố cho thấy, một lượng lớn EPS cuối cùng trở thành chất thải và được gửi đến bãi chôn lấp hoặc đổ bất hợp pháp ở các khu vực trống, đặc biệt là ở các nước đang phát triển. Theo các nghiên cứu [8–10]; tổng sản lượng polystyrene toàn cầu đã chế tạo là 14 triệu tấn. Giá trị này ở Tây Âu là 2,5 triệu tấn và ở Mỹ là 2,3 triệu tấn, hầu hết trong số đó có xu hướng cuối cùng ở các bãi chôn lấp. Ở Anh, khoảng 300000 tấn EPS thải được gửi đến bãi chôn

lắp và số lượng này chiếm một thể tích là 38000000 m<sup>3</sup> [11]. Theo các nghiên cứu, phần lớn các loại rác thải xốp thuộc loại khó phân hủy, có thể gây ra những hậu quả về ô nhiễm môi trường, ảnh hưởng đến sức khỏe con người. Rác thải xốp quá nhiều khi thải ra môi trường nước hoặc đất có thể khiến cho biến đổi tính chất của đất, gây tắc nghẽn hệ thống thoát nước, theo thời gian đây chính là nguyên nhân khiến cho nhiều loại vi khuẩn không ngừng phát triển, gây ra nhiều loại bệnh nguy hiểm cho con người [8]. Xuất phát từ thực tiễn như vậy, nhóm nghiên cứu đã nghiên cứu sử dụng loại polystyrene phế thải (recycled - Expanded Polystyrene Beads - rEPS) này trong chế tạo bê tông nhẹ. Việc nghiên cứu sử dụng loại rác thải xốp này trong chế tạo bê tông nhẹ vừa làm giảm giá thành do giảm lượng dùng hạt EPS nguyên sinh, đồng thời vừa góp phần giảm lượng rác thải xốp thải ra môi trường, điều này có ý nghĩa thực tiễn rất lớn [5]. Xốp thải trước khi và sau khi tái chế được thể hiện ở Hình 1.



Hình 1. Xốp thải và hạt cốt liệu nhẹ sau khi được tái chế

## 2. Vật liệu sử dụng và công tác chuẩn bị mẫu

### 2.1. Vật liệu sử dụng

Vật liệu được dùng trong nghiên cứu gồm: Xi măng Poóc lăng (XM) Nghi Sơn PC40 có các tính chất cơ lý trình bày ở Bảng 1. Phụ gia siêu dẻo (SD) sử dụng trong nghiên cứu có gốc polycarboxylate với lượng dùng được tính theo % theo khối lượng xi măng, các tính chất của SD theo công bố của nhà

Bảng 1. Tính chất cơ lý của xi măng

Tính chất	Đơn vị	Giá trị	Quy phạm	Ghi chú
Lượng sót sàng N°009	%	1,9	≤ 10	
Thời gian đông kết	phút			
- Bắt đầu		120	> 45	
- Kết thúc		165	< 375	
Độ ổn định thể tích	mm	1,7	< 10	
Độ dẻo tiêu chuẩn	%	31,5	-	
Cường độ nén	MPa			
Sau 3 ngày		33,5	≥ 21,0	
Sau 28 ngày		50,4	≥ 40,0	

sản xuất phù hợp theo tiêu chuẩn ASTM C494 loại F và G với phụ gia giảm nước và kéo dài thời gian đông kết. Lượng SD sử dụng trong nghiên cứu được thể hiện trong Bảng 3. Nước trộn bê tông là nước máy, thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật với nước trộn bê tông theo TCVN 4506:2012.

Bảng 2. Tính chất cơ lý của rEPS

Tính chất		Đơn vị	Giá trị	Ghi chú	
Khối lượng thể tích đồ đông		kg/m <sup>3</sup>	9,6		
Khối lượng thể tích hạt		kg/m <sup>3</sup>	20,8		
Thành phần hạt của rEPS					
Cỡ sàng, mm	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14
Lượng sót riêng biệt, %	53,0	23,2	21,6	2,0	0

Cốt liệu rỗng polystyrene tái chế (rEPS) được cung cấp bởi Công ty cổ phần Tường nhẹ Nuce-wall. Trong đó, xốp phế thải sau khi được làm sạch, được nghiền và phân loại theo cỡ sàng yêu cầu. Các tính chất cơ lý của rEPS được trình bày ở Bảng 2. Cốt liệu rỗng rEPS sau khi được tái chế thể hiện ở Hình 2.

