

TỔNG QUAN VỀ ẢNH HƯỞNG CỦA TRO SINH KHỐI ĐẾN ĐẶC TÍNH CƠ HỌC VÀ ĐỘ BỀN CỦA BÊ TÔNG

EFFECTS ON BIOMASS ASHES ON MECHANICAL CHARACTERISTICS AND DURABILITY OF CONCRETE: A REVIEW

ThS. Lê Hoài Bảo
ThS. Lê Tấn Truyền
TS. Ngô Văn Thức
TS. Lê Bảo Quốc
KS. Trương Văn Cảnh
Khoa Xây dựng - Trường ĐHXD Miền Tây
Email: lehoaiobao@mtu.edu.vn
Điện thoại: 0815 897 531

Ngày nhận bài: 01/06/2023
Ngày gửi phản biện: 06/06/2023
Ngày chấp nhận đăng: 16/06/2023

Tóm tắt:

Xi măng là vật liệu xây dựng tiêu tốn nhiều tài nguyên và năng lượng để sản xuất. Sản xuất xi măng đồng thời phát thải CO_2 vào khí quyển. Để giảm ô nhiễm môi trường và chi phí sản xuất xi măng, một số vật liệu có hàm lượng silic cao như tro bay, tro trấu, tro bã mía, tro rơm rạ được dùng để thay thế một phần xi măng do đặc tính Pozolan của chúng. Bài viết này trình bày tổng quan các nghiên cứu đã thực hiện về việc sử dụng một số loại tro sinh khối thay thế một phần xi măng trong bê tông và ảnh hưởng của chúng đến tính công tác, đặc tính cơ học và độ bền của bê tông. Dữ liệu thu thập được cho thấy rằng tính chất vật lý và hóa học của tro sinh khối bị ảnh hưởng bởi điều kiện nung, chủ yếu là nhiệt độ và thời gian nung và phương pháp nghiền. Tùy thuộc vào tính chất của từng loại tro mà cường độ và độ bền của bê tông có thể được cải thiện, với mức thay thế tối ưu từ 5-20% khối lượng xi măng.

Từ khóa: Tro bã mía, Tro rơm rạ, Tro trấu, Xi măng, Tính chất cơ học, Độ bền.

Abstract:

Cement is a building material that consumes a lot of resources and energy to produce. Cement production also emits CO₂ into the air atmosphere. In order to reduce environmental pollution and cement production costs, some materials with high silicon content such as fly ash, rice husk ash, sugarcane bagasse ash, rice straw ash are used to partially replace cement due to Pozolan properties. This paper presents an overview of the studies conducted on the use of some types of biomass ash as a partial replacement of cement in concrete and their effects on workability, mechanical properties and durability of concrete. The collected data show that the physical and chemical properties of biomass ash are affected by the calcination conditions, mainly the calcination temperature and time and the grinding method. Depending on the properties of each type of ash, the strength and durability of concrete can be improved, with an optimal replacement rate of 5-20% by weight of cement.

Keywords: *Rice straw ash, Sugarcane bagasse ash, Rice husk ash, Cement, Mechanical properties, Durability.*

1. Giới thiệu

Bê tông là vật liệu được sử dụng rộng rãi nhất trong ngành xây dựng sau nước do độ bền, tính chất cơ học tốt và giá thành rẻ [1]. Theo Hiệp hội Xi măng và Bê tông toàn cầu, 14 tỷ m³ bê tông và 4,2 tỷ tấn xi măng được sản xuất trên toàn thế giới vào năm 2020 [2]. Xi măng là thành phần của bê tông tạo ra lượng khí thải carbon lớn nhất; việc sản xuất xi măng đòi hỏi một lượng đáng kể nguyên liệu và năng lượng, và quá trình này dẫn đến việc giải phóng một lượng lớn CO₂ vào khí quyển, góp phần gây ra các vấn đề môi trường liên quan đến hiệu ứng nhà kính. Ngành công nghiệp xi măng toàn cầu chiếm khoảng 5-8% lượng khí thải CO₂ vào khí quyển [3]. Tùy thuộc vào nguồn năng lượng sản xuất xi măng, lượng CO₂ thải ra được ước tính từ 500 - 900 kg CO₂/tấn xi măng [4]. Để giải quyết các tác động môi

