

## Ảnh hưởng của tro bay tới tính chất gạch gốm

Đỗ Quang Minh<sup>1,2</sup>, Dương Thanh Ngân<sup>1,2</sup>, Nguyễn Vũ Uyên Nhi<sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup> Khoa Công nghệ Vật liệu, Trường Đại học Bách Khoa TP. HCM

<sup>2</sup> Đại học Quốc Gia Thành phố Hồ Chí Minh

### TỪ KHOÁ

Tro bay  
Gạch ceramic  
Hiệu ứng phân tích nhiệt DSC  
Nhiễu xạ XRD Mullite  
Quartz

### TÓM TẮT

Nghiên cứu dùng 7,5 % và 20 % tro bay trong phối liệu gạch gốm (GG) nung ở 1150 °C lưu 15 phút. các kết quả xác định đặc tính vật liệu đã cho thấy phối liệu 7,5 % tro bay làm tăng độ bền cơ mà vẫn giữ được các tính chất như độ hút nước, mật độ thực, mật độ biểu kiến và khối lượng thể tích tương đương với mẫu so sánh. Các kết quả phân tích DSC và XRD cho thấy tro bay đã làm tăng mullite giúp làm tăng bền cơ từ 34,74 lên 45,10 Mpa.

### KEYWORDS

Fly ash  
Ceramic tiles  
Differential scanning calorimetry (DSC)  
X-ray Diffraction (XRD) Mullite  
Quartz

### ABSTRACT

The article presents the test results using 7.5 % – 20 % FA as raw materials for the production of a type of ceramic tile fired at 1150°C soaked 15 minutes. The content of 7.5 % FA is considered optimal due to the highest increase in bending strength and other parameters such as volumetric density, real and apparent density, and water absorption, ... in the range of the allowable limits. The results of DSC and XRD analysis showed that the addition of FA increased mullite minerals content, raising the bending strength from 34,74 to 45,10 Mpa.

### 1. Giới thiệu

Ngày nay, việc phát triển các giải pháp sử dụng hiệu quả mọi nguồn lực trong xây dựng bao gồm cả việc xử lý chất thải sẽ góp phần thúc đẩy nền kinh tế tuần hoàn vì một tương lai bền vững. Việc tận dụng các chất thải công nghiệp trong sản xuất các sản phẩm gốm sứ, hướng đến việc sản xuất sạch hơn đã được nghiên cứu trong nhiều thập kỷ qua.

Nghiên cứu “Ảnh hưởng của tro bay đến một số tính chất hóa lý của sản phẩm GG” nhằm tìm ra tỷ lệ sử dụng tro bay (FA) thích hợp bổ sung vào phối liệu trong sản xuất GG sẽ góp phần tận dụng tro bay, một loại chất thải từ nhà máy nhiệt điện.

#### 1.1. Tro bay (FA)

Theo TCVN 10302:2014 [1] FA loại C có CaO  $\geq$  5 % (thường 15 – 35 %). FA loại F có CaO < 5 %, do đốt than antraxit, hàm lượng than chưa cháy nhiều, khoảng 2 đến 10 %. Nói chung, thành phần oxit chính của FA là SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O... và các pha tinh thể là mullite, quartz [2]. Đây là những oxit chính trong sản phẩm GG, do đó FA hứa hẹn khả năng tái sử dụng như một nguyên liệu rẻ tiền thay thế một phần nguyên liệu đang sử dụng, trừ đất sét, do FA không có tính dẻo. Phần cacbon chưa cháy hết trong FA có ảnh hưởng xấu đến quá trình nung sản phẩm, có thể làm phồng rộp và tách lớp trong xương gạch [3].

