

Improving the Reliability of the LED Bulb Measurement System

Nguyen Khoa Tran^{ID}, Thi Anh Van Nguyen^{*ID}
Ho Chi Minh City University of Technology and Engineering, Vietnam

*Corresponding author. Email: anhvan@hcmute.edu.vn

ARTICLE INFO		ABSTRACT
Received:	06/04/2026	This study addresses deviations in optical parameters and inconsistencies in the light-quality control process for LED Bulb products at Center X of Corporation Y. It aims to identify the root causes of measurement errors and develop a standardized measurement system to improve the accuracy and reliability of product data prior to shipment. To achieve this objective, the study employed Pareto analysis to determine the most critical defect categories and measurement system analysis to isolate major sources of variation within the existing process. The results indicated that errors related to luminous flux and correlated color temperature accounted for 83.23% of total nonconformities, highlighting these factors as the dominant quality issues. In addition, the initial overall variation of the measurement system was 35.51%, exceeding the acceptable threshold specified in the AIAG Measurement Systems Analysis (MSA) guidelines and indicating a serious limitation in measurement capability. To address this issue, Poka-Yoke error-proofing was introduced through fixed-position markers on the lamp-holder mounting rod, along with the standardization of operating procedures. Following implementation, the overall variation index of the measurement system was reduced to below 10%. These findings demonstrate that standardizing measurement capability can establish a reliable data foundation for product quality assurance and support research and development in sustainable lighting technologies.
Revised:	28/04/2026	
Accepted:	30/06/2026	
Online First:	25/08/2026	
Published:	28/08/2026	
KEYWORDS		
Quality control;		
Integrating sphere;		
Measurement system;		
LED Bulb;		
Poka-Yoke.		

Cải thiện độ tin cậy hệ thống đo lường đèn LED Bulb

Trần Nguyên Khoa^{ID}, Nguyễn Thị Anh Vân^{*ID}
Trường Đại học Công nghệ Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

*Tác giả liên hệ. Email: anhvan@hcmute.edu.vn

THÔNG TIN BÀI BÁO		TÓM TẮT
Ngày nhận bài:	06/04/2026	Nghiên cứu này tập trung giải quyết vấn đề sai lệch thông số quang học và sự thiếu nhất quán trong quy trình kiểm soát chất lượng ánh sáng đối với dòng đèn LED Bulb tại trung tâm X thuộc tập đoàn Y. Nghiên cứu nhận diện các nguyên nhân gốc rễ gây sai số và đề xuất giải pháp chuẩn hóa hệ thống đo lường nhằm đảm bảo tính chính xác của dữ liệu sản phẩm trước khi xuất xưởng. Nhóm tác giả đã kết hợp các công cụ thống kê như biểu đồ Pareto để xác định nhóm lỗi trọng yếu và phương pháp phân tích hệ thống đo lường nhằm bóc tách các thành phần biến thiên. Kết quả thực nghiệm cho thấy lỗi quang thông và nhiệt độ màu chiếm tỷ lệ cao với 83,23% tổng số sai sót, đồng thời chỉ số biến thiên tổng thể của hệ thống đo lường ban đầu ở mức báo động là 35,51%, vượt ngưỡng cho phép theo tiêu chuẩn quốc tế. Thông qua việc triển khai phòng ngừa sai lỗi Poka-Yoke bằng các mốc định vị cố định trên thanh trụ giá đèn kết hợp với chuẩn hóa quy trình thao tác chuẩn, chỉ số biến thiên của hệ thống đo lường giảm xuống dưới 10%. Kết luận cho thấy việc chuẩn hóa năng lực đo lường thiết lập nền tảng dữ liệu tin cậy phục vụ công tác nghiên cứu và phát triển sản phẩm chiếu sáng bền vững.
Ngày hoàn thiện:	28/04/2026	
Ngày chấp nhận đăng:	30/06/2026	
Ngày đăng trực tuyến:	25/08/2026	
Ngày xuất bản:	28/08/2026	
TỪ KHÓA		
Kiểm soát chất lượng;		
Quả cầu tích phân;		
Hệ thống đo lường;		
Đèn LED Bulb;		
Poka-Yoke.		

DOI: <https://doi.org/10.54644/jte.2026.2232>

Copyright © JTE. This is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](#) which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium for non-commercial purpose, provided the original work is properly cited.

1. Giới thiệu

Ngành chiếu sáng toàn cầu đang chứng kiến sự dịch chuyển mạnh mẽ sang công nghệ LED trong bối cảnh Công nghiệp 4.0, nhằm tối ưu hóa hiệu suất năng lượng, tuổi thọ sản phẩm và độ ổn định của chất lượng ánh sáng. Đối với sản phẩm đèn LED Bulb, các thông số quang học như quang thông, nhiệt độ màu tương quan và chỉ số hoàn màu là những đặc tính kỹ thuật quan trọng. Vì vậy, việc đảm bảo độ chính xác và độ tin cậy của hệ thống đo lường có ý nghĩa then chốt đối với hoạt động kiểm soát chất lượng. Các nghiên cứu gần đây về quản trị chất lượng trong công nghiệp 4.0 cho thấy việc tích hợp các công cụ như dữ liệu lớn, trí tuệ nhân tạo, IoT, cảm biến thông minh, phân tích thời gian thực và hệ thống sản xuất thông minh có thể hỗ trợ doanh nghiệp nâng cao năng lực kiểm soát quá trình, giảm sai lỗi và cải thiện hiệu quả vận hành [1], [2]. Bên cạnh đó, xu hướng quản trị chất lượng trong công nghiệp 5.0 tiếp tục mở rộng phạm vi quản lý chất lượng theo hướng kết hợp giữa công nghệ và yếu tố con người, nhấn mạnh tính lấy con người làm trung tâm, phát triển bền vững và khả năng phục hồi của hệ thống sản xuất [3]. Điều này cho thấy việc giảm sai số do thao tác con người, chuẩn hóa quy trình đo lường và thiết lập cơ chế phòng ngừa sai lỗi là phù hợp với định hướng quản lý chất lượng hiện đại.

Tại Việt Nam, Tập đoàn Y là một trong những doanh nghiệp lớn trong lĩnh vực sản xuất thiết bị chiếu sáng và thiết bị điện. Trong chiến lược phát triển của doanh nghiệp, chất lượng sản phẩm và độ tin cậy của dữ liệu kiểm định đóng vai trò quan trọng trong việc duy trì uy tín thương hiệu, nâng cao năng lực cạnh tranh và đáp ứng yêu cầu ngày càng cao của thị trường. Tuy nhiên, thực tế tại Trung tâm X cho thấy công tác kiểm soát thông số quang học của dòng đèn LED Bulb vẫn còn tồn tại một số hạn chế, đặc biệt là sai lệch về quang thông và nhiệt độ màu trong quá trình đo tại quả cầu tích phân.

