

NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM KỸ THUẬT SẤY Bẹ CHUỐI DÙNG NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI KẾT HỢP GIA NHIỆT PHỤ TRỢ

EXPERIMENTAL STUDY ON BANANA PSEUDOSTEM DRYING USING A COMBINED SOLAR ENERGY AND AUXILIARY HEATING

Nguyễn Thị Minh Trinh*, Bùi Nguyễn Nhật Minh, Hà Anh Tùng

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

*Email: ngtminhtrinh@hcmut.edu.vn

TÓM TẮT

Bẹ thân cây chuối đã được làm khô đến độ ẩm nhỏ hơn 12% đang có nhu cầu ngày càng cao trên thị trường thế giới trong những năm gần đây. Tuy nhiên, hiện nay vẫn chưa có giải pháp sấy khô có hiệu quả kinh tế cho loại sản phẩm này. Nghiên cứu này trình bày một số thông số của hệ thống sấy dùng năng lượng mặt trời kết hợp giữa sấy trực tiếp và gián tiếp phối hợp với gia nhiệt phụ trợ để làm giảm độ ẩm của bẹ chuối từ 92,9% xuống dưới 12% với nhiệt độ không khí nóng vào buồng sấy là 50°C trong 25 giờ sấy thay vì phơi nắng trong 40 giờ. Các thông số này có thể dùng làm cơ sở để xây dựng một hệ thống sấy với quy mô công suất lớn dạng nhà sấy giúp hiệu quả hơn về chi phí năng lượng, nhân công và thời gian cho sản phẩm là bẹ chuối khô.

Từ khóa: *Bẹ chuối khô; Sấy năng lượng mặt trời kiểu hỗn hợp; Bộ thu năng lượng mặt trời; Hiệu quả năng lượng.*

ABSTRACT

Dried banana pseudostem sheaths with a moisture content below 12% have experienced increasing global demand in recent years. However, an economically efficient drying solution for this product has not yet been widely established. This study presents key operating parameters of a solar-assisted drying system combining direct and indirect drying modes with auxiliary heating to reduce the moisture content of banana sheaths from 92.9% to below 12%. The drying process was conducted at a hot air temperature of 50°C for 25 hours, compared to 40 hours required under traditional sun drying. These parameters can serve as a basis for the development of a large-scale greenhouse-type drying system, offering improved efficiency in terms of energy consumption, labor, and processing time for dried banana sheath production.

Keywords: *Dried banana pseudostem; Hybrid solar drying; Solar collector; Energy efficiency.*



1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nhu cầu nhập khẩu bẹ/sợi chuối đã được làm khô trên thế giới những năm gần đây tăng mạnh, cụ thể từ 10/2023 đến 9/2024 mức tăng này đạt đến 123% so với cùng kỳ 1 năm trước đó [1]. Các thị trường nhập khẩu hàng đầu trên thế giới là Hoa Kỳ, EU, Singapore, Hàn Quốc và Nhật Bản dùng bẹ chuối sấy khô trong nhiều lĩnh vực như sản xuất sợi tự nhiên cho ngành dệt may, đồ thủ công mỹ nghệ, bao bì sinh học và vật liệu xây dựng thân thiện với môi trường. Các nước xuất khẩu bẹ/sợi chuối chính trên thế giới hiện nay là Ấn Độ, Malaysia, Indonesia, Costa Rica và Việt Nam. Theo dữ liệu xuất khẩu toàn cầu, từ 10/2023 đến 9/2024, tốc độ tăng trưởng của xuất khẩu sản phẩm này tăng 170% so với mười hai tháng trước đó [2]. Xu hướng tăng trưởng với quy mô thị trường toàn cầu đối với bẹ/sợi chuối sẽ đạt 1,2 tỷ USD vào năm 2030 với tốc độ tăng trưởng trung bình 4,5%/năm do nhu cầu ngày càng cao về vật liệu tự nhiên và bền vững [3]. Đây là một tiềm năng to lớn cho nền nông nghiệp trồng chuối tại Việt Nam hiện nay.

Việt Nam có diện tích trồng chuối lớn, hơn 100.000 ha, chiếm 19% tổng diện tích cây ăn trái của cả nước với sản lượng 1,4 triệu tấn/năm [4], đứng thứ 15 trên thế giới về sản xuất chuối [5].

