

Ảnh hưởng của thông số công nghệ ép đến tính chất cơ lý của vật liệu ván tổ hợp từ MDF và gỗ ghép thanh Bồ đề

Tăng Thị Kim Hồng^{1*}, Tường Thị Thu Hằng²

¹Trường Đại học Nông Lâm, Thành phố Hồ Chí Minh

²Trường Đại học Thủ Dầu Một

Influence of pressing parameters on mechanical and physical properties of sandwich board with MDF faces and laminated *Styrax tonkinensis* wood core

Tang Thi Kim Hong^{1*}, Tuong Thi Thu Hang²

¹Nong Lam University, Ho Chi Minh City

²Thu Dau Mot University

*Corresponding author: tangkimhong@hcmuaf.edu.vn

<https://doi.org/10.55250/jo.vnuf.14.3.2025.166-176>

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu tối ưu hóa các thông số công nghệ của chế độ ép (áp suất ép, thời gian ép và nhiệt độ ép) trong quá trình chế tạo vật liệu cấu trúc ba lớp. Cấu trúc vật liệu gồm lớp mặt là ván MDF và lớp lõi là gỗ Bồ đề (*Styrax tonkinensis*) ghép thanh bằng keo Polyvinyl Acetate (PVA) và keo urê-formaldehyde (UF) để liên kết. Kết quả nghiên cứu cho thấy, khi thay đổi trị số của các yếu tố nhiệt độ, áp suất và thời gian ép, đã có những tác động đến các chỉ tiêu chất lượng ván hỗn hợp không giống nhau. Cụ thể là: 3 yếu tố khi tương tác chéo lẫn nhau thì có xu hướng làm tăng khối lượng riêng của ván; trong khi đó tỷ lệ trương nở có xu hướng giảm khi nhiệt độ và thời gian ép tăng khi áp lực ép giảm xuống; và độ bền uốn tĩnh chịu sự tác động phức tạp của các yếu tố ảnh hưởng, cần phải có sự điều chỉnh phù hợp mới có được giá trị tốt nhất. Áp dụng các thông số công nghệ tối ưu gồm áp lực ép 1,023 MPa, thời gian ép 7,712 phút và nhiệt độ ép 103,96°C, vật liệu thu được có các tính chất cơ lý như sau: khối lượng riêng 0,568 g/cm³, tỷ lệ trương nở theo chiều dày 10,19% và độ bền uốn tĩnh đạt 70,529 MPa.

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 10/04/2025

Ngày phản biện: 12/05/2025

Ngày quyết định đăng: 02/06/2025

Từ khóa:

Gỗ Bồ đề ghép thanh, lớp lõi, lớp mặt, ván MDF, vật liệu ván tổ hợp.

ABSTRACT

This study focuses on optimizing the key hot-pressing parameters—pressure, pressing time, and temperature—for the production of sandwich panels. The panel features MDF (medium density fiberboard) as face layers and laminated *Styrax tonkinensis* wood as the core. Polyvinyl Acetate was used for the core assembly, while Urea-Formaldehyde ensured interlayer adhesion. The results indicate that variations in these pressing parameters exert both positive and negative influences on the composite panels' physical and mechanical properties. Specifically, interactions among the three factors consistently increased panel density. The thickness swelling ratio decreased with rising temperature and pressing time, and with decreasing pressure. Static bending strength was affected by complex interactions, necessitating careful adjustment to achieve optimal performance. The identified optimal pressing conditions were 1.023 MPa pressure, 7.712 minutes pressing time, and 103.96°C temperature. Under these conditions, the resulting panels achieved a density of 0.568 g/cm³, a thickness swelling ratio of 10.19%, and a static bending strength of 70.529 MPa.

Keywords:

Face layers, laminated core, laminated *Styrax tonkinensis* wood, MDF, sandwich panel.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cây Bồ đề (*Styrax tonkinensis*) là loài cây gỗ bản địa được trồng phổ biến tại Việt Nam nhờ khả năng sinh trưởng nhanh và thích nghi với nhiều điều kiện lập địa khác nhau. Với khối lượng riêng trung bình thấp (khoảng 450 – 480

kg/m³), gỗ Bồ đề có tiềm năng sử dụng trong công nghiệp chế biến gỗ, tuy nhiên độ bền cơ học và tính ổn định kích thước còn hạn chế, dẫn đến phạm vi ứng dụng chủ yếu trong các sản phẩm không yêu cầu cao về kết cấu [1].

Trong bối cảnh ngành công nghiệp vật liệu đang hướng đến phát triển các dòng sản phẩm nhẹ, thân thiện môi trường và có khả năng tận dụng nguyên liệu bản địa, việc tạo ra vật liệu ván nhiều lớp có cấu trúc nhẹ từ gỗ Bồ đề là một hướng nghiên cứu khả thi. Nghiên cứu của Bekhta và cộng sự (2014) cũng như của Nemli và Aydin (2007) cùng cho rằng ván ba lớp với lớp mặt sử dụng ván MDF (có độ bền cao và bề mặt ổn định) và lớp lõi là các thanh gỗ nhẹ ghép lại có thể tạo ra vật liệu composite có hiệu suất sử dụng và giá trị kỹ thuật cao [2, 3]. Tương tự, Khoo và cộng sự (2019) khẳng định rằng cấu trúc vật liệu dạng "sandwich panel" không chỉ giúp giảm trọng lượng tổng thể mà còn tăng độ bền và độ ổn định kích thước, nếu được tối ưu về thiết kế cấu trúc và quy trình công nghệ sản xuất [4].

Trong quá trình sản xuất các loại ván kỹ thuật, các thông số của chế độ ép, bao gồm áp lực, thời gian và nhiệt độ, đóng vai trò quan trọng trong việc xác định các tính chất cơ lý của sản phẩm. Theo Gonçalves và cộng sự (2020), nếu các điều kiện ép không được thiết lập phù hợp, liên kết keo có thể không đạt độ bền yêu cầu, dẫn đến các hiện tượng như bong tách lớp, biến dạng hoặc trương nở trong quá trình sử dụng [5].

Do đó, nghiên cứu này tập trung vào việc xác định ảnh hưởng của chế độ ép (áp suất, thời gian và nhiệt độ) đến chất lượng ván ba lớp có lõi từ gỗ Bồ đề. Bằng cách sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm và phân tích thống kê, nghiên cứu nhằm xác định tổ hợp thông số hợp lý để tạo ra vật liệu nhẹ có khối lượng riêng thấp, nhưng vẫn đáp ứng được yêu cầu cơ lý phù hợp với các tiêu chuẩn ván kỹ thuật hiện hành.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu

Vật liệu phủ mặt: Ván MDF được cắt theo kích thước 600 x 630 x 5 mm. Đặc tính kỹ thuật

của ván MDF: khối lượng riêng 750 kg/m³; độ ẩm 10%; độ nhẵn ≥ 8 . Ván MDF được sản xuất bởi Công ty DONGWA, tỉnh Bình Phước.