## 2.2. Chuẩn bị mẫu thí nghiệm

Thành phần bê tông nhẹ được tính toán theo phương pháp thể tích tuyệt đối, trên cơ sở các thông số đầu vào, cụ thể: bê tông nhẹ lựa chọn nghiên cứu với khối lượng thể tích tương ứng: 1500 kg/m<sup>3</sup>, 1200 kg/m<sup>3</sup> và 1000 kg/m<sup>3</sup>, thể tích cốt liệu rEPS lựa chọn với hàm lượng tương ứng là 25%, 30%, 40% và 50% theo thể tích của bê tông. Tỷ lệ N/CKD lựa chọn là 0,25 và 0,3. Hàm lượng bọt khí lựa chọn là 3%. Để cải thiện tính công tác của hỗn hợp bê tông dễ tãi sử dụng phụ gia siêu



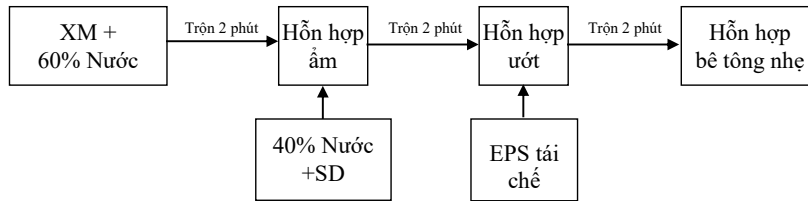
Hình 2. Cốt liệu rỗng polystyrene tái chế

Bảng 3. Thành phần bê tông nhẹ

TT	Tỷ lệ thành phần vật liệu				Lượng vật liệu tính cho 1 m <sup>3</sup>		
	N/CKD	V <sub>EPS</sub> , m <sup>3</sup>	SD, %	XM, kg	SD, kg	N, kg	V <sub>EPS</sub> , lít
1	0,30	0,25	0,4	1150	4,6	345	250
2	0,30	0,30	0,4	1074	4,3	322	300
3	0,30	0,40	0,4	920	3,7	276	400
4	0,30	0,50	0,4	767	3,1	230	500
5	0,25	0,25	0,6	1194	7,2	299	250
6	0,25	0,30	0,6	1115	6,7	279	300
7	0,25	0,40	0,6	955	5,7	239	400
8	0,25	0,50	0,6	796	4,8	199	500

đảo (SD), hàm lượng SD được lấy 0,6% và 0,4% theo khối lượng chất kết dính tương ứng với tỷ lệ N/CKD lựa chọn là 0,25 và 0,3. Thành phần cấp phối bê tông nhẹ rEPS được thể hiện ở Bảng 3.

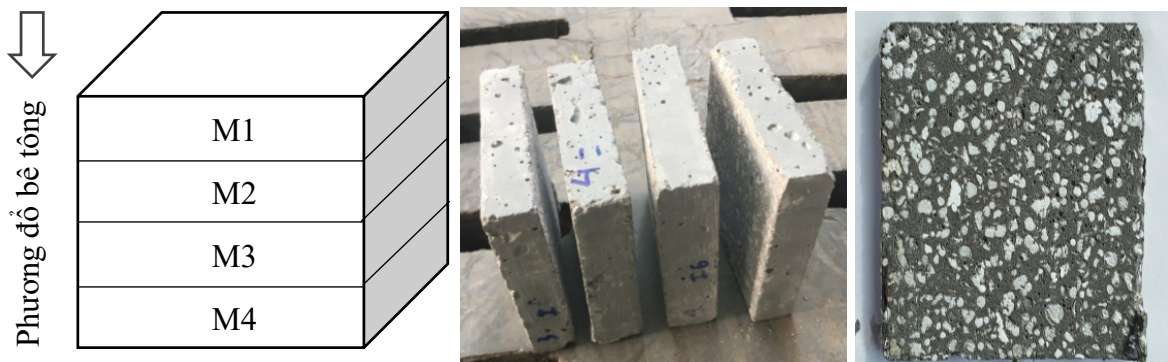
Quá trình trộn và chế tạo bê tông nhẹ rEPS được thực hiện theo quy trình thể hiện trên Hình 3.



Hình 3. Quy trình trộn hỗn hợp bê tông nhẹ sử dụng rEPS

### 2.3. Phương pháp thí nghiệm

Khối lượng thể tích của bê tông được thực hiện trên cơ sở tiêu chuẩn TCVN 3115:1993 [12] với mẫu có kích thước 100×100×100 mm. Cường độ nén của bê tông được thực hiện trên cơ sở tiêu chuẩn TCVN 3118:1993 [13] với mẫu có kích thước 100×100×100 mm. Thí nghiệm sự phân tầng của bê tông nhẹ sử dụng rEPS được thực hiện trên mẫu có kích thước 100×100×100 mm. Để xác định độ phân tầng của bê tông ta chia mẫu thành 4 phần bằng nhau theo chiều cao theo phương đổ bê tông của mẫu (Hình 4). Dùng máy cắt, cắt mẫu ra thành 4 phần như đã chia ở trên. Sau đó sấy khô mẫu đã cắt đến khối lượng không đổi, tiến hành cân và đo lại kích thước của từng phần đã cắt, cân mẫu và tính khối lượng thể tích từng phần để so sánh với giá trị trung bình.



