

## APPLYING ANSYS FLUENT SOFTWARE IN IMPROVEMENT OF THE TEMPERATURE FIELD OF LONGAN DRYER

Do Huy Diep<sup>1</sup>, Nguyen Van Binh<sup>2</sup>, Le Thanh Trung<sup>3</sup>, Nguyen Hoang Quan<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>University of Engineering and Technology - Vietnam National University, Hanoi

<sup>2</sup>Samsung Display Vietnam Co., Ltd, Yen Phong, Bac Ninh

<sup>3</sup>Hanoi Financial and Banking University

ARTICLE INFO		ABSTRACT
<b>Received:</b>	<b>17/4/2024</b>	Today, manual longan drying kilns are still commonly used in longan growing provinces such as Hung Yen and Son La. These furnaces have low efficiency due to the inappropriate layout of the heat exchanger and the use of poor insulation materials. Temperature, pressure, and speed of the drying agent greatly affect the quality of the dried product. This article will introduce the method of simulating the thermodynamic gas field of a 36 m <sup>3</sup> drying oven of a household-scale production unit in Song Ma district, Son La province, based on Ansys Fluent software. The obtained results indicate an uneven temperature distribution in the drying oven. Based on the results of simulation calculations, research has been done to improve the oven configuration to improve the oven's performance and the results show that the temperature field in the oven is improved, thereby improving product quality.
<b>Revised:</b>	<b>17/6/2024</b>	
<b>Published:</b>	<b>17/6/2024</b>	
<b>KEYWORDS</b>		
Drying system		
Ansys Fluent		
Heat Transfer		
Longan drying kilns		
Thermal performance		

## ỨNG DỤNG PHẦN MỀM ANSYS FLUENT TRONG CẢI THIỆN TRƯỜNG NHIỆT ĐỘ CỦA LÒ SẤY LONG NHÃN

Đỗ Huy Điệp<sup>1</sup>, Nguyễn Văn Bình<sup>2</sup>, Lê Thành Trung<sup>3</sup>, Nguyễn Hoàng Quân<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Công nghệ - Đại học Quốc gia, Hà Nội

<sup>2</sup>Công ty Samsung Display Việt Nam SDV, KCN Yên Phong, Bắc Ninh

<sup>3</sup>Trường Đại học Tài chính Ngân hàng

THÔNG TIN BÀI BÁO		TÓM TẮT
<b>Ngày nhận bài:</b>	<b>17/4/2024</b>	Ngày nay, các lò sấy long nhãn thủ công vẫn được sử dụng phổ biến tại các tỉnh trồng nhãn như Hưng Yên, Sơn La. Các lò này có hiệu suất thấp do cách bố trí thiết bị trao đổi nhiệt không hợp lý, sử dụng các vật liệu cách nhiệt kém. Nhiệt độ, áp suất, vận tốc tác nhân sấy ảnh hưởng rất nhiều đến chất lượng sản phẩm sấy. Bài báo này sẽ giới thiệu phương pháp mô phỏng trường khí nhiệt động lực học của lò sấy 36 m <sup>3</sup> của một đơn vị sản xuất quy mô hộ gia đình tại huyện Sông Mã, tỉnh Sơn La, dựa trên phần mềm Ansys Fluent. Các kết quả thu được chỉ ra sự phân bố không đồng đều nhiệt độ trong lò sấy. Dựa trên kết quả tính toán mô phỏng, nghiên cứu đề xuất cải tiến cấu hình lò sấy để nâng cao hiệu suất của lò và kết quả cho thấy trường nhiệt độ trong lò được cải thiện từ đó chất lượng sản phẩm được nâng cao.
<b>Ngày hoàn thiện:</b>	<b>17/6/2024</b>	
<b>Ngày đăng:</b>	<b>17/6/2024</b>	
<b>TỪ KHÓA</b>		
Hệ thống sấy		
Ansys Fluent		
Truyền nhiệt		
Lò sấy Long nhãn		
Hiệu suất nhiệt		

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.10150>

\* Corresponding author. Email: nhquan@vnu.edu.vn

## 1. Mở đầu

Nhãn là một trong mười loại trái cây phổ biến ở Việt Nam, cùi nhãn có màu trắng ngà mọng nước, có vị ngọt như đường phèn và mùi thơm đặc trưng, hạt đen bóng với vòng tròn trắng ở cuống nhìn giống như mắt rồng [1] – [3]. Từ xưa, sản phẩm từ nhãn của Việt Nam đã là sản phẩm được yêu thích của các triều đại Trung Quốc. Năm 2023, Việt Nam đã thu được hơn 14 triệu USD từ xuất khẩu các sản phẩm từ nhãn, tăng gần gấp 2,5 lần so với năm 2022 [4]. Nhãn trở thành trái cây xuất khẩu chủ lực đứng sau trái Sầu riêng (Durian fruit).

