

Chế tạo và đánh giá viên nhiên liệu RDF từ phụ phẩm gỗ và một số thành phần rác thải sinh hoạt đã phân loại

Nguyễn Hồng Đức*, Nguyễn Hồng Quân, Đinh Quang Hưng, Lý Bằng, Nguyễn Thành Hiếu

Đại học Bách khoa Hà Nội, 1 Đại Cồ Việt, phường Bạch Mai, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 20/8/2025; ngày chuyển phản biện 21/8/2025; ngày nhận phản biện 5/9/2025; ngày chấp nhận đăng 10/9/2025

Tóm tắt:

Nghiên cứu này đánh giá khả năng sản xuất viên nén nhiên liệu từ mùn cưa, mùn gỗ (cành cắt tỉa) và các thành phần của rác sinh hoạt sau phân loại (vỏ hộp sữa, nhãn chai/nilon). Nguyên liệu được tiền xử lý, phối trộn theo các tỷ lệ 7:3-10:0 và ép nén gia nhiệt trong dải 110-200°C (khảo sát tới 250°C). Các chỉ tiêu đánh giá gồm: nhiệt trị, tỷ trọng viên, độ ẩm, độ tro và độ bền cơ học; kết quả được đối chiếu với tiêu chuẩn Nhật Bản (JP), Hàn Quốc (KR) và Liên minh châu Âu (EU). Điều kiện phù hợp để tạo viên có hình thái tốt và đạt yêu cầu là 8:2 (mùn cưa/chất kết dính) ở 150-200°C và 9:1 (mùn gỗ/nhãn chai) ở 120-150°C. Phần lớn mẫu có ẩm <10%, độ bền ≥97% và nhiệt trị 16,85-24,68 MJ/kg; một số phối trộn có tro cao hơn ngưỡng dân dụng của JP/EU nhưng phù hợp cho công nghiệp/đồng đốt theo chuẩn KR. Hoạt động này góp phần thu hồi năng lượng và gia tăng giá trị cho dòng chất thải khó tái chế, với lợi ích kinh tế và môi trường đáng kể.

Từ khóa: cành cây, mùn cưa, rác thải sinh hoạt, viên nén nhiên liệu.

Chỉ số phân loại: 2.4, 2.7

Production and characterisation of fuel pellets from wood residues and selected fractions of sorted household waste

Hong Duc Nguyen*, Hong Quan Nguyen, Quang Hung Dinh, Bang Ly, Thanh Hieu Nguyen

Hanoi University of Science and Technology, 1 Dai Co Viet Street, Bach Mai Ward, Hanoi, Vietnam

Received 20 August 2025; revised 5 September 2025; accepted 10 September 2025

Abstract:

This study evaluates the feasibility of producing refuse-derived fuel (RDF) pellets from sawdust, wood residues derived from pruned branches, and sorted household waste fractions (laminated milk cartons and plastic labels/films). Feedstocks were pre-treated and blended at ratios ranging from 7:3 to 10:0, and hot-compressed at temperatures of 110-200°C (with additional trials conducted up to 250°C). The evaluated parameters included higher heating value (HHV), pellet density, moisture content, ash content, and mechanical durability; and the results were compared with Japanese (JP), Korean (KR), European (EU) standards. Process windows that consistently yielded well-formed pellets that met quality requirements were an 8:2 ratio of sawdust to -derived binder at 150-200°C and a 9:1 of wood residues from pruned branches to bottle labels at 120-150°C. Most samples exhibited moisture contents below 10%, mechanical durability of at least 97%, and HHVs ranging from 16.85 to 24.68 MJ/kg. Several blends showed ash contents exceeding the residential-use limits specified by JP and EU standards, but remained suitable for industrial use and co-firing according to KR standards. This approach contributes to energy recovery and value addition for difficult-to-recycle waste streams, offering significant economic and environmental benefits.

Key words: fuel pellets, household waste, saw dust, wood residues.

Classification numbers: 2.4, 2.7

*Tác giả liên hệ: Email: duc021101@gmail.com

1. Đặt vấn đề

1.1. Khái niệm và phân loại viên nén nhiên liệu

Trong thực tiễn, sự ra đời của viên đốt và các loại nhiên liệu có nguồn gốc từ chất thải phản ánh nhu cầu cấp thiết trong việc giảm thiểu, tái chế và xử lý khối lượng chất thải rắn sinh hoạt ngày càng gia tăng. Về khái niệm, mặc dù RDF (Refuse-derived fuel) đã xuất hiện từ khá lâu nhưng cho đến nay vẫn chưa có một định nghĩa thống nhất, bởi cách hiểu còn phụ thuộc vào công nghệ, phương pháp xử lý và quy chuẩn của từng quốc gia. Tuy nhiên, theo Tổng cục Môi trường của Ủy ban châu Âu, RDF được định nghĩa là: “Nhiên liệu có nguồn gốc từ rác thải bao gồm nhiều loại vật liệu phế thải đã được xử lý để đáp ứng các hướng dẫn, quy định hoặc thông số kỹ thuật của ngành, chủ yếu nhằm đạt được giá trị nhiệt lượng cao. Nhiên liệu có nguồn gốc từ rác thải bao gồm thành phần tái chế từ chất thải sinh hoạt, chất thải công nghiệp, bùn thải, chất thải nguy hại công nghiệp, chất thải sinh khối,...” [1]. Đồng thời, trong các tài liệu quốc tế, RDF thường được hiểu là một phạm trù rộng, bao trùm nhiều loại vật liệu thải đã qua xử lý để đạt giá trị nhiệt lượng cao. Tại các quốc gia nói tiếng Anh, thuật ngữ RDF thường được dùng để chỉ phần có nhiệt trị cao đã được phân tách từ MSW (Municipal solid waste) sau xử lý. Ngoài RDF, một số thuật ngữ khác cũng được sử dụng để chỉ nhiên liệu có nguồn gốc từ MSW như Recovered fuel (REF), Packaging derived fuel (PDF), Paper and plastic fraction (PPF) hay Processed engineered fuel (PEF) [1].

Trong phạm vi nghiên cứu này, nhóm tác giả không tiếp cận RDF theo nghĩa rộng như trong các tài liệu quốc tế, mà tập trung vào khả năng sản xuất viên nén nhiên liệu từ những nguồn nguyên liệu cụ thể và sẵn có ở Việt Nam. Các nguyên liệu được lựa chọn bao gồm cành cây cắt tỉa trong hoạt động trồng trọt, mùn cưa từ chế biến lâm sản, cùng với một số thành phần được phân loại từ rác thải sinh hoạt như nylon, hộp sữa và nhựa có giá trị thấp. Theo cách hiểu trong bài viết, có thể định nghĩa viên nén nhiên liệu như sau: “Viên nén nhiên liệu là một loại nhiên liệu sinh học có nguồn gốc từ chất thải, bao gồm nhiều loại vật liệu phế thải đã được xử lý nhằm đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật nhất định, chủ yếu để đạt được giá trị nhiệt lượng cao. Các nguồn chất thải sử dụng trong nghiên cứu này bao gồm: chất thải nông nghiệp (thân cây xanh, rơm rạ, trấu, vỏ cà phê, vỏ dừa, bã mía...), chất thải lâm nghiệp (mùn cưa, dăm gỗ, cành cây, vỏ cây...) và một số loại chất thải rắn đô thị (giấy thải, bìa cứng, nhựa khó tái chế, hộp sữa, nylon...)”.

Về phân loại, RDF có thể được sản xuất ở hai dạng chính: dạng tơi (fluff RDF) và dạng rắn (solid RDF/RDF pellets).

Về RDF dạng tơi: là loại chưa qua quá trình nén, tồn tại ở dạng xơ sợi hoặc vụn nhỏ. Loại này có ưu điểm là chi phí xử lý ban đầu thấp, dễ sản xuất, nhưng lại kém ổn định về mặt sinh học, khó bảo quản và thường chỉ có thể sử dụng trong vòng 2-3 ngày sau khi tạo ra. Do có mật độ khối thấp, RDF dạng tơi cũng hạn chế về khả năng vận chuyển đường dài, và đòi hỏi lò đốt phải được thiết kế chuyên biệt.