Hình 4. Sơ đồ chia mẫu theo phương đổ bê tông để xác định độ phân tầng

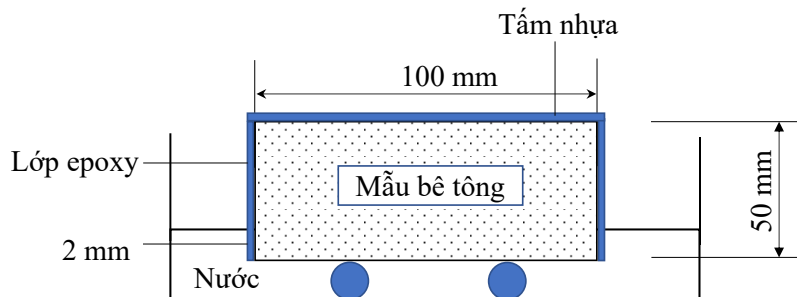
Độ hút nước của bê tông được thực hiện trên cơ sở TCVN 3113:1993 [14] với mẫu có kích thước 100×100×100 mm. Thí nghiệm xác định độ hút nước mao quản của bê tông nhẹ sử dụng rEPS được thực hiện trên cơ sở tiêu chuẩn ASTM C1585-20 [15] với mẫu có kích thước 100×100×50 mm. Sơ đồ thí nghiệm được thể hiện ở Hình 5.

Thí nghiệm xác định hệ số dẫn nhiệt của bê tông nhẹ sử dụng rEPS được tính toán dựa theo ACI 213R14 [16]. Trong đó công thức xác định hệ số dẫn nhiệt được tính toán như sau:

$$\lambda = 0,086 \times e^{0,00125 \times W_c}, \text{ W/(m.}^\circ\text{C)}$$

trong đó  $e = 2,71828$ ;  $W_c$  là khối lượng thể tích khô của bê tông,  $\text{kg/m}^3$ .



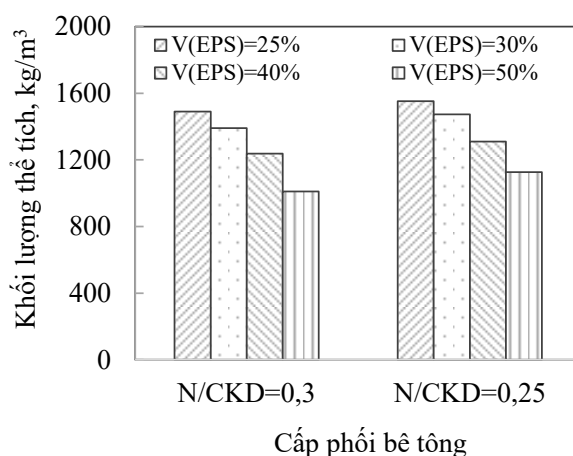


Hình 5. Sơ đồ thí nghiệm độ hút nước mao quản của bê tông rEPS

### 3. Kết quả nghiên cứu và bàn luận

#### 3.1. Ảnh hưởng của hàm lượng rEPS đến khối lượng thể tích và sự phân tầng của bê tông

Kết quả thí nghiệm về ảnh hưởng của hàm lượng rEPS đến khối lượng thể tích của bê tông được thể hiện ở Hình 6. Kết quả thí nghiệm cho thấy với mỗi tỷ lệ N/CKD xác định, khi hàm lượng rEPS sử dụng trong bê tông tăng thì khối lượng thể tích của bê tông giảm. Điều này có thể giải thích là do khối lượng thể tích của hạt rEPS là  $20,8 \text{ kg/m}^3$  nhỏ hơn rất nhiều so với khối lượng thể tích của đá xi măng tương ứng khoảng  $2000 \text{ kg/m}^3$ , do vậy việc thay thế thể tích của đá xi măng bằng hạt rEPS sẽ làm giảm khối lượng thể tích của bê tông. Khi tỷ lệ N/CKD giảm thì khối lượng thể tích của bê tông tăng ứng với cùng thể tích hạt rEPS sử dụng. Khi tỷ lệ N/CKD = 0,3 thì khối lượng thể tích của bê tông lớn nhất đạt  $1490 \text{ kg/m}^3$ , và thấp nhất đạt  $1010 \text{ kg/m}^3$ . Tương tự, khi tỷ lệ N/CKD = 0,25 thì khối lượng thể tích của bê tông lớn nhất đạt  $1550 \text{ kg/m}^3$ , và thấp nhất đạt  $1128 \text{ kg/m}^3$ . Như vậy, với tỷ lệ N/CKD và hàm lượng rEPS lựa chọn hoàn toàn chế tạo được bê tông với khối lượng thể tích từ  $1000 \text{ kg/m}^3$  đến  $1500 \text{ kg/m}^3$ .