Vật liệu lõi: Lõi được ghép từ các thanh gỗ Bồ đề (*Styrax tonkinensis*) được xẻ, sấy và bào nhẵn, với kích thước 600 x 35 x 17 mm và độ ẩm từ 8 – 10%.

Keo UF (Urea Formaldehyde): Đặc tính kỹ thuật của keo UF: Dung dịch có hàm lượng chất rắn $50 \pm 1\%$; Màu trắng đục; Độ nhớt (20 °C): 300 MPa·s; pH 6,8 – 7,0; Thời gian đông rắn ở 100 °C: 32 s; Thời gian bảo quản ở nhiệt độ trong phòng: 60 ngày. Keo được sản xuất bởi Công ty TNHH Giai Hân, tỉnh Bình Dương.

Keo Polyvinyl Acetate (PVA): Thông số kỹ thuật: ngoại quan nhũ tương trắng, mùi nhẹ, không độc, tỷ trọng 1,05 – 1,1 g/cm³, độ pH 4 – 6,0, độ nhớt 5.000 – 15.000 MPa·s (25 °C); Thông số công nghệ: thời gian mở 5 – 10 phút (ở 25 °C), thời gian ép ở nhiệt độ phòng 20 – 40 phút; nhiệt độ tối thiểu khi dán ép 10 – 15 °C. Keo PVA được sử dụng trong nghiên cứu, có mã hiệu Latex - A.9000, cung cấp bởi Công ty Keo Đỉnh Cao (Địa chỉ công ty: Dĩ An – Bình Dương).

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Lựa chọn các thông số công nghệ

Nghiên cứu tập trung khảo sát ảnh hưởng của ba thông số công nghệ chính trong quá trình ép gia nhiệt: Áp lực ép (X_1); Thời gian ép (X_2); Nhiệt độ ép (X_3).

Khoảng biến thiên của thông số công nghệ ép nhiệt trong nghiên cứu này được tham khảo từ những nghiên cứu tương tự của các tác giả: Nguyễn Thị Bích Ngọc và cộng sự (2010) về công nghệ sản xuất ván ghép thanh [6]; Nguyễn Minh Hùng (2016) về ảnh hưởng của áp lực nén đến độ bền cơ học gỗ Bồ đề [7]; và Hoang Xuan Nien và Nguyen Minh Hung (2018) về ảnh hưởng của đặc tính công nghệ keo Urea Formaldehyde trong sản xuất vật liệu nội thất [8]. Miền biến thiên của các thông số công nghệ ở Bảng 1.

Bảng 1. Miền biến thiên của các thông số thí nghiệm

Các yếu tố	Ký hiệu	Đơn vị đo	Khoảng biến thiên	Miền biến thiên				
				- α	- 1	0	+1	+ α
Áp lực ép	X_1	MPa	0,2	0,74	0,8	1	1,2	1,26
Thời gian	X_2	phút	2	7,44	8	10	12	12,6
Nhiệt độ	X_3	°C	20	84,4	90	110	130	135,6

2.2.2. Kế hoạch thực nghiệm

Nghiên cứu này lựa chọn kế hoạch thực nghiệm đối xứng loại “kế hoạch trung tâm hợp thành trực giao” (Central Composite Rotatable Design - CCRD)

Mô hình toán học bậc 2 của kế hoạch thực nghiệm sau:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^N b_i x_i + \sum_{i \neq j=1}^N b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^N b_{ii} x_i^2 \quad (1)$$

Với số yếu tố $n = 3$. Tổng số thí nghiệm (N) của mô hình được tính theo biểu thức:

$$N = N_0 + N_1 + N_2 = 1 + 2^n + 2n = 2 + 8 + 6 = 16.$$

Trong 16 thí nghiệm, bao gồm 2 thí nghiệm tại tâm, 8 thí nghiệm bậc nhất, 6 thí nghiệm mở rộng (tại điểm sao). Giá trị của phần thí nghiệm mở rộng tại các điểm sao α khi số yếu tố thí nghiệm $n = 3$, số yếu tố rút gọn $p = 0$. Trị số $\alpha = 1,28179$. Kế hoạch thực nghiệm dạng mã hóa và dạng thực trình bày ở Bảng 2.

Bảng 2. Quy hoạch thực nghiệm dạng mã hóa và dạng thực

Số TN	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ , áp lực	X ₂ , thời gian	X ₃ , nhiệt độ	Các phần của kế hoạch
1	- 1	- 1	- 1	0,8	12	130	Kế hoạch bậc nhất
2	+1	- 1	- 1	1,2	8	130	
3	- 1	+1	- 1	1	10	110	
4	- 1	- 1	+1	0,8	8	130	
5	+1	+1	- 1	1,2	12	130	
6	+1	- 1	+1	1	10	110	
7	- 1	+1	+1	1,2	8	90	
8	+1	+1	+	0,8	12	90	
9	- α	0	0	1,2	12	90	Thí nghiệm mở rộng
10	+ α	0	0	1	12,6	110	
11	0	- α	0	1	7,44	110	
12	0	+ α	0	0,74	10	110	
13	0	0	- α	1	10	135,6	
14	0	0	+ α	0,8	8	90	
15	0	0	0	1,26	10	110	Tâm kế hoạch
16	0	0	0	1	10	84,4	

Các yếu tố kiểm tra bao gồm: Y₁: Khối lượng riêng (g/cm³); Y₂: Tỷ lệ trương nở (%); và Y₃: Độ bền uốn tĩnh (MPa). Tiêu chuẩn kiểm tra mẫu áp dụng theo Tiêu chuẩn ASTM kiểm tra tính chất ván tổ hợp tấm nhẹ có kết cấu khác nhau về vật liệu giữa các lớp.

Phân tích và xử lý số liệu bằng phần mềm Statgraphics; và giải bài toán tối ưu để lựa chọn thông số kỹ thuật hợp lý cho quy trình công nghệ ép nhiệt.

2.2.3. Máy và thiết bị thí nghiệm

- Thiết bị nghiên cứu chính bao gồm: Máy kiểm tra tính chất cơ học vật liệu MTS Instron E44 (Hoa Kỳ); Tủ sấy JeioTech OV-12 (Hàn Quốc); Thiết bị cân, đo điện tử (Mitutoyo); Thiết bị ép nhiệt PTN.