Để có thể bảo quản trong thời gian dài mà vẫn giữ được vị ngọt ngon của phần thịt quả sau khi tách khỏi vỏ và hạt, người ta đem cùi nhãn sấy khô tạo thành long nhãn. Về ngoài thường mang màu vàng đậm hoặc nâu sẫm. Long nhãn sau sấy khô, không dính tay nhưng dẻo mềm và có vị ngọt, hương thơm nhẹ nhàng rất đặc trưng. Không chỉ được ưa chuộng sử dụng trong đời sống hàng ngày, long nhãn còn chứa rất nhiều dưỡng chất và là một vị thuốc có nguồn gốc từ tự nhiên giúp bảo vệ sức khỏe, chữa trị nhiều bệnh khác nhau [5]. Long nhãn tùy vào nhiệt độ sấy sẽ có độ mỏng dày không đều nhau. Một số nghiên cứu về ứng xử quá trình sấy và cải thiện hiệu suất sấy đã được thực hiện [6] – [10].

Ở miền Bắc Việt Nam, Hưng Yên và Sơn La là 2 tỉnh có sản lượng nhãn hàng năm lớn. Trong đó, tỉnh Sơn La với đặc thù công nghiệp chế biến chưa phát triển nên việc sấy nhãn mang tính chất thô sơ và thủ công. Long nhãn có thể thực hiện bằng hình thức phơi khô dưới ánh nắng mặt trời, hoặc sấy nhiệt tại các lò sấy thủ công (Hình 1a). Lò sấy có quy trình vận hành đơn giản sử dụng nguyên lý truyền nhiệt cưỡng bức. Việc điều chỉnh nhiệt độ hay tốc độ nâng nhiệt độ trong lò tương đối đơn giản bằng cách thêm củi (Hình 1b).



a. Buồng sấy



b. Cửa tiếp nhiên liệu đốt

**Hình 1.** Lò sấy Long Nhãn (HTX Hoa Mùì) huyện Sông Mã, tỉnh Sơn La: a) buồng sấy, b) cửa tiếp nhiên liệu đốt

Tuy nhiên, qua quá trình đánh giá chất lượng mề sấy tại một cơ sở sản xuất hợp tác xã Hoa Mùì tại huyện Sông Mã, tỉnh Sơn La cho thấy nhiệt độ trong hệ thống phân bố chưa đồng đều dẫn đến sản phẩm chưa đạt đến chất lượng như mong muốn. Do đó, việc xác định trường nhiệt độ của lò nung cần được nghiên cứu để nâng cao chất lượng sản phẩm. Với những yêu cầu thực tiễn trên, trong báo cáo này, nghiên cứu sẽ thực hiện tính toán mô phỏng trường nhiệt độ của lò sấy. Các kết quả mô phỏng 3D trường phân bố nhiệt độ lò nung trong hai trường hợp: lò sấy hiện tại (SM) và lò sấy với phương án cải tiến (SMU) cho thấy với phương án cải tiến trường nhiệt độ phân bố đồng đều hơn từ đó chất lượng sản phẩm được nâng cao.

## 2. Cơ sở lý thuyết

Quá trình sấy là quá trình tách ẩm (chủ yếu là nước và hơi nước) khỏi vật liệu sấy để thải vào môi trường. Ẩm có mặt trong vật liệu sấy nhận được năng lượng theo một phương thức nào đó tách khỏi vật liệu sấy và dịch chuyển từ trong lòng vật thể ra bề mặt, từ bề mặt vào môi trường xung quanh [11]. Lò sấy long nhãn tại cơ sở thực tế sử dụng theo hệ thống sấy đối lưu cưỡng bức. Khi gia nhiệt cho không khí, nhiệt độ không khí tăng lên, độ ẩm tương đối giảm còn độ chứa hơi không đổi. Khi không khí tiếp xúc với vật liệu sấy sẽ truyền nhiệt cho vật liệu sấy để ẩm bốc hơi, đồng thời do không khí có độ ẩm tương đối thấp nên chênh lệch phần áp suất hơi ở bề mặt vật liệu sấy và không khí sẽ đủ lớn làm cho ẩm thoát ra dễ dàng. Chênh lệch nhiệt độ giữa không khí và vật liệu sấy càng lớn tốc độ bốc hơi ẩm càng lớn, thời gian sấy càng nhỏ, vật khô càng nhanh [12]. Để đơn giản hóa mô hình bài toán, nghiên cứu thực hiện tính toán với bộ cấp nhiệt ổn định trong dải nhiệt độ từ 60°C đến 100°C và sử dụng quạt thổi để tạo dòng khí nóng có tốc độ cho trước.

