

Sản xuất gạch không nung từ bùn thải nhà máy nước cấp, tro bay nhà máy nhiệt điện và tro trấu

Manufacturing of adobe bricks using waste sludge from water treatment, fly ash from power plant, and rice husk ash

> HỒ NGÔ ANH ĐÀO^{1*}, TRẦN THỊ KIM TUYẾN¹, NGUYỄN THỊ MINH TRANG²

¹Khoa Môi trường và Bảo hộ Lao động, Trường Đại học Tôn Đức Thắng, TP.HCM

²Khoa Kỹ thuật Hạ tầng Đô thị, Trường Đại học Kiến trúc TP.HCM

*Email: hongnoanhdao@tdtu.edu.vn

TÓM TẮT

Bùn thải nhà máy nước cấp, tro bay nhà máy nhiệt điện, tro trấu được sử dụng làm cốt liệu để thay thế cát và một phần xi măng trong các thí nghiệm sản xuất gạch không nung. Mẫu gạch thành phẩm thu được từ các thí nghiệm sẽ được phân tích cường độ chịu nén (sau 3, 7, 28, 91 ngày) và độ thấm nước (sau 28 ngày) để có cơ sở so sánh các tính chất cơ lý theo tiêu chuẩn quốc gia TCVN 6477:2016 về gạch bê tông. Kết quả cho thấy bùn thải và tro bay có tính khả thi để sử dụng phối trộn cùng các vật liệu cấp phối truyền thống, ngược lại, tro trấu không thể hiện tính hiệu quả do cường độ chịu nén của gạch thành phẩm đo được tương đối thấp. Cụ thể mẫu gạch M4 có cấp phối (theo tỷ lệ khối lượng) gồm bùn thải (20%) - xi măng (20%) - đá mi (60%) có cường độ chịu nén tốt, đạt 1.51 kN/cm² sau thời gian dưỡng hộ 91 ngày. Đối với tro bay, mẫu M8 tương ứng với tỷ lệ gồm 20% tro bay - 20% xi măng - 60% đá mi cho kết quả cường độ chịu nén cao hơn, đạt 3.30 kN/cm². Thí nghiệm đo độ thấm nước cho thấy các mẫu gạch có cốt liệu bùn thải có tính thấm tốt hơn so với các mẫu sử dụng tro bay. Những kết quả thu được từ nghiên cứu này sẽ là cơ sở khoa học cho việc tái sử dụng các nguồn chất thải nói trên trong sản xuất gạch không nung, góp phần đem lại lợi ích kinh tế và giảm thiểu ô nhiễm môi trường.

Từ khóa: Gạch không nung; bùn thải nhà máy nước cấp; tro bay, tro trấu; cường độ chịu nén

ABSTRACT

Sludge generated from water treatment plant, plant fly ash from thermal power plant, and rice husk ash were utilized as aggregates to replace sand and a portion of cement in adobe brick production experiments. The resulting brick samples were analyzed for compressive strength (at 3, 7, 28, and 91 days) and water permeability (at 28 days) to compare their physical and mechanical properties against the national standard TCVN 6477:2016 for concrete bricks. The results indicate that sludge and fly ash are feasible for mixing with traditional materials; however, rice husk ash was not effective due to the relatively low compressive strength of the brick products. Specifically, sample M4, with a aggregate ratio (by weight) of 20% sludge - 20% cement - 60% crushed stone, exhibited a good compressive strength of 1.51 kN/cm² after a 91-day curing period. Regarding fly ash, sample M8 (comprising 20% fly ash - 20% cement - 60% crushed stone) achieved a higher compressive strength of 3.30 kN/cm². Water permeability tests revealed that samples containing sludge aggregate possessed better permeability as compared to those using fly ash. The findings of this research provide a scientific database for the reuse of waste sources in adobe brick production field, contribute to economic benefits and mitigate environmental pollution.

Keywords: Adobe bricks; sludge from water treatment plant; fly ash; rice husk ash; compressive strength

1. TỔNG QUAN

Việc sản xuất vật liệu xây dựng thân thiện với môi trường, đặc biệt là thông qua tái chế chất thải công nghiệp và nông nghiệp, là một hướng nghiên cứu mang tính ứng dụng cao nhằm thay thế vật liệu xây dựng truyền thống (cát, đất sét, xi-măng).

Bùn thải từ quá trình xử lý nước cấp ở các nhà máy nước hiện nay là một nguồn tài nguyên có giá trị. Khối lượng lớn bùn cặn được tạo ra trong quá trình xử lý nước là rất lớn, trung bình khoảng 4-8% lưu lượng nước sạch sản xuất [1]. Nhờ sự tương đồng trong thành phần hóa học, với hàm lượng vôi cơ cao, đặc biệt là khoáng chất Silic

(chiếm hơn 50% thành phần hóa học) - là khoáng chất quan trọng quyết định đến cường độ chịu lực của gạch thành phẩm, nên việc tái sử dụng bùn thải từ nhà máy nước hoặc phối trộn với các vật liệu bổ sung khác (ví dụ, tro đáy lò đốt rác thải đô thị, tro trấu) để sản xuất gạch đã được một số nghiên cứu thực hiện [2-5]. Tuy nhiên, quá trình sản xuất gạch truyền thống này yêu cầu về nhiệt độ cao để đảm bảo độ cứng và độ bền của gạch nung, dẫn đến những vấn đề ô nhiễm không khí, là một trong những hạn chế của các nghiên cứu nói trên. Do đó, việc nghiên cứu sản xuất gạch không nung (GKN) không phát thải chất thải độc hại đang được nhiều sự quan tâm.