- Các thí nghiệm được thực hiện tại Phòng thí nghiệm Vật liệu mới - Trường Đại học Thủ Dầu Một (tỉnh Bình Dương).

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN**3.1. Thực nghiệm****3.1.1. Tạo mẫu ván thí nghiệm****a) Chuẩn bị ván thành phần**

* Lốp lõi: là ván ghép thanh từ gỗ Bò đề
- Gỗ Bò đề được xẻ thành các thanh gỗ có quy cách phù hợp (như đã nêu ở Mục 2.1).
- Sấy các thanh gỗ đến độ ẩm 8 - 10%.
- Phân loại và gia công thanh gỗ: phân loại chất lượng, loại bỏ các khuyết tật; bào 4 mặt để đảm bảo độ chính xác về kích thước và độ phẳng (Hình 1a).

- Tráng keo tạo ván lõi: Sử dụng keo PVA để tạo ván ghép thanh. Phủ keo lên mặt cạnh của các thanh, định lượng 250 g/m².

- Ghép thanh: Toàn bộ thanh được đưa vào máy ghép thanh (cáo ép nguội) để ép lại thành một tấm lõi phẳng. Ghép thanh tạo tấm lõi: Các

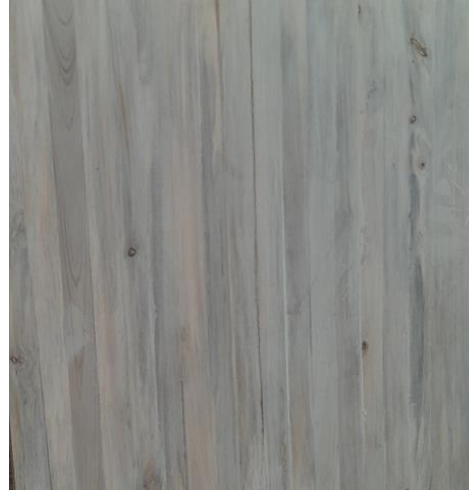
thanh gỗ Bò đề được xếp song song sát nhau theo chiều rộng của tấm ván. Áp lực ép 0,7 MPa.

- Hoàn thiện tấm lõi: Sau khi keo khô hoàn toàn, tấm lõi gỗ Bò đề ghép thanh được bảo vệ loại bỏ lượng keo tràn lên mặt ghép và làm

phẳng bề mặt. Đánh nhẵn hai mặt để đạt được độ dày đồng đều và bề mặt phẳng. Kích thước phôi sau hoàn thiện (dài x rộng x dày): 600 x 630 x 17 mm (Hình 1b).



a. Thanh gỗ Bò đề



b. Ván ghép thanh từ gỗ Bò đề

Hình 1. Gỗ lõi

* Ván mặt: ván làm lớp mặt là MDF

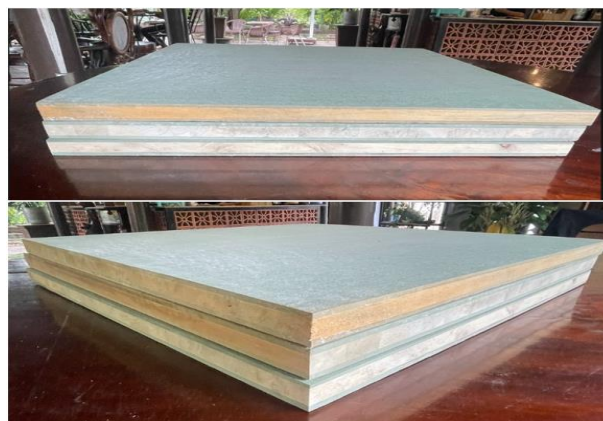
- Ván MDF được cắt theo kích thước phù hợp với bề mặt tấm lõi gỗ Bò đề (Hình 2) .

b) Tạo ván tổ hợp 3 lớp

- Tráng keo: Keo UF được phủ đều lên hai mặt của tấm lõi gỗ Bò đề ghép thanh bằng máy tráng keo trực lẫn, định lượng keo tương đương 200 g/m².

- Xếp lớp: Lớp MDF mặt dưới – Tấm lõi đã tráng keo – Lớp MDF mặt trên.

- Ép nhiệt: Đưa tổ hợp ván 3 lớp vào máy ép có gia nhiệt. Thông số công nghệ: Nhiệt độ (80 – 140 °C), áp suất (0,6 – 1,2 MPa) và thời gian ép (6 – 12 phút). Sự thay đổi, kết hợp của các thông số đầu vào theo ma trận thí nghiệm đã được bố trí trong kế hoạch thực nghiệm.



Hình 2. Ván tổ hợp 3 lớp từ MDF và gỗ ghép Bò đề

3.1.2. Mẫu thí nghiệm

- Việc xác định chỉ tiêu chất lượng của ván tổ hợp tuân theo các quy định về gia công mẫu (hình dạng, kích thước), số lượng mẫu, cách thức tiến hành thử nghiệm... của tiêu chuẩn của ASTM, cụ thể là:

- i) Xác định khối lượng riêng theo ASTM C271/C271M-16;
- ii) Xác định độ trương nở chiều dày theo ASTM D1037-12;
- iii) Xác định độ bền uốn theo ASTM C393.

3.2. Kết quả thí nghiệm

- Kết quả thí nghiệm trình bày trong Bảng 3 là kết quả của phép đo từ 16 thí nghiệm được bố trí theo quy hoạch thực nghiệm đã chọn. Trị

số của 03 chỉ tiêu chất lượng: khối lượng riêng - Y_1 , độ trương nở - Y_2 , và độ bền uốn - Y_3 trong Bảng 3 được tính bằng giá trị trung bình của 3 lần lặp từ mỗi thí nghiệm.

Bảng 3. Kết quả thí nghiệm

Số TN	X_1 (MPa)	X_2 (phút)	X_3 (°C)	Y_1 (g/cm ³)	Y_2 (%)	Y_3 (MPa)
1	0,8	12	130	0,508	8,35	62,20
2	1,2	8	130	0,507	10,48	63,29
3	1,0	10	110	0,630	10,93	72,47
4	0,8	8	130	0,614	10,04	74,20
5	1,2	12	130	0,721	9,63	79,05
6	1,0	10	110	0,637	10,89	72,95
7	1,2	8	90	0,415	9,86	62,11
8	0,8	12	90	0,442	9,64	56,26
9	1,2	12	90	0,459	10,70	60,59
10	1,0	12,6	110	0,564	9,93	66,07
11	1,0	7,4	110	0,584	10,35	70,63
12	0,74	10	110	0,657	9,89	71,87
13	1,0	10	135,6	0,636	10,43	71,09
14	0,8	8	90	0,612	8,71	73,56
15	1,26	10	110	0,545	12,02	66,92
16	1,0	10	84,4	0,560	10,29	67,86

3.3. Xử lý và phân tích số liệu

3.3.1. Phân tích cho Y_1 : Khối lượng riêng

Phân tích phương sai: Phân tích phương sai (ANOVA) cho thấy 8 hiệu ứng có giá trị P -value = 0,0485 - 0,0204 - 0,0464 - 0,0167 - 0,0311 - 0,0297 - 0,0380 - 0,0437 mang ý nghĩa thống kê cao. Nghĩa là các yếu tố X_1 (Áp lực ép), X_3 (Nhiệt độ ép) và các tương tác bậc hai (X_1^2 ; $X_1 \times X_2$; $X_1 \times X_3$; $X_3 \times X_2$; X_2^2 ; X_3^2) có ý nghĩa, ảnh hưởng đáng kể đến khối lượng riêng ở mức tin cậy 95%.

