

## Xây dựng chế độ sấy gỗ xà cừ bằng phương pháp sấy chân không

Phạm Khôi Nguyên<sup>1</sup>, Nguyễn Hà<sup>1</sup>, Nguyễn Thị Ánh Nguyệt<sup>2</sup>, Phạm Ngọc Nam<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Công nghệ Kỹ thuật TP. Hồ Chí Minh

<sup>2</sup>Trường Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh

### Developing a drying regime for *Khaya senegalensis* wood using the vacuum drying method

Pham Khoi Nguyen<sup>1</sup>, Nguyen Ha<sup>1</sup>, Nguyen Thi Anh Nguyet<sup>2</sup>, Pham Ngoc Nam<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Ho Chi Minh City University of Technology and Engineering

<sup>2</sup>Nong Lam University Ho Chi Minh City

\*Corresponding author: drpnnam@hcmuaf.edu.vn

<https://doi.org/10.55250/jo.vnuf.15.6.2026.139-146>

#### TÓM TẮT

Nghiên cứu xây dựng chế độ sấy gỗ xà cừ (*Khaya senegalensis*) bằng phương pháp sấy chân không nhằm rút ngắn thời gian sấy, nâng cao chất lượng gỗ và giảm khuyết tật so với phương pháp sấy đối lưu truyền thống. Gỗ xà cừ có cấu tạo giải phẫu nghiêng thớ, xoắn thớ, tỷ lệ co rút lớn và thường xuất hiện nứt đầu gỗ, cong vênh trong quá trình sấy. Thí nghiệm được tiến hành với mẫu gỗ xẻ có quy cách 30×80×700 mm, độ ẩm ban đầu 60-80%. Các thông số nghiên cứu bao gồm áp suất chân không từ 50 đến 140 mmHg, nhiệt độ sấy 45-60°C và chế độ gia nhiệt theo từng giai đoạn phù hợp với độ ẩm gỗ. Sử dụng phương pháp nghiên cứu thực nghiệm, xử lý số liệu trên Statgraphic 7.0 và Excel. Kết quả nghiên cứu đã xây dựng được chế độ sấy thích hợp cho loại gỗ xà cừ bằng phương pháp sấy chân không khi sấy gỗ xà cừ ở nhiệt độ sấy 51,1°C và thời gian xử lý ban đầu là 4,97 giờ thì tỷ lệ khuyết tật gỗ xà cừ là 4,1% và thời gian sấy là 120,7 giờ; rút ngắn thời gian sấy so với phương pháp sấy quy chuẩn, giảm tỷ lệ khuyết tật như nứt đầu gỗ, nứt mặt gỗ. Độ ẩm sau sấy đạt 8-12%. Chế độ sấy được xây dựng có tính khả thi cao và có thể áp dụng trong thực tiễn sản xuất, góp phần nâng cao chất lượng và giá trị sử dụng của gỗ xà cừ trong công nghiệp chế biến gỗ.

#### ABSTRACT

This study develops a vacuum drying method for *Khaya senegalensis* wood to shorten drying time, improve wood quality, and reduce defects compared to traditional convection drying methods. *Khaya senegalensis* wood has a cross-grained structure, a high shrinkage rate, and is prone to end cracking and warping during drying. The experiment was conducted on sawn timber samples measuring 30×80×700 mm with an initial moisture content of 60-80%. The main parameters included vacuum pressure levels ranging from 50 to 140 mmHg, drying temperatures of 45-60°C, and a phased heating regime tailored to the wood's moisture content. Experimental research was conducted, with data processed using Statgraphic 7.0 and Excel software. The research results established a suitable drying regime for mahogany wood using vacuum drying. Drying mahogany wood at a temperature of 51.1°C and an initial treatment time of 4.97 hours resulted in a defect rate of 4.1% and a drying time of 120.7 hours, significantly reducing the drying time compared to the standard drying method and minimizing defects such as end and surface cracks. Post-drying moisture content reached 8-12%. The developed drying regime is highly feasible and applicable in practical production, contributing to improved quality and usability of mahogany wood in the wood processing industry.

#### Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 10/03/2026

Ngày phản biện: 15/05/2026

Ngày quyết định đăng: 11/06/2026

#### Từ khóa:

Chế độ sấy gỗ, động học sấy, gỗ xà cừ, khuếch tán ẩm, sấy chân không.

#### Keywords:

Dilution, drying kinetics, mahogany wood, vacuum drying of wood, wood drying regime.