trường và giảm nguồn tài nguyên thiên nhiên liên quan đến sản xuất xi măng, cần phát triển các vật liệu bổ sung thay thế để đảm bảo phát triển bê tông bền vững. Nhiều phụ phẩm công nghiệp như tro bay đã được sử dụng trong nhiều thập kỷ để thay thế một phần xi măng trong bê tông nhưng lượng tro bay đang giảm dần do các nhà máy nhiệt điện chạy bằng than đang bị đóng cửa trên toàn thế giới [5]. Trong khi đó, tro sinh khối (sản phẩm phụ của quá trình đốt cháy trấu, bã mía, rơm rạ,...) có thể là một giải pháp thay thế. Việc sử dụng tro sinh khối khó kiểm soát chất lượng hơn so với tro nhiệt điện do chất lượng phụ thuộc vào loài sinh khối, phương thức, thời gian và nhiệt độ đốt [6]. Từ cây mía, đường được chiết xuất và bã xơ thu được khoảng 40-45%. Sau khi đốt phần còn lại, 8-10% tro được hình thành được gọi là tro bã mía [7]. Rơm rạ sau khi

đốt có khoảng 15% tro, như vậy cứ 1000 kg rơm rạ đốt sẽ tạo ra 150 kg tro rơm rạ [8]. Trấu là sản phẩm phụ của các nhà máy xay xát gạo, 1000 kg thóc cho ra khoảng 200 kg trấu, sau khi đốt trấu tạo ra khoảng 50 kg tro trấu, tức là khoảng 25% tro được hình thành từ trấu [9]. Khi chuyển đổi các sinh khối thành tro, quá trình đốt cháy sẽ loại bỏ các chất hữu cơ và để lại cặn giàu silic, góp phần vào phản ứng Pozzolan.

Tính chất pozzolanic của tro được xác định bởi hàm lượng silic vô định hình, tỷ diện bề mặt riêng, độ mịn của hạt; chúng có thể được cải thiện bằng cách sử dụng quá trình đốt cháy và nghiền có kiểm soát để sử dụng cho bê tông. Có một số nghiên cứu về việc sử dụng tro sinh khối khác nhau để thay thế một phần xi măng. Việc xem xét các tài liệu cho thấy chưa có nhiều nghiên cứu đánh giá toàn diện ảnh hưởng của các loại tro đến đặc tính của bê tông. Vì vậy, nghiên cứu này đã tiến hành xem xét sâu rộng các tài liệu về tro trấu, tro bã mía, tro rơm rạ; tập trung vào các đặc tính hạt và ảnh hưởng của chúng đối với các đặc tính tươi, cường độ và độ bền của bê tông khi tro được sử dụng để thay thế một phần xi măng.

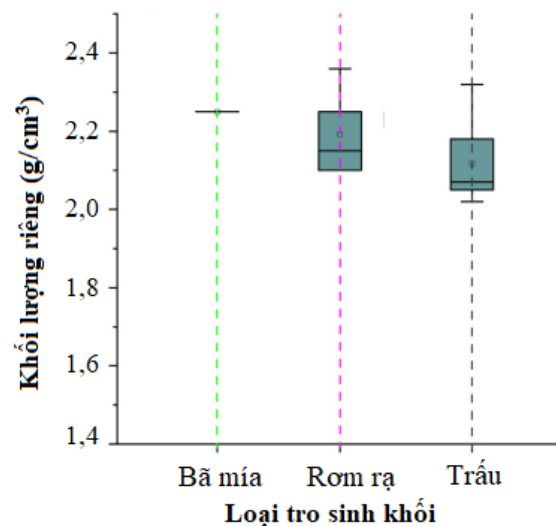
2. Một số đặc tính của tro

2.1. Tính chất vật lý

Hình 1 cho thấy rằng, khối lượng riêng của ba loại tro sinh khối gồm tro bã mía, tro rơm rạ, tro trấu nằm trong khoảng từ 2-2,3 g/cm³, thấp hơn nhiều so với xi măng Portland thông thường (3,1 g/cm³).

Trong một nghiên cứu được thực hiện bởi Lo và cộng sự [10], 99% hạt tro trấu

có thể lọt qua sàng 45 μ m, giống với kích thước hạt silica fume và xi măng. Với tro rơm rạ, kích thước hạt trung bình thấp hơn gần 5 lần so với xi măng [11]. Theo yêu cầu của ASTM C618 -19 [12], các vật liệu có kích thước hạt nhỏ hơn 45 μ m đủ điều kiện làm vật liệu pozolan.