Hình 6. Sơ đồ chia mẫu theo phương đổ bê tông để xác định độ phân tầng

Bê tông nhẹ sử dụng rEPS được tạo bởi các thành phần bao gồm: xi măng, nước, phụ gia và hạt cốt liệu nhẹ polystyrene tái chế. Đây là hỗn hợp không đồng nhất bao gồm các vật liệu có khối lượng thể tích khác nhau và có sự chênh lệch rất lớn, do vậy rất dễ xảy ra hiện tượng phân tầng. Hiện tượng phân tầng khiến cho cốt liệu rEPS có khối lượng thể tích nhỏ có xu hướng dịch chuyển lên trên và

hồ chất kết dính nặng hơn có xu hướng dịch chuyển xuống dưới. Vì vậy hiện tượng phân tầng trong bê tông cần được hạn chế để đảm bảo độ đồng nhất các tính chất của hỗn hợp bê tông và bê tông. Trong nghiên cứu này sẽ đánh giá ảnh hưởng của hàm lượng rEPS và tỷ lệ N/CKD đến sự phân tầng của bê tông. Kết quả thí nghiệm đánh giá sự phân tầng của bê tông được thể hiện ở Bảng 4. Kết quả thí nghiệm cho thấy, sự chênh lệch khối lượng thể tích giữa các mặt cắt của mẫu so với giá trị trung bình lớn nhất là 5,26% với mẫu sử dụng rEPS với hàm lượng 25% ở tỷ lệ N/CKD = 0,25. Với các hàm lượng rEPS tăng đến 50% thì sự chênh lệch về khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông đều nhỏ hơn 5%. Như vậy, có thể khẳng định không có sự phân tầng xảy ra với các cấp phối thử nghiệm khi sử dụng rEPS phế thải. Hỗn hợp bê tông đảm bảo độ đồng nhất và không xảy ra hiện tượng phân tầng có thể giải thích là do khi sử dụng các hạt cốt liệu rỗng polystyrene tái chế, các hạt sau khi được nghiền sẽ có bề mặt nhám ráp và góc cạnh, điều này sẽ làm tăng ma sát khô giữa các hạt đồng thời hạn chế sự dịch chuyển của các hạt cốt liệu lên phía trên. Bên cạnh đó, việc lựa chọn tỷ lệ N/CKD ở mức thấp hàm lượng SD phù hợp đủ đảm bảo tính công tác của hỗn hợp bê tông cũng là yếu làm tăng độ nhớt cho hồ CKD, từ đó hạn chế sự phân tầng của hỗn hợp bê tông xảy ra.

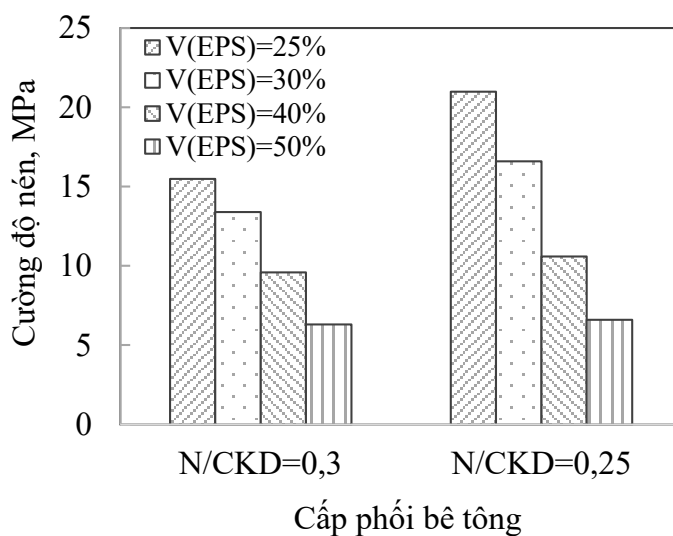
Bảng 4. Sự chênh lệch khối lượng thể tích của bê tông nhẹ trên các mặt cắt khác nhau