Chuối sau khi thu hoạch quả, phần phế phẩm còn lại gồm thân, lá, vỏ chiếm 85% cây chuối. Nhiều nghiên cứu đã được đẩy mạnh trong những năm gần đây nhằm tận dụng toàn bộ phế phẩm chuối để tạo ra các sản phẩm có giá trị kinh tế cao trong đó có bẹ/sợi thân cây chuối khô [6].

Tuy nhiên, do giá thành bẹ thân cây

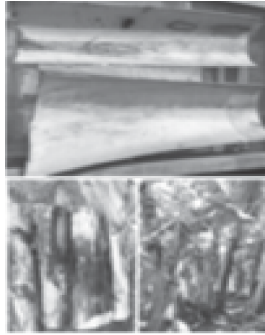
chuối khô khá rẻ [7] nên phần lớn các nông trại trồng chuối chỉ chọn phương pháp làm khô truyền thống là phơi trực tiếp ngoài trời. Thân chuối có độ ẩm cao, trên 90% là nước [8] nên thời gian bẹ chuối khô về độ ẩm dưới 12% [9] là khá dài, từ 7 ngày trở lên. Các phương án sử dụng hệ thống sấy hiện có để làm khô bẹ chuối thì đa phần không phù hợp vì phải chi phí thêm cho năng lượng sử dụng sẽ làm tăng giá thành sản phẩm và thường công suất không quá lớn để xử lý hết lượng bẹ chuối cần làm khô.

Các nghiên cứu đã có về sấy chuối thường tập trung vào quả chuối để sản xuất chuối khô, các nghiên cứu chuyên sâu về kỹ thuật sấy bẹ chuối để hiệu quả về mặt kinh tế còn hạn chế. Trong phạm vi bài báo này, nhóm nghiên cứu trình bày về một hệ thống sấy hỗn hợp tận dụng tối đa nguồn năng lượng mặt trời và sử dụng gia nhiệt phụ trợ bằng nhiên liệu biomass có sẵn như lá và phế phẩm chuối đã khô một cách hợp lý. Kết quả nghiên cứu này có thể góp phần vào việc đa dạng hóa các phương pháp chế biến nông sản, giảm thiểu lãng phí nguồn tài nguyên và thúc đẩy việc sử dụng năng lượng tái tạo trong nông nghiệp.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu sấy dùng trong nghiên cứu

Vật liệu dùng trong nghiên cứu này là bẹ thân cây chuối già giống Nam Mỹ có tên tiếng Anh là Cavendish – *Musa acuminata* (Hình 1). Sau thu hoạch quả, thân chuối bị bỏ đi với khối lượng phụ phẩm 80-90 tấn/ha mỗi năm. Đây cũng là giống thân chuối có chất lượng sợi tốt có thể làm khô để xuất khẩu.



Hình 1. Mẫu bẹ chuối tươi Cavendish



Hình 2. Kết quả phân tích độ ẩm của bẹ chuối tươi bằng máy MX-50

Âm phần của bẹ chuối tươi Cavendish được đo đạc bằng máy phân tích độ ẩm MX-50 tại Phòng thí nghiệm Nhiệt động và Truyền nhiệt – Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM với kết quả là 92,9% (Hình 2). Kết quả này cũng tương đồng với các nghiên cứu đã được công bố [8].

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, một hệ thống sấy năng lượng mặt trời dạng hỗn hợp đã được thiết kế, chế tạo bao gồm:

- Một bộ thu năng lượng mặt trời (collector) dạng đối lưu tự nhiên để gia nhiệt không khí cung cấp cho buồng sấy;
- Một buồng sấy làm bằng vật liệu trong suốt có hệ số xuyên qua cao để vật sấy nhận được nhiệt lượng trực tiếp từ bức xạ mặt trời;

Ngoài ra, việc tính toán dự phòng lượng nhiên liệu biomass để đốt gia nhiệt cho không khí cấp vào buồng sấy trong trường hợp trời không có nắng kéo dài nhiều ngày cũng được thực hiện nhằm đảm bảo quá trình sấy không bị gián đoạn lâu gây nấm mốc vật liệu sấy.

Quá trình sấy thực nghiệm cũng được tiến hành trên hệ thống sấy để xác định thời gian sấy thực tế có thể đạt được độ ẩm yêu cầu và hiệu suất toàn hệ thống sấy so với lý thuyết.