Hình 1. Khối lượng riêng của một số loại tro sinh khối [13]

2.2. Hàm lượng mất khi nung

Hàm lượng mất khi nung (LOI) thể hiện hàm lượng hữu cơ không cháy hết trong tro, đây là kết quả của quá trình đốt cháy không được kiểm soát hoặc không hoàn toàn và nó có thể thay đổi tùy vào nhiệt độ đốt [14]. Các phương pháp thử nghiệm theo tiêu chuẩn ASTM C311 [15] và EN 196-2 [16] quy định nhiệt độ đốt tro để đo LOI lần lượt là 750 ± 50 °C và 950 ± 25 °C. Nguyep và cộng sự [17] cho rằng nếu giá trị LOI lớn hơn 12%, hoạt tính Pozolan giảm do carbon không cháy hết và lúc này tro đóng vai trò như chất độn trong hỗn hợp bê tông. Trong khi đó, tiêu chuẩn

ASTM C618-19 [12] quy định rằng LOI của puzolan tự nhiên phải dưới 10%. Lượng carbon không cháy cao trong tro có thể ảnh hưởng đáng kể đến đặc tính cơ học, độ bền, khả năng thi công, thời gian đông kết của bê tông. Ngoài ra, LOI cao có thể trì hoãn quá trình hydrat hóa và tác động đến hiệu quả của các phụ gia hóa học [14].

2.3. Thành phần hóa học

Thành phần hóa học của một số loại tro sinh khối được trình bày trong Bảng 1, kết quả tổng hợp cho thấy tro trấu chứa đến khoảng 90% silic, cao nhất trong số

tất cả các tro sinh khối được khảo sát. Tro bã mía (54,4-71%), tro rơm rạ (65,9-77%) cũng cho thấy một lượng đáng kể silic. Tro bã mía chứa 4-12% canxi oxit (CaO), lớn hơn các loại khác, sự hiện diện của lượng CaO cao hơn có thể mang lại khả năng phản ứng thủy hóa lớn hơn. ASTM C618-19 [12] khuyến nghị rằng tổng hàm lượng của SiO_2 , Al_2O_3 và Fe_2O_3 không được thấp hơn 70% để được sử dụng làm vật liệu puzolan tự nhiên. Bảng 1 cho thấy tro bã mía, tro rơm và tro trấu đáp ứng các yêu cầu của ASTM C618.

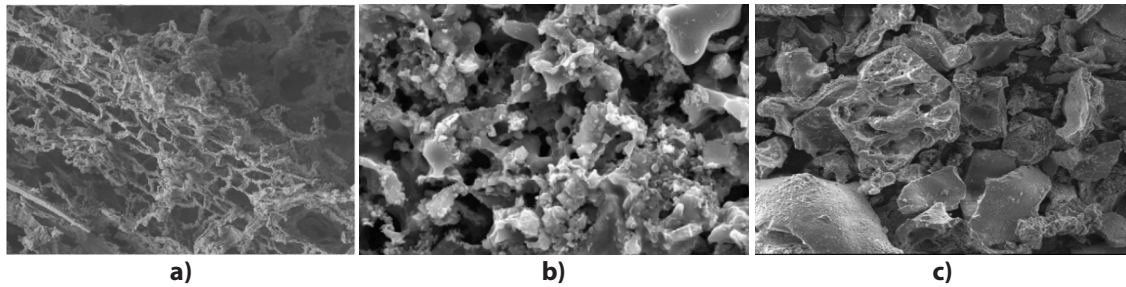
Bảng 1. Thành phần hóa học của một số loại tro [13, 18-20]

Loại tro	Thành phần (%)								
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O	SO_3	MgO	LOI
Tro bã mía	54,4	9,1	5,5	12,4	-	1,3	4,1	2,9	9,4
	58,6	9,0	8,4	4,6	-	5,4	1,9	-	6,5
	64,7	9,62	4,54	4,11	0,16	5,37	2,64	2,79	0,89
	71,0	2,08	2,25	12,44	0,56	3,1	4,35	2,01	0,52
Tro rơm rạ	77,0	0,69	0,63	4,96	1,36	8,89	1,9	2,65	1,4
	65,9	1,78	0,2	2,4	-	-	0,69	3,11	9,7
	69,2	5,3	0,9	3,46	3,43	6,4	-	2,81	8,5
Tro trấu	87,14	0,89	0,34	1,12	1,1	2,51	0,28	0,49	5,15
	92,95	0,31	0,26	0,53	0,08	2,06	-	0,55	1,97
	92,4	0,78	1,06	1,38	0,04	1,63	0,06	1,09	8,93
	87,3	0,15	0,16	1,4	1,12	3,68	0,24	0,57	2,76

