

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC NÔNG LÂM TP. HCM

BÙI THỊ THIÊN KIM

NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SẤY GỖ CẨM XE  
(*Xylia xylocarpa*) BẰNG PHƯƠNG PHÁP  
SẤY CHÂN KHÔNG

Chuyên ngành: Kỹ thuật Chế biến Lâm sản  
Mã số: 9.54.90.01

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

Thành phố Hồ Chí Minh, 2023

**Công trình được hoàn thành tại:**

**TRƯỜNG ĐẠI HỌC NÔNG LÂM TP. HCM**

Người hướng dẫn khoa học: 1. PGS.TS. LÊ ANH ĐỨC

2. TS. HOÀNG THỊ THANH HƯƠNG

Phản biện 1:

Phản biện 2:

Luận án được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận án họp tại Trường  
Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh

Vào hồi .....giờ .... ngày ..... tháng ..... năm .....

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện Trường Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh
- Thư viện Quốc gia Tp.Hồ Chí Minh

## MỞ ĐẦU

### Tính cấp thiết

Sấy chân không dựa vào sự chênh lệch áp suất là động lực chính của quá trình sấy và nguyên lý hạ điểm sôi của nước dưới áp suất thấp đã được nghiên cứu là một trong những giải pháp hiệu quả giải quyết vấn đề chất lượng và thời gian sấy, thể hiện qua các công trình nghiên cứu của các tác giả điển hình như : Chen, Lamb [36], Deliiski, Syuleymanov [42], He, Yao, Chen, Yi [52], Defo, Cloutier, Fortin [40, 41], Koumoutsakos [64], Koumoutsakos, Avramidis, Hatzikiriakos Savvas [65, 66, 67], Torres, Jomaa, Puiggali [101], Espinoza, Bond [46], Fu, Avramidis, Weng, Cai, Zhou [49], Guler, Dilek [50], Scott Lyon, Scott Bove, Michael Wiemann [93]. Phương pháp sấy này cho phép thúc đẩy rất mạnh quá trình thoát ẩm trong gỗ và giúp rút ngắn đáng kể thời gian sấy do sử dụng cùng lúc nhiều loại động lực trong quá trình sấy như : dòng nhiệt, dòng ẩm và sự chênh lệch áp suất. Với nhiều nguồn động lực được hỗ trợ tối đa cho quá trình thoát ẩm, sấy nhiệt độ thấp nên phương pháp này là giải pháp phù hợp cho gỗ khó sấy, chứa nhiều dầu nhựa điển hình là gỗ Cẩm xe.

Theo số liệu báo cáo tình hình nhập khẩu nguyên liệu gỗ Cẩm xe từ 2018 đến tháng 8 năm 2021, nguyên liệu gỗ nhập khẩu tăng rất nhanh từ 2.278.000 m<sup>3</sup> năm 2018 đến 11.483.000 m<sup>3</sup> vào năm 2021 [2]. Đây là một trong nguồn nguyên liệu chính, giá trị cao ứng dụng rất nhiều trong sản xuất sản phẩm gỗ nội ngoại thất và các sản phẩm gỗ khác trong công nghiệp chế biến gỗ hiện nay.

Như vậy, phương pháp sấy chân không có thể là giải pháp cho việc sấy gỗ Cẩm xe vì đây là gỗ khó sấy, nhiều dầu nhựa, gây cản trở trong quá trình thoát ẩm khi sấy ở nhiệt độ cao. Tuy nhiên, kỹ thuật và công nghệ sấy này chưa được phổ biến cũng như nghiên cứu và áp dụng cho loại gỗ Cẩm xe trong bối cảnh hiện nay. Trước tình hình trên, đề tài tiến hành “Nghiên cứu công nghệ sấy Gỗ Cẩm xe (*Xylia xylocarpa*) bằng phương pháp sấy chân không” được thực hiện sẽ tập trung giải quyết các vấn đề nêu trên trong đề tài này.

### Mục tiêu nghiên cứu

- Nghiên cứu xác định các thông số nhiệt vật lý của gỗ Cẩm xe để làm cơ sở cho việc tính toán và mô phỏng quá trình truyền nhiệt, truyền ẩm trong sấy chân không gỗ Cẩm xe.
- Xác định mô hình toán cho quá trình truyền nhiệt và truyền ẩm trong sấy chân không gỗ Cẩm xe nhằm mô phỏng diễn biến quá trình phân bố nhiệt độ và ẩm độ trong vật liệu sấy từ đó đưa ra dự báo về quá trình sấy.
- Kiểm chứng mô hình lý thuyết so với thực nghiệm
- Xác định các bước công nghệ để xây dựng chế độ sấy chân không gỗ Cẩm xe phù hợp.

**Đóng góp mới của luận án**

- Xác định được các thông số nhiệt vật lý của gỗ Căm xe: độ ẩm ban đầu, độ ẩm bão hòa thứ gỗ và các thông số phụ thuộc theo độ ẩm của vật liệu sấy bao gồm: nhiệt dung riêng, khối lượng riêng, hệ số dẫn nhiệt theo chiều dọc và chiều ngang thứ gỗ.
- Xây dựng được mô hình toán học mô tả quá trình truyền nhiệt, truyền ẩm của gỗ Căm xe bằng phương pháp sấy chân không hồng ngoại.
- Sử dụng phương pháp phân tử hữu hạn giải bài toán truyền nhiệt, truyền ẩm và mô phỏng được diễn biến quá trình phân bố nhiệt độ, ẩm độ của gỗ Căm xe trong quá trình sấy bằng phương pháp sấy chân không hồng ngoại.
- Sử dụng thuật toán tối ưu hóa xác định được các thông số công nghệ sấy phù hợp và xây dựng chế độ sấy trên một số dạng kích thước gỗ Căm xe khi sấy chân không hồng ngoại.

**Bố cục của luận án**

Luận án chính thức gồm 150 trang, có 3 chương, 26 bảng số liệu và 74 hình ảnh, 68 phụ lục. Luận án đã tham khảo tổng cộng 116 tài liệu trong đó 26 tài liệu tiếng Việt và 90 tài liệu tiếng Anh.

## Chương 1

### TỔNG QUAN

Gỗ Cắm xe rất cứng và nặng, có phần gỗ lõi lớn, có màu sắc, vân đẹp, mặt gỗ mịn. Độ bền tự nhiên rất tốt, độ bền cơ học cao. Trong xây dựng, có thể dùng vào những cấu kiện cần đến độ bền uốn tĩnh cao, dùng làm ván sàn và những công dụng đặc biệt. Sử dụng rộng rãi trong ngành xây dựng, phát triển sơ sori cho công nghiệp gỗ nhân tạo [34] và sản xuất các sản phẩm gỗ nội thất [12], [26].

Phương pháp sấy chân không sấy ở nhiệt độ tương đối thấp 40 - 60<sup>0</sup>C, ứng với nhiệt độ sấy này áp suất sấy ở khoảng 50 - 140 mmHg vì thế sẽ làm giảm hiện tượng nứt, vênh, giữ được màu sắc sản phẩm gỗ sau khi sấy và rút ngắn được thời gian sấy [13, 14]. Thiết bị sấy gỗ chân không bao gồm 4 cụm bộ phận chính: buồng sấy, bộ phận cấp nhiệt, bộ phận ngưng tụ ẩm, bơm chân không. Hầu hết các loại máy sấy chân không hiện có trên thế giới tập trung chủ yếu ở 2 dạng: dạng buồng sấy tròn và dạng buồng sấy hình chữ nhật

Vật liệu sấy là nguyên liệu gỗ được cấu tạo chủ yếu bởi chất hữu cơ và nước, phổ hấp thụ năng lượng bức xạ của nước và các chất hữu cơ là khác nhau. Ở mỗi bước sóng, chất hữu cơ trở thành vật trong suốt - không hấp thụ năng lượng bức xạ hồng ngoại; tuy nhiên nước trong vật liệu sẽ trở thành vật đen hấp thụ năng lượng bức xạ tối đa. Do đó, khi chiếu bức xạ hồng ngoại có bước sóng nằm trong khoảng 0,76 – 1000  $\mu\text{m}$  lên vật liệu, các O - H của nước hấp thụ năng lượng bức xạ và bắt đầu rung động với tần số của bức xạ nhiệt chiếu tới. Việc chuyển đổi bức xạ nhiệt sang năng lượng sẽ làm cho vật liệu trong nước bốc hơi.

Nguồn bức xạ hồng ngoại sản sinh ra các tia hồng ngoại chiếu tới vật liệu ẩm trong buồng sấy. Do đó khi nhận được nguồn năng lượng bức xạ mà đèn hồng ngoại chiếu tới, thì nội năng của nước trong vật liệu ẩm sẽ tăng lên nhanh chóng, vì thế ma sát giữa các phân tử nước sẽ tăng lên dẫn đến nhiệt độ của nước tăng lên dần tới nhiệt độ sôi, cắt đứt các liên kết giữa các phân tử nước với phân tử nước, giữa các phân tử nước với các cấu trúc hữu cơ. Kết quả nước sẽ chuyển pha từ trạng thái lỏng sang trạng thái hơi và bốc hơi theo chiều ly tâm bên trong vật liệu ẩm ra ngoài môi trường sấy

Các kết quả nghiên cứu trong và ngoài nước khi sấy chân không gỗ cho thấy các tác giả thường sử dụng mô hình toán để xây dựng mối quan hệ biến thiên của độ ẩm gỗ với thời gian sấy. Những công trình nghiên cứu sấy chân không gỗ của các nhà khoa học trên thế giới cho thấy, áp dụng nghiên cứu sấy gỗ chân không rất đa dạng, về nguyên lý vẫn dựa trên hạ điểm sôi của nước bằng phương pháp rút chân không (Chen, 1997) [35], (Assouad, Jomaa, 2003), [30] (Nencho Deliiski, 2006) [42], (Anastasios Koumoutsakos, Stavros Avramidis và Savvas G. Hatzikiriakos, 2001) [65], (Maurice Defo, Yves

Fortin và Alain Cloutier, 2000)[41].... Nhưng cách thực hiện mỗi nghiên cứu có điểm khác nhau ở cách thức gia nhiệt, phương thức sấy và thời điểm rút chân không, điều này tạo ra những kết quả khác nhau, mang lại những giá trị đặc biệt cho từng đối tượng nguyên liệu sấy. Chính vì vậy, vấn đề này đang là mối quan tâm rất lớn cho các nhà khoa học trong việc lựa chọn công nghệ và kỹ thuật sấy phù hợp với nguyên liệu để phát huy hiệu quả công nghệ sấy góp phần rút ngắn thời gian sấy và nâng cao chất lượng nguyên liệu gỗ sấy.