Để mô phỏng quá trình trao đổi nhiệt diễn ra trong lò sấy long nhãn, nghiên cứu căn cứ vào các định luật cơ bản trong cơ học chất lỏng như định luật bảo toàn khối lượng, định luật bảo toàn động lượng và định luật bảo toàn năng lượng [13], [14]. Dựa trên các định luật này, hệ các phương trình vi phân mô tả quá trình khí động học diễn ra trong lò sấy được thiết lập như sau:

Phương trình bảo toàn động lượng:

$$\rho \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} = \rho \vec{g} - \text{grad}(p) + \mu \nabla^2 \vec{u} \quad (1)$$

Phương trình liên tục:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\text{div}(\rho \vec{u}) \quad (2)$$

Phương trình bảo toàn năng lượng:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \nabla^2 T + \frac{q_v}{\rho C_p} - \vec{u} \cdot \text{grad}(T) \quad (3)$$

Trong đó,  $\vec{u}$  là vận tốc dòng chất khí,  $T$  là nhiệt độ chất khí,  $p$  là áp suất dòng khí,  $\rho$  khối lượng riêng,  $\mu$  độ nhớt động học của dòng khí.  $C_p$  là nhiệt dung riêng của dòng khí,  $a$  hệ số dẫn nhiệt độ ( $a = \frac{\lambda}{C_p \rho} [m^2 / s]$ ),  $q_v$  là nguồn nhiệt trong lò.

Trong bài báo này, hệ phương trình trên sẽ được tính toán nhờ phần mềm tính toán số Ansys Fluent.

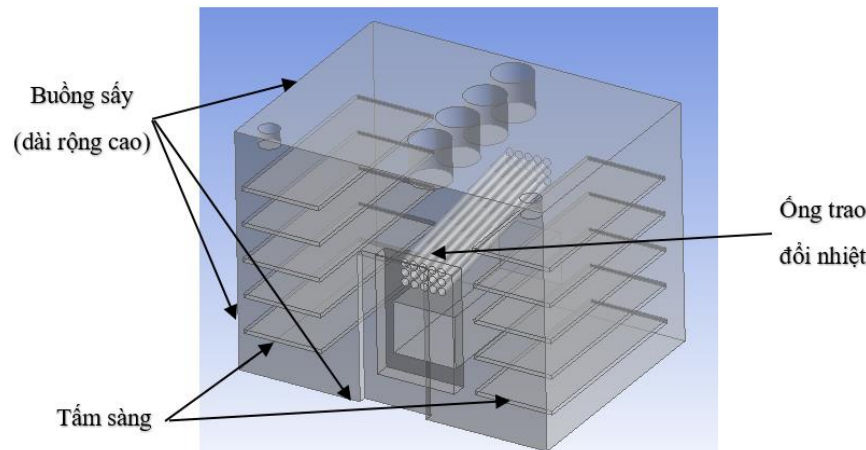
## 3. Thiết lập mô hình mô phỏng và tính toán, phân tích kết quả

### 3.1. Mô hình mô phỏng lò sấy

Trong phần này, mô hình mô phỏng được xây dựng bằng phần mềm NX và tính toán quá trình dẫn nhiệt trong lò sấy long nhãn bằng phần mềm ANSYS Fluent. Bài toán ở đây là bài toán dẫn nhiệt không ổn định (trường nhiệt độ, vận tốc, áp suất thay đổi theo thời gian). Các thông số hình học, cấu tạo của lò dùng để tính toán, mô phỏng được lấy như số liệu ở Bảng 1.

**Bảng 1.** Các đại lượng đặc trưng của mô hình lò sấy

Đại lượng đặc trưng	Giá trị
Kích thước lò sấy [dài (m) × rộng (m) × cao (m)]	4 × 3 × 3
Kích thước tấm sàng [cm]	250 × 160 × 5
Khoảng cách giữa các sàng [cm]	40
Đường kính ống trao đổi nhiệt [mm]	100
Số ống trao đổi nhiệt	15
Thể tích buồng sấy [m <sup>3</sup> ]	36



**Hình 2.** Mô hình mô phỏng lò sấy long nhãn tại huyện Sông Mã, tỉnh Sơn La

Dựa vào khảo sát thực tế lò sấy long nhãn khu vực huyện Sông Mã, tỉnh Sơn La thì trong phần mô hình rồi nghiên cứu này sử dụng mô hình  $k - \epsilon$  với trường hợp tính toán vận tốc bộ phận cấp liệu sử dụng quạt thổi có vận tốc đạt 3 m/s, 5 m/s, 8 m/s, 10 m/s, bộ phận cấp nhiệt có dải nhiệt độ từ  $60^{\circ}\text{C} \div 100^{\circ}\text{C}$ , hệ số dẫn nhiệt của bộ phận truyền tải là  $20 \text{ W/m}^2\text{K}$ , nhiệt độ môi trường của lò sấy là 30 độ C. Các thông số của mô hình (Hình 2) được giới thiệu như trong Bảng 2.