Hệ thống sấy cho nghiên cứu này được thiết kế với khối lượng mẫu bẹ chuối thí nghiệm là 1 kg, độ ẩm bẹ chuối được làm khô là 92,9% xuống dưới 12%, nhiệt độ không khí được gia nhiệt khi đi qua collector để vào buồng sấy là 50°C, thời gian sấy dự kiến 25 giờ, hiệu suất collector chọn sơ bộ để tính toán ra diện tích collector là 30%, thông số môi trường trung bình tại địa phương dùng để thiết kế là Thành phố Hồ Chí Minh với nhiệt độ 30°C và độ ẩm tương đối là 80%.

2.3. Cơ sở tính toán thiết kế

2.3.1. Bộ thu năng lượng mặt trời (collector)

Phương trình cân bằng năng lượng trong collector [10]:

$$Q_c = G_T \cdot \tau \cdot F_c \cdot \epsilon_c - Q_{\text{loss}} = m_s \cdot c_{\text{pkk}} \cdot \Delta t_c \cdot 1000 \quad (1)$$

Trong đó:

Q_c - Nhiệt lượng hữu ích nhận được từ collector, W;

G_T - Cường độ bức xạ mặt trời đến mặt phẳng nghiêng, W/m²;

τ - Hệ số xuyên qua của tấm phủ trong suốt đặt bên trên collector;

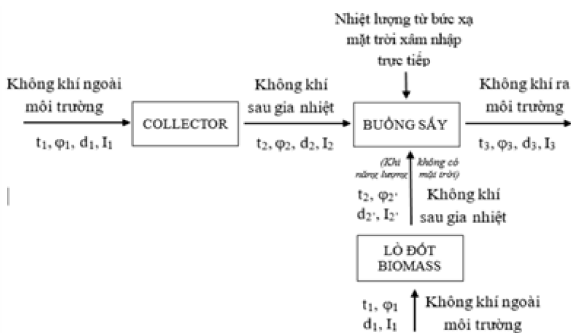
F_c - Diện tích bề mặt hấp thụ của collector, m²;

ϵ_c - Độ đen bề mặt hấp thụ của collector; ☞

Q_{loss} - Tổng tổn thất nhiệt của collector, W;
 m_s - Lưu lượng không khí đối lưu tự nhiên qua collector, kg/s;
 c_{pkk} - Nhiệt dung riêng của không khí, kJ/kgK;
 Δt_c - Độ chênh nhiệt độ không khí đi qua collector, °C.

Tổng tổn thất nhiệt của collector Q_{loss} là lượng nhiệt bị mất đi qua các bề mặt bên trên, bên hông và mặt đáy của collector ra môi trường xung quanh. Tổn thất này bao gồm cả dẫn nhiệt, đối lưu và bức xạ nhiệt khi có sự chênh lệch nhiệt độ giữa collector và môi trường [10]. Hiệu suất của collector phụ thuộc rất nhiều vào yếu tố tổn thất này và đã được tính toán chi tiết để xác định đầy đủ lượng tổn thất cũng như làm cơ sở cho việc lựa chọn vật liệu dùng làm kết cấu collector phù hợp [11].

2.3.2. Buồng sấy



Hình 3. Sơ đồ sấy không hồi lưu

- Lượng ẩm cần lấy đi khỏi vật liệu sấy [12]:

$$W = \frac{G_1 \cdot \left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{100 - \omega_2} \right)}{T_s}, (\text{kg ẩm/h}) \quad (2)$$

Trong đó:

G_1 - Khối lượng vật sấy tươi ban đầu, kg;
 ω_1, ω_2 - Độ ẩm vật sấy trước và sau khi sấy, %;
 T_s - Thời gian 1 mẻ sấy, giờ.

- Cân bằng năng lượng trong buồng sấy trong giai đoạn ổn định:

$$Q_{\text{tns}} + Q_{\text{bx}} = Q_t + Q_{\text{xq}} \quad (3)$$

Trong đó :

Q_{tns} - Nhiệt lượng do tác nhân sấy cung cấp cho buồng sấy, W;

Q_{bx} - Nhiệt lượng từ bức xạ mặt trời xâm nhập trực tiếp vào buồng sấy, W;

Q_t - Nhiệt lượng do tác nhân sấy mang đi khi ra khỏi buồng sấy, W;

Q_{xq} - Tổn thất nhiệt qua kết cấu bao che của buồng sấy, W.

