

# NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO VIÊN XÂY GẠCH, BLOCC TỪ PHẾ THẢI TRO XỈ NHIỆT ĐIỆN VÀ ĐÁ MẠT DỪNG CHẤT KẾT DÍNH PÔLYME SILIC

Nguyễn Văn Hùng<sup>a</sup>, Vũ Minh Đức<sup>b</sup>, Nguyễn Nhân Hòa<sup>b,\*</sup>

<sup>a</sup>Trung tâm tư vấn và dịch vụ Kỹ thuật Xây dựng, Viện Vật liệu Xây dựng,  
235 đường Nguyễn Trãi, quận Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

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

Nhận ngày 11/10/2021, Sửa xong 15/11/2021, Chấp nhận đăng 23/11/2021

## Tóm tắt

Bài báo giới thiệu kết quả nghiên cứu tro xỉ nhiệt điện Cẩm Phả – Quảng Ninh, đá mạt Kiện Khê sau khi khai thác gia công đá, chế tạo viên xây: gạch, bloc, dùng chất kết dính polyme silic (CKD PS). Với phương pháp quy hoạch thực nghiệm đã xác định được thành phần hỗn hợp hạt cốt liệu tối ưu có giá trị khối lượng thể tích (KLTT) lớn nhất với các chỉ số  $\alpha = 0,186$  và  $q = 0,530$  và thời gian làm chặt 60s. Bằng phương pháp thể tích nước tuyệt đối đã xác định được độ rỗng thực tế của hỗn hợp hạt cốt liệu, là cơ sở tính lượng CKD PS để tính thành phần phối liệu viên xây. Bằng phương pháp quy hoạch thực nghiệm, đã xác định được thành phần phối liệu tối ưu, chế tạo viên xây với các tính chất của hỗn hợp vữa phối liệu và tính chất của mẫu viên xây. Thành phần phối liệu viên xây gạch, bloc: cốt liệu =  $1950 \text{ kg/m}^3$ ; CKD PS =  $227 \text{ kg/m}^3$ ; phụ gia/CKD PS = 0,1164. Bài báo cũng giới thiệu dây chuyền công nghệ sản xuất viên gạch, bloc từ tro xỉ nhiệt điện, đá mạt và CKD.

*Từ khoá:* tro xỉ nhiệt điện; cốt liệu; chất kết dính polyme silic; viên xây gạch; bloc.

MANUFACTURING OF BRICK AND BLOCK BY USING FLY ASH AND SLAG OF THERMAL POWER PLANT AND CRUSHED LIMESTONE WASTE WITH SILIC POLYMER BINDER

## Abstract

This paper presents the results of study on the fly ash and slag of Cam Pha thermal power plant in Quang Ninh, crushed stone waste from exploiting limestone minerals Kien Khe, to manufacture blocks, bricks, using polymer silic binder (CKD PS). By the experimental planning method, the optimal aggregate particle composition has been determined, it has the biggest bulk density with indexes  $\alpha = 0,186$  and  $q = 0,530$  of the empirical equation and tightening time 60s. By the method of absolute water volume, the actual porosity of the aggregate particle mixture has been determined, which is the basis for calculating the amount of silic polymer binder. By the method of experimental planning, the optimal composition was determined, and the bricks, blocks were manufactured responding to the properties of the mixed mortar mixture and the properties of the samples. Composition of bricks and blocks are as follows: aggregates =  $1950 \text{ kg/m}^3$ ; silic polymer binder PS =  $227 \text{ kg/m}^3$ ; admixture/PS = 0,1164. This article also introduces the technological procedure to produce bricks and blocks from fly ash and slag, crushed limestone waste and silic polymer binder.

*Keywords:* coal ash; aggregate; silic polymer binder; bricks; blocks.

[https://doi.org/10.31814/stce.huce\(nuce\)2022-16\(1V\)-12](https://doi.org/10.31814/stce.huce(nuce)2022-16(1V)-12) © 2022 Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (ĐHXDHN)

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

## 1. Đặt vấn đề

Với xu hướng hội nhập quốc tế, việc phát triển kinh tế ở Việt Nam cũng như các nước trên thế giới đang tăng mạnh mẽ, gắn liền với xu hướng sản xuất bền vững. Để thực hiện vấn đề này, cần phải phát triển công nghiệp tái chế sử dụng nguồn phế thải phế liệu công nghiệp, thực hiện các công nghệ cao không phế thải, bảo vệ môi trường, ... Trong công nghiệp sản xuất vật liệu xây dựng (VLXD) sử dụng các phế thải của các ngành công nghiệp để chế tạo các sản phẩm mới chất lượng cao, rẻ, giảm thiểu tác động đến môi trường đã trở nên cấp thiết và được quan tâm chú trọng phát triển. Trong đó các phế thải tro xỉ nhiệt điện của các nhà máy điện thải ra hàng năm rất lớn, ảnh hưởng nghiêm trọng đến môi trường sống.

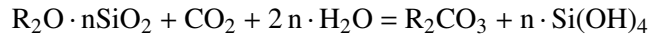
Theo các số liệu điều tra thống kê lượng tro xỉ nhiệt điện thải ra hàng năm và tái sử dụng ở một số nước trên thế giới [1–4] cho thấy: lượng tro xỉ thải ra hàng năm rất lớn (triệu tấn/năm): ở Ấn Độ là 112; ở Trung Quốc - 100; Mỹ - 75, Canada - 75; Úc - 45; Đức - 40; ở Nga - 26,7; Anh - 15; ở Nhật Bản - 11,1; Pháp - 3; ở Hà Lan, Ý, Đan Mạch rất thấp là 2; Việc tái chế sử dụng ở mỗi nước cũng khác nhau [3–5]: ở Ấn Độ là 38%; ở Trung Quốc là 45%; ở Đức 85%; ở Pháp 85%; ở Mỹ là 65%; ở Canada là 75%, Anh là 50%, Nga là 18%; Nhật Bản 96,3%, các nước Châu Á khác tỷ lệ lượng tái chế đạt 66%; còn Đan Mạch, Ý, Hà Lan đã đạt 100%. Lượng phế thải tro xỉ tái chế chủ yếu dùng trong sản xuất xi măng, bê tông, trong giao thông, ... phần lớn dùng trong sản xuất VLXD. Còn ở Việt Nam, theo tính toán sơ bộ [5–7], tính đến 2019 cả nước đang tồn chứa khoảng trên 40 triệu tấn và xỉ (tro đáy) là 3,6 triệu tấn. Tro xỉ đốt theo công nghệ than phun là 12,7 triệu tấn/năm (chiếm khoảng 71,4%), theo công nghệ tầng sôi là 5,1 triệu tấn/năm (khoảng 28,6%). Tro xỉ của các nhà máy điện hiện nay nằm ở bãi chứa, hồ nước, khu đất rộng chiếm nhiều diện tích, gây ô nhiễm môi trường nghiêm trọng. Các lĩnh vực sử dụng tro xỉ chủ yếu là phụ gia cho xi măng, bê tông, xây dựng giao thông, thủy lợi, sản xuất VLXD, nhưng tỷ lệ sử dụng còn thấp so với lượng tro xỉ thải ra hàng năm.