**Bảng 2.** Các thông số của mô hình mô phỏng

Thông số mô hình mô phỏng	Giá trị
Kích thước lò sấy [dài (m) $\times$ rộng (m) $\times$ cao (m)]	$4 \times 3 \times 3$
Số nút phân tử	221172
Số phân tử	1123595
Tốc độ dòng khí nóng buồng sấy [m/s]	3, 5, 8, 10
Dải nhiệt độ của bộ cấp nhiệt [ $^{\circ}\text{C}$ ]	60-100
Hệ số dẫn nhiệt của bộ phận truyền tải [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ]	20
Nhiệt độ môi trường của lò sấy [ $^{\circ}\text{C}$ ]	30

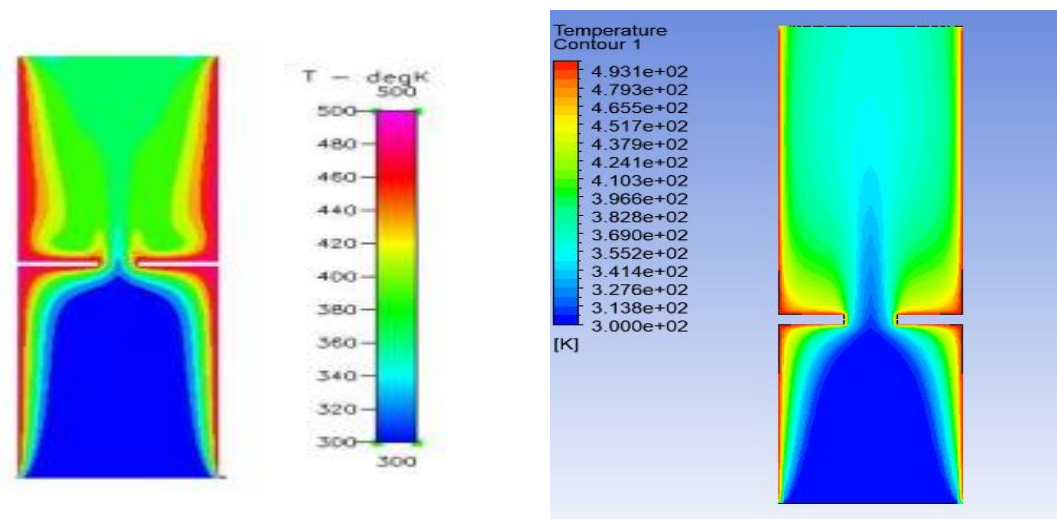
### 3.2. Phân tích và đánh giá trường phân bố nhiệt độ lò sấy

#### 3.2.1. Đánh giá độ tin cậy của phần mềm mô phỏng số

Mô phỏng khí động học bên trong buồng sấy của lò sấy long nhãn là mô phỏng trao đổi nhiệt và ẩm của dòng nhiệt đi qua nhiều vật cản. Đây là mô hình kinh điển và thông dụng được dùng để kiểm chứng các mô hình tính toán số cũng như độ tin cậy của việc thiết lập bài toán CFD trong tính toán mô phỏng dòng chảy qua nhiều vật thể. Để đánh giá độ tin cậy của mô hình nhiệt động học lò sấy, nghiên cứu sẽ dựa trên mô hình cơ bản của trao đổi nhiệt với dòng nhiệt đi qua vật cản là sự đối lưu phát sinh từ các bức tường kênh thẳng hay vách đẳng nhiệt có điều kiện biên nhiệt độ 2 bên vách  $500^{\circ}\text{K}$ , nhiệt độ đầu vào  $300^{\circ}\text{K}$ , vận tốc đầu vào 0,28 m/s trong nghiên cứu của tác giả Osama A. Gaheen [15]. Kết quả tính toán trong 2 trường hợp được thể hiện trong Hình 3.

Các mô phỏng số đã được thực hiện bằng cách sử dụng bộ giải dòng Navier–Stokes. Các mô phỏng được thực hiện trên phần mềm Ansys Fluent sử dụng mô-đun đa vật lý cho hình học, tạo lưới, tính toán, nghiên cứu tham số và xử lý sau.

