

An Experimental Study on the Compression of the Fallen Leaf Pellets Using Rollers and Compression Molding Technology

Thanh Trung Dang

Department of Thermal Engineering, Hochiminh city University of Technology and Education, Vietnam

* Corresponding author. Email: trungdang@hcmute.edu.vn

ARTICLE INFO

Received: 11/08/2022
Revised: 15/08/2022
Accepted: 17/08/2022
Published: 28/10/2022

KEYWORDS

Pellet;
Fallen leaf;
Compression molding;
Roller;
Experiment.

ABSTRACT

In order to reduce carbon emissions and sustainably use renewable energy that are less harmful to the environment, biomass energy sources are being encouraged to research and use by the international organizations. This paper presented an experimental investigation on the compression of fallen leaf pellets using rollers and compression molding technology. The adhesive materials were used to experiment with compressing the fallen leaf pellets: rice husks, water, and flour powder. The experimental results show the best performance for the leaf pellet mixed with 20% water (ratio 8-2). At this ratio, the average compression efficiency is up to 98%. Also with this ratio, the average humidity of the pellets is 23.5%. This combustive fuel's humidity range is capable of supplying the biomass boiler. The capacity of the leaf pellet machine is about 50 kg/h.

Một Nghiên Cứu Thực Nghiệm Về Nén Viên Lá Cây Dùng Công Nghệ Ru Lô và Khuôn Nén

PGS.TS Đặng Thành Trung

Bộ môn Công nghệ Nhiệt – Điện lạnh, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM, Việt Nam

* Tác giả liên hệ. Email: trungdang@hcmute.edu.vn

THÔNG TIN BÀI BÁO

Ngày nhận bài: 11/08/2022
Ngày hoàn thiện: 15/08/2022
Ngày chấp nhận đăng: 17/08/2022
Ngày đăng: 28/10/2022

TỪ KHÓA

Viên nén;
Lá cây khô;
Khuôn nén;
Ru lô;
Thực nghiệm.

TÓM TẮT

Nhằm giảm thiểu lượng phát thải carbon và chuyển sang sử dụng một cách bền vững các nguồn năng lượng tái tạo ít gây hại cho môi trường, các nguồn năng lượng sinh khối (biomass) đang được các tổ chức quốc tế khuyến khích nghiên cứu và sử dụng. Bài báo đã đưa ra các kết quả thực nghiệm nghiên cứu về nén viên lá cây dùng công nghệ ru lô và khuôn nén. Các vật liệu làm tăng kết dính đã được dùng trong quá trình thực nghiệm nén viên lá cây bao gồm trấu, nước và bột mì pha loãng. Kết quả thực nghiệm cho thấy mẫu nguyên liệu cho quá trình nén tốt nhất là mẫu vụn lá khô pha thêm 20% nước (tỉ lệ 8-2). Ở tỉ lệ này, hiệu suất nén trung bình lên đến 98%. Cũng với tỉ lệ này, độ ẩm viên nén trung bình ở 23,5%, nhiên liệu đốt có độ ẩm trong khoảng này hoàn toàn có khả năng đưa trực tiếp vào lò hơi biomass. Công suất máy nén viên lá cây đạt được khoảng 50kg/h.

Doi: <https://doi.org/10.54644/jte.72B.2022.1260>

Copyright © JTE. This is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium for non-commercial purpose, provided the original work is properly cited.

1. Giới thiệu

Trong bối cảnh những nguồn năng lượng hóa thạch ngày càng cạn kiệt và gây ảnh hưởng tiêu cực đến môi trường, các tổ chức quốc tế đã nỗ lực thúc đẩy giảm thiểu lượng phát thải carbon của thế giới