Việc nghiên cứu và phát triển công nghiệp tái chế sử dụng tro xỉ nhiệt điện làm nguyên liệu sản xuất VLXD sẽ góp phần giải quyết vấn đề bức xúc trong việc giải quyết diện tích tồn chứa, giảm ô nhiễm môi trường; cũng như giải quyết lượng lớn phế liệu đá mặt trong quá trình khai thác và gia công khoáng đá ở các mỏ đá vôi. Mặt khác, việc sử dụng mặt đá, tro xỉ nhiệt điện với chất kết dính polyme silic (CKD PS) chế tạo viên xây, bloc đã tạo ra dạng sản phẩm mới trong xây dựng, mà còn tiết giảm lượng dùng xi măng trong xây dựng (dùng xi măng chế tạo gạch không nung từ đá mặt), góp phần bảo vệ môi trường, giảm lượng phát thải CO<sub>2</sub>, và sản phẩm rẻ, dễ sản xuất so với khi dùng xi măng. Vì vậy, việc nghiên cứu chế tạo viên xây từ đá mặt, tro xỉ nhiệt điện với CKD PS mang tính cấp thiết, thực tiễn, có ý nghĩa khoa học, kinh tế trong việc tiết kiệm năng lượng, bảo vệ môi trường cần được nghiên cứu đầy đủ, sản xuất và sử dụng trong các công trình xây dựng. Để chế tạo viên xây gạch, bloc từ đá mặt, tro xỉ nhiệt điện và CKD PS, cần nghiên cứu thành phần hỗn hợp hạt cốt liệu đá mặt tro xỉ nhiệt điện (TXNĐ); quá trình rắn chắc của CKD PS, cũng như thành phần phối liệu đá mặt-tro xỉ và CKD PS chế tạo viên xây; các tính chất viên xây và công nghệ chế tạo chúng. Thành phần hạt của hỗn hợp cốt liệu đất mặt, TXNĐ được xác định bởi từng loại cỡ hạt cốt liệu lớn, bé và tỷ lệ phối hợp giữa chúng. Một hỗn hợp cốt liệu có thành phần hạt tối ưu, khi các hạt lớn đóng vai trò bộ khung chịu lực, các hạt nhỏ đóng vai trò lấp đầy, lèn chặt tạo nên cấu trúc đặc chắc cho vật liệu. Việc nghiên cứu tính toán lựa chọn thành phần hạt cốt liệu đá mặt, tro xỉ được thực hiện theo nguyên tắc của Bozenov [8] và nguyên lý Cainarski [9–11], với mật độ sắp xếp các cỡ hạt có số điểm tiếp xúc lớn nhất, có thể năng cực tiểu.

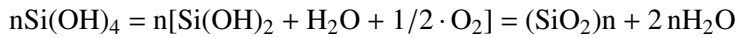
Trong nghiên cứu này, giới thiệu phương pháp nghiên cứu cốt liệu đá mặt-TXNĐ Cẩm Phả (Quảng Ninh), với tính toán thành phần hạt cốt liệu, các chế độ công nghệ làm chặt với thời gian khác nhau, để hỗn hợp hạt cốt liệu có mật độ cao nhất hay độ rỗng bé nhất. Từ độ rỗng thực tế của hỗn hợp hạt cốt

liệu, tính toán lượng CKD PS chế tạo viên xây. Ngoài việc xác định thành phần hỗn hợp hạt cốt liệu đá mặt-TXND, cơ sở của việc chế tạo viên xây là quá trình rắn chắc của CKD PS. CKD PS là chất kết dính dạng lỏng có thành phần hóa học  $m \cdot R_2O \cdot nSiO_2$  ( $n = 2 \div 3,5$ ); đặc tính của CKD PS được đánh giá bởi giá trị mô đun silicat – Mc,  $Mc = n/m$ .

Quá trình phản ứng của CKD PS tạo ra các gel axit silicic theo phương trình:



Quá trình rắn chắc của CKD PS theo cơ chế trùng ngưng của gel  $Si(OH)_4$ . Quá trình trùng ngưng các gel axit silicic được thực hiện theo phương trình sau:



Các axit silicic được tạo thành từ quá trình phản ứng trên sẽ thực hiện phản ứng trùng ngưng để hình thành mạng lưới khung không gian polyme silic  $(SiO_2)_n$ .

Khối bốn mặt  $[SiO_4]$  là đơn vị kết cấu cơ bản của mạng lưới tinh thể silicat  $SiO_2$  được hình thành do sự lai hóa  $sp^3$  của các đám mây điện tử hóa trị trong nguyên tử silic, 4 đám mây lai hóa  $sp^3$  tạo với đám mây p của nguyên tử oxy thành 4 liên kết  $\delta$ . Khi ở nhiệt độ thường sự trùng ngưng của các gel axit silicic xảy ra chậm, tức là mạng lưới không gian polyme silic của các gel axit tạo ra rất ít, dẫn đến độ bền của sản phẩm chưa cao. Như vậy khi tăng nhiệt độ quá trình trùng ngưng diễn ra nhanh và triệt để, mạng lưới không gian các gel axit silic tạo thành ngày càng nhiều, chúng gắn kết các hạt cốt liệu chặt chẽ và làm tăng độ bền, nâng cao tính chất cơ lý của sản phẩm.

Để đẩy nhanh quá trình rắn chắc, người ta sử dụng các phụ gia chứa các thành phần tạo gel axit silicic hay các thành phần của phụ gia thúc đẩy quá trình phản ứng trùng ngưng của các gel axit silicic [10].

## 2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Vật liệu sử dụng

Trong nghiên cứu này, cốt liệu sử dụng chế tạo viên xây gạch bloc là phế thải tro xỉ của Nhà máy nhiệt điện Cẩm Phả – Quảng Ninh, mặt đá mỏ Kiện Khê – Hà Nam.

#### a. Tro nhiệt điện Cẩm Phả (tr.CP)

Tro nhiệt điện Cẩm Phả (tr.CP) sử dụng có các đặc tính thành phần hóa và các tính chất cơ lý ở Bảng 1, Bảng 2 [12].

Bảng 1. Thành phần hóa của tro nhiệt điện Cẩm Phả – Quảng Ninh

Thành phần hóa của tro, %									
$SiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	CaO	MgO	$K_2O$	$Na_2O$	$TiO_2$	$SO_3$	MKN
56,59	23,42	4,89	1,82	0,35	3,99	0,76	0,81	-	3,98

Từ bảng cho thấy tro Cẩm Phả (tr.CP) có MKN thấp, hàm lượng  $SiO_2$  khá cao, độ mịn cao, độ ẩm thấp, có thể sử dụng cho chế tạo viên xây, bloc dùng CKD PS.

