NGHIÊN CỨU KHẢ NĂNG CHẾ TẠO BÊ TÔNG BỌT - KHÍ VỚI CẤU TRÚC DỊ HƯỚNG TRÊN CƠ SỞ BỘT NHÔM VÀ CHẤT TẠO BỌT EABASSOC

RESEARCH ON THE POSSIBILITY OF MANUFACTURING AERATED-FOAM CONCRETE WITH A VARIATROPIC STRUCTURE BASED ON ALUMINUM POWDER AND EABASSOC FOAMING AGENT

TĂNG VĂN LÂM[a,*], **VÕ ĐÌNH TRỌNG**[a], **HỒ ANH CƯƠNG**[b]
[a]Trường Đại học Mỏ-Địa chất
[b]Trường Đại học Giao thông Vận tải
[*]Tác giả đại diện: *Email:* tangvanlam@humg.edu.vn
Ngày nhận 3/3/2024, Ngày sửa 25/3/2024, Chấp nhận 29/3/2024
https://doi.org/10.59382/j-ibst.2024.vi.vol1-7

Tóm tắt: *Bài báo này trình bày một số kết quả nghiên cứu thực nghiệm về thành phần và tính chất của bê tông bọt-khí dị hướng sử dụng các loại vật liệu sẵn có ở Việt Nam. Để thu được sản phẩm bê tông chứa lỗ rỗng tổ ong dị hướng từ khu vực trung tâm đến khu vực ngoại vi, nghiên cứu này đã đề xuất chế tạo các khuôn gỗ hình lập phương có bốn thành khuôn được đục lỗ. Đường kính của các lỗ rỗng 1,5 mm và khoảng cách giữa các lỗ này 10 mm. Việc đục lỗ rỗng sẵn trên bốn thành khuôn nhằm loại bỏ lượng nước dư thừa trong quá trình đông kết, rắn chắc và hình thành cấu trúc dị hướng bên trong của sản phẩm bê tông bọt-khí. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm đã cho thấy hoàn toàn có thể chế tạo được bê tông bọt-khí dị hướng có khối lượng thể tích khô trung bình khoảng 1459 kg/m^3; cường độ nén trung bình ở các tuổi 7 ngày, 14 ngày và 28 ngày lần lượt là: 18,2 MPa; 21,2 MPa và 28,7 MPa. Bên cạnh đó, nghiên cứu này cũng so sánh tính chất của bê tông bọt-khí dị hướng với bê tông bọt và bê tông khí thông thường. Kết quả thu được chỉ ra rằng, các tính chất cơ-lý của bê tông bọt-khí dị hướng tốt hơn bê tông bọt và bê tông khí thông thường có cùng khối lượng thể tích.*

Từ khoá: *Bê tông bọt, bê tông khí, cấu trúc dị hướng, khuôn đục lỗ, hình thành cấu trúc.*

Abstract: *This article presents some experimental research results on the composition and properties of aerated-foam concrete with a variable structure using available materials in Vietnam. To obtain concrete products containing anisotropic pores from the central area to the periphery, this study proposed fabricating cubic wooden molds with four perforated mold walls. The diameter of the pores is 1.5 mm and the distance between these pores is 10 mm. The pre-punching of hollow holes in the four mold wall panels is to remove excess gas and liquid phases during the setting and solidification process and form the internal variable structure of the air-foam concrete product. Experimental research results have shown that it is possible to produce anisotropic aerated-foam concrete with an average dry density of about 1459 kg/m^3; the average compressive strength at the ages of 7 days, 14 days, and 28 days are 18.2 MPa; 21.2 MPa and 28.7 MPa, respectively. Besides, this study also compares the properties of anisotropic aerated-foam concrete with conventional foam concrete and aerated concrete. The obtained results show that the physical and mechanical properties of aerated-foam concrete with the variable structure are better than conventional foam concrete and aerated concrete with the same density.*

Key words: *Foam concrete, aerated concrete, variable structure, perforated mold; structure formation.*

1. Đặt vấn đề

Theo TCVN 5574:2018 cho thấy, khối lượng thể tích trung bình đối với bê tông là 2400 kg/m^3 và đối với bê tông cốt thép là 2500 kg/m^3. Điều này dẫn đến trọng lượng bản thân của công trình lớn, kết cấu móng phức tạp, ảnh hưởng đến khả năng thi công, đặc biệt là trong nhà dân dụng cao tầng.

Ngày nay, bê tông nhẹ là vật liệu khá phổ biến trong xây dựng hiện đại. Chúng được sử dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau: làm khung, panel sàn, tấm tường cho nhà cao tầng; dùng trong các kết cấu bản mỏng, tấm cong; trong kết cấu bê tông ứng suất trước; trong chế tạo các cấu kiện bê tông cốt thép đúc sẵn; tường bao, trần và mái cách nhiệt... [1, 2].

Trên thế giới, nghiên cứu và sử dụng các loại bê tông nhẹ đã phát triển theo nhiều hướng khác nhau. Nhiều nghiên cứu đã tập trung vào hướng chế tạo

bê tông bọt, bê tông khí chưng áp từ chất kết dính xi măng và các loại phụ gia khoáng hoạt tính [3-5]. Những nghiên cứu này đã chứng tỏ khả năng chế tạo được các loại bê tông nhẹ cường độ cao định hướng sử dụng trong các công trình xây dựng cao tầng. Tuy nhiên, những loại bê tông nhẹ này cần quá trình trưng hấp phức tạp để tạo ra sản phẩm có cường độ cao hơn [6].

Bên cạnh đó, một số nghiên cứu đã bước đầu đánh giá khả năng chế tạo được chủng loại bê tông nhẹ với cấu trúc dị hướng. Sản phẩm bê tông bọt-khí dị hướng là loại bê tông nhẹ có tỷ trọng thay đổi từ khu vực trung tâm ra khu vực ngoại vi của sản phẩm, thu được bằng cách nén chặt các vùng bề mặt chịu tác động cơ học, hóa học hoặc vật lý (siêu âm, điện từ, nhiệt độ, tạo khí…) [7, 8]. Theo các nghiên cứu trên thế giới [9, 10] cho rằng, các đặc tính như cường độ, khả năng cách nhiệt của bê tông nhẹ dị hướng được cải thiện so với các sản phẩm bê tông nhẹ truyền thống. Các sản phẩm bê tông bọt-khí này được đặc trưng bởi tỷ trọng và cường độ thay đổi trên mặt cắt ngang của sản phẩm và độ rỗng tổ ong dị hướng khác nhau so với bê tông bọt và bê tông khí thông thường [7, 11]. Cụ thể hơn, trong bê tông dị hướng có sự dịch chuyển lỗ rỗng theo hướng giảm dần từ khu vực ngoại vi vào đến trung tâm của sản phẩm. Khu vực trung tâm của sản phẩm có tỷ trọng nhỏ và độ xốp lớn điều này giúp tăng khả năng cách nhiệt. Đồng thời tại các vị trí ngoại vi, do thành phần pha khí và pha lỏng bị đẩy ra khỏi cấu trúc qua hệ thống lỗ rỗng trên thành khuôn, nên chúng đặc chắc hơn, tăng được tính chất cơ học của sản phẩm [12, 13].