**1. ĐẶT VẤN ĐỀ**

Gỗ xà cừ được trồng phổ biến tại khu vực Đông Nam Bộ và Tây Nguyên. Gỗ có màu sắc vân thớ đẹp, khối lượng thể tích trung bình 0,55-0,65 g/cm<sup>3</sup>, thích hợp sản xuất đồ nội thất và ván ghép thanh. Tuy nhiên, đặc điểm giải phẫu với mạch gỗ lớn, nghiêng thớ, xoắn thớ, chênh lệch co rút tiếp tuyến – xuyên tâm tương đối cao ( $T/R \approx 1,8-2,1$ ) làm tăng nguy cơ nứt đầu gỗ và biến dạng trong quá trình sấy. Trong quá trình chế biến gỗ thì sấy gỗ là khâu quan trọng tốn nhiều thời gian và chi phí. Sấy gỗ là quá trình xử lý nhiệt nhằm làm bay hơi nước trong gỗ, giảm độ ẩm gỗ đến độ ẩm theo yêu cầu sử dụng. Đây là khâu công nghệ quan trọng nhất góp phần vào việc nâng cao giá trị sử dụng và chất lượng sản phẩm gỗ, đặc biệt là các sản phẩm gỗ xuất khẩu. Khác với nhiều loại vật liệu khác, gỗ là vật liệu hữu cơ bất đẳng hướng theo các chiều thớ, kích thước, chủng loại. Trong quá trình sấy có hai giai đoạn sấy với tốc độ giảm ẩm khác nhau: giảm ẩm không đổi và giảm ẩm giảm dần. Vì vậy, khi sấy không những chỉ chọn chế độ nhiệt hợp lý mà còn phải khống chế môi trường ẩm của không khí theo từng giai đoạn. Chọn chế độ sấy thích hợp chính là tìm giải pháp vừa đảm bảo chất lượng sản phẩm, đồng thời rút ngắn thời gian sấy. Trong quá trình sấy, tốc độ sấy nhanh hay chậm, chất lượng sản phẩm tốt hay xấu còn được quyết định bởi chính đối tượng nguyên liệu sấy và thiết bị sấy. Đối tượng nguyên liệu sấy đặc trưng bởi các đặc điểm cấu tạo và tính chất cơ lý của nó. Công nghệ sấy gỗ kiểu chân không là một trong những phương pháp đã được ứng dụng thành công ở rất nhiều nước trên thế giới có nhiều ưu điểm như thời gian sấy giảm so với kiểu sấy quy chuẩn, giảm khuyết tật gỗ sấy và giảm chi phí sấy [1, 2]. Chính vì thế “Xây dựng chế độ sấy gỗ xà cừ bằng phương pháp sấy chân không”

là một giải pháp cần thiết giúp nâng cao hiệu quả sản xuất.

**2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU****Phương pháp thực nghiệm sấy chân không gỗ xà cừ****a. Vật tư, trang thiết bị dùng cho thực nghiệm**

- Nguyên vật liệu thí nghiệm: gỗ xà cừ, kích thước ván 30×80×700 mm.

- Chọn công suất lò để khảo nghiệm là 0,3 m<sup>3</sup>/mẻ, bên cạnh đó để phù hợp với một số máy móc, dụng cụ, thiết bị hiện có ở Việt Nam hiện nay và kết hợp với việc tham khảo một số mẫu máy ở nước ngoài nên nhóm tác giả lựa chọn mô hình máy dạng buồng sấy tròn.

- Phương thức cấp nhiệt: gỗ trong buồng sấy sẽ được gia nhiệt trong một thời gian nhất định sau đó tiến hành hút chân không, cuối cùng xả ẩm. Chu kỳ tiếp theo sẽ thực hiện lại theo trình tự gia nhiệt rút chân không và xả ẩm như trên. Trong nghiên cứu này nhóm tác giả chọn kiểu cung cấp nhiệt kiểu đối lưu.

- Hệ thống ngưng tụ trong thiết bị sấy chân không nhằm hạ nhiệt độ của hơi ẩm bốc ra từ buồng sấy (được bơm chân không hút ra) xuống đến nhiệt độ đọng sương để cho ẩm hóa hơi thành nước trước khi đến bơm chân không nhằm làm tăng tuổi thọ sử dụng bơm, tạo điều kiện thu hồi các chất bị cuốn theo hơi ẩm trong quá trình sấy.

Bơm chân không: nguyên tắc làm việc các kiểu máy hút chân không cũng giống các máy nén khí. Các loại bơm chân không thường dùng trong thiết bị sấy gỗ kiểu chân không: bơm chân không kiểu pittông, bơm chân không kiểu rôto, bơm chân không kiểu phun tia, bơm chân không kiểu khuếch tán. Năng suất bơm không cố định và giảm theo sự giảm của áp suất hút. Vì thế khi chọn bơm phải căn cứ vào cả năng suất và độ chân không tối đa mà bơm đã tạo được. Công đoạn kiểm tra gỗ trước khi sấy được trình bày trong Hình 1.