Các nghiên cứu gần đây trong sản xuất cho thấy các công cụ như biểu đồ Pareto, sơ đồ nhân quả, phân tích nguyên nhân gốc rễ, kiểm định thống kê và chuẩn hóa quy trình có hiệu quả trong việc nhận diện lỗi trọng yếu, giảm biến thiên và cải thiện năng lực quá trình [4], [5]. Đặc biệt, trong các nghiên cứu cải tiến chất lượng thực nghiệm, việc kết hợp Pareto, biểu đồ xương cá và kiểm định thống kê đã giúp xác định nguyên nhân chính gây lỗi và đánh giá hiệu quả giải pháp cải tiến một cách định lượng [4], [5].

Từ thực trạng trên, nghiên cứu này được thực hiện nhằm cải thiện độ tin cậy của hệ thống đo lường đèn LED Bulb tại Trung tâm X. Cụ thể, nghiên cứu tập trung vào ba nội dung chính. Thứ nhất, sử dụng biểu đồ Pareto để xác định nhóm lỗi trọng yếu trong quá trình kiểm soát chất lượng ánh sáng. Thứ hai, áp dụng phân tích hệ thống đo lường Gage R&R nhằm đánh giá mức độ biến thiên do thiết bị và do người vận hành. Theo AIAG, chất lượng dữ liệu đo lường phụ thuộc vào các đặc tính thống kê của hệ thống đo, trong đó độ chệch và phương sai là hai yếu tố quan trọng để đánh giá chất lượng dữ liệu đo [6]. Ngoài ra, Gage R&R được sử dụng để ước lượng kết hợp độ lặp lại và độ tái lập của hệ thống đo, qua đó phản ánh năng lực của hệ thống đo lường trong điều kiện vận hành thực tế [6]. Thứ ba, đề xuất giải pháp Poka-Yoke và chuẩn hóa quy trình thao tác nhằm giảm sai số đo lường, nâng cao độ ổn định của dữ liệu và hỗ trợ quá trình ra quyết định chất lượng dựa trên bằng chứng.

Kết quả nghiên cứu kỳ vọng đóng góp về mặt thực tiễn cho doanh nghiệp thông qua việc chuẩn hóa thao tác đo, giảm sự phụ thuộc vào kinh nghiệm chủ quan của kiểm định viên và nâng cao độ tin cậy của dữ liệu sản phẩm trước khi xuất xưởng. Về mặt học thuật, nghiên cứu bổ sung một tình huống thực nghiệm trong lĩnh vực đo lường sản phẩm chiếu sáng, qua đó minh họa cách kết hợp các công cụ quản lý chất lượng truyền thống với định hướng công nghiệp 4.0 và công nghiệp 5.0 trong môi trường sản xuất hiện đại.

Phần còn lại của bài báo được tổ chức như sau: Mục 2 mô tả phương pháp nghiên cứu và quy trình thực nghiệm được triển khai tại Trung tâm X. Mục 3 tập trung phân tích thực trạng hệ thống đo lường, xác định nguyên nhân gốc rễ và đánh giá hiệu quả của các giải pháp cải tiến thông qua dữ liệu thực chứng. Cuối cùng, mục 4 tổng kết các kết quả đạt được và đưa ra những định hướng cho các nghiên cứu tiếp theo.

2. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu này được thực hiện dựa trên phương pháp thực nghiệm kết hợp phân tích thống kê để giải quyết các sai lệch về thông số ánh sáng. Việc ứng dụng phân tích hệ thống đo lường trong nghiên cứu này cho phép bóc tách chính xác các thành phần sai số do thiết bị và do thao tác con người.

Toàn bộ các phép đo thực nghiệm được thực hiện tại phòng quả cầu tích phân thuộc Trung tâm X. Hệ thống thiết bị chính là quả cầu tích phân đường kính 2 m, được chế tạo từ thép cán nguội và phủ lớp phản xạ chuyên dụng để đảm bảo độ phản xạ ánh sáng đồng đều. Quy trình đo lường được điều khiển và giám sát thông qua phần mềm chuyên dụng HAAS-1200, cho phép ghi nhận và xử lý các thông số quang học như quang thông, nhiệt độ màu và chỉ số hoàn màu. Để đảm bảo tính chuẩn xác, nghiên cứu sử dụng bóng đèn đo độ tin cậy làm mẫu chuẩn với các giá trị quang thông đã được xác lập cụ thể để đối chứng và hiệu chuẩn thiết bị định kỳ.

Quy trình triển khai nghiên cứu được chia thành bốn giai đoạn chính nhằm đảm bảo tính hệ thống và độ tin cậy của dữ liệu:

- Giai đoạn khảo sát thực trạng: Trong khoảng thời gian từ tháng 02 đến tháng 07 năm 2025, nhóm tác giả tiến hành chọn ngẫu nhiên 501 mẫu đèn LED Bulb từ các lô sản phẩm đã hoàn thiện tại nhà máy. Việc thu thập dữ liệu và ghi nhận các điểm không phù hợp (sai lỗi) được thực hiện trực tiếp tại công đoạn kiểm định quang học ở phòng quả cầu tích phân. Kết quả từ giai đoạn này là cơ sở để xây dựng biểu đồ Pareto nhằm nhận diện nhóm lỗi quan trọng đang gây ảnh hưởng lớn nhất đến chất lượng ánh sáng [4], [7]. Biểu đồ Pareto kết hợp với sơ đồ xương cá được sử dụng để xác định nhóm lỗi chiếm tỷ trọng lớn nhất, lên tới 83,23%, đồng thời truy tìm nguyên nhân cốt lõi theo khung phân tích 4M gồm con người, máy móc, phương pháp và nguyên vật liệu [8].
- Giai đoạn thẩm định năng lực hệ thống đo: Sử dụng phương pháp Gage R&R trên 10 mẫu đèn LED Bulb đại diện với sự tham gia của 3 kiểm định viên. Mỗi mẫu được đo lặp lại nhiều lần để định lượng sai số do độ lặp lại của thiết bị và độ tái lập giữa các người vận hành. Phương pháp phân tích hệ thống đo lường Gage R&R được áp dụng nhằm bóc tách các nguồn biến thiên và cho thấy sai số hệ thống ban đầu ở mức 35,51%, vượt ngưỡng chấp nhận theo các tiêu chuẩn kỹ thuật hiện hành. Đây là một hệ thống đo lường được đánh giá dựa trên các ngưỡng chấp nhận của chỉ số %GRR: nếu $\%GRR < 10\%$, hệ thống đạt yêu cầu (lý tưởng); nếu $10\% \leq \%GRR \leq 30\%$, hệ thống ở mức tạm chấp nhận tùy thuộc vào chi phí thiết bị và tầm quan trọng của đặc tính đo; và nếu $\%GRR > 30\%$, hệ thống được coi là không đạt yêu cầu và bắt buộc phải thực hiện các biện pháp cải tiến [6].
- Giai đoạn phân tích độ chệch: Thực hiện thu thập 50 lần đo liên tiếp trên mẫu đèn tiêu chuẩn trong thời gian 25 tuần. Dữ liệu này được sử dụng để kiểm định xem kết quả đo trung bình của hệ thống có bị lệch so với giá trị thực tế của chuẩn đo lường hay không.
- Giai đoạn xác định nguyên nhân gốc rễ: Kết hợp dữ liệu định lượng từ các giai đoạn trên với các công cụ định tính như biểu đồ xương cá và phương pháp 5 Whys [9], [10]. Mục tiêu là xuyên qua các hiện tượng sai lệch bề mặt để tìm ra các lỗ hổng trong quy trình vận hành và tiêu chuẩn kỹ thuật hiện tại.