Về RDF dạng rắn hoặc dạng viên nén: RDF dạng rắn được tạo ra thông qua quá trình ép nén để tăng mật độ khối và độ bền cơ học. Dạng này có nhiều ưu điểm: dễ vận chuyển, xử lý và lưu trữ; có thể bảo quản lâu dài trong điều kiện thích hợp; đồng thời tương thích với nhiều loại hệ thống đốt khác nhau. Tuy nhiên, nhược điểm chính là chi phí sản xuất cao hơn so với RDF dạng tơi.

Từ đó, có thể thấy rằng lựa chọn giữa RDF dạng tơi và RDF dạng rắn phụ thuộc vào mục đích sử dụng, khoảng cách vận chuyển cũng như điều kiện công nghệ tại cơ sở sản xuất và tiêu thụ. Trong phạm vi bài nghiên cứu, nhóm tác giả chọn loại RDF dạng rắn, cụ thể là viên nén nhiên liệu (RDF pellets) để phân tích và đánh giá.

1.2. Tiềm năng trong hoạt động sản xuất viên nén nhiên liệu từ nguồn phế thải ở Việt Nam

Viên nén nhiên liệu là một dạng nhiên liệu sinh học tái tạo, được sản xuất từ các loại phụ phẩm sinh khối như dăm bào, mùn cưa, vỏ đậu phộng, thân cây ngô, gỗ thải và nhiều loại chất thải hữu cơ khác. Thông qua quy trình ép nén hiện đại, các nguyên liệu này được nén thành những viên nhỏ, rắn chắc, có độ ẩm thấp, lượng tro sinh ra khi đốt ít và khả năng sinh nhiệt cao. Với những đặc tính này, viên nén nhiên liệu không chỉ là giải pháp thay thế tiềm năng cho nhiên liệu hóa thạch, mà còn ngày càng được ưa chuộng tại các thị trường cần nguồn nhiệt lớn, nhờ tính tiện dụng, hiệu quả năng lượng, an toàn sức khỏe người sử dụng và thân thiện với môi trường.

Từ thực tiễn đó, có thể thấy tiềm năng phát triển của viên nén nhiên liệu ở Việt Nam thể hiện trên nhiều khía cạnh: tính mới trong định hướng sản xuất từ phụ phẩm nông nghiệp và chất thải sinh hoạt; tiềm năng về chất lượng sản phẩm và đặc biệt là lợi ích kinh tế môi trường.

Thứ nhất, điểm mới trong định hướng phát triển viên nén nhiên liệu ở Việt Nam nằm ở việc mở rộng nguồn nguyên liệu đầu vào, từ phụ thuộc chủ yếu vào phế phẩm gỗ sang khai thác mạnh mẽ phụ phẩm nông nghiệp như

rom rạ, trấu, vỏ cà phê, bã mía, vỏ dừa, cũng như chất thải hữu cơ. Hằng năm, Việt Nam phát sinh hàng chục triệu tấn phụ phẩm nông nghiệp, phần lớn chưa được xử lý hiệu quả và thường bị đốt bỏ hoặc chôn lấp, gây ô nhiễm môi trường. Việc tận dụng các nguồn này để sản xuất viên nén nhiên liệu không chỉ góp phần giảm áp lực xử lý chất thải, hạn chế khai thác rừng tự nhiên, mà còn tạo ra nguồn nguyên liệu rẻ, ổn định, đáp ứng nhu cầu trong nước và xuất khẩu. Viên nén nhiên liệu nhờ vậy không chỉ mang tính đổi mới trong định hướng phát triển công nghiệp sinh khối, mà còn mở ra tiềm năng thương mại quốc tế lớn cho Việt Nam trong bối cảnh nhu cầu năng lượng sạch toàn cầu ngày càng gia tăng. Đồng thời, điểm mới của nghiên cứu là (i) đề xuất cấp phối có chất kết dính “nguồn rác” ở tỷ lệ thấp 8:2 và 9:1 (theo khối lượng) nhằm cải thiện liên kết cấu trúc viên; (ii) xác lập dải nhiệt nén 110-200°C với khối lượng nạp 15 g/viên để tạo hình tốt; và (iii) đánh giá đồng thời nhiều thông số (nhiệt trị, tỷ trọng viên, ẩm, tro, độ bền) đối chiếu với bộ tiêu chuẩn Nhật - Hàn - EU để định vị kịch bản ứng dụng (công nghiệp/dân dụng/đồng đốt).

Thứ hai, về tiềm năng chất lượng sản phẩm. Các nghiên cứu thực nghiệm cho thấy, viên nén nhiên liệu sản xuất từ hỗn hợp phụ phẩm nông - lâm nghiệp và rác sinh hoạt có nhiệt trị cao, dao động 17,4-24,7 MJ/kg, tương đương hoặc thậm chí vượt một số loại than đá chất lượng trung bình. Hàm lượng ẩm $\leq 10\%$ và độ bền cơ học $\geq 97\%$ giúp sản phẩm giảm thiểu hao hụt trong vận chuyển và lưu trữ. Tuy vậy, một số phối trộn có độ tro 5,4-6,6% chưa đáp ứng tiêu chuẩn nghiêm ngặt của Nhật Bản và EU, cho thấy tiềm năng cải tiến công nghệ nhằm nâng cao chất lượng và mở rộng khả năng tiếp cận các thị trường khó tính. Điều này cũng đồng nghĩa với việc ngành viên nén nhiên liệu tại Việt Nam còn dư địa rất lớn để hoàn thiện tiêu chuẩn hóa, nâng tầm giá trị sản phẩm và tăng khả năng cạnh tranh quốc tế.

Thứ ba, về tiềm năng kinh tế môi trường. Việc sản xuất viên nén nhiên liệu vừa mang lại lợi ích kinh tế, vừa đem lại hiệu quả môi trường rõ rệt. Một mặt, chi phí sản xuất thấp hơn nhiều so với nhiên liệu hóa thạch, giúp sản phẩm có lợi thế cạnh tranh. Mặt khác, quá trình sử dụng viên nén nhiên liệu giúp giảm phát thải khí nhà kính đáng kể. Cụ thể, viên nén gỗ làm giảm đáng kể lượng khí thải CO_2 so với nhiên liệu hóa thạch [2]. Một phân tích toàn cầu cũng chỉ ra rằng, nếu tận dụng phụ phẩm nông nghiệp để sản xuất viên nén nhiên liệu ở quy mô lớn, có thể giảm khoảng 1,35 tỷ tấn CO_2 tương đương mỗi năm [3].

Về mặt kinh tế, Việt Nam hiện đứng thứ hai thế giới về xuất khẩu viên nén nhiên liệu, chỉ sau Mỹ [4]. Trong 6 tháng đầu năm 2024, Việt Nam đã xuất khẩu khoảng 2,6 triệu tấn viên nén, với giá trị đạt 345,5 triệu USD. Nhật Bản chiếm 55,3% khối lượng và 61,0% giá trị; Hàn Quốc chiếm 36,8% khối lượng và 29,0% giá trị; EU chiếm 7,7% khối lượng và 9,9% giá trị. Giá xuất khẩu trung bình giai đoạn này đạt khoảng 132,6 USD/tấn, trong đó Nhật Bản ở mức $\sim 146,3$ USD/tấn, còn Hàn Quốc $\sim 104,3$ USD/tấn [5]. Theo số liệu từ Hiệp hội Gỗ và Lâm sản Việt Nam, 6 tháng đầu năm 2025, xuất khẩu viên nén gỗ đạt hơn 3,9 triệu tấn, tương đương giá trị 564,77 triệu USD, tăng 33,3% về lượng và 38,8% về giá trị so với cùng kỳ năm 2024. Nửa đầu năm 2025, mức tăng trưởng hai con số cho thấy ngành viên nén đang tận dụng tốt cơ hội từ nhu cầu năng lượng tái tạo, đặc biệt khi các nước đẩy mạnh giảm phát thải [6]. Xu thế này cũng phản ánh nhu cầu ngày càng lớn từ các thị trường châu Á và châu Âu, trong bối cảnh toàn cầu chuyển dịch sang năng lượng sạch.

2. Nguyên liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Nguyên liệu

Nghiên cứu lựa chọn nguyên liệu chính để sản xuất viên nén nhiên liệu là mùn cưa và mùn gỗ từ cành cây.