#### 1.2. Tro bay và đất sét, cao lanh:

Nghiên cứu ảnh hưởng của FA khi nung kết khối sản phẩm từ cao lanh, Marta Valášková et al. cho rằng lượng mullite tăng làm thay đổi độ bền uốn của sản phẩm. Đồng thời, nguyên liệu FA còn cải thiện các tính chất khác như hệ số giãn nở nhiệt, khối lượng riêng, độ xốp của sản phẩm... ở các nhiệt độ nung khác nhau. Gốm chỉ với FA nung ở 1100 °C thể hiện các đặc tính như khối lượng riêng 2,1 g/cm<sup>3</sup>, cường độ nén 77,5 MPa và độ xốp 2 %, trong khi gốm có cả FA & cao lanh có khối lượng riêng 2,2 g/cm<sup>3</sup>, cường độ nén 60 – 65 MPa và độ xốp từ 9,3 đến 16,4 % [4]. Sử dụng 40 % FA trong phối liệu với đất sét, Tomas Húlan chỉ ra FA đã làm giảm độ bền uốn sản phẩm, mặc dù vẫn đủ cao để sử dụng làm gạch ngói [5]. Sarabia A. et al. đã nghiên cứu ảnh hưởng việc bổ sung FA đến các đặc tính cơ lý GG xương đỏ và chỉ ra khi hàm lượng FA càng thấp thì độ co ngót càng thấp, mật độ biểu kiến càng cao. Điều này được cho là do FA chứa cacbon chưa cháy hết gây ảnh hưởng đến mật độ của mẫu. Việc thay thế 5 % và 10 % tràng thạch bằng FA đã ảnh hưởng tích cực đến đặc tính của gạch, trong khi việc thay thế 100 % tràng thạch bằng FA thì cho kết quả độ hút nước và độ bền tương tự như gạch phối liệu truyền thống (không có FA) [6]. Các thí nghiệm thay 10 đến 30 % FA bằng tràng thạch tạo điều kiện thuận lợi hình thành pha lỏng. Nghiên cứu của A. Zimmer et al. [7] với mẫu 60 % FA và 40 % đất sét được nung ở 1125 °C, 1150 °C, 1175 °C, và 1200 °C cho thấy mẫu nung ở nhiệt độ 1150 °C cho các giá trị về cơ lý tốt nhất. Trên cơ sở mẫu này, dùng đá vôi thay cho FA (từ 10 đến 30 %) đã làm giảm độ bền uốn. Với hàm lượng đá vôi là 10 % thì độ bền uốn là 22 MPa so với 30 MPa (mẫu không đá vôi). Điều này được giải thích là do khi tăng lượng đá vôi thì cũng đồng thời tăng lượng giải phóng CO<sub>2</sub> khi nung làm tăng độ xốp và giảm độ bền uốn.

\* Liên hệ tác giả: nvunhi@hcmut.edu.vn

Nhận ngày 09/11/2022, giải trình ngày 05/12/2022, chấp nhận đăng 10/12/2022

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.06.2022.416>

Nghiên cứu gốm từ đất sét đỏ và 10 đến 50 % FA nung trong khoảng 850 đến 1130 °C cho thấy: 10 % FA không ảnh hưởng rõ đến mật độ biểu kiến và độ hút nước. Lượng FA cao, tới 50 %, mật độ giảm, độ hút nước tăng. Hiệu ứng này sẽ giảm khi tăng nhiệt độ nung. Các khoáng thạch anh, mullite, hematite và anorthite có trong các mẫu nung từ 1130 °C. Các mẫu có FA từ 25 tới 50 %, nung ở 1130 °C trong 2 giờ, có các đặc tính cơ học tương tự các mẫu gạch từ đất sét truyền thống như xây tường hoặc gạch lát vỉa hè ... [8].

Nghiên cứu dùng FA sản xuất gốm nung ở 80 đến 1250 °C, Olga B. Kotova et all. cho thấy sự kết khối xảy ra từ 1050 °C trở lên. Nung ở 1150 °C các mẫu thử có giá trị cao nhất về mật độ biểu kiến, độ hút nước và độ xốp thấp. Ở 1200 °C trở lên, có sự tạo bọt khí trong mẫu. Tuy nhiên, các vật liệu này vẫn có thể làm gốm xây dựng [9].