2.4. Cấu trúc vi mô

Phân tích cấu trúc vi mô (SEM) của tro cung cấp thông tin về cấu trúc, hình dạng của chúng. Hình ảnh SEM của tro bã mía cho thấy cấu trúc chủ yếu là dạng sợi có

thớ, bề mặt có các lỗ nông lớn. Trong khi tro rơm rạ là vật liệu xốp, có cấu trúc hình kim. Hình ảnh tro trấu dưới kính hiển vi cho thấy dạng cấu trúc không đều, bề mặt xốp.



Hình 2. Cấu trúc vi mô của tro sinh khối a) tro bã mía, b) tro rơm rạ, c) tro trấu [13]

3. Ảnh hưởng của tro sinh khối đến đặc tính của bê tông

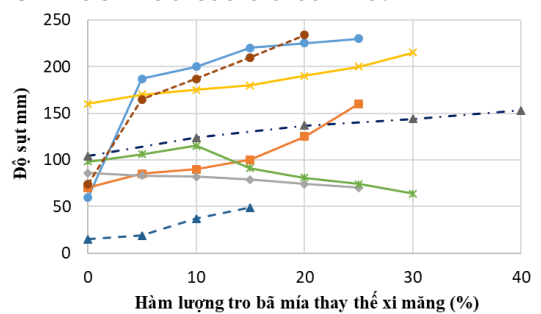
3.1. Thời gian đông kết

Thời gian đông kết của hồ xi măng có ý nghĩa trong sự phát triển cường độ sớm. Như được chỉ định trong EN 197-1 [21], thời gian bắt đầu đông kết của vật liệu bổ sung không được dài hơn gấp đôi thời gian bắt đầu đông kết của hồ xi măng. Theo nghiên cứu của Šupic và cộng sự [22], việc kết hợp tro sinh khối làm vật liệu bổ sung giúp kéo dài thời gian đông kết ban đầu và cuối cùng của hồ xi măng nhưng vẫn đáp ứng tiêu chuẩn EN 197-1. Tro sinh khối chứa một lượng Al_2O_3 tương đối thấp hơn xi măng, trong khi đó Al_2O_3 hỗ trợ đông kết nhanh bằng cách tạo thành tricanxi aluminat. Do thay thế xi măng bằng tro sinh khối nên nồng độ Al_2O_3 giảm, dẫn đến thời gian đông kết tăng. Đồng thời vì quá trình hydrat hóa của vật liệu puzolan mất nhiều thời gian hơn nên làm chậm thời gian đông kết. Thời gian đông kết kéo dài có thể là một lợi thế vì làm cho vật liệu gốc xi măng có thể sử dụng được trong thời gian dài hơn.

3.2. Tính công tác

Dựa trên các kết quả nghiên cứu,

Jahanzaib và cộng sự [23] đánh giá ảnh hưởng của tro bã mía đến tính công tác của bê tông. Nhìn chung, kết quả thông qua Hình 3 cho thấy độ sụt của bê tông tăng lên cùng với hàm lượng tro bã mía được thêm vào. Tuy nhiên, trong các nghiên cứu trước khác, người ta đã quan sát thấy rằng nhu cầu nước tăng lên khi tăng tỷ lệ thay thế tro bã mía, làm giảm khả năng thi công [24-25]. Nguyên nhân của sự khác nhau này được cho là giá trị LOI khác nhau của tro bã mía.

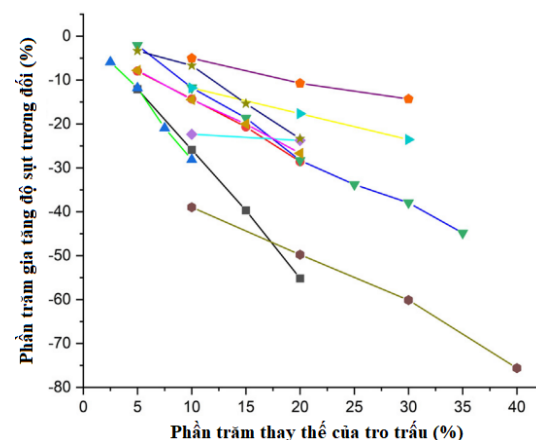
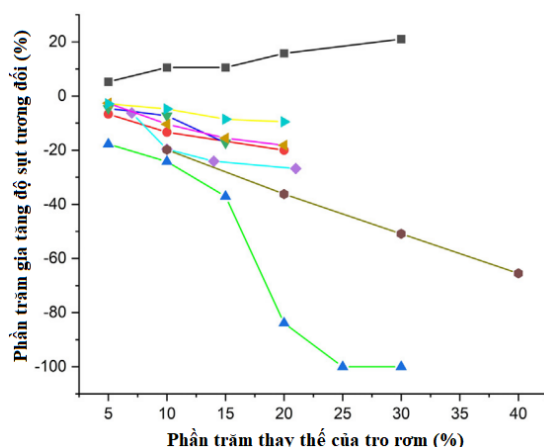


