

DOI:10.22144/ctujos.2025.022

TÌM HIỂU VÀ XÂY DỰNG MÔ HÌNH TRỒNG NẤM BÀO NGƯ XÁM BÁN TỰ ĐỘNG

Nguyễn Trúc Anh², Đặng Duy Thanh¹, Đào Đình Kiên¹, Nguyễn Thị Kiều Phương² và Đỗ Vinh Quang^{2*}

¹Sinh viên lớp Điều khiển và tự động hóa, Trường Đại học Kỹ thuật-Công nghệ Cần Thơ, Việt Nam

²Khoa Kỹ thuật cơ khí, Trường Đại học Kỹ thuật-Công nghệ Cần Thơ, Việt Nam

*Tác giả liên hệ (Corresponding author): dvquang@ctuet.edu.vn

Thông tin chung (Article Information)

Nhận bài (Received): 19/07/2024

Sửa bài (Revised): 27/08/2024

Duyệt đăng (Accepted): 25/11/2024

Title: Develops a plant for semi-automatic grey oyster mushroom cultivation

Author(s): Nguyen Truc Anh², Dang Duy Thanh¹, Dao Dinh Kien¹, Nguyen Thi Kieu Phuong² and Do Vinh Quang^{2*}

Affiliation(s): ¹Student of Control and Automation class, Can Tho University of Technology, Viet Nam; ²Department of Mechanical Engineering, Can Tho University of Technology, Viet Nam

TÓM TẮT

Bài báo tìm hiểu và xây dựng mô hình trồng nấm bán tự động với mục đích tăng năng suất, sản lượng và chất lượng nấm, tiết kiệm chi phí thông qua việc giảm thời gian và công chăm sóc của người nông dân. Mục tiêu của nghiên cứu là xây một mô hình trồng nấm bán tự động và điều khiển được các thông số như nhiệt độ, độ ẩm bên trong của mô hình sao cho đạt điều kiện lý tưởng cho sự sinh trưởng và phát triển của nấm. Mô hình hoàn chỉnh là sự tích hợp của công nghệ truyền thông LoRa và Modbus TCP/IP truyền dữ liệu thu thập từ các cảm biến để có thể giám sát và điều khiển toàn bộ hệ thống thông qua giao diện HMI và Web server. Quá trình thử nghiệm điều khiển vòng hở và vòng kín đối với 2 thông số nhiệt độ và độ ẩm đều cho kết quả tốt và hệ thống hoạt động ổn định trong khoảng thời gian dài. Nấm bào ngư xám sau khi trồng thực nghiệm trong mô hình trồng nấm bán tự động có phần vượt trội hơn nấm được trồng ở môi trường bên ngoài cả về chất lượng và số lượng.

Từ khóa: Bán tự động, công nghệ truyền thông LoRa, công nghệ truyền thông Modbus TCP/IP, mô hình nhà kính trồng nấm

ABSTRACT

The article explores and develops a plant for semi-automatic mushroom cultivation with the aim of increasing productivity, yield and quality of mushrooms, as well as reducing costs by saving time and effort for farmers. The research objective is to construct plant and to control its parameters, such as temperature and humidity, for optimal mushroom growth and development. The complete model integrates LoRa communication technology and Modbus TCP/IP to transmit data collected from sensors for monitoring and controlling the entire system through an HMI interface and Web server. Open-loop and closed-loop control of both temperature and humidity yielded positive results, and the system operated stably over an extended period. Cultivation of grey oyster mushrooms in the plant's environment surpassed those grown in an outdoor environment in terms of both quality and quantity.

Keywords: LoRa communication technology, mushroom greenhouse plant, Modbus TCP/IP communication technology, semi-automatic

1. GIỚI THIỆU

Cùng với sự phát triển của xã hội, dân số thế giới ngày càng tăng trong khi diện tích đất đặc biệt là đất nông nghiệp ngày càng thu hẹp. Theo tính toán của Liên hợp quốc, đến năm 2050 thế giới sẽ có thêm 2 tỷ người so với năm 2020 lên 9,7 tỷ người; với mức tăng này, theo cơ quan nông nghiệp của Liên hợp quốc FAO (Food and Agriculture Organization), sản xuất nông nghiệp phải tăng 70% (Iberdrola Innovation report, 2020-2022). Bên cạnh đó, khoa học và công nghệ ngày càng phát triển, cuộc cách mạng công nghệ lần thứ 4.0 với việc ứng dụng công nghệ kỹ thuật vào sản xuất có mục tiêu là tăng số lượng và chất lượng sản xuất, bằng cách tận dụng tối đa nguồn tài nguyên đồng thời giảm thiểu ảnh hưởng đến môi trường.

Nông nghiệp thông minh cũng có sự chuyển biến mạnh mẽ, nhất là trong việc số hóa và tự động hóa rộng rãi hơn, từ đó thích ứng nhanh với bối cảnh chuyển đổi số toàn cầu. Trong bối cảnh đó, việc sử dụng các nền tảng công nghệ cao như AI (Artificial Intelligence) và IoT (Internet of Things) trong quản lý nông nghiệp cho phép theo dõi sự thay đổi của các yếu tố khí hậu, đặc tính của đất, độ ẩm của đất,... thông qua các cảm biến và có thể liên kết các cảm biến từ xa và cho phép các thiết bị liên kết với nhau bằng phương thức kết nối diện rộng năng lượng thấp (LPWAN, Low-power wide-area network) để được vận hành tự động (Bacco et al., 2019; Luu et al., 2022). Trong số các công nghệ truyền thông LPWAN, phương thức LoRa và mạng LoRaWAN (Long-range wide-area network) là hai lựa chọn tiềm năng cho các ứng dụng quản lý nông nghiệp thông minh vì đáp ứng được mục đích tiêu thụ năng lượng thấp, kéo dài thời gian hoạt động của thiết bị đầu cuối và khả năng truyền tải với khoảng cách xa lên đến hàng chục km (Singh et al., 2020; Codeluppi et al., 2020). Hơn nữa, công nghệ IoT đặc biệt thích ứng với việc giám sát tĩnh, vì vậy có thể áp dụng hữu hiệu hơn cho trồng trọt so với chăn nuôi (Luu et al., 2022). Do đó, các nghiên cứu về ứng dụng IoT vào sản xuất nông nghiệp tập trung chủ yếu để trồng rau, cây ăn quả và cây cảnh. Trong những năm gần đây, việc áp dụng công nghệ IoT vào trồng nấm đã được lựa chọn thực hiện vì nhiều lý do như vì thời gian thu hoạch ngắn nên việc áp dụng kỹ thuật mới cũng dễ thấy được kết quả hơn; tốn ít chi phí để chuẩn bị mô hình do chỉ cần không gian nhỏ, không cần ánh sáng trực tiếp và giá trị kinh tế từ loại nông sản này mang lại nếu thử nghiệm thành công (An Giang Provincial Electronic Portal, 2023).