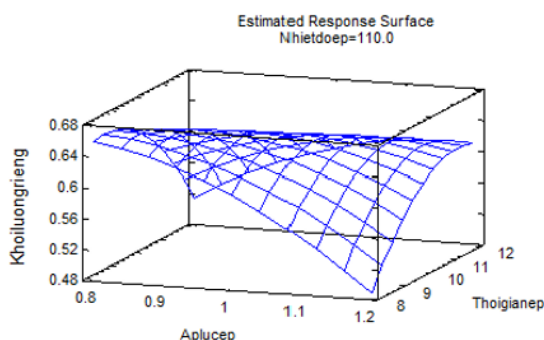
Mô hình hồi quy giải thích được 94,45% sự biến thiên của khối lượng riêng (R-squared) và

R-squared điều chỉnh là 86,13%. Kiểm tra "Lack-of-fit" (P -value = 0,1069) cho thấy mô hình đã chọn phù hợp với dữ liệu quan sát ở mức tin cậy 95%.

Phương trình hồi quy dạng thực cho Khối lượng riêng (Y_1) được xác định theo công thức (1).

$$Y_1 = 1,17878 - 0,722952X_1^2 - 1,30239X_1 - 0,0113034X_2^2 - 0,0000768222X_3^2 + 0,00294822X_3 + 0,166875X_1X_2 + 0,0089375X_1X_3 + 0,00073125X_2X_3 \quad (1)$$

Đồ thị biểu thị mối tương quan thể hiện trong Hình 3.



Hình 3. Mối tương quan giữa: nhiệt độ, áp suất và thời gian ép với khối lượng riêng của ván tổ hợp

Giá trị tính toán tối ưu hàm mục tiêu khối lượng riêng với các biến số đầu vào được thể hiện trong Bảng 4.

Bảng 4. Tối ưu hóa hàm mục tiêu riêng Y_3

Thông số	Đơn vị	Giá trị	Tối ưu hóa Y_1
Áp lực ép	MPa	1,25	0,71592 g/cm ³
Thời gian ép	phút	12,6	
Nhiệt độ ép	°C	135,6	

Phân tích ảnh hưởng của các yếu tố đến Khối lượng riêng (Y_1): Mục tiêu của nghiên cứu là trong miền biến thiên thực tế, các biến số X_1 ; X_2 ; X_3 tăng luôn tác động làm cho Y_1 giảm

Ảnh hưởng của Áp lực ép (X_1): Số hạng $f(X_1) = [-0,722952 \cdot X_1^2 - 1,30239 \cdot X_1]$ chỉ chứa X_1 trong phương trình hồi quy là hàm ảnh hưởng riêng của X_1 , có đồ thị là một parabol quay bề lõm xuống dưới do X_1^2 có hệ số âm. Giá trị cực đại của $f(X_1)$ tại đỉnh parabol là $X_1 = [-b/(2a)] \approx [-0,90074 \text{ MPa}]$. Tuy nhiên, miền giá trị thực tế của X_1 là từ 0,4356 MPa đến 1,2564 MPa. Giá trị X_1 tại đỉnh parabol ($\approx -0,90074 \text{ MPa}$) nằm ngoài miền biến thiên thực tế và ở phía bên trái của miền khảo sát. Điều này có nghĩa là, trong toàn bộ miền khảo sát, khi X_1 tăng, thành phần $f(X_1)$ sẽ luôn có xu hướng giảm, tức là làm giảm khối lượng riêng Y_1 . Nhưng tác động của X_1 lên Y_1 trong các tương tác chéo $0,166875 \cdot X_1 \cdot X_2$ và $0,0089375 \cdot X_1 \cdot X_3$ không rõ xu hướng giảm vì tùy thuộc vào giá trị của X_2 (thời gian ép) và X_3 (nhiệt độ ép).

Ảnh hưởng của Thời gian ép (X_2): Xét $f(X_2) = [-0,0113034 \cdot X_2^2]$, là hàm ảnh hưởng riêng của X_2 đến Y_1 trong phương trình hồi quy Y_1 . Hàm này có đồ thị là một parabol quay bề lõm xuống dưới với đỉnh tại $X_2 = 0$. Miền giá trị thực tế của X_2 là từ 7,436 phút đến 12,564 phút. Toàn bộ miền giá trị này đều nằm ở phía bên phải của đỉnh $X_2 = 0$. Do đó, trong miền khảo sát, khi X_2 tăng, giá trị của $f(X_2)$ sẽ ngày càng âm hơn, tức là thành phần này luôn làm giảm khối lượng riêng và mức độ giảm càng mạnh khi X_2 càng lớn. Nhưng ảnh hưởng tổng thể của X_2 lên Y_1 còn phụ thuộc vào các số hạng tương tác chéo $[0,166875 \cdot X_1 \cdot X_2$ và $0,00073125 \cdot X_2 \cdot X_3]$,

Ảnh hưởng của Nhiệt độ ép (X_3): Số hạng $[0,00294822 \cdot X_3 - 0,0000768222 \cdot X_3^2]$ là hàm ảnh hưởng riêng của X_3 lên Y_1 theo quy luật bậc 2. Đồ thị của hàm $f(X_3) = [-0,0000768222 \cdot X_3^2 + 0,00294822 \cdot X_3]$, là một parabol quay bề lõm xuống dưới. Giá trị X_3 tại đỉnh parabol là $X_3 \approx 19,189^\circ\text{C}$. Miền giá trị thực tế của X_3 là từ $84,36^\circ\text{C}$ đến $135,64^\circ\text{C}$. Giá trị X_3 tại đỉnh ($\approx 19,189^\circ\text{C}$) nằm rất xa về phía bên trái và ngoài miền biến thiên nghiên cứu thực tế. Điều này có nghĩa là, trong toàn bộ miền khảo sát, khi X_3 tăng, thành phần $f(X_3)$ sẽ luôn có xu hướng giảm. Các tương tác chéo như $0,0089375 \cdot X_1 \cdot X_3$ và $0,00073125 \cdot X_2 \cdot X_3$ cũng đóng góp vào ảnh hưởng tổng thể của X_3 lên Y_1 .

