

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ, CHẾ TẠO HỆ THỐNG HỘ ĐỆNG POKA-YOKE GIÚP GIẢM LỖI THAO TÁC VÀ NÂNG CAO NĂNG SUẤT LÀM VIỆC TRÊN TRẠM LẮP RÁP THỦ CÔNG

RESEARCH ON DESIGN AND FABRICATION OF A POKA-YOKE BOX SYSTEM TO REDUCE OPERATIONAL ERRORS AND IMPROVE WORKFORCE PRODUCTIVITY IN MANUAL ASSEMBLY STATIONS

PHẠM VĂN QUỲNH¹, BUI THU HIỀN¹, NGUYỄN THỊ KIM NGÂN¹,
BUI QUANG MINH¹, NGUYỄN KHÁNH LY¹, ĐÀM VĂN TÙNG^{2*}

¹Sinh viên Khoa Máy tàu biển, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

²Khoa Máy tàu biển, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: tungdv.mtb@vimaru.edu.vn

Tóm tắt

Kiểm soát lỗi thao tác của công nhân trong quá trình lắp ráp tại các trạm lắp ráp thủ công đóng vai trò quan trọng trong việc nâng cao năng suất làm việc và đảm bảo chất lượng sản phẩm. Bài báo trình bày quá trình thiết kế và chế tạo hệ thống hộ đệng Poka Yoke nhằm hỗ trợ công nhân thông qua cơ chế giám sát và cảnh báo lỗi bằng cảm biến hồng ngoại và PLC. Kết quả thử nghiệm hiệu quả bước đầu của hệ thống khi tỷ lệ lỗi thao tác của công nhân giảm đáng kể 40,9% và thời gian hoàn thành một sản phẩm cũng giảm 19,1%. Điều này góp phần quan trọng vào việc nâng cao năng suất làm việc của công nhân và chất lượng sản phẩm.

Từ khóa: Lỗi thao tác, năng suất làm việc, lắp ráp, hộ đệng Poka Yoke, trạm lắp ráp thủ công.

Abstract

Controlling worker errors during the manual assembly process is crucial for enhancing workforce productivity and ensuring product quality. This paper presents the design and fabrication of a Poka-Yoke box system that assists workers through an error monitoring and warning mechanism, utilizing proximity sensors and a PLC. Initial effective test results of the system show a significant reduction of 40.9% in worker operational error rates and a 19.1% decrease in the time to complete one product. This significantly contributes to improving worker productivity and product quality.

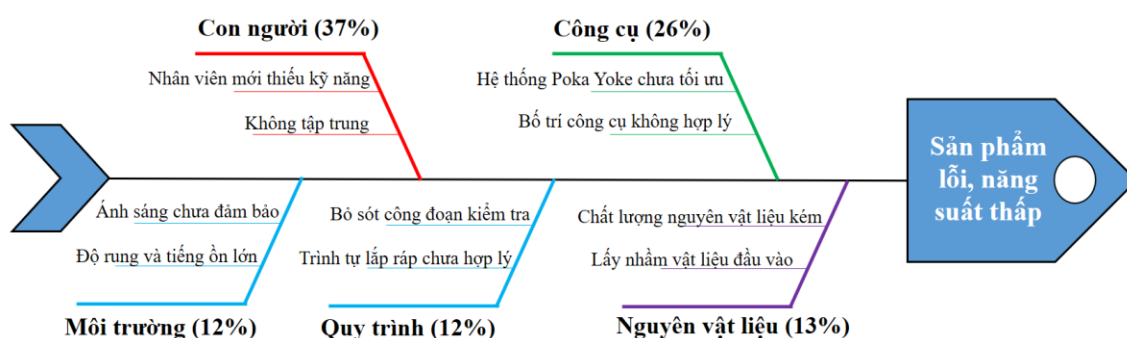
Keywords: Operational errors, workforce productivity, assembly, Poka-Yoke box, manual assembly station.

1. Đặt vấn đề

Trên các dây chuyền lắp ráp công nghiệp hiện nay, đặc biệt là tại các trạm lắp ráp thủ công, lỗi thao tác của công nhân là một trong những nguyên nhân chính gây ra sai sót trong sản phẩm. Những lỗi này không chỉ làm giảm chất lượng sản phẩm mà còn có thể dẫn đến tổn thất kinh tế, tăng chi phí sửa chữa và ảnh hưởng đến tiến độ sản xuất. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng phần lớn lỗi lắp ráp xảy ra do thiếu chính xác trong thao tác, nhầm lẫn trong quy trình hoặc mất tập trung của công nhân.

