

THIẾT KẾ HỆ THỐNG TỎA NHIỆT VỚI PHẦN MỀM SCADA GIÁM SÁT VÀ ĐIỀU KHIỂN NHIỆT ĐỘ CHO MA-NƠ-CANH CƠ THỂ NGƯỜI

**Nguyễn Thị Kim Thanh¹, Nguyễn Thị Như Lan², Hoàng Đắc Huy¹,
Lê Thành Tới¹, Văn Tấn Lượng¹, Phạm Hồ Mai Anh^{1*}**

¹*Trường Đại học Công Thương Thành phố Hồ Chí Minh*

²*Trường Đại học Bách Khoa Thành phố Hồ Chí Minh*

*Email: anhphm@huit.edu.vn

Ngày nhận bài: 26/02/2024; Ngày nhận bài sửa: 20/5/2024; Ngày chấp nhận đăng: 05/6/2024

TÓM TẮT

Nghiên cứu này trình bày quá trình thiết kế, chế tạo và vận hành một hệ thống ma-nơ-canh tỏa nhiệt có khả năng mô phỏng sự phân bố nhiệt độ tại 15 vị trí trên cơ thể người. Mỗi vị trí được gia nhiệt bằng điện trở và điều khiển độc lập thông qua phần mềm SCADA, nhờ đó nhiệt độ cài đặt có thể được điều chỉnh phù hợp với từng vùng cơ thể. Hệ thống đồng thời thực hiện chức năng giám sát, thu nhận và lưu trữ dữ liệu nhiệt độ trong suốt quá trình thử nghiệm. Dữ liệu được xuất sang Microsoft Excel để phục vụ xử lý và phân tích, đồng thời có thể được theo dõi từ máy tính thông qua giao diện điều khiển. Kết quả vận hành cho thấy mô hình đáp ứng yêu cầu điều khiển nhiệt độ theo từng vị trí và có thể được sử dụng trong các thí nghiệm đánh giá tiện nghi nhiệt của trang phục.

Từ khóa: SCADA, ma-nơ-canh tỏa nhiệt, điều khiển nhiệt độ, mô phỏng nhiệt cơ thể, tiện nghi nhiệt.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Các nghiên cứu mô phỏng trao đổi nhiệt của cơ thể người đã được triển khai từ nhiều thập kỷ trước; những ma-nơ-canh tỏa nhiệt đầu tiên xuất hiện vào khoảng những năm 1940 để phục vụ nghiên cứu truyền nhiệt và tiện nghi nhiệt [1]. Hiện nay, thiết bị này được sử dụng trong nhiều bối cảnh khác nhau. Trong bảo hộ lao động, ma-nơ-canh hỗ trợ đánh giá mức độ bảo vệ của trang phục chống cháy ở môi trường nhiệt cao [2]. Trong ngành ô tô, thiết bị được dùng để khảo sát an toàn và cảm giác tiện nghi của người ngồi trong khoang xe [3]. Ma-nơ-canh nhiệt cũng được ứng dụng trong nghiên cứu sử dụng năng lượng của công trình dưới các chế độ điều hòa không khí hoặc sưởi ấm khác nhau [4]. Riêng trong lĩnh vực dệt may, thiết bị tạo điều kiện đánh giá khả năng cách nhiệt và các đặc tính liên quan đến tiện nghi của vật liệu, sản phẩm may mặc [5].

Cấu tạo và chế độ vận hành của ma-nơ-canh tỏa nhiệt phụ thuộc vào mục tiêu của từng nghiên cứu. Nhiều hệ thống đang sử dụng một giá trị nhiệt độ chung cho toàn bộ bề mặt cơ thể, thường vào khoảng 34 °C. Tuy nhiên, cách cài đặt đồng nhất này chưa thể hiện được sự khác biệt nhiệt độ giữa các vùng trên cơ thể người [6].

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) được sử dụng để kết nối hoạt động giám sát, điều khiển và thu nhận dữ liệu trong một hệ thống kỹ thuật. Thông qua giao diện phần mềm, người vận hành có thể theo dõi thiết bị, thay đổi thông số cài đặt, lưu trữ dữ liệu và thực hiện một số thao tác từ xa. Việc tích hợp các chức năng này giúp giảm khối lượng thao tác thủ công và hỗ trợ hệ thống vận hành liên tục, có kiểm soát [7,8].

Một cấu hình SCADA điển hình gồm máy tính giám sát, bộ điều khiển, cảm biến, cơ cấu chấp hành, hạ tầng truyền thông và giao diện người dùng. Khả năng kết nối nhiều loại thiết bị cho phép SCADA được triển khai trong các hệ thống điện, dây chuyền sản xuất, chế biến thực phẩm, hạ tầng kỹ thuật và an ninh [9].

Trong nghiên cứu này, SCADA được tích hợp với ma-nơ-canh tỏa nhiệt để điều khiển riêng 15 vùng gia nhiệt tương ứng với các vị trí đặc trưng trên cơ thể. Nhiệt độ cài đặt và nhiệt độ đo thực tế tại

từng vùng được hiển thị trên giao diện, đồng thời dữ liệu được ghi nhận trong suốt quá trình thí nghiệm. Cách tổ chức này cho phép mô phỏng sự phân bố nhiệt độ theo vị trí và cung cấp dữ liệu phục vụ đánh giá hệ thống.

2. ĐỐI TƯỢNG VÀ NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu gồm ma-nơ-canh tòa nhiệt, cụm thu nhận và điều khiển tín hiệu, cùng phần mềm SCADA phục vụ thí nghiệm tiện nghi trang phục. Cụm phần cứng tiếp nhận dữ liệu từ cảm biến, điều khiển các phần tử gia nhiệt và truyền thông tin đến máy tính. Phần mềm SCADA hiển thị nhiệt độ tại từng vị trí, lưu dữ liệu đo và xuất kết quả sang tệp Microsoft Excel. Toàn bộ các thành phần được vận hành như một hệ thống thống nhất để giám sát và điều khiển quá trình thử nghiệm.