Hình 1. Kiểm tra gỗ trước khi sấy

Nguyên lý làm việc: Gỗ xếp theo quy cách được xếp vào xe goòng và đưa vào buồng sấy. Giữa các lớp gỗ sấy là các thanh kê có kích thước 15x15 mm. Trong buồng sấy có bố trí bộ phận gia nhiệt, các quạt gió và bộ cảm biến nhiệt độ. Bên ngoài buồng sấy bố trí bơm hút chân không, bộ ngưng tụ ẩm và mạch điện điều khiển. Khi sấy, bộ phận gia nhiệt sẽ đốt nóng không khí trong buồng sấy, nhờ quạt gió không khí nóng sẽ phân bố đều trong buồng và làm cho gỗ nóng lên. Nhiệt độ được khống chế bởi cảm biến nhiệt độ. Thời gian gia nhiệt được cài đặt tự động nhờ bộ định thời gian. Khi thời gian gia nhiệt hết, thông qua bộ điều khiển thời gian, rơle điều khiển bơm chân không và van điện từ đóng mạch cho bơm hoạt động. Thông qua bộ cảm biến áp suất, áp suất trong buồng sấy được duy trì ở một mức cố định. Khi thời gian hút chân không hết, bộ định thời gian lại điều khiển ngắt mạch bơm chân không và van điện từ đồng thời tác động lên rơle điều khiển nguồn nhiệt đóng mạch.

Cứ như thế các chu kỳ gia nhiệt, hút chân không được lặp lại nhiều lần cho đến khi gỗ sấy đạt được độ ẩm mong muốn [3, 4].

#### b. Phương pháp thí nghiệm

##### • Phương pháp thí nghiệm thăm dò

Để tìm ra yếu tố nào là thực sự ảnh hưởng đến quá trình nghiên cứu, và rút ra các yếu tố thực sự ảnh hưởng.

##### • Xác định các thông số khảo sát

\* Các thông số đầu vào:

- Nhiệt độ buồng sấy ( $x_1$ )
- Thời gian xả ẩm ( $x_2$ )

\* Các thông số đầu ra:

- Tỷ lệ khuyết tật (%) ( $y_1$ )
- Thời gian sấy (giờ) ( $y_2$ )

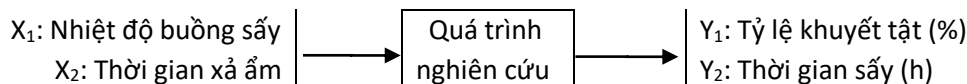
Hình 2 bài hộp đen toán mô tả quá trình nghiên cứu.

##### • Phương pháp thực nghiệm đơn yếu tố

Phương pháp thực nghiệm đơn yếu tố được dùng cho nghiên cứu thăm dò ban đầu về công nghệ, nghiên cứu về ảnh hưởng của một số yếu tố công nghệ như: loại nguyên

liệu, thông số công nghệ sấy... để xác định điểm tâm, khoảng biến thiên của các yếu tố chọn ở thí nghiệm thăm dò.

#### • Phương pháp thực nghiệm đa yếu tố



Hình 2. Bài toán hộp đen miêu tả quá trình nghiên cứu

Phương trình tương quan bậc hai có dạng:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n b_{ij} x_i x_j$$

- Các dạng kế hoạch thực: qua kết quả nghiên cứu thăm dò cho thấy mối tương quan đó thường là mối quan hệ phi tuyến bậc 2. Vì vậy, bỏ qua nghiên cứu tuyến tính nhóm tác giả lựa chọn mô hình toán học bậc 2 cho quá trình nghiên cứu các yếu tố công nghệ và được mô tả bằng phương trình hồi quy đa thức bậc 2.

- Tiến hành thí nghiệm: thí nghiệm được tiến hành theo sơ đồ ma trận đã được bố trí. Sau khi tạo ra sản phẩm được kiểm tra chất lượng theo các tiêu chuẩn. Các số liệu đo đếm được ghi vào bảng thí nghiệm.

- Xác định mô hình thống kê, thực nghiệm.

- Kiểm tra, phân tích tính phù hợp của mô hình.

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Kết quả sấy chân không thực nghiệm gỗ xà cừ

Kết quả thí nghiệm thăm dò cho phép rút ra những nhận xét:

Thời gian sấy và tỷ lệ khuyết tật đều chịu sự ảnh hưởng của cả 3 yếu tố nhiệt độ, áp suất và thời gian xả ẩm. Vì máy sấy thí nghiệm với mô hình nhỏ nên ẩm độ cuối cùng của các thanh gỗ chênh lệch nhau rất ít, tất cả đều nằm trong giới hạn cho phép (8-12%). Hai thông số nhiệt độ và áp suất phụ thuộc lẫn nhau cùng ảnh hưởng rất lớn đến tỷ lệ khuyết tật và thời gian sấy. Ở bất kỳ mức nhiệt độ nào, nếu áp suất trong buồng sấy không đạt tới áp suất sôi của nước thì thời gian sấy sẽ tăng đột ngột, gỗ sẽ bị nhiều khuyết tật. Còn ngược lại, nếu áp