Thông qua kết quả nghiên cứu của các nhà khoa học trên thế giới đã chứng minh công nghệ sấy gỗ chân không là công nghệ mang đến nhiều hiệu quả cao trong công nghiệp sấy gỗ. Các nghiên cứu được áp dụng trên các loại nguyên liệu gỗ ôn đới từ Châu Mỹ và Châu Âu như : Sồi, Thông, Dẻ, Thích, Bạch Dương.... kết quả đạt được mang đến nhiều hiệu quả cao. Để khai thác triệt để ưu điểm của công nghệ cần thiết áp dụng cho các loại nguyên liệu gỗ nhiệt đới từ Châu Á, Đông Nam Á đặc biệt là những loại gỗ khó sấy như gỗ Căm xe nhằm góp phần nâng cao chất lượng nguyên liệu gỗ sấy và rút ngắn thời gian sấy. Ở Việt Nam ngoài các công trình nghiên cứu sấy chân không cho gỗ Cao su (Nguyễn Văn Công Chính, 2008), (Trần Hữu Việt, 2006) [16], [22], Bạch đàn trắng, Bạch đàn đỏ (Phạm Ngọc Nam, 2014) [17] thì chưa có bất kỳ công trình nghiên cứu nào liên quan đến sấy chân không gỗ Căm xe. Đây là một trong những loại gỗ khó sấy với đặc điểm cấu tạo chứa nhiều dầu nhựa gây hạn chế quá trình thoát ẩm khi sấy ở nhiệt độ cao, đồng thời việc thoát ẩm này ảnh hưởng trực tiếp đến thời gian sấy cũng như khuyết tật xảy ra trong quá trình sấy.

Tóm lại, cần phải có giải pháp công nghệ cho gỗ nhiệt đới khó sấy vừa rút ngắn thời gian sấy vừa nâng cao chất lượng gỗ góp phần nâng cao giá trị nguyên liệu gỗ. Điều này là bước đi tiên phong trong công nghiệp sấy gỗ góp phần đưa ra giải pháp nhằm giải quyết từ ba yếu tố chính như sau: thứ nhất loại nguyên liệu nhiều dầu nhựa khó sấy ở nhiệt độ cao như gỗ Căm xe, thứ hai công nghệ sấy chân không, thứ ba gia nhiệt bức xạ hồng ngoại, kết quả thí nghiệm ghi nhận sẽ là cơ sở khoa học cho doanh nghiệp tham khảo, ứng dụng vào thực tế sản xuất. Từ sự kết nối ba yếu tố chính trên là giải pháp đồng thời là nhiệm vụ hết sức cấp thiết mà chúng tôi tiến hành thực hiện nghiên cứu công nghệ sấy gỗ Căm xe bằng phương pháp sấy chân không.

## Chương 2

### VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

#### 2.1 Vật liệu nghiên cứu

Nguyên liệu gỗ Căm xe tròn được nhập từ Campuchia, kích thước đường kính 0,5 – 0,7 m, chiều dài 3 – 7m. Nguyên liệu gỗ sau đó mang đi cưa xẻ và cắt gia công qui cách theo yêu cầu mẫu thí nghiệm (hình 2.1) và các tiêu chuẩn trong xác định tính chất nhiệt vật lý và một số đặc tính khác



**Hình 2.1.** Gỗ Căm xe (*Xylia xylocarpa*)

#### 2.2 Phương pháp nghiên cứu lý thuyết

Phương pháp thu thập thông tin: Thông qua quá trình tìm hiểu, thu thập tài liệu sách, bài báo khoa học, các công trình nghiên cứu của các nhà khoa học trong và ngoài nước ...từ đó làm cơ sở trong quá trình nghiên cứu cơ sở lý thuyết, khái niệm, cơ chế truyền nhiệt, truyền âm trong quá trình sấy

#### 2.3 Phương tiện nghiên cứu

**Bảng 2.1.** Thông số kỹ thuật cơ bản của các thiết bị đo

Stt	Tên	Thông số kỹ thuật	Công dụng	Ghi chú
1	Cân điện tử	Bel Engineering - Italia thang đo (0 - 3000) g, sai số $\pm 0,01$ g.	Xác định khối lượng, trong việc xác định độ ẩm ban đầu	Đo trước khi sấy
2	Tủ sấy thí nghiệm	Memmert - Đức Nhiệt độ hoạt động : 5°C - 300°C, sai số $\pm 1^{\circ}$ C.	Sấy mẫu gỗ thí nghiệm	Xác định khối lượng gỗ
3	Thước cuộn Thước kẹp	Thước cuộn - Stanley – Mỹ thang đo 0 - 5 m, sai số $\pm 0,1$ mm Thước kẹp Vogel - Đức thang đo 0 - 150 mm, sai số $\pm 0,02$ mm.	Đo kích thước gỗ	Đo chiều dày, chiều rộng và chiều dài thanh gỗ
4	Nhiệt kế (hồng ngoại)	Microlife FR1MF1 – Thụy sĩ, thang đo 0 - 100 <sup>0</sup> C,	Đo nhiệt độ VLS trước khi sấy	Đo trực tiếp trên thanh gỗ

		bước nhảy số đo $0,1^{\circ}\text{C}$ , độ chính xác $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$		
5	Cảm biến nhiệt độ	ASIT Gsensor – Italia thang đo $-20^{\circ}\text{C} - 750^{\circ}\text{C}$ , sai số $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ .	Đo nhiệt độ	Đặt ngay vị trí tiếp xúc với VLS
6	Cảm biến áp suất	Danfoss - Ấn Độ, thang đo $0 - 35 \text{ kg/cm}^2$ và $0 - 760 \text{ mmHg}$ , sai số $\pm 0,05 \text{ kg/cm}^2$ và $\pm 0,0005 \text{ mmHg}$	Đo áp suất buồng sấy	Đặt trong buồng sấy, điều khiển bơm chân không
7	Máy đo độ ẩm sử dụng kim	Vogel – Đức thang đo: $2 - 70\%$ Độ chính xác: $0,5 - 1\%$	Đo độ ẩm VLS trong quá trình sấy	Máy đặt ngoài buồng sấy, kết nối dây dẫn đưa vào trong buồng, kim đo đặt vào lỗ khoan trên thanh gỗ
8	Máy đo độ ẩm gỗ cầm tay	Prometer - EPM-828 – Anh, thang đo: $8 - 28\%$ Độ chính xác: $\pm 0,5 - 1\%$	Đo độ ẩm VLS trước và sau khi sấy	Dùng máy ghim đầu kim vào thanh gỗ
9	Thiết bị đo cường độ bức xạ	TENMARS TM - 206 – Đài Loan, thang đo: $0 - 2000 \text{ W/m}^2$ , $634 \text{ BTU}/(\text{ft}^2\text{xh})$ Độ phân giải: $0,1 \text{ W/m}^2$ , $0,1 \text{ BTU}/(\text{ft}^2\text{xh})$ Đơn vị: $\text{W/m}^2$ ; $\text{BTU}$	Đo cường độ bức xạ hồng ngoại	Dùng xác định cường độ bức xạ hồng ngoại
10	Bình nhiệt lượng kế	Bình nhiệt lượng kế - công ty thiết bị trường học. Vỏ nhựa hình trụ $\Phi 100\text{mm}$ , cao $100\text{mm}$ ; ruột trong inox $\Phi 70\text{mm}$ , cao $75\text{mm}$ ; nắp nhựa PVC dày $7\text{mm}$	Đo nhiệt lượng	Dùng xác định nhiệt dung riêng của gỗ





**Hình 2.2** Máy sấy chân không gỗ Cẩm xe

#### **2.4 Phương pháp xác định các thông số nhiệt vật lý của gỗ Cẩm xe**

Quy trình chọn mẫu, lấy mẫu thực hiện theo TCVN 8044 : 2014, để đảm bảo các mẫu gỗ và các chỉ tiêu của mẫu đại diện cho lô mẫu. Gỗ được chọn làm mẫu ở dạng gỗ khúc, gỗ xẻ và dạng tấm.

##### **2.4.1 Phương pháp xác định khối lượng riêng**

Khối lượng riêng là khối lượng vật chất trên một đơn vị thể tích tính bằng  $\text{kg/m}^3$  hoặc  $\text{g/cm}^3$  [26], trong lĩnh vực chế biến gỗ, khối lượng riêng của gỗ còn được gọi là khối lượng thể tích gỗ [10], [18] được xác định theo tiêu chuẩn TCVN 8048-2 : 2009

##### **2.4.2 Phương pháp xác định nhiệt dung riêng**

Nhiệt dung riêng của một chất là nhiệt lượng cần phải cung cấp cho một đơn vị đo lường chất đó để nhiệt độ của nó tăng lên một độ trong quá trình truyền nhiệt. Để xác định nhiệt dung riêng của gỗ Cẩm xe [26], [48], [78] phương pháp bình nhiệt lượng kế.

##### **2.4.3 Phương pháp xác định hệ số dẫn nhiệt**

Hệ số dẫn nhiệt của vật liệu là một đại lượng vật lý đặc trưng cho khả năng dẫn nhiệt của vật liệu [15], [76], hệ số dẫn nhiệt được xác định thông qua thiết bị đo hệ số dẫn nhiệt điều khiển qua volt kế và Ampe kế.