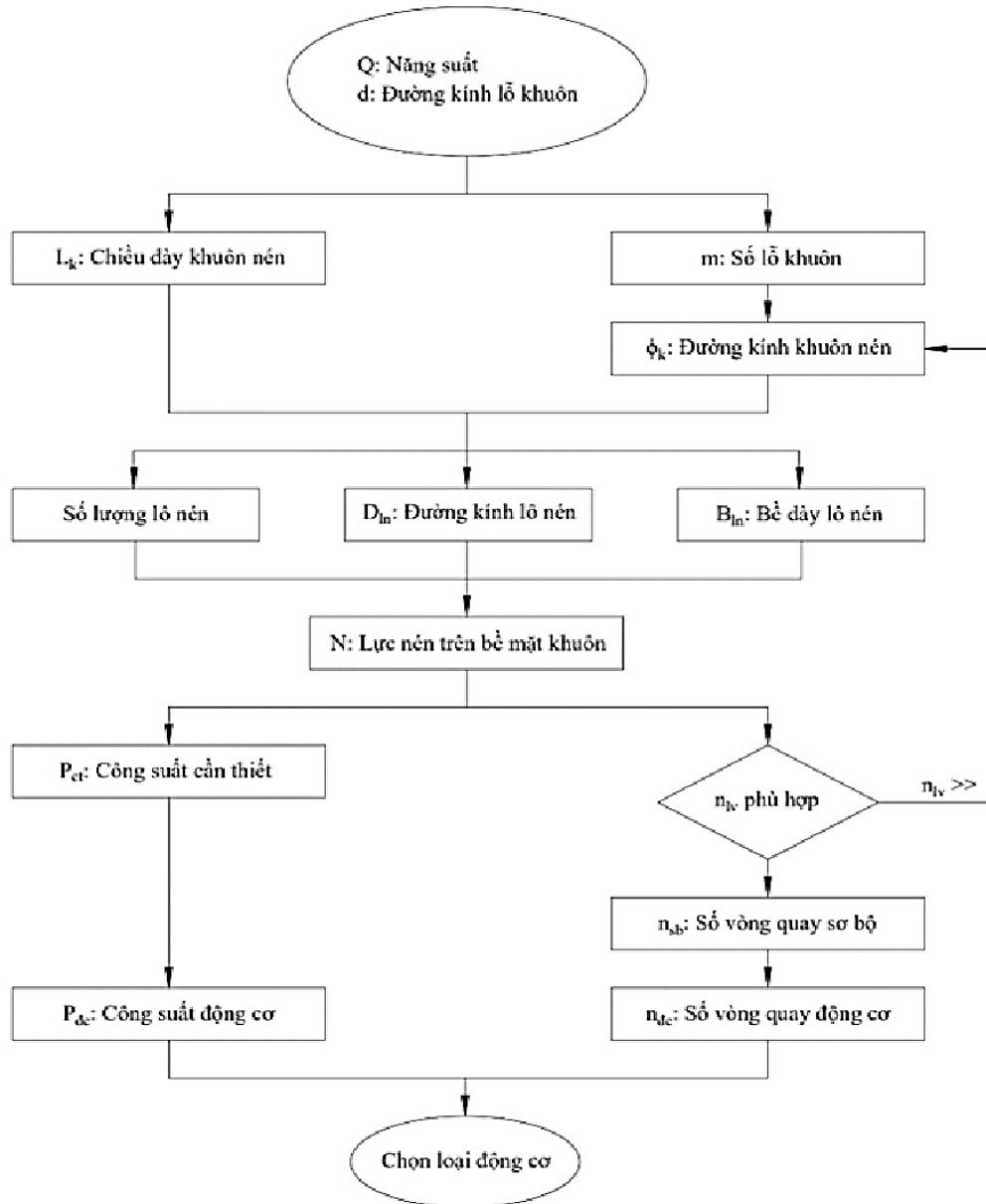
và chuyển sang sử dụng một cách bền vững các nguồn năng lượng tái tạo ít gây hại cho môi trường, điển hình là năng lượng sinh khối [1]. Việc nén viên sinh khối nhằm để cải thiện nhiều thông số quan trọng như khối lượng riêng, năng lượng sinh ra, chi phí vận chuyển và lưu trữ. Saidur cùng các cộng sự [2] đã tổng quan các lò hơi sử dụng nhiên liệu biomass, kết quả tổng quan thể hiện rằng lò hơi sử dụng nhiên liệu sinh khối mang lại nhiều lợi ích về kinh tế, xã hội và môi trường, chẳng hạn như giảm thiểu các khí thải độc hại như CO₂, NO_x, CH₄, SO_x và CO, đa dạng hóa nguồn cung cấp nhiên liệu. Việc tổng quan về các viên nén sinh khối từ nhiệt hóa thay thế bền vững cho than trong các nhà máy nhiệt điện cũng được thực hiện bởi Nunes cùng các cộng sự [3]. Ríos-Badrán cùng các cộng sự [4] đã mô tả việc sản xuất và đưa ra các đặc tính của viên nén làm từ trấu và rơm lúa mì. Ajimotokan cùng các cộng sự [5] đã tiến hành phân tích đặc tính cháy của than bánh làm từ than củi và mùn cưa, từ đó xác định được nồng độ ẩm, nồng độ vật chất bay, hàm lượng tro và nhiệt trị của bánh than. Song cùng các cộng sự [6] đã tiến hành nghiên cứu hòa trộn hỗn hợp mùn cưa với hai loại nhựa PP và LLDPE nhằm tạo ra nhiên liệu rắn có nhiệt trị cao và khả năng chịu được thời tiết. Rajput cùng các cộng sự [7] đã nghiên cứu cải thiện đặc tính của viên nhiên liệu thu được từ các nguồn sinh khối khác nhau bằng cách sử dụng ba chất kết dính là rPVA, WCO và WLO. Kết quả thu được cho thấy chất kết dính WCO có hiệu quả tốt nhất về mặt nhiệt trị, còn WLO giúp cải thiện độ bền viên nén tốt nhất. Sultana và Kumar [8] đã thực hiện một xếp hạng các loại viên nén. Trong nghiên cứu này, gỗ, tiếp theo là cỏ, rơm và phân gia cầm là những loại nguyên liệu thích hợp nhất để làm viên nén, vì chúng đáp ứng hoàn hảo được tất cả những yêu tố kinh tế, kỹ thuật và môi trường. Poddar cùng các cộng sự [9] đã nghiên cứu ảnh hưởng của áp suất nén lên các viên nén sinh khối lignoxenlulo để cải thiện đặc tính nhiên liệu. Kết quả nghiên cứu cho thấy nhiệt trị cao của viên nén sinh khối có xu hướng không xác định khi tăng áp suất nén; bên cạnh đó, nhiệt trị này cũng không phụ thuộc nhiều vào độ ẩm và độ tro. Cũng liên quan đến áp suất nén, các kết quả trong [6] thể hiện rằng viên nén được hình thành tốt nhất trong dãy áp suất từ 156,3 bar đến 312,6 bar. Tuy nhiên, các kết quả trong [1-9] đã chưa đề cập chi tiết đến các viên nén/viên bánh làm từ lá cây. Liên quan đến các nghiên cứu viên nén sinh khối từ lá cây, González cùng cộng sự [10] đã phân tích chất lượng nhiên liệu sinh học của viên nén lá cây: Ảnh hưởng của độ ẩm và hàm lượng glycerol làm chất kết dính. Các kết quả thực nghiệm thể hiện khi tăng hàm lượng glycerol từ 0% lên 10% và độ ẩm từ 10% lên 20% trong sinh khối, khối lượng riêng của viên nén giảm tương ứng là 12% và 10%. Pňaković và Dzurenda [11] đã nghiên cứu đặc điểm cháy của lá cây từ các cây cảnh trong thành phố và công viên rừng. Các kết quả trong [10, 11] chưa đưa ra một quy trình hoàn chỉnh để chế tạo các thiết bị tạo viên nén từ lá cây. González và Pérez [12] đã mô phỏng số về đặc tính than sinh học khí hóa từ lá cây thông qua việc sử dụng mô hình 2D không ổn định CFD (Computational Fluid Dynamics). Tuy nhiên, các kết quả trong [12] chỉ thực hiện bằng phương pháp số, chưa triển khai thực nghiệm.