Hiện nay, ở Việt Nam các loại bê tông khí, bê tông bọt khá phổ biến, tuy nhiên các loại bê tông nhẹ tạo khí dị hướng hầu như chưa được nghiên cứu, chế tạo [12]. Điểm khác biệt của loại bê tông này so với bê tông bọt và bê tông khí thông thường là sử dụng kết hợp cả công nghệ tạo bọt, công nghệ tạo khí và công nghệ ván khuôn tạo hình sản phẩm. Với công nghệ này đã thu được sản phẩm bê tông dị hướng có nhiều đặc tính như giá trị khối lượng thể tích giảm, nhưng cường độ, khả năng cách âm, cách nhiệt cao hơn so với bê tông bọt và bê tông khí cùng tỷ trọng [13].

Bài viết này trình bày một số kết quả nghiên cứu thực nghiệm về tính chất của bê tông bọt-khí dị hướng sử dụng xi măng Portland hỗn hợp, tro bay nhiệt điện, bột gốm sứ TOTO, bột đá vôi nghiền mịn, bột nhôm, dung dịch chất tạo bọt EABASSOC và phụ gia điều chỉnh. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm cho thấy tiềm năng chế tạo được loại bê tông nhẹ có khối lượng thể tích khô trung bình khoảng 1459 kg/m^3; cường độ nén trung bình ở các tuổi 7 ngày, 14 ngày và 28 ngày lần lượt là: 18,2 MPa; 21,2 MPa và 28,7 MPa. Bên cạnh đó, nghiên cứu này cũng đã so sánh tính chất của bê tông bọt-khí dị hướng với bê tông bọt và bê tông khí thông thường có cùng khối lượng thể tích ướt.

2. Vật liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1 Vật liệu nghiên cứu

Vật liệu đã sử dụng trong nghiên cứu này bao gồm các loại sau đây:

2.1.1 Chất kết dính

a) Xi măng Portland hỗn hợp PCB40 (X) Hoàng Thạch thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật của tiêu chuẩn TCVN 2682:2009. 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 N0.09	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	7 ngày	28 ngày	
3,15	5,5	3640	115±5	360±5	27,9	40,3	48,5	30,5

b) Tro bay (TB) loại F của nhà máy nhiệt điện "Phả Lại" thỏa mãn các yêu cầu của TCVN 10302:2014.

c) Silicafume SF-90VN (90VN) là sản phẩm của Công ty TNHH Hoá phẩm xây dựng Buildmix Việt Nam. Đây là phụ gia khoáng có chứa đioxit silic (SiO_2) siêu mịn hoạt tính cao, khi đưa vào bê tông và vữa sẽ liên kết với $Ca(OH)_2$ làm tăng độ đặc chắc, tăng cường độ và cải thiện tính chất sản phẩm. Sản phẩm cơ bản đáp ứng theo tiêu chuẩn ASTM C1240 – "Yêu cầu kỹ thuật về sử dụng silica fume làm phụ gia khoáng cho bê tông và vữa". Silicafume SF-90VN cũng đáp ứng ở mức độ cao theo TCVN 6882:2001.

Thành phần hóa học và các tính chất vật lý cơ bản của Silicafume SF-90VN, tro bay nhiệt điện Phả Lại và xi măng Portland hỗn hợp được thể hiện trong Bảng 2.

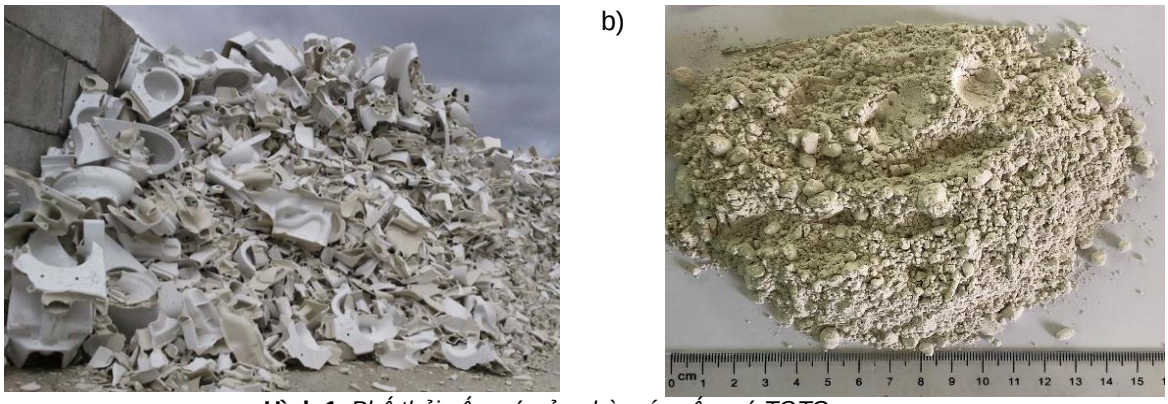
Bảng 2. *Tính chất vật lý của Silicafume SF-90VN, tro bay nhiệt điện Phả Lại và xi măng Portland hỗn hợp PCB40 Hoàng Thạch*

Loại vật liệu	Silicafume SF-90VN	Tro bay nhiệt điện Phả Lại	Xi măng Portland hỗn hợp PCB40 Hoàng Thạch
Ký hiệu vật liệu	90VN	TB	X
Tỷ diện bề mặt riêng (cm^2/g)	10500	3700	3900
Khối lượng riêng (g/cm^3)	2,15	2,35	3,15
Khối lượng thể tích khô (kg/m^3)	1450	1575	1750

d) Bột gốm sứ TOTO (BG)

Quá trình sản xuất các sản phẩm sứ vệ sinh như: Bồn rửa mặt, bồn tắm, và các loại xí bệt… trong nhà máy gốm sứ TOTO đã thải ra môi trường một lượng lớn các loại phế thải công nghệp. Theo ước tính từ nhà máy, mỗi tháng sản xuất nhà máy TOTO (Đông Anh - Hà Nội) đã thải ra môi trường khoảng trên 2.000 tấn chất thải rắn các loại và các nguồn phế thải rắn từ các sản phẩm lỗi rất cần được tái sử dụng để giảm áp lực về kho bãi [18] (Hình 1a).

a) b)



Hình 1. *Phế thải gốm sứ của nhà máy gốm sứ TOTO*

Bột gốm sứ TOTO (BG) nhận được bằng cách nghiền mịn phế thải và các mảnh vỡ, sản phẩm lỗi các thiết bị sứ vệ sinh của nhà máy trong máy nghiền bị. Kích thước hạt của bột gốm sau khi nghiền dao động trong khoảng 0,1÷0,5mm và có khối lượng riêng là 2,13 g/cm^3 (Hình 1b).