Bên cạnh đó, theo số liệu thống kê và ước tính của Liên hiệp các Hội Khoa học và Kỹ thuật Việt Nam (VUSTA), từ năm 2025 đến năm 2035, lượng tro xỉ thải phát sinh từ các nhà máy nhiệt điện than tại Việt Nam là khoảng 12,00-14,48 triệu tấn tro bay và 2,12-2,56 triệu tấn tro đáy lò [6]. Đây là nguồn chất thải được khuyến khích tái chế và tái sử dụng làm vật liệu xây dựng thứ cấp để giảm thiểu tác động đến môi trường [7]. Ngoài ra, các nghiên cứu cũng chỉ rõ hàm lượng kim loại nặng trong tro xỉ thấp (ví dụ, nồng độ Hg trong tro bay là 0,0005 mg/L thấp hơn mức tối đa được quy định theo tiêu chuẩn quốc gia về chất thải nguy hại là 0,2 mg/L) [8], do đó rất phù hợp cho việc tái chế loại hình chất thải này.

Một loại hình chất thải khác, phát sinh từ hoạt động nông nghiệp, là trấu và tro trấu, cũng là vấn đề môi trường cần quan tâm trong ngành sản xuất nông nghiệp [9]. Nhiều nghiên cứu trong thời gian qua đã chỉ ra những triển vọng ứng dụng tro trấu trong sản xuất vật liệu xây dựng [10, 11]. Tuy nhiên, hầu hết các nghiên cứu trước đây chỉ tập trung vào việc sử dụng tro trấu được sau khi đốt ở nhiệt độ được kiểm soát và nghiền thành kích thước tối ưu. Việc nghiên cứu sử dụng tro trấu thô mà không đốt hoặc nghiền để áp dụng trong sản xuất vật liệu xây dựng vẫn còn hạn chế. Do đó, giải pháp sử dụng tro trấu thô làm cốt liệu trong sản xuất GKN là một hướng tiếp cận có tính mới, cần nhiều nghiên cứu thử nghiệm cụ thể.

Về cơ bản, GKN được sản xuất thông qua quy trình định hình mà không qua xử lý nhiệt độ, từ đó liên kết cấu trúc của nó khác với quy trình sản xuất gạch thông thường. Độ bền của GKN phụ thuộc vào áp suất hoặc độ rung và các thành phần kết dính được áp dụng trong quá trình sản xuất. Ngoài ra, độ bền sẽ tăng theo thời gian thông qua phản ứng hóa đá của các cốt liệu khác nhau [5]. Do đó, thành phần cốt liệu với tỷ lệ thích hợp đóng vai trò quan trọng trong chất lượng gạch. Các nghiên cứu trước đây đã kiểm tra tính khả thi của việc sử dụng chất thải công nghiệp như tro đáy lò đốt [12], vôi đã qua sử dụng và bùn trắng men [13] và bùn thải [14] để làm nguyên liệu thô thay thế trong sản xuất gạch xây dựng và gạch *Terrazzo* (gạch men) cho vỉa hè.

Hầu hết các nghiên cứu đều chứng minh thành công rằng những vật liệu phế thải nói trên có thể được tái sử dụng để sản xuất gạch với các thông số kỹ thuật đạt yêu cầu theo các tiêu chuẩn quốc gia. Tuy nhiên, ảnh hưởng của các thành phần cốt liệu chưa được xem xét chi tiết. Chính vì vậy, nghiên cứu này được đề xuất thực hiện để giải quyết những vấn đề chưa được đề cập trong các nghiên cứu trước đây. Đề tài khi thực hiện thành công sẽ mở rộng cơ sở dữ liệu về tiềm năng sử dụng vật liệu tái chế trong lĩnh vực kỹ thuật xây dựng và cũng giải quyết các vấn đề về môi trường do việc tạo ra chất thải.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Chuẩn bị cốt liệu và phụ gia

2.1.1 Cốt liệu

Bảng 1. Tỷ lệ cấp phối (theo khối lượng) giữa các vật liệu trong các thí nghiệm

Thí nghiệm	Mục đích	Tên mẫu	Bùn thải (%KL)	Tro bay (%KL)	Tro trấu (%KL)	Xi măng (%KL)	Đá mi (%KL)	Cát (%KL)	Nước
Mẫu đối chứng		M0	Không sử dụng			20	64	16	Tùy thuộc vào mỗi thí nghiệm, lượng nước được sử dụng phù hợp. Nước dư được loại bỏ khỏi khuôn gạch trong quá trình ép gạch
E1	Xác định ảnh hưởng của bùn thải	M1	15	Không sử dụng	Không sử dụng	25	60	Không sử dụng	
		M2	30			10	60		
		M3	25			15	60		
		M4	20			20	60		
E2	Xác định ảnh hưởng của tro bay	M5	Không sử dụng	15	Không sử dụng	25	60	Không sử dụng	
		M6		30		10	60		
		M7		25		15	60		
		M8		20		20	60		
E3	Xác định ảnh hưởng của tro trấu	M9	Không sử dụng	Không sử dụng	15	25	60	Không sử dụng	
		M10			30	10	60		
		M11			25	15	60		
		M12			20	20	60		

Ghi chú: - %KL: tỷ lệ phần trăm theo khối lượng.