(1) Mùn cưa là một loại vật liệu hữu cơ có nguồn gốc từ các loại gỗ, tre, nứa được bào mỏng, nghiền vụn thành những hạt có kích thước nhỏ. Chúng là một loại chất với độ ẩm khá thấp, phù hợp cho việc đốt cháy với ưu điểm bắt lửa nhanh, lượng tro xỉ còn lại sau cháy ít và nhiệt lượng của chúng là tương đối cao. Điều này cho thấy tiềm năng lớn trong việc thay thế các loại nhiên liệu hóa thạch bằng viên đốt từ mùn cưa trong vấn đề năng lượng. Bên cạnh đó, quá trình xử lý lượng tro còn lại của viên đốt cũng sẽ dễ dàng hơn so với các loại than.

(2) Mùn gỗ nghiên cứu sử dụng là loại mùn gỗ được nghiền từ cành cây bỏ đi của gỗ nhãn. Các loại cành cây sau khi được thu gom sẽ được mang đi rửa sạch, nghiền nhỏ thành dạng mùn và đưa vào sản xuất viên đốt. Đây là loại nguyên liệu cháy với độ ẩm khá cao, do đó cần thêm công đoạn sấy làm khô rồi mới đưa đi sản xuất. Chúng có tiềm năng tương đối trong việc thu hồi, tái chế và sản xuất viên đốt xuất khẩu.

Nguyên liệu phụ sử dụng trong nghiên cứu bao gồm vỏ hộp sữa, nilon và nhãn chai. Đây là các loại rác thải sinh hoạt rất phổ biến với một lượng lớn bị thải bỏ ra môi trường mỗi ngày. Tuy nhiên, các biện pháp xử lý chúng vẫn còn khá hạn chế. Nghiên cứu sử dụng các nguyên liệu này làm chất kết dính, giúp tăng cường khả

năng liên kết và độ bền chắc trong kết cấu của viên đốt, giúp thành phẩm tạo ra có độ bền cao hơn. Bên cạnh đó, nguyên liệu phụ này cũng phần nào giúp cải thiện nhiệt trị của viên đốt thành phẩm. Tuy nhiên, đối với vỏ hộp sữa, đây là loại chất thải khó đốt cháy hoàn toàn, lượng còn lại sẽ làm tăng chi phí xử lý, do vậy nghiên cứu cần đưa ra tỷ lệ phối trộn để tạo ra thành phẩm tốt nhất.

2.2. Thiết bị, dụng cụ và hóa chất phục vụ nghiên cứu

2.2.1. Thiết bị

- Cân trọng lượng gram (g) tiêu chuẩn 1 chữ số và 4 chữ số Ohaus 30429847 bench scale 220 g/0,0001 g.
- Thìa và cốc đong 25 ml.
- Nhiệt kế điện tử Fisherbrand Traceable Digital Thermometer S90862 do Hãng Fisher Scientific (Mỹ) sản xuất. Khoảng đo $-50 \rightarrow +300^{\circ}\text{C}$, sai số chỉ $\pm 0,05\%$ toàn dải, có chứng nhận NIST.

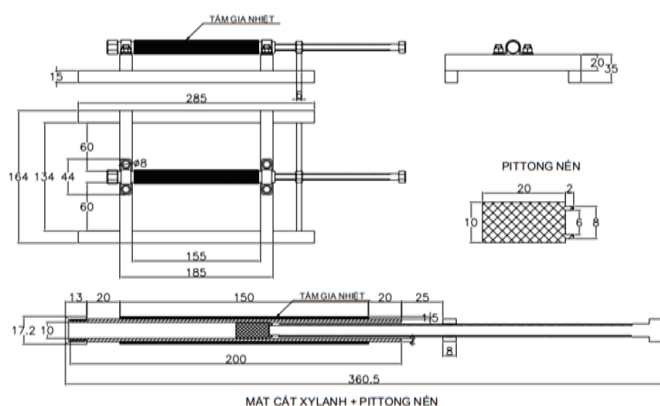
- Hộp đựng mẫu bằng nhựa, găng tay cách điện, phễu, tua vít, cờ lê.

2.2.2. Dụng cụ

- Tủ sấy Binder (Đức) - dòng ED/FD series.
- Tủ nung Thermo Scientific (Thermo Fisher) (Mỹ) - dòng Thermolyne chuẩn xác, phổ biến trong phân tích tro than, sinh khối, RDF để phục vụ đo độ ẩm và độ tro.
- Thiết bị nén viên sản xuất tại Xưởng cơ khí Gia Vinh 5, Hà Nội, Chợ Dừa, Đống Đa, Hà Nội.
- Máy đo nhiệt trị Parr 1341.

2.2.3. Thiết bị nén gia nhiệt tạo viên

Thiết bị nén gia nhiệt tạo viên được nhóm nghiên cứu thiết kế và Xưởng cơ khí Gia Vinh chế tạo.



Hình 1. Thiết kế thiết bị nén gia nhiệt tạo viên. Đơn vị đo: mm.

Cấu tạo cơ bản của máy nén được chế tạo bao gồm một ống trụ tròn đường kính trong là 2 cm, chiều dài 30 cm. Tay nén là một trục doăng có ren có đường kính nhỏ hơn 2 cm, dài 50 cm gắn đầu pít tông trụ tròn dài 4 cm và đường kính 2 cm. Như vậy ta có thể xác định được đường kính viên nén là 2 cm. Hệ thống ống trục nén được gắn cố định vào giá đỡ vững có đế gỗ để giữ vững máy, thuận lợi cho việc nén lực. Đầu khung được thiết kế đủ chiều dài để lắp điện trở gia nhiệt và nắp của máy. Phần cuối hàn ốc tra thanh doăng phù hợp để quay ren tạo lực nén.

Cấu tạo máy được mô tả như hình 1. Điện trở gia nhiệt như hình trên phù hợp dòng điện 220 V có hệ thống nối điều chỉnh tăng giảm nhiệt và hệ thống này có thể tự ngắt lại mức nhiệt điều chỉnh giúp ổn định mức độ nhiệt.

2.3. Quy trình thí nghiệm sản xuất viên nén nhiên liệu

Tỷ lệ trộn: theo khối lượng. Các cấp phối khảo sát: 7:3; 8:2; 9:1; 10:0 giữa nguyên liệu chính (mùn cưa hoặc mùn gỗ từ cành) và nguyên liệu phụ (vỏ hộp sữa đã tách/làm sạch, nylon, nhãn chai cắt 2-5 mm).

Tiền xử lý nguyên liệu: rửa/loại tạp, sấy khô; kích thước hạt 2-5 mm với nguyên liệu phụ.

Khối lượng nạp: 15 g/mẫu/viên (xác định qua tiền thử để tránh nứt vỡ khi nén ở áp cao).

Gia nhiệt - tạo hình: nhiệt độ đặt $110-200^{\circ}\text{C}$ (có khảo sát tới 250°C), thời gian giữ nhiệt 15 phút; đồng thời siết vít pít tông đến khi mẫu đạt trạng thái tạo hình ổn định.

Lực nén: máy vít pít tông cơ khí (dùng mô-men tay), ghi nhật ký số vòng siết/mô-men ước lượng; trường hợp có đồng hồ lực, quy đổi ra MPa trên tiết diện 2 cm đường kính.

Công thức tính lực nén: $F=P \times A$, với tiết diện $A=\pi r^2$; bán kính $r=1 \text{ cm}=0,01 \text{ m} \Rightarrow A \approx 3,14159 \times 10^{-4} \text{ m}^2$.

- F: lực nén (N).
- P: áp suất ($\text{Pa} = \text{N/m}^2$).
- A: diện tích tiết diện chịu nén (m^2).

Quy đổi đơn vị:

$1 \text{ MPa}=10^6 \text{ Pa} \Rightarrow$ Khi áp suất là 1 MPa, lực tác dụng lên diện tích A là:

$$F=P \times A=10^6 \times 3,14159 \times 10^{-4}=314,159 \text{ N} \approx 0,314 \text{ kN}$$

Dựa theo công thức, nếu tính đúng thì lực ép phải tỷ lệ tuyến tính với áp suất (vì A là hằng số). Tức là: $F(\text{kN})=0,314 \times P(\text{MPa})$ và ta có bảng 1 quy đổi giữa áp suất và lực ép.