Cấp phối/mặt cắt		M1	M2	M3	M4	$\rho_{TB}, \text{kg/m}^3$
CP1	$\rho_k, \text{kg/m}^3$	1469	1495	1499	1539	1501
	$\Delta\rho, \%$	2,10	0,37	0,10	2,57	
CP2	$\rho_k, \text{kg/m}^3$	1358	1359	1344	1346	1352
	$\Delta\rho, \%$	0,46	0,54	0,57	0,43	
CP3	$\rho_k, \text{kg/m}^3$	1196	1206	1201	1184	1197
	$\Delta\rho, \%$	0,06	0,77	0,36	1,07	
CP4	$\rho_k, \text{kg/m}^3$	941	1009	1021	998	992
	$\Delta\rho, \%$	5,17	1,69	2,90	0,58	
CP5	$\rho_k, \text{kg/m}^3$	1459	1568	1572	1561	1540
	$\Delta\rho, \%$	5,26	1,82	2,08	1,36	
CP6	$\rho_k, \text{kg/m}^3$	1422	1441	1453	1458	1444
	$\Delta\rho, \%$	1,49	0,17	0,66	1,00	
CP7	$\rho_k, \text{kg/m}^3$	1225	1258	1292	1308	1271
	$\Delta\rho, \%$	3,60	1,00	1,67	2,93	
CP8	$\rho_k, \text{kg/m}^3$	1090	1141	1145	1096	1118
	$\Delta\rho, \%$	2,50	2,06	2,42	1,97	

### 3.2. Ảnh hưởng của hàm lượng rEPS đến cường độ nén của bê tông

Ảnh hưởng của hàm lượng rEPS và tỷ lệ N/CKD đến cường độ nén của bê tông được thể hiện ở Hình 7. Kết quả thí nghiệm cho thấy, ứng với mỗi tỷ lệ N/CKD khi tăng hàm lượng rEPS thì cường độ nén của bê tông giảm. Đồng thời, ứng với mỗi hàm lượng rEPS sử dụng, khi giảm tỷ lệ N/CKD thì cường độ nén của bê tông tăng, điều này hoàn toàn phù hợp với lý thuyết. Cường độ nén của bê tông lớn nhất đạt được là 21 MPa, khi tỷ lệ N/CKD = 0,25 với hàm lượng rEPS là 25%. Ngược lại, cường

độ nén của bê tông nhỏ nhất đạt được là 6,3 MPa, ứng với tỷ lệ  $N/CKD = 0,3$  và hàm lượng rEPS là 50%. Như vậy, với khối lượng thể tích của bê tông đạt  $1000 \text{ kg/m}^3$  thì cường độ nén của bê tông đạt 6,3 MPa, khi khối lượng thể tích của bê tông tăng đến  $1500 \text{ kg/m}^3$  thì cường độ nén của bê tông đạt trên 20 MPa. Kết quả nghiên cứu đạt được cho thấy, sự gia tăng hàm lượng cốt liệu rEPS sẽ dẫn đến giảm cường độ của bê tông, điều này có thể giải thích: xét về bản chất, cốt liệu rEPS chứa đến 98% là không khí, cường độ rất yếu và có tính kỵ nước, có liên kết rất kém với đá xi măng do vậy việc sử dụng rEPS làm cốt liệu trong bê tông sẽ làm giảm cường độ nén của bê tông. Bên cạnh đó, cường độ nén của bê tông sử dụng rEPS được đánh giá là tỷ lệ trực tiếp với khối lượng thể tích của bê tông, khi tăng hàm lượng rEPS tức là tăng thể tích rỗng trong bê tông, giảm khối lượng thể tích của bê tông dẫn tới cường độ nén bê tông giảm.



Hình 7. Ảnh hưởng của hàm lượng rEPS đến cường độ nén của bê tông

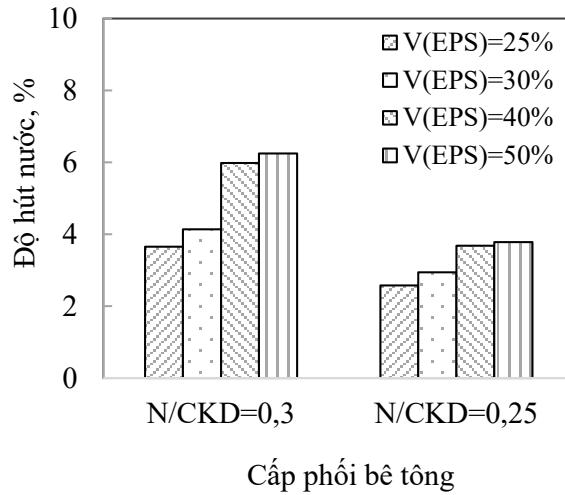
### 3.3. Độ hút nước và độ hút nước mao quản của bê tông nhẹ sử dụng rEPS tái chế