Tóm lại: Các phân tích cho thấy Áp lực ép (X_1), Thời gian ép (X_2) và Nhiệt độ ép (X_3) đều tác động đến khối lượng riêng. Trong miền biến thiên thực tế, thành phần bậc hai của X_1 và X_2 luôn có xu hướng làm giảm khối lượng riêng khi X_1 và X_2 tăng. Tương tự, cụm số hạng chứa X_3 cũng có xu hướng làm giảm khối lượng riêng Y_1 khi X_3 tăng trong miền khảo sát thực tế. Tuy nhiên, các thành phần tương tác chéo ($0,0089375 \cdot X_1 \cdot X_3$ + $0,00073125 \cdot X_2 \cdot X_3$) lại có xu hướng làm tăng Y_1 khi các biến số tăng.

Để đạt được mục tiêu tối thiểu hóa khối lượng riêng, cần tìm một khoảng giá trị của các biến số X_1 , X_2 , X_3 mà tại đó Y_1 giảm khi các biến số tăng. Quá trình "dò tìm" đã được thực hiện, bắt đầu từ điểm ($X_1=0,6$, $X_2=8$, $X_3=90$). Kết quả cho thấy Y_1 giảm liên tục khi khoảng tăng của các biến số lần lượt là X_1 tăng 0,05 MPa, X_2 tăng 0,5 phút, và X_3 tăng 1°C ở mỗi bước, cho đến khi X_2 vượt quá giới hạn miền biến thiên. Khoảng giá trị mà Y_1 giảm khi cả ba biến cùng

tăng kết thúc tại điểm ($X_1=1,05$ MPa, $X_2=12,5$ phút, $X_3=99^\circ\text{C}$) với $Y_1 \approx 0,810$ g/cm³

3.3.2. Phân tích cho Y_2 : Tỷ lệ trương nở

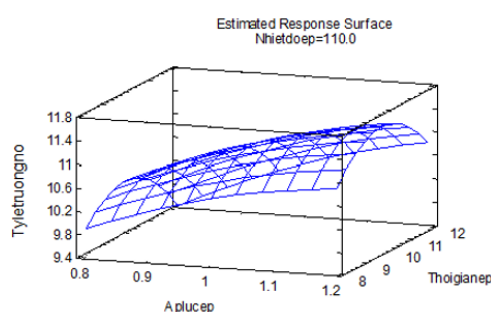
Phân tích phương sai: Phân tích ANOVA cho thấy 6 hiệu ứng có giá trị [$P\text{-value} = (0,0091 - 0,0461 - 0,0449 - 0,0116 - 0,0118 - 0,0145)$] mang ý nghĩa thống kê cao. Nghĩa là các yếu tố X_1 (Áp lực ép), X_3 (Nhiệt độ ép) và các tương tác bậc hai X_1^2 ; X_2^2 ; X_3^2 , $X_2 \times X_3$ có ý nghĩa trong phương trình hồi quy, ảnh hưởng đáng kể đến tỷ lệ trương nở ở mức tin cậy 95%.

Mô hình hồi quy giải thích được 94,44% sự biến thiên của tỷ lệ trương nở (R-squared) và R-squared điều chỉnh là 86,10%. Kiểm tra "Lack-of-fit" ($P\text{-value} = 0,0598$) cho thấy mô hình đã chọn là phù hợp ở mức tin cậy 95%.

Phương trình hồi quy dạng thực rút gọn cho Tỷ lệ trương nở (Y_2) được xác định theo công thức (2).

$$Y_2 = -42,1957 + 10,8372X_1 + 4,50353X_2 - 4,27403X_1^2 - 0,165713X_2^2 - 0,0134688X_2X_3 - 0,00132518X_3^2 \quad (2)$$

Đồ thị cho biểu thị cho mối tương quan thể hiện trong Hình 4.



Hình 4. Mối tương quan giữa: nhiệt độ, áp suất và thời gian ép với tỷ lệ trương nở của ván tổ hợp

Giá trị tính toán tối ưu hàm mục tiêu tỷ lệ trương nở với các biến số đầu vào được thể hiện trong Bảng 5.

Bảng 5. Tối ưu hóa hàm mục tiêu riêng Y_2

Thông số	Đơn vị	Giá trị	Tối ưu hóa hàm Y_2
Áp lực ép	MPa	1,257	11,580 (%)
Thời gian ép	phút	10,105	
Nhiệt độ ép	$^\circ\text{C}$	107,593	

Phân tích ảnh hưởng của các yếu tố đến Tỷ lệ trương nở (Y_2): Mục tiêu chung là tối thiểu hóa Y_2 (Tỷ lệ trương nở). Để Y_2 có xu hướng giảm, cần xét các điều kiện làm đạo hàm riêng của Y_2 theo từng biến số có giá trị âm.

Ảnh hưởng của Áp lực ép (X_1): Đạo hàm riêng của Y_2 theo X_1 là $\partial Y_2 / \partial X_1 = [10,8372 - 8,54806X_1]$. Để Y_2 giảm khi X_1 tăng, cần $\partial Y_2 / \partial X_1 < 0 \Rightarrow X_1 > 10,8372 / 8,54806 \approx 1,2678$ MPa. Miền giá trị thực nghiệm của X_1 là $[0,74356 \div 1,2564]$ MPa. Vì toàn bộ miền này đều nhỏ hơn 1,2678 MPa, đạo hàm $\partial Y_2 / \partial X_1$ sẽ luôn dương trong miền khảo sát. Điều này có nghĩa là khi X_1

tăng trong khoảng khảo sát, Y_2 sẽ có xu hướng tăng. Do đó, để Y_2 thấp nhất, X_1 nên giữ ở mức thấp nhất có thể trong miền khảo sát (khoảng 0,74356 MPa – 0,8 MPa).

Ảnh hưởng của Nhiệt độ ép (X_3): Đạo hàm riêng của Y_2 đối với X_3 là $\partial Y_2 / \partial X_3 = [-0,0134688X_2 - 0,00265036X_3]$. Trong miền giá trị thực nghiệm (X_2, X_3 đều dương), cả hai số hạng đều âm, do đó $\partial Y_2 / \partial X_3$ sẽ luôn luôn âm. Điều này có nghĩa là khi Nhiệt độ ép (X_3) tăng, Tỷ lệ trương nở (Y_2) sẽ luôn có xu hướng giảm. Vì vậy, để Y_2 giảm, X_3 nên được giữ ở mức

cao nhất có thể trong miền biến thiên (hướng về giá trị cao nhất 135,64 °C).