Ở Việt Nam, các nghiên cứu khoa học và công nghệ về viên nén sinh khối làm từ lá cây chưa được công bố. Dự án chuyển hóa Carbon thấp trong lĩnh vực tiết kiệm năng lượng (LCEE – Low Carbon transition in Energy Efficiency) [13] hợp tác giữa Chính phủ Việt Nam và Đan Mạch trong ngành Năng lượng đưa ra một số giải pháp tiết kiệm năng lượng và bảo vệ môi trường, trong đó có giải pháp thay thế lò hơi đốt than bằng lò hơi sử dụng nhiên liệu biomass. PGS. TS Bùi Trung Thành [14] đã nghiên cứu công nghệ khí hóa để xử lý rác thải rắn trong sản xuất công nghiệp – chế biến tạo năng lượng phục vụ cho quá trình sấy và bảo quản nông sản, thực phẩm. Trong nghiên cứu này, một máy tạo viên nén và một máy tạo nguyên liệu bột nhựa đã được thiết kế và chế tạo. Tuy nhiên, nguyên liệu dùng làm viên nén sinh khối là mùn cưa và năng suất tạo viên chỉ khoảng 17kg/h. Với máy nén viên công suất nhỏ, công nghệ nén thường được sử dụng là ru lô và khuôn nén. Một số loại viên nén làm từ các nguồn sinh khối như gỗ, mùn cưa, trấu,... cũng đã được nhiều công ty thực hiện [15]. Tuy nhiên, các thiết bị của các công ty này không sử dụng lá cây làm nguồn nhiên liệu sản xuất viên nén. Vật liệu kết dính với lá cây khi nén viên cũng chưa thấy đề cập.