2.2. Nội dung nghiên cứu

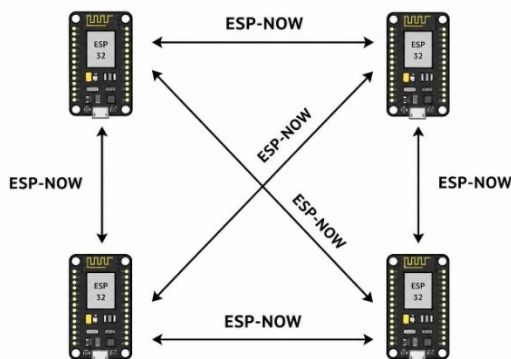
- Thiết kế và chế tạo hệ thống ma-nơ-canh tòa nhiệt.
- Xây dựng phần mềm SCADA để giám sát và điều khiển nhiệt độ.
- Xây dựng quy trình thực hành thí nghiệm trên ma-nơ-canh tòa nhiệt.

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

3.1. Nguyên lý và thiết kế chế tạo hệ thống ma-nơ-canh nhiệt

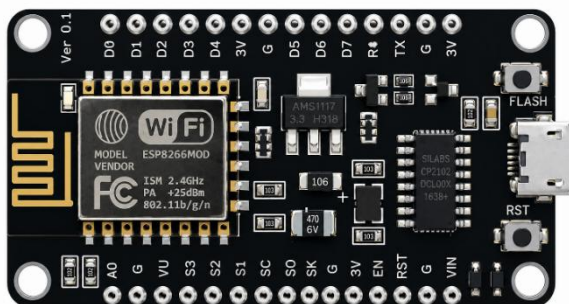
Kiến trúc hệ thống gồm hai IoT Node và một IoT Gateway. Gateway tiếp nhận dữ liệu từ các Node, xử lý và chuyển thông tin đến máy tính để hiển thị. Mỗi Node có thể thu nhận tín hiệu của tối đa tám cảm biến, đồng thời điều khiển tám phần tử gia nhiệt độc lập. Sau khi nhận giá trị cài đặt từ Gateway, Node điều chỉnh công suất gia nhiệt để duy trì nhiệt độ yêu cầu. Với hai Node, mô hình quản lý được 15 vị trí trên ma-nơ-canh. Trên máy tính, phần mềm giám sát hiển thị đồng thời nhiệt độ cài đặt và nhiệt độ thực tế của toàn bộ các điểm đo.

Dữ liệu giữa Gateway và các Node được truyền bằng ESP-NOW trên nền tảng ESP8266. Giao thức này cho phép các thiết bị đã ghép nối trao đổi trực tiếp mà không cần bộ định tuyến Wi-Fi. Đặc điểm truyền ngang hàng và độ trễ thấp phù hợp với yêu cầu cập nhật liên tục của hệ thống đo nhiệt độ. Khi một thiết bị khởi động lại, kết nối với các thiết bị đã thiết lập được phục hồi để tiếp tục quá trình truyền nhận dữ liệu [15].



Hình 1. Giao tiếp hai chiều giữa các thiết bị bằng giao thức ESP-NOW

ESP8266 NodeMCU được chọn làm vi điều khiển cho các module trong hệ thống vì tích hợp kết nối Wi-Fi 2,4 GHz, có kích thước gọn và thuận tiện cho việc lập trình. Phiên bản ESP8266EX sử dụng bộ xử lý Tensilica L106 32 bit, hỗ trợ xung nhịp đến 160 MHz. Cấu hình này đáp ứng yêu cầu xử lý tín hiệu từ nhiều cảm biến và duy trì truyền thông không dây trong quá trình thí nghiệm [16].



Hình 2. Module ESP8266 NodeMCU

Ăng-ten 2,4 GHz đảm nhiệm việc phát và thu tín hiệu giữa Gateway với các Node. Bộ phận này được bố trí nhằm duy trì chất lượng kết nối và hạn chế gián đoạn khi dữ liệu nhiệt độ được truyền liên tục.



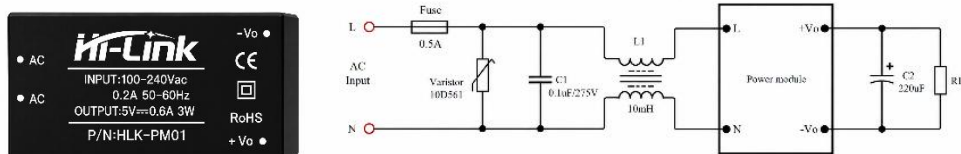
Hình 3. Ăng-ten 2,4 GHz



Hình 4. Module cảm biến nhiệt độ DS18B20

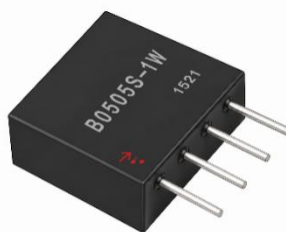
Nhiệt độ tại mỗi vị trí được đo bằng cảm biến số DS18B20. Nhờ giao tiếp OneWire, nhiều cảm biến có thể được kết nối trên cùng một đường dữ liệu với vi điều khiển ESP8266. Tín hiệu số cũng giúp hạn chế ảnh hưởng của nhiễu trong quá trình truyền và phù hợp với yêu cầu theo dõi nhiệt độ liên tục của thí nghiệm [17].

Module AC-DC Hi-Link HLK-PM01 được sử dụng để chuyển đổi nguồn điện xoay chiều thành nguồn một chiều cho mạch điều khiển. Thiết kế dạng module kín và kích thước nhỏ giúp linh kiện dễ bố trí trong không gian giới hạn bên trong ma-nơ-canh [18].