Như vậy, tổng hàm lượng chất kết dính (CKD) trong hỗn hợp bê tông nhẹ dị hướng được xác định theo công thức (1):

$$CKD = X + TB + 90VN + BG \quad (1)$$

2.1.2 Cốt liệu

Cốt liệu (CL) sử dụng trong nghiên cứu bê tông bọt-khí dị hướng gồm: Cốt liệu nhỏ là cát vàng sông Lô và bột đá vôi nghiền mịn của Cty TNHH Quang Vân (Kiện Khê-Hà Nam).

a) Cốt liệu nhỏ là cát vàng sông Lô

Cát vàng sông Lô (C), cát tự nhiện, chất lượng tốt, thỏa mãn yêu cầu của tiêu chuẩn TCVN 7570:2006. Để hạn chế hiện tượng vỡ bọt khí khi nhào trộn, cát vàng sông Lô được sàng qua mắt sàng 2,5mm để loại bỏ các thành phần hạt lớn. Các tính chất vật lý của cốt liệu nhỏ sử dụng được thể hiện trong Bảng 3.

Bảng 3. *Tính chất vật lý của cát vàng sông Lô*

STT	Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị tính	Kết quả thí nghiệm
1	Kích thước hạt của cát	mm	0,14 ÷ 2,5
2	Khối lượng riêng	g/cm^3	2,65
3	Khối lượng thể tích đầm chặt	kg/m^3	1650
4	Khối lượng thể tích xốp	kg/m^3	1550
5	Độ rỗng	%	37,7

STT	Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị tính	Kết quả thí nghiệm
6	Độ ẩm	%	3,5
7	Hàm lượng bụi, bùn, sét	%	0,9
8	Mô đun độ lớn (M_k)	-	3,0
9	Tạp chất hữu cơ	-	Đạt yêu cầu

b) Bột đá vôi nghiền mịn

Bột đá vôi nghiền mịn (BĐ) được mua của mỏ đá thuộc Công ty TNHH Quang Vân (Kiện Khê-Hà Nam) (Hình 2). Đây là bột đá ở dạng thô, kích thước hạt trong khoảng 20 đến 150 µm, có chứa thành phần CaCO3 trên 98%. Khối lượng riêng của bột đá nghiền mịn là 2,65 g/cm^3. Hàm lượng của bột đá nghiền mịn được sử dụng trong nghiên cứu này được lựa chọn bằng 50% hàm lượng cát vàng sông Lô.

Như vậy, tổng hàm lượng cốt liệu (CL) trong hỗn hợp bê tông dị hướng được xác định theo công thức (2):

$$CL = C + BĐ \quad (2)$$

Hình 2. *Bột đá vôi nghiền mịn*

Trong quá trình nghiên cứu, chất tạo bọt EABASSOC được pha loãng với nước theo tỷ lệ 2,5% theo khối lượng [11, 15]. Các đặc tính tạo bọt như độ ổn định của bọt được đánh giá bằng phương pháp trộn trong máy có tốc độ cao. Công nghệ chế tạo bọt này bao gồm việc cho 100 ml dung dịch chất tạo bọt EABASSOC (2,5%) vào thùng của máy khuấy có thể tích 10 lít và khuấy bằng máy khuấy có cánh khuấy ở tốc độ 10.000 vòng/phút trong 10 phút. Bọt sau khi khuấy được chuyển vào bình chứa có thể tích 1000 ml và thể tích bọt được đo ngay sau khi tạo bọt xong.

2.1.4 Chất tạo khí

Trong nghiên cứu đã sử dụng bột nhôm do Công ty Jigco Việt Nam cung cấp, mỗi hộp có khối lượng 500 gam với độ tinh khiết đạt 86% và hệ số sản lượng khí tạo đạt 1050 lít khí Hidro/1kg bột nhôm [1, 6, 16]. Độ mịn của bột nhôm đạt 4500 cm^2/g.

2.1.3 Chất tạo bọt EABASSOC

Trong nghiên cứu này đã sử dụng chất tạo bọt EABASSOC được sản xuất theo công nghệ của Anh Quốc (Hình 3). Chất tạo bọt EABASSOC là chủng loại chất hoạt động bề mặt, phụ gia tạo bọt thông dụng hiệu quả nhất hiện nay trong công nghệ sản xuất sản phẩm BTN. Chất tạo bọt EABASSOC có đặc tính kỹ thuật đáp ứng các yêu cầu trong chế tạo BTN và vữa nhẹ, đặc biệt sản phẩm này có độ ổn định bọt rất cao. Hỗn hợp chất tạo bọt sau khi khuấy trộn trong máy tạo bọt sẽ tạo ra các bọt khí vững chắc, màu trắng và rất mịn. Khi trộn vào hỗn hợp bê tông, các bọt khí từ chất EABASSOC không bị vỡ.

Hình 3. *Chất tạo bọt EABASSOC*

2.1.5 Phụ gia siêu dẻo

Phụ gia siêu dẻo SR 5000F «SilkRoad» (SR5000) có khối lượng riêng 1,12 g/m^3 ở nhiệt độ 25 ± 5^{o}C. 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. Các thông số kỹ thuật của phụ gia siêu dẻo SR 5000F:

- Trạng thái và màu sắc: Là chất lỏng có màu vàng đậm;
- Tỷ trọng =1,12 g/cm^3 ở nhiệt độ 25±5^{o}C;
- pH = 06 ở nhiệt độ 25±5^{o}C.

2.1.5 Nước sạch

Nước sạch được sử dụng để làm nước trộn hỗn hợp bê tông và bảo dưỡng mẫu sau khi thí nghiệm, thỏa mãn tiêu chuẩn TCVN 4506:2012.