Theo kết quả tính toán mô phỏng mô hình đối lưu trao đổi nhiệt dòng qua vách đẳng nhiệt được trình bày ở Bảng 3, cho thấy kết quả tính toán của tác giả khi sử dụng ứng dụng Ansys Fluent là tương đồng với kết quả tính toán đã được công bố trước đây. Điều này chứng tỏ việc thiết lập bài toán và xử lý mô hình dựa trên phần mềm Ansys Fluent có thể tin cậy để sử dụng tính toán cho các bài toán trong nghiên cứu này.



a. Tính toán mô hình kênh có vây [15]

b. Kết quả toán tính kiểm chứng

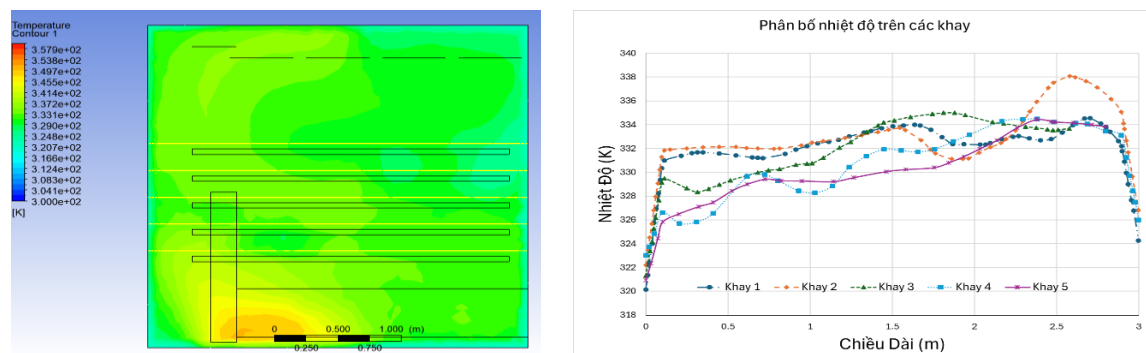
**Hình 3.** Kết quả cho bài toán mẫu (a) và kết quả cho mô hình kiểm chứng (b)

**Bảng 3.** Kết quả tính toán nhiệt độ mô hình đối lưu qua vách đẳng nhiệt của tác giả khác nhau

	Mohamed A. Aziz - Osama A. Gaheen [15]	Ansys Fluent	Sai số
Nhiệt độ đầu ra (K)	371,64	377,97	1,7%

3.2.2. Phân tích, đánh giá trường nhiệt độ của lò sấy đang vận hành tại cơ sở sản xuất (mô hình SMO – Sóng Mã Origin)

Trong phần này, trường nhiệt độ của lò sấy có chứa vật sấy đặt trên khay được tính toán dựa trên phần mềm Ansys Fluent. Trong nghiên cứu này, tác giả đơn giản hóa rằng các vật sấy và khay có hình dạng là các tấm phẳng xếp trong lò như trên Hình 2. Quá trình trao đổi nhiệt giữa vật và dòng khí trong lò tuân theo định luật Newton, với hệ số tỏa nhiệt được chọn theo tài liệu tham khảo [11]. Sau quá trình thiết lập điều kiện tính toán và lựa chọn mô hình giải trong module ANSYS Solution, nhóm nghiên cứu thu được các kết quả trường phân bố nhiệt độ trong lò sấy như Hình 4.



a. Trường nhiệt độ theo mặt cắt dọc

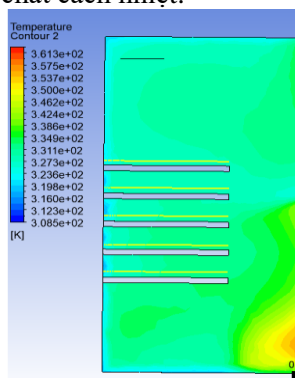
b. Nhiệt độ tại các khay theo mặt cắt dọc

**Hình 4.** Biểu đồ phân bố nhiệt độ tại vị trí các khay chứa vật liệu sấy theo chiều dọc mô hình (SM)

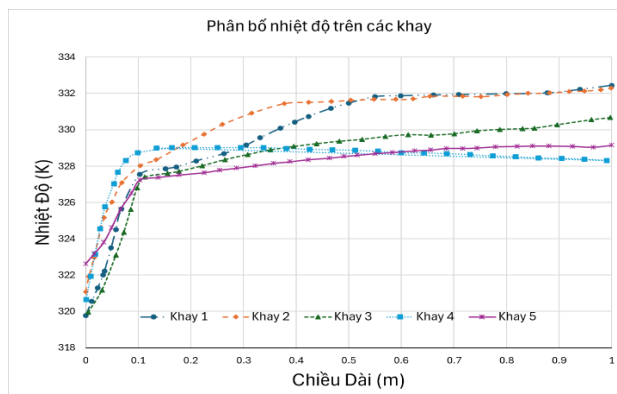
Hình 4a biểu diễn trường nhiệt độ tại các khay để long nhãn theo mặt cắt dọc của lò sấy. Kết quả cho thấy các khay ở phía trên có nhiệt độ thấp hơn các khay ở phía dưới, vị trí các khay (1, 2, 3, 4, 5) xếp theo thứ tự từ trên xuống dưới và độ đồng đều về nhiệt là chưa cao (Hình 4b). Nhiệt độ tại hai biên tường thấp nhất do tường trong buồng sấy không có tính chất cách nhiệt phù hợp