Nghiên cứu [1] của Fahad M. Alqahtani và các cộng sự đã đưa ra các lỗi phổ biến của người công nhân tại các trạm lắp ráp thủ công, bao gồm: Lỗi bỏ sót, lỗi thực hiện sai, lỗi hoán vị, lỗi trình tự, lỗi quy trình, lỗi giao tiếp, lỗi do mệt mỏi. Trong khi đó, bằng việc sử dụng các phương pháp SHERPA và HEART Yaniel Torres đã tiến hành phân tích độ tin cậy của con người trong môi trường sản xuất thực tế để xác định nguyên nhân và vị trí xảy ra trong lắp ráp thủ công. Kết quả của nghiên cứu đã chỉ ra 4 dạng lỗi thường gặp của công nhân trong quá trình lắp ráp thủ công [2].

Nghiên cứu [3] của AdiSaptari cùng các cộng sự đã tập trung vào việc xác định lỗi của con người trong quy trình lắp ráp điện tử, cụ thể, lỗi thao tác chiếm khoảng 17,69% tổng số lỗi sản phẩm. Các lỗi thường xảy ra ở các nhiệm vụ có nhiều bước hoặc yêu cầu kỹ năng đặc biệt, và áp lực thời gian có thể ảnh hưởng đến tần suất lỗi. Bên cạnh đó, các yếu tố công thái học, trạm lắp ráp thiết kế không hợp lý, môi trường làm việc cũng là những nguyên nhân làm gia tăng tần suất lỗi mắc lỗi lắp ráp của công nhân [4, 5]. Vì vậy, việc cải thiện hướng dẫn lắp ráp trực quan, nâng cao quy trình kiểm tra và cung cấp phản hồi tốt hơn cho công nhân sẽ giúp giảm lỗi lắp ráp và cải thiện hiệu suất làm việc.



Hình 1. Biểu đồ nguyên nhân kết quả về tỷ lệ sản phẩm lỗi theo khảo sát của nhóm nghiên cứu

Poka-Yoke là một trong những phương pháp kiểm soát lỗi hiệu quả, giúp ngăn ngừa các sai sót ngay từ giai đoạn lắp ráp. Các hệ thống Poka Yoke truyền thống thường sử dụng cơ cấu cơ khí hoặc hướng dẫn trực quan để hạn chế lỗi, nhưng chưa tận dụng triệt để công nghệ cảm biến và điều khiển tự động để nâng cao hiệu quả giám sát.

Vấn đề về việc ứng dụng phương pháp Poka-Yoke trên các công đoạn lắp ráp thuộc các dây chuyền sản xuất đã xuất hiện nhiều trên các công bố khoa học. Trong nghiên cứu của Marija Savkovic cùng các cộng sự đã cho thấy việc tích hợp hệ thống Poka-Yoke vào trạm lắp ráp mô-đun giúp nâng cao đáng kể chất lượng sản phẩm cuối cùng, với tỷ lệ sản phẩm đạt yêu cầu tăng trung bình từ 40% lên đến 78,7%. Tuy nhiên, hệ thống vẫn tồn tại những hạn chế trong việc hướng dẫn và cảnh báo thao tác [6]. Nghiên cứu [7] của Sachin R. S xác định được những cải thiện rõ rệt của việc ứng dụng phương pháp Poka-Yoke khi cho kết quả thời gian chu kỳ lắp ráp giảm được 1 nửa, tuy nhiên kết quả nghiên cứu lại được ứng dụng trên trạm lắp ráp tự động hóa HSU (Hydrostatic Steering Unit).

Xuất phát từ các vấn đề nêu trên, bài báo tập trung vào việc nghiên cứu cải tiến hợp dựng Poka-Yoke nhằm hỗ trợ giảm lỗi thao tác và tăng năng suất chất lượng trên trạm lắp ráp thủ công.

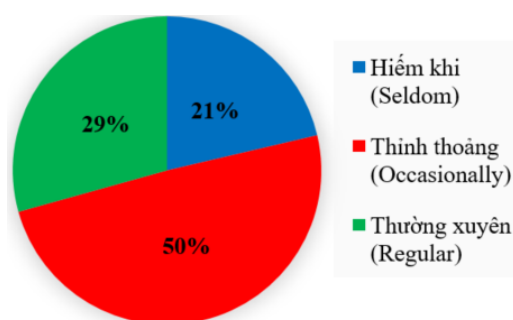
2. Phân tích hiện trạng sử dụng Poka-Yoke

Hiện nay, phương pháp Poka-Yoke đã được áp dụng rộng rãi trong các dây chuyền lắp ráp và trạm lắp ráp thủ công nhằm giảm thiểu lỗi thao tác và nâng cao chất lượng sản phẩm. Trong các dây chuyền lắp ráp tự động, Poka-Yoke thường được tích hợp vào hệ thống điều khiển thông minh, sử dụng cảm biến, mã vạch, RFID hoặc thị giác máy để xác minh thao tác, đảm bảo linh kiện được lắp ráp chính xác. Nhờ đó, các sai sót được phát hiện và ngăn chặn kịp thời, giúp duy trì tính nhất quán trong sản xuất hàng loạt.