Bảng 2. Một số tính chất cơ lý của tro nhiệt điện Cẩm Phả (tr.CP)

STT	Chỉ tiêu, tính chất	Đơn vị	Kết quả	Phương pháp thử
1	Độ mịn (sốt sàng No. 008)	%	6,50	TCVN 4030:2003 [13]
2	Khối lượng riêng ( $\gamma_a$ )	g/cm <sup>3</sup>	2,36	TCVN 4030:2003 [13]
3	Khối lượng thể tích ( $\gamma_0$ )	kg/m <sup>3</sup>	575	TCVN 4030:2003 [13]
4	Chỉ số hoạt tính	%	85	14 TCN 108:1999 [14]
5	Độ ẩm (W)	%	1,8	14 TCN 108:1999 [14]

b. Xi nhiệt điện Cẩm Phả - Quảng Ninh

Phế thải xi Cẩm Phả (Xi.CP) cũng được xác định thành phần hóa, ở Bảng 3. Xi cũng có lượng MKN thấp, hàm lượng SiO<sub>2</sub> khá cao, có thể sử dụng cho chế tạo viên xây, block dùng CKD PS ở Bảng 3.

Bảng 3. Thành phần hóa của xi Cẩm Phả (Xi.CP)

Thành phần hóa của xi, %										
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MKN
57,56	25,50	3,58	1,32	1,34	5,99	0,13	0,03	0,77	0,13	3,52

Quan sát, và sàng phân loại xi nguyên khai Cẩm Phả để đánh giá cho thấy: hạt kích thước lớn, bề mặt nhám ráp hơn hạt nhỏ. Hạt có cấu trúc dạng tấm lớp nếp xiên (các lớp hạt xếp chồng nhau). Hạt kích thước  $d > 5$  mm, thoi dẹt, nhưng ngắn hơn (tỷ lệ chiều dài  $l$  so với chiều rộng hạt  $b$ :  $l/b$  nhỏ); hạt kích thước  $d < 2,5$  mm dạng tròn hơn, ít góc cạnh, bề mặt nhẵn mịn hơn so với hạt lớn. Trong các hạt  $d > 5$  mm còn một số lỗ rỗng nhỏ do than cháy tạo ra. Về màu sắc, hạt có  $d > 5$  mm có màu xám tro, có một ít màu xám đen; hạt có  $d \leq 5$  mm hầu hết có màu xám tro. Hàm lượng hạt  $d > 5$  mm thấp (10,7%).

Thành phần hạt của xi Cẩm Phả nguyên khai và xi sau khi gia công cỡ hạt xác định theo TCVN 7572-2:2006 [15], giới thiệu ở Bảng 4 [12].

Bảng 4. Thành phần hạt của xi nhiệt điện Cẩm Phả

Cỡ hạt, mm	Xi nguyên khai		Xi sau khi gia công cỡ hạt		Mô đun độ lớn
	Lượng sót riêng $a_i, \%$	Lượng sót tích lũy $A_i, \%$	Lượng sót riêng $a_i, \%$	Lượng sót tích lũy $A_i, \%$	
> 5,0	10,70	10,70	-	-	
2,5÷5	11,44	22,14	12,80	12,80	
1,25÷2,5	15,84	37,98	17,72	30,52	
0,63÷1,25	11,14	49,12	12,47	42,99	2,537
0,315÷0,63	11,24	60,36	12,58	55,57	
0,14÷0,315	15,79	76,15	17,67	73,24	
< 0,14	23,85	100	26,76	100	

Một số chỉ tiêu tính chất của xi nhiệt điện Cẩm Phả giới thiệu ở Bảng 5.

Bảng 5. Một số chỉ tiêu tính chất của xỉ Cẩm Phả

STT	Chỉ tiêu, tính chất	Đơn vị	Kết quả	Phương pháp thử
1	Khối lượng riêng ( $\gamma_a$ )	g/cm <sup>3</sup>	2,63	TCVN 7572-4:2006 [15]
2	Khối lượng thể tích ( $\gamma_0$ )	g/cm <sup>3</sup>	1430	TCVN 7572-4:2006 [15]
3	Độ hút nước ( $H_p$ )	%	8,3	TCVN 7572-4:2006 [15]
4	Độ ẩm ( $W$ )	%	6,34	TCVN 7572-7:2006 [16]
5	Mô đun độ lớn ( $M_{dl}$ )	-	2,537	-

Qua số liệu ở Bảng 3–5 cho thấy có thể sử dụng xỉ Cẩm Phả làm cốt liệu chế tạo viên xây gạch, block khi dùng CKD PS.

c. Phế thải mặt đá mỏ đá Kiện Khê (Hà Nam)

Phế liệu mặt đá ở mỏ đá Kiện Khê – Hà Nam, có thành phần khoáng vật thạch học: là khoáng đá canxit – CaCO<sub>3</sub>, có cấu trúc hạt mịn, thành phần khoáng vật canxit là 92%; sét là 1%; Quặng hydroxit sắt ít. Đá Kiện Khê là loại đá đặc, có mật độ cao, có cường độ cao (80÷150 MPa), [12].

Thành phần hạt của phế liệu mặt đá Kiện Khê nguyên khai ở Bảng 6.

Bảng 6. Thành phần hạt của phế liệu mặt đá Kiện Khê nguyên khai

Cỡ hạt, mm	Thành phần hạt mặt đá Kiện Khê nguyên khai	
	Lượng sót riêng $a_i$ , %	Lượng sót tích lũy $A_i$ , %
5,0÷10	22,23	22,23
2,5÷5,0	21,80	44,03
1,25÷2,5	26,85	70,88
0,63÷1,25	11,12	82,00
0,315÷0,63	7,82	89,82
0,14÷0,315	3,93	93,75
< 0,14	6,25	100

Phế liệu mặt đá Kiện Khê phần lớn là hạt dài, dẹt, có nhiều góc cạnh, cỡ hạt 5÷10 mm chiếm đến 22,23%; cỡ hạt < 2,5 mm có hình dạng dẹt và nhọn, loại cỡ hạt 1,25÷2,5 mm chiếm tương đối cao đến 26,85%; Cỡ hạt < 1,25 mm chiếm tỷ lệ thấp. Về màu sắc phế liệu mặt đá hầu hết có màu xám nhạt hay màu xanh xám. Một số chỉ tiêu tính chất của phế liệu mặt đá ở Bảng 7 [12].

Bảng 7. Một số chỉ tiêu tính chất của phế liệu mặt đá Kiện Khê

STT	Chỉ tiêu, tính chất	Đơn vị	Kết quả	Phương pháp thử
1	Khối lượng riêng ( $\gamma_a$ )	g/cm <sup>3</sup>	2,68÷2,70	TCVN 7572-4:2006 [15]
2	Khối lượng thể tích ( $\gamma_0$ )	kg/cm <sup>3</sup>	1650÷1680	TCVN 7572-4:2006 [15]
3	Độ hút nước ( $H_p$ )	%	0,3÷0,5	TCVN 7572-4:2006 [15]
4	Độ ẩm ( $W$ )	%	1,31	TCVN 7572-7:2006 [16]

Qua số liệu Bảng 6, 7 cho thấy, có thể sử dụng phế liệu mặt đá làm cốt liệu chế tạo viên xây gạch, block dùng CKD PS; hàm lượng cỡ hạt lớn > 2,5 mm khá cao 44,03%.

d. Chất kết dính polyme silic (CKD PS)

CKD PS có công thức hóa học  $mR_2O \cdot nSiO_2$ ; có khối lượng phân tử 284,22; là chất lỏng trong có màu vàng xanh; có độ nhớt cao, mật độ  $\rho = 1,45 \div 1,5 \text{ g/cm}^3$ ; Mô đun silic là tỷ số  $n/m$ . Đánh giá đặc tính của CKD PS: là chất không bị cháy, không bị ăn mòn, rất hoạt động hóa học, có phản ứng kiềm, có thể tác dụng với nhiều chất ở dạng lỏng, rắn, được sử dụng rộng rãi trong xây dựng.

e. Phụ gia (PG)

Phụ gia được sử dụng trong nghiên cứu có công thức hóa học  $Na_2SiF_6$ , có hàm lượng Na: 24,57%; Si: 14,89%; F: 30,32%; Khối lượng phân tử là 188, là chất rắn dạng bột màu trắng. Công dụng PG này để tăng cường gel axit silicic, tăng cường quá trình trùng ngưng, polyme hóa hỗn hợp cốt liệu, tăng nhanh khả năng rắn chắc, tính bền nước cho vật liệu viên xây.