2.2 Phương pháp nghiên cứu

2.2.1 Các tiêu chuẩn thí nghiệm

- Độ ẩm, khối lượng thể tích khô, độ hút nước và cường độ nén của mẫu bê tông bọt - khí dị hướng không chưng áp trong nghiên cứu này được xác định theo TCVN 9030:2017;

- Tính dẫn nhiệt là tính chất vật lý kiến trúc quan trọng của bê tông nhẹ sử dụng ở các công trình dân dụng. Tính dẫn nhiệt phụ thuộc nhiều vào trạng thái ẩm, khối lượng thể tích và nhiệt độ bê tông. Khi nhiệt độ và độ ẩm tăng thì tính dẫn nhiệt tăng. Trong thực tế, tính toán chỉ tiêu dẫn nhiệt hay hệ số dẫn nhiệt được xác định theo công thức thực nghiệm phụ thuộc vào khối lượng thể tích của bê tông ở trạng thái sấy khô. Trong nghiên cứu này, hệ số dẫn nhiệt của bê tông nhẹ dị hướng được xác định theo yêu cầu của TCVN 9030:2017.

- Độ lệch chuẩn "*s*" của kết quả thí nghiệm trong nghiên cứu được xác định theo công thức (3):

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \overline{X})^2}{n-1}} \quad (3)$$

Trong đó:

$\overline{X}$ là giá trị trung bình số học của các kết quả thí nghiệm;

X_i là giá trị của từng kết quả thí nghiệm;

n là số tổ mẫu, trong nghiên cứu này số tổ mẫu thí nghiệm n = 06 tổ, mỗi tổ mẫu gồm 03 viên mẫu theo yêu cầu của TCVN 3118:2022.

2.2.2 Phương pháp tính toán cấp phối của bê tông bọt-khí dị hướng

Hiện nay, phương pháp tính toán thành phần cấp phối bê tông bọt-khí dị hướng dựa trên lý thuyết phương pháp thể tích tuyệt đối [15, 16, 17, 18]. Mục tiêu của phương pháp này là dựa trên giá trị cho trước khối lượng thể tích ướt của bê tông nhẹ.

Theo nhiều nghiên cứu [7, 12, 15, 19], công thức tính toán các thành phần cấp phối của bê tông nhẹ được đưa ra trong phương trình số (4) và số (5):

$$\rho_{ướt} = X + TB + 90VN + BG + C + BĐ + N + PGSG \quad (4)$$

$$V_{Bot} = K * \left[1000 - \left(\frac{X}{\rho_X} + \frac{TB}{\rho_{TB}} + \frac{90VN}{\rho_{90VN}} + \frac{BG}{\rho_{BG}} + \frac{C}{\rho_C} + \frac{BĐ}{\rho_{BĐ}} + \frac{N}{\rho_N} + \frac{PGSD}{\rho_{PGSD}}\right)\right] \quad (5)$$

Trong đó:

$\rho_{ướt}$ là khối lượng thể tích ở trạng thái ướt mục tiêu của mẫu thí nghiệm, kg/m^3;

X, TB, 90VN, BG, C, BĐ, N, Al, PGSD lần lượt là khối lượng của xi măng Portland hỗn hợp, tro bay nhiệt điện Phả Lại, Silicafume SF-90VN, bột gốm sứ TOTO, cát vàng, bột đá vôi nghiền mịn, nước và phụ gia siêu dẻo, kg;

ρ_X, ρ_{TB}, ρ_{90VN}, ρ_{BG}, ρ_C, $\rho_{BĐ}$, ρ_N, ρ_{Al}, ρ_{PGSD} lần lượt là khối lượng riêng của xi măng Portland hỗn hợp, tro bay nhiệt điện Phả Lại, Silicafume SF-90VN, bột gốm sứ TOTO, cát vàng sông Lô, bột đá vôi nghiền mịn, nước và phụ gia siêu dẻo, kg/lít;

$V_{bọt}$ là thể tích bọt tạo ra từ chất tạo bọt EABASSOC trong hỗn hợp bê tông nhẹ, lít;

K là hệ số dư bọt, K phụ thuộc vào chất lượng chất tạo bọt, thời gian tạo bọt và thể tích bọt cho vào hỗn hợp bê tông... thông thường K = 1,1÷1,3 [7, 11]. Đối với chất tạo bọt EABASSOC, do độ ổn định và hệ số tạo bọt của chất tạo bọt không ổn định, điều kiện thí nghiệm còn nhiều hạn chế nên đã chọn hệ số dư bọt K =1,2.

2.2.3. Các yêu cầu đối với hỗn hợp bê tông bọt - khí dị hướng trên cơ sở bột nhôm kết hợp hỗn hợp tro bay, bột gốm sứ TOTO và bột đá vôi nghiền mịn

Trong nghiên cứu này, các đặc tính yêu cầu về công nghệ chế tạo bê tông bọt-khí dị hướng được lựa chọn như sau:

- Khối lượng thể tích ở trạng thái ướt mục tiêu của bê tông bọt-khí dị hướng đặt ra trong nghiên cứu này là $\rho_{ướt}$ = 1600 kg/m^3;

- Cường độ nén trên mẫu lập phương 100x100x100 ở tuổi 28 ngày mục tiêu đạt được từ 15 MPa đến 25 MPa;

- Chất tạo bọt EABASSOC được pha loãng với nước theo tỷ lệ 2,5% theo khối lượng và khuấy bằng máy khuấy có cánh khuấy ở tốc độ 10.000 vòng/phút trong 10 phút [11, 15];

- Hỗn hợp bê tông không dùng cốt liệu lớn, thành phần cốt liệu gồm có cát vàng có kích thước hạt từ 0,14 đến 2,5 mm và bột đá nghiền mịn có kích thước hạt trong khoảng 20 đến150 µm;

- Hàm lượng bột nhôm được sử dụng là 0,50 kg/m^3 trong thành phần của các loại bê tông khí, hệ số sản lượng khí tạo đạt 1050 lít khí Hydro/1kg bột nhôm, độ tinh khiết là 86% [1, 6, 16];

- Lấy giá trị hệ số dư bọt K =1,2.

Từ những cơ sở trên kết hợp với các kết quả khảo sát thực nghiệm sơ bộ, nghiên cứu này đã chọn gốc các hệ số tỷ lệ vật liệu như trong Bảng 4.