Tuy nhiên, đối với trạm lắp ráp thủ công, việc áp dụng Poka-Yoke vẫn còn nhiều hạn chế. Nhiều doanh nghiệp chỉ sử dụng các giải pháp cơ bản như đồ gá định vị, khuôn dẫn hướng hoặc đánh dấu trực quan, chưa tận dụng hết tiềm năng của các công nghệ tiên tiến. Điều này dẫn đến tình trạng công nhân vẫn có thể mắc lỗi khi lựa chọn linh kiện, lắp ráp sai trình tự hoặc bỏ qua một số bước quan trọng. Đặc biệt, khi sản xuất các sản phẩm có nhiều biến thể, chi tiết đòi hỏi độ chính xác cao, các hệ thống Poka Yoke truyền thống chưa thực sự đáp ứng hiệu quả.

Theo số liệu khảo sát của nhóm nghiên cứu được thực hiện tại 2 doanh nghiệp về sản xuất thiết bị điện tử chỉ ra 5 nguyên nhân chính dẫn đến tỷ lệ các sản phẩm lỗi như Hình 1. Trong đó, yếu tố con người (37%) và công cụ (26%) là 2 nguyên nhân chính dẫn đến sản phẩm lỗi.

Trong số công nhân làm việc trực tiếp tại các dây chuyền được hỗ trợ phương pháp Poka-Yoke có 29% công nhân thường xuyên gặp khó khăn; 21% công nhân không gặp khó khăn và 50% thỉnh thoảng gặp khó khăn (Hình 2).



Hình 2. Kết quả khảo sát tình trạng công nhân làm việc tại trạm lắp ráp được hỗ trợ phương pháp Poka-Yoke

Hệ thống Poka-Yoke được sử dụng tại trạm lắp ráp thủ công chủ yếu sử dụng cơ chế chốt chặn vật lý, đồ gá định vị, màn hình cảnh báo nhằm ngăn chặn lỗi

thao tác. Tuy nhiên, trong thực tế vận hành, công nhân vẫn gặp nhiều vấn đề khi thao tác. Kết quả khảo sát cũng đã đưa ra các vấn đề, nguyên nhân mà công nhân thường gặp khi làm việc với hệ thống Poka Yoke (Bảng 1).

Bảng 1. Khó khăn khi làm việc với Poka-Yoke

Vấn đề	Tỷ lệ (%)	Nguyên nhân
Không có cảnh báo rõ ràng khi xảy ra lỗi	17%	Công nhân mất thời gian tìm lỗi, gây chậm tiến độ
Cảnh báo chỉ hiển thị trên màn hình trung tâm, khó quan sát	31%	Công nhân không kịp phản ứng khi có lỗi
Không có hướng dẫn thao tác ngay khi phát hiện lỗi	28%	Công nhân mất thời gian tra cứu hoặc hỏi quản lý
Hệ thống chậm phản hồi khi thao tác sai	24%	Công nhân tiếp tục lắp ráp sai trước khi nhận ra lỗi

Hệ thống Poka-Yoke thiết kế chưa phù hợp với quy trình lắp ráp, chưa tối ưu trong việc cảnh báo các lỗi lắp ráp làm cho công nhân mất thời gian tìm lỗi, không kịp phản ứng khi có lỗi, thậm chí tiếp tục lắp sai trước nhận ra lỗi dẫn đến chậm tiến độ, giảm năng suất làm việc của công nhân và tỷ lệ sản phẩm lỗi tăng lên.

Trước thực trạng này, nhóm nghiên cứu đề xuất phương án thiết kế hệ thống hộp đựng Poka-Yoke nhằm hỗ trợ công nhân giảm lỗi thao tác, nâng cao độ chính xác trong lắp ráp, đồng thời tăng năng suất làm việc trên trạm lắp ráp thủ công.

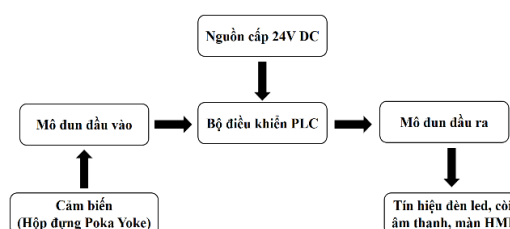
3. Nguyên lý hoạt động và mô hình thiết kế hệ thống hộp đựng Poka-Yoke hỗ trợ giảm lỗi thao tác

Nguyên lý hoạt động của hệ thống

Hệ thống hộp đựng Poka-Yoke thiết kế trong

nghiên cứu được tích hợp các cảm biến hồng ngoại cùng với tín hiệu đèn báo và âm thanh để hướng dẫn công nhân thực hiện đúng quy trình lắp ráp, nhận diện lỗi sai, cảnh báo lỗi kịp thời, giúp công nhân điều chỉnh thao tác ngay lập tức, qua đó giảm thiểu sai sót và nâng cao hiệu quả sản xuất.