2.2. Phương pháp nghiên cứu thành phần hạt cốt liệu, hỗn hợp vữa phối liệu (hvhpl) và các tính chất của mẫu viên xây

a. Phương pháp nghiên cứu thành phần hạt cốt liệu

Theo lý thuyết nghiên cứu thành phần hạt với nguyên tắc của Bozenov và nguyên lý Cainarski [8–11], việc lựa chọn tính toán thành phần hạt trên cơ sở mật độ sắp xếp các cỡ hạt với số điểm tiếp xúc dính kết lớn nhất, có thể năng cực tiểu, được tính toán theo phương trình Andersen ứng với  $D_{\max} > 5,0 \text{ mm}$  [8, 17]

$$Y_i = \left[ \alpha + (1 - \alpha) \left( \frac{d_i}{D} \right)^q \right] \times 100\% \quad (1)$$

trong đó:  $Y_i$  là hàm lượng cỡ hạt nhỏ hơn  $d_i$ , (%);  $D$  là kích thước hạt lớn nhất,  $D_{\max} = 10 \text{ mm}$ ;  $d_i$  là kích thước cỡ hạt cần tính toán, mm;  $\alpha$  là hệ số phụ thuộc loại cốt liệu và lượng hạt mịn,  $\alpha$  có giá trị trong khoảng  $0 \leq \alpha \leq 0,4$ ;  $q$  là chỉ số đặc trưng cho sự phân bố cỡ hạt nhỏ bên trong cỡ hạt lớn của hỗn hợp, phụ thuộc tính chất, hình dáng, đặc trưng bề mặt, kích thước hạt, giá trị của  $q$  trong khoảng  $0,5 \leq q \leq 0,9$ . Trong nghiên cứu, tính toán thành phần hạt cốt liệu với  $D_{\max} = 10 \text{ mm}$ .

Một hỗn hợp hạt có thành phần tối ưu khi đạt được giá trị mật độ lớn nhất, độ rỗng bé nhất. Độ rỗng thực tế của hỗn hợp hạt bao gồm: độ rỗng giữa các hạt  $r_2$  và độ rỗng hỏ của hạt  $r_1$ , được xác định bằng phương pháp thể tích nước tuyệt đối, mà các công thức lý thuyết tính độ rỗng không xác định được. Trên cơ sở đó xác định lượng CKD của hỗn hợp phối liệu chế tạo viên xây. Để tăng điểm tiếp xúc dính kết giữa các hạt, hỗn hợp hạt được sắp xếp làm chặt với chế độ công nghệ làm chặt: 0 s, 30 s, 60 s. Bằng phương pháp thể tích nước tuyệt đối, xác định được độ rỗng thực tế của hỗn hợp hạt ( $r''$ ) được làm chặt với chế độ công nghệ phù hợp. Để xác định thành phần hạt tối ưu, cho khối lượng thể tích (KLTT) hỗn hợp hạt lớn nhất, độ rỗng bé nhất, sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm (QHTN) bậc hai tâm xoay [18].

b. Hỗn hợp vữa phối liệu (hvhpl)

Với mỗi cấp phối, các nguyên vật liệu thành phần được định lượng theo từng mẻ trộn. Trong nghiên cứu này cốt liệu đá mặt, xỉ được trộn riêng, tro và phụ gia trộn riêng, rồi chúng được trộn chung trong 5 phút với nhau cùng với CKD, thành hỗn hợp vữa phối liệu đồng nhất.

- Khối lượng thể tích của hvhpl được xác định theo công thức:

$$\gamma_{ohhv} = \frac{G_{hhv}}{V_{hhv}} \text{ kg/m}^3$$

trong đó  $G_{hhv}$  là khối lượng hvhpl, kg;  $V_{hhv}$  là thể tích của hvhpl,  $\text{m}^3$ .

- Hệ số làm chặt  $K_{lc}$  đặc trưng cho khả năng làm chặt của viên xây gạch, khối khi tạo hình. Từ đó xác định chế độ công nghệ tạo hình hợp lý để viên xây đạt chất lượng cao. Hệ số làm chặt  $K_{lc}$  được xác định theo công thức:

$$K_{lc} = \frac{\gamma_{omth}}{\gamma_{ohhv}}$$

trong đó  $\gamma_{omth}$  là KLTT mẫu tạo hình,  $\text{kg/m}^3$ ;  $\gamma_{ohhv}$  là KLTT của hhvpl,  $\text{kg/m}^3$ .

c. Phương pháp nghiên cứu các tính chất của mẫu sản phẩm chế tạo

Hỗn hợp vữa phối liệu sau khi trộn đồng nhất được tiến hành chế tạo mẫu. Tạo hình trên máy đầm rung, thời gian rung là 60 s với khuôn sử dụng có kích thước  $7,07 \times 7,07 \times 7,07$  cm. Mẫu sau 1 ngày tháo khuôn, và để bảo dưỡng ngâm trong nước 28 ngày. Một số tính chất của viên xây được xác định trong nghiên cứu:

- Khối lượng thể tích của viên xây - theo TCVN 6355-5:2009 [19];
- Độ hút nước của viên xây - theo TCVN 6355-4:2009 [20];
- Cường độ nén của viên xây - theo TCVN 6355-2:2009 [21];
- Độ co thể tích của viên xây - theo TCVN 201:1986 [22].

### 3. Kết quả nghiên cứu

#### 3.1. Nghiên cứu cốt liệu mặt đá-tro xỉ chế tạo viên xây gạch, khối

a. Tính toán thành phần hỗn hợp cốt liệu theo phương trình thực nghiệm (1)

Thành phần hạt liên tục được tính toán với  $D_{\max} = 10$  mm, giá trị  $\alpha = 0,15 \div 0,25$  và  $q = 0,5 \div 0,6$ , được thể hiện ở Bảng 8.