Bảng 4. *Các tỷ lệ vật liệu sử dụng để chế tạo bê tông bọt-khí dị hướng*

Tỷ lệ vật liệu	$\frac{TB}{X}$	$\frac{BĐ}{C}$	$\frac{90VN}{X}$	$\frac{BG}{X}$	$\frac{CL}{CKD}$	$\frac{PGSD}{CKD}$	$\frac{N}{CKD}$
Giá trị	20%	50%	10%	10%	1 : 1	0,01	0,4

2.2.4 Xác định cấp phối bê tông bọt-khí dị hướng và cấp phối bê tông nhẹ đối chứng

Tính toán theo phương pháp thể tích tuyệt đối dựa trên các giá trị tỷ lệ vật liệu đã lựa chọn trong Bảng 4 và hiệu chỉnh cấp phối phù hợp với các tính chất của vật liệu sử dụng, đề tài đã khảo sát các cấp phối của hỗn hợp bê tông bọt-khí dị hướng có tỷ lệ thành cấp phối như trong Bảng 5.

Bảng 5. *Cấp phối của hỗn hợp bê tông bọt-khí dị hướng*

Ký hiệu mẫu	Cấp phối cho 1m^3 bê tông bọt-khí dị hướng (kg/m^3)									Thể tích vật liệu (lít)	Thể tích bọt (lít)
	CKD	X	TB	90VN	BG	C	BĐ	PGSD	N		
DH	664	474	95	47	47	442	222	6,64	265	757	291

Để có sự so sánh và đối chứng, đề tài đã tiến hành xác định cấp phối bê tông bọt và bê tông khí truyền thống. Các mẫu bê tông bọt và bê tông khí cùng khối lượng thể tích là 1600 kg/m^3 nhưng chỉ sử dụng duy nhất một tác nhân tạo rỗng trong cấu trúc là chất tạo bọt (chất tạo bọt EABASSOC, không có bột nhôm) hoặc là chất tạo khí (0,50 kg/m^3 bột nhôm). Kết quả tính toán theo các công thức số (4) và (5) kết hợp với hiệu chỉnh bằng thực nghiệm đã thu được các cấp phối của hỗn hợp bê tông bọt (BTB) và bê tông khí (BTK) thông thường với thành phần cấp phối như trong Bảng 6.

Bảng 6. *Cấp phối của hỗn hợp bê tông nhẹ đối chứng*

Ký hiệu mẫu	Cấp phối cho 1m^3 bê tông nhẹ đối chứng (kg/m^3)									Thể tích bọt (lít)
	CKD	X	TB	Xi	90VN	BG	C	PGSD	N	
BTB	664	474	95	47	47	442	222	6,64	265	291
BTK	664	474	95	47	47	442	222	6,64	265	-

Để thu được sản phẩm BTB, BTK và bê tông nhẹ dị hướng, trong nghiên cứu này đã chuẩn bị, nhào trộn vào hỗn hợp bê tông, sau đó tiến hành đổ hỗn hợp bê tông vào khuôn mẫu với hệ số điền đầy khuôn K_0 với giá trị như sau [13]:

- Hỗn hợp bê tông bọt-khí dị hướng hệ số điền đầy khuôn K_0 = 1,0 (có cấp phối trong bảng 5);

- Hỗn hợp bê tông khí đối chứng hệ số điền đầy khuôn K_0 = 0,9 (có cấp phối trong bảng 6);

- Hỗn hợp bê tông bọt đối chứng hệ số điền đầy khuôn K_0 = 1,0 (có cấp phối trong bảng 6).

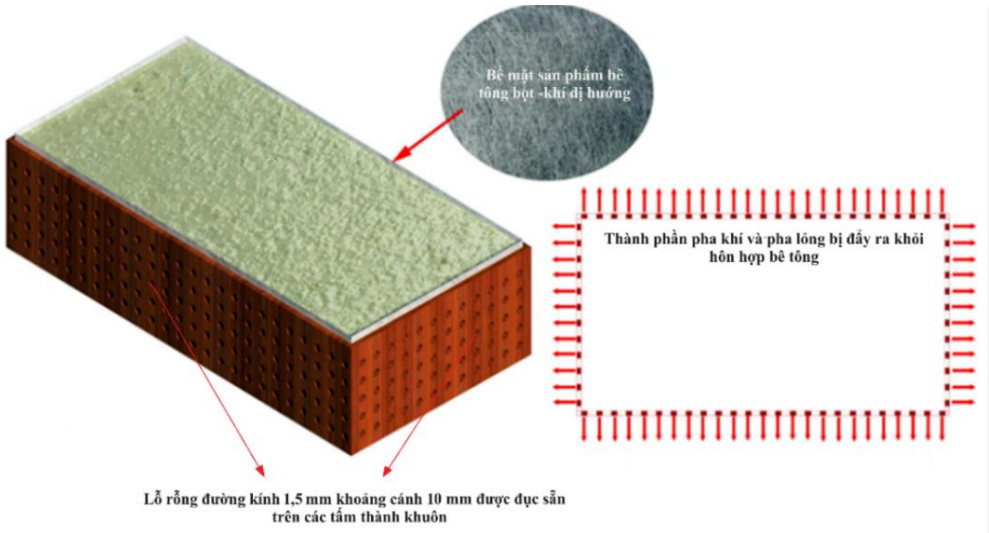
Hỗn hợp sau khi tạo hình được bảo dưỡng một ngày trong khuôn mẫu, sau một ngày mẫu được tháo khuôn, cắt đầu vữa thừa để thu được mẫu bê tông nhẹ tiêu chuẩn, sau đó mẫu được đưa đi ngâm vào trong môi trường nước của bể dưỡng hộ cho đến tuổi thí nghiệm.

2.2.5 Khuôn mẫu tạo hình sản phẩm bê tông nhẹ dị hướng

Trong nghiên cứu này để tạo ra các sản phẩm bê tông có độ biến thiên độ rỗng từ trung tâm đến ngoại vi của sản phẩm, nghiên cứu đã sử dụng mẫu thí nghiệm hình lập phương cạnh 100 mm đã đục lỗ trên cả bốn bản của thành khuôn. Các lỗ rỗng trên thành khuôn được khoan sẵn với đường kính 1,5 mm và khoảng cách là 10 mm (Hình 4). Hai tấm đáy khuôn không được đục lỗ. Tỷ số giữa tỷ lệ tổng diện tích lỗ trên bề mặt đục lỗ của khuôn so với tổng diện tích bề mặt khuôn được lấy làm chỉ số lỗ thủng. Chỉ số lỗ thủng trên mỗi tấm thành khuôn khoảng 1,43%.

Hình 4. *Các tấm thành khuôn được đục lỗ để thoát pha khí và pha lỏng*

Thông qua các lỗ rỗng này, thành phần pha khí và pha lỏng ở khu vực ngoại vi bị đẩy ra ngoài sản phẩm trong quá trình hình thành cấu trúc của mẫu bê tông (Hình 5).