Trên Hình 3 minh họa sơ đồ nguyên lý của hệ thống trong đó sử dụng các cảm biến hồng ngoại để nhận diện, giám sát các thao tác lấy linh kiện của các thao tác của công nhân tại hộp đựng Poka-Yoke.

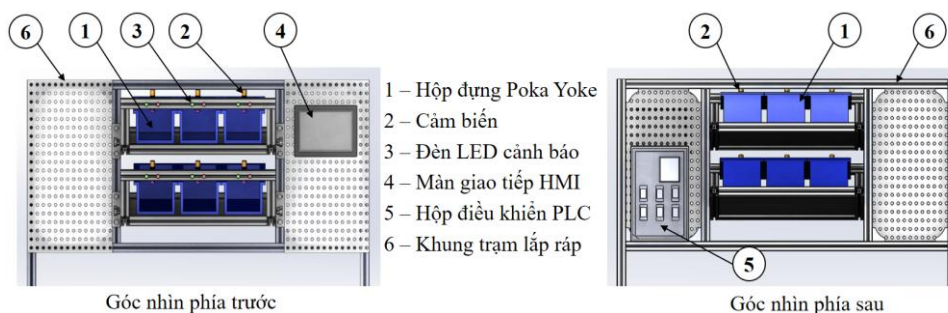


Hình 3. Sơ đồ nguyên lý hoạt động của hệ thống

Khi công nhân thao tác, cảm biến sẽ kiểm tra xem linh kiện có được lấy đúng thứ tự và đúng loại hay không. Nếu phát hiện sai sót, hệ thống ngay lập tức đưa ra cảnh báo để công nhân điều chỉnh trước khi tiến hành lắp ráp. Trong trường hợp xảy ra lỗi thao tác, hệ thống sẽ kích hoạt đèn báo và phát âm thanh cảnh báo để công nhân nhanh chóng nhận diện và điều chỉnh kịp thời. Điều này giúp hạn chế việc tiếp tục lắp ráp sai, giảm thiểu sai sót lắp lại và đảm bảo chất lượng sản phẩm đầu ra. Các lỗi xuất hiện sẽ ngay lập tức được hiển thị trên màn hình giao tiếp HMI lắp đặt ngay tại trạm lắp ráp thủ công. Toàn bộ hoạt động của hệ thống được điều khiển và xử lý bởi bộ điều khiển trung tâm PLC (Programmable Logic Controller).

Mô hình thiết kế

Dựa trên kết quả nghiên cứu [8] về trạm lắp ráp thủ công có thể tùy biến theo nhân trắc học, nhóm nghiên cứu đã tiến hành thiết kế hệ thống hộp đựng Poka-Yoke nhằm hỗ trợ giảm lỗi và tăng năng suất lao động cho công nhân.



Hình 4. Mô hình thiết kế của hệ thống hộp đựng Poka-Yoke trong nghiên cứu



Hình 5. Sản phẩm hệ thống hộp đựng Poka-Yoke sau khi lắp đặt trên trạm lắp ráp thủ công

Mô hình thiết kế của hệ thống được thể hiện trên Hình 4. Cấu trúc của hệ thống gồm 4 bộ phận: Hộp đựng Poka-Yoke, hệ thống cảnh báo (Đèn LED, còi cảnh báo), màn giao tiếp HMI, bộ điều khiển PLC nhằm đảm bảo các tính năng theo yêu cầu về nguyên lý hoạt động của hệ thống.

4. Chế tạo và lắp đặt hệ thống hộp đựng Poka-Yoke

Sau khi hoàn thiện mô hình thiết kế, nhóm nghiên cứu tiến hành chế tạo và lắp đặt hệ thống hộp đựng Poka-Yoke trên trạm lắp ráp thủ công. Quá trình chế tạo và lắp đặt hệ thống được tiến hành nhằm kiểm chứng khả năng hoạt động thực tế. Trước tiên, các bộ phận chính của hệ thống được gia công và lắp ráp, bao gồm hộp đựng linh kiện được thiết kế với các vị trí gắn cảm biến hồng ngoại phù hợp với thao tác của công nhân. Hộp đựng được chế tạo từ vật liệu bền, đảm bảo độ cứng vững trong quá trình sử dụng.