Các cốt liệu chính được sử dụng trong nghiên cứu này bao gồm bùn thải Nhà máy nước ngầm Tân Phú (Thành phố Hồ Chí Minh); tro bay từ Nhà máy nhiệt điện Sông Hậu 1; tro trấu của nhà máy xay xát lúa Cái Bè (Tỉnh Đồng Tháp); đá mi từ nguồn cung cấp tại địa phương.

(1) *Bùn thải Nhà máy xử lý nước ngầm Tân Phú* (TP.HCM, Việt Nam): Mẫu bùn có độ ẩm dưới 10% sau khi tách nước tại chỗ được vận chuyển và lưu trữ tại phòng thí nghiệm. Sau đó, mẫu bùn được phân tích để xác định thành phần hóa học. Các mẫu bùn được xử lý bằng cách sấy khô để đạt độ ẩm 5% trước khi nghiền mịn và được tách bằng sàng tiêu chuẩn có kích thước lỗ 0.25 mm trước khi đưa đi phối trộn cốt liệu.

(2) *Tro bay Nhà máy nhiệt điện Sông Hậu 1*: Thành phần và tính chất của tro bay được phân tích XRF cho thấy tro than nhà máy nhiệt điện đạt tiêu chuẩn quốc gia (TCVN 10302:2014 – *Phụ gia hoạt tính tro bay dùng cho bê tông, vữa xây và xi măng*) để làm cốt liệu thay thế cho sản xuất vật liệu xây dựng.

(3) *Tro trấu*: nguồn nguyên liệu này thu trực tiếp từ tro thô phát sinh tại nhà máy xay xát gạo mà không qua quá trình nghiền trước. Tro trấu thô có màu đen, tỷ trọng 2.316 g/cm³, được tách qua sàng tiêu chuẩn 0.180 mm để thu được tro trấu mịn trước khi phối trộn với các cốt liệu khác. Thành phần hóa học của tro trấu mịn được phân tích, kết quả cho thấy hàm lượng SiO₂ có trong tro trấu rất cao (91.4%), tương đương với hàm lượng SiO₂ trong silica fume (>90%) - một loại phụ gia khoáng có hoạt tính puzolan cao thường được sử dụng trong trộn bê tông và vữa.

(4) *Đá mi*: cốt liệu này có kích thước trung bình nhỏ hơn 5.0 mm, có vai trò tăng độ bền và khả năng chịu lực của gạch và cát xây dựng đồng thời giảm co ngót và nứt vữa, ổn định kết cấu phối trộn.

2.1.2. Xi măng

Xi măng PCB40 Hà Tiên, đóng vai trò là chất kết dính, được sử dụng trong các thí nghiệm.

2.2. Khuôn mẫu gạch thí nghiệm

Trong nghiên cứu này, các mẫu gạch thành phẩm được sản xuất theo 02 loại khuôn mẫu: khuôn gạch khối vuông, có kích thước B50 x L50 x H50mm, được sử dụng đo cường độ chịu nén và khuôn gạch hình trụ tròn D90 x H100mm, được sử dụng để đo độ hút nước của gạch thành phẩm.

2.3. Quy trình sản xuất gạch không nung

Gạch được sản xuất dựa trên phương pháp ép rung thủy lực, kết hợp giữa lực ép và rung động mạnh tạo ra sự phân bố đồng đều của nguyên liệu, giúp tăng độ bền và khả năng chịu lực của gạch. Các thí nghiệm được thiết kế theo từng tỷ lệ cấp phối, tương ứng với mục đích nghiên cứu cụ thể (Bảng 1). Sản phẩm gạch sẽ được phân tích cường độ chịu nén và đánh giá đặc điểm kỹ thuật của GKN theo các mốc thời gian dưỡng hộ mẫu: 3 ngày, 7 ngày, 28 ngày, và 91 ngày tính từ thời điểm tạo hình gạch.