Hình 5. *Nguyên tắc loại bỏ thành phần pha khí và pha lỏng ra khỏi hỗn hợp bê tông*

3. Kết quả và thảo luận

Trong giới hạn nghiên cứu của đề tài này, tính chất cơ lý của mẫu bê tông bọt-khí dị hướng được khảo sát gồm có:

- Độ ẩm ở trạng thái tự nhiên;
- Độ hút nước;
- Khối lượng thể tích khô ở tuổi 28 ngày;
- Hệ số dẫn nhiệt trung bình;
- Cường độ nén của mẫu bê tông bọt.

Cường độ nén của mẫu được xác định ở các tuổi 7, 14 và 28 ngày trên hệ thống máy nén uốn tự động ADVANTEST 9 với tốc độ gia tải trong nghiên cứu này là 500 N/s.

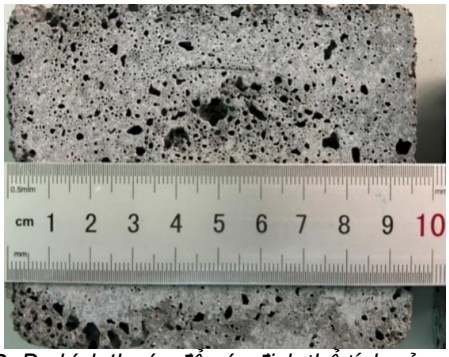
Quá trình chế tạo mẫu bê tông bọt-khí dị hướng được thể hiện trên Hình 6, 7 và 8:

(a) Trộn hỗn hợp bột khô trong máy trộn

(b) Trộn hỗn hợp bê tông bọt bằng thiết bị thủ công

Hình 6. *Trộn hỗn hợp bê tông nhẹ trong thiết bị nhào trộn*

Hình 7. *Mẫu bê tông bọt-khí dị hướng hình lập phương kích thước 100x100x100 mm*



Hình 8. *Đo kích thước để xác định thể tích của mẫu bê tông bọt-khí dị hướng*

Các kết quả thực nghiệm trong nghiên cứu này được trình bày trong các Bảng 7 và Bảng 8.

Bảng 7. *Tính chất cơ lý của mẫu bê tông bọt-khí dị hướng sau khi rắn chắc*

TT	Ký hiệu mẫu bê tông	Độ ẩm tự nhiên, (%)		Độ hút nước, (%)		Khối lượng thể tích khô, (kg/m^3)		Hệ số dẫn nhiệt, (W/(m.K))	
		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	DH	6,95	1,1	10,05	2,3	1459	5,0	0,559	0,45
2	BTB	9,48	1,5	15,48	2,5	1540	5,5	0,596	0,51
3	BTK	8,07	1,2	13,45	2,0	1570	6,1	0,610	0,55

Bảng 8. *Giá trị cường độ nén của mẫu bê tông bọt-khí dị hướng sau khi rắn chắc*

TT	Ký hiệu mẫu bê tông	Cường độ nén (MPa) ở các tuổi:					
		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
1	DH	18,2	1,6	21,2	2,2	28,7	2,2
2	BTB	10,8	2,0	13,9	1,6	20,8	2,0
3	BTK	11,2	2,1	14,1	1,8	21,2	1,5

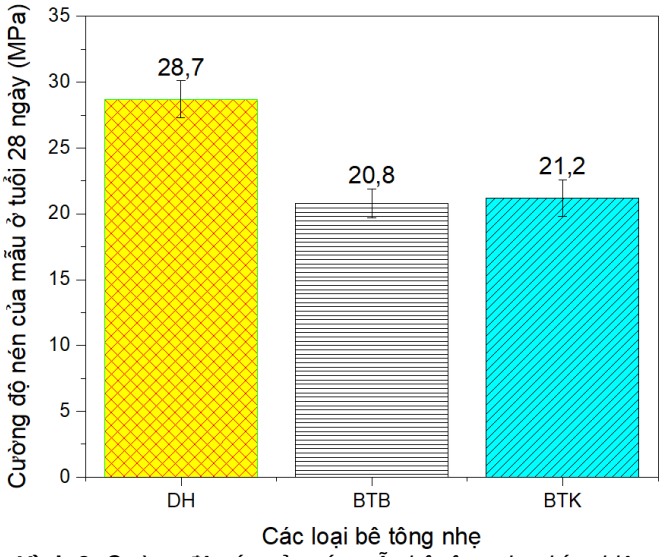
Từ kết quả thí nghiệm trên các Bảng 8 và Bảng 9 rút ra một số nhận xét như sau:

Các mẫu bê tông bọt-khí dị hướng ở trạng thái ẩm đều có khối lượng thể tích ở tuổi 28 lớn hơn 1600 kg/m^3 một lượng không đáng kể, nhưng khối lượng thể tích ở trạng thái được sấy khô đều đã nhỏ hơn 1600 kg/m^3. Các giá trị này phù hợp với mục tiêu thiết kế ban đầu về khối lượng thể tích của bê tông bọt-khí dị hướng.

Do các mẫu bê tông nhẹ có chứa hàm lỗ rỗng lớn do đó giá trị độ ẩm của mẫu thí nghiệm đã lớn hơn đáng kể so với các loại bê tông nặng sử dụng các loại xi măng Portland thông thường. Tuy nhiên, độ ẩm và độ hút nước của mẫu bê tông dị hướng giảm đáng kể so với bê tông nhẹ thông thường. Nguyên nhân này được giải thích là do

cấu trục dị hướng có lớp ngoại vi (lớp vỏ) đặc chắc, ít lỗ rỗng thông nhau, đã giảm được lượng nước thâm nhập vào bên trong cấu trúc bê tông dị hướng.

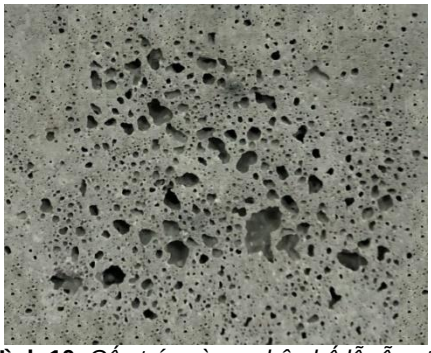
Giá trị cường độ nén ở tuổi 28 ngày của các mẫu bê tông bọt-khí dị hướng này khoảng 28,7 MPa. Các giá trị cường độ nén này phù hợp với mục tiêu thiết kế ban đầu về cường độ nén.