với điều kiện thực tế tại cơ sở sản xuất. Nhiệt độ tại phía bên trái buồng (Hình 4a) cao hơn nhiệt độ ở phía bên phải.

Hình 5a biểu diễn trường nhiệt độ tại các khay để long nhân theo mặt cắt ngang của lò sấy. Kết quả cho thấy rằng các khay ở phía trên có nhiệt độ thấp hơn các khay ở phía dưới, vị trí các khay (1, 2, 3, 4, 5) sắp theo thứ tự từ trên xuống dưới và phân bố nhiệt độ trong cùng 1 khay sấy tương đối đồng đều (Hình 5b). Nhiệt độ tại bên tường trái thấp do tường trong buồng sấy không có tính chất cách nhiệt.



a. Trường nhiệt độ theo mặt cắt ngang

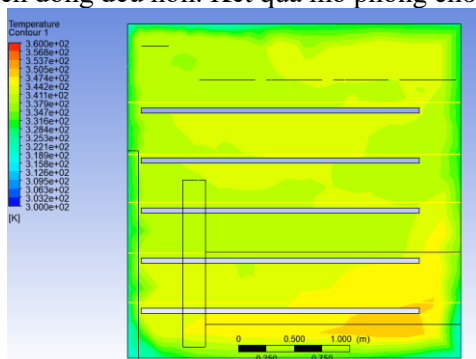


b. Nhiệt độ tại các khay theo mặt cắt ngang

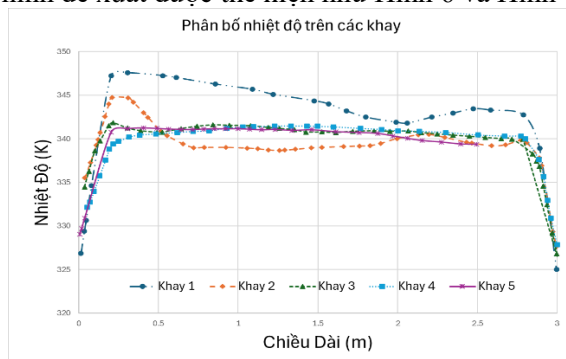
**Hình 5.** Trường nhiệt độ tại vị trí chứa vật liệu sấy theo chiều ngang

### 3.2.3. Phân tích, đánh giá trường nhiệt độ của lò sấy khi cải tiến khay sấy long nhân (Mô hình SMU – Sóng Mã Upgraded)

Dựa trên cấu hình thực tế tại cơ sở sản xuất, nghiên cứu đề xuất mô hình lò sấy mới với cách thay đổi khoảng cách giữa các khay sấy tăng khoảng cách hiện tại từ 40 cm lên 50 cm. Dự kiến với cách thay đổi như vậy, trường vận tốc trong lò sấy sẽ tăng lên từ đó phân bố nhiệt độ sẽ trở nên đồng đều hơn. Kết quả mô phỏng cho cấu hình đề xuất được thể hiện như Hình 6 và Hình 7.



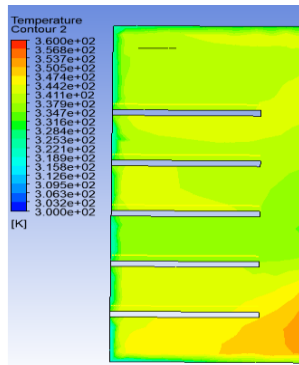
a. Trường nhiệt độ theo mặt cắt dọc



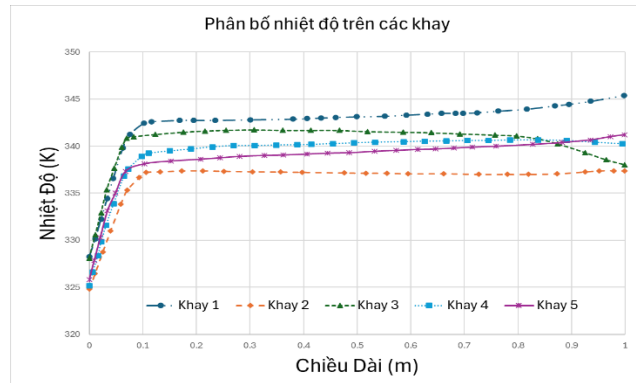
b. Nhiệt độ tại các khay theo mặt cắt dọc