#### **2.5 Phương pháp xác định độ ẩm bão hòa thứ gỗ (hay còn gọi là điểm bão hòa thứ gỗ) - $W_{woFSP}$**

Độ ẩm bão hòa thứ gỗ được xác định bởi lượng nước liên kết tối đa trong gỗ, phương pháp xác định độ ẩm bão hòa thứ gỗ : dựa vào mối quan hệ giữa độ ẩm gỗ và tỷ lệ co rút, nên trong nghiên cứu tiến hành xác định tỷ lệ co rút theo TCVN 8048 – 13 : 2009, từ đó xác định độ ẩm tại điểm bão hòa thứ gỗ [20, 21]

#### **2.6 Phương pháp xác định độ ẩm thăng bằng của gỗ - $W_{woEQ}$**

Độ ẩm thăng bằng ( $W_{woEQ}$ ) một số tài liệu còn gọi độ ẩm cân bằng [26], trong điều kiện môi trường nhất định, quá trình nhả ẩm hoặc hút ẩm của gỗ chỉ đạt đến một độ ẩm nhất định khi đặt trong môi trường. Độ ẩm gỗ ở trạng thái này được gọi là độ ẩm thăng bằng. Độ ẩm thăng bằng (cân bằng) của gỗ được xác định bởi trạng thái không khí (t: nhiệt độ và  $\varphi$ : ẩm độ không khí) thông qua biểu đồ xác định độ ẩm thăng bằng.

#### **2.7 Phương pháp xác định độ ẩm ban đầu của gỗ - $W_{woIN}$**

Để đặc trưng lượng nước trong gỗ người ta sử dụng khái niệm độ ẩm, độ ẩm gỗ tính theo tỷ lệ phần trăm lượng nước trong gỗ và khối lượng gỗ có nước gọi là độ ẩm tương đối (cơ sở ướt). Xác định độ ẩm ban đầu của gỗ theo TCVN 8048 – 1: 2009 [21].

### **2.8 Phương pháp xác định các thông số liên quan quá trình truyền nhiệt và ẩm.**

Nhiệt lượng bức xạ  $q_{\text{rad}}$ , hệ số truyền ẩm  $h_m$ , hệ số trao đổi nhiệt  $h$ , hệ số khuếch tán ẩm  $D_s$ , ẩn nhiệt hóa hơi  $\Delta h$

### **2.9 Phương pháp xác định mô hình toán cho quá trình truyền nhiệt và truyền ẩm sấy chân không gỗ Căm xe**

Để xác định mô hình toán cho nguyên liệu gỗ Căm xe thì cần tiến hành các bước sau:

- Bước 1: tiếp cận hệ thống (đối tượng thực), phân tích (định tính, định lượng) hệ thống và mô hình hóa hệ thống bằng mô hình vật thể.
- Bước 2: xây dựng mô tả toán học cho nguyên liệu gỗ dưới dạng các phương trình hay hệ phương trình..., đồng thời xác lập điều kiện giới hạn và các tham số của mô hình toán
- Bước 3: tìm thuật toán giải mô hình toán, xác định nghiệm tổng quát.
- Bước 4: nhận dạng tham số mô hình toán, xác định nghiệm riêng.
- Bước 5: kiểm tra sự tương thích mô hình toán giữa tính toán của mô hình với thực nghiệm.
- Bước 6: mô phỏng, hiệu chỉnh và ứng dụng mô hình vào thực tế.

Phương pháp này sẽ ứng dụng xây dựng mô hình toán truyền nhiệt và truyền ẩm trong điều kiện sấy gỗ chân không

### **2.10 Phương pháp mô phỏng bằng Comsol Multiphysic**

Ứng dụng phương pháp mô hình hóa trong nghiên cứu khoa học tại Việt Nam vẫn còn nhiều hạn chế và vẫn ở bước đầu tiếp cận những phần mềm mới. Với kỳ vọng đáp ứng được những yêu cầu về nghiên cứu khoa học chúng tôi tiến hành ứng dụng vào trong nghiên cứu sấy chân không gỗ Căm xe.

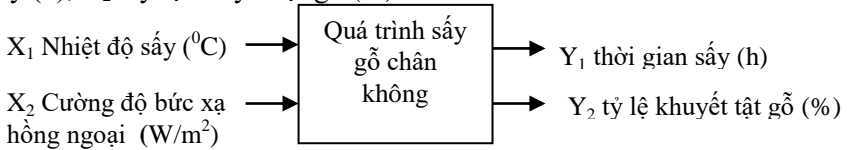
Trong đề tài này xây dựng mô hình toán theo mô hình vật lý của quá trình sấy chân không từ đó tìm hiểu tác động của một số tham số chính, dự đoán chiều hướng ảnh hưởng của những tham số đó đến kết quả của quá trình, tìm ra một giải pháp tối ưu để thiết kế nên công nghệ sấy chân không phù hợp nhất. Sau khi xây dựng được mô hình toán, công đoạn tiếp theo sử dụng công cụ mô phỏng để giải hệ phương trình vi phân. Trong đề tài này chọn Comsol Multiphysic vì tính trực quan của phần mềm, và Matlab để xử lý các kết quả thu được từ mô phỏng

### **2.11 Phương pháp qui hoạch thực nghiệm**

Để xác định chế độ sấy phù hợp cho gỗ Căm xe với phương pháp sấy chân không kết hợp gia nhiệt bằng hồng ngoại, tiến hành thực nghiệm xác định các yếu tố công nghệ ảnh hưởng đến các yếu tố kỹ thuật và chất lượng, chính vì

vậy nghiên cứu tiến hành thí nghiệm sấy chân không gỗ Cắm xe trên 4 dạng kích thước: 20 x 50 x 500 mm, 50 x 50 x 500 mm, 20 x 150 x 500 mm, 50 x 150 x 500 mm.

Thông qua các nghiên cứu Zhengbin He, Fe Yang, Yiqing Peng, Songlin Yi [114], Sachin Gupta1, V. S. Kishan Kumar (2017) [89], Altun, Yapici, Korkmaz, [28], tiến hành phân tích đánh giá sơ bộ các yếu tố đầu vào, đầu ra. Dựa vào kết quả phân tích nghiên cứu chọn các thông số đầu vào  $X_1$ : nhiệt độ sấy ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $X_2$ : cường độ bức xạ hồng ngoại ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) và thông số đầu ra  $Y_1$ : thời gian sấy (h),  $Y_2$ : tỷ lệ khuyết tật gỗ (%).



**Hình 2.3.** Mối quan hệ thông số đầu vào và đầu ra

Theo kết quả nghiên cứu tổng quan các công trình nghiên cứu trước đó, nghiên cứu lựa chọn phạm vi nghiên cứu của các thông số đầu vào có giá trị như sau:

- Qua tham khảo, kế thừa một số công trình đã công bố như của Chen và cộng sự [35, 36, 37], Scott Lyon, Scott Bowe, Michael Wiemann [93] chọn phạm vi nghiên cứu nhiệt độ TNS nằm trong giới hạn từ  $40 \div 60^{\circ}\text{C}$ .

- Kế thừa công trình nghiên cứu của Safary và ctv [90], Iman Golpour và cộng sự [55], Erzsébet Cserta [39] chọn phạm vi nghiên cứu công suất phát hồng ngoại nằm trong khoảng  $200 \text{ W} \div 750 \text{ W}$ .

Mối quan hệ giữa các thông số đầu vào và đầu ra được xác định bằng phương pháp thống kê thực nghiệm. Mối quan hệ này được đánh giá và kiểm tra định tính bằng phương pháp phân tích phương sai và định lượng bằng phương pháp phân tích hồi qui, hàm của bài toán được mô tả dưới dạng đa thức.

Phương án quy hoạch thực nghiệm bậc hai bất biến quay của Box & Hunter. Theo phương án bậc 2 mô hình toán học được biểu diễn bằng phương trình hồi qui như sau:

$$y = b_o + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i \neq j=1}^n b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} x_i^2 \quad (2.1)$$

Trong đó :  $y_i$  : các yếu tố đầu ra,  $x_i, x_j$  : các yếu tố đầu vào  
 $b_o, b_i, b_{ij}$  : các ước lượng hệ số hồi qui, gọi tắt là hệ số hồi qui

## 2.12 Phương pháp tối ưu hóa

Bài toán tối ưu hóa được áp dụng trong việc xác định các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật tối ưu cho từng khâu công nghệ trong quá trình nghiên cứu.

Từ kết quả nghiên cứu kế hoạch hoá thực nghiệm, chúng ta đã xác định các mô hình thống kê thực nghiệm bậc hai mô tả gần đúng đối tượng nghiên cứu. Dựa trên mô hình bài toán chính là phương trình hồi qui dạng đa thức bậc hai chúng ta có thể xây dựng bài toán tối ưu hoá dạng qui hoạch phi tuyến cho các hàm  $Y_1$  và  $Y_2 \dots$  của các thông số đầu ra.

#### ***Giải bài toán tối ưu một mục tiêu***

Mục tiêu này tùy thuộc vào thông số đầu ra nên có thể tiến đến cực đại (max) và cực tiểu (min). Sử dụng phần mềm Matlab để giải bài toán tối ưu một mục tiêu và đa mục tiêu.  $Y \Rightarrow \max$  hoặc  $\min$ . Thoả mãn điều kiện ràng buộc như sau  $-1,414 < x_i < +1,414$ ,  $i=1:2$

#### ***Giải bài toán tối ưu đa mục tiêu***

Mục tiêu này tùy thuộc vào thông số đầu ra nên có thể tiến đến cực đại (max) và cực tiểu (min). Sử dụng phần mềm Matlab để giải bài toán tối ưu đa mục tiêu.  $Y_{\text{chung}} (Y_1 ; Y_2) \Rightarrow \max$  hoặc  $\min$ . Thoả mãn điều kiện ràng buộc như sau  $-1,414 < x_i < +1,414$ ,  $i=1:2$

### **2.13 Phương pháp xác định thời gian sấy và tỷ lệ khuyết tật gỗ sấy**

#### ***Xác định thời gian sấy gỗ***

Thời gian sấy được xác định từ lúc bắt đầu quá trình sấy cho đến khi độ ẩm gỗ đạt yêu cầu, kết thúc quá trình sấy.

#### ***Xác định tỷ lệ khuyết tật gỗ sau sấy***

Dùng chỉ tiêu đánh giá chất lượng xác định tính phần trăm thể tích gỗ khuyết tật trên tổng thể tích gỗ sấy theo từng chỉ tiêu: nứt tách trên bề mặt, nứt trong, nứt đầu, mo móp, biến màu. Riêng chỉ tiêu độ ẩm xác định phần trăm số thanh không đạt trên tổng số thanh gỗ sấy, tỷ lệ khuyết tật gỗ sau sấy là tổng hai thông số này. Tiến hành đánh giá chất lượng gỗ dựa vào tiêu chuẩn EDG (European Drying Group)[106].