Dữ liệu nghiên cứu được xử lý thông qua phân tích phương sai (ANOVA) để tính toán chỉ số phần trăm biến thiên của hệ thống đo lường. Hệ thống được đánh giá là đạt chuẩn khi sai số đo lường chiếm tỷ lệ không đáng kể so với tổng biến động của quá trình. Bên cạnh đó, các phép thử t (t-test) được áp dụng để xác định ý nghĩa thống kê của độ chệch, đảm bảo các quyết định cải tiến dựa trên các khoảng tin cậy khoa học. Việc kết hợp các phương pháp này giúp đưa ra những minh chứng xác thực về hiệu quả của giải pháp chuẩn hóa mức định vị vật lý và quy trình thao tác chuẩn trong việc nâng cao độ chính xác kiểm định.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Giới thiệu công ty và quy trình thử nghiệm

Trung tâm X là đơn vị trực thuộc Công ty Cổ phần Tập đoàn Y (một doanh nghiệp chuyên sản xuất thiết bị chiếu sáng tại miền Nam, Việt Nam). Trung tâm này được phát triển từ phòng thử nghiệm nội

bộ có bề dày hoạt động từ năm 2007 và đảm nhận chức năng kiểm định chất lượng nguyên liệu đầu vào, bán thành phẩm và thành phẩm cuối cùng trước khi đưa ra thị trường, đồng thời cung cấp dịch vụ kiểm định cho các đối tác bên ngoài. Với hệ thống trang thiết bị hiện đại như phòng quả cầu tích phân và phòng duy trì quang thông, trung tâm nhằm đảm bảo cung cấp các kết quả đo lường chính xác, khách quan và tin cậy.



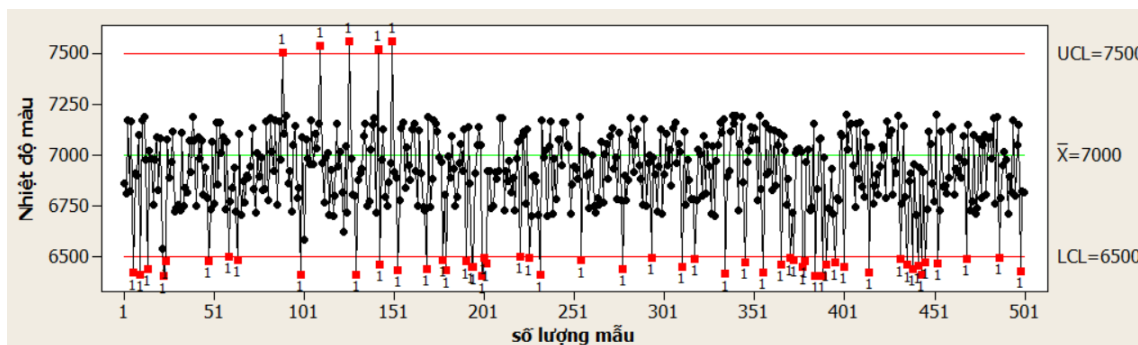
Hình 1. Sản phẩm đèn LED Bulb và quả cầu tích phân 2 m của Trung tâm X.

Quy trình đo lường bằng quả cầu tích phân (Hình 1) được thực hiện qua các bước chuẩn hóa hệ thống. Đầu tiên, thiết bị được vận hành ổn định nhiệt trong 30 phút để đưa linh kiện và cảm biến về trạng thái cân bằng. Sau khi khởi động phần mềm, kiểm định viên tiến hành kiểm tra độ tin cậy bằng nguồn sáng chuẩn. Nếu sai số nằm trong phạm vi cho phép, mẫu thử (Hình 1) sẽ được lắp đặt và căn chỉnh đồng trục bằng định vị laser. Trường hợp sai số vượt ngưỡng, hệ thống bắt buộc phải thực hiện tái hiệu chuẩn trước khi tiếp tục thử nghiệm.

Giai đoạn thử nghiệm chính thức được thực hiện sau khi quả cầu tích phân đóng kín và mẫu thử được cấp nguồn ổn định. Kiểm định viên thiết lập các tham số vận hành trên phần mềm chuyên dụng để ghi nhận các chỉ số đầu ra gồm: quang thông, nhiệt độ màu và hiệu suất phát quang trong thời gian quy định. Toàn bộ kết quả đo lường được hệ thống lưu trữ tự động và chuyển đến bộ phận quản lý chất lượng để thẩm định, phê duyệt và ban hành báo cáo thử nghiệm. Việc tuân thủ nghiêm ngặt trình tự này đảm bảo tính chính xác, khả năng tái lập và truy xuất nguồn gốc của dữ liệu đầu ra.

3.2. Ứng dụng biểu đồ kiểm soát để đo lường quy trình thử nghiệm

Trong phần này, nhóm tác giả đã tiến hành thu thập dữ liệu về các sai lệch kỹ thuật xảy ra trong quá trình thử nghiệm từ tháng 02 đến tháng 07 năm 2025, sau đó xử lý các thông số của biểu đồ kiểm soát X. Kết quả được trình bày cụ thể tại Hình 2.



Hình 2. Biểu đồ kiểm soát nhiệt độ màu của sản phẩm.

Dựa trên Hình 2, kết quả cho thấy nhiệt độ màu của sản phẩm có sự biến động lớn. Kết quả từ việc kiểm tra các mẫu thử trong suốt thời gian nghiên cứu chỉ ra rằng quá trình hiện tại không ổn định. Hai đường giới hạn dưới và trên lần lượt là $LSL = 6500\text{ K}$ và $USL = 7500\text{ K}$, đây là giới hạn tiêu chuẩn kỹ thuật do công ty quy định. Vì vậy, các điểm vượt ngoài khoảng LSL - USL được đánh giá là không phù hợp với yêu cầu kỹ thuật về nhiệt độ màu của sản phẩm. Để giảm thiểu tỷ lệ lỗi và nâng cao chất lượng

sản phẩm, việc xác định các nguyên nhân gốc rễ và thực hiện các biện pháp khắc phục là thực sự cần thiết nhằm đảm bảo quá trình vận hành luôn ổn định trong các giới hạn kiểm soát cho phép.