Nghiên cứu dùng 2 loại FA, loại TFA kiềm thấp (CaO = 2,63 % và MgO = 3,57 %) và SFA lượng kiềm cao hơn (CaO = 6,41 % và MgO = 4,76 %) trong gạch ceramic, nung ở 1130 °C và 1190 °C, thời gian lưu là 6 phút đã cho thấy: Ở nhiệt độ nung 1130 °C, khi lượng FA tăng thì độ co tăng, độ bền uốn tăng. Bên cạnh đó, các mẫu dùng SFA có độ co ngót cao hơn TFA do lượng kiềm (CaO) cao đóng vai trò trợ dung. Với các mẫu nung ở 1190 °C, khi lượng FA tăng thì cả độ hút nước và độ co ngót đều giảm, độ bền uốn tăng lên khi FA lên đến 10 % và 15 %. Mẫu tốt nhất về các đặc tính cơ lý là mẫu TFA nung ở 1190 °C, đạt độ bền uốn 48,26 MPa, độ co ngót 7,68 %. Tuy nhiên, điểm hạn chế là sự xuất hiện lõi đen ở các mẫu chứa SFA khi nung ở 1190 °C và có nhiều khuyết tật bề mặt do sinh khí, phồng và cong vênh khi lượng FA tăng [10].

Nghiên cứu phối liệu 40 % đất sét và 60 % FA, gồm hai loại FA khác nhau là CFA (chứa quartz, mullite,  $SO_3 < 1$  %) và FFA (chứa quartz, anhydrite, calcite, CaO,  $SO_3 > 1$  %), nung ở 1080 °C, thời gian lưu 10 phút cho thấy FFA làm mẫu ít co ngót hơn, độ xốp cao hơn, nhưng độ bền uốn của mẫu giảm. Điều này được giải thích qua phân tích XRD: Mẫu chứa 60 % CFA và 40 % đất sét tạo khoáng mullite và quartz; còn mẫu chứa 15 % FFA, 45 % CFA và 40 % đất sét thì có thêm khoáng anorthite và các khoáng khác nhau đã ảnh hưởng tới tính chất vật liệu [11].

### 1.3. Tro bay trong sản xuất gạch ốp lát:

Dùng FA làm nguyên liệu chính sản xuất gạch ốp lát, với phối liệu 60 % FA, 20 % đất sét, 16 % tràng thạch và 4 % cát thạch anh (% khối lượng), mẫu nung ở 1200 °C đạt độ bền uốn 51,28 MPa với độ hút nước, độ xốp biểu kiến, độ co ngót tương ứng lần lượt là 0,47 %, 1,1 % và 13,51 %. Các tiêu chí này đều vượt yêu cầu đối với gạch sứ. Đặc tính này có được là do nguyên liệu giàu alumino silicate đã ảnh hưởng đến thành phần pha tinh thể và quá trình kết khối của mẫu [12]. A. K. Chakraborty et all. đã nghiên cứu dùng FA thay thế cát sản xuất gạch ốp tường nung ở 1050 và 1150 °C. Kết quả cho thấy, khi thay thế cát thạch anh bằng 30 % FA, độ bền cơ tăng từ 8,0 – 18,6 %. Sự tăng cường độ có thể do ứng suất trong mẫu nung giảm do lượng cát giảm.

Điều này làm cho mẫu sau nung có khả năng chống sốc nhiệt tốt hơn so với mẫu đối chiếu [13].

Áp dụng phân tích nhiệt vi sai (DSC) nghiên cứu ảnh hưởng của việc dùng FA tới tính chất của GG, Kovac J. đã ghi nhận các biến đổi ở nhiệt độ  $T < 650$  °C ở cả mẫu có FA và không có FA là gần như nhau. Tuy nhiên, ở khoảng 850 °C lại ghi nhận sự khác nhau do xảy ra hiện tượng phân hủy  $CaCO_3$ . Bên cạnh đó, nghiên cứu còn ghi nhận các mẫu có FA sau khi nung đến 1100 °C có độ co lên đến 7 % trong khi đó các mẫu không chứa FA chỉ là 2,3 % [14].