Việc tạo hình GKN sẽ được thực hiện dựa trên khuôn có kích thước 50 x 50 x 50 mm (mẫu dùng để đánh giá cường độ chịu nén) và khuôn trụ có kích thước D90 x H100 (mẫu dùng để đánh giá khả năng thấm nước). Sau khi tạo hình mẫu GKN, mẫu sẽ được giữ trong khuôn trong 01 - 02 ngày nhằm đảm bảo mẫu gạch được ổn định, kết dính chặt chẽ hỗn hợp vật liệu với nhau. Tiếp theo đó, mẫu gạch sẽ được tháo khuôn, dưỡng hộ bằng cách ngâm trong nước nhằm giúp duy trì độ ẩm cho mẫu gạch để quá trình thủy hóa diễn ra dễ dàng hơn và gia tăng được cường độ nén của gạch. Bên cạnh đó, quá trình dưỡng hộ này sẽ giúp đẩy nhanh phản ứng pozzolan - là phản ứng hóa học giữa silic dioxit (SiO₂) hoạt tính và alumin oxit (Al₂O₃) hoạt tính có trong vật liệu pozzolan với canxi hydroxit Ca(OH)₂ - sản phẩm của quá trình thủy hóa xi măng, và do đó sẽ góp phần tăng độ bền cơ học của gạch thành phẩm.

2.4. Phân tích cường độ chịu nén và đánh giá đặc điểm kỹ thuật của GKN.

Trong giai đoạn này, nghiên cứu thực hiện các bước phân tích và đánh giá như sau:

(i) Xác định cường độ chịu nén của gạch thành phẩm tại các mốc thời gian xác định (sau 3 ngày, 7 ngày; 28 ngày; 91 ngày, tính từ ngày tạo hình gạch), nhằm đánh giá khả năng chịu lực và độ bền cơ học của sản phẩm;

(ii) Xác định khả năng thấm nước của gạch - yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến độ bền lâu dài của vật liệu cũng như tính ứng dụng GKN trong việc san lát nền vỉa hè, sân bãi;

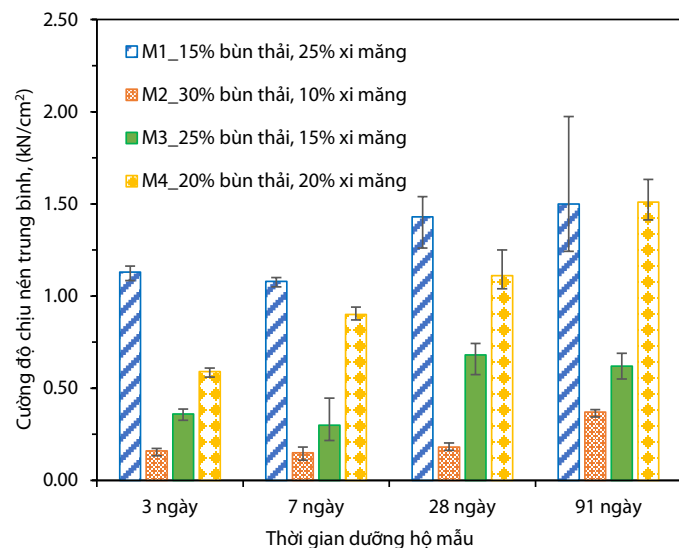
2.5 Phương pháp phân tích và tính toán

2.5.1. Xác định cường độ chịu nén của gạch thành phẩm

Cường độ nén R của mẫu gạch thử được tính bằng N/ mm² theo công thức.

Bảng 5. Cường độ chịu nén và tốc độ thấm nước của các mẫu GKN sử dụng bùn thải

Tên mẫu	Cường độ nén trung bình sau thời gian dưỡng hộ, (kN/cm ²)				Tốc độ thấm nước sau 28 ngày, (L/m ² .h)
	Sau 3 ngày	Sau 7 ngày	Sau 28 ngày	Sau 91 ngày	
M1 (15% bùn, 25% xi măng)	1.13 ± 0.03	1.08 ± 0.02	1.43 ± 0.12	1.50 ± 0.34	0.16
M2 (30% bùn, 10% xi măng)	0.16 ± 0.03	0.15 ± 0.03	0.18 ± 0.02	0.37 ± 0.02	25.20
M3 (25% bùn, 15% xi măng)	0.36 ± 0.02	0.30 ± 0.10	0.68 ± 0.08	0.62 ± 0.06	60.00
M4 (20% bùn, 20% xi măng)	0.59 ± 0.02	0.90 ± 0.03	1.11 ± 0.10	1.51 ± 0.09	180.00
Mẫu đối chứng M0	1.35 ± 0.35	1.28 ± 0.30	1.62 ± 0.16	1.95 ± 0.08	0.37
TCVN 6477:2016	≥ 1.50 kN/cm ² (mức gạch M15) ≥ 2.0 kN/cm ² (mức gạch M20)				0.35 (gạch xây không trát); 16 (gạch xây có trát)



Hình 2. Cường độ chịu nén của mẫu GKN sử dụng bùn thải theo thời gian

$$R = P/S \tag{1}$$

Trong đó: P: là lực nén phá hủy mẫu, (kN); S: diện tích má ép, (cm²); Lực nén phá hủy mẫu được đo trực tiếp bằng máy nén thủy lực (Digital Display Pressure Testing Machine), Model: DYE-2000, điện thế 220V, số seri: 210733, MFG 2021.07, Công ty TNHH TM Quốc tế Lianyungang Yuantai. Kết quả cường độ chịu nén của mẫu gạch thành phẩm sẽ được so sánh với tiêu chuẩn TCVN 6477:2016