### **2.14 Phương pháp xử lý số liệu**

Để hỗ trợ việc tính toán và mô phỏng, qui hoạch thực nghiệm, tối ưu hóa nghiên cứu sử dụng các phần mềm COMSOL, STATGRAPHICS, MATLAB, EXCEL, CACULATION trong nghiên cứu này.

## Chương 3

### KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1 Kết quả xác định tính chất nhiệt vật lý của gỗ Cẩm xe

##### 3.1.1 Xác định khối lượng riêng của gỗ Cẩm xe

Thực nghiệm đã tiến hành xác định khối lượng riêng của gỗ được xác định tại các mức độ ẩm thay đổi trong phạm vi là 10% đến độ ẩm 40% đạt giá trị 0,871 – 1,084 g/cm<sup>3</sup>. Mối quan hệ giữa khối lượng riêng và độ ẩm thể hiện qua phương trình tương quan hồi qui như sau:  $\rho = 0,0068.W + 0,7875$  (3.1)  
 Với : W = 10 – 40%,  $\rho$  khối lượng riêng của gỗ Cẩm xe (g/cm<sup>3</sup>), W độ ẩm của gỗ Cẩm xe (%).

Nguyên cứu của Guler, Dilek [50] về khối lượng riêng trung bình tại độ ẩm 13% của gỗ Sồi (*Quercus robur*) là 0,753 g/cm<sup>3</sup> khi sấy đối lưu bằng không khí, 0,749 g/cm<sup>3</sup> khi sấy chân không sóng cao tần, gỗ Óc Chó (*Juglans regia*) là 0,702 g/cm<sup>3</sup> khi sấy đối lưu bằng không khí, 0,691 g/cm<sup>3</sup> khi sấy chân không sóng cao tần. Thông qua kết quả cho thấy có không sự khác biệt đáng kể về kết quả khối lượng riêng khi dùng phương pháp sấy khác nhau, trong phạm vi  $\pm 0,004 - 0,011$ . Theo nghiên cứu của Bijan Adl-Zarrabi, Lars Boström [32] khối lượng riêng gỗ Thông Naui (*Picea abies*) 0,503 g/cm<sup>3</sup>. Nghiên cứu của Josue cho gỗ Cẩm xe 9 tuổi ở vùng Sabah, Malaysia có khối lượng riêng khô kiệt 0,78 g/cm<sup>3</sup> [58], kết quả này khá tương đồng với kết quả đề tài, với giá trị là 0,788 g/cm<sup>3</sup>.

##### 3.1.2 Xác định nhiệt dung riêng

Thực nghiệm đã tiến hành xác định nhiệt dung riêng của gỗ Cẩm xe, kết quả đã xác định được nhiệt dung riêng của gỗ Cẩm xe thay đổi theo ẩm độ và đạt giá trị từ 1640,7 đến 1884,05 J/kg.K tương ứng với ẩm độ thay đổi từ 10% đến 40%. Quan hệ giữa nhiệt dung riêng của gỗ C (J/kg.K) theo độ ẩm W (%) được biểu diễn bằng phương trình hồi quy, kiểm định ý nghĩa của các hệ số hồi quy theo chuẩn Student, kiểm tra sự tương thích của phương trình với kết quả thực nghiệm theo chuẩn Fisher đã thu được phương trình tương quan như sau:  $C_{wop} = 0,058.W^2 + 10,982.W + 1538,2$  (3.2) với: W = 10 – 40%, W là Độ ẩm (%),  $C_{wop}$  là nhiệt dung riêng (J/kg.K)

##### 3.1.3 Xác định hệ số dẫn nhiệt

Thực nghiệm đã tiến hành xác định độ dẫn nhiệt của gỗ Cẩm xe, sau khi xử lý số liệu thực nghiệm, tính toán các hệ số phương trình tương quan. Kiểm định sự có nghĩa của các hệ số hồi quy theo chuẩn Student, kiểm tra sự tương thích của phương trình với kết quả thực nghiệm theo chuẩn Fisher đã thu được phương trình tương quan như sau :

$$\text{Dọc thớ : } k_l = 0,0001.W^2 + 0,019.W + 0,1995 \quad (3.3)$$

$$\text{Ngang thớ : } k_r = 0,0002.W^2 - 0,056.W + 0,2083 \quad (3.4)$$

Với:  $W = 10 - 40\%$ ,  $W$  là độ ẩm (%),  $k_f$ ;  $k_r$  là độ dẫn nhiệt dọc thớ và ngang thớ ( $W/m.K$ )

### 3.2 Độ ẩm bão hòa thớ gỗ - $W_{woFSP}$ (%)

Độ ẩm bão hòa hay còn gọi là điểm bão hòa thớ gỗ là độ ẩm xác định bởi lượng nước liên kết tối đa trong gỗ, nó là mốc đánh dấu mọi sự thay đổi về tính chất cơ lý của gỗ, quá trình thay đổi hình dạng, kích thước của gỗ cũng như cường độ chỉ xảy ra khi độ ẩm gỗ dưới điểm bão hòa thớ gỗ. Kết quả xác định điểm bão hòa thớ gỗ Căm xe giá trị độ ẩm bão hòa đạt được trong khoảng 18,14 – 23,07%, kết quả giá trị trung bình độ ẩm bão hòa thớ gỗ Căm xe đạt giá trị  $W_{woFSP} = 20,556\%$

### 3.3 Độ ẩm thăng bằng (cân bằng) – $W_{woEQ}$ (%)

Độ ẩm cân bằng (thăng bằng) của gỗ Căm xe trong môi trường không khí được xác định theo dựa 3 yếu tố: độ ẩm cân bằng (thăng bằng) của gỗ, nhiệt độ môi trường, độ ẩm tương đối môi trường thể hiện biểu đồ. Thông qua biểu đồ xác định độ ẩm cân bằng (thăng bằng) của gỗ tại thành phố Hồ Chí Minh thời điểm nhiệt độ  $T = 32^\circ C$ , độ ẩm tương đối không khí  $\varphi = 75\%$ , cho kết quả độ ẩm cân bằng (thăng bằng) là  $W_{woEQ} = 14\%$

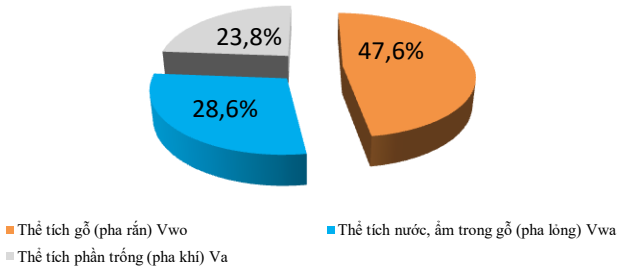
### 3.4 Độ ẩm ban đầu – $W_{woIN}$ (%)

Độ ẩm ban đầu của gỗ Căm xe dùng thí nghiệm là thông số quan trọng quá trình sấy, vì vậy cần thiết để xác định độ ẩm gỗ Căm xe trước khi áp dụng qui trình sấy. kết quả thực nghiệm xác định độ ẩm ban đầu Căm xe trên 10 mẫu gỗ, giá trị độ ẩm ban đầu trong khoảng 39,21 – 41,63%. Thông qua tính toán xử lý số liệu, kết quả giá trị trung bình độ ẩm ban đầu gỗ Căm xe đạt giá trị  $W_{woIN} = 40,36\%$ .

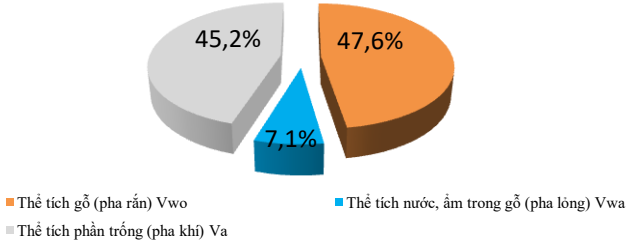
### 3.5 Ảnh hưởng của độ ẩm đến tính chất nguyên liệu gỗ Căm xe

Nguyên liệu gỗ là hệ thống ba trạng thái được thể hiện như sau: pha rắn gồm có phần gỗ, pha lỏng bao gồm nước tự do và nước liên kết và pha khí bao gồm không khí và hơi nước. Phân tích sự cân bằng của ba pha này trong gỗ làm cơ sở khoa học để xác định về động lực của quá trình truyền nhiệt và thoát ẩm trong sấy gỗ chân không. Kết quả tính toán cho sự cân bằng của ba pha cho gỗ Căm xe ( $\rho_{woba} = 0,714 \text{ g/cm}^3$ ) được thể hiện:

- + Phần trăm của nguyên liệu gỗ không thay đổi 47,6%
- + Phần trăm của chỗ trống tăng khi độ ẩm giảm, từ 23,8% lên 45,2%
- + Phần trăm của nước giảm khi độ ẩm giảm, từ 28,6% còn 7,1%



**Hình 3.1.** Phần trăm thể tích các pha trong gỗ Cắm xe khi  $W = 40\%$



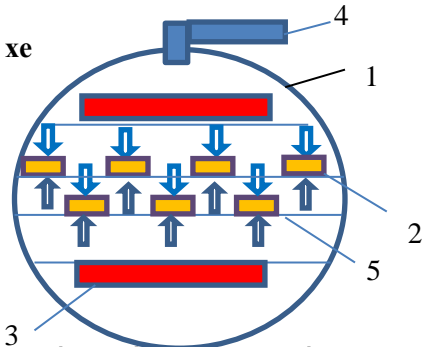
**Hình 3.2.** Phần trăm thể tích các pha trong gỗ Cắm xe khi  $W = 10\%$

- + Trong quá trình sấy chân không thể tích hơi nước tăng lên khi sự hóa hơi diễn ra. Sự hóa hơi diễn ra mang hơi ẩm thoát ra ngoài, điều này chứng minh dòng hoạt động của chất khí là chiếm ưu thế trong hoạt động giảm ẩm của gỗ.
- + Hoạt động hóa hơi diễn ra theo thứ tự từng lớp từ ngoài vào trong, khi quá trình hóa hơi diễn ra
- + Các hiện tượng vật lý diễn ra trong hai vùng sôi và vùng chưa sôi bao gồm: quá trình truyền nhiệt, dịch chuyển ẩm trong gỗ với sự biến thiên các thông số nhiệt độ, độ ẩm.