Bảng 8. Thành phần hỗn hợp hạt cốt liệu tính theo phương trình thực nghiệm (1)

Chỉ số		Giá trị $Y_i, a_i, A_i$	Kích thước mắt sàng (mm)							
$\alpha$	$q$		10,0	5,0	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	< 0,14
0,15	0,50	$Y_i$	100	75,10	57,50	45,05	36,33	30,09	25,06	
		$a_i$	0	24,90	17,60	12,45	8,72	6,25	5,03	25,06
		$A_i$	0	24,90	42,50	54,95	63,67	69,91	74,94	100,00
	0,55	$Y_i$	100	73,06	54,65	42,08	33,58	27,69	23,12	
		$a_i$	0	26,94	18,40	12,57	8,50	5,89	4,57	23,12
		$A_i$	0	26,94	45,35	57,92	66,42	72,31	76,88	100,00
	0,60	$Y_i$	100	71,08	52,00	39,41	31,18	25,68	21,56	
		$a_i$	0	28,92	19,08	12,59	8,23	5,51	4,11	21,56
		$A_i$	0	28,92	48,00	60,59	68,82	74,32	78,44	100,00
0,20	0,5	$Y_i$	100	76,57	60,00	48,28	40,08	34,20	29,47	
		$a_i$	0	23,43	16,57	11,72	8,20	5,88	4,73	29,47
		$A_i$	0	23,43	40,00	51,72	59,92	65,80	70,53	100,00
	0,55	$Y_i$	100	74,64	57,32	45,49	37,49	31,94	27,65	
		$a_i$	0	25,36	17,32	11,83	8,00	5,54	4,30	27,65
		$A_i$	0	25,36	42,68	54,51	62,51	68,06	72,35	100,00

Chỉ số		Giá trị $Y_i, a_i, A_i$	Kích thước mắt sàng (mm)							
$\alpha$	$q$		10,0	5,0	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	< 0,14
0,20	0,6	$Y_i$	100	72,78	54,82	42,97	35,23	30,05	26,18	
		$a_i$	0	27,22	17,96	11,85	7,74	5,18	3,87	26,18
		$A_i$	0	27,22	45,18	57,03	64,77	69,95	73,82	100,00
	0,5	$Y_i$	100	78,03	62,50	51,52	43,82	38,31	33,87	
		$a_i$	0	21,97	15,53	10,98	7,69	5,51	4,44	33,87
		$A_i$	0	21,97	37,50	48,48	56,18	61,69	66,13	100,00
0,25	0,55	$Y_i$	100	76,23	59,99	48,90	41,39	36,20	32,17	
		$a_i$	0	23,77	16,24	11,09	7,50	5,20	4,03	32,17
		$A_i$	0	23,77	40,01	51,10	58,61	63,80	67,83	100,00
	0,6	$Y_i$	100	74,48	57,65	46,54	39,28	34,42	30,79	
		$a_i$	0	25,52	16,84	11,11	7,26	4,86	3,63	30,79
		$A_i$	0	25,52	42,35	53,46	60,72	65,85	68,21	100,00

Từ số liệu Bảng 8 cho thấy: Khi tăng giá trị  $\alpha$ , giữ nguyên giá trị  $q$ , hàm lượng cỡ hạt nhỏ tăng, hàm lượng cỡ hạt lớn giảm. Khi giữ nguyên giá trị  $\alpha$  và tăng giá trị  $q$ , hàm lượng hạt lớn tăng, hàm lượng hạt bé giảm. Khi lượng hạt nhỏ tăng, khả năng lèn chặt của hỗn hợp hạt cốt liệu tốt hơn, nhưng khi hạt nhỏ tăng quá cao, lại làm giảm khối lượng thể tích của hỗn hợp hạt, do đó cần phải xác định lượng hạt lớn, hạt bé tối ưu thông qua giá trị  $\alpha$  và  $q$  để đạt KLTT cao nhất. Sự ảnh hưởng của giá trị  $\alpha$  và  $q$  là khác nhau, ảnh hưởng của  $\alpha$  lớn hơn  $q$ .

Hàm lượng cỡ hạt trung gian:  $2,5 \div 5,0$  mm;  $1,25 \div 2,5$  mm;  $0,63 \div 1,25$  mm;  $0,315 \div 0,63$  mm với mỗi giá trị  $\alpha$ ,  $q$  thay đổi lượng cỡ hạt này thay đổi không đáng kể, nhưng nó có ý nghĩa quan trọng trong việc lèn chặt hỗn hợp cốt liệu làm tăng KLTT và cường độ viên xây.

Để xác định thành phần hỗn hợp hạt tối ưu với chế độ công nghệ làm chặt thích hợp, đạt KLTT lớn nhất, độ rỗng bé nhất, cần thay đổi giá trị  $\alpha$  và  $q$ , thay đổi hàm lượng các cỡ hạt. Như vậy, với hai giá trị  $\alpha$  và  $q$  có thể xác định được 7 loại cỡ hạt để có KLTT lớn nhất, phương pháp này đơn giản như trong nghiên cứu của các tác giả [8–11].

#### b. Xác định KLTT và độ rỗng (ĐR) của hỗn hợp hạt cốt liệu với các chế độ công nghệ làm chặt

Bằng phương pháp thể tích nước tuyệt đối xác định KLTT và ĐR của các cấp phối hỗn hợp hạt cốt liệu mặt đá-tro xỉ, tính theo phương trình thực nghiệm (1), với các chế độ làm chặt (30 s, 60 s), được giới thiệu ở Bảng 9.

Từ số liệu ở Bảng 9, cho thấy: Khi tăng thời gian làm chặt, KLTT của hỗn hợp hạt cốt liệu (hhhcl) đều tăng ở các giá trị  $\alpha$  và  $q$ , đồng thời độ rỗng (ĐR) cũng giảm dần; Trong thí nghiệm, nếu tăng thời gian làm chặt lớn hơn, KLTT sẽ giảm dần và độ rỗng sẽ tăng do có sự phá vỡ sự sắp xếp các hạt: hạt nhỏ dịch chuyển xuống, hạt to chuyển động lên. Vì vậy, thời gian rung hợp lý đối với hhhcl là 60 s cho KLTT đạt cao nhất với giá trị  $\alpha = 0,2$ ;  $q = 0,55$ . So sánh giá trị độ rỗng cho thấy: độ rỗng chung lý thuyết –  $r_{ch}^{lt}$  lớn hơn độ rỗng chung thực tế  $r_{ch}^{tt}$ . Từ độ rỗng chung thực tế –  $r_{ch}^{tt}$  xác định lượng CKD PS, chế tạo hỗn hợp vữa phối liệu (hhvpl) để tạo hình viên xây.