2.5.2. Xác định độ thấm nước

Độ thấm nước bề mặt theo khối lượng, K (L/m².h) được xác định theo công thức (2). Mô hình thí nghiệm xác định hệ số thấm K (cm/s) với các mẫu trụ D90 x H100 được thể hiện như sau:

$$K = \frac{V}{S \times T} \tag{2}$$

Trong đó K (L/m².h): hệ số thấm của nước qua mẫu gạch (mẫu trụ), V (Lit): là thể tích nước thấm qua mẫu thử, S (m²): diện tích tiết diện ngang của mẫu, S = πD²/4, T (h): là thời gian nước thấm qua, (48h). Kết quả độ thấm nước của mẫu gạch thành phẩm sẽ được so sánh với tiêu chuẩn TCVN 6477:2016 để xác định mức độ đạt yêu cầu của thành phẩm.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của thành phần chất thải đến cường độ chịu nén của gạch thành phẩm

3.1.1. Ảnh hưởng của bùn thải

Các mẫu gạch của dãy thí nghiệm E1 sau thời gian dưỡng hộ được tiến hành đo cường độ chịu nén tại các mốc thời gian nhất định (sau 3 ngày, 7 ngày, 28 ngày, 91 ngày) với kết quả được trình bày trong Bảng 2 và Hình 2.

Tại các mốc thời gian, hầu hết M1 có kết quả cường độ chịu nén cao nhất tương ứng với tỷ lệ phối trộn bùn thải thấp (15%). Mẫu M2 và M3 có cấp phối bùn thải ở mức cao (25% và 30%) cho kết quả cường độ chịu nén thấp nhất trong nhóm, và cũng không có sự gia tăng đáng kể trong suốt thời gian dưỡng hộ. Mẫu M1 chứa hàm lượng xi măng cao nhất (25%) dẫn đến việc liên kết, đóng rắn các vật liệu khi kết hợp lại với nhau từ đó quá trình tạo ra sản phẩm thủy hóa diễn ra dày đặc hơn, giúp tăng độ rắn chắc GKN. Tuy nhiên khả năng gia tăng cường độ nén của M1 không tốt bằng M4. Cụ thể, mẫu M4 cho kết quả tốc độ phát triển cường độ nén vượt trội, đạt 1.51 kN/cm² sau 91 ngày.

Kết quả đo độ thấm nước của dãy mẫu E1 chịu ảnh hưởng từ vật liệu bùn thải bởi đặc tính ưu nước cũng như tính đóng rắn của vật liệu xi măng. M1 có hàm lượng bùn thải thấp nhất, hàm lượng xi măng cao nhất nên tính hút nước của mẫu hoàn toàn chậm hơn các mẫu còn lại bởi cấu trúc tạo thành rắn chắc. Đối với mẫu M2 và M3 tỷ lệ bùn thải chiếm phần lớn, lần lượt đạt tỷ lệ 30% và 25%, bùn trở thành vật liệu đặc, chứa nhiều nước. M4 là cấp phối có hàm lượng xi măng vừa đủ giúp mẫu tạo liên kết, đóng rắn ổn định cho mẫu GKN, tỷ lệ bùn không quá cao giúp giảm khả năng lấp kín mẫu do đó khả

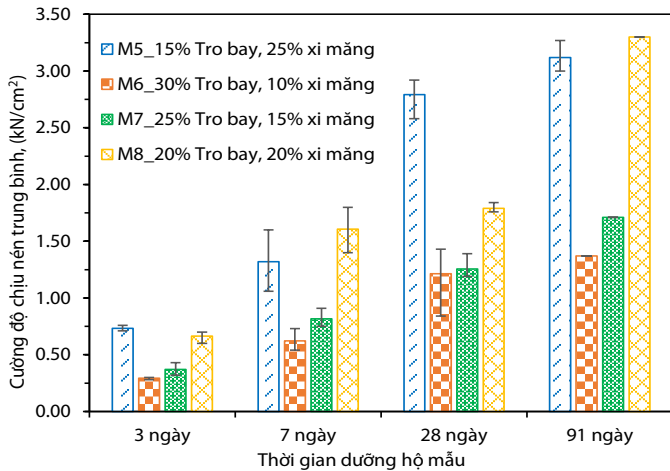
năng thấm hút nước của M4 được diễn ra thuận lợi và đạt yêu cầu về độ thấm nước cho cả loại gạch bê tông xây không trát và xây có trát theo TCVN 6477:2016.