### 3.6 Xây dựng mô hình vật lý, xác định mô hình toán quá trình truyền nhiệt và ẩm trong sấy gỗ chân không

#### 3.6.1 Mô hình sấy chân không gỗ Cắm xe

**Hình 3.3.** Mô hình sấy gỗ Cắm xe bằng phương pháp sấy chân không  
 1. Buồng sấy, 2. Gỗ Cắm xe, 3. Đèn hồng ngoại, 4. ống dẫn hút chân không, 5. Thanh kê (thanh đỡ)

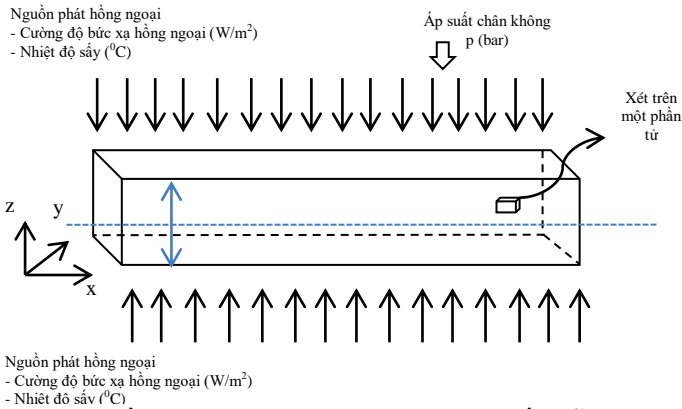


Hệ thống sấy chân không có kết cấu gồm buồng sấy, hệ thống gia nhiệt bằng đèn hồng ngoại và hệ thống rút chân không, hệ thống điều khiển.

### 3.6.2 Xác định phương trình truyền nhiệt và ẩm trong quá trình sấy gỗ chân không.

Gỗ Cắm xe (2) độ ẩm ban đầu  $W_{woIN} = 40 \pm 1\%$  được xếp vào trong buồng sấy (1), cài đặt nhiệt độ hệ thống gia nhiệt (3), gỗ được gia nhiệt với sự hỗ trợ của bức xạ hồng ngoại (hình 3.3). Áp suất bơm chân không cài đặt theo nhiệt độ sấy để đạt điểm sôi của nước trong gỗ, hệ thống vận hành dưới điều kiện áp suất thấp phù hợp điểm sôi của nước, nước trong gỗ hóa hơi di chuyển ra bề mặt gỗ và khuếch tán trong buồng sấy, quá trình này diễn ra liên tục cho đến khi độ ẩm gỗ giảm dần về  $10 \pm 1\%$  đạt yêu cầu sau sấy. Động lực của quá trình sấy chân không phụ thuộc vào nhiệt độ sấy, áp suất chân không bên trong của buồng sấy và tính chất vật lý của gỗ.

Mô hình quá trình truyền nhiệt truyền ẩm bên trong buồng sấy bằng phương pháp sấy chân không kết hợp gia nhiệt bức xạ hồng ngoại được trình bày trong hình 3.4. Thanh gỗ ở dạng thanh kích thước  $50 \times 50 \times 500$  mm. Tác nhân sấy (TNS) có nhiệt độ  $T_s$ , bơm chân không áp suất  $p$  (bar) phù hợp nhiệt độ sấy, bức xạ hồng ngoại có bước sóng là  $\lambda$ , nguồn phát hồng ngoại có cường độ  $P_{hn}$  được đặt ở phía trên và phía dưới của thanh gỗ.



**Hình 3.4.** Sơ đồ mô tả mô hình vật lý quá trình sấy gỗ Cắm xe

Quá trình sấy (QTS) là quá trình vật liệu sấy (VLS) nhận năng lượng mà chủ yếu là nhiệt năng từ một nguồn nhiệt nào đó để ẩm từ trong lòng dịch chuyển ra bề mặt và đi vào TNS. Do đó, QTS là quá trình truyền nhiệt và truyền ẩm (TNTA) xảy ra đồng thời. Quá trình TNTA xảy ra cả ở bên trong lòng VLS và giữa bề mặt VLS với môi trường TNS. Bên trong lòng VLS, quá trình đó được gọi là quá trình dẫn nhiệt và khuếch tán ẩm hỗn hợp. Trao đổi nhiệt - ẩm giữa bề mặt VLS với môi trường TNS là quá trình trao đổi nhiệt - ẩm đối lưu liên hợp. Vì vậy khi phân tích bài toán TNTA trong QTS phải bao gồm bài toán TNTA bên trong và bên ngoài VLS [9], [23].

#### Thiết lập phương trình truyền nhiệt

Quá trình truyền nhiệt bao gồm dẫn nhiệt bên trong vật liệu và trao đổi

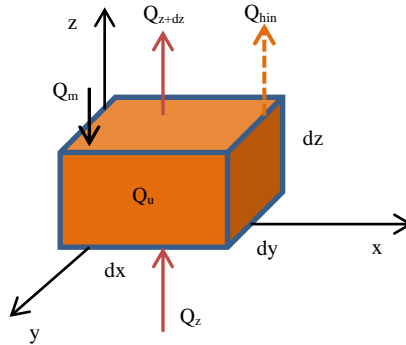


nhệt giữa bề mặt vật liệu và TNS bằng bức xạ dòng nhiệt từ nguồn bức xạ hồng ngoại truyền đến VLS được VLS hấp thụ trong toàn bộ thể tích.

Dựa trên định luật bảo toàn năng lượng ta có phương trình cân bằng nhiệt cho phân tử vô cùng nhỏ của vật liệu sấy (hình 3.5) xét trên phương z được viết như sau:

$$\sum E_g = \sum E_{in} - \sum E_{out} \quad (3.5)$$

$$Q_u = Q_z + Q_m + Q_{inf} - Q_{z+dz} \quad (3.6)$$



**Hình 3.5.** Cân bằng nhiệt trong một phần tử vô cùng nhỏ

Trong đó:

+  $Q_z$  và  $Q_{z+dz}$  là nhiệt lượng vào và ra của phân tử vô cùng nhỏ tại vị trí  $z$  và  $z+dz$ , theo định luật Fourier được tính như sau:

$$Q_z = -k_p \frac{\partial T}{\partial z} dy dx \quad (3.7)$$

$$Q_{z+dz} = Q_z + dQ_z = \left[ -k_p \frac{\partial T}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left( -k_p \frac{\partial T}{\partial z} \right) dz \right] dy dx \quad (3.8)$$

+  $Q_m$  là nhiệt lượng cần thiết cấp cho ẩm biến đổi pha từ lỏng thành hơi trong VLS.

Nhiều nghiên cứu hiện tượng TNTA trong QTS thường không xét đến ảnh hưởng của độ ẩm đến hiện tượng dẫn nhiệt. Tuy nhiên, trong QTS, mục đích chính là cấp nhiệt để ẩm trong vật liệu biến đổi pha từ lỏng thành hơi và tạo ra dòng khuếch tán ẩm từ trong lòng VLS ra bề mặt biên và tại biên sẽ xảy ra quá trình trao đổi nhiệt - ẩm đối lưu giữa các phân tử thuộc biên và TNS.

Trong phương trình truyền nhiệt một số tác giả đã xét đến hiện tượng khuếch tán ẩm ảnh hưởng đến trường nhiệt độ, kết quả cho thấy mô hình toán khi xét đến hiện tượng này có độ chính xác tốt hơn [19]

Trong nghiên cứu này, VLS là gỗ Căm xe có độ ẩm ban đầu khoảng 40% nên ảnh hưởng của dòng ẩm đến hiện tượng dẫn nhiệt cần được xem xét, do đó trong phương trình truyền nhiệt nghiên cứu xét đến hiện tượng khuếch tán ẩm ảnh hưởng đến trường nhiệt độ thông qua nhiệt lượng cần thiết cấp cho ẩm biến đổi pha từ lỏng thành hơi trong VLS và  $Q_m$  được tính theo biểu thức (3.25).

$$Q_m = D\rho_{wodyr}C_p \frac{\partial W}{\partial z} \frac{\partial T}{\partial z} dx dy dz \quad (3.9)$$

Trong phương trình (3.9) có  $D$  (kJ/kg),  $\rho_{wodyr}$  (kg/m<sup>3</sup>),  $W$  (kg ẩm/kg VLK) lần lượt là hệ số khuếch tán ẩm, khối lượng riêng của vật liệu khô, nhiệt dung riêng của vật liệu sấy và ẩm độ của vật liệu.

+  $Q_{hin}$  là năng lượng cung cấp cho quá trình hóa hơi gọi là ẩn nhiệt hóa hơi

$$Q_{hin} = -m_v \Delta h dx dy dz \quad (3.10)$$

+  $Q_u$  là độ biến thiên nội năng trong phân tử sau khoảng thời gian  $dt$  và được tính theo công thức.

$$Q_u = C_p \rho_{wo} \frac{\partial T}{\partial t} dx dy dz \quad (3.11)$$

Thay thế các phương trình từ (3.7) ÷ (3.11) vào (3.6), ta có phương trình truyền nhiệt được viết như sau.

$$C_p \rho_{wo} \frac{\partial T}{\partial t} dx dy dz = -k_p \frac{\partial T}{\partial z} dy dx + D \rho_{wodyr} C_p \frac{\partial W}{\partial z} \frac{\partial T}{\partial z} dx dy dz - m_v \Delta h dx dy dz - \left[ -k_p \frac{\partial T}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left( -k_p \frac{\partial T}{\partial z} \right) dz \right] dy dx \quad (3.12)$$

Rút gọn phương trình (3.12) ta được:

$$C_p \rho_{wo} \frac{\partial T}{\partial t} = k_p \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + D \rho_{wodyr} C_p \frac{\partial W}{\partial z} \frac{\partial T}{\partial z} - m_v \Delta h \quad (3.13)$$

Tổng hợp trên 3 phương trình x,y,z phương trình (3.13) ta được:

$$\rho_{wo} C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( k_l \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k_r \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k_r \frac{\partial T}{\partial z} \right) + D \rho_{wodyr} C_{wa} \left( \frac{\partial W}{\partial z} \frac{\partial T}{\partial z} + \frac{\partial W}{\partial y} \frac{\partial T}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial x} \frac{\partial T}{\partial x} \right) - m_v \Delta h \quad (3.14)$$