Hình 5. Module nguồn AC-DC Hi-Link HLK-PM01 và mạch ứng dụng

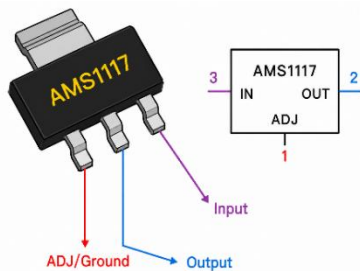
Nguồn cấp cho relay được cách ly với nguồn của vi điều khiển bằng module DC-DC B0505S-1W. Giải pháp này hạn chế nhiễu phát sinh khi relay đóng hoặc ngắt tải, qua đó cải thiện độ ổn định của mạch điều khiển [19].



Hình 6. Module cách ly DC-DC B0505S-1W

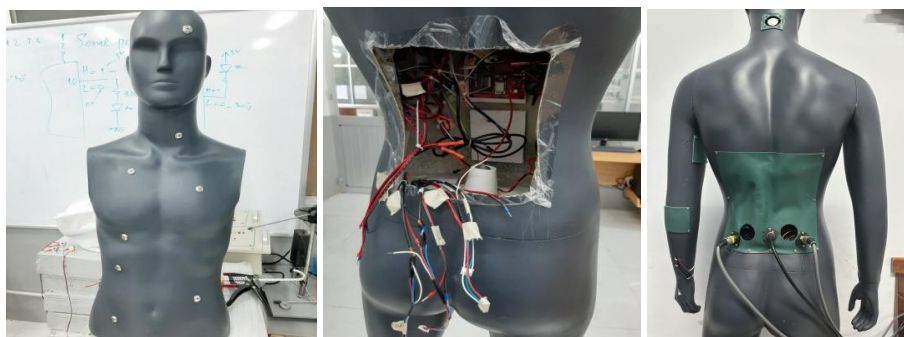
Mạch điều khiển sử dụng AMS1117 để ổn định điện áp cấp cho các linh kiện điện tử. Đây là IC ổn áp tuyến tính có nhiều mức điện áp đầu ra, dòng cung cấp tối đa khoảng 1 A và điện áp rơi thấp. Trong

mô hình, linh kiện này góp phần duy trì nguồn cấp ổn định khi hệ thống vận hành [20].



Hình 7. Hình dạng và sơ đồ chân của IC AMS1117

Mạch được thiết kế để thu nhận dữ liệu cảm biến, điều khiển trạng thái đóng/ngắt của relay và chuyển dữ liệu đến giao diện người dùng. Gateway và các Node dùng chung một cấu trúc phần cứng, giúp giảm số loại bo mạch cần chế tạo và thuận tiện hơn cho việc bảo trì hoặc mở rộng hệ thống.



Hình 8. Vị trí cảm biến và sơ đồ đầu nối mạch

Hệ thống phần cứng gồm một module trung tâm nối với máy tính và hai module đặt trong thân ma-nơ-canh. Module trung tâm trao đổi dữ liệu với phần mềm giám sát; mỗi module bên trong quản lý tối đa tám vùng gia nhiệt. Khi nhận yêu cầu từ máy tính, các module đọc giá trị của cảm biến và gửi dữ liệu về Gateway để hiển thị. Ngược lại, giá trị nhiệt độ do người dùng thiết lập trên giao diện được chuyển đến từng module để điều khiển phần tử gia nhiệt tương ứng. Mỗi vị trí gồm một điện trở gia nhiệt công suất 10 W và một cảm biến DS18B20. Công suất được điều chỉnh bằng phương pháp điều chế độ rộng xung (PWM) nhằm hạn chế dao động quanh giá trị nhiệt độ cài đặt.

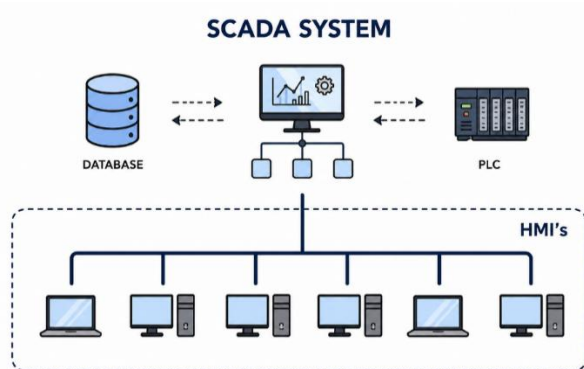
3.2. Xây dựng hệ thống giám sát nhiệt độ bằng SCADA

Trong mô hình nghiên cứu, SCADA là lớp phần mềm liên kết người sử dụng với phần cứng đo và điều khiển. Giao diện cho phép theo dõi nhiệt độ theo thời gian thực, gửi giá trị cài đặt đến từng vùng gia nhiệt và ghi lại dữ liệu vận hành. Nhờ đó, nhiều điểm đo có thể được quản lý đồng thời trên cùng một màn hình.

HMI (Human-Machine Interface) là thành phần trực quan của hệ thống SCADA, nơi người dùng quan sát thông số, thay đổi giá trị cài đặt và kiểm tra trạng thái thiết bị. So với bảng điều khiển cơ học dùng nút nhấn và đèn báo, giao diện đồ họa trên máy tính hoặc màn hình cảm ứng giúp việc thao tác và theo dõi dữ liệu thuận tiện hơn [10,11].

Hệ thống SCADA trong nghiên cứu được phát triển để theo dõi liên tục nhiệt độ của ma-nơ-canh. Cấu hình được lựa chọn theo hướng gọn, chi phí thấp và có thể bổ sung thêm điểm đo khi cần. Kiến trúc tổng thể, gồm các khối thu nhận dữ liệu, truyền thông và điều khiển, được trình bày trong Hình 9.