Một số nghiên cứu về mô hình trồng nấm như: Thiết kế và thi công mô hình giám sát và điều khiển mô hình trồng nấm rơm của Vu and Nguyen (2019), tuy nhiên nghiên cứu này sử dụng vi điều khiển chính là Arduino Nano và chỉ trồng được đặt thủ một loại nấm là nấm rơm. Tương tự, Ngo et al. (2020) sử dụng Arduino Mega 256 và Raspberry Pi 3 Model B + để thực hiện các chức năng tương tự; hoặc sản phẩm nghiên cứu của Quach and Nguyen (2021) sử dụng công nghệ IoT. Các nghiên cứu của Muhammad et al. (2020) và Mohammed et al. (2018) cũng sử dụng board Arduino kết hợp với ESP8266 để điều khiển và giám sát độ ẩm của nhà trồng nấm. Một cách tổng quan, các nghiên cứu trên đã chứng minh được tính khả thi của việc áp dụng công nghệ mới, tuy nhiên chưa đưa ra được kết quả của việc trồng thực nghiệm để thấy lợi ích của việc áp dụng công nghệ vào việc kiểm soát sự thay đổi của môi trường, từ đó tối ưu hóa điều kiện sinh trưởng nhằm tăng sản lượng và cải thiện giá trị kinh tế của quá trình canh tác.

Trên cơ sở nghiên cứu, kế thừa để cải tiến và ứng dụng công nghệ mới vào việc trồng nấm, mô hình trồng nấm bán tự động áp dụng công nghệ IoT đã được xây dựng. Trong nghiên cứu này, một mô hình nhà kính được thiết kế, chế tạo để sử dụng trồng thực nghiệm nấm bào ngư xám qua đó đánh giá và tối ưu hóa giải thuật điều khiển. Các thông số nhiệt độ và độ ẩm trong mô hình được điều khiển thông qua đèn, quạt và phun sương kết hợp, hệ thống giám sát các thông số và cảnh báo thông qua công nghệ truyền thông LoRa và Modbus TCP/IP nhằm mục đích tăng năng suất, sản lượng đồng thời giảm thời gian và công chăm sóc, đặc biệt giảm sự rủi ro nhiều lần so với trồng nấm thông thường. Việc kết hợp ứng dụng nhiều công nghệ phổ biến vào mô hình nhỏ này như LoRa, Modbus hay giao tiếp PLC-Arduino ngoài việc góp phần phục vụ học tập, nghiên cứu và sáng tạo cho tất cả mọi người có chung đam mê về kỹ thuật thì còn rất hữu ích khi mô hình trồng nấm được nhân rộng.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Tổng quan về mô hình

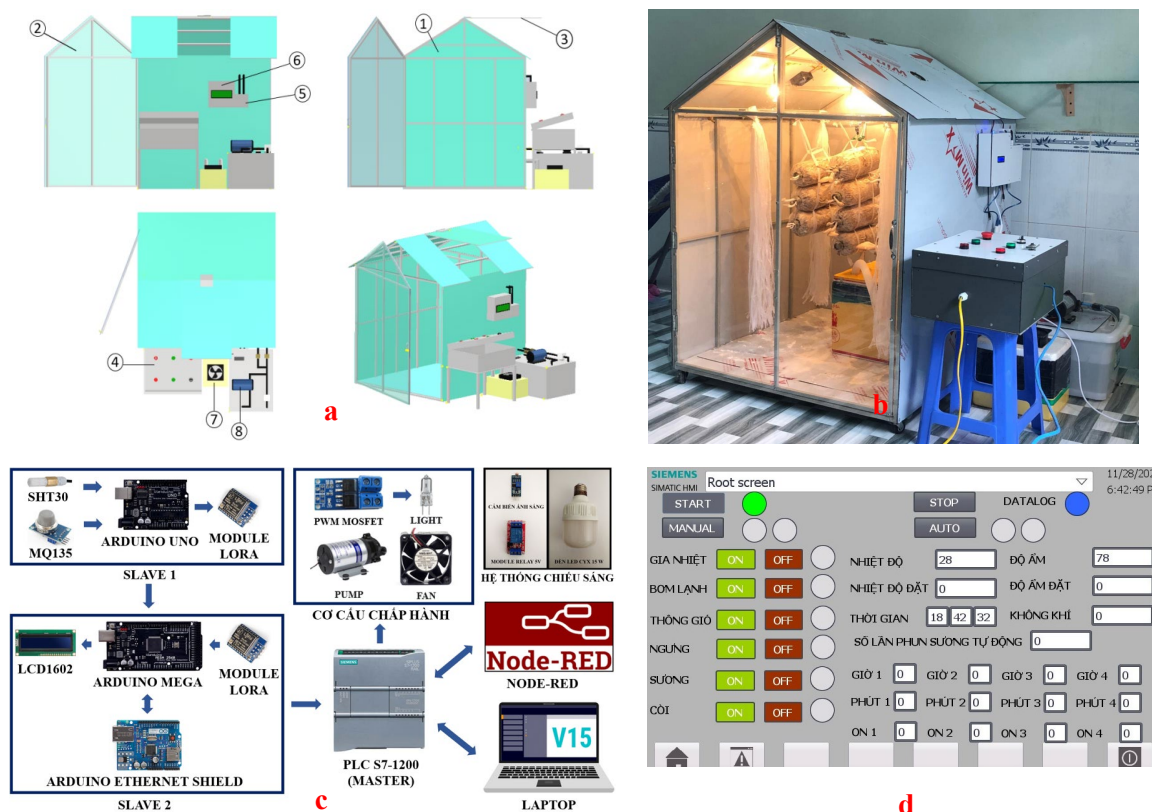
Mô hình trồng nấm bán tự động được thiết kế và xây dựng với 03 thành phần chính gồm (a) nhà trồng nấm (b) tủ điều khiển và (c) giao diện điều khiển như Hình 1. Các thiết bị chính sử dụng cho hệ thống được trình bày ở Bảng 1.