Từ các tổng quan trên, việc nghiên cứu và đưa ra các kết quả thực nghiệm máy ép viên từ lá cây là hết sức cần thiết. Trong nghiên cứu này, máy ép viên dùng thực nghiệm có công suất khoảng 50kg/h. Quá trình ép viên dùng kỹ thuật ru lô và khuôn nén. Các vật liệu dùng kết dính khi nén viên nén lá cây: Trấu, nước và bột mì pha loãng.

2. Cơ sở thiết kế và chế tạo

Lưu đồ tính toán và chọn động cơ được thể hiện ở Hình 1. Từ công suất máy và đường kính lỗ khuôn, lực nén trên bề mặt khuôn đã được xác định. Đây là thông số quan trọng để xác định công suất và số vòng quay động cơ.



Hình 1. Lưu đồ tính toán, lựa chọn động cơ dẫn động

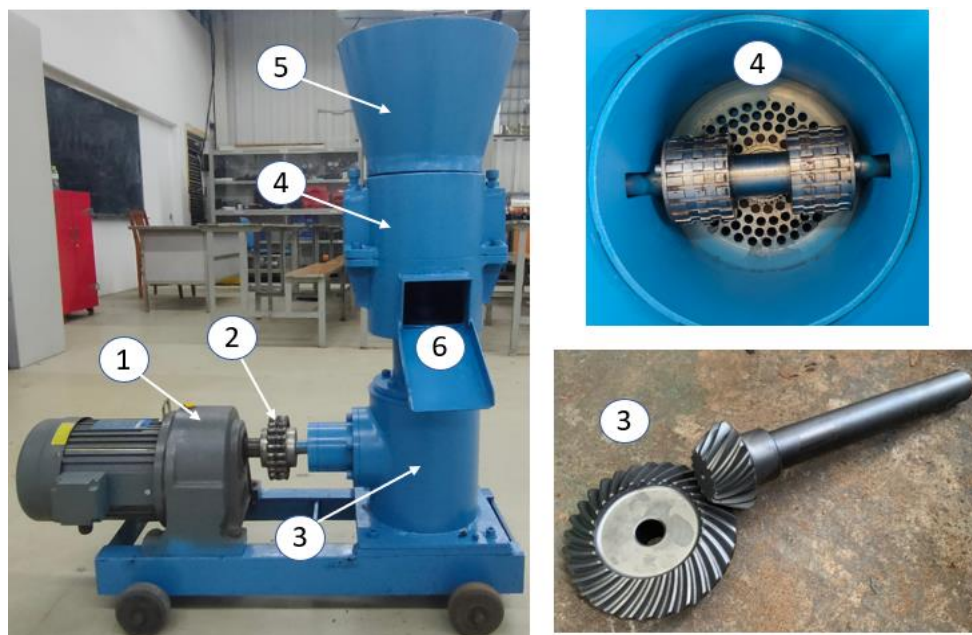
Công thức tính công suất lý thuyết của máy nén viên theo [16, 17]:

$$Q = 3600k' \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot m \cdot Z \cdot v \cdot \rho \text{ (kg / h)} \quad (1)$$

Trong đó: Q: Công suất lý thuyết (kg/h); k': Hệ số cản chuyển động của vật liệu khi qua các lỗ khuôn; d: Đường kính lỗ khuôn (m); m: Số lỗ trên khuôn; Z: Số Ru lô nén; ρ: Khối lượng riêng của viên ép (kg/m³); Vận tốc nguyên liệu nén qua lỗ khuôn, chọn v = 0,025 (m/s) [16].