Ảnh hưởng của Thời gian ép (X_2): Đạo hàm riêng của Y_2 đối với X_2 là $\partial Y_2 / \partial X_2 = [4,50353 - 0,331426X_2 - 0,0134688X_3]$. Để Y_2 giảm khi X_2 tăng, cần $\partial Y_2 / \partial X_2 < 0 \Rightarrow [0,331426X_2 + 0,0134688X_3] > 4,50353$. Điều kiện này cho thấy xu hướng Y_2 giảm khi cả X_2 và X_3 đều ở mức cao. Ví dụ, nếu X_3 ở mức cao nhất (135,64°C), X_2 cần lớn hơn khoảng 8,076 phút để Y_2 giảm khi X_2 tăng. Nếu X_3 ở mức thấp nhất (84,36°C), X_2 cần lớn hơn khoảng 10,16 phút. Do đó, để Y_2 có xu hướng giảm khi X_2 tăng, X_2 nên ở mức cao, phụ thuộc vào giá trị của X_3 .

Tóm lại: Tổng hợp các mức để Y_2 có xu hướng giảm: Dựa trên phân tích, để Y_2 (tỷ lệ trương nở) giảm (tiến tới giá trị tối thiểu):

X_1 (Áp lực ép) nên ở mức thấp nhất trong miền biến thiên (từ 0,74356 MPa đến nhỏ hơn 0,8 MPa).

X_3 (Nhiệt độ ép) nên ở mức cao nhất (hướng tới 135,64 °C).

X_2 (Thời gian ép) nên được chọn trong khoảng từ trung bình đến cao trong miền biến thiên (khoảng hơn 8,076 phút, tiến dần tới 12,564 phút), đặc biệt khi X_3 đã ở mức cao.

3.3.3. Phân tích cho Y_3 : Độ bền uốn tĩnh

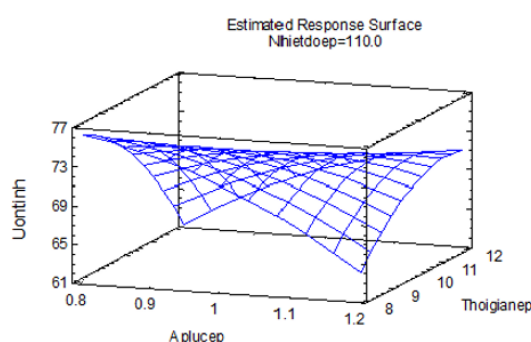
Phân tích phương sai: Kết quả phân tích ANOVA cho thấy 7 giá trị P -value = [0,0347 – 0,0239 – 0,0489 – 0,0140 – 0,0467 – 0,0367 – 0,0270] có ý nghĩa thống kê cao, ảnh hưởng đáng kể đến độ bền uốn tĩnh ở mức tin cậy 95%, gồm các hiệu ứng Thời gian ép (B), Nhiệt độ ép (C), và các tương tác AA, AB, AC, BB, BC. Nghĩa là những số hạng chứa X_2 ; X_3 ; X_1^2 ; $X_1 \times X_3$; $X_1 \times X_2$; X_2^2 ; $X_2 \times X_3$,

Mô hình hồi quy giải thích được 93.6684% sự biến thiên của độ bền uốn tĩnh (R-squared) và R-squared điều chỉnh là 84,171%. Kiểm tra "Lack-of-fit" (P -value = 0,0957) cho thấy mô hình đã chọn là phù hợp với các biến quan sát ở mức độ tin cậy 95%.

Phương trình hồi quy dạng thực rút gọn cho Độ bền uốn tĩnh (Y_3) được xác định theo công thức (3).

$$Y_3 = 163,786 - 9,73797X_2 + 0,0281318X_3 - 47,0082X_1^2 + 13,6063X_1X_2 + 0,408125X_1X_3 - 0,627756X_2^2 + 0,0705625X_2X_3 \quad (3)$$

Đồ thị biểu thị mối tương quan thể hiện trong Hình 5.



Hình 5. Mối tương quan giữa: nhiệt độ, áp suất và thời gian ép với độ bền uốn tĩnh của ván tổ hợp

Giá trị tính toán tối ưu hàm mục tiêu tỷ lệ trương nở với các biến số đầu vào được thể hiện trong Bảng 6.

Bảng 6. Tối ưu hóa hàm mục tiêu riêng Y_3

Thông số	Đơn vị	Giá trị	Tối ưu hóa hàm Y_3
Áp lực ép	MPa	0,743	78,846 (MPa)
Thời gian ép	phút	7,426	
Nhiệt độ ép	°C	93,259	

Phân tích ảnh hưởng của các yếu tố đến Độ bền uốn tĩnh (Y_3): Mục tiêu là tối đa hóa Y_3 (Độ bền uốn tĩnh). Để hiểu rõ hơn ảnh hưởng của từng biến, xét đạo hàm riêng của phương trình Y_3 rút gọn theo từng biến.

Ảnh hưởng của Áp lực ép (X_1): Đạo hàm riêng của Y_3 theo X_1 là $\partial Y_3 / \partial X_1 = [-94,0164X_1 + 13,6063X_2 + 0,408125X_3]$. Yếu tố X_1 ảnh hưởng đến Y_3 thông qua số hạng bậc hai (X_1 với hệ số âm lớn là $[-47,0082]$) và các tương tác dương với X_2 và X_3 . Số hạng $[-47,0082X_1^2]$ cho thấy khi X_1 tăng, Y_3 có xu hướng giảm mạnh do ảnh hưởng bậc hai, đây là điều không mong muốn. Tuy nhiên, các tương tác dương ($13,6063X_1X_2$ và $0,408125X_1X_3$) cho thấy tác động của X_1 lên Y_3 sẽ phụ thuộc nhiều vào giá trị của X_2 và X_3 . Để Y_3 tăng khi X_1 tăng, cần $13,6063X_2 + 0,408125X_3 > 94,0164X_1$. Điều này có nghĩa là nếu X_2 và X_3 ở mức cao, việc tăng X_1 (ở mức không quá lớn) có khả năng làm tăng Y_3 . Ngược lại, nếu X_2 và X_3 thấp, việc tăng X_1 có thể làm giảm Y_3 do ưu thế của số hạng tuyến tính âm mạnh. Do hệ số của X_1^2 là số âm lớn, có thể có một giá trị X_1 tối ưu (không quá cao) để Y_3 đạt cực đại, tùy thuộc vào X_2 và X_3 .