Bảng 1. Các thiết bị sử dụng cho mô hình

STT	Thiết bị	Số lượng	Thông số
1	PLC S7-1200	01	1212C DC/DC/DC
2	Arduino Uno	01	ATMEGA328P-PU
3	Arduino Mega	01	ATMEGA2560-16AU
4	Arduino Ethernet Shield	01	ATMEGA328
5	Module PWM Mosfet	01	Điện áp làm việc: DC 5 V - 36 V Nguồn tín hiệu: DC 3,3 V - 20 V Công suất đầu ra: DC 5 V - 36 V/15 A/400 W
3	Cảm biến nhiệt độ, độ ẩm SHT30	01	Điện áp sử dụng: 2,15 ~ 5,5 VDC Chuẩn giao tiếp: I2C Khoảng nhiệt độ đo được: -40 ~ 125°C, sai số 0,2°C.
6	Cảm biến chất lượng không khí MQ135	01	Điện áp nguồn <=24 V DC Nồng độ phát hiện của một số chất: 10 - 300 ppm NH ₃ , 10 - 1000 ppm Benzen, 10 - 300 ppm Alcol.
7	Module LoRa	02	SX1278 từ SEMTECH
8	Hệ thống gia nhiệt (5 bóng đèn Halogen G5.3)	01	24 V, 50 W
9	Hệ thống làm lạnh (1 Quạt tản nhiệt, 2 quạt sò)	01	Quạt tản nhiệt: 2 dây, 220 V Quạt sò: 2 dây, 24 V
10	Hệ thống phun sương (Bơm phun sương HF-8367)	01	24 V, 1.6 lít/phút
11	Hệ thống cảnh báo (đèn báo có còi AD16-22SM)	01	24 V, AD16-22SM
12	Hệ thống thông gió (2 quạt tản nhiệt)	01	2 dây, 5 V
13	Hệ thống chiếu sáng (đèn led Cyx)	01	220 V, 15 W
14	Tủ điện (Khối Master)	01	450x350x200 mm
15	Khối Slave 1	01	150x150x100 mm
16	Khối Slave 2	01	200x200x100 mm

Nguyên lý hoạt động của hệ thống được thể hiện như Hình 1c: Khối Slave 1 (Arduino Uno) sẽ đọc liên tục các giá trị của cảm biến nhiệt độ, độ ẩm SHT30 và cảm biến chất lượng không khí MQ135; sau đó gửi cho khối Slave 2 (Arduino Mega) bằng công nghệ truyền thông LoRa thông qua Module RF Lora SX1278 433Mhz Ra-02; sau khi nhận các giá trị về nhiệt độ, độ ẩm và chất lượng không khí từ Slave 1 thì Slave 2 sẽ hiển thị các giá trị đó lên màn hình LCD1602 và đồng thời gửi cho khối Master (PLC S7-1200) bằng công nghệ truyền thông

Modbus TCP/IP thông qua Arduino Ethernet Shield. Sau khi nhận các giá trị về nhiệt độ, độ ẩm và chất lượng không khí, PLC sẽ xử lý để thao tác với các hệ thống thông qua 2 chế độ là tự động, bằng tay. Đồng thời, hoạt động của toàn bộ mô hình sẽ được hiển thị trên màn hình máy tính với giao diện trên HMI và Web server. Bên cạnh đó, đối với các loại nấm cần ánh sáng, 1 hệ thống chiếu sáng tự động (bật đèn khi trời tối và tắt đèn khi trời sáng) được thiết kế thêm nhằm giúp cho sự phát triển của các loại nấm cần ánh sáng được tốt hơn.



Hình 1. Tổng quan hệ thống

a) Mô hình 3D, b) Mô hình thực tế, c) Nguyên lý điều khiển, d) Giao diện điều khiển

2.2. Thiết kế và thi công hệ thống

2.2.1. Phần cơ khí

Mô hình trồng nấm bán tự động được thiết kế trên phần mềm Inventor bao gồm: phần khung, các bộ phận của nhà kính, tủ điện điều khiển nhằm giúp hình dung được hình dạng và tìm cách bố trí các hệ thống một cách hợp lý. Mô hình sau đó được tiến hành thi công tại doanh nghiệp Vườn ươm Công nghệ Công nghiệp Việt Nam - Hàn Quốc tại thành phố Cần Thơ (KVIP, 2016). Tên các thiết bị và quy cách, kích thước được trình bày trong Bảng 1; bản vẽ 3D của mô hình được trình bày ở Hình 1a.

2.2.2. Xây dựng chương trình điều khiển

Chương trình điều khiển được xây dựng để kiểm soát các tín hiệu đầu vào, đầu ra, từ đó kiểm soát được toàn bộ quá trình (Hình 2). Nó được chia ra làm 2 phần gồm: (1) chương trình điều khiển đọc và truyền dữ liệu; và (2) chương trình điều khiển chính.