3.3. Phân tích hệ thống đo lường cho quả cầu tích phân

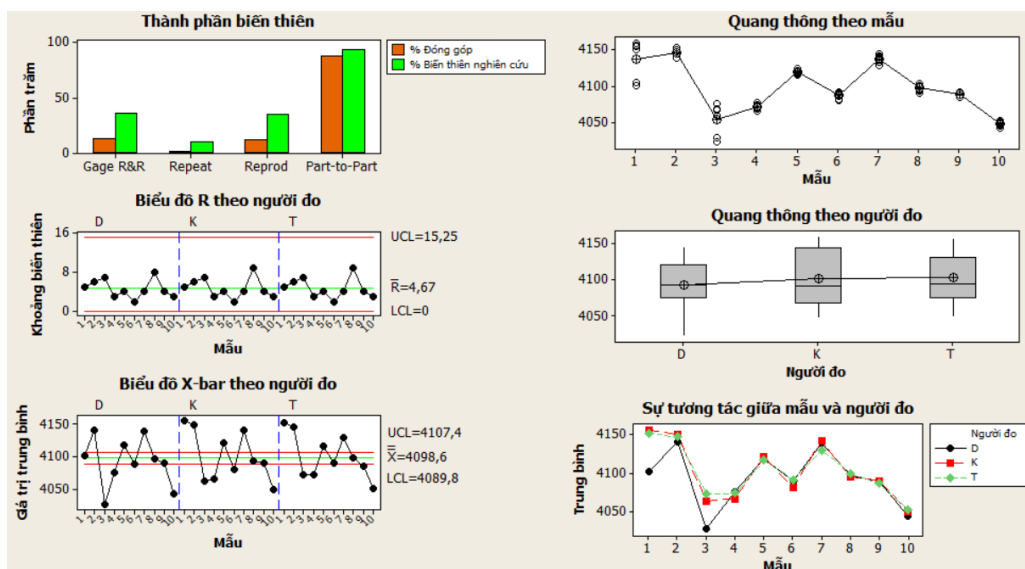
3.3.1. Phân tích Gage R&R của quả cầu tích phân

Quá trình đánh giá năng lực hệ thống đo lường được thực hiện dựa trên phương pháp Gage R&R thiết kế chéo. Thiết kế này được lựa chọn do đặc thù của phép đo quang thông trong quả cầu tích phân cho phép các kiểm định viên khác nhau có thể đo lặp lại trên cùng một mẫu thử mà không làm thay đổi tính chất vật lý của mẫu.

Bảng 1. Kết quả phân tích Gage R&R – ANOVA.

Nguồn biến động	Độ lệch chuẩn (SD)	Biến thiên nghiên cứu, 6×SD (1m)	% Biến thiên nghiên cứu
		(6 * SD)	(%SV)
Tổng Gage R&R	13,0643	78,386	35,51
Độ lặp lại	3,5730	21,438	9,71
Độ tái lập	12,5662	75,397	34,15
Người đo	3,8627	23,176	10,50
Người đo * Mẫu thử	11,9578	71,747	32,50
Giữa các mẫu thử	34,3945	206,367	93,48
Tổng biến động	36,7921	220,753	100,00

Ma trận dữ liệu được thiết lập với 3 kiểm định viên được lựa chọn ngẫu nhiên từ đội ngũ kỹ thuật. Mỗi người sẽ tiến hành đo 10 mẫu đèn LED Bulb đại diện. Mỗi tổ hợp người-mẫu được tiến hành đo lặp lại 2 lần. Tổng cộng quá trình này tạo ra bộ dữ liệu cân bằng gồm 60 phép đo (3 người × 10 mẫu × 2 lần lặp). Nhằm triệt tiêu sự thiên lệch chủ quan, 10 bóng đèn mẫu được đánh số thứ tự ẩn danh. Trong quá trình thực nghiệm, các kiểm định viên thực hiện phép đo một cách hoàn toàn ngẫu nhiên và không được biết trước số thứ tự từng bóng đèn. Tất cả các phép đo đều được thực hiện trong điều kiện phòng thí nghiệm tiêu chuẩn, sử dụng cùng một phần mềm HAAS-1200 nhằm cô lập tối đa các biến số nhiễu từ môi trường ngoại vi. Dữ liệu thu thập được phân tích Gage R&R, kết quả trình bày ở Bảng 1 và trực quan hóa ở Hình 3.

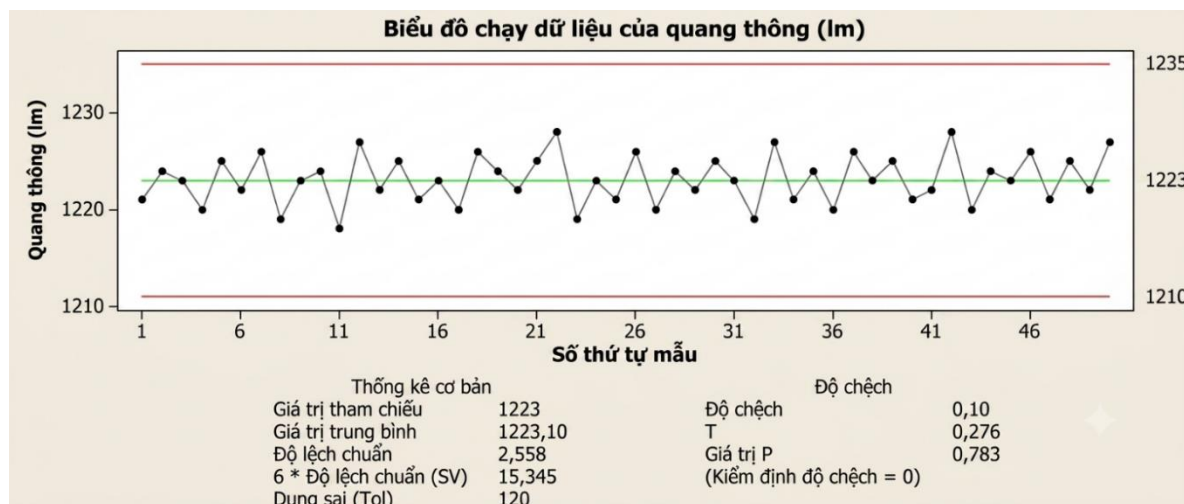


Hình 3. Kết quả Gage R&R – Phân tích phương sai đo quang thông của đèn LED Bulb.

Kết quả ở Bảng 1 và Hình 3 cho thấy hệ thống đo chưa đạt yêu cầu vì Tổng Gage R&R = 35,51%, vượt ngưỡng chấp nhận thông thường 30%; nguyên nhân chính đến từ Độ tái lập = 34,15%, đặc biệt là tương tác Người đo * Mẫu thử = 32,50%. Tuy nhiên, Giữa các mẫu = 93,48% cho thấy sự khác biệt giữa các mẫu là rất rõ, nên cần chuẩn hóa thao tác/người đo để cải thiện độ ổn định của hệ thống đo.