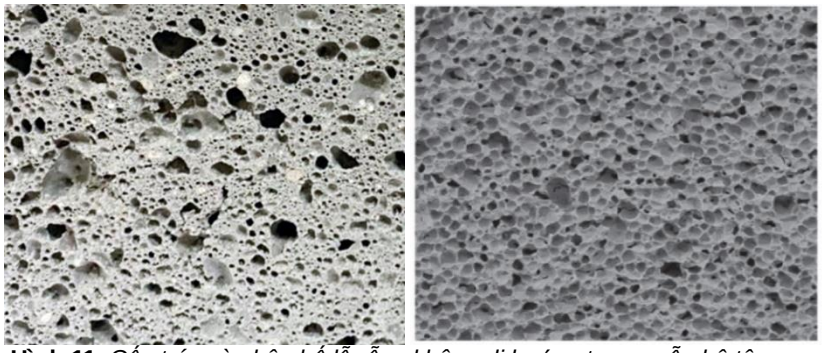
Hình 9. *Cường độ nén của các mẫu bê tông nhẹ thí nghiệm*

Cùng các thành phần và tỷ lệ cấp phối vật liệu bê tông bọt-khí dị hướng có tỷ trọng thấp hơn bê tông bọt và bê tông khí thông thường. Điều này được giải thích do bê tông bọt khí đã loại bỏ lượng nước dư thừa qua lỗ thủng thành khuôn trong quá trình hình thành cấu trúc. Ngoài ra, tại tuổi 28 ngày, cường độ nén của bê tông bọt-khí dị hướng là 28,7 MPa cao hơn cường độ nén của BTB là 20,8 MPa và BTK là 21,2 MPa (Hình 9). Điều này được giải thích là do bê tông bọt-khí có tỷ trọng ở khu vực ngoại vi cao dẫn đến tính chất cơ học của sản phẩm được cải thiện và có cường độ nén trung bình tốt hơn bê tông nhẹ đối chứng. Kết quả của nghiên cứu này có nhiều tương đồng với một số kết quả nghiên cứu về bê tông nhẹ dị hướng đã công bố trên thế giới [2, 3, 7, 8, 9, 11].

Hệ số dẫn nhiệt của bê tông bọt-khí dị hướng là 0,559 W/m.K thấp hơn đáng kể so với giá trị 0,596 và 0,610 W/m.K của BTB và BTK đối chứng. Tính chất này của bê tông bọt-khí tốt hơn BTB và BTK cũng được giải thích bởi khu vực trung tâm mẫu có độ rỗng xốp lớn hơn do đó độ dẫn nhiệt nhỏ (Hình 10 và Hình 11).

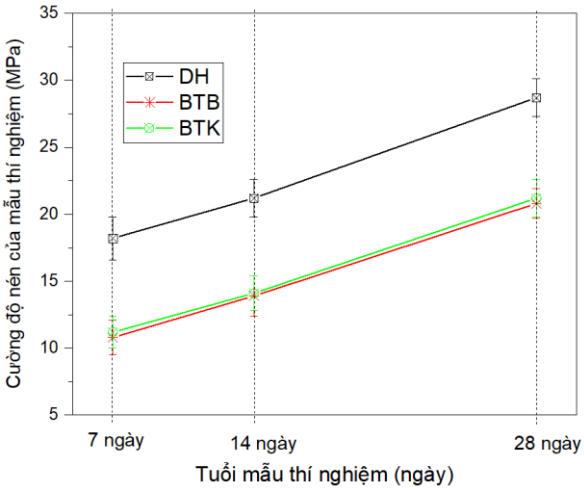


Hình 10. *Cấu trúc và sự phân bố lỗ rỗng tổ ong dị hướng trong mẫu bê tông nhẹ dị hướng*



Hình 11. *Cấu trúc và phân bố lỗ rỗng không dị hướng trong mẫu bê tông nhẹ đối chứng*

Mặt khác, tốc độ phát triển cường độ nén của bê tông bọt-khí dị hướng nhanh hơn các loại BTB và BTK thông thường.



Hình 12. *Tốc độ phát triển cường độ nén của các mẫu bê tông nhẹ*

Ở tuổi 7 ngày và 14 ngày, cường độ nén của mẫu bê tông bọt - khí dị hướng lần lượt đạt trung bình khoảng 62% và 74% cường độ nén của mẫu ở tuổi 28 ngày. Trong khi đó, với các loại BTB và BTK thông thường thì cường độ nén ở tuổi 7 ngày và 14 ngày chỉ đạt khoảng 52,3% và 66,7% cường độ nén của mẫu ở tuổi 28 ngày (Hình 12). Điều này được giải thích là do thành phần nước và khí ở khu vực ngoại vi của sản phẩm được đẩy thoát ra ngoài, làm khối bê tông dị hướng đông kết và rắn chắc nhanh hơn.

4. Kết luận

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

- Trên cơ sở nguồn vật liệu, phế thải hiện có trong nước như: xi măng Portland hỗn hợp PCB40 Hoàng Thạch; tro bay nhiệt điện Phả Lại, bột gốm sứ TOTO, dung dịch tạo bọt EABASSOC và bột nhôm có thể chế tạo bê tông bọt-khí dị hướng có khối lượng thể tích ẩm khoảng 1600 kg/m^3;

- Sản phẩm bê tông nhẹ dị hướng có khối lượng thể tích khô trung bình khoảng 1459 kg/m^3; hệ số dẫn nhiệt khoảng 0,559 W/m.K; cường độ nén trung bình ở các tuổi 7 ngày, 14 ngày và 28 ngày lần lượt là: 18,2 MPa; 21,2 MPa và 28,7 MPa;

- Các thành phần và tỷ lệ cấp phối vật liệu bê tông bọt-khí dị hướng có tỷ trọng và hệ số dẫn nhiệt thấp hơn BTB và BTK thông thường. Điều này được giải thích do bê tông bọt - khí đã loại bỏ lượng nước dư thừa qua lỗ thủng thành khuôn trong quá trình hình thành cấu trúc;

- Tại tuổi 28 ngày, cường độ nén của bê tông bọt-khí dị hướng là 28,7 MPa cao hơn cường độ nén của BTB là 20,8 MPa và BTK là 21,2 MPa.