3.1.2. Ảnh hưởng của tro bay

Bảng 6. Cường độ chịu nén và tốc độ thấm nước của các mẫu GKN sử dụng tro bay

Tên mẫu	Cường độ nén trung bình sau thời gian dưỡng hộ, (kN/cm ²)				Tốc độ thấm nước sau 28 ngày, (L/m ² .h)
	Sau 3 ngày	Sau 7 ngày	Sau 28 ngày	Sau 91 ngày	
M5 (15% tro bay, 25% xi măng)	0.73 ± 0.02	1.32 ± 0.22	2.79 ± 0.15	3.12 ± 0.11	Không thấm hút
M6 (30% tro bay, 10% xi măng)	0.29 ± 0.01	0.62 ± 0.08	1.21 ± 0.27	1.37 ± 0.00	
M7 (25% tro bay, 15% xi măng)	0.37 ± 0.05	0.82 ± 0.07	1.26 ± 0.09	1.71 ± 0.00	
M8 (20% tro bay, 20% xi măng)	0.66 ± 0.04	1.61 ± 0.16	1.79 ± 0.04	3.30 ± 0.00	
Mẫu đối chứng M0	1.35 ± 0.35	1.28 ± 0.30	1.62 ± 0.16	1.95 ± 0.08	0.37
TCVN 6477:2016	≥ 1.50 kN/cm ² (mức gạch M15) ≥ 2.0 kN/cm ² (mức gạch M20)				0.35 (gạch xây không trát); 16 (gạch xây có trát)

Cụ thể, cường độ chịu nén của mẫu gạch tỷ lệ nghịch với sự gia tăng hàm lượng tro bay để thay thế cho một phần xi măng. Ở thời gian đầu (sau 3 ngày dưỡng hộ), cường độ chịu nén ở các mẫu không có sự khác biệt đáng kể, nhưng sau 7 ngày, kết quả đo đạc cho thấy cường độ nén giữa các mẫu có sự chênh lệch, đặc biệt mẫu M5 (3.12 kN/cm²) và M8 (3.30 kN/cm²) so với các mẫu còn lại. Lý do được giải thích như sau: ở mốc thời gian đầu, cường độ nén chủ yếu chịu ảnh hưởng bởi quá trình thủy hóa của xi măng. Đến giai đoạn 91 ngày, vật liệu tro bay (với thành phần chủ yếu các oxit SiO₂, Al₂O₃, CO, MgO) đã tham gia phản ứng pozzolan với Ca(OH)₂ từ quá trình thủy hóa xi măng, giúp GKN có cấu trúc rắn chắc hơn. Ở các mẫu M6, M7, hàm lượng tro bay (25 – 30%) ở mức cao hơn Xi măng (10 – 15%), kết quả cường độ nén đo được không cao, điều này cho thấy sự thiếu hụt của Xi măng sẽ không đủ khả năng liên kết, đóng rắn các thành phần vật liệu lại với nhau.



Hình 3. Cường độ chịu nén của mẫu GKN sử dụng tro bay theo thời gian

Bảng 7. Cường độ chịu nén và tốc độ thấm hút nước của các mẫu GKN sử dụng tro trấu

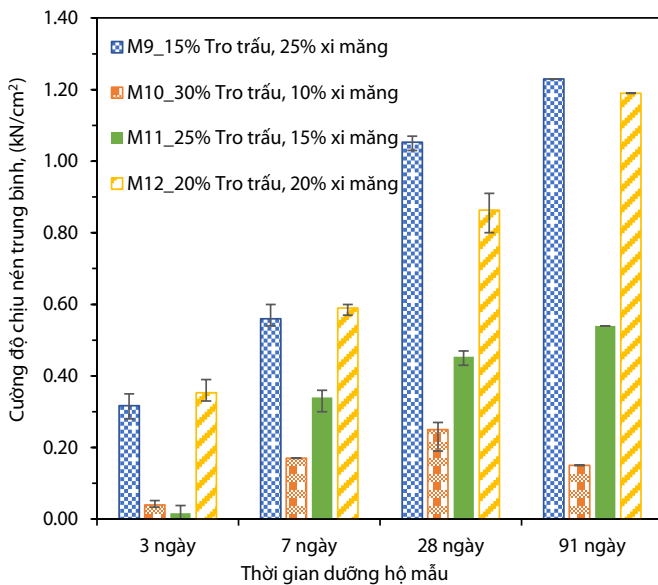
Tên mẫu	Cường độ nén trung bình sau thời gian dưỡng hộ, (kN/cm ²)				Tốc độ thấm nước sau 28 ngày, (L/m ² .h)
	Sau 3 ngày	Sau 7 ngày	Sau 28 ngày	Sau 91 ngày	
M9 (15% tro trấu, 25% xi măng)	0.32 ± 0.03	0.56 ± 0.03	1.05 ± 0.02	1.23 ± 0.00	Không thấm hút
M10 (30% tro trấu, 10% xi măng)	0.04 ± 0.01	0.17 ± 0.00	0.25 ± 0.04	0.15 ± 0.00	0.22
M11 (25% tro trấu, 15% xi măng)	0.02 ± 0.02	0.34 ± 0.03	0.45 ± 0.02	0.54 ± 0.00	Không thấm hút
M12 (20% tro trấu, 20% xi măng)	0.35 ± 0.03	0.59 ± 0.01	0.86 ± 0.05	1.19 ± 0.08	
Mẫu đối chứng M0	1.35 ± 0.35	1.28 ± 0.30	1.62 ± 0.16	1.95 ± 0.08	0.37
TCVN 6477:2016	≥ 1.50 kN/cm ² (mức gạch M15) ≥ 2.0 kN/cm ² (mức gạch M20)				0.35 (gạch xây không trát); 16 (gạch xây có trát)

Tro bay được sử dụng làm cốt liệu trong thí nghiệm E2. Kết quả cho thấy, nhóm cấp phối (M5 – M8) chịu ảnh hưởng rõ rệt từ tỷ lệ phối trộn xi măng và tro bay.