Nhiệt lượng do tác nhân sấy mang vào buồng sấy Q_{tns} là nhiệt lượng hữu ích nhận được từ collector Q_c . Trong trường hợp trời không có nắng hoàn toàn kéo dài nhiều ngày và có vận hành lò đốt biomass thì đó là lượng nhiệt Q_d mà không khí được gia nhiệt nhờ lò đốt.

Diện tích buồng sấy phụ thuộc vào mật độ xếp vật liệu sấy [13]. Vách buồng sấy làm bằng polycarbonate có hệ số xuyên qua cao đến 0,9 để có thể nhận được lượng bức xạ mặt trời trực tiếp vào buồng sấy [14] lớn, đồng thời polycarbonate cũng có hệ số dẫn nhiệt thấp nên hạn chế được tổn thất nhiệt từ buồng sấy ra môi trường [15].

2.3.3. Lò đốt biomass

Cân bằng năng lượng trong bộ gia nhiệt không khí bằng khói từ lò đốt biomass [16]:

$$Q_d = G_{\text{nl}} \cdot q_{\text{nl}} \cdot \eta_d = m' \cdot c_{\text{pkk}} \cdot \Delta t_d \cdot 1000 \quad (4)$$

Trong đó:

Q_d - Công suất nhiệt từ lò đốt biomass, W;

G_{nl} - Lưu lượng nhiên liệu biomass, g/s;

q_{nl} - Nhiệt trị thấp của nhiên liệu, J/g;

η_d - Hiệu suất bộ trao đổi nhiệt, %;

m' - Lưu lượng không khí qua bộ gia

nhiệt từ khói lò đốt, kg/s;

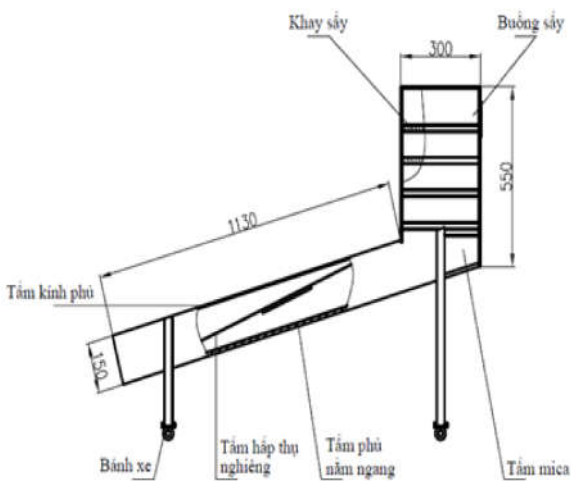
c_{pkk} - Nhiệt dung riêng của không khí, kJ/kgK;

Δt_d - Độ chênh nhiệt độ không khí đi qua, °C.

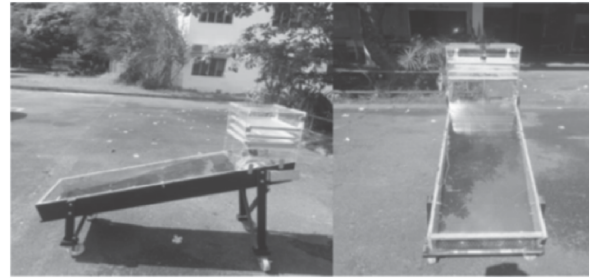
Trong nghiên cứu này, nhiên liệu sử dụng tính toán cho lò đốt là lá chuối khô, bẹ chuối khô không đạt chất lượng thành phẩm xuất khẩu có sẵn tại nông trại trồng chuối để tận dụng nguồn nhiên liệu. Nhiệt trị của lá chuối khô đạt từ 17,4-19,8 MJ/kg tùy theo độ ẩm [17]. Trong trường hợp áp dụng thực tế tại địa phương, có thể sử dụng bất kỳ loại nhiên liệu biomass nào thuận lợi nhất cho vận hành.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Với các thông số ban đầu dùng thiết kế hệ thống sấy cho nghiên cứu này và từ hệ các phương trình (1), (2) và (3) cho kết quả bộ collector có kích thước cao $H_c = 0,15$ m, rộng $W_c = 0,4$ m, dài $L_c = 1,13$ m và buồng sấy có kích thước cao $H_s = 0,55$ m, rộng $W_s = 0,45$ m, dài $L_s = 0,3$ m như hình 4 và 5. Nhiệt lượng trung bình bộ collector cung cấp cho buồng sấy là 302,5 W.