Các chức năng chính được triển khai bằng phần mềm nên có thể điều chỉnh hoặc mở rộng mà không phải thay đổi đáng kể cấu trúc phần cứng [12]. Nhóm nghiên cứu khảo sát các phương án truyền nối tiếp, truyền không dây và kết nối máy tính trước khi hoàn thiện phương thức trao đổi dữ liệu. Trên cơ sở đó, giao diện SCADA được xây dựng để hiển thị dữ liệu theo thời gian thực và cài đặt nhiệt độ độc lập cho từng vị trí trên ma-nơ-canh.



Hình 9. Sơ đồ khối các thành phần của hệ thống SCADA

3.3. Xây dựng quy trình thực hành thí nghiệm trên ma-nơ-canh tòa nhiệt

Trong thí nghiệm, ma-nơ-canh được thử ở điều kiện mặc áo sơ mi dài tay bằng vải 100% cotton của thương hiệu Tommy, như minh họa trong Hình 10. Nhiệt độ của từng vùng được điều khiển đến giá trị cài đặt tương ứng với vị trí trên cơ thể người. Khi tất cả điểm đo đạt yêu cầu với sai số cho phép ± 1 °C, hệ thống ngừng gia nhiệt và bắt đầu ghi nhận quá trình giảm nhiệt trong 75 phút.



Hình 10. Trang phục sử dụng trong thử nghiệm

Giá trị cài đặt tại từng vị trí được xác định gần với nhiệt độ tham chiếu của vùng cơ thể tương ứng. Các mức nhiệt độ sử dụng trong thí nghiệm được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Nhiệt độ cơ thể tham chiếu và nhiệt độ cài đặt tại 15 vị trí trên ma-nơ-canh

Vị trí tỏa nhiệt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Cơ thể	35.2	35.1	34.4	34.4	33.7	33.8	34.8	32.3	33.0	33.7	32.2	33.0	33.2	34.0	33.8
Cài đặt	35	35	34	34	34	34	35	32	33	34	32	33	33	34	34

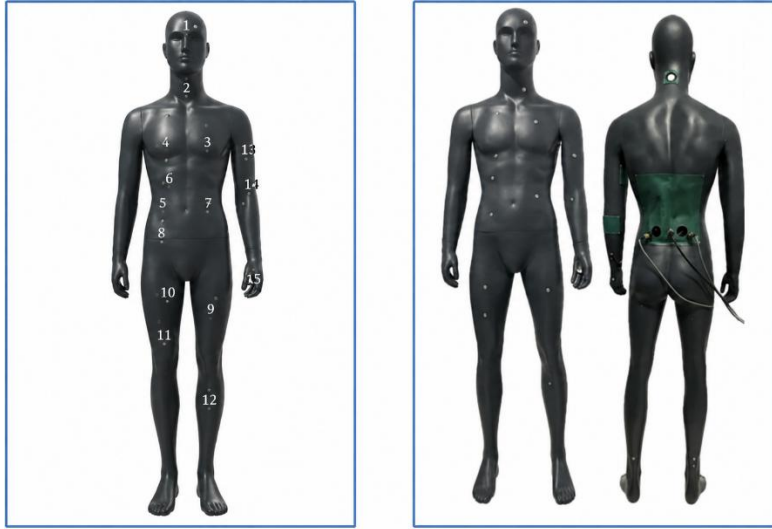
Tổng cộng 16 lần thử được thực hiện, gồm 8 lần với ma-nơ-canh không mặc áo và 8 lần với ma-nơ-canh mặc áo 100% cotton. Hai điều kiện được so sánh để đánh giá sự khác nhau của quá trình giảm nhiệt. Phân tích tập trung vào sáu vị trí ở vùng thân (P3-P8) và hai vị trí ở tay áo (P13, P14).

Trong mỗi lần thử, các vùng được gia nhiệt đến giá trị đã cài đặt, với sai số chấp nhận ± 1 °C. Sau khi toàn bộ điểm đo đạt yêu cầu, bộ gia nhiệt được ngắt và quạt thông gió được đặt ở mức cao nhất để làm nguội. Phần mềm SCADA tự động ghi nhiệt độ liên tục trong 75 phút, tạo bộ dữ liệu dùng cho phân tích thực nghiệm.

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

4.1. Kết quả thiết kế và chế tạo hệ thống ma-nơ-canh tỏa nhiệt

Hệ thống sau chế tạo gồm 15 vùng gia nhiệt độc lập và có thể vận hành trong khoảng 28-40 °C. Các module điều khiển được bố trí bên trong thân ma-nơ-canh để thuận tiện khi lắp đặt, di chuyển và bảo trì. Hình dạng của mô hình tương đồng với cơ thể người nên có thể mặc nhiều loại trang phục trong các thí nghiệm tiện nghi nhiệt. Vị trí và số thứ tự của 15 vùng gia nhiệt được trình bày trong Hình 11.



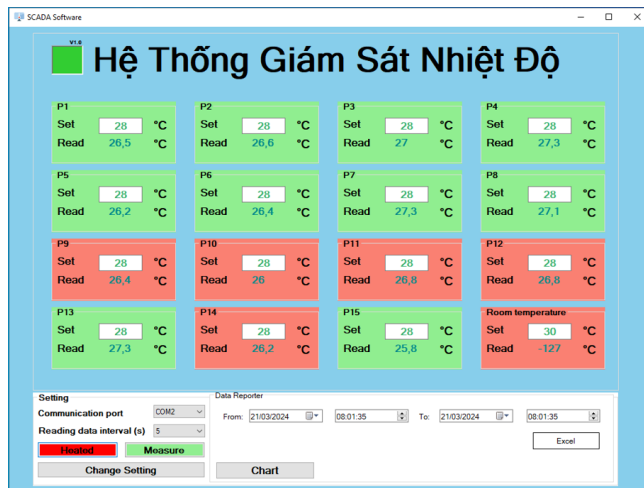
Hình 11. Vị trí 15 vùng gia nhiệt trên ma-nơ-canh

4.2. Kết quả xây dựng hệ thống giám sát nhiệt độ bằng SCADA

Phần mềm SCADA Temperature Software được phát triển để giám sát và điều khiển hệ thống ma-nơ-canh tỏa nhiệt.