Bảng 1. Quy đổi áp suất và lực ép

Áp suất (MPa)	Lực ép (N)	Lực ép (kN)
2	628	0,63
3	942	0,95
4	1256	1,26
5	1570	1,57
6	1884	1,89

Lấy mẫu: Làm nguội 5-10 phút đến nhiệt độ phòng, đẩy mẫu khỏi ống nén.

Ký hiệu mẫu: Mc (mùn cưa), McV (mùn cưa+vỏ hộp sữa), McN (mùn cưa+nylon), Mg (mùn gỗ), MgNC (mùn gỗ+nhân chai) + hậu tố nhiệt độ (°C).

Quy trình thực hiện nén: Tiến hành cho nguyên liệu đầu vào đầu ống nén của máy và đóng nắp đầu máy nén. Khi đóng cần khóa chặt nắp máy, tránh việc không thể tạo hình viên nén do nhiệt vật liệu bị thoát ra trong quá trình nén. Ngoài ra, trong quá trình gia nhiệt, khi tăng dần nhiệt độ từ 0°C, xoay trục đoãng pít tông nén dần dần nguyên liệu. Đến mức nhiệt xác định thì tắt máy, rút điện, đồng thời dừng xoay nén viên. Đợi 5-10 phút để máy hạ nhiệt về nhiệt độ phòng, sau đó tháo nắp và tiếp tục xoay trục đẩy để lấy mẫu ra ngoài. Thử nghiệm nhiều lần để xác định khối lượng nguyên liệu nạp vào và thời gian gia nhiệt phù hợp.

Bảng 2. Ma trận thí nghiệm theo tỷ lệ pha trộn giữa mùn củi và phụ gia.

STT	Ký hiệu	Thành phần	Tỷ lệ (khối lượng)	Nhiệt độ nén (°C)	Thời gian (phút)
1	Mc-150	Mùn cưa	10:0	150	15
2	Mc-200	Mùn cưa	10:0	200	15
3	McV-150	Mùn cưa + vỏ hộp sữa	8:2	150	15
4	McV-200	Mùn cưa + vỏ hộp sữa	8:2	200	15
5	McN-150	Mùn cưa + nylon	7:3	150	15
6	Mg-110	Mùn gỗ (cành)	10:0	110	15
7	Mg-120	Mùn gỗ (cành)	10:0	120	15
8	Mg-130	Mùn gỗ (cành)	10:0	130	15
9	Mg-150	Mùn gỗ (cành)	10:0	150	15
10	MgNC-100	Mùn gỗ + nhân chai	9:1	100	15
11	MgNC-120	Mùn gỗ + nhân chai	9:1	120	15
12	MgNC-150	Mùn gỗ + nhân chai	9:1	150	15

Các tỷ lệ phối trộn 10:0, 9:1, 8:2 và 7:3 (theo khối lượng) được lựa chọn nhằm quét vùng chất kết dính 10-30%,

vốn là vùng mà pha nhựa từ rác sinh hoạt (vỏ hộp sữa, nhãn/nylon) bắt đầu nóng chảy và gia cường liên kết cho hạt gỗ, nhưng chưa vượt ngưỡng gây chảy rịn/giảm bền hay làm tăng tro/halogen. Sàng lọc ban đầu cho thấy, 7:3 dẫn tới nứt vỡ ở hầu hết mức nhiệt, trong khi 8:2 (với mùn cưa) ổn định ở 150-200°C và 9:1 (với mùn gỗ) ổn định ở 120-150°C; vì vậy hai mức này được sử dụng làm tâm thí nghiệm cho các phép đo chi tiết.

2.4. Đo lường và phân tích các thông số vật lý của viên đốt và đánh giá ảnh hưởng của tỷ lệ phối trộn nguyên liệu và nhiệt độ ép đến khả năng tạo hình của viên

Trên cơ sở tham khảo các nghiên cứu về đồng tạo viên giữa mùn gỗ và nhiên liệu có nguồn gốc từ chất thải [7], nhóm tác giả lựa chọn các tỷ lệ phối trộn 10:0, 9:1, 8:2 và 7:3 theo khối lượng. Các mức nhiệt gia nhiệt tạo viên được xác định thông qua thí nghiệm khảo sát sơ bộ và được trình bày trong bảng 3 và bảng 4.

Bảng 3. Nguyên liệu từ mùn cưa tiến hành với tỷ lệ phối trộn và các mức ép nhiệt.

Nguyên liệu chính	Nguyên liệu phụ	Tỷ lệ phối trộn	Nhiệt độ lựa chọn gia nhiệt tạo viên
Mùn cưa	Vỏ hộp sữa	7:3, 8:2, 10:0	100-250°C
	Nylon		
	Nhân chai		

Bảng 4. Nguyên liệu từ mùn gỗ tiến hành với tỷ lệ phối trộn và các mức ép nhiệt.

Nguyên liệu chính	Nguyên liệu phụ	Tỷ lệ phối trộn	Nhiệt độ lựa chọn gia nhiệt tạo viên
Mùn gỗ	Vỏ hộp sữa	7:3, 8:2, 9:1, 10:0	100-250°C
	Nylon		
	Nhân chai		

2.4.1. Đo các thông số đường kính, khối lượng, độ dài, thể tích và tỷ trọng viên nén

Sau khi tạo ra các mẫu viên nén, tiến hành cân và đo các thông số vật lý của viên đốt.

- Đường kính: bằng đường kính trong của ống trụ máy nén và pít-tông trụ tròn (cm)

- Khối lượng: cân bằng cân khối lượng chuẩn (g)

- Độ dài: dùng thước để đo chiều dài viên đốt thu được (cm).

- Thể tích: xác định thông qua công thức trụ tròn với đường kính và độ dài viên đốt

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h \text{ (m}^3\text{)}$$

trong đó: r: bán kính viên đốt (m); h: chiều dài viên đốt (m).

- Tỷ trọng: xác định thông qua khối lượng, đường kính và chiều dài viên đốt

$$\rho = m/V \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

trong đó: m: khối lượng viên đốt sau khi nén (kg); V: thể tích viên đốt (m³).

2.4.2. Phương pháp đo độ ẩm

Một phần mẫu lấy từ mẫu viên đốt được sử dụng để đo độ ẩm của viên đốt. Đánh số các mẫu lấy được bằng cân khối lượng chuẩn 4 số (đơn vị gram) để xác định khối lượng đầu vào trước khi mang đi sấy. Mẫu đo sẽ được cho vào chén sứ và được mang đi sấy ở nhiệt độ 105°C trong tủ sấy. Sau khi mẫu đã được sấy trong vòng 24 giờ, làm nguội trong tủ hút ẩm và đem đi cân xác định khối lượng. Thông qua máy sấy, ẩm độ được xác định bằng công thức:

$$\% \text{ Ẩm độ} = \left| \frac{(M_2 - M_1)}{M_1} \right| \times 100$$

trong đó: M₁: khối lượng mẫu trước khi sấy (g); M₂: khối lượng mẫu sau sấy (g).

2.4.3. Phương pháp đo độ hao hụt khối lượng sau rung lắc (Mechanical durability theo rung)

Mẫu sau sấy được để ngoài môi trường 24 giờ, sau đó cho vào máy rung trong thời gian chuẩn hóa.

Công thức:

$$\% \text{ hao hụt} = ((M_{\text{trước}} - M_{\text{sau}})/M_{\text{trước}}) \times 100\%;$$

$$\text{Độ bền} = 100 - \% \text{ hao hụt.}$$

2.4.4. Phương pháp đo độ tro (ISO 21656:2021)

Nung chén sứ rỗng đến khối lượng không đổi ở nhiệt độ 550±10°C trong khoảng 60 phút và giữ ở nhiệt độ này tối thiểu 120 phút. Khối lượng chén rỗng được ký hiệu M₁.

Cân chén chứa mẫu đã sấy (khối lượng M₂), đưa vào tủ nung 500-550°C trong 6-7 giờ đến khối lượng không đổi (M₃). Làm nguội trong bình hút ẩm rồi cân.