Chương trình 1 gồm khối Slave 1 để đọc các giá trị được thu thập từ cảm biến nhiệt độ, độ ẩm không khí và cảm biến chất lượng không khí, và tiếp theo

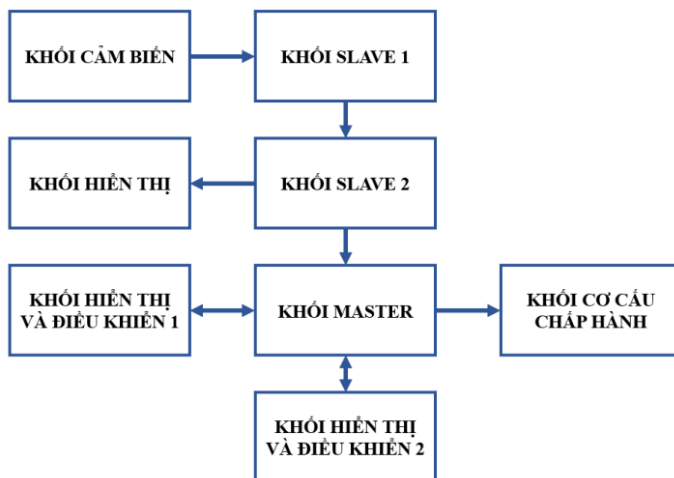
gửi các giá trị đó sang khối Slave 2 thông qua công nghệ truyền thông LoRa. Khối Slave 2 sẽ hiển thị các giá trị đó lên màn hình LCD1602 đồng thời gửi chúng sang PLC S7-1200 thuộc khối Master thông qua công nghệ truyền thông Modbus TCP/IP. Khối Master sau đó hiển thị các giá trị đó lên màn hình HMI và Web server bao gồm các giá trị về nhiệt độ, độ ẩm không khí và chất lượng không khí. Khối Master căn cứ vào chương trình 2 sẽ đưa ra quyết định để điều khiển cơ cấu chấp hành (Hình 1c).

Chương trình điều khiển chính gồm 2 chế độ là *tự động (auto)* và *bằng tay (manual)*. Ở chế độ tự động (Hình 2), PLC sẽ đọc các giá trị nhiệt độ, độ ẩm và chất lượng không khí được gửi từ Slave 2 để so sánh với giá trị mà ta đặt trên màn hình HMI hoặc trên Node - RED để bật tắt các hệ thống cho phù hợp:

- Nếu nhiệt độ đặt > nhiệt độ đo thì sẽ bật hệ thống gia nhiệt áp dụng PID để điều khiển nhiệt độ một cách hợp lý.

- Nếu nhiệt độ đặt < nhiệt độ đo thì sẽ bật hệ thống làm lạnh.
- Nếu độ ẩm đặt > độ ẩm đo thì sẽ bật hệ thống phun sương (hệ thống phun sương hoạt động theo nguyên tắc tuần tự phun sương 10 s ngưng 5 s).
- Nếu độ ẩm đặt < độ ẩm đo + 5,0% thì sẽ bật hệ thống gia nhiệt.
- Nếu chất lượng không khí trong mô hình ≥ 50 ppm thì sẽ bật hệ thống cảnh báo và thông gió.

Chế độ Manual chủ yếu được dùng để kiểm tra tình trạng thiết bị, trong đó người dùng có thể điều khiển từng thiết bị riêng lẻ để kiểm tra tình trạng của chúng. Việc này có thể được thực hiện thông qua các nút nhấn trên tủ điện, màn hình HMI hoặc các công tắc trên Web server. Ngoài ra, ta còn có thể cài đặt số lần phun sương theo ngày, tối thiểu là 1 lần/ngày và tối đa là 4 lần/ngày trên màn hình HMI hoặc trên Web server. Việc Bật phun sương diễn ra khi giờ, phút cài đặt bằng với giờ, phút trên PLC và Tắt phun sương khi giây cài đặt bé hơn số giây trên PLC.



Hình 2. Sơ đồ điều khiển tổng quát

2.2.3. Xây dựng giao diện điều khiển, giám sát và thu thập dữ liệu

Trong mô hình trồng nấm bán tự động, việc điều khiển, giám sát và thu thập dữ liệu về các giá trị nhiệt độ, độ ẩm và chất lượng không khí cho mô hình là quan trọng và đặc biệt là kết hợp với công nghệ IoT để thực hiện việc này. Hai giao diện điều khiển trên màn hình HMI (thiết kế trên TIA Portal) và trên Web server (thiết kế trên Node-RED) đã được xây dựng.

Giao diện điều khiển trên màn hình HMI được thiết kế dựa trên phần mềm TIA Portal. Giao diện trên Web server được xây dựng dựa vào phần mềm Node-RED gồm các bước:

Bước 1: Cài đặt và thiết kế giao diện điều khiển, giám sát và thu thập dữ liệu trên Node-RED.

Bước 2: Kết nối Node-RED với PLC S7-1200 thông qua địa chỉ IP của PLC và thư viện “node-red-contrib-s7”.

Bước 3: Truy cập Web: <http://127.0.0.1:1880/> để vào giao diện điều khiển, giám sát trên Web server.

Về phía PLC, ta phải cấu hình cho thiết bị này trên TIA Portal để tương tác với Node-RED theo các bước sau:

Bước 1: Xây dựng chương trình tạo file csv và đưa các dữ liệu về các giá trị nhiệt độ, độ ẩm và chất lượng không khí vào file csv trên TIA Portal bằng các khối “DataLogCreate” và “DataLogWrite”.

Bước 2: Cấu hình Web server cho PLC S7-1200. Kích hoạt chức năng Webserver bằng cách chọn thuộc tính “Activate Web server on all modules of this device” và tạo tài khoản để đăng nhập vào Web server.