Hình 3. Ảnh hưởng của hàm lượng tro bã mía đến độ sụt của bê tông [23]

Các kết quả nghiên cứu về tính công tác của của bê tông khi thay thế một phần xi măng bằng tro trấu và tro rơm được Adhikary và cộng sự [13] tập hợp và thể hiện trong Hình 4, mỗi đường trong biểu đồ là kết quả của một nghiên cứu. Khác với tro bã mía, có thể thấy rõ sự suy

giảm khả năng làm việc của bê tông khi kết hợp các loại tro rơm và tro trấu khác nhau. Khi thay thế xi măng ở mức 10-15%, tính công tác của bê tông giảm với phần trăm tương ứng. Các mẫu bê tông chứa 25% và 30% tro rơm và tro trấu hoàn toàn

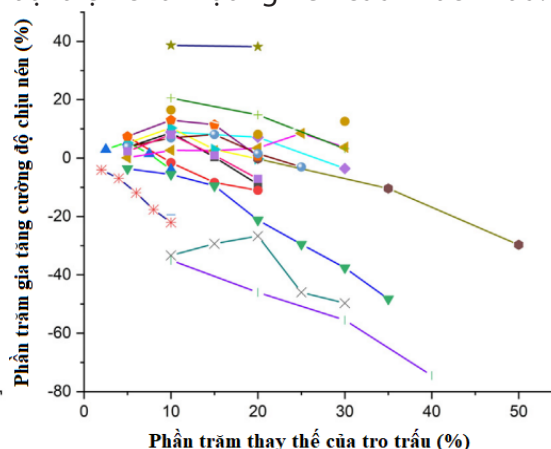
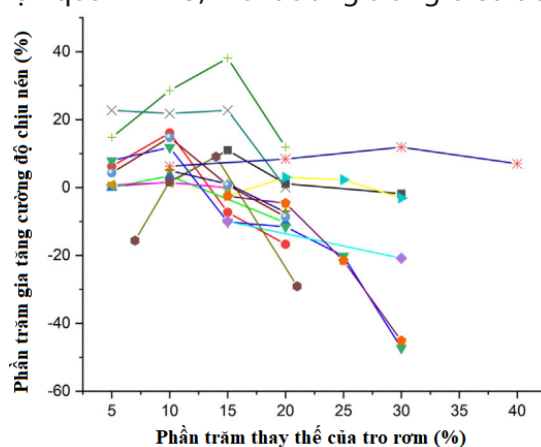
mất tính công tác. Do đặc tính mịn, xốp, hình dạng góc cạnh và không đồng đều của tro rơm và tro trấu dẫn đến diện tích bề mặt riêng lớn, điều này làm chúng hấp thụ một lượng nước trộn nhất định trên bề mặt, gây giảm lượng nước tự do.



Hình 4. Tính công tác của bê tông khi bổ sung tro rơm và tro trấu [13]

3.3. Tính chất cơ học

Ảnh hưởng của việc bổ sung tro rơm và tro trấu đến cường độ của bê tông được thể hiện qua Hình 5, mỗi đường trong biểu đồ đại diện cho một nghiên cứu khác nhau.