Thông qua máy nung, độ tro được xác định bằng công thức:

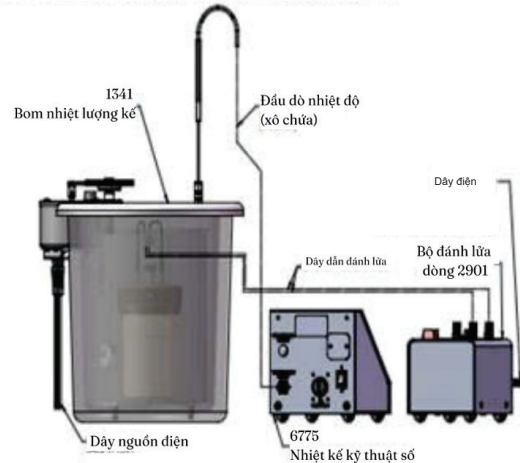
$$\% \text{ Tro} = \frac{M_3 - M_1}{M_2 - M_1} \times 100\%$$

trong đó: M₁ - Khối lượng chén nung rỗng (gram); M₂ - Khối lượng chén chứa mẫu sau sấy (gram); M₃ - Khối lượng chén chứa mẫu sau nung (gram).

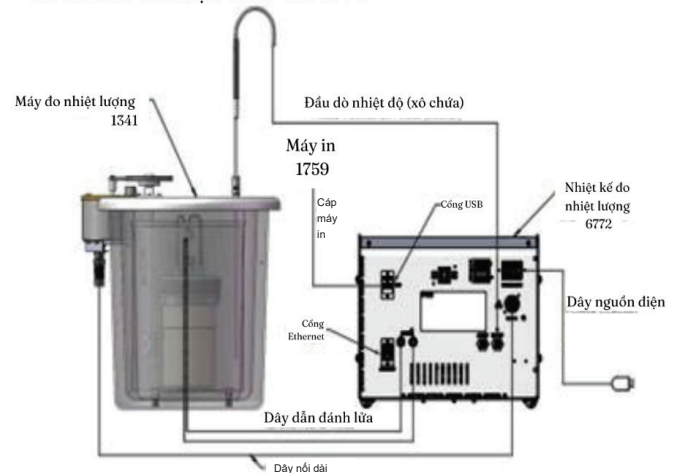
2.4.5. Phương pháp phân tích nhiệt trị

Quá trình đo thông số nhiệt trị được thực hiện bằng thiết bị Parr 1341 (hình 2).

Sơ đồ đấu nối điện 1341 với 6775 & 2901



Sơ đồ đấu nối điện 1341 với 6772



Hình 2. Thiết bị Parr 1341. Nguồn: Parr Instrument Co. [8].

Lấy khoảng 1 gram mẫu viên đốt để đo nhiệt trị. Phương pháp đo được xác định theo thiết bị Parr áp dụng quy trình và hàm công thức như tài liệu tham khảo [8].

Nhiệt trị của mẫu viên đốt được xác định bằng công thức:

$$H_g = \frac{t \cdot W - e_1 - e_2 - e_3}{m}$$

trong đó:

W: hằng số bom

H: nhiệt lượng của viên chuẩn Benzoic = 6318 cal/gram;

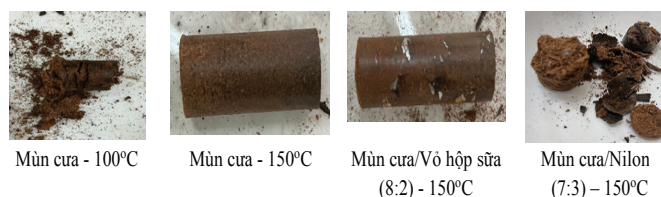
m: khối lượng của viên chuẩn Benzoic (gram);

- t: giá trị net của nhiệt độ tăng ($^{\circ}\text{C}$)= $t_c - t_a - r_1 \cdot (b-a) - r_2 \cdot (c-b)$;
 e_1 : hiệu chỉnh nhiệt của axit nitric (HNO_3)= c_1 nếu 0,0709 N
 alkali được dùng chuẩn độ;
 e_2 : hiệu chỉnh nhiệt của axit sulfuric
 (H_2SO_4) = (13,7) (c_2) (m);
 e_3 : hiệu chỉnh nhiệt của dây mồi
 = (2.3) khi dùng dây Parr 45C10 nickel chromium hoặc
 = (2.7) khi dùng dây No.34 B và S.gage iron;
 a: Thời gian cháy;
 b: Thời gian khi nhiệt đạt 60% tổng quá trình tăng nhiệt
 (chính xác tới 0,1 phút);
 c: Thời gian tốc độ tăng nhiệt là hằng số (sau thời gian
 tăng nhiệt);
 ta: Nhiệt tại thời điểm cháy;
 tc: Nhiệt tại thời điểm c;
 r1: Tốc độ (đơn vị nhiệt/phút) ở thời điểm nhiệt tăng - 5
 phút trước khi cháy;
 r2: Tốc độ (đơn vị nhiệt/phút) ở thời điểm 5 phút sau cùng.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Ảnh hưởng của tỷ lệ nguyên liệu phối trộn và nhiệt độ ép đến khả năng tạo hình của viên đốt

Máy nén có ống trụ tròn với đường kính trong 2 cm, do đó viên nén tạo ra có đường kính 2 cm. Qua 10 lần thực nghiệm, khối lượng nguyên liệu nén đầu vào hợp lý là 15 g để tránh sự cố khi nén và hiện tượng nứt vỡ khi nén ở áp lực cao. Thời gian cấp nhiệt phù hợp khi nén là 15 phút. Các viên nén nhiên liệu sau khi thử nghiệm với các điều kiện nhiệt độ và tỷ lệ phối trộn khác nhau được thể hiện trong hình 3.



Hình 3. Hình ảnh viên nén nhiên liệu thực nghiệm.

Khi dùng mùn cưa, viên nén tạo hình tốt ở 150, 200 và 250 $^{\circ}\text{C}$, nhưng không thành hình ở 100 $^{\circ}\text{C}$.

Khi trộn mùn cưa với vỏ sữa/nylon tỷ lệ 7:3, mẫu dễ nứt ở mọi nhiệt độ; thay đổi thành 8:2, mẫu có hình khối tốt ở 150 và 200 $^{\circ}\text{C}$, nhưng nứt ở 100 và 250 $^{\circ}\text{C}$.

Với mùn cưa và nylon, viên nén đẹp ở 150 $^{\circ}\text{C}$ nhưng dễ nứt ở nhiệt độ khác. Đối với mùn gỗ, mẫu có khối tốt từ 110-150 $^{\circ}\text{C}$. Khi trộn mùn gỗ với nhãn chai, tỷ lệ 8:2 dễ nứt ở mọi nhiệt độ, còn tỷ lệ 9:1 tạo hình đẹp ở 130-150 $^{\circ}\text{C}$ khi nhãn chai tan chảy, làm chất kết dính.

3.2. Đánh giá các thông số: độ dài, khối lượng, thể tích và tỷ trọng của viên đốt

Dựa theo tiêu chuẩn của Nhật Bản, Hàn Quốc và châu Âu, nhóm tác giả đưa ra nhận xét về độ dài, khối lượng, thể tích và tỷ trọng của viên đốt.

Các bộ tiêu chuẩn tham chiếu bao gồm: Hàn Quốc (2019), Nhật Bản (JWPA, 2023) và châu Âu (EN/ENplus). Trong đó: Châu Âu và Nhật Bản: chủ yếu cho viên nén đốt dân dụng/nhà ở (yêu cầu tro thấp, đo mật độ khối theo thùng đo). Hàn Quốc và một số bộ EU công nghiệp: dải thông số rộng hơn, phù hợp lò hơi công nghiệp/đồng đốt (bảng 5).

Lưu ý: khi tro cao hơn mức JP/EU dân dụng nhưng các chỉ số khác đạt, sản phẩm vẫn phù hợp công nghiệp/đồng đốt.

Bảng 5. Tổng hợp kết quả thông số đánh giá chất lượng viên nén so với các tiêu chuẩn nước ngoài.