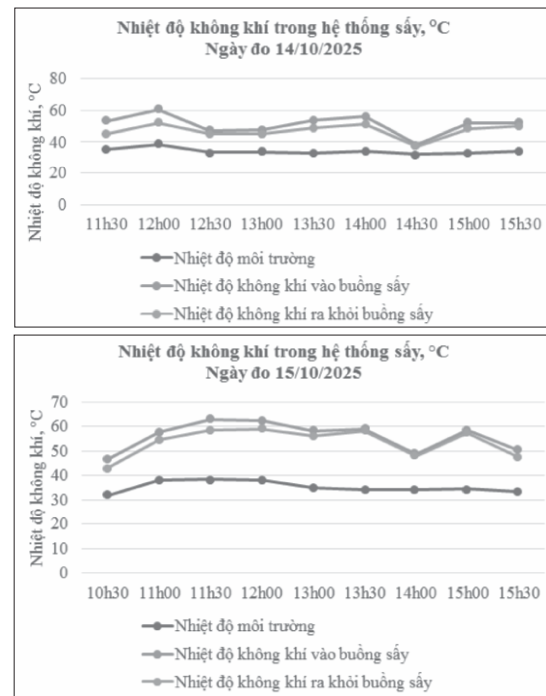


Hình 4. Hệ thống sấy gồm collector và buồng sấy



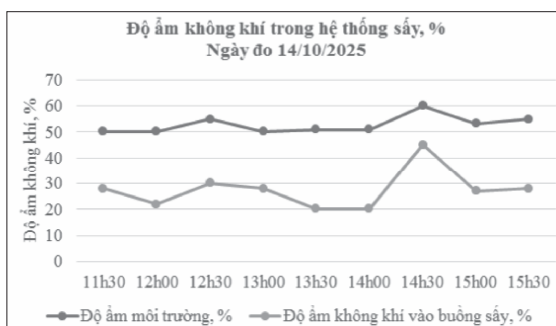
Hình 5. Hệ thống sấy sau khi chế tạo

Theo hình 6, độ gia nhiệt không khí của bộ collector thay đổi từ 6°C đến 24°C tùy vào trời có nắng hay râm mát. Nhiệt độ không khí vào buồng sấy có thể lên đến hơn 60°C khi trời nắng tốt, và khoảng 50°C khi trời nhiều mây. Đồng thời, nhiệt độ không khí tại cửa ra của buồng sấy gần bằng nhiệt độ không khí vào buồng sấy do bề mặt trên của buồng sấy cũng được nhận thêm nhiệt lượng trực tiếp từ mặt trời. Nhờ đó, vật liệu sấy trong buồng được khô đồng đều.



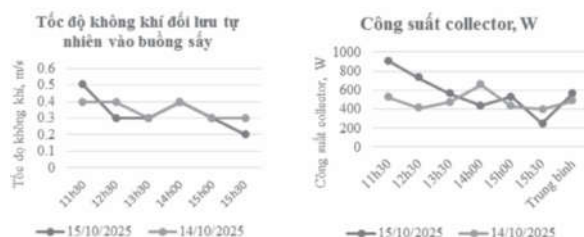
Hình 6. Độ chênh nhiệt độ môi trường với nhiệt độ không khí vào và ra khỏi buồng sấy

Hình 7 cho thấy mức giảm độ ẩm không khí trước và sau bộ collector dao động từ 15% đến 31%. Khi không khí được gia nhiệt qua bộ collector càng cao, độ ẩm không khí được giảm đi đáng kể so với độ ẩm môi trường. Đây là điều kiện tốt để tăng khả năng lấy ẩm của vật liệu trong buồng sấy. Nhờ vậy, bẹ chuối trong buồng sấy có tỉ lệ bốc ẩm cao hơn so với bẹ chuối phơi trực tiếp trong nắng.