3.3.2. Độ chệch của quả cầu tích phân

Để đánh giá độ chệch và độ ổn định của hệ thống, nhóm tác giả tiến hành đo lường mẫu đèn chuẩn với tần suất 2 lần/tuần trong 25 tuần ($n = 50$). Các điều kiện thực nghiệm được kiểm soát nghiêm ngặt thông qua việc ổn định nhiệt thiết bị trong 30 phút và duy trì môi trường phòng thí nghiệm cố định. Nghiên cứu sử dụng kiểm định t một mẫu nhằm so sánh giá trị trung bình thực tế với giá trị tham chiếu. Phương pháp này giúp định lượng sai số hệ thống và xác định khoảng tin cậy của độ chệch, làm cơ sở khẳng định độ chính xác của quả cầu tích phân trước khi thực hiện các cải tiến tiếp theo.



Hình 4. Phân tích độ chệch của quả cầu tích phân.

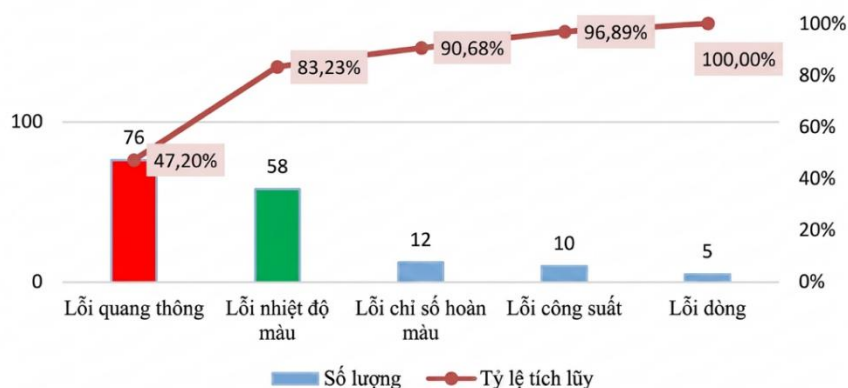
Kết quả ở Hình 4 cho thấy giá trị trung bình của 50 phép đo thực nghiệm đạt 1223,10 lm, chỉ sai lệch 0,10 lm so với giá trị tham chiếu (Độ chệch = 0,10). Kết quả kiểm định t một mẫu (với giả thuyết H_0 : Độ chệch = 0) cho thấy giá trị kiểm định $T = 0,276$ và giá trị $P = 0,783$ (lớn hơn mức ý nghĩa $\alpha = 0,05$). Do đó, không đủ cơ sở bác bỏ giả thuyết H_0 , minh chứng rằng độ chệch của hệ thống không có ý nghĩa thống kê và sự sai lệch 0,10 lm hoàn toàn do dao động ngẫu nhiên trong quá trình đo đạc. Hệ thống đo lường được xác nhận đảm bảo tính chính xác và không tồn tại sai số hệ thống.

Từ kết quả trên, nhóm tác giả nhận định rằng thiết bị đo có độ chính xác cao, với sai lệch không đáng kể so với chuẩn. Thiết bị hoàn toàn đáp ứng yêu cầu về độ chệch trong đo lường theo chuẩn thử nghiệm nội bộ. Việc kiểm soát tốt độ chệch góp phần đảm bảo độ tin cậy và tính lặp lại của các kết quả đo trong toàn bộ quy trình thử nghiệm.

3.4. Phân tích nguyên nhân gây ra lỗi chất lượng sản phẩm

Từ kết quả khảo sát 501 mẫu đèn LED Bulb ngẫu nhiên, nhóm tác giả đã ghi nhận tổng cộng 161 điểm không phù hợp (lỗi). Biểu đồ Pareto được thiết lập dựa trên mẫu số là tổng số lỗi phát hiện được, nhằm nhận diện những vấn đề trọng yếu nhất. Trong quá trình thu thập dữ liệu, nếu một sản phẩm đơn lẻ vi phạm nhiều thông số kỹ thuật, mỗi sai lệch sẽ được đếm là một điểm không phù hợp độc lập.

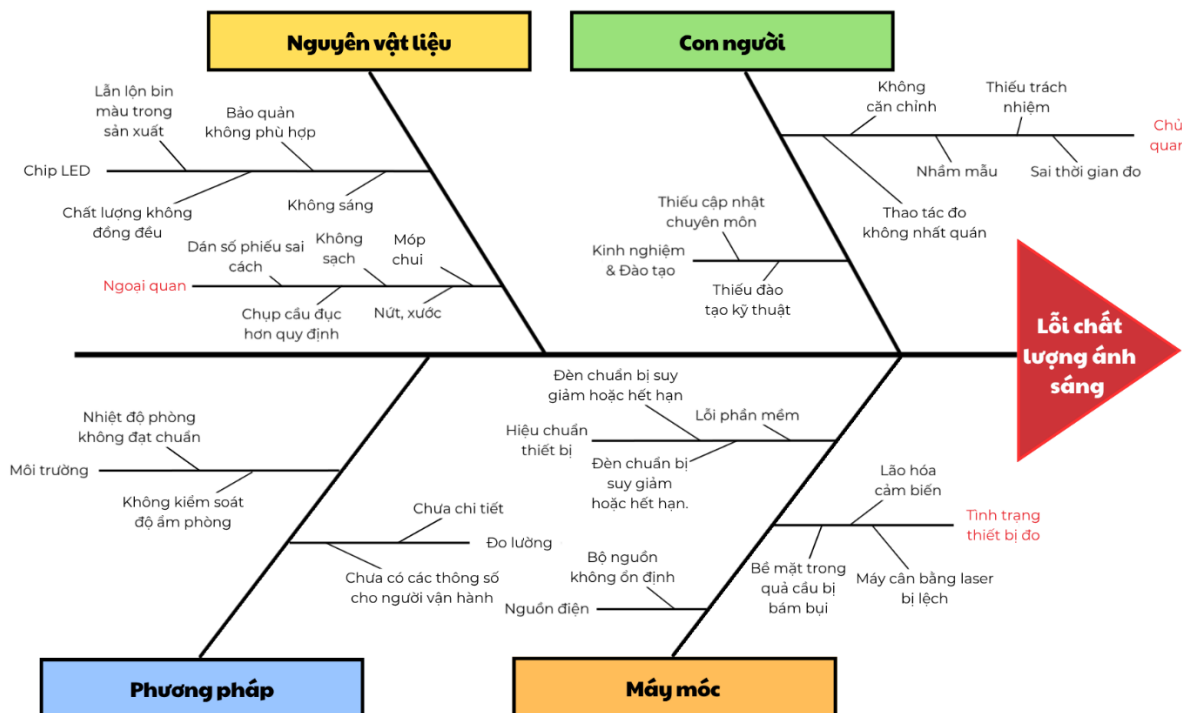
Kết quả tại Hình 5 cho thấy lỗi Quang thông (76 lỗi) và Nhiệt độ màu (58 lỗi) là hai nhóm lỗi phổ biến nhất, lần lượt chiếm tỷ lệ 47,2% và 36,0% trên tổng số lỗi ghi nhận được. Tổng hợp hai nhóm này chiếm tới 83,23% tổng số điểm không phù hợp, khẳng định đây là các vấn đề ưu tiên cần được giải quyết trong dự án cải tiến.