Phương pháp thực nghiệm đa yếu tố là phương pháp chủ lực để xây dựng các quy trình công nghệ sấy.

suất tăng cao hơn áp suất tới hạn thì sẽ xuất hiện hiện tượng cong và nứt gỗ vượt quá giới hạn cho phép trong sấy gỗ. Điều này cho thấy áp suất và nhiệt độ trong buồng sấy phải đảm bảo đạt giá trị tại trạng thái sôi của nước thì quá trình sấy chân không mới phát huy được tác dụng, thấp hơn thì sấy không hiệu quả, cao hơn thì sinh khuyết tật. Nói cách khác, không thể xem nhiệt độ và áp suất là hai thông số độc lập để nghiên cứu. Bài toán thực nghiệm nghiên cứu sấy chân không có hai thông số đầu vào là thời gian xả ẩm và nhiệt độ (áp suất tương ứng với từng mức nhiệt độ). Dựa trên các kết quả thí nghiệm, khoảng nghiên cứu của các yếu tố đầu vào được chọn trong khoảng đảm bảo về các chỉ tiêu chất lượng cũng như thời gian sấy không quá dài (so với sấy cổ điển). Cụ thể:

+ Nhiệt độ: 40-60°C (tương ứng với áp suất 50-140 mmHg).

+ Thời gian xả ẩm: 3-5 giờ.

#### \*Chọn yếu tố đầu vào

Có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật của nguyên lý sấy chân không, cho nên trong quá trình nghiên cứu một số thông số ảnh hưởng sẽ bị loại bỏ nếu ảnh hưởng ít hoặc không thể điều khiển được trong quá trình thí nghiệm. Các yếu tố loại bỏ sẽ trở thành các yếu tố ngẫu nhiên tác động nhiều đến quá trình nghiên cứu. Trên cơ sở lý thuyết, các thông số có ảnh hưởng đến quá trình sấy chân không bao gồm: nhiệt độ sấy, độ hút chân không, thời gian làm nóng, thời gian hút chân không... Dựa trên các kết quả nghiên cứu về sấy gỗ từ các loại máy sấy khác đã phổ biến trên thực tế, nhóm tác giả loại bỏ

các thông số sau đây không nghiên cứu:

- Mẫu gỗ thí nghiệm: giới hạn nghiên cứu gỗ xà cừ với quy cách: 30×80×700 mm.

- Độ ẩm ban đầu của gỗ: độ ẩm trung bình của gỗ xà cừ khi mới xẻ khoảng 60%, cho nên gỗ sau khi xẻ ra là được đưa vào tiến hành sấy thí nghiệm. Điều này thuận tiện cho quá trình đánh giá so sánh trong quá trình nghiên cứu.

- Kết cấu buồng sấy và bố trí phân phối tác nhân sấy: tham khảo các dạng máy sấy chân không trên thế giới đã và đang sản xuất, cũng như các lý thuyết về sấy chân không, mô hình máy thiết kế sẽ được phân tích, lựa chọn cho phù hợp trước khi tiến hành thí nghiệm.

- Bố trí sắp xếp gỗ trong buồng sấy: bản chất của quá trình truyền nhiệt cho gỗ đối với kiểu sấy chân không theo chu kỳ là tương tự như trong sấy đối lưu cổ điển, việc bố trí sắp xếp gỗ được tham khảo lựa chọn theo tiêu chuẩn của các loại máy này [5, 6].

Chọn thông số đầu vào để nghiên cứu bao gồm:

- Nhiệt độ sấy ( $^{\circ}\text{C}$ );
- Áp suất chân không trong buồng sấy (mmHg);
- Thời gian làm nóng và thời gian hút chân không (giờ).

Quá trình làm nóng gỗ được thực hiện trước khi tiến hành hút chân không cũng giống như sấy đối lưu. Thời gian làm nóng được chọn theo tính chất và kích thước của gỗ sấy. Thời gian hút chân không sẽ là thời gian cần nghiên cứu. Máy sấy hoạt động theo chu kỳ, thời gian làm nóng và hút chân không lặp đi lặp lại. Chọn tổng thời gian làm nóng và thời gian hút chân không thành một thông số gọi là thời gian xả ẩm.