Bước 3: Truy cập Web: <http://192.168.1.100> (với 192.168.1.100 là địa chỉ IP của PLC) và đăng nhập với tài khoản đã tạo ở bước 2 và tải file csv về.

2.2.4. Xây dựng thuật toán điều khiển

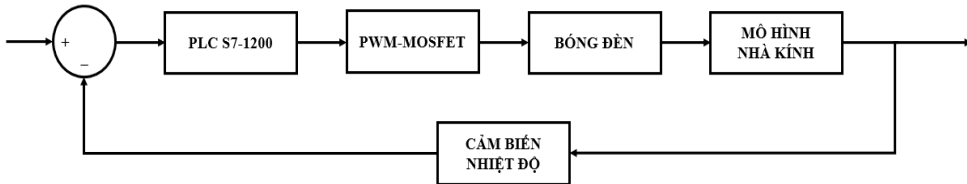
Trong mô hình trồng nấm bán tự động, việc gia nhiệt và duy trì nhiệt độ cho mô hình một giá trị mong muốn là rất quan trọng. Bài toán điều khiển nhiệt độ này được tiến hành dựa trên nguyên lý điều khiển hồi tiếp như trong Hình 3: Bộ điều khiển PID trong PLC S7-1200 tiếp nhận và so sánh giá trị nhiệt

độ trong mô hình mà Slave 2 gửi về với nhiệt độ đặt của người điều khiển, từ đó cấp tín hiệu điều khiển với mức điện áp 0 - 10 V dưới dạng xung PWM để điều khiển công suất của bóng đèn.

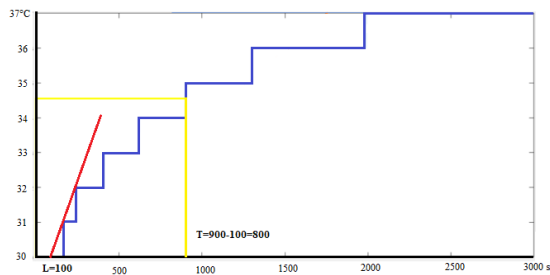
Để tìm thông số điều chỉnh cho bộ điều khiển PID của PLC một cách phù hợp, một mô hình toán cần được xây dựng. Các bước cụ thể bao gồm:

Bước 1: Áp dụng phương pháp kẻ tiếp tuyến (Hoang, 2009) dựa trên dữ liệu đầu vào là công suất cấp nhiệt và đầu ra là nhiệt độ không khí trong nhà kính để rút ra được mô hình FOPDT (first order plus dead time - phương trình vi phân bậc nhất có trễ) của hệ như công thức (1).

$$G(s) = \frac{8,75e^{-100s}}{800s+1} \quad (1)$$



Hình 3. Mô hình điều khiển nhiệt độ



Hình 4. Áp dụng phương pháp kẻ tiếp tuyến để rút ra mô hình toán

Bước 2: Với các thông số của quá trình vòng hở có được, phương pháp điều khiển mô hình nội bộ (Internal Model Control - IMC) (Hoang, 2009) được áp dụng để tìm các thông số điều chỉnh cho bộ điều khiển PID mà có dạng tiêu chuẩn như phương trình (2).

$$u = K_c \cdot e(t) + \frac{K_c}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_c \cdot T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2)$$

Chọn hằng số thời gian vòng kín $T_c = \frac{T}{3}$

Ta được:

$$T_i = \tau + 0,5 \cdot \theta = 800 + 0,5 \cdot 100 = 850 \text{ (s)}$$

$$T_d = \frac{\tau \cdot \theta}{2 \cdot T_i} = \frac{800 \cdot 100}{2 \cdot 850} = 47,05882 \text{ (s)}$$

$$K_c = \frac{T_i}{(T_c + 0,5 \cdot \theta) \cdot k} = \frac{850}{(\frac{800}{3} + 0,5 \cdot 100) \cdot 8,75} = 0,30677$$

Bước 3: Chuyển các thông số này sang bộ điều khiển PID cấu trúc dạng lý tưởng (3) mà được sử dụng trong Simulink và TIA Portal:

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_I \int_0^t e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (3)$$

Các thông số cho bộ điều khiển PID sử dụng trong Simulink và TIA Portal:

$$K_P = K_C = 0,30677$$

$$K_I = \frac{K_c}{T_i} = \frac{0,30677}{850} = 0,00036$$

$$K_D = K_C \cdot T_d = 0,30677 \cdot 47,05882 = 14,43623$$

Cuối cùng, kết quả được tiến hành kiểm chứng đối với bộ thông số điều khiển tìm được trên mô hình lý thuyết thông qua MATLAB/Simulink và trên mô hình trồng nấm bán tự động.

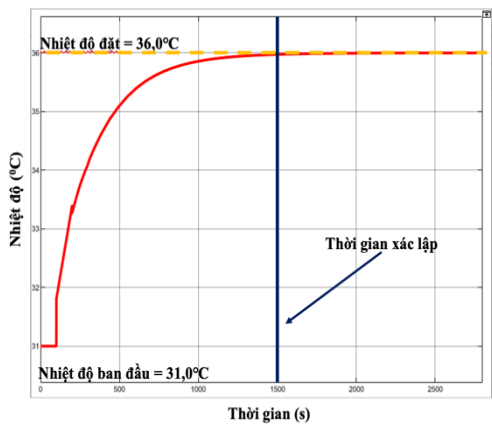
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả kiểm chứng đáp ứng của bộ điều khiển PID