So sánh kết quả thí nghiệm của nhóm cấp phối (M5 – M8) với mẫu đối chứng M0 cho thấy tất cả 04 mẫu sử dụng tro bay này đều đạt yêu cầu về cường độ chịu nén của mức gạch bê tông từ M12.5 trở lên khi đối chiếu với TCVN 6477:2016. Tuy nhiên, kết quả đo độ thấm nước không khả quan khi tất cả các mẫu của cấp phối E2 đều không thể rút nước trong khoảng thời gian theo dõi (48 giờ). Điều này được giải thích là do khả năng vật liệu tro bay từ Nhà máy nhiệt điện sông Hậu 1 có độ mịn cao, đồng thời áp lực tạo mẫu trong nghiên cứu này cũng tương đối lớn nên khi vật liệu này kết hợp cùng xi măng đã thúc đẩy việc gia tăng khả năng kết dính hỗn hợp vật liệu thành 1 khối mẫu đặc, làm giảm đáng kể độ rỗng trong gạch thành phẩm. Bên cạnh đó, thời gian theo dõi thí nghiệm thấm nước ngắn (48 giờ), được áp dụng chung cho tất cả các mẫu trong nghiên cứu, do đó việc ghi nhận kết quả thấm nước sẽ bị giới hạn bởi ảnh hưởng của khoảng thời gian thử nghiệm.

3.1.3. Ảnh hưởng của tro trấu

Kết quả thí nghiệm trong cấp phối E3 với nguồn chất thải là tro trấu cho thấy ở thời điểm ổn định 3 ngày, cả 4 cấp phối đều thể hiện kết quả khá thấp, đặc biệt với các mẫu M10, M11 gần như không có khả năng chịu nén. Dây cấp phối E3 cũng cho thấy xu hướng tương tự E2 khi khả năng chịu nén sau thời gian dưỡng hộ 91 ngày của mẫu M9 và M12 đạt kết quả cao so với các mẫu còn lại (M9 đạt 1.23 kN/cm² và M12 đạt 1.19 kN/cm²). So sánh với TCVN 6477:2016, khi tỷ lệ tro trấu dao động từ 15 ÷ 25% thì cường độ chịu nén của 3/4 các mẫu gạch trong nhóm E3 đều đạt mức gạch tương ứng là M10.0 – đối với mẫu M9, M12 và M5.0 – đối với mẫu M11. Mặc dù các kết quả này của cấp phối E3 ghi nhận đều có xu hướng phát triển cường độ chịu nén, tuy nhiên khả năng chịu nén đối với thử nghiệm tro trấu lại thấp hơn khoảng từ 1 đến 2 lần so với các dây mẫu của cấp phối bùn thải (E1) và tro bay (E2). Bên cạnh đó, kết quả đo độ thấm nước của hầu hết các mẫu gạch đều không đạt.



Hình 4. Cường độ chịu nén của mẫu GKN sử dụng tro trấu theo thời gian

Qua thử nghiệm đánh giá đặc điểm kỹ thuật của GKN, phế phẩm tro trấu chưa cho thấy tính khả thi rõ rệt nhất khi sử dụng thay thế vật liệu truyền thống. Kết quả thí nghiệm đối với nhóm gạch E3 một lần nữa cho thấy sự kết hợp giữa kết cấu mềm mịn của tro trấu cùng áp lực tạo mẫu tương đối cao trong nghiên cứu này đã ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng thấm hút nước của gạch thành phẩm.

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Bài báo trình bày các kết quả thực nghiệm về cường độ chịu nén và độ thấm nước của gạch không nung được sản xuất từ bùn thải của Nhà máy nước, tro bay từ Nhà máy nhiệt điện và tro trấu. Kết quả nghiên cứu đã chứng minh khả năng thay thế một phần xi măng của các loại phế phẩm công và nông nghiệp này. Đặc biệt, các thành phần này đều đảm bảo an toàn môi trường với hàm lượng kim loại nặng nằm dưới ngưỡng nguy hại. Xét về sự vượt trội cường độ chịu nén thì tro bay chiếm ưu thế hơn bùn thải và tro trấu, điển hình là mẫu M8 (20% tro bay – 20% xi măng – 60% đá mi) đạt 3.30 kN/cm² sau 91 ngày. Điều này nhờ vào phản ứng pozzolan mạnh mẽ giữa các oxit kim loại trong tro bay và sản phẩm thủy hóa của xi măng, tạo nên cấu trúc vi mô đặc chắc. Bên cạnh đó thì bùn thải thể hiện sự tối ưu cho loại gạch tự chèn/lát nền, cụ thể với mẫu M4 (20% bùn thải – 20% xi măng – 60% đá mi) đạt cường độ chịu nén là 1.51 kN/cm² (tương đương mức M15.0) và có khả năng thấm hút nước vượt trội (180 L/m².h).