Dựa vào cơ sở lý thuyết và kết quả từ các thí nghiệm thăm dò, ba thông số có ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng sấy gỗ trong quá trình sấy chân không bao gồm: nhiệt độ sấy ( $T$ ), áp suất sấy ( $p$ ) và thời gian xả ẩm ( $\tau$ ). Tuy nhiên, hai thông số nhiệt độ và áp suất có sự phụ thuộc lẫn nhau. Về mặt lý thuyết, môi trường sấy có áp suất nhỏ hơn áp suất môi

trường sẽ tăng cường được quá trình thoát ẩm của vật liệu. Trong sấy gỗ, loại vật liệu có kích thước tương đối lớn thì áp suất môi trường sấy phải đảm bảo cho lượng ẩm bên trong gỗ đạt trạng thái sôi, áp suất hơi bên trong gỗ tăng lên rất nhiều so với áp suất bên ngoài thì quá trình sấy phát huy hiệu quả. Nhiệt độ và áp suất trong buồng sấy luôn phụ thuộc lẫn nhau. Nói cách khác, khi chọn nhiệt độ là yếu tố nghiên cứu thì áp suất phụ thuộc theo nhiệt độ.

Tóm lại, yếu tố đầu vào để nghiên cứu về quá trình sấy gỗ chân không thực nghiệm bao gồm: nhiệt độ sấy ( $X_1$ ) và thời gian xả ẩm ( $X_2$ ).

#### \*Chọn yếu tố đầu ra

- Tỷ lệ khuyết tật ( $Y_1$ ): các khuyết tật của gỗ thông qua các chỉ tiêu: độ cong, độ nứt... Các chỉ tiêu này ngoài việc đảm bảo cho chất lượng gỗ đúng theo quy cách còn ảnh hưởng rất lớn đến giá trị kinh tế của sản phẩm..

- Thời gian sấy ( $Y_2$ ): chỉ tiêu này đánh giá về hiệu quả kinh tế của thiết bị. Thiết bị cần thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật, ngoài ra thiết bị còn phải đảm bảo tính kinh tế, có khả năng ứng dụng vào thực tế đặc biệt khi phát triển thành qui mô sản xuất lớn. Do vậy, thời gian sấy trong mỗi mẻ sấy hay còn gọi là thời gian hoàn thành một mẻ sấy từ khi gỗ còn tươi đến khi gỗ giảm ẩm đến độ ẩm yêu cầu ngoài sản xuất từ 8-12%.

#### \*Thí nghiệm

Sau khi đã xác định được các thông số đầu vào, các khoảng biến thiên của từng yếu tố, thí nghiệm được tiến hành nhằm thu thập số liệu, xử lý để khẳng định chính xác sự ảnh hưởng của các yếu tố đầu vào. Bảng 1 mức và khoảng biến thiên của thông số thí nghiệm lặp lại 3 lần [7, 8].

Kết quả thí nghiệm với yếu tố nhiệt độ và thời gian xả ẩm:

Nghiên cứu và thực nghiệm quy trình sấy với các thông số công nghệ sấy (nhiệt độ sấy và thời gian xả ẩm) theo phương pháp sấy chân không cho gỗ xà cừ (*Khaya senegalensis*) đến thời gian sấy và tỷ lệ khuyết tật. Bảng 2 ma trận thí nghiệm và kết quả nghiên cứu.

Bảng 1. Mức và khoảng biến thiên của các yếu tố nghiên cứu

| Mức và khoảng biến thiên | Giá trị mã | Nhiệt độ sấy – X <sub>1</sub><br>(°C) | Thời gian xả ẩm – X <sub>2</sub><br>(giờ) |
|--------------------------|------------|---------------------------------------|-------------------------------------------|
| Mức sao trên             | + α        | 60                                    | 6,5                                       |
| Mức trên                 | +1         | 55                                    | 5,5                                       |
| Mức cơ sở                | 0          | 50                                    | 4,5                                       |
| Mức dưới                 | -1         | 45                                    | 3,5                                       |
| Mức sao dưới             | - α        | 40                                    | 2,5                                       |
| Khoảng biến thiên        | ΔI         | 5                                     | 1                                         |

## \* Thực nghiệm sấy chân không gỗ xà cừ

Bảng 2. Ma trận thí nghiệm và kết quả nghiên cứu sấy chân không gỗ Xà Cừ

| Thí nghiệm | X <sub>1</sub> | X <sub>2</sub> | Nhiệt độ sấy<br>(°C) | Thời gian<br>xả ẩm (giờ) | Tỉ lệ khuyết tật<br>(%) Y <sub>1</sub> | Thời gian sấy<br>(giờ) Y <sub>2</sub> |
|------------|----------------|----------------|----------------------|--------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|
| 1          | +              | +              | 55                   | 5,5                      | 4,3                                    | 121                                   |
| 2          | -              | +              | 45                   | 5,5                      | 4,5                                    | 127                                   |
| 3          | +              | -              | 55                   | 3,5                      | 5,4                                    | 149                                   |
| 4          | -              | -              | 45                   | 3,5                      | 5,1                                    | 140                                   |
| 5          | + α            | 0              | 60                   | 4,5                      | 5,9                                    | 162                                   |
| 6          | - α            | 0              | 40                   | 4,5                      | 4,5                                    | 127                                   |
| 7          | 0              | + α            | 50                   | 6,5                      | 4,5                                    | 132                                   |
| 8          | 0              | - α            | 50                   | 2,5                      | 6,2                                    | 169                                   |
| 9          | 0              | 0              | 50                   | 4,5                      | 4,3                                    | 126                                   |
| 10         | 0              | 0              | 50                   | 4,5                      | 4,8                                    | 134                                   |
| 11         | 0              | 0              | 50                   | 4,5                      | 4,2                                    | 125                                   |