Dùng FA được hoạt hóa kiềm trước khi thay các nguyên liệu như đất sét và tràng thạch trong sản xuất GG, Yang Luo et all. thu được loại gạch có đặc tính tốt như nhiệt độ nung thấp và phạm vi kết khối rộng. Độ bền sản phẩm trước khi nung cao hơn do có liên kết geopolymer và cho cường độ sau nung tốt hơn so với GG chỉ sản xuất từ FA chưa qua xử lý, do khung xương chứa mullite. Các mẫu GG được nung ở 1100 °C thể hiện các đặc tính sản phẩm tốt như mật độ biểu kiến đạt 2,5 g/cm<sup>3</sup>, độ bền uốn là 50,1 MPa [15].

Tại Việt Nam việc sử dụng FA cho các sản phẩm geopolymer, gạch không nung hay bê tông đã có được nhiều quan tâm và nghiên cứu. Tuy nhiên, chưa có công bố trên các tạp chí ứng dụng FA trong sản xuất các sản phẩm GG.

## 2. Phương pháp thí nghiệm

Nghiên cứu thực hiện nhằm xác định khả năng ứng dụng của FA trong phối liệu nung GG nung ở 1150 °C lưu 15 phút. Bài phối liệu bổ sung FA vào liệu bài phối liệu GG lần lượt và 0 %, 7,5 %, và 20 % (ký hiệu là F0, F7,5, và F20).

Chuẩn bị mẫu: Các phối liệu được trộn theo tỉ lệ tính toán, nghiền ướt trong máy nghiền siêu tốc tới cỡ hạt lọt sàng 63 µm để đồng nhất phối liệu. Sấy phối liệu sau nghiền ở 110 °C trong 24h, cấp ẩm lại để bột phối liệu có độ ẩm từ 5 đến 7 %. Các mẫu được tạo hình bằng phương pháp ép bán khô với khối lượng mẫu mỗi lần ép là  $25 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$  và áp lực ép 4 MPa trong khuôn  $80 \times 20 \text{ mm}$ . Mẫu sau ép được đem đi sấy ở 110 °C trong 24h để tăng bền cơ, tránh biến dạng cong vênh, nứt vỡ khi nung. Sau sấy, mẫu được nung tại nhiệt độ 1150 °C trong lò điện ở phòng thí nghiệm, tốc độ nâng nhiệt 7 °C/phút, lưu 15 phút.

Thành phần hóa của đất sét đỏ, cao lanh, tràng thạch và tro bay được xác định bằng huỳnh quang tia X (XRF). Thiết bị sử dụng: ARL ADVANT'X – Hãng Thermo. Xác định các khoáng xuất hiện trong mẫu bằng phương pháp nhiễu xạ tia X (XRD) trong phạm vi 2 theta từ 5 – 80°. Thiết bị sử dụng: TOOIPYREAN – Hãng PANalytical. Biến đổi hóa lý xảy ra trong mẫu từ 30 – 1200 °C, tốc độ nâng nhiệt 10 °C/phút, theo dõi bằng Phân tích nhiệt lượng vi sai (DSC – Thiết bị LABSYS EVO). Các thông số như độ hút nước, độ bền cơ, mật độ... được xác định theo các TCVN 6415: 2016 [16].

## 3. Kết quả thí nghiệm và bàn luận

### 3.1 Thành phần hóa

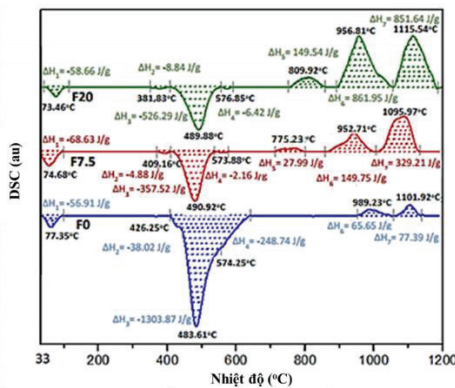
**Bảng 1.** Thành phần của phối liệu từ các nguyên liệu (% khối lượng).