TT	Thông số	Loại mẫu										Tiêu chuẩn về độ dài (mm) của nước ngoài								
		Mùn cưa					Mùn gỗ					Hàn Quốc [9]			Nhật Bản [11]			Châu Âu [10]		
		Mc-150	McV-150	McN-150	Mc-200	McV-200	Mg-110	Mg-120	Mg-130	Mg-150	MgNC-120	MgNC-150	L1	L2	L3	LA	LB	LC	L1	L2
1	Chiều dài (mm)	43,6	49,2	51	35,6	37,4	34	24	44	40	40	27	3,15<L≤ 41			3,15≤L≤10, L>10 mm tối đa 1%, dài nhất 45 mm			3,15<L≤ 41	
2	Độ ẩm (%)	1,9	2,7	3,2	2,3	1,3	1,2	0,8	1,3	1,1	1,1	0,9	≤10%			≤10%			≤10%	
3	Độ tro (%)	2,98	6,55	3,35	3,37	5,39	2,60577	2,70186	2,5788	2,7321	2,5922	2,9963	1,5%	3%	5%	0,5%	1%	1%	0,7%	1,5%
4	Tỷ trọng (kg/m³)	804,5	712	747	803	798	843	664,3	724,1	638,0	717,8	944,5	≥600	≥550	≥500	650≤BD≤750			≥600	≥600

Chú thích: L1: Tiêu chuẩn loại 1, L2: Tiêu chuẩn loại 2, L3: Tiêu chuẩn loại 3, LA: Tiêu chuẩn loại A, LB: Tiêu chuẩn loại B, LC: Tiêu chuẩn loại C, Đơn vị tỷ trọng: Kg/m³, Đơn vị chiều dài: mm.

3.2.1. Độ dài viên đốt

Mẫu viên đốt chỉ dùng mùn cưa ép ở 150°C có độ dài vượt tiêu chuẩn Hàn Quốc [9] và châu Âu [10] nhưng đạt tiêu chuẩn Nhật Bản [11]. Khi kết hợp mùn cưa với vỏ hộp sữa ép ở 150°C, độ dài vượt tiêu chuẩn, nhưng ở 200°C lại đạt tiêu chuẩn do vỏ hộp nóng chảy tốt hơn. Mẫu mùn cưa và nylon ép ở 150°C có độ dài vượt tiêu chuẩn vì nylon không nóng chảy hoàn toàn. Về độ đồng đều, mẫu mùn cưa ép ở 150°C có độ lệch chuẩn cao nhất (0,7), trong khi mẫu ép ở 200°C đồng đều hơn (0,2). Đối với viên nén mùn gỗ, hầu hết đạt tiêu chuẩn 3 thị trường, trừ mẫu nén ở 120°C chỉ đạt tiêu chuẩn Nhật Bản [11]. Mẫu mùn gỗ kết hợp nhãn chai nén ở 100 và 120°C, đều đạt tiêu chuẩn của 3 thị trường.

3.2.2. Khối lượng và thể tích viên đốt

Mẫu mùn cưa và nylon có thông số lớn nhất, trong khi mẫu mùn cưa ở 200°C có thông số nhỏ nhất do nylon nóng chảy tốt ở 150°C, còn ở 200°C nguyên liệu bị cháy nhiều. Mẫu mùn cưa ép ở 150°C có độ lệch chuẩn cao nhất (1,9), trong khi mùn cưa/vỏ hộp sữa ở 150°C có độ đồng đều tốt nhất với độ lệch chuẩn thấp nhất (0,7). Sự khác biệt thông số giữa các mẫu là do hao hụt nguyên liệu, độ chính xác của cân và khác biệt về lực, tốc độ nén. Các mẫu viên đốt từ mùn gỗ khác biệt về thể tích, khối lượng do nhiệt độ, lực nén, với khối lượng dao động từ 5 đến 10 gram; lực nén cao làm giảm thể tích viên nén. Đối với mẫu mùn gỗ và nhãn chai, thể tích lớn hơn do lượng nylon còn lại. Mẫu nén ở 100°C có khối lượng lớn hơn và tỷ trọng cao hơn mẫu ở 120°C nhờ lực nén lớn và tốc độ gia nhiệt chậm.

3.2.3. Tỷ trọng viên đốt

Các mẫu mùn cưa nén ở 150 và 200°C đạt tiêu chuẩn loại 1 của Hàn Quốc [9] và châu Âu [10], nhưng không đạt tiêu chuẩn Nhật Bản [11] do tỷ trọng vượt ngưỡng. Mẫu mùn cưa kết hợp vỏ hộp sữa nén ở 150°C phù hợp với cả ba tiêu chuẩn Hàn Quốc [9], châu Âu [10] và Nhật Bản [11], nhưng mẫu nén ở 200°C vượt ngưỡng Nhật Bản [11]. Mẫu mùn cưa kết hợp nylon nén ở 150°C đạt cả ba tiêu chuẩn. Các mẫu mùn cưa dao động từ 712 đến 804,5 kg/m³, đạt tiêu chuẩn Hàn Quốc [9] và châu Âu [10], nhưng không đạt tiêu chuẩn Nhật Bản [11] ở một số mẫu do chênh lệch tỷ trọng. Các mẫu nén ở các nhiệt độ 110, 120 và 130°C đạt tiêu chuẩn Nhật Bản [11], nhưng mẫu ở 150°C vượt ngưỡng do nén tốt hơn ở nhiệt độ cao. Các mẫu mùn gỗ kết hợp nhãn chai nén ở 100°C

và 120°C đạt tiêu chuẩn Hàn Quốc [9] và châu Âu [10], nhưng mẫu ở 100°C vượt ngưỡng Nhật Bản [11], trong khi mẫu ở 120°C thấp hơn ngưỡng. Tỷ trọng giữa các mẫu không đồng đều, có chênh lệch lớn.

3.3. Đánh giá đáp ứng tiêu chuẩn và định hướng ứng dụng

Tổng hợp kết quả chính: độ ẩm tất cả mẫu <10%; độ bền phần lớn ≥97% (đa số đạt loại 1 Hàn Quốc); tỷ trọng viên 638-945 kg/m³ (lưu ý phân biệt với mật độ khối); nhiệt trị đa số mẫu ≥16,85-24,68 MJ/kg (đạt/vượt Hàn Quốc - EU; nhiều cấp phối đạt loại A/B Nhật); độ tro: nhóm mùn cưa + vỏ hộp sữa và một số mẫu mùn cưa 200°C vượt ngưỡng JP/EU dân dụng nhưng đáp ứng loại 2-3 Hàn Quốc.

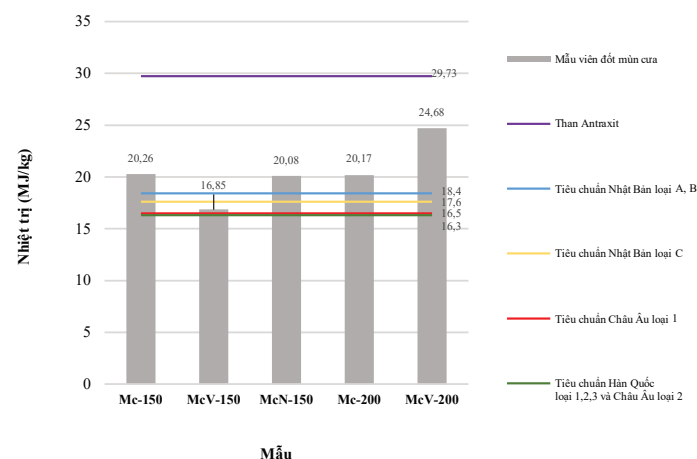
- Cấp phối 8:2 (mùn cưa/vỏ hộp sữa) ở 150-200°C: đề xuất cho lò hơi công nghiệp/đồng đốt; kiểm soát tro bằng giới hạn tạp nhôm của vỏ hộp sữa.

- Cấp phối 9:1 (mùn gỗ/nhãn chai) ở 130-150°C: tạo hình tốt; có thể hướng tới dân dụng nếu tiếp tục giảm tro bằng tiền xử lý.

- Mùn gỗ 110-150°C (10:0): đường cơ sở để so sánh cấp phối có chất kết dính rác.