- Tốc độ phát triển cường độ nén ở các tuổi thí nghiệm khác nhau. Đối với bê tông bọt-khí dị hướng có tốc độ phát triển cường độ nhanh hơn các loại BTB và BTK thông thường. Ở tuổi 7 ngày và 14 ngày, cường độ nén của mẫu bê tông bọt - khí dị hướng lần lượt đạt trung bình khoảng 62% và 74% cường độ nén của mẫu ở tuổi 28 ngày. Trong khi đó, với các loại BTB và BTK thông thường thì cường độ nén ở tuổi 7 ngày và 14 ngày chỉ đạt khoảng 52,3% và 66,7% cường độ nén của mẫu ở tuổi 28 ngày;

- Nghiên cứu đề xuất phương pháp chế tạo khuôn mẫu để tạo hình bê tông khí bọt-khí dị hướng. Kết quả của việc áp dụng phương pháp này là loại bỏ lượng nước dư thừa trong quá trình hình thành cấu trúc tế bào, tăng hệ số chất lượng cấu trúc của sản phẩm dựa trên bê tông tế bào biến đổi với bề mặt được gia cố và đơn giản hóa công nghệ sản xuất;

- Sử dụng khuôn mẫu thiết kế đã thu được bê tông bọt-khí dị hướng với các đặc tính tốt hơn so với khi sử dụng công nghệ BTB và BTK thông thường;

- Loại sản phẩm bê tông bọt-khí dị hướng có thể ứng dụng để làm panel sàn, tấm tường, vật liệu trong các khối xây hoặc chế tạo các loại gạch vừa trang trí, vừa cách âm, cách nhiệt cho công trình cao tầng ở Việt Nam;

- Trong tương lai, cần nghiên cứu thêm các giải pháp để ứng dụng các sản phẩm bê tông bọt-khí dị hướng để chế tạo các panel sàn, tấm tường… trong thực tế thi công các công trình ở Việt Nam.

Lời cảm ơn

Nội dung của bài báo là một phần kết quả nghiên cứu của đề tài nghiên cứu khoa học sinh

viên tiềm năng của Trường Đại học Mỏ-Địa chất năm 2024, **Mã số TN2024-02**. Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn Phòng thí nghiệm Bộ môn Xây dựng công trình ngầm và mỏ - Khoa Xây dựng, Trường Đại học Mỏ-Địa chất đã giúp đỡ thực hiện các thí nghiệm trong nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Nguyễn Công Thắng, Hàn Ngọc Đức, Hoàng Tuấn Nghĩa (2018). *Nghiên cứu thực nghiệm nâng cao một số tính chất của bê tông nhẹ cốt liệu nhẹ*. Tạp chí KHCN Xây dựng. 12(2): P. 104-109.

[2] Иноземцев А.С., Королев Е.В. (2022), *Высокопрочные лёгкие бетоны : монография, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет*. – Санкт-Петербург: СПбГАСУ. – 192с. - Текст: Непосредственный.

[3] Ткаченко Т.Ф., Перцев В.Т (2011). *Совершенствование технологии неавтоклавных пенобетонов. Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета.* Строительство и архитектура. 2011(4), С. 243-50.

[4] Hamad A.J., (2014). *Materials, production, properties and application of aerated lightweight concrete.* International journal of materials science and engineering, 2(2), 152-157.

[5] Shafigh, F. S. (2012), *High Strength lightweight concrete using leca, silica fume and limestone*. Arabian Journal of Science and Engineering, vol 37, 1885-1893.

[6] Nguyễn Trọng Lâm, Phạm Hữu Hanh (2014). *Nghiên cứu nâng cao chất lượng bê tông khí chưng áp sử dụng cho nhà siêu cao tầng ở Việt Nam.* Tạp chí Khoa học công nghệ xây dựng. Số 21 – tháng 10. Pp 75-80.

[7] Ву Ким Зиен (2022), *Ячеистые бетоны с использованием плазмомодифицированного доменного шлака. Шифр и наименование научной специальности: 2.1.5 Строительные материалы и изделия.* Национальный Исследовательский Московский Государственный Строительный университет.

[8] Королев А.С., Волошин Е.А., Трофимов Б.Я., Шаимов М.Х., Кузьменко С.А (2004). *Способ изготовления вариатропных ячеистобетонных изделий*. Патент RU 2243190 C1. 27.12.2004. 5с.

[9] Большаков В.И, Мартыненко В.А (2002). *Технологические аспекты производства мелкоштучных ячеистобетонных изделий из ячеистого бетона неавтоклавного твердения*. Киев. НИИСМИ. Строительные материалы и изделия. С. 13- 15.

[10] Miryuk O (2017). *Formation of structure magnesium foamed concrete//International Journal of Civil Engineering.* Febrary - March. Vol. 6. Issue 2. Pp. 1-10.

[11] Баженова С.И., Ву Ким Зиен, Во Фу Тоан (2022). *Способы производства вариатропных ячеистых бетонов//В сб.* докладов научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ студентов института строительства и архитектуры НИУ МГСУ. М., С. 545-549.

[12] Tăng Văn Lâm, Nguyễn Đình Trinh, Vũ Kim Diến, Nguyễn Bá Bình (2023), *Bê tông bọt-khí dị hướng*, Hội Nghị khoa học thường niên năm 2023 – Trường Đại học Thủy lợi, Hà Nội, tháng 11.

[13] Бруяко, М.Г. (2022). *Ячеистые бетонов с вариатропной структурой на стадии формования изделия / М.Г.Бруяко,* С.И.Баженова, К.З.Ву // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. №7.

[14] Công ty gốm sứ TOTO. Báo cáo tổng kết kết quả sản xuất tháng 10/2022 của công ty gốm sứ TOTO.

[15] Nguyễn Việt Tùng Dương, Lê Ngọc Trường Sơn, Hoàng Trọng Toàn (2023), *Nghiên cứu tổng quan về tính chất và khả năng ứng dụng bê tông bọt được chế tạo từ vật liệu trong nước.* Đề tài NCKH sinh viên. Trường Đại học Mỏ-Địa chất năm 2023.

[16] Tang Van Lam, Dien Vu Kim, Hung Ngo Xuan, Tho Vu Dinh, Boris Bulgakov, and Sophia Bazhenova (2019). *"Effect of aluminium powder on light-weight aerated concrete properties."* In E3S Web of Conferences, vol. 97, p. 02005. EDP Sciences.

[17] Nguyễn Văn Phiêu, Nguyễn Văn Chánh (2005). *Công nghệ bê tông nhẹ.* Nhà xuất bản Xây dựng.

[18] Nguyễn Duy Hiếu (2016). *Công nghệ bê tông nhẹ cốt liệu rỗng chất lượng cao.* Nhà xuất bản Xây dựng.

[19] Nguyễn Trung Hiếu, Nguyễn Xuân Công, Võ Đình Trọng, Đặng Quang Minh, Trương Văn Cường (2023), *Nghiên cứu khả năng chế tạo bê tông nhẹ sử dụng bột nhôm và chất kết dính Geopolymer từ hỗn hợp tro bay, xỉ lò cao và phế thải nhà máy gốm sứ TOTO dùng trong công trình dân dụng và công nghiệp.* Đề tài NCKH sinh viên. Trường Đại học Mỏ-Địa chất.