Bảng 9. KLTT, ĐR của các cấp phối hạt cốt liệu với các chế độ làm chặt

Giá trị $\alpha$	Chỉ số $q$	Thời gian $t$ (s)	KLTT $\gamma_0$ (kg/m <sup>3</sup> )	$r_{chung}^{lt}$ (%)	$r_{chung}^{tt}$ (%)	$r_1$ (%)	$r_2$ (%)	$r_{chung}^{lt} - r_{chung}^{tt}$ (%)
0,15	0,5	30s	2058	23,31	22,67	21,86	0,81	0,64
		60s	2060	23,13	22,33	21,37	0,96	0,80
	0,55	30s	2050	23,51	22,88	21,98	0,90	0,63
		60s	2060	23,13	22,57	21,50	1,07	0,56
	0,6	30s	2054	23,36	21,08	20,08	1,00	1,18
		60s	2058	23,21	22,78	21,62	1,16	0,43
0,2	0,5	30s	2071	22,72	21,36	20,72	0,64	1,36
		60s	2167	19,51	19,02	18,33	0,69	0,49
	0,55	30s	2122	20,82	19,57	18,83	0,74	1,25
		60s	2183	19,29	18,24	17,85	0,39	1,05
	0,6	30s	2153	19,66	18,56	17,90	0,66	1,10
		60s	2161	19,74	18,44	17,10	1,34	1,30
0,25	0,5	30s	2047	23,62	22,05	21,57	0,48	1,57
		60s	2104	21,49	20,71	19,90	0,81	0,78
	0,55	30s	2083	22,28	21,25	20,68	0,57	1,03
		60s	2097	21,75	20,33	19,45	0,88	1,42
	0,6	30s	2086	22,16	21,42	20,78	0,64	0,74
		60s	2100	21,64	20,11	19,32	0,79	2,32

c. Xác định thành phần hỗn hợp hạt cốt liệu tối ưu

Bằng phương pháp quy hoạch thực nghiệm (QHTN), đề tài đã xác định thành phần hhhcl mật đá Kiện Khê-tro xỉ Cẩm Phả có  $D_{\max} = 10$  mm, với chế độ làm chặt 60 s, nhân tố ảnh hưởng là chỉ số  $\alpha$  và  $q$ , với hàm mục tiêu là giá trị KLTT và ĐR của hhhcl. Bảng mã hóa và Bảng ma trận QHTN ở Bảng 10, Bảng 11.

Bảng 10. Bảng mã hóa quy hoạch thực nghiệm thành phần hạt của PL KTK

Nhân tố ảnh hưởng	Biến mã hóa	Điểm quy hoạch					Cánh tay đòn $\delta$
		$-2^{1/2}$	-1	0	+1	$+2^{1/2}$	
$\alpha$	$X_1$	0,130	0,15	0,20	0,25	0,27	0,05
$q$	$X_2$	0,508	0,52	0,55	0,58	0,59	0,03

Giải bài toán QHTN, có được phương trình hồi quy KLTT:

$$\hat{Y}^{kltt} = 2190,8 - 11,85X_1 - 0,15X_2 + 7,5X_1X_2 - 21,94X_1^2 - 14,69X_2^2$$

Giá trị cực đại KLTT của hhhcl mật đá-tro xỉ là  $\hat{Y}_{\text{CĐ}} = 2192,5$  kg/m<sup>3</sup> tại  $X_1 = -0,283$  và  $X_2 = -0,77$  hay  $\alpha = 0,186$  và  $q = 0,530$ .

Bảng 11. Bảng kết quả thực nghiệm của hỗn hợp hạt cốt liệu

Cấp phối	Chỉ số		Bảng quy hoạch khối lượng thể tích (kg/m <sup>3</sup> )				Độ rỗng hỗn hợp thành phần hạt (%)			
	$\alpha$	$q$	$\gamma_1$	$\gamma_2$	$\gamma_3$	$\gamma_{tb}$	$r_1$	$r_2$	$r_3$	$r_{tb}$
1	0,25	0,58	2140	2145	2144	2143	20,15	19,96	20	20,04
2	0,25	0,52	2115	2119	2120	2118	21,08	20,93	20,90	20,97
3	0,15	0,58	2153	2149	2169	2157	19,66	19,81	19,07	19,51
4	0,15	0,52	2159	2170	2157	2162	19,44	19,03	19,51	19,32
5	0,27	0,55	2153	2157	2140	2150	19,66	19,51	20,15	19,77
6	0,13	0,55	2171	2182	2175	2176	18,99	18,58	18,84	18,80
7	0,2	0,592	2165	2176	2169	2170	19,22	18,81	19,07	19,03
8	0,2	0,508	2182	2187	2186	2185	18,58	18,40	18,43	18,47
9	0,2	0,55	2189	2195	2195	2193	18,32	18,10	18,10	18,17
10	0,2	0,55	2191	2192	2187	2190	18,25	18,21	18,40	18,29
11	0,2	0,55	2193	2198	2194	2195	18,17	17,99	18,13	18,10
12	0,2	0,55	2193	2187	2187	2189	18,17	18,40	18,40	18,32
13	0,2	0,55	2192	2186	2192	2190	18,21	18,43	18,21	18,28

Tương tự, phương trình hồi quy về độ rỗng của hhhcl:

$$\hat{Y}^{dr} = 18,232 + 0,44395X_1 + 0,00648X_2 - 0,28X_1X_2 + 0,7465X_1^2 + 0,47034X_2^2$$

Giá trị cực tiểu ĐR của hhhcl mặt đá-tro xỉ là  $\hat{Y}^{dr} = 18,16\%$ , tại  $X_1 = -0,316$  và  $X_2 = -0,991$  hay  $\alpha = 0,184$  và  $q = 0,521$ .

### 3.2. Nghiên cứu chất kết dính polyme silic (CKD PS)

Các tính chất của hỗn hợp vữa phối liệu (hhvpl), tính chất của viên gạch, viên block ngoài phụ thuộc vào lượng CKD PS mà còn phụ thuộc vào mật độ của CKD PS, vào tỷ lệ phụ gia (PG) với CKD PS. Mật độ CKD PS -  $\rho_{CKD}$  và tỷ lệ PG/CKDPS ảnh hưởng quyết định đến tính công tác (độ chảy loãng); thời gian trộn vữa phối liệu; KLTT của hhvpl, KLTT viên xây (xác định hệ số làm chặt  $K_{lc} = \gamma_{\text{viên xây}}/\gamma_{\text{vữa}}$ ; cường độ nén và độ co, độ hút nước của viên xây gạch, block, ...

Qua nghiên cứu thử nghiệm chế tạo viên xây gạch, block, đề tài đã nghiên cứu ảnh hưởng của mật độ CKD PS -  $\rho_{CKD}$  từ 1,25 đến 1,30 g/cm<sup>3</sup> và tỷ lệ PG/CKD PS thay đổi từ 0,125 đến 0,08 tới tính chất của viên xây với cùng thành phần phối liệu (lượng cốt liệu, thành phần hạt cốt liệu, lượng CKD PS, phụ gia), cùng chế độ công nghệ chế tạo, ...; Đã xác định được mật độ hợp lý của CKD PS là 1,30 g/cm<sup>3</sup> và tỷ lệ PG/CKD là 0,1 cho KLTT và cường độ nén đạt cao nhất, độ co bé, là cơ sở cho việc lựa chọn khoảng nghiên cứu quy hoạch thực nghiệm thành phần phối liệu chế tạo viên xây.

### 3.3. Nghiên cứu chế tạo viên xây gạch block từ mặt đá-tro xỉ nhiệt điện Cẩm Phả và CKD PS

Từ các kết quả nghiên cứu hhhcl, CKD PS và PG, đề tài đã chế tạo hỗn hợp vữa phối liệu (hhvpl), chế tạo mẫu viên xây; Tiến hành QHTN xác định cấp phối tối ưu chế tạo viên gạch, block. Các nhân tố ảnh hưởng là PS/CKD là  $X_1$ ; giá trị  $\alpha$ ,  $q$  là  $X_2$ . Bảng mã hóa và bảng ma trận QHTN ở Bảng 12, Bảng 13.