Ảnh hưởng của Thời gian ép (X_2): Đạo hàm riêng của Y_3 đối với X_2 là $\partial Y_3 / \partial X_2 = [-9,73797 + 13,6063X_1 - 1,255512X_2 + 0,0705625X_3]$. X_2 có ảnh hưởng tuyến tính âm ($-9,73797X_2$), ảnh hưởng bậc hai âm ($-0,627756X_2^2$), và tương tác dương với X_1 trong số hạng ($+13,6063X_1X_2$) và X_3 trong số hạng ($+0,0705625X_2X_3$). Để Y_3 tăng khi X_2 tăng, cần $13,6063X_1 + 0,0705625X_3 > 9,73797 + 1,255512X_2$. Điều này cho thấy Y_3 có thể tăng khi X_2 tăng, nếu X_1 và X_3 ở mức đủ cao và X_2 không quá lớn. Do có cả thành phần tuyến tính âm và bậc hai âm theo X_2 , việc tăng X_2 quá nhiều có thể không có lợi và sẽ có một mức X_2 tối ưu.

Ảnh hưởng của Nhiệt độ ép (X_3): Đạo hàm riêng của Y_3 đối với X_3 là $\partial Y_3 / \partial X_3 = [0,0281318 + 0,408125X_1 + 0,0705625X_2]$. Trong miền giá trị thực nghiệm của X_1 ($[0,74356 - 1,2564]$ MPa) và X_2 ($[7,436 - 12,564]$ phút), X_1 và X_2 luôn dương. Do đó, các số hạng $[0,0281318, 0,408125X_1, \text{ và } 0,0705625X_2]$ đều dương. Điều này có nghĩa là $\partial Y_3 / \partial X_3$ sẽ luôn luôn dương trong toàn bộ miền giá trị thực nghiệm của X_1 và X_2 . Khi Nhiệt độ ép (X_3) tăng, Độ bền uốn tĩnh (Y_3) sẽ luôn có xu hướng tăng, với điều kiện X_1 và X_2 được giữ cố định. Đây là một yếu tố thuận lợi để đạt được mục tiêu tối đa hóa Y_3 .

Đánh giá chung và hướng tối ưu hóa Y_3 (Độ bền uốn tĩnh):

Mục tiêu là tối đa hóa Y_3 .

Nhiệt độ ép (X_3): Nên được đặt ở mức cao nhất có thể trong miền khảo sát (hướng tới $135,64^\circ\text{C}$), vì việc tăng X_3 luôn có lợi cho Y_3 .

Áp lực ép (X_1) và Thời gian ép (X_2): Ảnh hưởng của X_1 và X_2 phức tạp hơn do các thành phần bậc hai âm và các tương tác. Việc tăng X_1 có thể có lợi nếu X_2 và X_3 đủ cao, nhưng X_1 quá cao sẽ bị ảnh hưởng tiêu cực từ số hạng $[-47,0082X_1^2]$. Việc tăng X_2 có thể có lợi nếu X_1 và X_3 đủ cao, nhưng X_2 quá cao sẽ bị ảnh hưởng tiêu cực từ các số hạng $[-9,73797X_2$ và $-0,627756X_2^2]$. Sẽ có một sự kết hợp tối ưu của X_1 và X_2 (không nhất thiết phải là giá trị cao nhất của chúng) để tối đa hóa Y_3 , tùy thuộc vào giá trị X_3 đã chọn (cao).

3.4. Tối ưu hóa hàm đa mục tiêu

Mục tiêu tối ưu hóa hàm đa mục tiêu được đặt ra để đồng thời đạt được các mục tiêu sau: Khối lượng riêng (Y_1): Tối thiểu hóa (Minimize); Tỷ lệ trương nở (Y_2): Tối thiểu hóa (Minimize), Độ bền uốn tĩnh (Y_3): Tối đa hóa (Maximize). Kết quả xử lý số liệu cho thấy các mục tiêu đạt được (Target) cho từng yếu tố trong quá trình tối ưu hóa đa mục tiêu thể hiện trong Bảng 7.

Bảng 7. Tối ưu hóa hàm đa mục tiêu (các chỉ tiêu chất lượng)

Thông số	Đơn vị	Giá trị	Chỉ tiêu chất lượng	Đơn vị	Giá trị
Áp lực ép	MPa	1,023	Khối lượng riêng	g/cm ³	0,568
Thời gian ép	Phút	7,712	Tỷ lệ trương nở	%	10,19
Nhiệt độ ép	°C	103,96	Uốn tĩnh	MPa	70,529

Các trị số tối ưu của thông số công nghệ trong kết quả tối ưu hóa đa mục tiêu khác với trị số tối ưu riêng của từng mục tiêu nhưng vẫn nằm trong vùng lựa chọn để đảm bảo mục tiêu định hướng: Khối lượng riêng (Y_1): Tối thiểu hóa. Tỷ lệ trương nở (Y_2): Tối thiểu hóa. Mục tiêu tối ưu hóa đa mục tiêu/mục tiêu riêng: 0,568/0,71592 g/cm³ - 10,19/11,5801% - 70,529/78,846 (MPa). Độ bền uốn tĩnh thấp hơn so với mục tiêu riêng phần không đáng kể do nhiệt độ tối ưu chung ở trị số thấp hơn trung bình, trong khi phân tích phương trình hồi quy cho thấy nhiệt độ nên chọn ở mức cao. Mặc dù vậy trị số uốn tĩnh 70,529 MPa vẫn cao hơn 2 lần so với gỗ nguyên lớp lõi (32 MPa - giá trị thử trực tiếp thanh gỗ Bồ đề trong nghiên cứu này).

Khối lượng riêng và tỷ lệ trương nở đều thấp hơn trị số mục tiêu riêng trong phân tích hồi quy.

3.5. Tạo mẫu ván theo thông số công nghệ tối ưu

Mẫu ván được tạo ra theo chế độ ép với các thông số công nghệ gồm: áp lực 10,03 MPa, thời gian 7,75 phút và nhiệt độ 110 °C. Kết quả kiểm tra các chỉ tiêu kỹ thuật của ba tấm ván thử nghiệm theo chế độ ép tối ưu cho thấy: khối lượng riêng trung bình đạt 0,565 g/cm³; tỷ lệ trương nở theo chiều dày sau ngâm trung bình đạt 10,1%. Độ bền uốn tĩnh được xác định từ ba mẫu cắt tại ba vị trí khác nhau trên mỗi tấm ván. Kết quả độ bền uốn tĩnh chi tiết được trình bày trong Bảng 8.