- Kết quả xử lý số liệu xác định các phương trình hồi quy

Tiến hành xử lý số liệu trên máy vi tính,

bằng phần mềm Statgraphics - Vers 7.0 để thiết lập các phương trình tương quan ta được các phương trình sau.

$$Y_1 = 4,33 - 0,32X_1 - 0,51X_2 + 0,22X_1X_2 + 0,28X_1^2 + 0,48X_2^2 \quad (1)$$

$$Y_2 = 124,33 - 6,75X_1 - 11,95X_2 + 7X_1X_2 + 7,15X_1^2 + 10,89X_2^2 \quad (2)$$

Các mô hình hồi quy (1); (2) được kiểm tra theo các tiêu chuẩn: tính đồng nhất phương sai, tính có ý nghĩa của các hệ số, tính tương thích của mô hình toán.

- Đối với hàm tỷ lệ khuyết tật của gỗ xà cừ Y<sub>1</sub>

Kiểm tra mức có ý nghĩa của các hệ số mô

hình (1) với mức ý nghĩa α = 0,05. Mô hình (1) có hệ số P<sub>(X<sub>1</sub>X<sub>2</sub>)</sub> = 0,985 > 0,05 không đảm bảo mức có ý nghĩa nên loại khỏi mô hình. Sau khi loại bỏ hệ số hồi quy không đảm bảo độ tin cậy ra khỏi mô hình (1), phương trình hồi quy có dạng như sau:

$$Y_1 = 4,33 - 0,32X_1 - 0,51X_2 + 0,28X_1^2 + 0,48X_2^2 \quad (3)$$

Ta có: R<sup>2</sup> = 0,91 tương quan rất chặt.

- Đối với hàm thời gian sấy gỗ xà cừ Y<sub>2</sub>

Kiểm tra mức có ý nghĩa các hệ số của mô

$$Y_2 = 124,33 - 6,75X_1 - 11,95X_2 + 7X_1X_2 + 7,15X_1^2 + 10,89X_2^2 \quad (4)$$

Ta có: R<sup>2</sup> = 0,96 tương quan rất chặt.

hình (2) với mức ý nghĩa α = 0,05. Mô hình (2) có tất cả các hệ số đảm bảo mức có ý nghĩa, phương trình hồi quy có dạng như sau:

\*Xác định các thông số tối ưu

\*Bài toán tối ưu hóa hàm một mục tiêu

- Hàm mục tiêu về tỷ lệ khuyết tật tính theo phương trình: Y<sub>1</sub> ⇒ Y<sub>Min</sub>

Thỏa mãn các điều kiện ràng buộc:  $-1,41 < X_i < +1,41$ ;  $i = 1, 2$ .

- Hàm mục tiêu thời gian sấy tính theo phương trình:  $Y_2 \Rightarrow Y_{Min}$

Thỏa mãn các điều kiện ràng buộc:  $-1,41 < X_i < +1,41$ ;  $i = 1, 2$ . Bảng 3 thể hiện kết quả tối ưu hàm một mục tiêu.

**Bảng 3. Kết quả tính toán tối ưu hàm một mục tiêu của gỗ xà cừ**

| TT | Chỉ số tối ưu                           | $X_1$ | N ( $^{\circ}\text{C}$ ) | $X_2$ | T (giờ) |
|----|-----------------------------------------|-------|--------------------------|-------|---------|
| 1  | Tỷ lệ khuyết tật $Y_1 = 4,1(\%)$        | 0,57  | 52,85                    | 0,53  | 5,03    |
| 2  | Thời gian sấy $Y_2 = 120,7(\text{giờ})$ | 0,22  | 51,1                     | 0,47  | 4,97    |

Kết quả của bài toán tối ưu một mục tiêu cho thấy gỗ xà cừ khi sấy chân không nhiệt độ sấy thích hợp từ 51,1-52,85 $^{\circ}\text{C}$ , thời gian xả ẩm từ 4,97-5,03 giờ và áp suất 90 mmHg. Tỷ lệ khuyết tật là 4,1% và thời gian sấy cho một mẻ sấy là 120,7 giờ.