Bảng 12. Bảng mã hóa quy hoạch thực nghiệm của phối liệu chế tạo viên xây

Nhân tố ảnh hưởng	Biến mã hóa	Điểm quy hoạch					Khoảng cách $\delta$
		-1,414	-1	0	+1	+1,414	
PG/CKD	$X_1$	0,104	0,11	0,125	0,14	0,146	0,015
Hệ số $\alpha$ và $q$	$X_2$	0,130	0,15	0,20	0,25	0,27	0,05
		0,508	0,52	0,55	0,58	0,59	0,03

Bảng 13. Ma trận QHTN thành phần, tính chất viên xây

TT	Biến mã		Tính chất hỗn hợp vữa phối liệu		Hệ số $K_{lc}$	KLTT viên xây, $\gamma_0$ (kg/m <sup>3</sup> )				Độ co thể tích, $C_0$ (%)				Độ hút nước, $H_p$ (%)				Cường độ nén, $R_n$ (MPa)			
	$X_1$	$X_2$	$\gamma_0$ , kg/m <sup>3</sup>	Độ chảy loang, cm		$\gamma_1$	$\gamma_2$	$\gamma_3$	$\gamma_{TB}$	$C_{o1}$	$C_{o2}$	$C_{o3}$	$C_{oTB}$	$H_{p1}$	$H_{p2}$	$H_{p3}$	$H_{pTB}$	$R_{n1}$	$R_{n2}$	$R_{n3}$	$R_{nTB}$
1	+1	+1	1016	11,5	1,96	2038	2061	2054	2051	2,73	3,49	3,03	3,08	14,8	14,8	14,8	14,8	65,4	74,1	76,8	72,1
2	+1	-1	1740	18	1,23	2153	2150	2123	2109	2,57	2,94	2,53	2,68	12,9	12,9	13,0	12,9	73,9	62,2	85,5	73,9
3	-1	+1	1168	13	1,77	2055	2054	2078	2062	3,19	3,74	3,84	3,15	14,3	14,2	14,3	14,3	63,5	70,4	88,5	74,1
4	-1	-1	1600	18	1,84	2154	2151	2149	2151	2,83	2,63	2,38	2,61	13,4	13,3	13,2	13,3	76,8	80,2	82,3	83,1
5	+1,41	0	1415	16	1,48	2111	2099	2093	2101	4,60	3,95	3,96	4,17	13,3	13,5	13,7	13,5	93,9	92,9	96,7	94,3
6	-1,41	0	1507	15	1,36	2014	2080	2078	2057	3,48	3,12	3,44	3,34	13,4	13,6	13,8	13,6	91,3	89,6	89,2	90,0
7	0	+1,41	1167	12	1,74	2032	2051	2014	2032	2,78	2,79	2,87	2,81	13,2	13,2	13,4	13,3	62,5	66,2	70,1	66,3
8	0	-1,41	1700	19	1,26	2144	2136	2148	2143	3,31	3,47	3,23	3,33	12,8	12,9	12,8	12,8	104,1	104,6	101,0	103,2
9	0	0	1444	15	1,46	2117	2105	2125	2116	2,89	2,61	3,64	2,65	13,6	14,1	13,9	13,9	81,5	87,7	89,9	86,4
10	0	0	1452	16	1,46	2120	2132	2131	2128	2,94	2,47	2,59	2,60	13,4	13,5	13,4	13,4	93,2	92,0	88,4	90,0
11	0	0	1521	16	1,40	2130	2151	2123	2135	3,12	2,48	3,05	2,88	12,1	12,9	11,3	12,1	86,0	86,2	93,6	88,6
12	0	0	1483	15,5	1,44	2120	2130	2141	2130	2,36	2,45	2,78	2,53	13,2	12,2	12,7	12,7	86,5	92,3	90,9	89,9
13	0	0	1514	15	1,45	2131	2220	2222	2191	2,67	2,49	3,01	2,72	13,1	13,5	12,5	13,0	93,5	92,0	86,6	90,7

Giải bài toán QHTN ta được các hàm hồi quy các tính chất mẫu viên xây:

$$KLTT \hat{Y}_\gamma = 2140 + 1,152X_1 - 37,9943X_2 + 7,75X_1X_2 - 29,6706X_1^2 - 25,4206X_2^2$$

Độ co thể tích:

$$\hat{Y}_{co} = 2,676 + 0,1467X_1 + 0,02559X_2 - 0,035X_1X_2 + 0,4039X_1^2 + 0,061358X_2^2$$

Độ hút nước:

$$\hat{Y}_{H_p} = 13,02 - 0,00517X_1 + 0,450875X_2 + 0,225X_1X_2 + 0,3854X_1^2 + 0,1354X_2^2$$

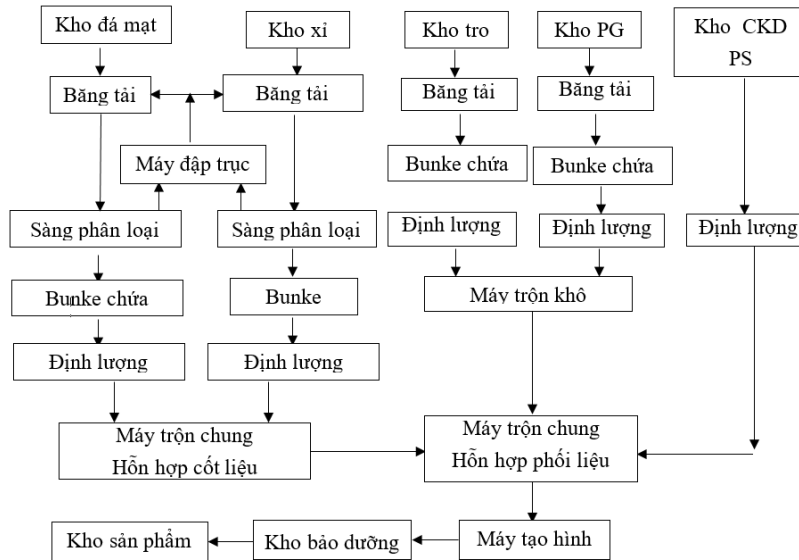
Cường độ nén:

$$\hat{Y}_{R_n} = 89,36 - 0,63998X_1 - 7,87208X_2 + 1,8X_1X_2 - 1,8332X_1^2 - 5,5332X_2^2$$

Giải bài toán cực trị cường độ nén là 92,7 kG/cm<sup>2</sup> tương ứng với giá trị  $X_1 = -0,569$  và  $X_2 = -0,804$  hay giá trị tối ưu cường độ với thành phần hạt ứng với giá trị  $\alpha = 0,1598$  và  $q = 0,5259$ ; tỷ lệ PG/CKD = 0,1164. Lượng cốt liệu là 1950 kg/m<sup>3</sup>, CKD PS là 227 kg/m<sup>3</sup>.

Từ đó, Sản phẩm viên xây gạch, blocks đạt các chỉ tiêu: KLTT  $\gamma_{ov} = 2147$  kg/m<sup>3</sup>; độ co thể tích  $C_v = 2,72\%$ ; độ hút nước  $H_p = 13,0\%$ ; cường độ nén  $R_n = 92,7$  kG/cm<sup>2</sup>.