Kết quả thí nghiệm độ hút nước và độ hút nước mao quản của bê tông được thể hiện ở Hình 8 và Hình 9. Kết quả thí nghiệm cho thấy, khi giảm tỷ lệ  $N/CKD$  thì độ hút nước của bê tông giảm. Bên cạnh đó với mỗi tỷ lệ  $N/CKD$ , khi tăng hàm lượng rEPS thì độ hút nước của bê tông tăng. Điều này có thể giải thích, khi giảm tỷ lệ  $N/CKD$  hoặc giảm hàm lượng rEPS sẽ làm tăng khối lượng thể tích của bê tông, làm tăng hàm lượng đá xi măng, tăng độ đặc của bê tông từ đó làm giảm độ hút nước của bê tông. Khi hàm lượng rEPS tăng đến 40% theo thể tích bê tông, độ hút nước của bê tông có sự tăng đột biến, tiếp tục tăng hàm lượng rEPS đến 50% thì độ hút nước của bê tông tăng, tuy nhiên mức độ tăng giảm dần.

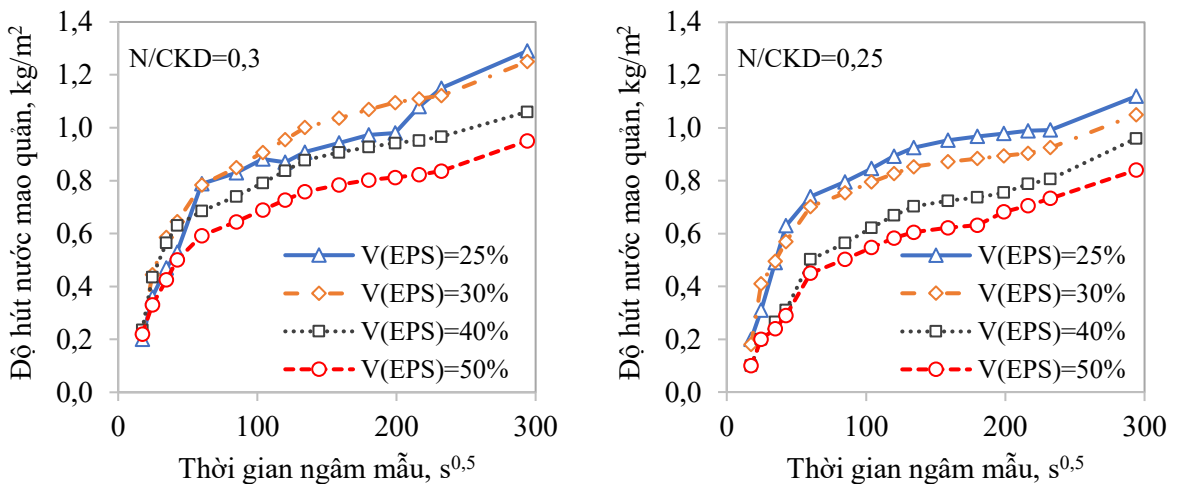
Bê tông nhẹ sử dụng rEPS, đây là loại cốt liệu có cấu trúc rỗng xốp, kỵ nước do vậy khi sử dụng rEPS có thể ảnh hưởng đến hệ thống lỗ rỗng mao quản, tác động đến độ hút nước mao quản của bê tông. Kết quả về độ hút nước mao quản được thể hiện ở Hình 9, các kết quả thí nghiệm cho thấy khi tăng hàm lượng rEPS thì độ hút nước mao quản cuối cùng có xu hướng giảm. Với tỷ lệ  $N/CKD = 0,3$ ; ở 60 phút đầu thí nghiệm, không có sự khác biệt về độ hút nước mao quản giữa các hàm lượng rEPS khác nhau, tuy nhiên tiếp tục thí nghiệm theo thời gian độ hút nước mao quản của bê tông tăng, độ hút nước mao quản giảm lớn nhất với hàm lượng rEPS là 25%. Trong khoảng 120 phút đầu thí nghiệm,



tốc độ hút nước mao quản nhanh, sau đó độ hút nước tiếp tục tăng nhưng với tốc độ chậm dần. Khi giảm tỷ lệ N/CKD thì độ hút nước mao quản giảm tuy nhiên vẫn theo quy luật tăng hàm lượng rEPS thì độ hút nước mao quản giảm. Việc sử dụng cốt liệu rEPS sẽ làm giảm độ hút nước mao quản trong bê tông, điều này có thể giải thích do các hạt cốt liệu rEPS có cấu trúc rỗng và kỵ nước, khi sử dụng rEPS trong bê tông các hạt rEPS sẽ làm mất sự liên tục của các lỗ rỗng mao quản trong đá xi măng từ đó ngăn cản sự hút nước mao quản trong bê tông.