Hình 7. Độ ẩm không khí môi trường và vào buồng sấy

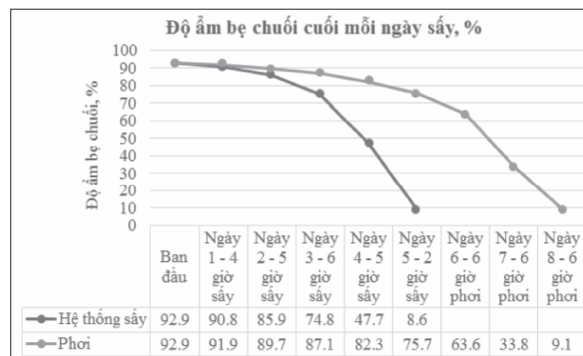
Với vận hành thực tế, công suất gia nhiệt trung bình trong 2 ngày đo đặc thí nghiệm trong điều kiện nắng tương đối tốt là 523,5 W (hình 8), tương đối cao so với giá trị tính toán lý thuyết là 302,5 W.



Hình 8. Tốc độ không khí vào buồng sấy và công suất nhiệt của collector

Độ ẩm ban đầu của bẹ chuối là 92,9% cần được làm khô về độ ẩm dưới 12% để đạt điều kiện xuất khẩu cũng như không bị tái ẩm hoặc dễ bị nấm mốc. Với mô hình thực nghiệm này, bẹ chuối đạt được độ ẩm còn 8,6% sau 22 giờ sấy diễn ra trong 5 ngày, trong khi đó phơi

nắng trực tiếp cần 40 giờ diễn ra trong 8 ngày. Thông số độ ẩm giảm sau mỗi ngày của bẹ chuối khô được thể hiện trong hình 9.



Hình 9. Độ giảm ẩm của bẹ chuối trong hệ thống sấy và phơi nắng

Về mặt trực quan, bẹ chuối được làm khô trong hệ thống sấy thì có màu sáng, không bị đốm thâm đen, dai chắc và thẳng đều hơn bẹ chuối được phơi nắng trực tiếp như trong hình 10.



Hình 10. Thành phẩm bẹ chuối khô trong hệ thống sấy và phơi nắng

Với phạm vi nghiên cứu này, lò đốt biomass chỉ vận hành trong trường hợp trời không có nắng kéo dài ngày để quá trình khô của bẹ chuối không bị gián đoạn lâu làm hư hỏng. Nhiên liệu đốt được tính toán là lá chuối khô có nhiệt trị 17 MJ/kg, khói ra khỏi lò đốt gia nhiệt cho không khí từ nhiệt độ môi trường đến nhiệt độ 50°C trong bộ trao đổi nhiệt và đi vào buồng sấy. Với hiệu suất bộ trao đổi nhiệt là 80%, từ hệ các phương trình (2), (3) và (4)

lượng tiêu hao nhiên liệu cần thiết cho hệ thống sấy này dự kiến là 80 g/giờ.

4. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày quá trình tính toán, thiết kế và chế tạo mô hình thử nghiệm sấy bẹ chuối bằng bộ thu năng lượng mặt trời đối lưu tự nhiên kết hợp buồng sấy nhận nhiệt bức xạ mặt trời trực tiếp. Theo nghiên cứu này thì công suất nhiệt trung bình của hệ thống là 523 W để có thể giảm ẩm cho 1kg bẹ chuối từ 92,9% xuống còn 8,6 % trong thời gian 22 giờ sấy. Với chi phí năng lượng và thời gian để có được thành phẩm như vậy có thể kinh tế được với giá thành 1kg bẹ chuối khô xuất khẩu hiện nay dao động quanh 10.000 VNĐ/kg [7].

Các thông số này có thể dùng làm cơ sở để xây dựng một hệ thống sấy với quy mô công suất lớn dạng nhà sấy giúp hiệu quả hơn về chi phí năng lượng, nhân công và thời gian cho sản phẩm là bẹ chuối khô.