3.4. Dây chuyền công nghệ chế tạo viên xây gạch, block đã được thử nghiệm phù với với điều kiện và hoàn cảnh ở mỗi địa phương như sau (xem Hình 1)



Hình 1. Dây chuyền công nghệ chế tạo viên xây gạch, block dùng đá mặt- tro xỉ nhiệt điện và CKD PS

#### 4. Kết luận

Từ các kết quả nghiên cứu thực nghiệm có một số kết luận sau:

- Sử dụng phương trình thực nghiệm, hàm lượng cỡ hạt (lớn, bé) được xác định đơn giản qua các chỉ số  $\alpha$  và  $q$ .
- Thực hiện các chế độ công nghệ làm chặt: 30 s, 60 s xác định KLTT cao nhất của hhhcl. Với phương pháp thể tích nước tuyệt đối đã xác định được độ rỗng thực tế của hhhcl, từ đó xác định lượng CKD PS.
- Bằng phương pháp QHTN xác định được thành phần hỗn hợp hạt cốt liệu tối ưu với chỉ số  $\alpha = 0,186$  và  $q = 0,530$ , chế độ làm chặt 60 s.
- Bằng thực nghiệm xác định được mật độ hợp lý của CKD PS  $\rho_{CKD} = 1,3 \text{ g/cm}^3$ , tỷ lệ PG/CKD PS = 0,1164. Lượng cốt liệu là  $1950 \text{ kg/m}^3$ , CKD PS là  $227 \text{ kg/m}^3$ . Sản phẩm viên xây gạch, block đạt các chỉ tiêu: KLTT  $\gamma_{ov} = 2147 \text{ kg/m}^3$ ; độ co thể tích  $C_v = 2,72\%$ ; độ hút nước  $H_p = 13,0\%$ ; cường độ nén  $R_n = 92,7 \text{ kG/cm}^2$ .
- Đã giới thiệu được dây chuyền chế tạo viên xây gạch, block từ đá mặt-tro xỉ nhiệt điện và CKD PS đã được áp dụng thử nghiệm.

#### Lời cảm ơn

Nhóm tác giả chân thành cảm ơn sự giúp đỡ của Phòng thí nghiệm và nghiên cứu vật liệu xây dựng, Khoa Vật liệu Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội đã hỗ trợ, tạo điều kiện để chúng tôi thực hiện các thí nghiệm của nghiên cứu này.

## Tài liệu tham khảo

- [1] Gollakota, A. R. K., Volli, V., Shu, C.-M. (2019). [Progressive utilisation prospects of coal fly ash: A review](#). *Science of The Total Environment*, 672:951–989.
- [2] Authority, C. E., Division, T. C. (2018). *Fly ash generation at coal/lignite based thermal power stations and its utilization in the country for 1st half of the year 2017-18*. Cent.Electr.Authority, New Delhi.
- [3] Ma, S.-H., Xu, M.-D., Qiqige, Wang, X.-H., Zhou, X. (2017). [Challenges and Developments in the Utilization of Fly Ash in China](#). *International Journal of Environmental Science and Development*, 8 (11):781–785.
- [4] American coal ash association (2018). *Coal ash recycling reaches records 64 percent amid shifting production and use patterns*.
- [5] Hoan, N. V. (2015). *Dự án sự nghiệp kinh tế về điều tra, khảo sát các nguồn phế thải công nghiệp làm vật liệu xây dựng*. Trung tâm xi măng-bê tông, Viện Vật liệu Xây dựng.
- [6] Viện Vật liệu Xây dựng (2017). *Thuyết minh đề án đẩy mạnh xử lý, sử dụng tro, xỉ, thạch cao của các nhà máy nhiệt điện, nhà máy hóa chất, phân bón để làm nguyên liệu sản xuất vật liệu xây dựng và sử dụng trong các công trình xây dựng*.
- [7] Viện Vật liệu Xây dựng (2012). *Điều tra, khảo sát đánh giá và đề xuất giải pháp sử dụng triệt để nguồn tro xỉ nhiệt điện trong sản xuất vật liệu xây dựng*.
- [8] Đức, V. M. (1992). *Bê tông chịu nhiệt dùng xi măng pooc lăng*. Luận án phó tiến sĩ Khoa học kỹ thuật, chuyên ngành Vật liệu chi tiết và sản phẩm, Đại học Xây dựng Hà Nội, Hà Nội.
- [9] Êremín, N. F. (1986). *Các quá trình và thiết bị trong công nghệ sản xuất vật liệu xây dựng. Giáo trình cho các trường đại học và cao đẳng chuyên ngành Sản xuất các sản phẩm và kết cấu xây dựng*. Nhà xuất bản đại học và trung học chuyên nghiệp, Mát-xcơ-va, trang 28.
- [10] Toturbyev, B. D. (1988). *Vật liệu xây dựng trên cơ sở chất silicat natri*. Nhà xuất bản Xây dựng, Mát-xcơ-va.
- [11] Bazenov, I. U. M., Yskovytr, S. M., Trumakov, L. D. (1991). *Công nghệ tạo hình bê tông*. Nhà xuất bản đại học và trung học chuyên nghiệp, Mát-xcơ-va.
- [12] Hùng, N. V. (2021). *Nghiên cứu phế thải tro, xỉ nhiệt điện Cẩm Phả (Quảng Ninh) và đá mật chế tạo gạch block không nung dùng chất kết dính polyme silic*. Luận văn thạc sĩ kỹ thuật ngành Kỹ thuật Vật liệu, Đại học Xây dựng Hà Nội, Hà Nội.
- [13] TCVN 4030:2003. *Xi măng - Phương pháp xác định độ mịn*. Bộ khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [14] 14TCN 108:1999. *Phụ gia khoáng hoạt tính nghiền mịn cho bê tông và vữa - Phương pháp thử, Tiêu chuẩn ngành*. Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn, Việt Nam.
- [15] TCVN 7572-2:2006. *Cốt liệu cho bê tông và vữa - Phương pháp thử Phần 2: Xác định thành phần hạt*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [16] TCVN 9592-7:2006. *Cốt liệu cho bê tông và vữa - Phương pháp thử Phần 7: Xác định độ ẩm*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [17] Đức, V. M., Đồng, N. V., Phương, Đ. T., Hoa, B. T., Hòa, N. N. (2009). *Cốt liệu sử dụng chế tạo bê tông chịu nhiệt*. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD)- ĐHXDHN*, 3(2).
- [18] Tuyển, N. M. (2005). *Quy hoạch thực nghiệm*. Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật.
- [19] TCVN 6355-5:2009. *Gạch xây - Phương pháp thử - Phần 5 - Xác định khối lượng thể tích*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [20] TCVN 6355-4:2009. *Gạch xây - Phương pháp thử - Phần 4 - Xác định độ hút nước*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [21] TCVN 6355-2:2009. *Gạch xây - Phương pháp thử - Phần 2- Xác định cường độ nén*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [22] TCVN 201:1986. *Vật liệu chịu lửa - Phương pháp thử xác định độ co phụ hay nở phụ*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.