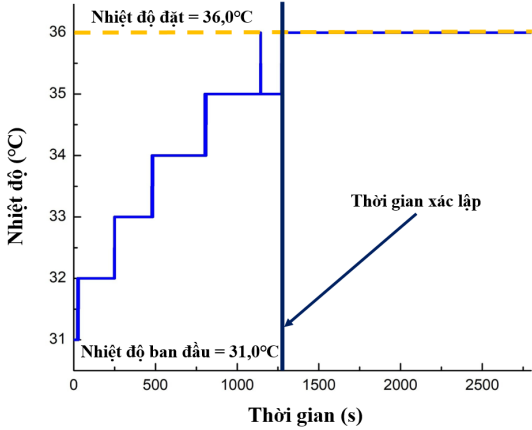
Việc kiểm chứng đáp ứng của bộ điều khiển PID được tiến hành với giá trị nhiệt độ ban đầu là 31,0°C và giá trị đặt là 36,0°C với hai mô hình là mô phỏng trên Matlab Simulink và thực nghiệm trên mô hình trồng nấm. Kết quả được thể hiện tương ứng trên Hình 5 và tóm tắt ở Bảng 2. Có thể thấy, mô hình toán phản ánh rất tốt động học của hệ thống thực và các thông số điều khiển tìm được ở trên cho kết quả điều khiển tốt với thời gian xác lập nhanh, độ vọt lố và sai số gần bằng không.

Bảng 2. Đánh giá chất lượng điều khiển khi mô phỏng và thực nghiệm

	Mô phỏng	Thực nghiệm
Thời gian xác lập	1265 s	1265 s
Độ vọt lố	0%	0%
Sai số	0,0°C	0,0°C



A



B

Hình 5. Đáp ứng của bộ điều khiển PID trên mô phỏng (a) và thực nghiệm (b)

3.2. Giao diện điều khiển, giám sát và thu thập dữ liệu

Kết quả thử nghiệm cho thấy giao diện điều khiển, giám sát và thu thập dữ liệu trên màn hình HMI trực quan, sinh động, chạy ổn định, dễ điều khiển với đèn báo trạng thái, hiển thị nhiệt độ để giúp người vận hành giám sát và điều khiển dễ dàng hơn (Hình 1d). Hệ thống Web server hoạt động tốt, chạy ổn định, giao diện trực quan sinh động; chức năng từng đối tượng điều khiển, giám sát và thu thập

dữ liệu trên Web server tương tự như trên HMI (Hình 6).

3.3. Kiểm tra đáp ứng của các hệ thống trước khi tiến hành trồng nấm

Trước khi tiến hành trồng thực nghiệm, các hệ thống gia nhiệt, làm lạnh, phun sương đều được thử nghiệm. Kết quả được tóm tắt trình bày từ Bảng 3 đến Bảng 6. Kết quả cho thấy, ta có thể kiểm soát được nhiệt độ và độ ẩm của mô hình trên. Cụ thể:

Bảng 3. Kết quả chạy thử nghiệm hệ thống gia nhiệt

	Thời gian (phút)	Nhiệt độ trong mô hình (°C)	Độ ẩm trong mô hình (%)	Nhiệt độ môi trường (°C)	Độ ẩm môi trường (%)
Bắt đầu	0	32,0	69,0	32,0	64,0
Kết thúc	60	39,0	47,0	30,9	63,9



Hình 6. Giao diện của hệ thống trên Webserver

Bảng 4. Kết quả chạy thử nghiệm hệ thống làm lạnh

	Thời gian (phút)	Nhiệt độ trong mô hình (°C)	Độ ẩm trong mô hình (%)	Nhiệt độ môi trường (°C)	Độ ẩm môi trường (%)
Bắt đầu	0	30,0	70,0	30,2	65,4
Kết thúc	120	25,0	77,0	31,0	64,1

Bảng 5. Kết quả chạy thử nghiệm hệ thống phun sương

	Thời gian (phút)	Độ ẩm trong mô hình (%)	Độ ẩm môi trường (%)
Bắt đầu	0	68,0	63,4
Kết thúc	110	87,0	63,4

Bảng 6. Kết quả chạy thử nghiệm điều kiện kép với nhiệt độ lần lượt 23,0°C, 28,0°C, 30,0°C và độ ẩm 85,0%

Bên trong mô hình				
STT	Nhiệt độ bắt đầu (°C)	Nhiệt độ kết thúc (°C)	Độ ẩm bắt đầu (%)	Độ ẩm kết thúc (%)
Lần 1	29,0	23,0	64,0	85,0
Lần 2	23,0	28,0	85,0	85,0
Lần 3	28,0	30,0	85,0	85,0
Bên ngoài mô hình				
STT	Nhiệt độ bắt đầu (°C)	Nhiệt độ kết thúc (°C)	Độ ẩm bắt đầu (%)	Độ ẩm kết thúc (%)
Lần 1	29,2	29,1	64,3	63,8
Lần 2	29,0	28,9	63,4	64,0
Lần 3	29,4	29,2	63,9	64,0

Kết quả hệ thống gia nhiệt (Bảng 3): Sau thời gian gia nhiệt 60 phút với công suất 80,0% thì nhiệt độ trong mô hình tăng từ 32,0°C lên 39,0°C (tăng 7,0°C), độ ẩm giảm từ 69,0% xuống còn 47,0% (giảm 22,0%). Như vậy, khi nhiệt độ xuống quá thấp hoặc độ ẩm tăng quá cao gây ảnh hưởng cho nấm, thì hệ thống gia nhiệt có thể giúp ổn định lại nhiệt độ cũng như độ ẩm trong mô hình nhà kính.

Kết quả hệ thống làm lạnh (Bảng 4): Sau thời gian làm lạnh 120 phút bằng cách quạt thổi hơi lạnh từ thùng xốp chứa nước đá với công suất quạt 100,0% thì nhiệt độ trong mô hình hạ từ 30,0°C xuống 25,0°C (giảm 5,0°C), độ ẩm tăng từ 70,0% lên 77,0% (tăng 7,0%). Như vậy, khi nhiệt độ tăng quá cao hoặc độ ẩm giảm quá thấp gây ảnh hưởng cho nấm, thì hệ thống làm lạnh có thể giúp ổn định lại nhiệt độ cũng như độ ẩm (kết hợp với hệ thống phun sương để tăng độ ẩm nhanh hơn) trong mô hình nhà kính.