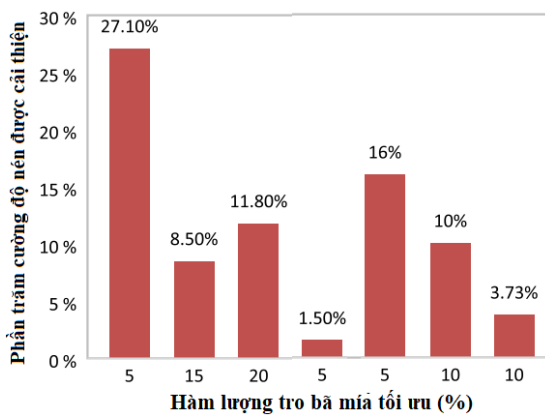


Hình 5. Cường độ nén của bê tông khi kết hợp tro sinh khối tại 28 ngày tuổi [13]

Hình 5 cho thấy phần lớn khi thay thế xi măng bằng 5-15% tro rơm và tro trấu, cường độ nén của bê tông được cải thiện. Tỷ lệ thay thế tối ưu có thể quan sát thấy

ở mức 10% cùng với mức tăng của 15% cường độ. Tương tự đối với trường hợp tro bã mía, hàm lượng tối ưu nằm trong khoảng 5-20% (Hình 6). Đối với mức thay

thể 25% và 30% bằng tro bã mía, cường độ nén và kéo đạt được thấp hơn so với bê tông đối chứng [26]. Nhìn chung, khi thay thế quá 20% xi măng, cường độ nén có sự sụt giảm mạnh. Sự gia tăng cường độ nén có thể là do sự hình thành C-S-H gây ra bởi phản ứng giữa silic của tro sinh khối với $\text{Ca}(\text{OH})_2$ trong thủy hóa xi măng. Sự suy giảm cường độ sau mức thay thế tối ưu được cho là do việc giảm các thuộc tính kết dính so với xi măng.



Hình 6. Hàm lượng tro bã mía tối ưu cho bê tông từ 7 nghiên cứu khác nhau [23]

Đối với trường hợp cường độ chịu uốn và chịu kéo của bê tông, theo các nghiên cứu trước đây, hầu hết mức thay thế tối ưu xi măng bằng tro sinh khối ở 10%. Khi thay thế ở mức trên 15%, cường độ chịu uốn và kéo sụt giảm [13].

3.4. Độ bền theo thời gian

Trong một nghiên cứu được thực hiện bởi Christopher & Kimberly [27], người ta thấy rằng việc sử dụng tro sinh khối thay thế cho xi măng trong bê tông dẫn đến tỷ lệ hấp thụ nước giảm khi so sánh với hỗn hợp bê tông đối chứng. Cụ thể, khi tỷ lệ tro bã mía tăng lên, khả năng hấp

thụ nước giảm. Tỷ lệ hấp thụ nước đối với hỗn hợp chứa 10%, 20%, 30% và 40% tro bã mía giảm dần lần lượt là 9%, 8%, 14% và 15% so với hỗn hợp đối chứng [28]. Gansan và cộng sự [29] nhận thấy sự gia tăng tỷ lệ hấp thụ nước với sự gia tăng hàm lượng tro bã mía sau 28 ngày bảo dưỡng do tính chất hút ẩm của chúng. Khả năng hấp thụ nước giảm dần với sự gia tăng hàm lượng tro bã mía đã được ghi nhận ở bê tông 90 ngày tuổi, điều này được cho là do các khoảng trống không khí trong bê tông bị lấp đầy bởi tro.

Mohamed và cộng sự [30] đã nghiên cứu sử dụng tro rơm thay thế xi măng trong hỗn hợp bê tông và đã cải thiện tính thấm clorua và tính thấm nước trong tất cả các hỗn hợp và sự cải thiện đó tăng lên cùng với mức độ thay thế ngày càng tăng. Các kết quả cho thấy tính thấm clorua trong hỗn hợp xi măng giảm lần lượt 15%, 26%, 35%, 43% và 49% khi sử dụng tro rơm ở các mức thay thế là 10%, 20%, 30%, 40% và 50%. Trong khi đó tính thấm nước giảm 10%, 15%, 19%, 22% và 26% ở các mức thay thế tương ứng.

Givi và cộng sự [31] đã báo cáo rằng, với việc bổ sung tro trấu 15-20% (kích thước hạt trung bình 5 μm) có độ hút nước thấp hơn 20% so với bê tông đối chứng. Tuy nhiên, với cỡ hạt trung bình 95 μm độ hút nước của bê tông chứa tro trấu lớn hơn. Điều này cho thấy độ mịn của tro trấu có ảnh hưởng đến độ hút nước của bê tông. Nghiên cứu của Stanish và cộng sự [32] cho rằng các mẫu bê tông và vữa chứa tro trấu có khả năng

chống sự xâm nhập clorua tốt hơn các mẫu đối chứng ở các mức thay thế lên đến 40% và bất kể tỷ lệ nước-xi măng, và ở tất cả các tuổi bảo dưỡng.