Hình 8. Độ hút nước của bê tông với hàm lượng rEPS khác nhau



Hình 9. Độ hút nước mao quản của bê tông với hàm lượng rEPS khác nhau

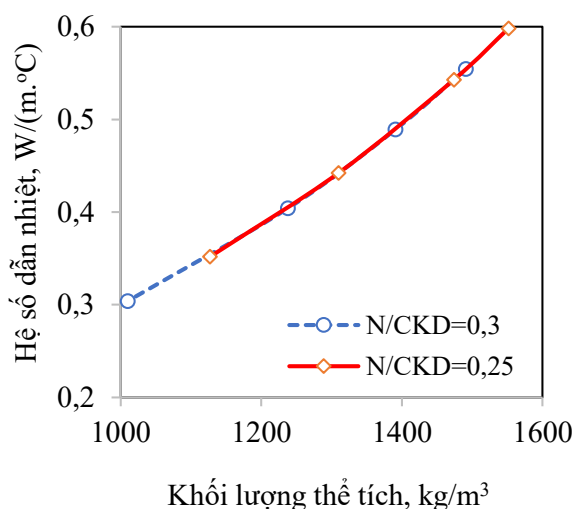
### 3.4. Hệ số dẫn nhiệt của bê tông nhẹ sử dụng rEPS tái chế

Tính dẫn nhiệt của bê tông chịu ảnh hưởng bởi các đặc tính của cốt liệu, loại và hàm lượng cốt liệu, các yếu tố khác bao gồm cả độ ẩm, tỷ trọng và nhiệt độ của bê tông. Tính dẫn nhiệt thấp là một trong những ưu điểm chính cho việc ứng dụng loại bê tông này. Trong nghiên cứu này sẽ đánh giá ảnh

hưởng của hàm lượng rEPS đến hệ số dẫn nhiệt của bê tông, kết quả tính toán về hệ số dẫn nhiệt của bê tông sử dụng rEPS tái chế được thể hiện ở Bảng 5 và Hình 10. Các kết quả tính toán cho thấy có sự giảm mạnh hệ số dẫn nhiệt của bê tông với sự gia tăng hàm lượng hạt rEPS. Độ dẫn nhiệt của bê tông nhẹ rEPS giảm khi bê tông nhẹ hơn, tức là khối lượng thể tích của bê tông giảm. Do đó, hệ số dẫn nhiệt của bê tông rEPS được đánh giá là tỷ lệ thuận với khối lượng thể tích của bê tông và hàm lượng hạt rEPS, kết quả này đúng với cả tỷ lệ  $N/CKD = 0,25$  và  $0,3$ . Kết quả tính toán hoàn toàn phù hợp với các nghiên cứu về ảnh hưởng của hạt rEPS nguyên sinh đến hệ số dẫn nhiệt của bê tông là khi tăng hàm lượng hạt rEPS nguyên sinh thì hệ số dẫn nhiệt của bê tông giảm [17–19].

Bảng 5. Hệ số dẫn nhiệt của bê tông sử dụng rEPS tái chế

Thể tích rEPS, %	Hệ số dẫn nhiệt, $W/m.^{\circ}C$	
	$N/CKD = 0,25$	$N/CKD = 0,30$
25%	0,598	0,555
30%	0,543	0,489
40%	0,442	0,404
50%	0,352	0,304



Hình 10. Hệ số dẫn nhiệt của bê tông với khối lượng thể tích khác nhau

#### 4. Kết luận

Trên cơ sở kết quả nghiên cứu đạt được, một số kết luận như sau:

- Hoàn toàn có thể sử dụng cốt liệu rỗng polystyrene tái chế và vật liệu sẵn có ở Việt Nam để chế tạo bê tông nhẹ thỏa mãn yêu cầu: khối lượng thể tích của bê tông đạt từ  $1000 - 1500 kg/m^3$ ; cường độ nén của bê tông đạt đến 20,0 MPa.

- Khi sử dụng rEPS với hàm lượng 25%-50% theo thể tích bê tông, khối lượng thể tích của bê tông tương ứng giảm. Khối lượng thể tích của bê tông lớn nhất đạt  $1550 kg/m^3$  ứng với tỷ lệ  $N/CKD = 0,25$  hàm lượng rEPS là 25% và cường độ nén của bê tông lớn nhất đạt 21 MPa. Khối lượng thể tích

của bê tông nhỏ nhất đạt  $1010 \text{ kg/m}^3$  ứng với tỷ lệ  $N/CKD = 0,3$ , hàm lượng rEPS là 50% và cường độ nén của bê tông nhỏ nhất là 6,3 MPa;

- Khi sử dụng rEPS tái chế đến 50% thể tích của bê tông, khối lượng thể tích của bê tông theo chiều cao mẫu không có sự chênh lệch đáng kể, không xảy ra hiện tượng phân tầng và hỗn hợp rEPS phân bố đồng đều trong hỗn hợp bê tông.