Ký hiệu mẫu	Thành phần nguyên liệu (% khối lượng)			
	Đất sét	Cao lanh	Tràng thạch	Tro bay
F0	30,00	40,00	30,00	0,00
F7,5	27,75	37,00	27,75	7,50
F20	24,00	32,00	24,00	20,00

**Bảng 2.** Thành phần hóa của các mẫu (% oxit) và các phối liệu F0, F7,5, F20.

Ký hiệu mẫu	Thành phần hóa (% oxit)									
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	Na <sub>2</sub> O	MgO	Khác	MKN
F0	57,01	21,07	6,26	1,76	2,80	0,32	3,63	0,12	1,79	5,79
F7,5	56,73	21,34	6,22	1,71	2,82	0,56	3,38	0,16	1,67	5,91
F20	56,27	21,80	6,15	1,63	2,84	0,96	2,95	0,22	1,47	6,11

3.2 Phân tích DSC:

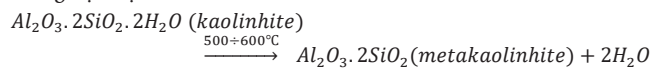


**Hình 1.** Các đường cong phân tích DSC của các mẫu F0, F7,5 và F20.

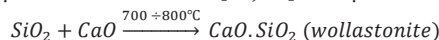
Trên Hình 1 là các đường cong phân tích DSC của các mẫu F0, F7,5 và F20 cùng nhiệt độ xảy ra hiệu ứng nhiệt và nhiệt lượng của hiệu ứng.

Trên cả ba đường DSC đều xuất hiện đỉnh thu nhiệt ở khoảng nhiệt độ nhỏ hơn 100 °C ứng với quá trình mất nước vật lý trong các mẫu.

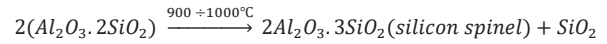
Hiệu ứng thu nhiệt thứ hai ở cả 3 mẫu F0, F7,5 và F20 trong khoảng nhiệt độ từ 400 – 600 °C tương ứng với những biến đổi phức tạp chông chất, chủ yếu là mất nước hóa học của các khoáng sét, biến đổi thù hình của SiO<sub>2</sub> (β-quartz thành α-quartz ở khoảng 573 °C). Quá trình mất nước hóa học thực chất là phản ứng phân hủy các khoáng sét tạo sản phẩm rất phức tạp (hỗn hợp meta caolinHITE, mullite, spinel và các oxit tự do SiO<sub>2</sub> và Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> trong nền vô định hình có hoạt tính rất cao) [17]). Các biến đổi thường được biểu diễn bằng sự biến đổi khoáng đại diện là kaolinHITE thành metakaolinHITE như sau:



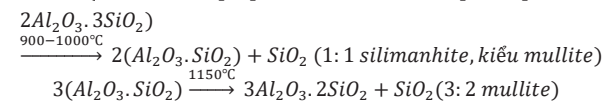
Đỉnh tỏa nhiệt thứ ba chỉ xuất hiện ở mẫu F7,5 (mạnh nhất tại 775,23 °C) và F20 (mạnh nhất tại 809,92 °C), không có trên mẫu F0 là phản ứng tạo các silicate calcium [18, 19]. Ví dụ:



Các hiệu ứng tỏa nhiệt xuất hiện trên đường cong DSC của cả ba mẫu trong khoảng nhiệt độ từ 900 – 1200 °C liên quan tới sự tạo khoáng spinel và mullite [17, 19]:

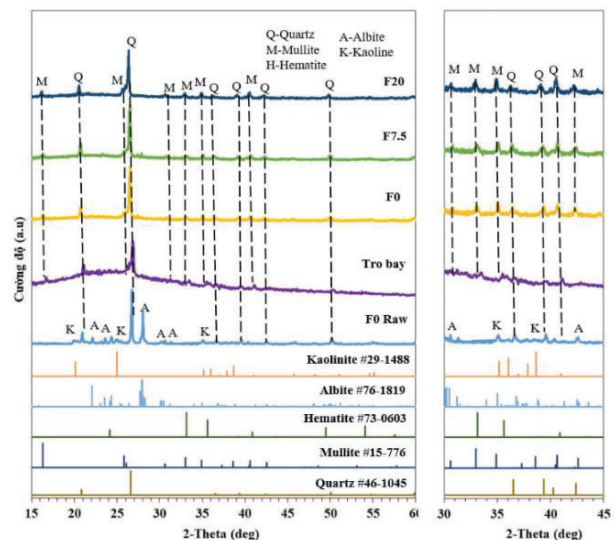


Đỉnh tỏa nhiệt thứ 2 trên đường cong DSC của mẫu F0, F7,5 và F20 xảy ra trong khoảng từ 1000 – 1200 °C là do sự hình thành khoáng silimanHITE (kiểu mullite [18] và sau đó là mullite [16-18]:



Hiệu ứng nhiệt tỏa ra khi mullite kết tinh (tỷ lệ với diện tích vùng hiệu ứng) từ các mẫu F20 lớn hơn nhiều so với mẫu F7,5 (861,95 + 851,64) J/g phối liệu so với (149,75 + 329,21) J/g phối liệu và lớn hơn rất nhiều so với F0 (65,65 + 77,39) J/g phối liệu. Như vậy, có thể kết luận FA giúp tạo mullite trong quá trình nung gạch gốm.

3.3 Thành phần pha



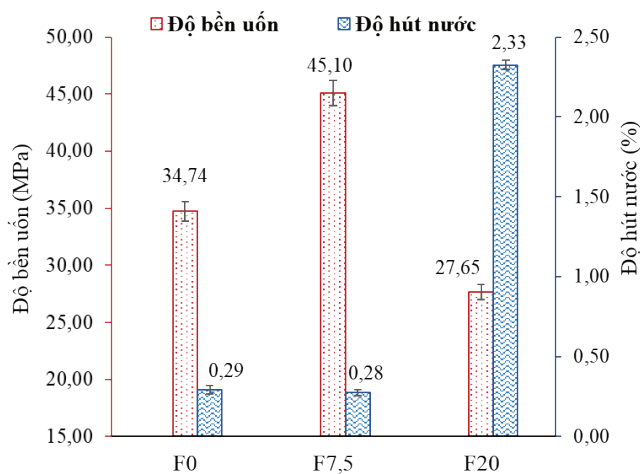
**Hình 2.** Phổ nhiễu xạ Rơn-ghen (XRD) của các mẫu F0, F7,5 và F20.

Trên Hình 2 là nhiễu xạ Rơn-ghe-n (XRD) của các mẫu:

Từ nhiễu xạ XRD của các mẫu, khoáng chính trong các mẫu F7,5 và F20 là quartz và mullite, phù hợp với kết quả phân tích DSC.

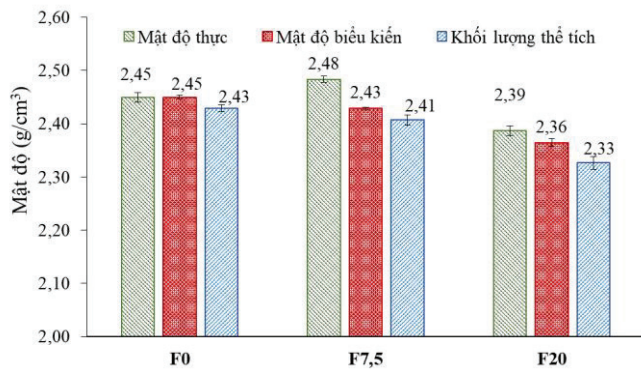
### 3.4 Các tính chất cơ lý

Hình 3 là kết quả xác định độ bền uốn và độ hút nước của các mẫu F0, F7,5 và F20. Theo đó, bền uốn F7,5 cao hơn so với F0 (45,10 MPa so với 34,74 MPa), còn mẫu F20 có độ bền uốn thấp hơn mẫu đối chứng F0 (27,65 MPa so với 34,74 MPa). Độ hút nước của F20 cao hơn so với F0 và F7,5 (2,33 % so với 0,29 %).