*\*Bài toán tối ưu hóa hàm đa mục tiêu có điều kiện*

Bài toán tối ưu hóa hàm mục tiêu có điều kiện như sau: cực tiểu hóa thời gian sấy (giờ)

với điều kiện ràng buộc là biên của miền thí nghiệm và tỷ lệ khuyết tật ( $<5\%$ ).

-  $Y_2 \Rightarrow Y_{min}$

-  $Y_1 < 5$

- Thỏa mãn điều kiện  $-1,41 \leq x_i \leq 1,41$

Kết quả của bài toán tối ưu đa mục tiêu được trình bày ở Bảng 4.

**Bảng 4. Kết quả tính toán tối ưu hóa hàm đa mục tiêu của gỗ xà cừ**

| $Y_1$ | $Y_2$ | $X_1$ | Nhiệt độ ( $^{\circ}\text{C}$ ) | $X_2$ | Thời gian (giờ) |
|-------|-------|-------|---------------------------------|-------|-----------------|
| 4,1   | 120,7 | 0,22  | 51,1                            | 0,48  | 4,97            |

Kết quả Bảng 4 cho thấy giá trị tối ưu hóa của hàm đa mục tiêu là phù hợp. Do vậy, khi sấy chân không gỗ xà cừ ở nhiệt độ sấy 51,1 $^{\circ}\text{C}$  và thời gian xả ẩm là 4,97 giờ thì tỷ lệ khuyết tật gỗ xà cừ là 4,1% và thời gian sấy là 120,7 giờ.

Kết quả nghiên cứu cho thấy khi tăng nhiệt độ sấy thì tỷ lệ khuyết tật của gỗ tăng lên rất nhanh. Điều này có thể giải thích là khi nhiệt độ sấy cao, biên độ dao động của nhiệt độ trong buồng sấy tăng lên, tăng tốc độ sấy làm nảy sinh ứng suất giữa bề mặt và trong lõi gỗ. độ nứt tăng theo.

### 3.2. Đánh giá quy trình sấy chân không

Gỗ xà cừ được cắt theo đúng quy cách và tiến hành chọn mẫu không khuyết tật. Sau khi chuẩn bị nguyên liệu; cho nguyên liệu vào lò đóng chặt cửa lò, bật máy và điều chỉnh nhiệt độ về 51,1 $^{\circ}\text{C}$ . Khi đủ thời gian xử lý là 4,97 giờ thì mở chế độ hút chân không và bắt đầu quy trình sấy. Sau sấy 24 giờ tiến hành kiểm tra để xác định độ ẩm của gỗ, nếu độ ẩm còn cao

trên 32% thì cứ sau 8-10 giờ tiến hành kiểm tra tiếp cho đến khi độ ẩm của gỗ đạt yêu cầu. Ngoài ra, cách 3-5 giờ từ lúc bắt đầu quá trình sấy phải xả nước trong bình ngưng tụ.

Qua kết quả sấy thực nghiệm thu được từ các mẻ sấy chân không cho thấy khoảng thời gian xử lý trên 5 giờ là vừa đủ để có thể làm mềm hóa các thành phần của gỗ và làm gỗ nóng đều từ ngoài vào trong, tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình thoát ẩm, hạn chế sinh ứng suất làm sản sinh các khuyết tật không mong muốn. Nếu thời gian xử lý ban đầu quá ngắn sẽ làm cho các thành phần của gỗ nóng lên không đều, chênh lệch độ ẩm còn quá cao trong cùng một thanh và giữa các thanh cũng làm dễ sản sinh khuyết tật. Khi sấy chân không ở điều kiện phù hợp thì thời gian giảm ẩm không những được giảm xuống mà tính chất cơ học của gỗ được cải thiện đáng kể. Có thể thấy đối với phương pháp sấy chân không được áp dụng thì thời gian sấy cho 1 mẻ chỉ trong khoảng 5 ngày với tỷ lệ khuyết tật

khoảng 4%. So với phương pháp sấy quy chuẩn thì hiệu quả đạt được của phương pháp sấy chân không là khá cao, chi phí cho một mẻ sấy được giảm rất lớn vì thời gian sấy ngắn, lượng điện năng tiêu thụ thấp, tỷ lệ khuyết tật giảm nhiều giúp làm tăng tỷ lệ lợi dụng gỗ. Bên cạnh những ưu điểm đó, sấy chân không có một số nhược điểm như phải đầu tư các thiết bị máy móc hiện đại và các thiết bị phải có độ chuẩn xác cao [9-11].