Bảng 1. Kết quả tính toán thiết kế máy nén viên

STT	Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị
1	Công suất động cơ	$P_{đc}$	kW	4,5
2	Công suất trục công tác	P_{lv}	kW	3,99
3	Số vòng quay trục động cơ	$n_{đc}$	vòng/phút	950
4	Số vòng quay trục công tác	n_{lv}	vòng/phút	414
5	Moment trên trục làm việc	T	N.mm	92039,86
6	Tỉ số truyền bánh răng	u_{BR}	-	2,3
7	Chiều dày khuôn nén	L_k	mm	24
8	Đường kính khuôn nén	D_k	mm	194
9	Số lỗ khuôn nén	m	lỗ	194
10	Lực nén từ ru lô nén	N	N	872,73
11	Đường kính lỗ nén	d	mm	8



Hình 2. Cấu tạo máy nén viên

Dựa vào các cơ sở lý thuyết, các kết quả tính toán thiết kế máy nén viên với những thông số cơ bản được thể hiện trong Bảng 1. Từ các kết quả thiết kế trên, máy nén viên được chế tạo gồm các bộ phận như được thể hiện trong Hình 2. Máy bao gồm: 1. Motor động cơ; 2. Vị trí khớp nối; 3. Bộ truyền bánh răng giảm tốc (truyền động bằng bánh răng côn); 4. Cụm tạo viên (bao gồm 1 khuôn nén, 2 Ru lô nén, 2 bulong chỉnh lô nén); 5. Phễu chứa nguyên liệu; 6. Máng ra sản phẩm.

Các thông số cơ bản của máy nén viên thực tế thể hiện ở Bảng 2. Từ Bảng 1 và Bảng 2, một số thông số có sự khác biệt giữa tính toán lý thuyết và chế tạo thực tế. Sự khác biệt này do kỹ thuật chế tạo thực tế và cũng do các hệ số chọn khi tính toán lý thuyết.

Bảng 2. Thông số cơ bản máy nén viên lá cây thực tế

STT	Thông số	Đơn vị	Giá trị
1	Kích thước ngoài (dài x rộng x cao)	mm	960x450x1040
2	Số vòng quay ra khỏi động cơ	vòng/phút	483
3	Động cơ dẫn động	kW	3,7 kW, 3 pha
4	Tỉ số truyền bộ truyền bánh răng côn	-	2
5	Số vòng quay trục công tác	vòng/phút	241
6	Đường kính khuôn nén	mm	205
7	Bề dày khuôn nén	mm	24
8	Đường kính lỗ nén	mm	mặt trên: 9,5; dưới: 8
9	Số lỗ trên bề mặt khuôn nén	-	103
10	Số lu lô	-	2
11	Đường kính ru lô	mm	81
12	Bề dày ru lô	mm	54

3. Các kết quả và thảo luận

Trong nghiên cứu này, quá trình thực nghiệm được tiến hành với ba trường hợp pha trộn nguyên liệu nén: mẫu vụn lá khô có pha thêm trấu, nước và bột mì pha loãng.

Bảng 3. Kết quả thực nghiệm với mẫu vụn lá khô pha với trấu

Lần	Tỉ lệ hòa trộn trấu/vụn (%)	Năng suất (kg/h)	Hiệu suất (%)	Độ ẩm viên nén (%)	Chiều dài viên nén (mm)
1		49,5	98		
2	10 – 90	49,7	95	14,7	24
3		51,3	97		
4		52	98		
5	30 – 70	49,5	97	14,6	20
6		50	98		
7		48,7	96		
8	50 – 50	50,8	98	14,4	20
9		50,3	86		



Hình 3. Mẫu thí nghiệm trộn vụn lá khô với trấu

Trường hợp thứ nhất, các kết quả thực nghiệm khi hòa trộn với trấu đã được thể hiện như Bảng 3. Trong lần thực nghiệm này, các mẫu 1-9, 3-7 và 5-5 được thực hiện. Cách xác định tỉ lệ trộn mẫu được tính như sau: Ví dụ với mẫu trộn 10-90%, 9kg vụn lá khô được trộn với 1kg trấu.