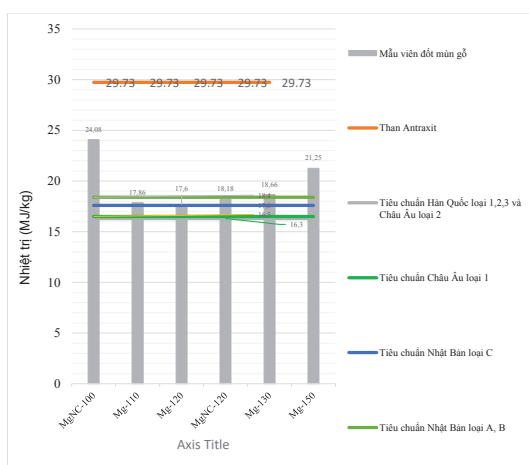
3.4. Đánh giá thông số nhiệt trị viên đốt

Sau khi có sản phẩm viên đốt từ nén ép nhiệt, nhiệt trị của viên đốt được xác định và đánh giá. Tiến hành so sánh nhiệt trị viên đốt sản phẩm với nhiệt trị của than Antraxit (29,73 MJ/kg) và nhiệt trị viên đốt tiêu chuẩn của Hàn Quốc [9], Nhật Bản [11], châu Âu [10] qua biểu đồ 1 và 2.



Biểu đồ 1. So sánh nhiệt trị viên đốt mùn cưa với than Antraxit và các tiêu chuẩn Hàn Quốc [9], Nhật Bản [11], châu Âu [10].

Nhận xét: Các mẫu mùn cưa, mùn cưa kết hợp vỏ hộp sữa và nylon nén ép ở 150°C và 200°C có nhiệt trị cao hơn 1,02 đến 1,5 lần so với tiêu chuẩn Hàn Quốc [9] và châu Âu [10], phù hợp với các tiêu chuẩn này. Tuy nhiên, mẫu mùn cưa kết hợp vỏ hộp sữa nén ép ở 150°C không đạt tiêu chuẩn Nhật Bản [11] với nhiệt trị 16,85 MJ/kg, thấp hơn tiêu chuẩn loại A, B và C của Nhật Bản [11]. Các mẫu khác đều đạt chuẩn loại A và B. Kết quả nhiệt trị thấp hơn tiêu chuẩn Nhật Bản [11] có thể do ảnh hưởng của lớp nhôm trong vỏ hộp sữa. So sánh với than antraxit, nhiệt trị của các mẫu thấp hơn, với mẫu mùn cưa kết hợp vỏ hộp sữa nén ở 200°C có nhiệt trị cao nhất là 24,68 MJ/kg, nhưng vẫn thấp hơn 1,2 lần so với than antraxit, và mẫu nén ở 150°C thấp hơn 1,8 lần.



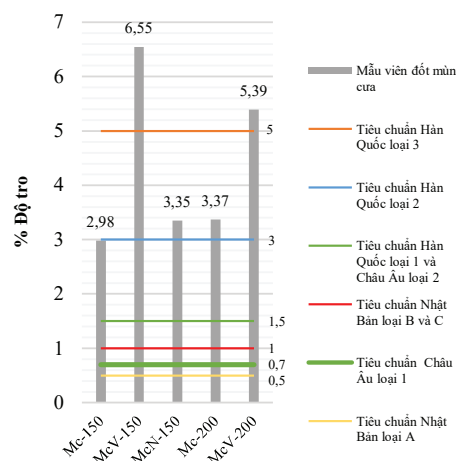
Biểu đồ 2. So sánh nhiệt trị viên đốt mùn gỗ với than Antraxit và các tiêu chuẩn Hàn Quốc [9], Nhật Bản [11], châu Âu [10].

Nhận xét: Các mẫu mùn gỗ và mùn gỗ kết hợp nhãn chai nén ép ở nhiệt độ từ 100 đến 150°C đều đạt giá trị nhiệt trị cao hơn tiêu chuẩn của Hàn Quốc [9] và châu Âu [10] (từ 1,06 đến 1,5 lần).

So với tiêu chuẩn Nhật Bản [11], mẫu mùn gỗ nén ở 120°C không đạt loại C, mẫu nén ở 110°C chỉ đạt loại B và không đạt loại A. Mẫu mùn gỗ kết hợp nhãn chai nén ở 120°C cũng không đạt loại A nhưng vượt loại B. Các mẫu còn lại đều đạt tiêu chuẩn loại A Nhật Bản [11], cao hơn từ 1,014 đến 1,31 lần so với tiêu chuẩn. Tuy nhiên, nhiệt trị của các mẫu này vẫn nhỏ hơn so với than antraxit, với mẫu có nhiệt trị cao nhất (24,08 MJ/kg) nhỏ hơn 1,24 lần so với than, và mẫu có nhiệt trị thấp nhất (17,42 MJ/kg) nhỏ hơn 1,7 lần so với than.

3.5. Đánh giá thông số độ tro viên đốt

Sau khi có sản phẩm viên đốt từ nén ép nhiệt, ta đo và đánh giá nhiệt trị của viên đốt. Tiến hành so sánh độ tro đốt sản phẩm với độ tro viên đốt tiêu chuẩn của Hàn Quốc [9], Nhật Bản [11], châu Âu [10].



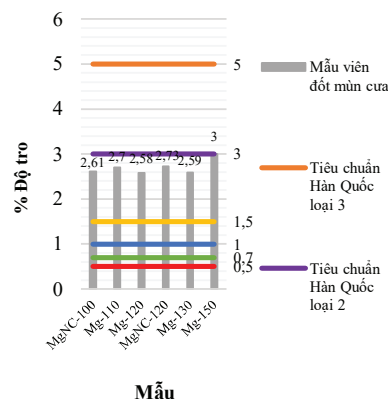
Biểu đồ 3. So sánh độ tro viên đốt mùn cưa với các tiêu chuẩn Hàn Quốc [9], Nhật Bản [11] và châu Âu [10].

Kết quả biểu đồ 3 cho thấy, mẫu viên đốt từ mùn cưa nén ở 150°C có tỷ lệ tro dưới 3%, vượt tiêu chuẩn Nhật Bản [11] và châu Âu [10], nhưng đạt tiêu chuẩn loại 2 của Hàn Quốc [9].

Ở 200°C, tỷ lệ tro của viên nén mùn cưa cao gấp 3,37 lần tiêu chuẩn Nhật Bản [11] và 2,25 lần tiêu chuẩn châu Âu [10], không đạt loại 2 nhưng đạt loại 3 của Hàn Quốc [9], với tỷ lệ xấp xỉ 3,37%. Như vậy, cả hai mẫu mùn cưa nén ở 150 và 200°C không đáp ứng tiêu chuẩn nào của Nhật Bản [11] và châu Âu [10].

Đối với mẫu kết hợp mùn cưa và vỏ hộp sữa, tỷ lệ tro nén ở 150 và 200°C đều vượt tiêu chuẩn của Hàn Quốc [9], Nhật Bản [11] và châu Âu [10], với tỷ lệ lần lượt là 6,5521 và 5,3874%, không đạt tiêu chuẩn nào.

Mẫu mùn cưa kết hợp nylon nén ở 150°C có tỷ lệ tro 3,3457%, đạt tiêu chuẩn loại 3 của Hàn Quốc [9], cao gấp 3,35 lần so với tiêu chuẩn Nhật Bản [11] và 2,2 lần so với tiêu chuẩn châu Âu.

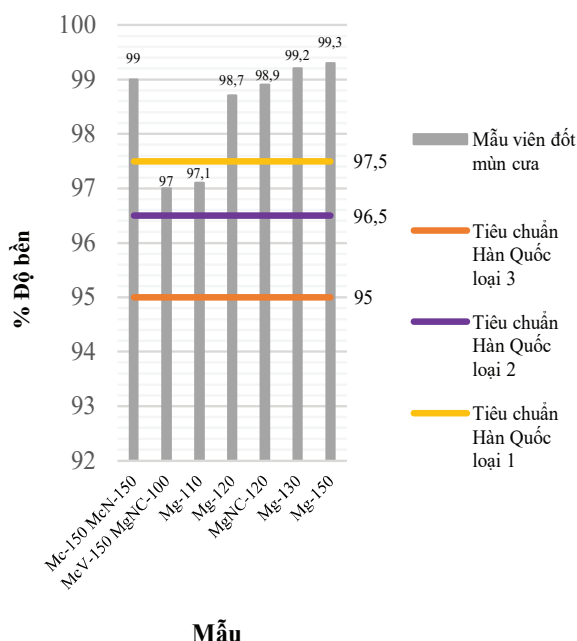


Biểu đồ 4. So sánh độ tro viên đốt mùn gỗ với các tiêu chuẩn Hàn Quốc [9], Nhật Bản [11] và châu Âu [10].