Tiếp theo, hệ thống điện và điều khiển được lắp đặt. Cảm biến hồng ngoại được đấu nối với bộ điều khiển trung tâm PLC, giúp nhận diện và xử lý dữ liệu về thao tác lấy linh kiện. Đồng thời, đèn LED báo hiệu (xanh, đỏ) và còi cảnh báo âm thanh cũng được kết nối để phản hồi ngay lập tức khi phát hiện lỗi thao tác. Màn hình giao tiếp HMI được tích hợp để hiển thị thông tin lỗi chi tiết, hỗ trợ công nhân nhận diện và khắc phục nhanh chóng. Sau khi hoàn thành lắp ráp phần cứng, hệ thống PLC được lập trình để xử lý tín hiệu đầu vào từ cảm biến và điều khiển các thiết bị đầu ra như đèn báo, còi cảnh báo và màn hình HMI. Hệ thống sau đó được kiểm tra thử nghiệm nhằm đánh giá độ chính xác của cảm biến, tốc độ phản hồi của cảnh báo, cũng như khả năng hoạt động ổn định trong môi trường làm việc thực tế. Nếu phát hiện lỗi hoặc bất cập, các thông số sẽ được hiệu chỉnh để tối ưu hóa mô hình trước khi đưa vào ứng dụng tại trạm lắp ráp thủ công. Hình 5 thể hiện hình ảnh sản phẩm thực tế của hệ thống sau khi lắp đặt trên trạm lắp ráp thủ công.

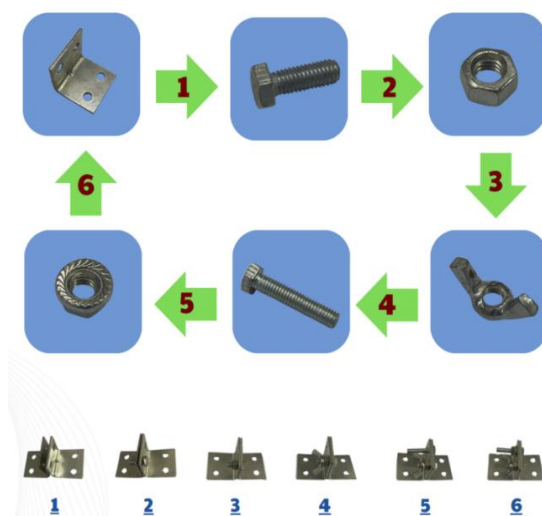
5. Thử nghiệm và đánh giá hệ thống hộp đựng Poka-Yoke

Thiết lập bài toán thử nghiệm

Để đánh giá mức độ ổn định và hiệu quả của hệ thống hộp đựng Poka-Yoke được thiết kế trong nghiên cứu, nhóm thực hiện thử nghiệm thao tác làm việc của 102 công nhân trên trạm lắp ráp trong hai trường hợp: có (TH2) và không (TH1) sử dụng hệ thống hộp đựng Poka Yoke (Hình 6).



Hình 6. Hình ảnh công nhân thao tác trên trạm



Hình 7. Sản phẩm mẫu sử dụng trong nghiên cứu

Tại trạm lắp ráp, 6 hộp đựng Poka-Yoke được bố trí, mỗi hộp chứa một chi tiết phục vụ quá trình lắp ráp sản phẩm mẫu (Hình 7). Trên mỗi hộp đều có nhãn ghi đầy đủ tên gọi và thông tin về chi tiết, giúp công nhân dễ dàng nhận diện và thao tác chính xác.

Thử nghiệm được thiết lập với yêu cầu mỗi công nhân lắp ráp liên tục 5 sản phẩm cho từng trường hợp. Kết quả thu thập sẽ được phân tích dựa theo 2 tiêu chí: Tỷ lệ thay đổi thời gian R_T và số lỗi thao tác R_L trong quá trình lắp ráp. R_T và R_L lần lượt được xác định theo các công thức (1) và (2).

$$R_T = \left(\frac{T_1 - T_2}{T_1} \right) [\%] \quad (1)$$

$$R_L = \left(\frac{L_1 - L_2}{L_1} \right) [\%] \quad (2)$$

Trong đó:

+ T_1, T_2 - lần lượt là thời gian trung bình để lắp ráp 1 sản phẩm của 102 công nhân trong trường hợp không và có sử dụng hệ thống hộp đựng Poka Yoke.

$$T = \frac{\sum_{i=1}^{102} t_i}{102} \quad [\text{giây/sản phẩm}]$$

+ L_1, L_2 - lần lượt là số lỗi trung bình để lắp ráp 1 sản phẩm của 102 công nhân trong trường hợp không và có sử dụng hệ thống hộp đựng Poka-Yoke.

$$L = \frac{\sum_{i=1}^{102} l_i}{102} \quad [\text{lỗi/sản phẩm}]$$

Kết quả phân tích thu được sẽ làm cơ sở để đánh giá mức độ hiệu quả của hệ thống trong việc hỗ trợ giảm lỗi và nâng cao năng suất lao động.