Hình 5. Biểu đồ Pareto thể hiện các lỗi chủ yếu ảnh hưởng đến chất lượng ánh sáng của đèn LED Bulb.

3.5. Phân tích nguyên nhân gốc rễ

Nhóm nghiên cứu xác định nguyên nhân gốc rễ dựa trên các bằng chứng dữ liệu từ các giai đoạn phân tích trước. Thứ nhất, kết quả phân tích hệ thống đo lường chỉ ra tỷ lệ đóng góp của độ tải lập lên tới 34,15% trong tổng biến thiên quy trình. Về mặt thống kê chất lượng, sai số độ tải lập cao vượt trội so với độ lặp lại khẳng định nguồn gốc bất ổn định xuất phát từ sự khác biệt trong thao tác giữa các kiểm định viên. Thứ hai, dữ liệu từ biểu đồ Pareto xác định nhóm lỗi về "quang thông" và "nhiệt độ màu" chiếm tỷ trọng lớn nhất. Về mặt kỹ thuật, giá trị quang thông đo được trong quả cầu tích phân phụ thuộc mật thiết vào vị trí tâm sáng của nguồn sáng, chứng minh sai số gá đặt vật lý chính là tác nhân cốt lõi gây sai lệch kết quả.



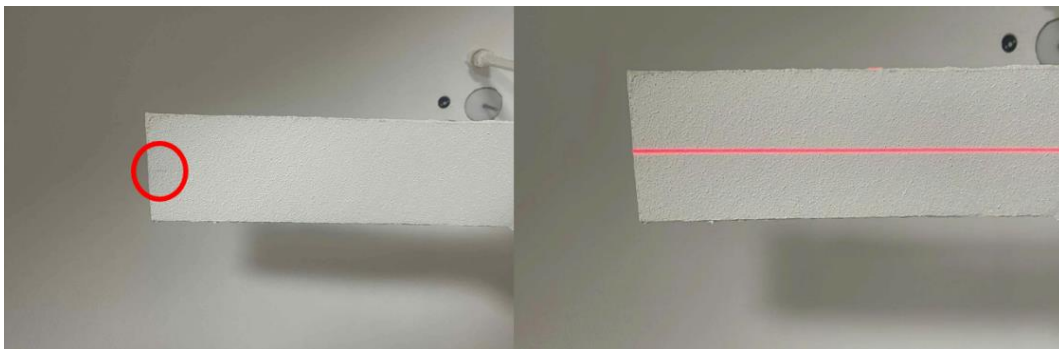
Hình 6. Biểu đồ xương cá thể hiện lỗi chất lượng ánh sáng.

Từ sơ đồ xương cá (Hình 6) và phương pháp 5 Whys, nghiên cứu đã xác định ba nguyên nhân gốc rễ gây sai lệch trong quy trình đo lường: (1) Hệ thống quản lý chất lượng chưa tích hợp bước kiểm soát ngoại quan trước khi thử nghiệm; (2) Quy trình vận hành phụ thuộc vào tính tự giác của con người, thiếu cơ chế phòng ngừa sai lỗi (Poka-Yoke) để triệt tiêu yếu tố cảm tính; (3) Sự kết hợp giữa thao tác chưa chuẩn hóa và thiết bị đo chưa ở trạng thái tối ưu.

3.6. Đề xuất giải pháp

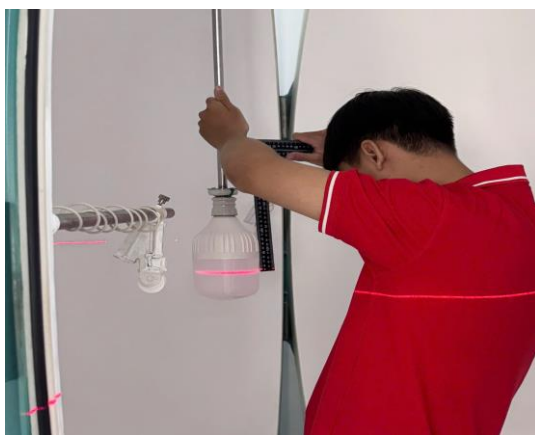
Để khắc phục sai số do cảm tính và đảm bảo tính đồng nhất, nhóm tác giả đề xuất chuẩn hóa quy trình lắp đặt mẫu tại quả cầu tích phân của Trung tâm X thông qua các bước định lượng cụ thể như sau:

- (1) **Xác định mốc tham chiếu chuẩn:** Tiến hành đánh dấu cụ thể trung điểm của tấm chắn sáng bên trong quả cầu tích phân làm điểm tựa vật lý cố định cho việc canh tâm laser thay vì ước lượng bằng mắt (Cụ thể như Hình 7).



Hình 7. Đánh dấu mốc trung điểm trên tấm chắn sáng.

- (2) **Chuẩn hóa vị trí tọa độ không gian:** Sử dụng kết hợp công nghệ laser hội tụ và thước đo bổ sung để đảm bảo tâm bóng đèn luôn nằm ở vị trí trung tâm tuyệt đối của quả cầu, giúp triệt tiêu sai lệch tọa độ bất kể người thực hiện là ai (Minh họa ở Hình 8).



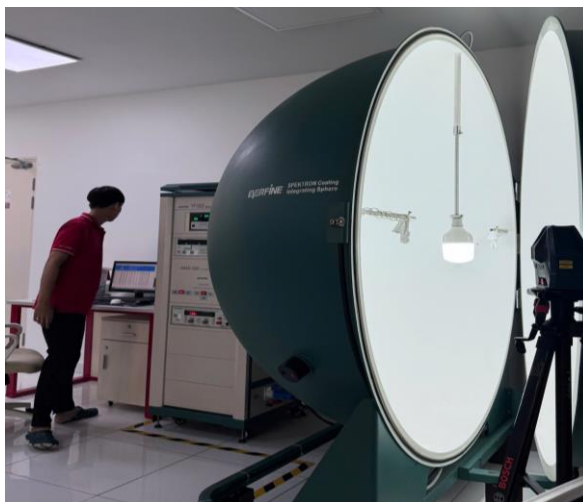
Hình 8. Kiểm định viên sử dụng thêm thước trong căn chỉnh mẫu.