**Hình 6.** Trường nhiệt độ tại vị trí khay chứa vật liệu sấy theo chiều dọc

Từ kết quả mô phỏng thu được, chúng ta thấy phân bố nhiệt độ của lò sấy đã được cải thiện (Hình 6a, Hình 7a). Nhiệt độ phân bố trên các khay đã trở nên đồng đều so với nguyên mẫu (Hình 6b, Hình 7b).



a. Trường nhiệt độ theo mặt cắt ngang



b. Nhiệt độ tại các khay theo mặt cắt ngang

**Hình 7.** Biểu đồ phân bố nhiệt độ tại vị trí chứa vật liệu sấy theo chiều ngang

### 3.2.4. Phân tích, đánh giá nhiệt độ trung bình trên khay sấy khi thay đổi vận tốc dòng khí

Khảo sát thêm với 2 mô hình SMU và SMO với trường hợp vận tốc quạt thổi 3 m/s, 8 m/s, 10 m/s thu được kết quả trường nhiệt độ tại vị trí khay chứa vật liệu sấy như sau:

**Bảng 4.** Kết quả khảo sát nhiệt độ tại vị trí sấy qua các vận tốc quạt thổi khác nhau

Mô hình	Vận tốc quạt (m/s)	Nhiệt độ bộ cấp nhiệt (°C)	Khoảng nhiệt độ chênh lệch (°C)	Nhiệt độ trung bình (°C)
SMU	3	60-100	57-67	62
SMO	3	60-100	54-63	58
SMU	5	60-100	65-72	69
SMO	5	60-100	55-63	59
SMU	8	60-100	58-66	62
SMO	8	60-100	54-63	58,5
SMU	10	60-100	58-67	62,5
SMO	10	60-100	53-61	57

Theo kết quả tính toán (Bảng 4) trên có thể thấy với điều kiện biên có sự thay đổi về vận tốc thì với điều kiện biên quạt thổi là 5 m/s mô hình lò sấy SMU có trường nhiệt độ tại vị trí chứa vật liệu sấy có sự trao đổi nhiệt tốt hơn ở mức trung bình 69°C và khoảng chênh lệch nhiệt độ là 7°C, các trường hợp khác với điều kiện biên quạt thổi là 3 m/s, 8 m/s, 10 m/s có mức trao đổi nhiệt thấp hơn (62-62,5°C) và khoảng chênh lệch nhiệt độ từ 8-10°C.

Đối với mô hình lò sấy SMO trường hợp điều kiện biên quạt thổi là 5 m/s có sự trao đổi nhiệt ở mức 59°C và khoảng chênh lệch nhiệt độ 8°C, các trường hợp khác với điều kiện biên quạt thổi là 3 m/s, 8 m/s, 10 m/s có mức trao đổi nhiệt thấp hơn (57-58,5°C) và khoảng chênh lệch nhiệt độ từ 8-9°C.

Như vậy thông qua 2 đánh giá trên ta có thể thấy đối với thiết kế của mô hình SMU có vị trí khay chứa vật liệu sấy rộng hơn thì có sự trao đổi nhiệt tốt hơn, còn đối với mô hình SMO thì có sự trao đổi nhiệt thấp hơn vì có thiết kế các khay chứa vật liệu sấy dày đặc. Tổng kết lại thì mô hình SMU với điều kiện biên quạt thổi 5 m/s có sự trao đổi nhiệt tốt nhất và khoảng chênh lệch nhiệt độ tại vị trí chứa vật liệu sấy thấp giúp cho hiệu quả của một mẻ sấy đạt chất lượng cao hơn.

## 4. Kết luận

Trong nghiên cứu này, mô hình lò sấy long nhãn đối lưu cưỡng bức được tính toán dựa trên phần mềm mô phỏng số ANSYS Fluent. Kết quả mô phỏng mô hình thực tế (SMO) chỉ ra rằng nhiệt độ phân bố không đồng đều trong lò sấy long nhãn tại cơ sở sản xuất, điều này ảnh hưởng nhiều tới chất lượng sản phẩm. Nhóm nghiên cứu đã đề xuất mô hình lò sấy long nhãn (SMU) cho hiệu suất cao hơn so với mô hình thực tế (SMO) tại cơ sở sản xuất. Việc sắp xếp lại vị trí các