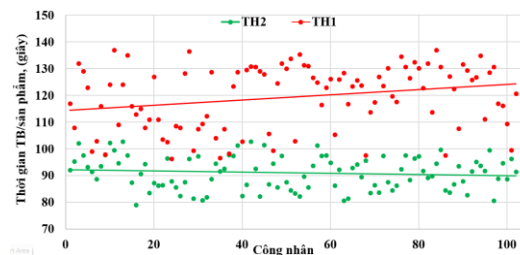
Kết quả thử nghiệm

Kết quả thử nghiệm trên 102 công nhân làm việc trong 2 trường hợp theo đề xuất của nghiên cứu đã cho thấy được sự khác biệt rõ rệt về thời gian thực hiện cũng như số lỗi thao tác của công nhân.

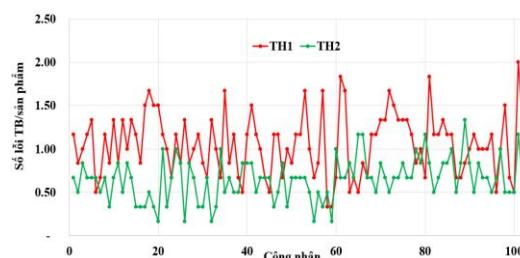
Theo đó, trong trường hợp 1, khi không có sự hỗ trợ của các tín hiệu cảnh báo lỗi, thời gian trung bình để hoàn thành một sản phẩm của 102 công nhân là 119,3 giây. Trong khi đó, ở trường hợp 2, khi có sự hỗ trợ của hệ thống, thời gian trung bình giảm xuống còn 91,1 giây, tương đương mức giảm $R_T = 23,7\%$ (Hình 8).

Kết quả thử nghiệm cho thấy với trường hợp 1

mức độ phân tán về giá trị thời gian làm việc của công nhân nằm khoảng thời gian từ 96 giây đến 137 giây (39 giây), trong khi đó với trường hợp 2 có thể thấy giá trị về thời gian trung bình hoàn thành 1 sản phẩm của công nhân có xu hướng hội tụ hơn và độ chênh lệch về thời gian trung bình lớn nhất và nhỏ nhất giảm xuống còn 18 giây. Điều này cho thấy hệ thống cảnh báo giúp công nhân duy trì nhịp độ làm việc ổn định hơn, thao tác đều hơn và giảm sự biến động về thời gian thao tác.



a) Thời gian trung bình lắp ráp 1 sản phẩm



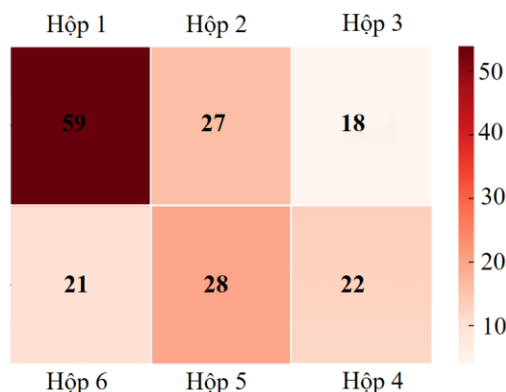
b) Số lỗi trung bình lắp ráp 1 sản phẩm

Hình 8. Kết quả thử nghiệm thao tác lắp ráp của 102 công nhân trong 2 trường hợp

Bên cạnh đó, số lỗi trung bình của mỗi công nhân khi lắp ráp một sản phẩm cũng giảm từ 1,06 lỗi/sản phẩm xuống còn 0,65 lỗi/sản phẩm, tương ứng với mức giảm. Các kết quả thu được cho thấy hệ thống hộp đựng Poka Yoke có hiệu quả rõ rệt trong việc hỗ trợ công nhân nhận diện và lấy linh kiện đúng cách, từ đó giảm thiểu sai sót trong quá trình lắp ráp, nâng cao năng suất lao động và chất lượng sản phẩm.

Dữ liệu thu thập từ quá trình thử nghiệm cho thấy sự phân bố số lỗi thao tác theo từng vị trí hộp đựng Poka-Yoke. Kết quả phân tích sau khi sử dụng hệ thống hộp đựng Poka-Yoke cho thấy hộp số 1 có số lỗi thao tác cao nhất so với các hộp còn lại, chiếm 33,7% tổng số lỗi ghi nhận, cao hơn đáng kể so với các vị trí khác. Nguyên nhân chủ yếu do hộp số 1 yêu cầu công nhân lấy hai chi tiết cùng lúc, dẫn đến tình trạng lấy sót và phải thao tác lại. Ngoài ra, hộp số 3 và hộp số 5 cũng có tần suất lỗi cao do các linh kiện trong hộp có hình dạng tương đồng, dễ gây nhầm lẫn khi lấy

(Hình 9). Những kết quả này cho thấy cần có sự điều chỉnh trong thiết kế hệ thống, bao gồm việc bổ sung tín hiệu cảnh báo rõ ràng hơn cho hộp số 1 và sử dụng hình ảnh trực quan để hỗ trợ công nhân nhận diện chính xác các chi tiết, giảm thiểu nguy cơ nhầm lẫn.