- (3) **Thiết lập cơ chế chống lỗi:** Thực hiện đánh dấu các mốc giá trị 20 W – 30 W – 40 W trực tiếp lên thanh trụ giá đèn (Minh họa ở Hình 9). Cơ chế này giúp nhân viên lắp đặt mẫu chính xác theo vạch sẵn cho từng loại bóng mà không cần đo đạc phức tạp hay nhầm lẫn cảm tính.



Hình 9. Đánh dấu các mốc giá trị lên thanh trụ giá đèn.

(4) Kiểm soát thông số ổn định trước khi đo: Quy định bước đối soát bắt buộc về điện áp đầu vào và thiết lập thời gian ổn định nhiệt đúng 5 phút trên phần mềm HAAS-1200 trước khi đóng nắp quả cầu (Minh họa ở Hình 10). Việc này đảm bảo bóng đèn đạt trạng thái ổn định nhiệt tối ưu trước khi ghi nhận dữ liệu chính thức.



Hình 10. Kiểm định viên kiểm tra lại các thông số kỹ thuật và thiết lập thời gian đo trước khi đóng nắp quả cầu để tiến hành phép đo.

3.7. Đánh giá kết quả

Nhằm đánh giá hiệu quả của các giải pháp sau khi chuẩn hóa, nhóm tác giả đã tiến hành thực hiện lại phép đo tương tự trên cùng 10 mẫu đèn LED Bulb với sự tham gia của 3 kiểm định viên như phương pháp đã triển khai ở giai đoạn trước. Quá trình thực nghiệm lặp lại này được kiểm soát nghiêm ngặt dưới các điều kiện vận hành mới, giúp nhóm tác giả đối chiếu trực tiếp sự thay đổi về năng lực hệ thống đo lường trước và sau khi áp dụng các mốc định vị vật lý và quy trình thao tác chuẩn.

Bảng 2. Kết quả phân tích Gage R&R – ANOVA sau khi cải tiến.

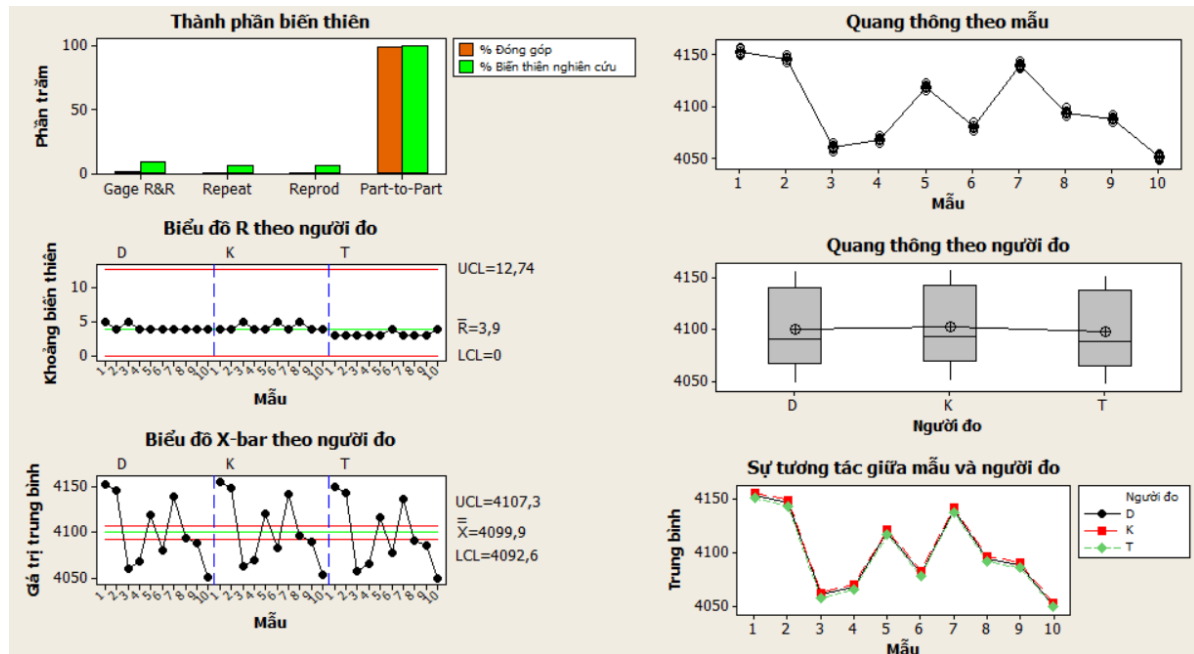
Nguồn biến động	Độ lệch chuẩn (SD)	Biến thiên nghiên cứu, $6 \times SD$ (lm)	% Biến thiên nghiên cứu
		(6 * SD)	(%SV)
Tổng Gage R&R	3,2161	19,296	8,59
Độ lặp lại	2,2236	13,342	5,94
Độ tái lập	2,3235	13,941	6,21
Người đo	2,3235	13,941	6,21
Giữa các mẫu thử	37,2819	223,692	99,63
Tổng biến động	37,4204	224,522	100,00

Số liệu thực chứng từ Bảng 2 chỉ ra chỉ số biến thiên tổng thể (%GRR) của hệ thống đo lường đã giảm mạnh từ 35,51% xuống còn 8,59%. Đối chiếu với tiêu chuẩn đánh giá năng lực của AIAG, hệ thống đo lường đã chuyển dịch từ trạng thái không đạt yêu cầu (%GRR > 30%) sang trạng thái đạt yêu cầu lý tưởng (%GRR < 10%). Kết quả này khẳng định dữ liệu trích xuất từ quả cầu tích phân đã đạt độ tin cậy thống kê, đảm bảo năng lực phục vụ công tác kiểm định chất lượng sản phẩm.

Phân tích Gage R&R sau cải tiến cho thấy sự sụt giảm toàn diện ở cả hai thành phần lỗi. Đặc biệt, sai số giữa các kiểm định viên gần như được triệt tiêu hoàn toàn nhờ các mốc định vị vật lý cố định của cơ chế Poka-Yoke, giúp loại bỏ triệt để tính chủ quan và trực giác cảm tính trong thao tác gá đặt đèn.

Nhằm trực quan hóa xu hướng phân tán dữ liệu và năng lực chẩn đoán phân biệt của hệ thống sau cải tiến, các đồ thị Gage R&R tương ứng được thể hiện trong (Hình 11).

Kết quả định lượng và trực quan khẳng định giải pháp phòng ngừa sai lỗi đã khắc phục triệt để sự bất ổn định của hệ thống đo lường, đảm bảo tính chính xác và bền vững.



Hình 11. Phân tích phương sai đo quang thông của đèn LED Bulb sau khi cải tiến.