Hình 3. Độ bền uốn và độ hút nước của mẫu F0, F7,5 và F20.

Như vậy, việc bổ sung FA với hàm lượng thích hợp có ảnh hưởng tích cực đến độ bền uốn của mẫu sau nung. Theo TCVN 7745: 2007 [20] xét theo tiêu chí độ bền uốn thì các mẫu F7,5 thuộc loại B1a, mẫu F0 là loại B1b và mẫu F20 được phân vào loại B1a.



Hình 4. Mật độ của mẫu F0, F7,5 và F20.

Mẫu F7,5 có giá trị mật độ thực, mật độ biểu kiến và khối lượng thể tích tương đương với mẫu đối chứng F0. Khi hàm lượng tro bay tăng lên đến 20 % thể hiện dấu hiệu tiêu cực về mật độ của mẫu so với mẫu đối chứng F0.

## 4. Kết luận

Có thể dùng FA với hàm lượng thích hợp trong thành phần phối liệu GG. FA giúp tăng hàm lượng khoáng mullite, nhờ đó tăng bền cơ của mẫu. Tuy nhiên, còn những yếu tố khác như carbon còn dư ảnh hưởng tới chất lượng sản phẩm. Trong nghiên cứu này, đánh giá chất lượng GG theo các tính chất cơ lý như độ hút nước, độ bền uốn, mật độ thực, mật độ biểu kiến và khối lượng thể tích của các cấp phối có thể kết luận các mẫu sử dụng 7,5 % FA có các tính chất cơ lý tương tự như mẫu đối chứng 0 % FA. Tỷ lệ bổ sung 7,5 % FA cho mẫu có độ bền uốn là 45,10 MPa hoàn toàn phù hợp GG loại B1a theo TCVN 7745:2007 [20]. Với lượng cao hơn, tới 20 % FA khiến mẫu xuất hiện lõi đen khi nung, độ xốp mẫu tăng, độ bền uốn giảm và mật độ mẫu cũng giảm.

## Lời cảm ơn

Chúng tôi xin cảm ơn Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ cho nghiên cứu này.