Kết quả hệ thống phun sương (Bảng 5): Sau thời gian phun sương liên tục 110 giây với công suất 100,0%, độ ẩm trong mô hình tăng từ 68,0% lên 87,0% (tăng 19,0%). Kết quả thu được cho thấy, tốc độ đáp ứng về độ ẩm trong mô hình là khá nhanh và không bị ảnh hưởng quá nhiều từ môi trường bên ngoài.

Kết quả chạy thử nghiệm điều kiện kép với nhiệt độ 23,0°C, 28,0°C, 30,0°C và độ ẩm 85,0%

(Bảng 6): Kết quả sau 3 lần chạy liên tục cho thấy nhiệt độ và độ ẩm trong mô hình hoàn toàn có thể được kiểm soát đồng thời và có thể được giữ ổn định trong khoảng thời gian dài. Việc điều khiển cũng không bị ảnh hưởng quá nhiều bởi môi trường bên ngoài.

3.4. Kết quả quá trình trồng nấm bào ngư xám

Nấm bào ngư xám (Nguyen, 2014) được chọn để trồng thử nghiệm trong mô hình nhà kính vì mang lại nhiều lợi ích như: Là loại thực phẩm có giá trị dinh dưỡng cao, đồng thời là dược liệu quý trong việc duy trì, bảo vệ sức khỏe, phòng chống nhiều bệnh kể cả ung thư, u bướu và cũng là nguồn hàng xuất khẩu có giá trị. Điều kiện thích hợp nhất để nấm có thể hình thành và phát triển là độ ẩm môi trường không khí nơi trồng nấm đạt 85-90% và nhiệt độ thích hợp 25-32°C, nhiệt độ tối ưu 27-28°C (Agricultural Extension Center, 2022).

Sau 5 ngày trồng thử nghiệm (3 ngày chạy chế độ bằng tay và 2 ngày chạy chế độ tự động) ở nhiệt độ đặt 28,0°C và độ ẩm đặt 85,0% thì nấm đã được thu hoạch. Kết quả điều khiển được tóm tắt ở Bảng 7 và Bảng 8. Ở cả hai chế độ điều khiển là tự động và bằng tay, nhiệt độ và độ ẩm đều đạt mức ổn định tối ưu nhất cho nấm phát triển với nhiệt độ 27,0 – 28,0°C và độ ẩm 85,0 – 90,0%. Việc điều khiển không bị ảnh hưởng quá nhiều bởi môi trường bên ngoài.

Bảng 7. Thông số chạy chế độ bằng tay

Thời gian	Giá trị môi trường bên trong mô hình				Chất lượng không khí (ppm)
	Nhiệt độ bắt đầu (°C)	Nhiệt độ kết thúc (°C)	Độ ẩm bắt đầu (%)	Độ ẩm kết thúc (%)	
Ngày 1	30,0	27,0	74,0	89,0	Đạt
Ngày 3	31,0	28,0	77,0	85,0	Đạt
Ngày 5	29,0	28,0	81,0	85,0	Đạt

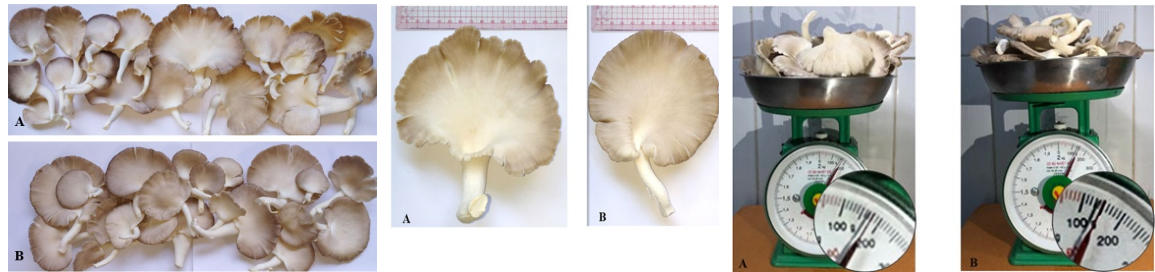
Bảng 8. Thông số chạy chế độ tự động với nhiệt độ đặt 28,0°C và độ ẩm đặt 85,0%

Thời gian	Giá trị môi trường bên trong mô hình				Chất lượng không khí (ppm)
	Nhiệt độ bắt đầu (°C)	Nhiệt độ kết thúc (°C)	Độ ẩm bắt đầu (%)	Độ ẩm kết thúc (%)	
Ngày 2	29,0	28,0	81,0	85,0	Đạt
Ngày 4	28,0	28,0	84,0	89,0	Đạt

3.5. Sản lượng nấm bào ngư xám

Kết quả trồng nấm trong mô hình (A) và trồng ngoài điều kiện tự nhiên (B) được thể hiện ở Hình 7 và Bảng 9. Tuy cùng số lượng phôi nấm (9 phôi), nhưng sản lượng nấm từ quá trình trồng trong mô hình (180 g) cao hơn so với quá trình trồng ngoài môi trường (150 g) và kích thước tai nấm lớn nhất được trồng trong mô hình (155 mm) cũng lớn hơn

so với tai nấm lớn nhất được trồng bên ngoài (124 mm). Điều này cho thấy có sự ảnh hưởng tích cực từ điều kiện trồng trong mô hình đối với sự phát triển và sản lượng của nấm. Có thể giải thích sự chênh lệch này bằng nhiều yếu tố, bao gồm điều kiện môi trường được kiểm soát chặt chẽ trong mô hình, nhiệt độ và độ ẩm tốt hơn. Những yếu tố này có thể tạo ra môi trường lý tưởng để nấm sinh trưởng và phát triển.