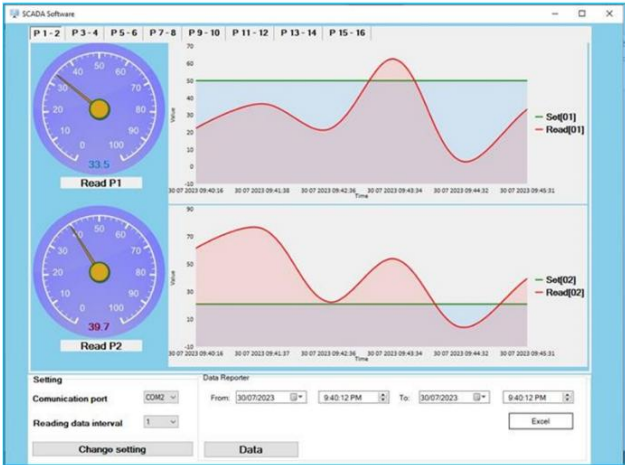
Trên giao diện, người dùng có thể cài đặt nhiệt độ riêng cho từng vị trí, theo dõi giá trị đo theo thời gian thực và kiểm tra trạng thái vận hành. Dữ liệu được thể hiện dưới dạng số hoặc đồ thị và có thể xuất sang Microsoft Excel để tiếp tục xử lý.

Màn hình điều khiển hiển thị đồng thời 15 vị trí đo. Giá trị cài đặt được nhập trực tiếp tại từng vị trí và đặt cạnh nhiệt độ thực tế, giúp người dùng theo dõi sai lệch trong quá trình vận hành. Dữ liệu thu nhận được lưu tự động theo thời gian vào tệp Excel để phục vụ thống kê và phân tích sau thí nghiệm.



Hình 12. Giao diện điều khiển của phần mềm SCADA

Phần mềm còn biểu diễn nhiệt độ của từng vị trí theo thời gian dưới dạng đồ thị. Cách hiển thị này hỗ trợ nhận biết xu hướng tăng hoặc giảm nhiệt và kiểm tra diễn biến vận hành của hệ thống. Một màn hình đồ thị theo dõi được minh họa trong Hình 13.



Hình 13. Đồ thị theo dõi nhiệt độ theo thời gian

Dữ liệu trong mỗi lần vận hành được lưu tự động vào thư mục Report dưới dạng tệp Microsoft Excel. Các tệp này có thể được sử dụng trực tiếp cho bước kiểm tra, tổng hợp và phân tích số liệu.

Hình 14. Dữ liệu nhiệt độ được ghi nhận và lưu trữ

4.3. Kết quả xây dựng bài thực hành và thử nghiệm trên ma-nơ-canh tòa nhiệt

Mỗi thử nghiệm kéo dài 75 phút trong điều kiện nhiệt độ môi trường được duy trì ở 27 °C. SCADA thu nhận và lưu dữ liệu nhiệt độ theo chu kỳ 5 giây/lần, sau đó xuất trực tiếp sang Microsoft Excel. Tần suất lấy mẫu này cho phép ghi lại liên tục diễn biến hạ nhiệt của ma-nơ-canh trong toàn bộ thời gian đo.

Kết quả của các lần thử được tổng hợp trong Bảng 2.

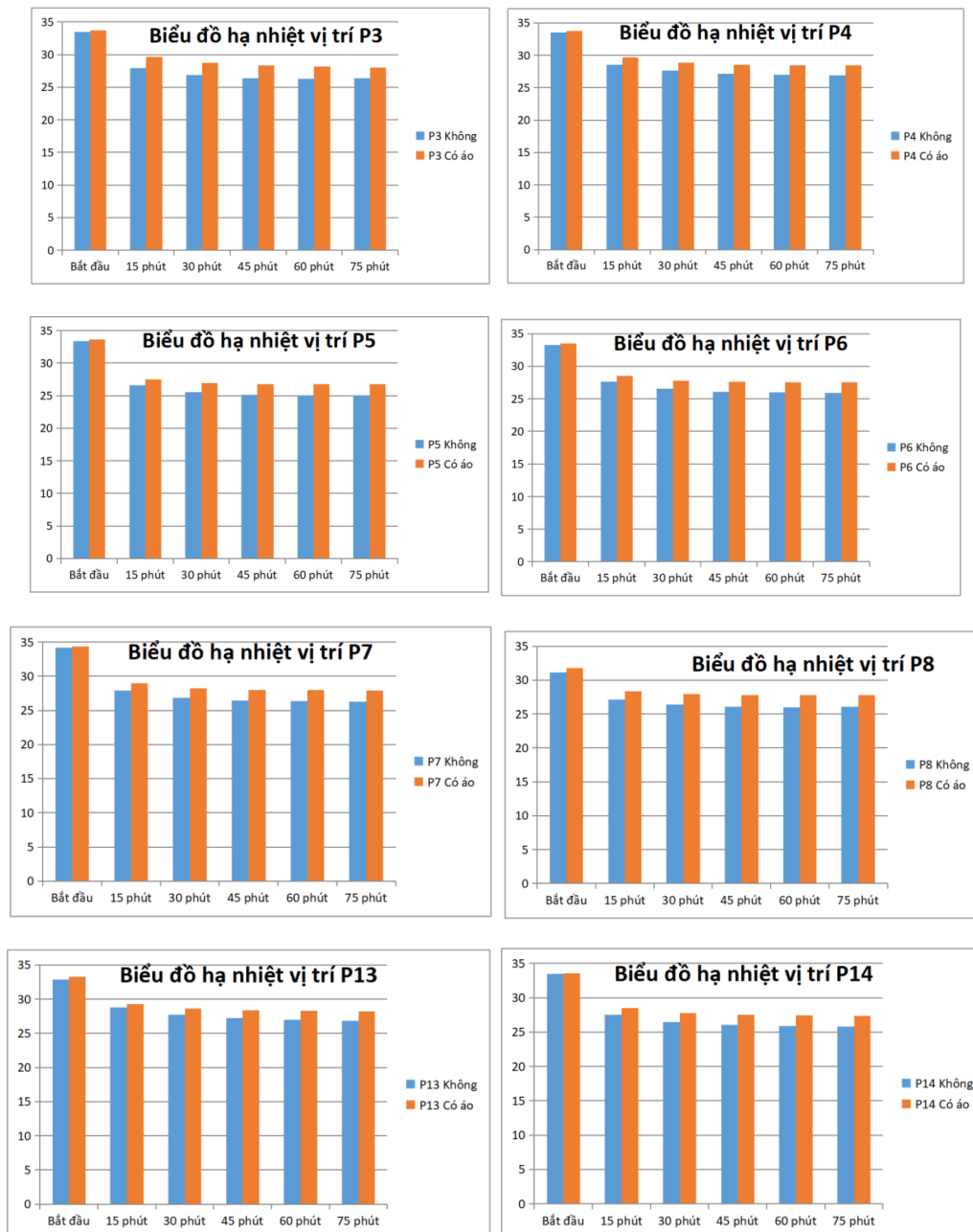
Bảng 2. Kết quả thử nghiệm của ma-nơ-canh ở điều kiện mặc áo và không mặc áo