### Thiết lập phương trình truyền ẩm

Theo A.V LuiKov thì gradient nhiệt độ sẽ gây nên sự khuếch tán ẩm trong vật thể [23], [79]. Tuy nhiên, với VLS là thanh gỗ Căm xe, đây là gỗ chứa nhiều dầu nhựa trong các ống mạch, gây khó khăn quá trình thoát ẩm trong quá trình sấy nhiệt độ cao, khi dầu nhựa chảy ra bít các đường thoát ẩm, khi sấy chân không ở nhiệt độ thấp để đảm bảo quá trình thoát ẩm thuận lợi, hạn chế sản sinh khuyết tật co rút, cong vênh gỗ. Nghiên cứu sấy trên một số mức nhiệt độ và lựa chọn nhiệt độ sấy thực nghiệm là 50°C để kiểm chứng. Các nghiên cứu của Erriguible, Bernada, Couture, Roques [44], [45], Lili Zhao, Zhijun Zhang, Shiwei Zhang, Wenhui Zhang [72], Yan Yang, Jianxiong Lu, Chunlei Dong, Tianyi Zhan, Jinghui Jiang, Bei Luo [109],

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial W}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( D \frac{\partial W}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( D \frac{\partial W}{\partial z} \right) - \frac{m_v}{\rho_{wodyr}} \quad (3.15)$$

### Điều kiện biên truyền nhiệt

Quá trình trao đổi nhiệt tại bề mặt của VLS theo phương z bao gồm các quá trình dẫn nhiệt, trao đổi nhiệt đối lưu và bức xạ giữa các phân tử bề mặt và TNS,. Áp dụng phương trình bảo toàn năng lượng tại mặt biên của VLS, ta có phương trình (3.16 – 3.19).

Trên lớp mặt

$$\begin{aligned} -\left(k_r \frac{\partial T}{\partial z}\right)_{z=H} &= h_R(T_R - T_s)_{z=H} + h(T_R - T_s)_{z=H} \\ &= \varepsilon\sigma_0(T_s + T_R)(T_s^2 + T_R^2)(T_R - T_s) + h(T_R - T_s) \\ &= \varepsilon\sigma_0(T_R^4 - T_s^4) + h(T_R - T_s) \end{aligned} \quad (3.16)$$

$$-\left(k_r \frac{\partial T}{\partial y}\right)_{y=B} = h(T_R - T_s) \quad (3.17)$$

$$-\left(k_l \frac{\partial T}{\partial x}\right)_{x=L} = h(T_R - T_s) \quad (3.18)$$

Lớp trung tâm

$$\left(k_l \frac{\partial T}{\partial x}\right) = 0 \quad \left(k_r \frac{\partial T}{\partial y}\right) = 0 \quad \left(k_r \frac{\partial T}{\partial z}\right) = 0 \quad (3.19)$$

### Điều kiện biên truyền âm

Quá trình trao đổi chất tại bề mặt của VLS theo phương z bao gồm các quá trình trao đổi chất giữa VLS và môi trường. Áp dụng bảo toàn âm tại bề mặt của VLS ta có phương trình (3.20, 3.21)

$$D\left(\frac{\partial W}{\partial z}\right) = h_m W_s \quad D\left(\frac{\partial W}{\partial y}\right) = h_m W_s \quad D\left(\frac{\partial W}{\partial x}\right) = h_m W_s \quad (3.20)$$

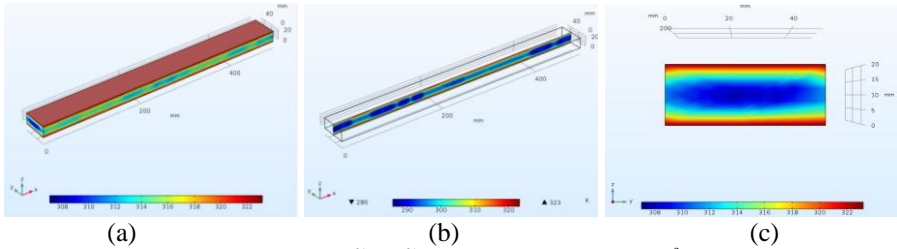
$$D\left(\frac{\partial W}{\partial z}\right) = 0 \quad D\left(\frac{\partial W}{\partial y}\right) = 0 \quad D\left(\frac{\partial W}{\partial x}\right) = 0 \quad (3.21)$$

## 3.7 Giải mô hình toán quá trình truyền nhiệt và truyền âm trong sậy chân không gỗ Cẩm xe

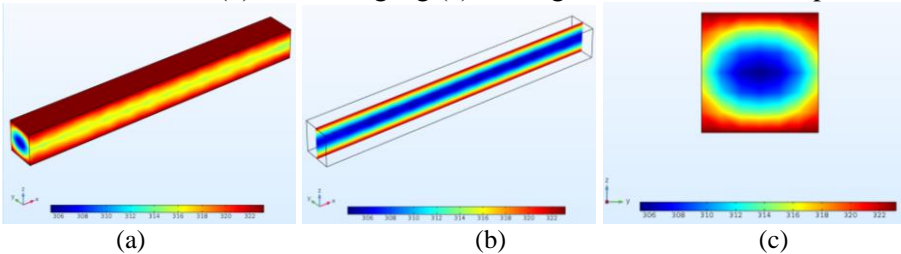
Để giải phương trình truyền nhiệt không ổn định theo thời gian bằng các phương pháp giải tích, kỹ thuật tách biến, các hàm đối biến... đã sử dụng. Tuy nhiên trong thực tế có thể gặp các bài toán nhiệt trên các vật thể có cấu trúc đa dạng và các điều kiện biên phức tạp... vì vậy điều này dẫn đến việc phát triển mô hình phương pháp số ra đời để giải các bài toán truyền nhiệt thực tế và truyền nhiệt trong sậy gỗ là một điển hình trong thí nghiệm nghiên cứu.

Áp dụng phương pháp Galerkin [24], [25] nhiệt độ và âm độ được rời rạc theo không gian và thời gian. Ứng dụng phần mềm Comsol mô phỏng kết quả truyền nhiệt và âm trong quá trình sậy chân không gỗ Cẩm xe.

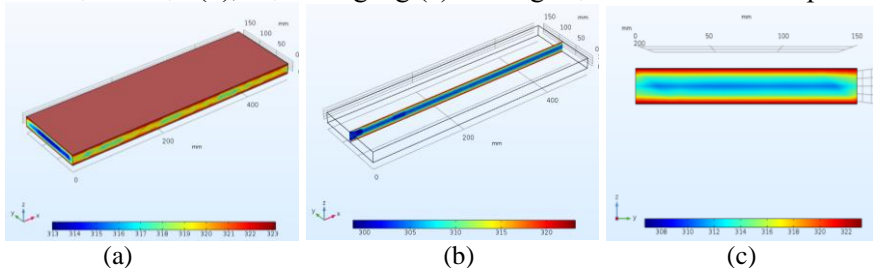
Đề tài tiến hành giải hệ phương trình toán truyền nhiệt và truyền âm bằng phương pháp số. Từ kết quả đạt được xác định sự phân bố nhiệt độ, âm độ trong quá trình sấy gỗ Cẩm xe bằng phương pháp chân không. Kết quả thể hiện qua mô phỏng và đồ thị.



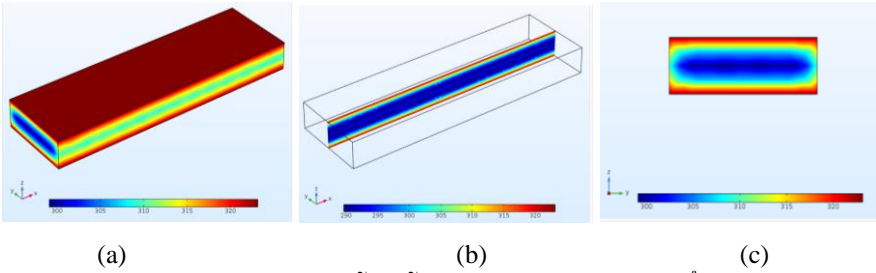
**Hình 3.6.** Mô phỏng nhiệt độ mẫu gỗ 20 x 50 x 500 mm thể hiện toàn thanh (a) và mặt cắt dọc (b), mặt cắt ngang (c) thanh gỗ tại thời điểm  $t = 5$  phút



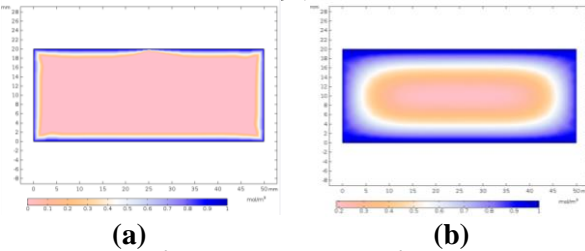
**Hình 3.7.** Mô phỏng nhiệt độ mẫu gỗ 50 x 50 x 500 mm thể hiện toàn thanh (a) và mặt cắt dọc (b), mặt cắt ngang (c) thanh gỗ tại thời điểm  $t = 15$  phút



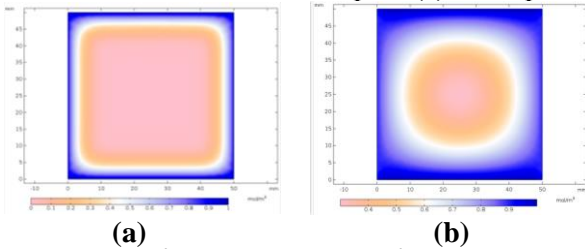
**Hình 3.8.** Mô phỏng nhiệt độ mẫu gỗ 20 x 150 x 500 mm thể hiện toàn thanh (a) và mặt cắt dọc (b), mặt cắt ngang (c) thanh gỗ tại thời điểm  $t = 5$  phút