Bảng 8. Kết quả thử độ bền uốn tĩnh của mẫu thử từ chế độ ép hợp lí

Mẫu	Chỉ tiêu kiểm tra	Đơn vị	Giá trị
Mẫu VT1: Theo chiều dọc thanh lớp lõi và không có mối ghép	Stress at Break (Ứng suất phá hủy)	MPa	72
	Strain at Break (Biến dạng phá hủy)	mm/mm	0,019
Mẫu VT2: Theo chiều dọc thanh lớp lõi và có 1 mối ghép	Stress at Break (Ứng suất phá hủy)	MPa	62
	Strain at Break (Biến dạng phá hủy)	mm/mm	0,012
Mẫu VT3: Theo chiều ngang thanh lớp lõi và có nhiều mối ghép	Stress at Break (Ứng suất phá hủy)	MPa	45
	Strain at Break (Biến dạng phá hủy)	mm/mm	0,016

Tính chất của mẫu ván tạo thành dựa theo thông số công nghệ tối ưu cho thấy các giá trị đạt được tương đương với kết quả nghiên cứu. Trị số uốn tĩnh cao hơn do nhiệt độ ép cao hơn. Điều này phù hợp với ảnh hưởng của nhiệt độ ép đến độ bền uốn tĩnh trong phân tích phương trình hồi quy Y_3 . Trị số độ bền uốn tĩnh lớn nhất của mẫu là ở vị trí không có mối ghép theo chiều dọc thứ của lớp lõi (72 MPa), thấp hơn là vị trí dọc thứ có mối ghép thanh (62 MPa), thấp hơn nữa là mẫu thử có chiều dài vuông góc với mối ghép (45 MPa).

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã xây dựng mô hình toán học và phân tích ảnh hưởng của các thông số công nghệ (áp lực ép, thời gian ép, nhiệt độ ép) lên các tính chất cơ lý của vật liệu 3 lớp từ ván MDF

và gỗ Bồ đề ghép thanh. Các phương trình hồi quy và phân tích ANOVA cho thấy các yếu tố này, đặc biệt là các tương tác bậc hai, có ảnh hưởng đáng kể đến khối lượng riêng, tỷ lệ trương nở và độ bền uốn tĩnh của vật liệu.

Khối lượng riêng: Trong miền khảo sát, việc tăng áp lực ép, thời gian ép và nhiệt độ ép đều có xu hướng làm giảm khối lượng riêng nếu chỉ xét các thành phần bậc hai. Tuy nhiên, các tương tác chéo lại có xu hướng làm tăng khối lượng riêng. Quá trình dò tìm cho thấy có một khoảng giá trị mà tại đó khối lượng riêng có thể được tối thiểu hóa khi tăng đồng thời các yếu tố.

Tỷ lệ trương nở: Để tối thiểu hóa tỷ lệ trương nở, áp lực ép nên ở mức thấp nhất, nhiệt độ ép nên ở mức cao nhất. Thời gian ép từ trung bình đến cao, đặc biệt khi nhiệt độ ép đã cao.

Độ bền uốn tĩnh: Để tối đa hóa độ bền uốn tĩnh, nhiệt độ ép nên ở mức cao nhất. Ảnh hưởng của áp lực ép và thời gian ép phức tạp hơn, phụ thuộc vào sự cân bằng giữa các thành phần bậc hai âm và các tương tác dương. Điều chỉnh phù hợp sẽ đạt được giá trị tối ưu.

Kết quả tối ưu hóa đa mục tiêu đã đưa ra một bộ thông số hợp lý để đạt được đồng thời khối lượng riêng và tỷ lệ trương nở thấp, cùng với độ bền uốn tĩnh cao, đáp ứng mục tiêu sản xuất vật liệu nhẹ với tính chất cơ lý phù hợp. Cụ thể là: Khi áp dụng các thông số công nghệ tối ưu gồm: áp lực ép 1,023 MPa, thời gian ép 7,712 phút và nhiệt độ ép 103,96 °C, vật liệu thu được có các tính chất cơ lý như sau: khối lượng riêng 0,568 g/cm³, tỷ lệ trương nở theo chiều dày 10,19%, và độ bền uốn tĩnh đạt 70,529 MPa.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Phạm Tường Lâm, Cao Quốc An, Nguyễn Tất Thắng, Phạm Thị Ánh Hồng & Đỗ Văn Dũng (2024). Nghiên cứu nâng cao chất lượng gỗ Bồ đề (*Styrax tonkinensis*) bằng phương pháp sử dụng hỗn hợp dung dịch NaOH và Na₂SO₃ kết hợp nén ép. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp. 13(3): 115-124. <https://doi.org/10.55250/Jo.vnuf.13.3.2024.115-124>.
- [2] Bekhta, P., Niemz, P., & Sedliacik, J. (2014). Effect of pressing temperature on selected properties of plywood bonded with modified phenol-formaldehyde resin. *European Journal of Wood and Wood Products*. 72(1): 101–109. <https://doi.org/10.1007/s00107-013-0754-6>
- [3]. Nemli, G., & Aydin, A. (2007). Evaluation of the physical and mechanical properties of particleboard made from the needle litter of *Pinus pinaster*. *Industrial Crops and Products*. 26(3): 252–258. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2007.03.016>
- [4]. Khoo, P. S., Chin, K. L., H'ng, P. S., Bakar, E. S., Lee, C. L., & Go, W. Z. (2019). Physical properties and bonding quality of laminated veneer lumber produced with veneers peeled from small-diameter rubberwood logs. *Royal Society Open Science*. 6(12): 191763. <https://doi.org/10.1098/rsos.191763>
- [5]. Gonçalves, C., Pereira, J., Paiva, N. T., Ferra, J. M., Martins, J., Magalhães, F. D., & Carvalho, L. (2020). A study of the influence of press parameters on particleboards' performance. *European Journal of Wood and Wood Products*. 78(3): 333–341. <https://doi.org/10.1007/s00107-020-01507-y>
- [6]. Nguyễn Thị Bích Ngọc, Nguyễn Trọng Nhân & Bùi Duy Ngọc (2010). Nghiên cứu công nghệ sản xuất ván ghép thanh từ gỗ rừng trồng. Tạp chí Khoa học Lâm nghiệp. 2: 1273-1280.
- [7]. Nguyễn Minh Hùng (2016). Ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian xử lý ổn định kích thước đến tính chất của gỗ nén chỉnh hình. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp. (5): 110-120.
- [8]. Hoang Xuan Nien & Nguyen Minh Hung (2018). Research on some technical factors of manufacturing composite from coir fiber and waste tire chips with urea-formaldehyde resin as a substrate. *Journal of Forestry Science and Technology*. (5): 144 - 154.