		Bắt đầu – 1s			15 phút - 900s			30 phút - 1800s			45 phút - 2700s			60 phút - 3600s			75 phút - 4500s		
		Mean	STD	P-value	Mean	STD	P-value	Mean	STD	P-value	Mean	STD	P-value	Mean	STD	P-value	Mean	STD	P-value
P3	Không	33.52	0.07	0.0933	27.91	1.44	0.0775	26.85	0.84	0.004	26.42	0.79	0.0003	26.33	0.85	0.0003	26.37	0.81	0.001
	Có áo	33.7	0.23		29.65	1.6		28.78	1.03		28.36	0.7		28.16	0.5		28.03	0.43	
P4	Không	33.55	0.57	0.3506	28.58	2.13	0.2834	27.62	1.68	0.075	27.12	1.4	0.0157	27	1.16	0.0065	26.9	0.95	0.0022
	Có áo	33.78	0.36		29.68	1.22		28.87	0.81		28.58	0.55		28.46	0.48		28.42	0.46	
P5	Không	33.35	0.27	0.1204	26.58	2.1	0.3081	25.53	1.49	0.031	25.16	1.19	0.0051	25.07	0.97	0.0015	25.05	0.82	0.0012
	Có áo	33.6	0.22		27.52	1.18		26.96	0.63		26.77	0.46		26.75	0.47		26.78	0.49	
P6	Không	33.25	0.17	0.1184	27.63	2.12	0.336	26.55	1.58	0.067	26.1	1.34	0.0165	25.96	1.08	0.0042	25.93	0.91	0.0025
	Có áo	33.51	0.35		28.57	1.21		27.83	0.74		27.61	0.49		27.55	0.46		27.53	0.49	
P7	Không	34.2	0.26	0.19962	27.91	2.03	0.2654	26.87	1.48	0.047	26.47	1.19	0.0079	26.32	0.96	0.0021	26.28	0.82	0.0012
	Có áo	34.37	0.26		28.95	1.19		28.2	0.68		28	0.47		27.95	0.48		27.92	0.48	
P8	Không	31.13	0.81	0.10565	27.11	1.46	0.0935	26.36	1.11	0.01	26.08	0.94	0.0018	26.02	0.84	0.0011	26.05	0.72	0.0011
	Có áo	31.78	0.61		28.33	0.9		27.93	0.65		27.82	0.51		27.8	0.5		27.81	0.54	
P13	Không	32.86	0.59	0.28555	28.82	1.83	0.6392	27.75	1.59	0.267	27.25	1.38	0.1004	27.02	1.15	0.0397	26.85	0.97	0.0138
	Có áo	33.27	0.79		29.3	1.17		28.62	0.73		28.38	0.51		28.26	0.47		28.25	0.46	
P14	Không	33.45	0.41	0.35062	27.56	1.88	0.3198	26.5	1.4	0.064	26.05	1.19	0.0148	25.92	0.99	0.005	25.85	0.83	0.0022
	Có áo	33.58	0.27		28.47	1.27		27.77	0.76		27.51	0.52		27.41	0.47		27.4	0.44	

Để so sánh hai điều kiện, dữ liệu được trích tại sáu mốc: thời điểm bắt đầu (giá trị trong 10 giây đầu), 15 phút, 30 phút, 45 phút, 60 phút và 75 phút sau khi ngừng gia nhiệt. Các vị trí được phân tích gồm P3-P8 ở vùng thân và P13-P14 ở tay áo, là những vùng được trang phục che phủ.

Nhiệt độ ở từng thời điểm được so sánh giữa ma-nơ-canh không mặc áo và ma-nơ-canh mặc áo 100% cotton. Bảng 2 trình bày giá trị trung bình (Mean), độ lệch chuẩn (SD) và p-value của phép kiểm định t. Ngưỡng $p < 0,05$ được sử dụng để xác định sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa hai điều kiện thử nghiệm.

Hình 15 thể hiện sự thay đổi nhiệt độ theo thời gian tại từng vị trí. Các đường biểu diễn cho phép quan sát và đối chiếu xu hướng hạ nhiệt của ma-nơ-canh khi có và không có lớp áo bao phủ.