- Khi tăng hàm lượng rEPS đồng thời tỷ lệ  $N/CKD$  tăng thì độ hút nước của bê tông tăng, độ hút nước của bê tông lớn nhất đạt 6,25% khi tỷ lệ  $N/CKD = 0,3$  và hàm lượng rEPS là 50%. Ngược lại với độ hút nước, độ hút nước mao quản của bê tông giảm khi tăng hàm lượng rEPS đồng thời giảm tỷ lệ  $N/CKD$ . Độ hút nước mao quản nhỏ nhất là  $0,84 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$  tại tỷ lệ  $N/CKD = 0,25$  và hàm lượng rEPS là 50%.

- Hệ số dẫn nhiệt của bê tông tính toán theo ACI 213R14 cho thấy; khi tăng tỷ lệ  $N/CKD$  đồng thời tăng hàm lượng rEPS thì hệ số dẫn nhiệt của bê tông giảm. Với hỗn hợp khi sử dụng  $N/CKD = 0,3$  và 50% rEPS, hệ số dẫn nhiệt của bê tông nhỏ nhất đạt  $0,3039 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ .

## Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Giáo Dục và Đào Tạo và Trường Đại học Xây dựng cho đề tài “Nghiên cứu sử dụng vật liệu phế thải công nghiệp thay thế vật liệu truyền thống để xây lắp các công trình hạ tầng kỹ thuật theo hướng tự động hóa”, mã số CT2019.03.03.

## Tài liệu tham khảo

- [1] Chandra, S., Berntsson, L. (2002). *Lightweight Aggregate Concrete: Science, Technology and Applications (Building Materials Science Series)*.
- [2] Phong, N. H., và cs. (2019). Nghiên cứu chế tạo và đánh giá mô đun đàn hồi của bê tông nhẹ sử dụng cốt liệu nhẹ chế tạo từ phế thải phá dỡ công trình xây dựng. *Tạp chí xây dựng Việt Nam*, 3-2019.
- [3] Le Roy, R., Parant, E., Boulay, C. (2005). [Taking into account the inclusions' size in lightweight concrete compressive strength prediction](#). *Cement and Concrete Research*, 35(4):770–775.
- [4] Thang, N. C., Duc, H. N., Nghĩa, H. T. (2018). [Nghiên cứu thực nghiệm nâng cao một số tính chất của bê tông nhẹ cốt liệu rỗng](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD)-ĐH XD*, 12(2):104–109.
- [5] Thang, N. C., Duc, H. N. (2020). Effect of Carbon Nanotube on properties of lightweight concrete using recycled Expanded Polystyrene (EPS). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing, 869(3).
- [6] Sabaa, B., Ravindrarajah, R. S. (1999). Workability assessment for polystyrene aggregate concrete. *VII Quality Control Congress*, 18–21.
- [7] Collins, J., Ravindrarajah, R. (1998). Temperature development in Concrete with EPS breads. *AUSTCERM 98 Melbourne Australia*.
- [8] Pacheco-Torgal, F., Khatib, J., Colangelo, F., Tuladhar, R. (2009). *Use of recycled plastics in eco-efficient concrete*. Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering.
- [9] EPA (2003). *Environmental Protection Agency (USA) Plastic Wastes: Management, Control, Recycling and Disposal*.
- [10] APME (2004). *An Analysis of Plastics Consumption and Recovery in Western Europe 2000*. Association of Plastics Manufacturers in Europe.
- [11] Polymelt (2013). [Polystyrene recycling](#).
- [12] TCVN 3115:1993. *Bê tông nặng - Phương pháp xác định khối lượng thể tích*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [13] TCVN 3118:1993. *Bê tông nặng - Phương pháp xác định cường độ nén*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.

- [14] TCVN 3113:1993. *Bê tông nặng - Phương pháp xác định độ hút nước*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [15] ASTM C1585-2020. *Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes*. American Concrete Institute, Detroit.
- [16] ACI 213R-14. *Guide for Structural Lightweight-Aggregate Concrete*. American Concrete Institute, Detroit.
- [17] Sayadi, A. A., Tapia, J. V., Neitzert, T. R., Clifton, G. C. (2016). [Effects of expanded polystyrene \(EPS\) particles on fire resistance, thermal conductivity and compressive strength of foamed concrete](#). *Construction and Building Materials*, 112:716–724.
- [18] Demirboğa, R., Gül, R. (2003). [Thermal conductivity and compressive strength of expanded perlite aggregate concrete with mineral admixtures](#). *Energy and Buildings*, 35(11):1155–1159.
- [19] Al-Jabri, K. S., Hago, A. W., Al-Nuaimi, A. S., Al-Saidy, A. H. (2005). [Concrete blocks for thermal insulation in hot climate](#). *Cement and Concrete Research*, 35(8):1472–1479.