Với lần thực nghiệm trộn trấu vào vụn lá cây khô sau khi được máy cắt cắt, kết quả cho thấy về cơ bản không có sự khác biệt so với chỉ nén vụn lá khô. Máy nén viên cũng chỉ cho ra viên trong 5 phút đầu và sau đó máy nén viên không nén được. Ở đây, hiệu suất nén được xác định bởi khối lượng viên nén thành phẩm với tổng khối lượng viên nén thành phẩm và vụn lá cây rớt xuống khuôn mà không được nén. Viên nén sau khi trộn trấu có kích thước ngắn như Hình 3. Kết quả khảo sát cho thấy rằng càng nhiều trấu thì độ cứng càng giảm, nhưng độ ẩm của viên nén có trấu thấp ở giá trị khoảng 14,5%. Với tỉ lệ 1-9, bề mặt viên nén có màu đen bóng và có dấu hiệu nám cháy. Kết quả này cho thấy trấu không nên trộn với lá cây khô khi ép viên.

Trường hợp thứ hai với mẫu vụn lá khô trộn thêm nước, quá trình thực nghiệm thực hiện bằng cách dùng bình tưới cây để phun nước đều vào vụn lá. Trong lần thực nghiệm này, các mẫu 1-9, 2-8 và 3-7 được thực hiện. Các kết quả thực nghiệm được thể hiện ở Bảng 4.

Bảng 4. Kết quả thực nghiệm với mẫu vụn lá khô pha thêm nước

Lần	Tỉ lệ hòa trộn nước/vụn (%)	Năng suất (kg/h)	Hiệu suất (%)	Độ ẩm viên nén (%)	Chiều dài viên nén (mm)
1		47,5	70		
2	10 – 90	50,7	74	16,5	30
3		49,3	77		
4		51	98		
5	20 – 80	49,2	97	23,5	45
6		48	98		
7		48,2	80		
8	30 – 70	49,8	78	> 30	20
9		50,3	81		



Hình 4. Mẫu thí nghiệm trộn vụn lá khô với nước

Sau khi trộn vụn lá cây khô với nước thì năng suất của máy cao, đạt khoảng 50kg/h. Kích thước viên nén có sự khác biệt giữa các mẫu thử nghiệm khác nhau như Hình 4 và hiệu suất của từng mẫu thử nghiệm thay đổi cụ thể như sau:

- Khi trộn với tỉ lệ 10-90: công suất trung bình là 49kg/h, hiệu suất đạt trung bình 74%. Qua đây có thể thấy nếu pha thêm 10% nước thì vẫn chưa đủ, vẫn còn một số vụn bị khô thiếu khả năng kết dính nên sẽ qua lỗ nén và rớt ra ngoài nhiều mà không được nén lại.

- Khi trộn với tỉ lệ 20-80: công suất trung bình là 49,5kg/h nhưng hiệu suất trung bình lên đến 98%, cho thấy với tỉ lệ trộn này thì cho kết quả viên nén tốt. Với tỉ lệ này, độ ẩm viên nén trung bình ở 23,5%, độ ẩm này hoàn toàn có khả năng đưa trực tiếp vào lò hơi biomass (đốt được với độ ẩm dưới 30%). Máy ép viên chạy ổn định suốt thời gian dài.

- Khi trộn với tỉ lệ 30-70: công suất trung bình là 49,5kg/h và hiệu suất trung bình lại giảm xuống còn khoảng 80%. Nguyên nhân sự giảm hiệu suất là do vụn lá quá ẩm, khả năng kết dính có nhưng cho ra viên nén có độ cứng thấp, độ ẩm cao, nên dễ bị vỡ vụn.

Trường hợp cuối cùng, mẫu vụn lá khô được trộn cùng bột mì pha loãng với các tỉ lệ khác nhau được thể hiện trong Bảng 5. Trong lần thực nghiệm này, các mẫu 1-9, 2-8 và 3-7 được thực hiện.