## Tài liệu tham khảo

- [1]. TCVN 10302:2014 về Phụ gia hoạt tính tro bay dùng cho bê tông, vữa xây và xi măng
- [2]. A. Zacco, L. Borgese, A. Giannoncelli, R.P. W. L. Struis, L.E. Depero, and E. Bontempi, "Review of fly ash inertisation treatments and recycling" *Ienviron. Chem. Lett.*, Vol.12, No12, pp. 153-175, Mar.2014, doi: 10.1007/s10311-014-0454-6
- [3]. Y. Luo, S. Zheng, S. Ma, C. Liu, and X. Wang, "Ceramic tiles derived from coal fly ash: Preparation and mechanical characterization," *Ceram. Int.*, vol. 43, no. 15, pp. 11953-11966, Oct. 2017, doi: 10.1016/j.ceramint.2017.06.045.
- [4]. M. Valášková, V. Blahůšková, and J. Vlček, "Effects of Kaolin Additives in Fly Ash on Sintering and Properties of Mullite Ceramics," *Minerals*, vol. 11, no. 8, p. 887, Aug. 2021, doi: 10.3390/min11080887
- [5]. T. Húlan, I. Štubňa, J. Ondruška, and A. Trník, "The Influence of Fly Ash on Mechanical Properties of Clay-Based Ceramics," *Minerals*, vol. 10, no. 10, p. 930, Oct. 2020, doi: 10.3390/min10100930.
- [6]. A. Sarabia, J. Sanchez, and R. P. Ramirez, "Production of lightweight red ceramic floor tiles with addition of thermoelectric plant coal fly ash and its effect on physic mechanical properties," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1388, no. 1, p. 012017, Nov. 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1388/1/012017.
- [7]. A. Zimmer and C. P. Bergmann, "Fly ash of mineral coal as ceramic tiles raw material," *Waste Manag.*, vol. 27, no. 1, pp. 59-68, Jan. 2007, doi: 10.1016/j.wasman.2006.01.009.
- [8]. R. C. C. Monteiro, M. M. R. A. Lima, and S. Alves, "Mechanical characteristics of clay structural ceramics containing coal fly ash," *Int. J. Mech. Mater. Des.*, vol. 4, no. 2, pp. 213-220, Jun. 2008, doi: 10.1007/s10999-007-9049-8.
- [9]. O. B. Kotova, G. V. Ignatiev, D. A. Shushkov, M. Harja, and M. A. T. M. Broekmans, "Preparation and Properties of Ceramic Materials from Coal Fly Ash," in *Minerals: Structure, Properties, Methods of Investigation*, S. Votyakov, D. Kiseleva, V. Grokhovsky, and Y. Shchopova, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2020, pp. 101-107. doi: 10.1007/978-3-030-00925-0\_16.



- [10]. N. U. Kockal, "Utilisation of different types of coal fly ash in the production of ceramic tiles," *Bol. Soc. Esp. Cerámica Vidr.*, vol. 51, no. 5, pp. 297–304, Oct. 2012, doi: 10.3989/cyv.412012.
- [11]. R. Sokolar and L. Vodova, "The effect of fluidized fly ash on the properties of dry pressed ceramic tiles based on fly ash–clay body," *Ceram. Int.*, vol. 37, no. 7, pp. 2879–2885, Sep. 2011, doi: 10.1016/j.ceramint.2011.05.005.
- [12]. R. Ji, Z. Zhang, C. Yan, M. Zhu, and Z. Li, "Preparation of novel ceramic tiles with high Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content derived from coal fly ash," *Constr. Build. Mater.*, vol. 114, pp. 888–895, Jul. 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.04.014.
- [13]. A. K. Chakraborty, K. N. Maiti, and D. D. Pathak, "Effects of fly ash addition on thermomechanical properties of earthenware wall tile compositions," *Adv. Appl. Ceram.*, vol. 106, no. 4, pp. 196–201, Aug. 2007, doi: 10.1179/174367607X198939.
- [14]. J. Kováč, A. Trník, I. Medved', I. Stubňa, and L. Vozár, "Influence of fly ash added to a ceramic body on its thermophysical properties," *Therm. Sci.*, vol. 20, no. 2, pp. 603–612, 2016, doi: 10.2298/TSCI130911077K.
- [15]. Y. Luo, S. Zheng, S. Ma, C. Liu, and X. Wang, "Ceramic tiles derived from coal fly ash: Preparation and mechanical characterization," *Ceram. Int.*, vol. 43, no. 15, pp. 11953–11966, Oct. 2017, doi: 10.1016/j.ceramint.2017.06.045.
- [16]. TCVN 6415: 2016 về Gạch gốm ốp, lát – Phương pháp thử.
- [17]. Đỗ Quang Minh, Hóa học chất rắn. Đại học Quốc gia thành phố Hồ Chí Minh, 2016 (tr.176).
- [18]. В.И. Бабушкин, Г.М. Матвеев, О.П. Мгредлов-Петроциан, &quot; Термодинамика Силикатов&quot; Москва Стройиздат, 1980, стр. 98
- [19]. Brindley, G.W.; Nakahira, M. A new concept of the transformation sequence of kaolinite to mullite. *Nature* 1958, 181, 1333–1334.
- [20]. "Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 7745:2007 về Gạch gốm ốp lát ép bán khô - Yêu cầu kỹ thuật."