Hình 15. Đồ thị hạ nhiệt tại các vị trí thử nghiệm

4.4. Đánh giá của người sử dụng đối với hệ thống tòa nhiệt và phần mềm SCADA

Phản hồi của người sử dụng được thu thập để đánh giá mức độ phù hợp của phần mềm SCADA và xác định những nội dung cần cải tiến. Bảng hỏi sử dụng thang Likert 5 mức, từ 1 - hoàn toàn không đồng ý đến 5 - hoàn toàn đồng ý, và được xây dựng tham khảo nghiên cứu của Hakim và cộng sự [13]. Kết quả khảo sát được xem xét ở các khía cạnh như mức độ rõ ràng của hướng dẫn, tính trực quan của giao diện, tốc độ thao tác và khả năng hỗ trợ giám sát nhiệt độ.

Ngoài các mục đánh giá theo thang đo, bảng hỏi có câu hỏi mở để người tham gia góp ý về giao diện và cách thao tác. Những phản hồi này cung cấp thêm căn cứ cho việc điều chỉnh chương trình và nâng cao sự thuận tiện khi vận hành hệ thống.

Theo Hair và cộng sự, thang đo có thể được chấp nhận khi Cronbach's Alpha lớn hơn 0,6 và hệ số tương quan biến-tổng lớn hơn 0,3 [14]. Các chỉ số thu được trong nghiên cứu đều đáp ứng hai ngưỡng này, cho thấy thang đo có độ nhất quán nội tại phù hợp. Giá trị trung bình của các tiêu chí đều trên 3,20/5,00, thể hiện xu hướng đánh giá tích cực đối với phần mềm SCADA.

Các nội dung nhận được đánh giá tích cực gồm:

- Hướng dẫn sử dụng rõ ràng và hỗ trợ người dùng thực hiện thao tác thuận tiện.
- Giao diện được bố trí trực quan và dễ sử dụng.
- Phần mềm đáp ứng yêu cầu theo dõi nhiệt độ tại các vị trí đặc trưng trên ma-nơ-canh.
- Thao tác cài đặt và theo dõi nhiệt độ được thực hiện nhanh.
- Trạng thái vận hành được hiển thị rõ, giúp người dùng dễ kiểm tra hệ thống.
- Chức năng xuất dữ liệu và chuyển đổi giữa bảng số liệu với đồ thị hỗ trợ quá trình phân tích kết quả.

5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Nghiên cứu đã thiết kế và chế tạo một hệ thống ma-nơ-canh tòa nhiệt gồm 15 vùng điều khiển độc lập. Kết quả thử nghiệm cho thấy hệ thống vận hành ổn định trong phạm vi khảo sát và ghi nhận được sự khác nhau về quá trình hạ nhiệt giữa hai điều kiện mặc áo và không mặc áo. Mô hình vì vậy có thể được sử dụng làm thiết bị thực nghiệm cho các nghiên cứu tiếp theo về trao đổi nhiệt và tiện nghi trang phục.

Mô hình hiện mới tập trung vào quá trình gia nhiệt và giảm nhiệt ở trạng thái tĩnh. Trong các nghiên cứu tiếp theo, hệ thống có thể được bổ sung khả năng mô phỏng tiết mô hôi, trao đổi ẩm, lưu thông không khí hoặc chuyển động cơ thể. Những chức năng này sẽ giúp điều kiện mô phỏng gần hơn với quá trình sử dụng trang phục trong thực tế.

Phần mềm SCADA đã thực hiện được các chức năng giám sát, điều khiển và lưu dữ liệu tại 15 vị trí trên ma-nơ-canh. Nhiệt độ được theo dõi theo thời gian thực, tự động ghi vào tệp Microsoft Excel và trình bày bằng đồ thị. Các chức năng này giúp giảm thao tác ghi chép thủ công và tạo thuận lợi cho việc kiểm tra, xử lý dữ liệu sau thí nghiệm.

Hệ thống có cấu trúc gọn và còn khả năng mở rộng. Tuy nhiên, phần mềm cần được đánh giá với nhiều nhóm người dùng và trong các điều kiện thử nghiệm khác nhau trước khi khẳng định hiệu quả sử dụng rộng rãi. Ý kiến của chuyên gia tại cơ sở đào tạo, viện nghiên cứu và doanh nghiệp dệt may cũng cần được bổ sung để tiếp tục hoàn thiện giao diện và chức năng vận hành.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được Trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm Thành phố Hồ Chí Minh (nay là Trường Đại học Công Thương Thành phố Hồ Chí Minh) hỗ trợ kinh phí theo hợp đồng số 31/HĐ-DCT ngày 01 tháng 3 năm 2022.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Yu, Y., Liu, J., Chauhan, K., de Dear, R., & Niu, J., "Experimental study on convective heat transfer coefficients for the human body exposed to turbulent wind conditions", *Building and Environment*, vol. 169, 106533, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106533>