Trong phạm vi bài báo này, nhóm nghiên cứu cũng đã đề xuất giải pháp sử dụng hệ thống sấy hỗn hợp tận dụng tối đa nguồn năng lượng mặt trời kết hợp bộ gia nhiệt phụ trợ bằng nhiên liệu biomass có sẵn như lá và phế phẩm chuối đã khô một cách hợp lý. Kết quả nghiên cứu này có thể góp phần vào việc đa dạng hóa các phương pháp chế biến nông sản, giảm thiểu lãng phí nguồn tài nguyên và thúc đẩy việc phát triển nền nông nghiệp carbon thấp của Việt Nam.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, trong khuôn khổ đề tài cấp trường - OISP mã số To-CK-2023-02. Tác giả xin cảm ơn Trường Đại học Bách khoa, Đại học

Quốc gia TP. Hồ Chí Minh đã hỗ trợ thời gian, phương tiện và cơ sở vật chất cho nghiên cứu này. ❖

Ngày nhận bài: **09/12/2025**

Ngày phản biện: **21/12/2025**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. “Key Indicators of Banana Fiber Imports in World”, <https://www.volza.com/p/banana-fiber/import/#:~:text=According%20to%20Volza%27s%20Global%20Import,sequential%20increase%20from%20Aug%202024>
- [2]. “Key Indicators of Banana Stem Exports from World”, <https://www.volza.com/p/banana-stem/export/#:~:text=Most%20of%20the%20Banana%20Stem,and%20United%20States>
- [3]. “Global Banana Fiber Market”, <https://industrygrowthinsights.com/report/banana-fiber-market/#:~:text=The%20global%20banana%20fiber%20market,it%20suitable%20for%20these%20applications>
- [4]. “Chuối nằm trong top 10 mặt hàng xuất khẩu lớn của Việt Nam”, <https://vtv.vn/kinh-te/chuoi-nam-trong-top-10-mat-hang-xuat-khau-lon-cua-viet-nam-20240629100824895.htm>
- [5]. “World Banana Production by Country”, https://au.atlasbig.com/countries-by-banana-production#google_vignette
- [6]. “Biến phế phẩm nông nghiệp thành sản phẩm hái ra tiền”, <https://www.dongnai.gov.vn/pages/newsdetail.aspx?CatId=112&NewsId=46252&utm>
- [7]. “Build a Growth Strategy in Banana Stem Export”, <https://www.volza.com/p/banana-stem/export/#:~:text=24,STEM>
- [8]. S. Shivashankar, R. P. Nachane and S. Kalpana, “Composition and Properties of Fibre Extracted from Pseudostem of Banana (*Musa Sp.*)”. Journal of Horticultural Sciences Vol.1(2): 95-98, 2006.
- [9]. Chanakarn Ruangnarong, Sujira Khojitime, Supanicha Srivorradatphisan, Sakorn

- Chonsakorn and Natthapong Panyathikun, “*Evaluation of Mechanically Extracted Banana Fibers from Pseudostem Layers: A Sustainable Textile Raw Material*”. Heliyon 10(1): e39880, October 2024.
- [10]. Nguyễn Thế Bảo, “*Giáo trình năng lượng tái tạo và sự phát triển bền vững*”. NXB. Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, 2023.
- [11]. Jaouad Ennissoui, El Mahjoub Benghoulam and Tarik El Rhafiki, “*Experimental study of a natural convection indirect solar dryer*”. Heliyon 9: e21299, November 2023.
- [12]. Arun S. Mujumdar, “*Handbook of Industrial Drying*”. Fourth Edition, CRC Press, 2014.
- [13]. Halefom Kidane, Istvan Farkas, and Janos Buzás, “*Assessing the carrying capacity of solar dryers applied for agricultural products: a systematic review*”. Discover Energy, Volume 4, article number 6 (2024).
- [14]. P. Pankaew, O. Aumporn, S. Janjai, T. Mundpookhiew, and B.K. Bala, “*Performance of parabolic greenhouse solar dryer equipped with rice husk burning system for banana drying*”. Journal of Renewable Energy and Smart Grid Technology, Vol. 14, No. 1, January - June 2019.
- [15]. Zbigniew Zapalowicz and Agnieszka Garnysz-Rachtan, “*Theoretical and Experimental Comparisons of Total Solar Transmittance for Polycarbonate Sheet with TwinWall Rectangular Structure*”. Applied Mechanics 2022, 3(4), 1163-1175.
- [16]. Hoàng Đình Tín, “*Cơ sở truyền nhiệt và thiết kế thiết bị trao đổi nhiệt*”. NXB. Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, 2013.
- [17]. Eveline Ribas Kasper Fernandes, Cintia Marangoni, Ozair Souza and Noeli Sellin, “*Thermochemical characterization of banana leaves as a potential energy source*”. Energy Conversion and Management, Volume 75, November 2013, Pages 603-608.