Kết quả biểu đồ 4 cho thấy, các mẫu sử dụng mùn gỗ làm nguyên liệu chính đều có phần trăm độ tro dưới 3%, đạt tiêu chuẩn loại 2 ($\leq 3\%$) và loại 3 ($\leq 5\%$) của Hàn Quốc [9]. Tuy nhiên, chúng không đạt tiêu chuẩn của Nhật Bản [11] và châu Âu [10], với độ tro cao hơn từ 2,58 đến 3 lần so với tiêu chuẩn Nhật Bản [11] và từ 1,72 đến 2 lần so với tiêu chuẩn châu Âu [10]. Đối với mẫu kết hợp mùn gỗ với nhãn chai, độ tro của viên nén ép ở 100 và 120°C cũng đạt tiêu chuẩn loại 2 và loại 3 của Hàn Quốc [9], nhưng vẫn không đáp ứng các tiêu chuẩn của Nhật Bản [11] và châu Âu [10].

3.6. Đánh giá thông số độ bền viên đốt

Sau khi có sản phẩm viên đốt từ nén ép nhiệt, ta tiến hành đo và đánh giá độ bền của viên đốt qua máy rung lắc và so sánh với tiêu chuẩn của Hàn Quốc [9].



Biểu đồ 5. So sánh độ hao hụt khối lượng sau rung lắc viên đốt với tiêu chuẩn Hàn Quốc [9].

Kết quả biểu đồ 5 cho thấy, đa phần các mẫu viên đốt từ mùn cưa và mùn gỗ đều đạt tiêu chuẩn độ bền loại 1 của Hàn Quốc [9] là $\geq 97,5\%$. Mẫu McV-150, McN-150 và MgNC-100 chỉ đạt được loại 2, 3 của Hàn Quốc [9] ($\geq 96,5\%$). Về cơ bản, độ bền của các mẫu viên đốt đều $\geq 97\%$ nên trong quá trình vận chuyển có sự va đập dẫn đến sự thay đổi về kết cấu viên đốt thì hoàn toàn chấp nhận được mức hao hụt $\leq 3\%$ khối lượng như kết quả độ bền đã phân tích.

3.7. Ảnh hưởng môi trường và phát thải

Trong quá trình đốt, thành phần nhựa (PE, PP, PET) và vỏ hộp sữa (cấu tạo từ giấy, nhựa PE và lớp nhôm) có thể sinh ra nhiều loại khí thải ảnh hưởng đến môi trường. Các chất phát thải bao gồm khí axit (HCl, HF), hydrocarbon, NO_x, SO_x và bụi mịn. Mức độ phát thải phụ thuộc vào tỷ lệ phối trộn nguyên liệu, điều kiện nhiệt độ - oxy trong quá trình cháy, cũng như hiệu quả của hệ thống xử lý khí thải được áp dụng.

Để giảm thiểu các tác động tiêu cực, cần có các biện pháp tiên xử lý phù hợp. Một số giải pháp được đề xuất gồm: tách hoặc giảm thiểu lớp nhôm trong vỏ hộp sữa; tăng cường công đoạn rửa để loại bỏ tạp chất vô cơ; đồng thời kiểm soát kích thước hạt nguyên liệu nhằm hạn chế lượng tro sinh ra trong quá trình đốt.

Song song đó, việc đo kiểm và đánh giá phát thải là rất quan trọng. Cần tiến hành phân tích thành phần nguyên tố (CHNS, kim loại nặng), thực hiện các thử nghiệm đốt ở quy mô pilot và đo lường khí thải phát sinh (CO, NO_x, SO₂, HCl, HF, VOC, bụi). Bên cạnh đó, cần xác định lượng tro bay và tro đáy, đồng thời đối chiếu kết quả với các ngưỡng quy định của thị trường mục tiêu để đảm bảo sản phẩm đầu ra đáp ứng yêu cầu môi trường.

Từ các phân tích trên có thể rút ra kết luận: những cấp phối nguyên liệu có hàm lượng tro cao không phù hợp cho phân khúc dân dụng do nguy cơ phát thải lớn và khó kiểm soát. Thay vào đó, chúng nên được ưu tiên ứng dụng trong các hệ thống công nghiệp hoặc đồng đốt, nơi đã có sẵn thiết bị xử lý khí thải hiện đại, đảm bảo an toàn và giảm thiểu rủi ro môi trường.

4. Kết luận

Nghiên cứu chứng minh khả năng sản xuất viên nén RDF từ mùn cưa, mùn gỗ (cành) và một phần rác thải sinh hoạt (vỏ hộp sữa, nilon, nhãn chai) với khối lượng nạp 15 g/viên, dải nhiệt nén 110-200°C, thời gian giữ 15 phút. Cấp phối phù hợp là 8:2 (mùn cưa/chất kết dính rác) và 9:1 (mùn gỗ/nhãn chai), cho tạo hình đẹp và liên kết tốt. Kết quả đo cho thấy: ẩm $< 10\%$, độ bền $\geq 97\%$, nhiệt trị đạt 16,85-24,68 MJ/kg; độ tro của một số cấp phối cao hơn chuẩn Nhật/EU dân dụng nhưng đáp ứng

tiêu chuẩn Hàn Quốc và phù hợp ứng dụng công nghiệp/đồng đốt. Hướng tiếp theo là giảm tro (tách lớp nhôm hộp sữa, tối ưu rửa/loại tạp), chuẩn hóa đo mật độ khối và chuẩn hóa phép đo độ bền theo ISO 17831-1 để tăng khả năng so sánh quốc tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] A. Gendebien, A. Leavens, K. Blackmore, et al. (2003), "Refuse derived fuel, current practice and perspectives", *European Commission - Directorate General Environment*, pp.11-13.
- [2] T.T. Thao (2023), "Wood pellets: An environmentally friendly solution", <https://sinhquyennghien.com.vn/tin-tuc/Vien-nen-go-giai-phap-than-thien-voi-moi-truong-20yyxk>, accessed 30 June 2025 (in Vietnamese).
- [3] S.G. Nosenzo, R. Kelman (2025), "From fields to fuel: Analyzing the global economic and emissions potential of agricultural pellets, informed by a case study", *arXiv*, DOI: 10.48550/arXiv.2508.12457
- [4] MK Resources Governance (2025), "Promoting cooperation in wood pellet production, trade, and sustainable supply chain development between Vietnam and Japan", <https://www.mkresourcesgovernance.org/en/2025/05/23/thuc-day-hop-tac-san-xuat-thuong-mai-va-phat-trien-ben-vung-chuoi-cung-ung-vien-nen-go-giua-viet-nam-va-nhat-ban>, accessed 30 June 2025 (in Vietnamese).
- [5] Forest Trends & Vietnam Timber and Forest Products Association (2024), *Vietnam Export Wood Pellet and Woodchip in The First Half of 2024* (in Vietnamese).
- [6] D. Huong (2025), "Wood pellets: Standardizing production to meet market demand", *Government News*, <https://baohinhphu.vn/vien-nen-go-chuan-hoa-san-xuat-de-dap-ung-nhu-cau-thi-truong-102250711140753036.htm>, accessed 1 September 2025 (in Vietnamese).
- [7] R. García, M.D.P. Vázquez, F. Rubiera, et al. (2021), "Co-pelletization of pine sawdust and refused derived fuel (RDF) to high-quality waste-derived pellets", *Journal of Cleaner Production*, **328**, DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.129635.
- [8] Parr Instrument Co. (2008), *1341 Plain Jacket Bomb Calorimeter*, Operating Instruction Manual, No. 204M.
- [9] Korean Pellet Standard (2019), *Korean Wood Pellet Standard*, <http://surl.li/rgzxak>, accessed 30 July 2025.
- [10] European Pellet Standard (2019), *European Wood Pellet Standard*, <http://surl.li/onirco>, accessed 30 July 2025.
- [11] Japanese Pellet Standard (2023), *Japanese Wood Pellet Standard*, <http://surl.li/hglia>, accessed 30 July 2025.