Dựa trên kết quả thực nghiệm, các hướng ứng dụng thực tế cho từng nhóm cấp phối được đề xuất như sau: Đối với nhóm cấp phối sử dụng bùn thải (E1), đặc biệt là mẫu M4 cho thấy khả năng ứng dụng làm vật liệu cho các giải pháp hạ tầng xanh như gạch tự chèn lát vỉa hè, sân bãi, công viên hoặc các khu vực cần thoát nước bề mặt nhanh để chống ngập ứng cục bộ mà vẫn đảm bảo khả năng chịu lực cho người đi bộ và phương tiện nhẹ. Ngược lại, nhóm cấp phối sử dụng tro bay (E2), tiêu biểu là mẫu M8 thích hợp cho các cấu kiện xây dựng chịu lực cao, gạch xây tường cho các công trình dân dụng và công nghiệp, hoặc các vị trí yêu cầu độ bền cao và khả năng chống thấm tốt từ môi trường bên ngoài.

Nhằm nâng cao cơ sở khoa học của nghiên cứu, nhóm tác giả cũng đề xuất các bước nghiên cứu chuyên sâu tiếp theo về cơ chế vi mô, đánh giá cấu trúc của gạch thành phẩm thông qua các phân tích hình thái bề mặt và cấu trúc lỗ rỗng bằng máy hiển vi điện tử quét SEM và phương pháp đo diện tích bề mặt, độ rỗng của vật liệu

(rắn, bột) thông qua quá trình hấp phụ vật lý khí N₂ dựa trên phương trình BET (Brunauer-Emmett-Teller).

Bên cạnh đó, việc phân tích hiệu quả kinh tế và đánh giá vòng đời của các mẫu gạch thành phẩm khi triển khai sản xuất ở quy mô công nghiệp và tính toán giảm thiểu lượng phát thải CO₂ so với gạch nung truyền thống để làm rõ giá trị “xanh” của gạch thành phẩm, cũng là hướng nghiên cứu tiềm năng tiếp theo. Ngoài ra, nhóm tác giả cũng đề xuất mở rộng hướng thực nghiệm đánh giá độ bền trong môi trường xâm thực đối với các mẫu gạch sử dụng bùn thải và tro bay nhằm đảm bảo tuổi thọ công trình. Việc kiểm định khả năng đóng rắn của các kim loại nặng bên trong cấu trúc gạch thành phẩm có đảm bảo an toàn và không phát thải ra môi trường xuyên suốt vòng đời của gạch cũng là một hướng nghiên cứu khả thi được đề xuất nghiên cứu từ kết quả bài báo này.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Tôn Đức Thắng trong Đề tài mã số FOSTECT.2025.14.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Crittenden J C et al 2012 MWH's water treatment: principles and design. (John Wiley & Sons)
- [2] Hegazy B et al. Brick manufacturing from water treatment sludge and rice husk ash. 2012, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 6 (3)
- [3] Lin C-F et al. Recovery of municipal waste incineration bottom ash and water treatment sludge to water permeable pavement materials., Waste Management, 26 (9). <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.09.014>, 2006.
- [4] Ramadan M O et al. Reuse of water treatment plant sludge in brick manufacturing., Journal of Applied Sciences Research, 4 (10), 2008.
- [5] Trang N T M et al. Reuse of waste sludge from water treatment plants and fly ash for manufacturing of adobe bricks. 2021, Chemosphere, 284. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131367>
- [6] Truong D N 2019 trong Kỷ yếu Hội thảo Bảo vệ môi trường trong khai thác, chế biến, sử dụng Than, Khoáng sản và Dầu khí, Tháng 8.2019
- [7] Luật Bảo vệ Môi trường 2020. Quốc hội nước Cộng hòa Xã hội Chủ nghĩa Việt Nam
- [8] Nguyen T D et al. Effect of fly ash on the strength of cement paste at early age., Journal of Mining and Earth Sciences, 61 (6),2020. DOI: 10.46326/JMES.HTCS2020.02
- [9] Ling I and Teo D. Reuse of waste rice husk ash and expanded polystyrene beads as an alternative raw material in lightweight concrete bricks. 2011, International Journal of Chemical and Environmental Engineering, 2 (5). <http://ir.unimas.my/id/eprint/3118>
- [10] Hossain Z and Islam K T Prospects of rice husk ash as a construction material. Sustainable Concrete Made with Ashes and Dust from Different Sources (Elsevier), 2022. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824050-2.00009-7>
- [11] Peng G and Yang J 2016 International Forum on Energy, Environment and Sustainable Development (Atlantis Press)
- [12] Huynh T P et al 2021 Proceedings of the 2nd International Conference on Sustainable Civil Engineering and Architecture (ICSCEA 2021); 2021 Oct 30
- [13] Andreola F et al. Recycling of industrial wastes in ceramic manufacturing: State of art and lass case studies., Ceramics International, 42 (12), 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.05.205>
- [14] Al-Zboon K et al. Recycling of stone cutting sludge in formulations of bricks and terrazzo tiles., Waste Management & Research, 28 (6), 2010. DOI: 10.1177/0734242X09350246