4. Kết luận

Nghiên cứu ứng dụng các công cụ thống kê tại Trung tâm X nhằm kiểm soát và triệt tiêu sai lệch trong quy trình thử nghiệm đèn LED Bulb. Việc kết hợp biểu đồ Pareto, sơ đồ xương cá và phân tích hệ thống đo lường đã xử lý hiệu quả các nguồn biến thiên. Kết quả thực nghiệm đối chứng cho thấy chỉ số biến thiên hệ thống đo giảm mạnh từ mức báo động 35,51% xuống ngưỡng lý tưởng dưới 10% nhờ giải pháp phòng ngừa sai lỗi bằng cơ chế định vị vật lý. Đồng thời, biểu đồ Pareto xác định lỗi quang thông, nhiệt độ màu là trọng tâm cần ưu tiên và sơ đồ xương cá xác định chính xác nguyên nhân cốt lõi do thao tác gá đặt cảm tính của kiểm định viên.

Về khía cạnh quản lý, nghiên cứu minh chứng việc ứng dụng công cụ thống kê giúp chuyển đổi từ quản lý chất lượng thụ động sang chủ động, hỗ trợ ra quyết định dựa trên dữ liệu thay vì cảm tính. Nghiên cứu cũng khẳng định việc thiết lập quy trình thao tác chuẩn và kế hoạch bảo trì định kỳ là điều kiện tiên quyết để triệt tiêu biến thiên, duy trì sự ổn định của năng lực quy trình đầu ra. Bài học kinh nghiệm này có khả năng mở rộng cao cho các hệ thống sản xuất và đo lường tương tự nhằm giảm tỷ lệ lỗi và nâng cao tính đồng nhất của sản phẩm.

Mặc dù đạt được những kết quả khả quan, nghiên cứu vẫn tồn tại một số hạn chế như thời gian thu thập dữ liệu tương đối ngắn và chỉ tập trung vào một dòng sản phẩm cụ thể tại Tập đoàn Y. Các nghiên cứu trong tương lai có thể mở rộng thời gian đánh giá hoặc ứng dụng phương pháp tương tự cho nhiều ngành công nghiệp khác nhau. Việc tích hợp các công cụ kỹ thuật số như hệ thống giám sát theo thời gian thực hoặc phân tích dự báo sẽ góp phần tăng cường năng lực kiểm soát chất lượng. Ngoài ra, các nhà nghiên cứu có thể khám phá thêm cách thức những cải tiến này đóng góp vào mục tiêu phát triển bền vững như giảm lãng phí nguyên vật liệu và tối ưu hóa mức tiêu thụ năng lượng.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả bày tỏ lòng biết ơn chân thành đối với sự hỗ trợ từ Trường Đại học Công nghệ Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam.

Xung đột lợi ích

Nhóm tác giả tuyên bố không có xung đột lợi ích trong bài báo này.

Tuyên bố dữ liệu sẵn có

Dữ liệu hỗ trợ cho các phát hiện của nghiên cứu này sẽ được nhóm tác giả cung cấp khi có yêu cầu hợp lý từ độc giả.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] C. Zhang and Y. Chen, "A review of research relevant to the emerging industry trends: Industry 4.0, IoT, blockchain, and business analytics," *Journal of Industrial Integration and Management*, vol. 5, no. 1, pp. 165–180, 2020.
- [2] T. A. V. Nguyen, D. Tucek, N. T. Pham, and K. H. Nguyen, "Quality 4.0 practices toward sustainable excellence in the manufacturing sector," *Total Quality Management & Business Excellence*, vol. 35, no. 13–14, pp. 1593–1610, 2024, doi: 10.1080/14783363.2024.2383616.
- [3] T. A. V. Nguyen, K. H. Nguyen, and T. M. H. Nguyen, "Quality 5.0: Sustainable Quality Management System for Future," *Journal of Quality*, vol. 32, no. 5, pp. 343–373, 2025, doi: 10.6220/joq.202510_32(5).0002.
- [4] N. K. Hieu, N. T. A. Van, D. Khuu, and T. M. H. Nguyen, "Applying Lean Six Sigma Methodology to Improve Productivity: Case Study at a Mooncake Production Enterprise," *Management and Production Engineering Review*, vol. 16, no. 2, pp. 1–10, 2025, doi: 10.24425/MPER.2025.154933.
- [5] L. Wilkinson, "Revising the Pareto chart," *The American Statistician*, vol. 60, no. 4, pp. 332–334, 2006.
- [6] AIAG, *Measurement Systems Analysis Reference Manual*, 4th ed. Southfield, MI, USA: Automotive Industry Action Group, 2010.
- [7] A. Chaturvedi, N. Joshi, S. R. Bapat, and S. Nadarajah, "Control charts for the percentiles of an inverse Pareto distribution under complete and middle-censored data," *Quality and Reliability Engineering International*, vol. 41, no. 5, pp. 1971–1984, 2025.
- [8] V. Kumar, V. Aryal, H. Jum'ah, J. Kula, and S. Ganesan, "Optimizing unsatisfactory Pap test result rate through root cause analysis and creative adaptation of fishbone diagram: A quality improvement initiative," *Journal of the American Society of Cytopathology*, vol. 14, no. 5, p. S63, 2025.
- [9] M. Al-Rifai, "Unlocking insights: Evaluating 5Whys methodology for root cause analysis and employee problem-solving skills in 91 case studies," *International Journal of Lean Six Sigma*, vol. 16, no. 5, pp. 1276–1304, 2025.
- [10] P. Gangidi, "A systematic approach to root cause analysis using 3 × 5 why's technique," *International Journal of Lean Six Sigma*, vol. 10, no. 1, pp. 295–310, 2019.

Trần Nguyên Khoa hiện là sinh viên đại học, chuyên ngành Quản lý Công nghiệp tại Trường Đại học Công nghệ Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh (HCM-UTE), Việt Nam. Tác giả đặc biệt quan tâm và mong muốn phát triển sự nghiệp trong lĩnh vực quản lý chất lượng.

Email: 22124064@student.hcmute.edu.vn. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0799-387X>

Nguyễn Thị Anh Vân hiện là giảng viên tại Khoa Kinh tế, Trường Đại học Công nghệ Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh (HCM-UTE), Việt Nam. Tác giả đã hoàn thành chương trình Tiến sĩ chuyên ngành Kinh tế và Quản lý tại Đại học Tomas Bata ở Zlín (Cộng hòa Séc). Tác giả hiện công tác và giảng dạy trong các lĩnh vực vận hành và quản lý công nghiệp. Các hướng nghiên cứu của tác giả bao gồm Quản lý Chất lượng Toàn diện, xuất sắc bền vững, Công nghiệp 4.0 và Phát triển Bền vững. Tác giả đã công bố các công trình nghiên cứu trên các tạp chí như *Operations and Supply Chain Management*, *Total Quality Management & Business Excellence*, v.v. Tác giả cũng là phản biện cho các tạp chí *Total Quality Management & Business Excellence* và *The TQM Journal*. Tác giả đã tham gia nhiều dự án tại Việt Nam cũng như một số dự án quốc tế liên quan đến nền kinh tế Đông Nam Á và Công nghiệp 4.0 tại Cộng hòa Séc.

Email: anhvan@hcmute.edu.vn. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6950-6868>