khay để sản phẩm trong lò sấy giúp cho dòng khí dịch chuyển thuận lợi, tạo nên trường nhiệt độ phân bố đồng đều trong lò, dẫn tới hiệu suất trao đổi nhiệt của dòng khí với sản phẩm cao hơn và sản phẩm cuối cùng sẽ đạt chất lượng tốt nhất. Để có được trường phân bố nhiệt độ đồng đều, đáp ứng được yêu cầu sản xuất thực tế, các thiết bị cấu tạo của lò cần phải thay đổi và sắp xếp hợp lý. Đây là bài toán quan trọng trong quá trình thiết kế, vận hành lò sấy và cũng là hướng phát triển nghiên cứu tiếp theo của nhóm nghiên cứu trong thời gian sắp tới.

### Lời cảm ơn

Cám ơn Hợp tác xã Hoa Mùiri huyện Sông Mã, tỉnh Sơn La đã hỗ trợ nghiên cứu này.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] Y. Jiang, Z. Ghang, D.C Joyce, and S. Ketsa, "Postharvest biology and handling of longan fruit (*Dimocarpus longan* Lour.)," *Postharvest Biology and Technology*, vol. 26, no. 3, pp. 241-252, November 2002.
- [2] N. Rangkadilok, L. Worasuttayangkurn, R. N. Bennett, and J. Satayavivad, "Identification and quantification of polyphenolic compounds in longan (*Euphoria longana* Lam.) fruit," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 53, no. 5, pp. 1387-1392, 2005.
- [3] Y. Diczbalis, "Longan: Improving yield and quality," *RIRDC Publication*, no. 02/135, Rural Industries Research and development Corporation (RIRDC), Kingston, Australia, 2002.
- [4] T. An, "Longan exports took in \$14 million in 2023," *Vietnam Investment Reviews*, February 19, 2024. [Online]. Available: <https://vir.com.vn/longan-exports-took-in-14-million-in-2023-108977.html> [Accessed March 2, 2024].
- [5] X. Yue, Z. Chen, J. Zhang, C. Huang, S. Zhao, X. Li, Y. Qu, and C. Zhang, "Extraction, purification, structural features and biological activities of longan fruit pulp (*Longyan*) polysaccharides: A review," *Frontiers in Nutrition*, vol. 9, pp. 1-28, 2022.
- [6] A. Achariyaviriya, "Simulation and optimization of the drying strategy for longan drying," PhD Thesis, King Mongkut's Institute of Technology, Thonburi, Thailand, 2001.
- [7] S. Janjai, B. K. Bala, K. Tohsing, B. Mahayothee, M. Haewsuncharern, W. Mühlbauer, and J. Müller, "Equilibrium moisture content and heat of sorption of longan (*Dimocarpus longan* Lour.)," *Drying Technology*, vol. 24, no. 12, pp.1691-1696, 2006.
- [8] S. Janjai, P. Intawee, C. Chaichoet, B. Mahayothee, M. Haewsuncharern, and J. Müller, "Improvement of the air flow and temperature distribution in a conventional longan dryer," in *International Symposium Towards Sustainable Livelihoods and Ecosystems in Mountainous Regions*, March 7-9, 2006; Chiang Mai, Thailand, pp. 1-11.
- [9] B. Mahayothee, R. Wongtom, E. Keowmaneechai, S. Phupaichitkun, M. Haewsuncharern, S. Janjai, and J. Müller, "Influence of drying on browning and sensory characteristics of dried whole longan," in *Proceedings of the 15th International Drying Symposium (IDS 2006)*, Budapest, Hungary, August 20-23, 2006, pp. 1562-1566.
- [10] S. Phupaichitkun, B. Mahayothee, M. Haewsuncharern, S. Janjai, and J. Müller, "Drying behaviour of Thai unpeeled longan: modeling of shrinkage inside fruit," in *Proceedings of the 15th International Drying Symposium (IDS 2006)*, Budapest, Hungary, August 20- 23, 2006, pp. 388-393.
- [11] V. P. Tran, *Drying Technique*, Education Publisher, (in Vietnamese), Ha Noi, 2008.
- [12] V. C. Hoang, *Design of drying equipment system*, Scientific and Technical Publisher, (in Vietnamese), Ha Noi, 2006.
- [13] C. E. Baukal, *Heat Transfer in Industrial Combustion*, CRC Press LLC, 2000.
- [14] J. Yogesh, *Design and Optimization of Thermal Systems*, CRC Press, 2008.
- [15] M. A. Aziz and O. A. Gaheen, "Effect of the isothermal fins on the natural convection heat transfer and flow profile inside a vertical channel with isothermal parallel walls," *Applied Sciences*, vol. 1, 2019, Art. no. 1310.