4. Kết luận

Trên cơ sở xem xét các tính chất của tro sinh khối và ảnh hưởng của nó khi thay thế một phần xi măng đến tính chất của bê tông, có thể rút ra các kết luận như sau:

1) Các tính chất vật lý và hóa học của tro bã mía, tro rơm rạ, tro trấu phụ thuộc vào nhiệt độ đốt và công nghệ nghiền nhưng hầu hết đáp ứng các tiêu chí của ASTM 618 để được sử dụng làm puzolan tự nhiên. Cấu trúc vi mô của tro sinh khối khác nhau, tuy nhiên, hầu hết cho thấy sự hiện diện của các hạt có dạng sợi và không đều.

2) Đánh giá toàn diện này cho thấy

rằng việc kết hợp tro sinh khối làm tăng thời gian đông kết và làm giảm tính công tác của hỗn hợp bê tông do diện tích bề mặt lớn và sự phân bố hạt không đồng đều nên tạo ra ma sát lớn hơn giữa các hạt. Do đó, để đạt được khả năng làm việc cần thiết, hỗn hợp chứa tro sinh khối cần nhiều nước hơn.

3) Các đặc tính cơ học của bê tông như cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo và cường độ chịu uốn của bê tông tăng khi thay thế xi măng bằng tro sinh khối ở mức 5-20% (tùy thuộc vào đặc tính của từng loại tro). Trong hầu hết các trường hợp, khi tỉ lệ thay thế vượt quá 20%, cường độ của bê tông bắt đầu giảm mạnh. Đồng thời, các tính chất về độ bền như kháng nước, kháng axit và xâm nhập clorua tăng lên do các hạt mịn của tro sinh khối giúp lấp đầy các lỗ rỗng của bê tông.

Tài liệu tham khảo

- [1]. S. Thomas, J. Yang, K. H. Mo, J. A. Abdalla, R. A. Hawileh, E. Ariyachandra, "Biomass Ashes from Agricultural Wastes as Supplementary Cementitious Materials or Aggregate Replacement in Cement/Geopolymer Concrete: A Comprehensive Review", *J. Build. Eng.* 40, 102332, 2021.
- [2]. Global Cement and Concrete Association, "Cement and concrete around the world". <https://gccassociation.org/concretefuture/cement-concrete-around-the-world/> (Truy cập ngày 23/7/2023).
- [3]. de Brito, J.; Kurda, R. "The Past and Future of Sustainable Concrete: A Critical Review and New Strategies on Cement-Based Materials", *J. Clean. Prod.* 281, 123558, 2021.
- [4]. Tripathi, N.; Hills, C.D.; Singh, R.S.; Singh, J.S. "Offsetting Anthropogenic Carbon Emissions from Biomass Waste and Mineralised Carbon Dioxide", *Sci. Rep.* 10, 958, 2020.
- [5]. Lazik, P.-R.; Bošnjak, J.; Cetin, E.; Küçük, A. "Application of Wood Ash as a Substitute For Fly Ash And Investigation of Concrete Properties", *Otto-Graf-J.* 19, 103–118, 2020.
- [6]. Siddika, A.; Al Mamun, A.; Alyousef, R.; Mohammad Hosseini, H. "State-of-the-

art-review on rice husk ash: A supplementary cementitious material in concrete", *J. King Saud Univ. Eng. Sci.* 33, 294–307, 2020.

[7]. J. Torres Agredo, R.M. de Gutiérrez, C.E. Escandón Giraldo, L.O. González Salcedo, "Characterization of sugar cane bagasse ash as supplementary material for Portland cement", *Ing. e Investig.* 34, 5–10, 2014.

[8]. Ranasinghe, A. P. "Use of rice straw as pozzolana". M. Eng. Thesis No. St-85-1, Asian Institute of Technology, Bangkok, 1993.

[9]. Gonzalves MRF, Bergmann CP. "Thermal insulators made with rice husk ashes: production and correlation between properties and microstructure", *Constr Build Mater.* 21(12):2059–2065, 2007.

[10]. o, F.C., Lee, M.G., Lo, S.L., "Effect of coal ash and rice husk ash partial replacement in ordinary Portland cement on pervious concrete", *Constr. Build. Mater.* 286, 122947, 2021.

[11]. Pandey, A., Kumar, B., "Effects of rice straw ash and micro silica on mechanical properties of pavement quality concrete", *J. Build. Eng.* 26, 100889, 2019.

[12]. ASTM C618–19, 2019. "Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. West Conshohocken, PA.