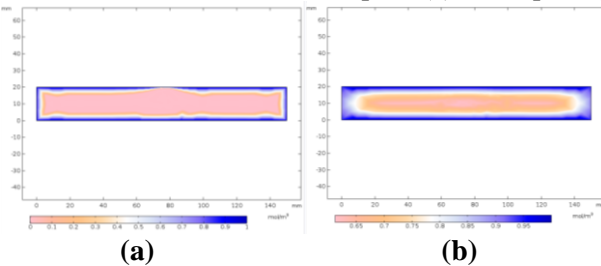
**Hình 3.9.** Mô phỏng nhiệt độ mẫu gỗ 50 x 150 x 500 mm thể hiện toàn thanh (a) và mặt cắt dọc (b), mặt cắt ngang (c) thanh gỗ tại thời điểm  $t = 15$  phút



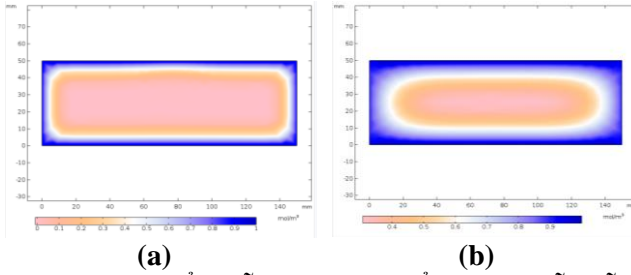
**Hình 3.10.** Mô phỏng biểu diễn lượng thoát ẩm trong mẫu gỗ kích thước 20 x 50 x 500 mm thời điểm 10 phút (a) và 50 phút (b)



**Hình 3.11.** Mô phỏng biểu diễn lượng thoát ẩm trong mẫu gỗ kích thước 50 x 50 x 500 mm thời điểm 20 phút (a) và 60 phút (b)



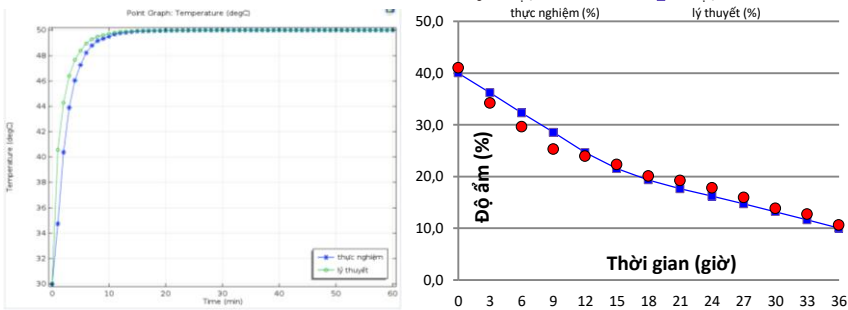
**Hình 3.12.** Mô phỏng biểu diễn lượng thoát ẩm trong mẫu gỗ kích thước 20 x 150 x 500 mm thời điểm 30 phút (a) và 50 phút (b)



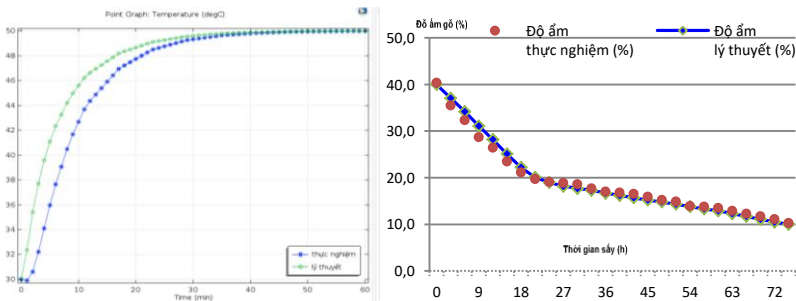
**Hình 3.13.** Mô phỏng biểu diễn lượng thoát ẩm trong mẫu gỗ kích thước 50 x 150 x 500 mm thời điểm 35 phút (a) và 80 phút (b)

### 3.8 Kết quả thực nghiệm kiểm chứng lý thuyết quá trình truyền nhiệt và truyền ẩm sấy chân không gỗ Cẩm xe

Để kiểm chứng sự phù hợp và tính chính xác của mô hình toán đã thiết lập cho máy sấy chân không gỗ Cẩm xe, kết quả mô phỏng mô hình toán được so sánh với kết quả sấy thực nghiệm sấy chân không gỗ Cẩm xe.



**Hình 3.14.** Đường cong nhiệt độ và đường giảm ẩm sấy chân không thanh gỗ Cẩm xe 20 x 50 x 500 mm



**Hình 3.15.** Đường cong nhiệt độ và đường giảm ẩm sấy chân không thanh gỗ Cẩm xe 50 x 50 x 500 mm.

Kết quả kiểm chứng lý thuyết bằng thực nghiệm cho thấy sai lệch giữa hai mô hình < 5% cho truyền nhiệt và truyền ẩm, sự tương thích khá lớn lý thuyết và

thực nghiệm. Điều này cho thấy mô hình lý thuyết được xây dựng rất gần với thực nghiệm, ứng dụng kết quả để dự đoán quá trình truyền nhiệt và âm trong quá trình sấy gỗ Căm xe là rất khả thi và có ý nghĩa quan trọng, nhằm góp phần là cơ sở khoa học vững chắc để áp dụng trên thực tiễn và sản xuất, đặc biệt là trong công nghệ sấy chân không gỗ.

### 3.9 Xác định các thông số công nghệ sấy chân không gỗ Căm xe

#### 3.9.1 Kích thước gỗ 20 x 50 x 500 mm $Y_{sum25}$

$Y_{25tg2}$  và  $Y_{25kt2} \rightarrow \min$ . Các điều kiện ràng buộc:  $-1,414 \leq x_i \leq +1,414$ ;  $i = 1 \div 2$ .

$$Y_{25tg2} = 38 - 13,0925.X_1 - 10,5622.X_2 + 5,75.X_1.X_2 + 4.X_1^2 + 3,75.X_2^2$$

$$Y_{25kt2} = 4,214 + 2,7818.X_1 + 2,29485.X_2 + 1,6125.X_1.X_2 + 1,00238.X_1^2 - 0,827375.X_2^2$$

**Bảng 3.1.** Giá trị tối ưu hàm đa mục tiêu  $Y_{sum25}$

STT	Thông số đầu vào	Giá trị	Thông số đầu ra	Giá trị tối ưu
1	$X_1$	1,3907	58,9 <sup>0</sup> C	$Y_{25tg2}$ 27,09 (giờ)
2	$X_2$	0,3421	634,21 W/m <sup>2</sup>	$Y_{25kt2}$ 11,67 (%)

#### 3.9.2 Kích thước gỗ 50 x 50 x 500 mm $Y_{sum55}$

$Y_{55tg2}$  và  $Y_{55kt2} \rightarrow \min$ . Các điều kiện ràng buộc:  $-1,414 \leq x_i \leq +1,414$ ;  $i = 1 \div 2$ .

$$Y_{55tg2} = 74,8 - 13,7175.X_1 - 10,2301.X_2 + 6.X_1.X_2 + 4,5375.X_1^2 + 4,2875.X_2^2$$

$$Y_{55kt2} = 5,102 + 2,63932.X_1 + 2,083.X_2 + 1,6125.X_1.X_2 + 1,014.X_1^2 + 0,7365.X_2^2$$

**Bảng 3.2.** Giá trị tối ưu hàm đa mục tiêu  $Y_{sum55}$

STT	Thông số đầu vào	Giá trị	Thông số đầu ra	Giá trị tối ưu
1	$X_1$	1,3450	58,7 <sup>0</sup> C	$Y_{55tg2}$ 64,29(giờ)
2	$X_2$	0,2519	625,2 W/m <sup>2</sup>	$Y_{55kt2}$ 11,60 (%)

#### 3.9.3 Kích thước gỗ 20 x 150 x 500 mm $Y_{sum215}$

$Y_{215tg2}$  và  $Y_{215kt2} \rightarrow \min$ . Các điều kiện ràng buộc:  $-1,414 \leq x_i \leq +1,414$ ;  $i = 1 \div 2$ .

$$Y_{215tg2} = 51 - 13,2175.X_1 - 10,6872.X_2 + 5,5.X_1.X_2 + 3,9375.X_1^2 + 3,6875.X_2^2$$

$$Y_{215kt2} = 5,418 + 2,79271.X_1 + 2,29869.X_2 + 1,6125.X_1.X_2 + 1,02538.X_1^2 - 0,815375.X_2^2$$

**Bảng 3.3.** Giá trị tối ưu hàm đa mục tiêu  $Y_{sum215}$

STT	Thông số đầu vào	Giá trị	Thông số đầu ra	Giá trị tối ưu
1	$X_1$	1,3907	58,9 <sup>0</sup> C	$Y_{215tg2}$ 39,61 (giờ)

2	$X_2$	0,4120	641,2 W/m <sup>2</sup>	$Y_{215kt2}$	13,30 (%)
---	-------	--------	------------------------	--------------	-----------

### 3.9.4 Kích thước 50 x 150 x 500 mm $Y_{sum515}$

$Y_{515tg2}$  và  $Y_{515kt2} \rightarrow \min$ . Các điều kiện ràng buộc:  $-1,414 \leq x_i \leq +1,414$ ;  $i = 1 \div 2$ .

$$Y_{515tg2} = 126,6 - 13,7175.X_1 - 10,2301.X_2 + 6.X_1.X_2 + 4,6375.X_1^2 + 4,3875.X_2^2$$

$$Y_{515kt2} = 8,406 + 2,63932.X_1 + 2,083.X_2 + 1,6125.X_1.X_2 + 1,012.X_1^2 - 0,7345.X_2^2$$

**Bảng 3.4.** Giá trị tối ưu hàm đa mục tiêu  $Y_{sum515}$

STT	Thông số đầu vào	Giá trị	Thông số đầu ra	Giá trị tối ưu
1	$X_1$	1,2987	58,5 °C	$Y_{515tg2}$
2	$X_2$	0,2778	627,8 W/m <sup>2</sup>	$Y_{515kt2}$

### 3.10 Các bước quy trình công nghệ sấy chân không gỗ Cắm xe

Dựa trên kết quả thực nghiệm cho thấy những nhân tố ảnh hưởng trực tiếp đến quá trình sấy chân không gỗ Cắm xe. Căn cứ vào kết quả đạt được nghiên cứu quy trình sấy chân không gỗ Cắm xe như sau.