#### **4. KẾT LUẬN**

Nghiên cứu đã xây dựng được chế độ sấy gỗ xà cừ (*Khaya spp.*) bằng phương pháp sấy chân không phù hợp với điều kiện thực nghiệm và đặc điểm cấu tạo của gỗ. Quá trình sấy được thiết lập theo các giai đoạn hợp lý, bao gồm gia nhiệt, sấy chính và cân bằng ẩm, góp phần kiểm soát hiệu quả tốc độ thoát ẩm và hạn chế sự hình thành ứng suất nội sinh trong vật liệu gỗ. Gỗ xà cừ có các tính chất bất lợi cho quá trình sấy như gỗ xoắn thớ, tỷ lệ co rút lớn và dễ phát sinh nứt đầu, cong vênh trong quá trình sấy. Trong quá trình sấy chân không gỗ xà cừ, thời gian xử lý rất quan trọng, nếu thời gian xử lý không thích hợp thì gỗ sau khi sấy dễ sản sinh hiện tượng chai bề mặt gỗ dẫn đến độ ẩm không đồng đều. Khi sấy ở nhiệt độ thích hợp và có khoảng thời gian xử lý ban đầu hợp lý thì rút ngắn được thời gian sấy. Gỗ xà cừ dễ nhạy cảm với nhiệt độ cao và dễ bị móp méo, nứt mặt nếu khi gia nhiệt lên đến trên 55°C. Do vậy, khi sấy chân không gỗ xà cừ khi gia nhiệt không nên lớn hơn 55°C. Kết quả cho thấy phương pháp sấy chân không có ưu điểm nổi bật trong việc rút ngắn thời gian sấy so với phương pháp sấy quy chuẩn, đồng thời giảm thiểu đáng kể các khuyết tật thường gặp như nứt đầu, nứt mặt và cong vênh. Kết quả nghiên cứu chế độ sấy chân không tối ưu khi sấy gỗ xà cừ ở nhiệt độ sấy 51,1°C và thời gian xử lý ban đầu là 4,97 giờ thì tỷ lệ khuyết tật gỗ xà cừ là 4,1% và thời

gian sấy là 120,7 giờ. Độ ẩm cuối cùng của gỗ sau sấy đạt mức yêu cầu sử dụng (8-12%) và phân bố tương đối đồng đều trong toàn bộ tiết diện. Ngoài ra, các chỉ tiêu cơ lý cơ bản của gỗ sau sấy được duy trì ổn định, không có sự suy giảm đáng kể, đảm bảo khả năng sử dụng trong sản xuất đồ mộc và các sản phẩm gỗ có giá trị cao. Chế độ sấy đề xuất có tính khả thi cao và có thể áp dụng trong thực tiễn sản xuất.

#### **TÀI LIỆU THAM KHẢO**

- [1]. Hồ Xuân Các & Nguyễn Hữu Quang (2005). Công nghệ sấy gỗ. NXB Nông nghiệp, Hà Nội.
- [2]. Phạm Ngọc Nam & Nguyễn Thị Ánh Nguyệt (2019). Khoa học gỗ. NXB Nông nghiệp, Hà Nội.
- [3]. Bùi Thị Thiên Kim (2022). Nghiên cứu công nghệ sấy gỗ Cẩm xe (*Xylia xylocarpa*) bằng phương pháp sấy chân không. Luận án Kỹ thuật chế biến lâm sản, Trường Đại học Nông Lâm Thành phố Hồ Chí Minh.
- [4]. Bùi Thị Thiên Kim & Hoàng Thị Thanh Hương (2020). Nghiên cứu thông số công nghệ sấy chân không gỗ Cẩm xe (*Xylia xylocarpa*). Tạp chí Khoa học Đại học Đồng Tháp. 9(3): 102-108.
- [5]. Hoàng Văn Hòa (2022). Nghiên cứu công nghệ biến tính nhiệt cho một số loài gỗ Việt Nam. Luận án Kỹ thuật Chế biến Lâm sản, Trường Đại học Nông Lâm Thành phố Hồ Chí Minh.
- [6]. Nguyễn Văn Công Chính (2008). Nghiên cứu, thiết kế, chế tạo, khảo nghiệm mô hình máy sấy gỗ kiểu chân không. Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ, Trường Đại học Nông Lâm Thành phố Hồ Chí Minh.
- [7]. Nguyễn Cảnh (2004). Quy hoạch thực nghiệm. NXB Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh.
- [8]. Phạm Văn Lang & Bạch Quốc Khang (1998). Cơ sở lý thuyết quy hoạch thực nghiệm và ứng dụng trong kỹ thuật nông nghiệp. NXB Nông nghiệp, Hà Nội.
- [9]. Silva, M. A. (Ed.). (2004). Drying 2004: Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS 2004), São Paulo, Brazil, August 22–25, 2004 (Vol. B). Campinas, Brazil: Chemical Engineering School, São Paulo State University.
- [10]. Wikipedia contributors. (n.d.). Drying. In Wikipedia. Retrieved May 28, 2026, from Wikipedia – Drying.
- [11]. J. Rijdsdijk & Peter B. Laming (1994). Physical and Related Properties of 145 Timbers: Information for practice. Kluwer Academic Publishers.