Bảng 5. Kết quả thực nghiệm với mẫu vụn lá khô pha với bột mì loãng

Lần	Tỉ lệ hòa trộn bột/vụn (%)	Năng suất (kg/h)	Hiệu suất (%)	Độ ẩm viên nén (%)	Chiều dài viên nén (mm)		
1	10 – 90	48,4	62	> 30	20		
2		49	58				
3		51,6	60				
4	20 – 80	53	55		> 30	20	
5		52,4	53				
6		49,5	54				
7	30 – 70	52	50			> 30	20
8		50,5	52				
9		47	49				

Tỉ lệ 1-9



Tỉ lệ 2-8



Tỉ lệ 3-7



Hình 5. Mẫu thí nghiệm trộn vụn lá khô với bột mì pha loãng

Sau khi trộn vụn lá cây với bột mì pha loãng thì công suất của máy đạt khoảng 50kg/h; tuy nhiên, hiệu suất lại rất thấp. Kết quả khảo sát cho thấy rằng ngay lần thử nghiệm đầu tiên với tỉ lệ 10%, máy nén viên lá cây đã cho hiệu suất khá thấp, nguyên nhân là do ngay ở mức 10% thì độ ẩm đã cao, cho ra viên nén mềm, dễ vỡ như Hình 5. Hơn nữa, với bột mì pha loãng thì tương đối dẻo nên rất khó hòa trộn đồng đều với lá vụn nên muốn giảm tỉ lệ bột xuống thấp hơn 10% thì sẽ khó hòa trộn. Khi tăng tỉ lệ bột mì lên 20-30%, kết quả cho thấy hiệu suất ngày càng thấp. Từ các kết quả trên, việc trộn thêm bột mì pha loãng vào vụn lá không phù hợp.

Từ các kết quả thực nghiệm trên, tình trạng máy ép viên không ổn định (chỉ được 5 phút đầu) là do lực nén lớn nên trong quá trình nén có sự sinh nhiệt lớn giữa ru lô nén và khuôn nén làm mất độ kết dính, liên kết giữa các vụn lá cây với nhau. Kết quả thực nghiệm cho thấy mẫu nguyên liệu cho ra viên nén tốt nhất là mẫu vụn lá khô pha thêm 20% nước. Nếu lượng nước cao hơn 20% thì viên sẽ mềm, dễ vỡ, có độ ẩm cao còn lượng nước thấp hơn 20% thì viên cứng hơn nhưng vẫn còn một lượng vụn lá không được nén nên hiệu suất chưa đạt tối đa.

4. Kết luận

Một nghiên cứu thực nghiệm về quá trình nén lá cây khô đã được thực hiện. Máy nén viên trong nghiên cứu này dùng công nghệ ru lô và khuôn nén. Để tăng kết dính khi nén viên từ lá cây, các chất đã được đưa vào thực nghiệm: trấu, nước và bột mì pha loãng. Một số kết quả chính đạt được như sau:

- Máy nén viên có công suất động cơ 3,7 kW, số vòng quay trực động cơ 483 vòng/phút.
- Máy nén viên đạt hiệu suất cao nhất và chạy ổn định khi hòa trộn vụn lá khô với nước theo tỉ lệ 80% và 20%. Ở tỉ lệ này, hiệu suất trung bình lên đến 98%.
- Cũng với tỉ lệ này, độ ẩm viên nén trung bình ở 23,5%. Nhiên liệu đốt có độ ẩm trong khoảng này hoàn toàn có khả năng đưa trực tiếp vào lò đốt biomass.
- Công suất máy nén viên lá cây đạt được khoảng 50kg/h.