Hình 9. Biểu đồ nhiệt số lỗi xuất hiện trên hệ thống hộp đựng Poka-Yoke

6. Đề xuất cải tiến

Sau quá trình triển khai thử nghiệm thao tác lắp ráp với sự tham gia của 102 công nhân có thể thấy mức độ hạn chế lỗi quy trình thao tác đã có xu hướng giảm, tuy nhiên việc mất tập trung và chủ quan trong quá trình làm việc của công nhân dẫn đến việc lấy sai chi tiết vẫn tồn tại tương đối nhiều. Do đó, nhóm nghiên cứu tiếp tục cải tiến hệ thống nhằm ngăn chặn các lỗi quy trình theo đúng nguyên tắc Poka-Yoke. Cụ thể, nhóm nghiên cứu đã đề xuất và đưa ra ý tưởng về việc thiết kế và chế tạo thêm nắp đậy nhằm ngăn chặn các lỗi chủ quan của công nhân trong việc lấy sai chi tiết.

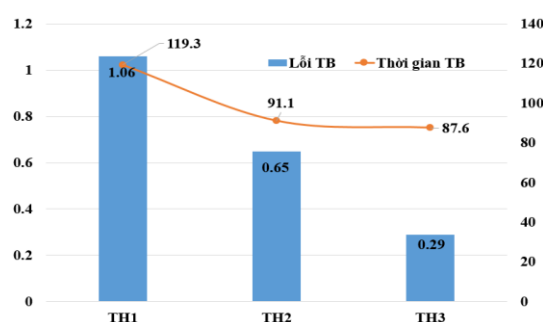
Hệ thống hộp đựng Poka-Yoke có nắp đậy hoạt động dựa trên tín hiệu điều khiển từ bộ PLC kết hợp với đèn LED chỉ thị nhằm hướng dẫn công nhân thao tác theo đúng quy trình. Tại mỗi bước thao tác, khi công nhân hoàn thành bước trước, hệ thống sẽ kích hoạt đèn LED màu xanh tại vị trí hộp đựng tiếp theo để báo hiệu thao tác tiếp theo cần được thực hiện. Đồng thời, nắp hộp sẽ tự động mở thông qua động cơ Servo, cho phép công nhân lấy đúng chi tiết. Khi thao tác tại hộp đó hoàn tất, đèn LED xanh tắt, nắp đậy sẽ tự động đóng lại để ngăn thao tác lặp lại hoặc sai trình tự. Quy trình này lặp lại liên tục cho các bước tiếp theo trong quá trình lắp ráp, đảm bảo công nhân chỉ có thể thao tác theo đúng thứ tự quy định và không thể bỏ bước hay lấy sai linh kiện. Hình 10 thể hiện hình ảnh hệ thống hộp đựng Poka-Yoke có nắp đậy sau chế tạo. Để đánh giá mức độ hiệu quả về việc hỗ trợ giảm lỗi quy trình và nâng cao năng suất làm việc của hệ thống có nắp đậy, nhóm nghiên cứu tiếp tục tiến hành thử

thử nghiệm thao tác trên trạm của 102 người công nhân như trong 2 trường hợp đầu.



Hình 10. Hệ thống hộp đựng Poka-Yoke có nắp đậy

Kết quả thử nghiệm với hệ thống hộp đựng có tích hợp nắp đậy (TH3) cho thấy mức độ hiệu quả về số lỗi thao tác được cải thiện rõ rệt, theo đó số lỗi trung bình của công nhân thu được là 0,29 lỗi/sản phẩm giảm 55,8% so với trường hợp không có nắp đậy (Hình 11).



Hình 11. Kết quả thử nghiệm trong 3 trường hợp

Các lỗi của sản phẩm tập trung chủ yếu tại hộp số 1 nơi công nhân cần lấy 2 chi tiết, tuy nhiên thực tế công nhân lấy nhầm 1 chi tiết vẫn diễn ra tương đối nhiều. Điều này cho thấy cần có các phương pháp thay đổi nhất định về việc thiết lập thời gian thao tác trên khu vực hộp 1. Bên cạnh đó vẫn xuất hiện rải rác các lỗi quy trình tại vị trí của các hộp khác với nguyên nhân do công nhân lấy trượt chi tiết hoặc lấy nhầm 2 chi tiết 1 lúc dẫn đến kết thúc thao tác nắp đậy đóng lại khiến công nhân phải thao tác lại.