[13]. Adhikary, S.K.; Ashish, D.K.; Rudžionis, Ž., "A Review on Sustainable Use of Agricultural Straw and Husk Biomass Ashes: Transitioning towards Low Carbon Economy", *Sci. Total Environ.* 838, 156407, 2022.

[14]. Carević, I.; Serdar, M.; Štirmer, N.; Ukrainczyk, N. "Preliminary Screening of Wood Biomass Ashes for Partial Resources Replacements in Cementitious Materials", *J. Clean. Prod.* 229, 1045–1064, 2019.

[15]. ASTM C311, Standard Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use in Portland-Cement Concrete 1. ASTM: West Conshohocken, PA, USA, 2009.

[16]. EN 196-2, Method of Testing Cement-Part 2: Chemical Analysis of Cement. British Standards Institution: Loughborough, UK, 2013.

[17]. Ngueyep, M.; Leroy, L. "Valorization of Wood Ashes as Partial Replacement of Portland Cement: Mechanical Performance and Durability", *Eur. J. Sci. Res.* 151, 468–478, 2019.

[18]. El-Sayed, M. A., & El-Samni, T. M. "Physical and Chemical Properties of Rice Straw Ash and Its Effect on the Cement Paste Produced from Different Cement Types," *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 19(1), 21–29, 2006.

[19]. M. I. Morsy M. A. Rashwan, "Replacement effect of cement by rice straw ash on cement mortar properties," *Misr J. Ag. Eng.*, Vol 32(4), 1685-1708, 2015.

[20]. Konsta-Gdoutos, M.S., Metaxa, Z.S., Shah, S.P. "Highly dispersed carbon

nanotube reinforced cement based materials," *Cem Concr Res.*40:1052–9, 2010.

[21]. EN 197-1:2011, "Cement Composition, Specifications and Conformity Criteria for Common Cements," European Committee for Standardization (CEN): Brussels, Belgium, 2011.

[22]. Šupi'c, S., Malešev, M., Radonjanin, V., Bulatović, V., & Milović, T. "Reactivity and Pozzolan Properties of Biomass Ashes Generated by Wheat and Soybean Straw Combustion," *Materials*, 14(4), 1004, 2021.

[23]. Jahanzaib Khalil, M., Aslam, M., & Ahmad, S., "Utilization of sugarcane bagasse ash as cement replacement for the production of sustainable concrete – A review," *Construction and Building Materials*, 121371, 2020.

[24]. Landa-Ruiz, L., Landa-Gómez, A., Mendoza-Rangel, J. M. et al., "Physical, mechanical and durability properties of eco friendly ternary concrete made with sugar cane bagasse ash and silica fume," *In Crystals*, 11 (9), 2021.

[25]. Jha, P., Sachan, A. K., & Singh, R. P., "Agro-waste sugarcane bagasse ash (ScBA) as partial replacement of binder material in concrete," *Materials Today: Proceedings*, 44, 419–427, 2021.

[26]. K. Ganesan, K. Rajagopal, K. Thangavel, "Evaluation of bagasse ash as supplementary cementitious material," *Cem. Concr. Compos.* 29 (6), 515–524, 2007.

[27]. Christopher, R. S. & Kimberly, E. K., "Use of Biomass and Co-Fired Fly Ash in Concrete," *Aci Materials*, 112(2), 209-218, 2015.

[28]. Tareg Abdalla Abdalla et al., "Mechanical Properties of Eco-friendly Concrete Made with Sugarcane Bagasse Ash," *Civil Engineering Journal*, vol. 8, no. 6, 1227–1239, 2022.

[29]. K. Ganesan, K. Rajagopal, K. Thangavel, "Evaluation of bagasse ash as supplementary cementitious material," *Cem. Concr. Compos.* 29, 515-524, 2007.

[30]. Mohamed, A. et al., "Effect of rice straw ash and palm leaf ash on the properties of ultrahigh-performance concrete," *Case Studies in Construction Materials*, 17, e012662, 2022.

[31]. Givi, A. N., Rashid, S. A., Aziz, F. N. A., & Salleh, M. A. M., "Assessment of the effects of rice husk ash particle size on strength, water permeability and workability of binary blended concrete," *Construction and Building Materials*, 24(11), 2145–2150, 2010.

[32]. Stanish, K. D., Hooton, R. D., & Thomas, M. D. A., "Testing the chloride penetration resistance of concrete: A literature review," *Department of Civil Engineering*, University of Toronto, 2001.