Lời cảm ơn

Tác giả cảm ơn sâu sắc đến sự hỗ trợ cho nghiên cứu này bởi đề tài **RESEARCH FOR A BETTER LIFE (T2021-01 RBL)** của Trường ĐH Sư phạm Kỹ thuật TP. HCM.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] D.S. Bajwa, T. Peterson, N. Sharma, J. Shojaeiarani, and S. G. Bajwa, A review of densified solid biomass for energy production, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol 96, 2018, pp.296–305.
- [2] R. Saidur, E.A. Abdelaziz, A. Demirbas, M.S. Hossain, and S. Mekhilef, A review on biomass as a fuel for boilers, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol 15, 2011, pp. 2262–2289.
- [3] L.J.R.Nunes, J.C.O.Matias, and J.P.S.Catalão, A review on torrefied biomass pellets as a sustainable alternative to coal in power generation, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol 40, 2014, p. 153-160.
- [4] Inés M.Ríos-Badrán, IvánLuzardo-Ocampo, Juan FernandoGarcía-Trejo, JoséSantos-Cruz, and ClaudiaGutiérrez-Antonio, Production and characterization of fuel pellets from rice husk and wheat straw, *Renewable Energy*, 145, 2020, pp. 500-507.
- [5] H.A.Ajimoto, A.O.Ehinder, K.S.Ajao, A.A.Adeleke, P.P.Ikubanni, and Y.L.Shuaib-Babata, Combustion characteristics of fuel briquettes made from charcoal particles and sawdust agglomerates, *Scientific African*, 6, 2019, pp. 1-9
- [6] BingSong, MartínCooke-Willis, BeatrixTheobald, and PeterHall, Producing a high heating value and weather resistant solid fuel via briquetting of blended wood residues and thermoplastics, *Fuel*, 283, 2021, p.119263
- [7] Shailendrasingh P.Rajput, Sachin V.Jadhav, and Bhaskar N. Thorat, Methods to improve properties of fuel pellets obtained from different biomass sources: Effect of biomass blends and binders, *Fuel Processing Technology*, Vol 199, 2020, p. 106255.
- [8] ArifaSultana and AmitKumar, Ranking of biomass pellets by integration of economic, environmental and technical factors, *Biomass and Bioenergy*, Vol 39, 2012, pp. 344-355.
- [9] Saumen Poddar, Mohammed Kamruzzaman,S.M.A. Sujana, M. Hossain, M.S. Jamal, M.A. Gafur, and Mahfuza Khanam, Effect of compression pressure on lignocellulosic biomass pellet to improve fuel properties: Higher heating value, *Fuel*, Vol 131, 2014, pp.43-48
- [10] William A. González, Diana López, and Juan F.Pérez, Biofuel quality analysis of fallen leaf pellets: Effect of moisture and glycerol contents as binders, *Renewable Energy*, Vol 147, 2020, pp. 1139–1150.
- [11] Eubomír Pňakovič and Ladislav Dzurenda, Combustion Characteristics of Fallen Fall Leaves from Ornamental Trees in City and Forest Parks, *BioResources*, Vol 10, 2015, p.5563-5572.
- [12] William A.González and Juan F.Pérez, CFD analysis and characterization of biochar produced via fixed-bed gasification of fallen leaf pellets, *Energy*, Vol. 186, 2019, p. 115904.
- [13] <https://vietnam.um.dk/vi/tang-truong-xanh/cdm/>
- [14] PGS.TS Bùi Trung Thành, Nghiên cứu ứng dụng công nghệ khí hóa để xử lý rác thải rắn trong sản xuất công nghiệp – chế biến tạo năng lượng phục vụ cho quá trình sấy và bảo quản nông sản, thực phẩm – Báo cáo Tổng kết Đề tài NCKH&PTCN cấp Bộ năm 2019, TP. HCM, 2020.
- [15] <http://gizenergy.org.vn/vn/article/sn-xut-vien-djt-rpf-bin-rac-thanh-nng-Ing-sch>, 25/10/2016.
- [16] Trịnh Chất và Lê Văn Uyển, *Tính toán thiết kế hệ thống dẫn động cơ khí tập một*, NXB Giáo Dục, 2006.
- [17] Nguyễn Hữu Lộc, *Cơ sở thiết kế máy*, NXB Đại học Quốc gia Tp.HCM, 2013.



Thanhtrung Dang, PhD, APE, is an Associate Professor and the Head of the Department of Thermal Engineering and the Chairman of Master Program in Thermal Engineering, Hochiminh City University of Technology and Education (HCMUTE), Vietnam. He received his BS and MS in the Department of Thermal Technology at Vietnam National University Hochiminh city – University of Technology (HCMUT), PhD in the Department of Mechanical Engineering, Chung Yuan Christian University (CYCU), Taiwan. His main research interests are nano/microscale heat transfer, energy and sustainable development, industrial refrigeration and air conditioning, and energy economics.