- [2] R. Riedy and M. McQuerry, "Thermal comfort analysis of auto-racing suits using a dynamic thermal manikin," *Journal of Industrial Textiles*, vol. 53, Jan. 2023, doi: <https://doi.org/10.1177/15280837221150649>
- [3] M. McQuerry, R. Barker, and E. DenHartog, "Functional design and evaluation of structural firefighter turnout suits for improved thermal comfort: Thermal manikin and physiological modeling," *Clothing and Textiles Research Journal*, vol. 36, no. 3, pp. 165-179, 2018, doi: <https://doi.org/10.1177/0887302X18757348>
- [4] S. Lee, M. Nogami, S. Yamaguchi, T. Kurabuchi, and N. Ohira, "Evaluation of heat transfer coefficients in various air-conditioning modes by using thermal manikin," in *Proc. Building Simulation 2013: 13th Conf. Int. Building Performance Simulation Association (IBPSA)*, Chambéry, France, Aug. 26–28, 2013, pp. 2289–2296, doi: <https://doi.org/10.26868/25222708.2013.1539>
- [5] A. Bogdan, B. Koelblen, and M. Chludzińska, "Influence of a breathing process on the perception of the thermal environment using personalised ventilation," *Building and Environment*, vol. 96, pp. 80–90, Feb. 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.11.024>
- [6] Ö. K. Necef, D. T. Birkocak, A. Kılıç, S. Boz, M. J. Abreu, and Z. Öndoğan, "Investigating the effect of recycled cotton included fabrics on the thermal behaviour by using a female thermal manikin," *AUTEX Research Journal*, vol. 23, no. 3, pp. 388–394, Sep. 2023, doi: <https://doi.org/10.2478/aut-2022-0020>
- [7] N. Khera and S. Balgavhar, "Design of microcontroller based wireless SCADA system for real time data," *UACEE International Journal of Advances in Electronics Engineering*, vol. 2, no. 1, pp. 18–20, 2012.
- [8] A. Soetedjo and E. Hendriarianti, "Development of an IoT-based SCADA system for monitoring of plant leaf temperature and air and soil parameters," *Applied Sciences*, vol. 13, no. 20, Art. no. 11294, Oct. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/app132011294>
- [9] W.-F. Tu, Y.-S. Wang, and T.-S. Chen, "Analysis on predictive water temperature with PID controller and SCADA system," in *Proc. 2021 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS)*, Hualien, Taiwan, Nov. 16–19, 2021, pp. 1–2, doi: <https://doi.org/10.1109/ISPACS51563.2021.9651081>
- [10] J. Mathew, S. S. Shankar, H. Pratheesh, C. S. Lajitha, and A. Muhammed Irshad, "Implementation of high availability SCADA system for superheater steam temperature control in a 210 MW thermal power plant," in *Proc. 2014 IEEE International Conference on Electronics, Computing and Communication Technologies (IEEE CONECCT)*, Bangalore, India, Jan. 6–7, 2014, pp. 1–6, doi: <https://doi.org/10.1109/CONECCT.2014.6740354>
- [11] M. Nicola, C.-I. Nicola, M. Duță, D. Sacerdoțianu, and I. Hurezeanu, "System for monitoring of hot spot temperature of power transformer windings using fiber optic sensors, Kalman filter and SCADA integration," in *Proc. 2018 International Conference on Development and Application Systems (DAS)*, Suceava, Romania, May 24–26, 2018, pp. 99–104, doi: <https://doi.org/10.1109/DAAS.2018.8396079>
- [12] D. O. Kovaliuk, K. M. Huza, and O. O. Kovaliuk, "Development of SCADA system based on web technologies," *International Journal of Information Engineering and Electronic Business*, vol. 10, no. 2, pp. 25–32, Mar. 2018, doi: <https://doi.org/10.5815/ijieeb.2018.02.04>
- [13] S. S. K. Hakim, S. S. D. Phadke, P. Tilak, and M. Deshmukh, "Online examination during COVID-19 pandemic—Phyiotherapy student's perspective," *International Research Journal of Engineering and Technology*, vol. 7, no. 8, pp. 2633–2637, Aug. 2020.
- [14] J. F. Hair Jr., W. C. Black, B. J. Babin, and R. E. Anderson, *Multivariate Data Analysis*, 8th ed. Hampshire, U.K.: Cengage Learning EMEA, 2019.
- [15] Espressif Systems, "ESP-NOW wireless communication protocol." Accessed: Sep. 14, 2026. [Online]. Available: <https://www.espressif.com/en/solutions/low-power-solutions/esp-now>
- [16] Espressif Systems, *ESP8266EX Datasheet*, ver. 7.1, Nov. 2025. Accessed: Sep. 14, 2026. [Online]. Available: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf

- [17] Analog Devices, *DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer*, rev. 6, Jul. 2019. Accessed: Sep. 14, 2026. [Online]. Available: <https://www.analog.com/DS18B20/datasheet>
- [18] Shenzhen Hi-Link Electronic Co., Ltd., “HLK-PM01 AC to DC 5 V 3 W step-down mini power supply module.” Accessed: Sep. 14, 2026. [Online]. Available: <https://www.hlktech.net/index.php?id=105>
- [19] MORNSUN Guangzhou Science & Technology Co., Ltd., *B0505S-1WR3 DC/DC Converter Datasheet*. Accessed: Sep. 14, 2026. [Online]. Available: <https://www.mornsun-power.com/html/pdf/B0505S-1WR3.html>
- [20] Advanced Monolithic Systems, *AMS1117 1 A Low Dropout Voltage Regulator Datasheet*. Accessed: Sep. 14, 2026. [Online]. Available: <https://www.radiolocman.com/datasheet/pdf.html?di=102481>

ABSTRACT

DESIGN OF A THERMAL MANIKIN SYSTEM WITH SCADA-BASED TEMPERATURE MONITORING AND CONTROL

Nguyen Thi Kim Thanh¹, Nguyen Thi Nhu Lan², Hoang Dac Huy¹,

Le Thanh Toi¹, Van Tan Luong¹, Pham Ho Mai Anh^{1*}

¹*Ho Chi Minh City University of Industry and Trade*

²*Ho Chi Minh City University of Technology*

*Email: anhphm@huit.edu.vn

This study presents the design, fabrication, and operation of a thermal manikin system that reproduces body-temperature distribution at 15 locations. Each location is equipped with a resistive heating element and is controlled independently through SCADA software, allowing the setpoint to be adjusted for the corresponding body region. The software monitors the measured temperature in real time, records the data throughout the experiment, and exports the results to Microsoft Excel for subsequent analysis. Experimental operation showed that the system could regulate the temperature of individual locations and continuously capture their cooling profiles. The developed model provides a practical experimental platform for further studies of heat transfer and clothing thermal comfort.

Keywords: SCADA, thermal manikin, temperature control, body-temperature simulation, thermal comfort.