Hình 7. Nấm bào ngư xám được trồng trong hai môi trường

Bảng 9. So sánh sản lượng nấm trong hai môi trường

	Nấm trong mô hình	Nấm ngoài mô hình
Số lượng phôi	09	09
Số lượng tai nấm	23	22
Trọng lượng (gam)	180	150
Kích thước tai nấm (mm)	155	124

4. KẾT LUẬN

Mô hình trồng nấm bán tự động đã được hoàn thành và thử nghiệm thành công. Công nghệ truyền thông LoRa và Modbus TCP/IP đã được áp dụng để

truyền dữ liệu về nhiệt độ, độ ẩm, chất lượng không khí giữa các vi điều khiển với nhau. Giao diện HMI và Web server được xây dựng để điều khiển, giám sát và thu thập dữ liệu của toàn bộ hệ thống. Thông qua mô hình thực tế, mô hình toán của quá trình gia nhiệt cũng được rút ra bằng phương pháp nhận dạng hệ thống mà từ đó tính toán thông số cho bộ điều khiển PID. Kết quả mô phỏng và thực nghiệm cho thấy bộ thông số điều khiển PID tìm được bằng phương pháp IMC làm việc hiệu quả. Quá trình thử nghiệm điều khiển vòng hở và vòng kín đối với 2 thông số nhiệt độ và độ ẩm đều cho kết quả tốt và hệ thống hoạt động ổn định trong khoảng thời gian dài. Chất lượng nấm bào ngư xám sau khi trồng thực nghiệm trong mô hình trồng nấm bán tự động có phần vượt trội hơn nấm được trồng ở môi trường bên ngoài cả về chất lượng và số lượng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO (REFERENCES)

- An Giang Provincial Electronic Portal. (2023). *Growing grey oyster mushrooms brings economic efficiency to farmers in border towns (in Vietnamese)*.
<https://angiang.gov.vn/wps/portal/Home/tin-tuc/chi-tiet/trong-nam-bao-ngu-xam-mang-lai-hieu-qua-kinh-te-cho-nong-dan-thi-xa-vung-bien>
- Agricultural Extension Center. (2022). *Techniques for growing grey oyster mushrooms (in Vietnamese)*.
<https://khuyennongtpcm.vn/ky-thuat-trong-nam-bao-ngu/>
- Bacco, M., Barsocchi, P., Ferro, E., Gotta, A., & Ruggeri, M. (2019). The digitisation of agriculture: a survey of research activities on smart farming. *Array*, 3-4, 100009.
<https://doi.org/10.1016/j.array.2019.100009>
- Codeluppi, G., Cilfone, A., Davoli, L., & Ferrari, G. (2020). anhFarM: a LoRaWAN-based smart farming modular IoT architecture. *Sensors*, 20(7).
<https://doi.org/10.3390/s20072028>
- Hoang, M. S. (2009). Fundamentals of process control systems. Hanoi University of Science and Technology Publishing House (in Vietnamese).
- Iberdrola Innovation report. (2020-2022). *Smart farming, precision agriculture to achieve a more sustainable world*.
<https://www.iberdrola.com/innovation/smart-farming-precision-agriculture>
- KVIP. (2016). General introduction to the Industrial Technology Incubator Vietnam - Korea.
<http://kvip.com.vn/gioi-thieu/gioi-thieu-chung-15.html>
- Luu, T. Q. T., Vuong, Q. H., Vu, M. T., Nguyen, T. S., Chu, D. H., La, V. H., & Pham, M. T. (2022). Connectivity technology in smart agriculture production and orientation for Vietnam. *Vietnam Journal of Science and Technology (in Vietnamese)*.
<http://vjst.vn/vn/tin-tuc/5927/cong-nghe-ket-noi-trong-san-xuat-nong-nghiep-thong-minh-va-dinh-huong-cho-viet-nam.aspx>
- Mohammed, M. F., Azmi, A., Zakaria, Z., Tajuddin, M. F. N., Isa, Z. M., & Azmi, S. A. (2018). IoT based monitoring and environment control system for indoor cultivation of oyster mushroom. *Journal of Physics: Conference Series*, Conf. Ser. 1019 012053.
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1019/1/012053>
- Muhammad, A. M. A., Muhammad, I. R., Mohd, N. M. A., Marina, I., Zarina, Z., Nor, D. A., & Nursuriati, J. (2020). *Automatic Climate Control for Mushroom Cultivation Using IoT Approach. IEEE*.
<https://doi.org/10.1109/ICSET51301.2020.9265383>
- Ngo, A. T., Pham, M. T., Pham, M. T., & Dang, A. V. (2020). An automation system for mushroom production using IoT technology. *Vietnam Industry and Trade Journal (in Vietnamese)*.
<https://tapchicongthuong.vn/an-automation-system-for-mushroom-production-using-iot-technology-72766.htm>
- Nguyen, T. H. (2014). *Mushroom cultivation techniques*. Thanh Hóa Publishing House (in Vietnamese).
- Quach, C. H., & Nguyen, T. S. (2021). Smart mushroom-growing device at home – A new solution for households cultivating fresh mushrooms. *Vietnam Journal of Science and Technology (in Vietnamese)*.
<https://vjst.vn/vjsta/tin-tuc/4378/thiet-bi-trong-nam-thong-minh-tai-nha---giai-phap-moi-cho-cac-ho-gia-dinh-trong-nam-tuoi-sach.aspx>
- Singh, R. K., Aernouts, M., Meyer, M. D., Weyn, M., & Berkvens, R. (2020). Leveraging LoRaWAN technology for precision agriculture in greenhouses. *Sensors*, 20(7).
<https://doi.org/10.3390/s20071827>
- Vu, T. N. D., & Nguyen, H. H. Q. (2019). *Design and implementation of a monitoring and control model for straw mushroom cultivation. Undergraduate Thesis*, Ho Chi Minh City University of Technology and Education, Ho Chi Minh City (in Vietnamese).