7. Kết luận

Nghiên cứu đã tiến hành thiết kế và triển khai hệ thống hộp đựng Poka-Yoke nhằm giảm thiểu lỗi thao tác và nâng cao năng suất lao động trên trạm lắp ráp thủ công. Hệ thống sử dụng cảm biến hồng ngoại và bộ điều khiển PLC để giám sát quá trình lấy linh kiện, đưa ra cảnh báo bằng đèn tín hiệu và âm thanh khi phát hiện thao tác sai.

Kết quả thử nghiệm trên 102 công nhân với hai

trường hợp có và không có hệ thống Poka-Yoke không có nắp đậy, bước đầu đã cho thấy hiệu quả tích cực về việc giảm thời gian lắp ráp và giảm số lỗi thao tác, cụ thể: Thời gian trung bình hoàn thành một sản phẩm giảm 23,7%, trong khi tỷ lệ lỗi thao tác trên mỗi công nhân giảm 38,6%.

Phân tích số lỗi theo từng vị trí hộp đựng cũng giúp nhận diện các điểm yếu trong thiết kế, đặc biệt là hộp số 1 có tỷ lệ lỗi cao nhất do yêu cầu lấy nhiều chi tiết. Điều này cho thấy sự cần thiết của việc cải thiện tín hiệu hướng dẫn và tối ưu hóa vị trí sắp xếp linh kiện.

Dựa trên kết quả thử nghiệm trong 2 trường hợp đầu, nghiên cứu đã tiến hành cải tiến hệ thống hộp đựng Poka-Yoke có tích hợp thêm nắp đậy nhằm ngăn chặn các lỗi lấy sai chi tiết trong quá trình lắp ráp. Kết quả cho thấy tỷ lệ lỗi trung bình của công nhân khi thao tác giảm 55,8% so với trường hợp không có nắp đậy.

Từ kết quả nghiên cứu, có thể khẳng định rằng việc ứng dụng Poka-Yoke vào quy trình lắp ráp không chỉ giúp công nhân giảm thiểu sai sót mà còn góp phần cải thiện năng suất lao động, nâng cao chất lượng sản phẩm. Trong các nghiên cứu tiếp theo nhóm tác giả sẽ tiếp tục phát triển và cải tiến hệ thống với các tính năng tự động hóa cao hơn, tích hợp giao diện trực quan hơn để hỗ trợ tốt hơn cho công nhân trong quá trình thao tác.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Alqahtani, F. M., Noman, M. A., Alabdulkarim, S. A., Alharkan, I., Alhaag, M. H., & Alessa, F. M. (2023). *A New Model for Determining Factors Affecting Human Errors in Manual Assembly Processes Using Fuzzy Delphi and DEMATEL Methods*. Symmetry, Vol.15(11), 1967.
- [2] Torres, Y., Nadeau, S., & Landau, K. (2021). *Classification and quantification of human error in manufacturing: a case study in complex manual assembly*. Applied Sciences, Vol.11(2), 749.
- [3] Saptari, A., Leau, J. X., Ng, P. K., & Mohamad, E. (2014). *Human error and production rate correlation in assembly process of electronics goods*. In Proceedings of the 24th Japan Society of Mechanical Engineers (JSME) Design and Systems Conference (Vol. 24, pp. 1-6). JSME.
- [4] Dinlersoz, E.; Wolf, Z (2022). *Automation, labor share, and productivity: Plant-level evidence from U.S. Manufacturing*. Econ. Innov. New Technol.
- [5] Thoben, K.-D.; Wiesner, S.; Wuest, T. (2017). *"Industrie 4.0" and smart manufacturing-a review of research issues and application examples*. Int. J. Autom. Technol. 2017,11, 4-16.8.
- [6] Savković, M., Komatina, N., Caiazzo, C., & Djapan, M. (2022). *Improving the quality of final product by Poka-Yoke system on assembly workstation: A case study*.
- [7] Sachin R. S., Beeranur R., Sharavanan (2015), *Design and Automation of HSU Assembly Station by Poka-Yoke*, International Journal of Engineering Research and Technology, Vol.4(6), pp.984-990.
- [6] Ngô Vương Quốc, Phạm Văn Quỳnh, Nguyễn Thị Minh Anh, Đàm Văn Tùng, Phạm Văn Triệu (2024). *Nghiên cứu thiết kế và chế tạo trạm lắp ráp thủ công có thể tùy biến theo nhân trắc học*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải, Số 78 (04/2024), tr.56-61.

Ngày nhận bài:	28/03/2025
Ngày nhận bản sửa:	19/04/2025
Ngày duyệt đăng:	20/04/2025