**Bảng 3.5.** Giá trị thông số công nghệ sấy phù hợp cho từng dạng kích thước

Kích thước (mm)	Nhiệt độ (°C)	Áp suất chân không (bar)	Cường độ bức xạ hồng ngoại $P_{hn}(W/m^2)$
A: 20 x 50 x 500	58,9	0,2	634,2
B: 50 x 50 x 500	58,7	0,2	625,2
C: 20 x 150 x 500	58,9	0,2	641,2
D: 50 x 150 x 500	58,5	0,2	627,8

Bước 1: Chuẩn bị nguyên liệu gỗ

Bước 2: Xếp gỗ vào buồng sấy theo từng lớp, so le với nhau

Bước 3: Đóng cửa buồng sấy, kiểm tra hệ thống máy sấy.

Bước 4: Cài đặt chế độ sấy với các thông số nhiệt độ sấy (T<sup>0</sup>C), cường độ bức xạ hồng ngoại  $P_{hn}$  W/m<sup>2</sup>, áp suất tương ứng nhiệt độ sấy (bar)

Bước 5: Khởi động máy sấy

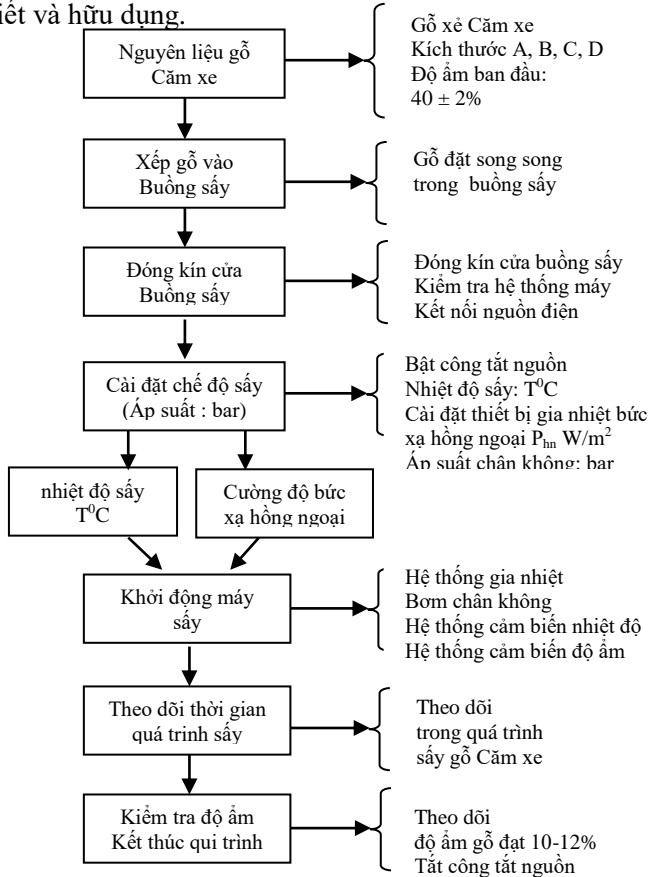
Bước 6: Theo dõi quá trình sấy liên tục đến khi gỗ đạt độ ẩm  $10 \pm 1\%$

Bước 7: Kiểm tra độ ẩm gỗ, đạt  $10 \pm 1\%$ , kết thúc quy trình sấy

Nhận xét: phương pháp sấy chân không có nhiều hữu ích về mặt rút ngắn thời gian sấy và giảm tỷ lệ khuyết tật gỗ sau sấy so với phương pháp sấy đối lưu bằng hơi nước. Điều này mang lại lợi ích trong công nghệ sấy gỗ, gia công và chế biến gỗ, nâng cao giá trị nguyên liệu gỗ, góp phần mang lại hiệu quả trong quá trình sản xuất sản phẩm gỗ cho các doanh nghiệp. Hiện nay, với công nghệ



và kỹ thuật ngày càng hiện đại, việc ứng dụng kỹ thuật sấy gỗ chân không là vô cùng rất cần thiết và hữu dụng.



**Hình 3.16.** Sơ đồ các bước qui trình công nghệ sấy chân không gỗ Cắm xe

## KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

### *Kết luận*

Từ những kết quả nghiên cứu đề tài đạt được và rút ra một số kết luận chính như sau:

- Thực nghiệm xác định các thông số nhiệt vật lý của gỗ Cắm xe: độ ẩm bão hòa thớ gỗ, độ ẩm thăng bằng (cân bằng), độ ẩm ban đầu, khối lượng riêng, nhiệt dung riêng và hệ số dẫn nhiệt đều phụ thuộc vào độ ẩm của gỗ và sự biến thiên độ ẩm sẽ ảnh hưởng đến giá trị của các thông số, mối quan hệ thể hiện qua phương trình tương quan
- Xây dựng mô hình vật lý quá trình sấy gỗ chân không kết hợp hồng ngoại qua thí nghiệm, mô hình này mô tả cụ thể chi tiết diễn biến thực

hiện quá trình sấy từ mô hình này là cơ sở xác định mô hình toán quá trình truyền nhiệt và truyền ẩm trong sấy chân không gỗ Căm xe.

- Mô phỏng diễn biến quá trình truyền nhiệt và truyền ẩm bằng phương pháp số, sử dụng phần mềm Comsol Multiphysics và giải mô hình toán, thông qua đó giải thích phân bố nhiệt độ và ẩm độ. Các kết quả từ mô phỏng góp phần dự đoán diễn biến quá trình sấy
- Kiểm chứng mối quan hệ giữa lý thuyết và thực nghiệm thông qua thực nghiệm kiểm chứng quá trình truyền nhiệt sấy gỗ Căm xe kích thước 20 x 50 x 500 mm, 50 x 50 x 500 mm với kết quả như sau cho thấy lý thuyết và thực nghiệm có mối quan hệ tương đồng nhau trong quá trình truyền nhiệt, truyền ẩm.
- Mối quan hệ giữa các thông số công nghệ đầu vào nhiệt độ sấy ( $X_1$ ), cường độ bức xạ hồng ngoại ( $X_2$ ) với các thông số công nghệ đầu ra thời gian sấy ( $Y_1$ ) và tỷ lệ khuyết tật ( $Y_2$ ) trong quá trình sấy chân không hồng ngoại gỗ Căm xe thể hiện qua các phương trình tương quan bậc 2.
- Các thông số công nghệ phù hợp tiến hành giải các phương trình tương quan thông qua bài toán tối ưu các thông số công nghệ một mục tiêu và đa mục tiêu cho thông số đầu vào nhiệt độ sấy ( $X_1$ ), cường độ bức xạ hồng ngoại ( $X_2$ ) với các thông số công nghệ đầu ra thời gian sấy ( $Y_1$ ) và tỷ lệ khuyết tật ( $Y_2$ ) trong quá trình sấy chân không gỗ Căm xe. Các thông số tối ưu sẽ được chọn là thông số phù hợp với từng qui cách gỗ Căm xe khác nhau
- Xây dựng các bước công nghệ sấy gỗ Căm xe bằng phương pháp chân không hồng ngoại dựa trên kết quả các thông số phù hợp cho các qui cách kích thước khác nhau của gỗ Căm xe.

### **Kiến nghị**

Nghiên cứu công nghệ sấy gỗ Căm xe (*Xylia Xyclocarpa*) bằng phương pháp sấy chân không đã đạt mục tiêu đã đề ra, kết quả phù hợp về và nội dung nghiên cứu đạt được. Về khía cạnh khoa học, luận án tập trung nghiên cứu diễn biến mô tả quá trình truyền nhiệt, truyền ẩm trong quá trình sấy chân không kết hợp hồng ngoại là cơ sở khoa học cho quá trình nghiên cứu thực nghiệm, đặc biệt việc xây dựng mô hình toán góp phần dự đoán phân bố nhiệt độ và ẩm độ diễn ra quá trình sấy gỗ Căm xe. Bên cạnh đó, xác định các thông số công nghệ sấy phù hợp nhằm đề xuất các bước trong qui trình sấy chân không hồng ngoại gỗ Căm xe là cơ sở cho việc ứng dụng sấy gỗ chân không vào thực tế sản xuất. Mặc dù kết quả đạt được trên máy sấy qui mô dạng thí nghiệm cho một số dạng kích thước gỗ Căm xe, kết quả ghi nhận được là cơ sở khoa học cho việc áp dụng qui trình sấy, là tiền đề cho mô hình sấy gỗ Căm xe trong sản xuất công nghiệp.

## DANH MỤC CÔNG TRÌNH NGHIÊN CỨU CỦA TÁC GIẢ

1. Bùi Thị Thiên Kim, 2015. So sánh quá trình sấy gỗ Căm xe (*Xylia xylocarpa*) bằng phương pháp sấy đối lưu và phương pháp chân không. Kỷ yếu hội nghị khoa học và công nghệ toàn quốc về cơ khí - Lần thứ IV, ISBN: 978-604-73-3690-6, trang 823 – 831.
2. Bui Thi Thien Kim, Hoang Thi Thanh Huong, Ho Xuan Cac, 2019. Analysis of transient heat conduction in Pyinkado (*Xylia xylocarpa*), *AGU International Journal of Sciences – 2019*, ISSN: 0866-8086, vol 7, no 4, 91 – 99.
3. Bùi Thị Thiên Kim, Hoàng Thị Thanh Hương, Lê Anh Đức, 2022. Nghiên cứu thực nghiệm xác định các thông số công nghệ sấy gỗ Căm xe (*Xylia xylocarpa*) trên máy sấy chân không hồng ngoại (Experimental research for determination of main parameters of pyinkado (*Xylia xylocarpa*) on vacuum infrared drier), *Tạp chí Khoa học Đại học Huế: Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn* :pISSN: 2588-1191; eISSN: 2615-9708, Tập 131, Số 3D, 2022.
4. Bùi Thị Thiên Kim, Hoàng Thị Thanh Hương, Lê Anh Đức, 2022. Nghiên cứu xác định một số tính chất nhiệt chủ yếu của gỗ Căm xe (*Xylia xylocarpa*), *Tạp chí nông nghiệp và phát triển nông thôn*, ISSN: 1859 – 4581.
5. Bui Thi Thien Kim, Le Anh Duc, Hoang Thi Thanh Huong, 2022. Research on optimizing the drying process of Pyinkado (*Xylia Xylocarpa*) by vacuum infrared radiation drying method, *The 4<sup>th</sup> International Conference on Sustainable Agriculture and Environment*.